

**Universidade de São Paulo**  
**Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**O uso combinado dos modelos de insumo-produto e  
técnicas de geoprocessamento**

**Silvio Massaru Ichihara**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em  
Ciências. Área de concentração: Economia Aplicada

**Piracicaba**

**2007**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**Silvio Massaru Ichihara**

**Médico Veterinário**

**O uso combinado dos modelos de insumo-produto e  
técnicas de geoprocessamento**

**Orientador:**

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

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em  
Ciências. Área de concentração: Economia Aplicada

**Piracicaba**

**2007**

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

Ichihara, Silvio Massaru

O uso combinado dos modelos de insumo-produto e técnicas de geoprocessamento  
/ Silvio Massaru Ichihara - - Piracicaba, 2007.  
190 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2007.  
Bibliografia.

1. Desenvolvimento econômico regional
2. Economia de transportes
3. Geoprocessamento
4. Insumo-produto I. Título

CDD 339.23

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

## DEDICATÓRIA

Dedico

aos meus pais, Masaru Ichihara e Iaeko K. Ichihara,  
pelos alicerces que me formaram e  
pelo apoio incondicional às minhas idéias;

a Mônica K. M. Yamada Ichihara, minha esposa,  
pela compreensão quando sou incompreensível,  
pelo crédito quando estou incrédulo,  
pela decisão quando sou indeciso,  
por provar, sem qualquer cálculo, a incalculável grandeza de ser uma família.

A ela, simplesmente, devo o meu resgate do mundo das abstrações para o que realmente interessa.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pela concessão da bolsa de doutorado e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pelo apoio financeiro, montante de recursos, sem os quais, eu não poderia realizar esta tese.

Agradeço ao Departamento de Economia, Administração e Sociologia da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - ESALQ/USP e ao Departamento de Economia da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade - FEA/USP pelo acolhimento e infra-estrutura de pesquisa.

Dentre todas as pessoas dessas instituições que contribuíram de alguma maneira gostaria de destacar especial atenção:

- Ao Prof. Joaquim José Martins Guilhoto, pela orientação que julgo incomum, diante do desvelo quase paternal e preocupação, não apenas com a formação de minha identidade acadêmica, mas também com meu desenvolvimento profissional, social, ético e pessoal. Um exímio exemplo de mestria que tentarei imitar todas as vezes que compartilhar meus conhecimentos.
- Às Profs. Heloisa Lee Burnquist e Márcia Azanha Ferraz Dias de Moraes, pelas fundamentais correções, observações e incentivos que foram de extrema valia no momento em que precisei aprimorar e clarear as aplicações e idéias centrais desenvolvidas nesta tese;
- Ao Prof. Roberto Arruda de Souza Lima que, em delicadas situações, me apoiou com palavras precisas e, conseqüentemente, evitou que eu desistisse das razões primordiais que me levaram a fazer este trabalho;

- Ao Prof. Joaquim Bento de Souza Ferreira Filho e Prof. José Vicente Caixeta Filho pelos comentários e sugestões feitas no exame de qualificação necessárias para nortear os objetivos do trabalho;
- Às secretárias que muito me auxiliaram, em especial, Maria A. Maielli Travalini (Pós-Graduação LES), exemplo de eficiência e simpatia;
- À Ligiana Clemente do Carmo Damiano pelo árduo e essencial trabalho que exerce na correção e padronização desta e de todas as demais teses do departamento;
- Aos amigos Bernardo Palhares Campolina, Guilherme Renato Caldo Moreira e Fernanda Sartori de Camargo por compartilharem momentos de trabalho, companheirismo e descontração.

Por fim, agradeço à Desenvolvimento Rodoviário S.A. – DERSA e seu grupo de alta capacitação técnica, chefiado por Milton Xavier, por me apresentarem uma área instigante, demandante de conceitos teóricos e extremamente aplicada: a economia dos transportes.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	9
ABSTRACT .....	10
1 INTRODUÇÃO.....	11
Referências .....	14
2 ESTIMATIVA, GEORREFERENCIAMENTO E APLICAÇÕES DE UMA MATRIZ INTERMUNICIPAL DE INSUMO-PRODUTO PARA O ESTADO DE SÃO PAULO.....	15
Resumo .....	15
Abstract.....	15
2.1 Introdução.....	16
2.2 Metodologia.....	16
2.2.1 O modelo de insumo-produto interregional.....	17
2.2.2 Estimação dos fluxos inter-regionais.....	19
2.2.3 Aplicação do modelo de insumo-produto gravitacional.....	25
2.2.4 Estimação da matriz de insumo-produto inter-regional e inter-setorial municipal .....	32
2.3 Resultados.....	35
2.3.1 Distribuição regional da produção.....	37
2.3.2 Multiplicadores de produção setorial .....	45
2.3.3 Centros de polarizadores do consumo das famílias.....	47
2.3.4 Considerações sobre a redução da desigualdade regional .....	48
2.4 Conclusões.....	53
Referências .....	55
3 O IMPACTO DO CRESCIMENTO ECONÔMICO SOBRE AS RODOVIAS DE SÃO PAULO: UMA APLICAÇÃO DO MODELO DE INSUMO-PRODUTO COMBINADO COM O GEOPROCESSAMENTO.....	58
Resumo .....	58
Abstract.....	58
3.1 Introdução.....	59
3.2 Metodologia.....	61
3.2.1 A matriz de insumo-produto inter-regional para o Brasil .....	63
3.2.2 Determinação dos vetores de Oferta e Demanda por região e por setor .....	63

3.2.3 Regionalização dos dados estaduais para o detalhamento municipal.....	67
3.2.4 Cálculo das demandas e ofertas de cada município .....	70
3.2.5 Determinação dos fluxos .....	70
3.2.6 Atribuição dos fluxos à rede rodoviária .....	73
3.2.7 Análise de impacto dado o crescimento da economia.....	74
3.2.8. Considerações finais da metodologia .....	76
3.3 Resultados e discussão .....	77
3.3.1 A adequação dos fluxos econômicos sobre as rodovias .....	78
3.3.2 O impacto do crescimento da economia sobre as rodovias de São Paulo .....	82
3.4 Conclusões.....	88
Referências .....	89
<b>4 O IMPACTO DO AUMENTO DA DEMANDA DE ÁLCOOL SOBRE AS RODOVIAS DE SÃO PAULO: UMA ANÁLISE DE INSUMO-PRODUTO GEOREFERENCIADA .....</b>	<b>91</b>
Resumo .....	91
Abstract.....	92
4.1 Introdução.....	93
4.1.1 Oferta e demanda de álcool combustível no Brasil .....	94
4.1.2 Oferta e demanda de álcool combustível no Mundo .....	99
4.1.3 Perspectivas sobre a produção de álcool no Brasil e no Estado de São Paulo .....	104
4.1.4 A necessidade de estimar a demanda por transportes ocasionada pelo aumento da produção de álcool.....	109
4.2 Metodologia.....	110
4.2.1 A matriz de insumo-produto para o Brasil .....	112
4.2.2 Análise de impacto associada ao crescimento da demanda por etanol.....	115
4.2.3 Reestimação da matriz de insumo-produto para o ano de 2012 .....	117
4.2.4 Regionalização da matriz nacional em um sistema de insumo-produto interestadual ...	118
4.2.5 Obtenção dos vetores de oferta e demanda para os municípios de São Paulo .....	119
4.2.6 Estimação dos fluxos inter-regionais e atribuição à malha rodoviária.....	124
4.3 Resultados e discussão .....	125
4.2.1 Resultados expressos por peso .....	128
4.2.2 Regionalização dos resultados.....	129

4.4 Conclusões.....	134
Referências .....	136
APÊNDICES .....	140

## RESUMO

### **O uso combinado dos modelos de insumo-produto e técnicas de geoprocessamento**

Para averiguar a aplicabilidade das técnicas pertencentes ao universo do geoprocessamento junto às características intrínsecas dos modelos de insumo-produto, este trabalho propõe um novo enfoque metodológico, fundamentado na organização lógica e sequencial de conceitos que possibilitem a estimação de fluxos econômicos inter-regionais, considerando os aspectos da oferta e demanda das atividades setoriais em cada município. O núcleo geográfico escolhido para a aplicação dessa metodologia é o Estado de São Paulo, sendo que os três estudos que compõem esta tese descrevem como sua idéia central pode ser desenvolvida em diferentes temas. O primeiro estudo tem como objetivos: estimar uma matriz de insumo-produto intermunicipal para o Estado de São Paulo e ilustrar o potencial analítico do sistema, através, tanto de uma avaliação geral das relações de oferta e demanda no Estado de São Paulo, quanto de uma análise específica sobre a possibilidade de uso indireto dos recursos do Programa Bolsa Família como agente indutor da redução da desigualdade regional. O segundo estudo visa a estimar os fluxos inter-regionais e associá-los às redes de transportes a fim de se estimar o impacto do crescimento econômico esperado para os próximos anos na demanda por transportes nas rodovias do Estado de São Paulo. Por fim, o terceiro estudo utiliza o mesmo método do segundo, fazendo adaptações para dirigir o foco a uma única cadeia setorial, avaliando a demanda por transportes que será exigida pelo expressivo aumento, esperado para os próximos anos, da produção e comercialização do álcool. Os procedimentos empregados, nesta tese, podem ter uma enorme aplicabilidade em estudos semelhantes que procurem detalhar com exatidão espacial os fundamentos da economia regional.

Palavras-chave: Insumo-produto inter-regional; Matriz de insumo-produto para o Estado de São Paulo; Geoprocessamento; Desenvolvimento Regional; Economia dos Transportes

## ABSTRACT

### **Combining input-output models and geoprocessing**

To inquire the applicability of the techniques pertaining to the geoprocessing field and the intrinsic characteristics of the input-output models, this work considers a new methodological approach based on the logical organization and sequential of concepts that make possible the estimation of interregional economic flows, considering the aspects of it offers and demand of the sector activities in each city. The chosen geographic focus for the application of this methodology is the State of Sao Paulo, and three studies of this thesis describe how its central idea can be developed in different subjects. The first study presents as objectives: to estimate an input-output matrix among the cities of the Sao Paulo State and to illustrate the analytical potential of the system, through a general evaluation of offer and supply relationships in the Sao Paulo State, as well as a specific analysis on the possibility of indirect use of the resources of the Bolsa Família Program as inductive agent of the regional inequality decrease. The second study aims to estimate the interregional flows and to associate them to the transport nets in order to estimate the impact of the economic growth forecast for the next years on the transport demand for transports in the Sao Paulo State' highways. Finally, the third study uses the same method of the second one, making adaptations in order to direct the focus to an only productive chain, evaluating the demand for transports that will be necessary due to the remarkable increase, expected for the next years, of the ethanol production and commercialization. The procedures used in this thesis can have an enormous applicability in similar studies that detail with spatial exactness the regional economy principles.

Keywords: Interregional input-output; Input-output matrix of Sao Paulo State; Geoprocessing; Regional Development; Transports

## 1 INTRODUÇÃO

Devido à diversidade de problemas enfrentados pela sociedade, o ser humano busca descrever e analisar as relações de um extenso número de observações. A integração dessas informações, provenientes de diferentes áreas do conhecimento, tornou-se uma atitude essencial à medida que a conscientização mundial estabelece a impossibilidade do tratamento isolado de variáveis econômicas, sociais e ambientais.

Dentro dessa necessidade, a teoria de insumo-produto utiliza definições embasadas nos alicerces da teoria econômica, mas sua aplicação não se restringe apenas a esse horizonte. Diversas questões de áreas distintas do conhecimento estão associadas ao planejamento econômico que, por sua vez, encontra material amplo, empírico e consistente nos quadros de insumo-produto, na qual toda a economia é descrita como um fluxo circular integrado.

Além da amplitude de aplicações, os modelos de insumo-produto podem ainda admitir características de uma única região ou de várias regiões intercaladas: modelos inter-regionais. O nível de especificação dos métodos relacionados à teoria parte da esfera nacional até as estruturas regionais, pela desagregação dos dados. Da mesma forma, os grandes setores econômicos também podem ser desmembrados, obtendo-se maior detalhamento dos sistemas de produção.

A precisão das análises que utilizam os modelos de insumo-produto foi favorecida pelas contribuições teóricas e avanços computacionais das últimas décadas, permitindo a operacionalização de um grande volume de dados, especialmente nos estudos regionais. Entretanto, mesmo sob a luz desses progressos, o mecanismo de apresentação das informações utilizadas e geridas por esses métodos ainda é deficitário.

O estabelecimento de formas ágeis de visualização dos dados aumenta o poder de interpretação analítica, mesmo para aqueles que não são familiarizados com esse tipo de teoria, e incorpora o aspecto da dimensão espacial nas análises de cunho regional. Nesse sentido, Isard (1998) já mencionou que o uso do geoprocessamento traz benefícios às análises inter-regionais, sendo que Guilhoto et al. (2003) é ainda mais específico ao apresentar conceitos iniciais sobre a interação entre os Sistemas de Informação Geográfica - SIG e os modelos de insumo-produto.

De maneira geral, o uso do geoprocessamento pode facilitar, não apenas a exposição dos resultados derivados dos modelos de insumo-produto, mas também a estimação e a interpretação da vasta base de dados que alimenta tal modelagem.

Especialmente para o caso do Brasil, país de grandes proporções, o emprego desse ferramental pelos agentes econômicos, tanto no âmbito governamental como no privado, traz grandes contribuições ao proporcionar a integração de dados econômicos com aqueles pertencentes a outras áreas da ciência.

Isso possibilita que novos métodos sejam criados para resolver questões diferentes, visto que a variável representada pelo próprio espaço físico atua como elemento comum, capaz de unificar diferentes ferramentas analíticas. Exemplificando, é possível avaliar previamente como as projeções de crescimento econômico ou os resultados de modelos de políticas podem afetar o desenvolvimento de cidades, da infra-estrutura de transportes ou, mesmo, áreas de florestas remanescentes, poluição de rios, etc.

Ao mesmo tempo, a demonstração do potencial analítico pode incentivar diversos órgãos, especialmente governamentais, a realizarem ou subsidiarem, por meio de recursos ou dados, a construção de sistemas análogos.

Cabe, então, averiguar a potencial aplicabilidade das técnicas pertencentes ao universo do geoprocessamento, considerando as características intrínsecas dos modelos de insumo-produto, a fim de se solucionar um variado conjunto de problemas ligados, principalmente ao planejamento econômico.

De acordo com o que foi exposto, o objetivo principal deste trabalho consiste em identificar as vantagens do uso combinado de modelos de insumo-produto com o geoprocessamento, relacionando as principais técnicas, adaptando e criando novos métodos, além de serem demonstrados os esforços necessários para promover toda essa integração. Nesse sentido, este estudo está dividido em mais três capítulos, além desse introdutório.

O capítulo seguinte contém o estudo denominado: “Uma matriz intermunicipal de insumo-produto para o Estado de São Paulo”, que ilustra a capacidade dos SIG em analisar diferentes tipos de informação econômica, fortalecendo a interpretação das estimativas obtidas. O trabalho desenvolve métodos eficazes para avaliar as relações intermunicipais, sendo que o potencial exploratório do sistema é exemplificado ao se examinar o tema do Programa Bolsa-Família, na região do Vale do Ribeira, no Estado de São Paulo.

O terceiro capítulo contém o estudo: “O impacto do crescimento econômico sobre as rodovias de São Paulo: uma aplicação do modelo de insumo-produto combinado ao geoprocessamento”. Diante do crescimento econômico esperado nos próximos anos, este trabalho

destina-se a avaliar os impactos ocasionados pela expansão econômica sobre a demanda por transporte rodoviário no Estado de São Paulo. Esse assunto talvez represente uma das mais importantes aplicações desse tipo de modelagem, dada a elevada importância que o sistema de transportes admite sobre o desenvolvimento socioeconômico e ambiental de qualquer região do planeta. A metodologia desenvolvida para esse propósito resulta da agregação de conceitos existentes em trabalhos teóricos, tanto da área da economia regional como da engenharia de transportes, gerando uma possível aplicação que parte da teoria, usa os dados do mundo real e chega a resultados que poderão subsidiar decisões futuras.

O último capítulo apresenta um estudo que utiliza os mesmos conceitos dos estudos descritos anteriormente, mas tem o objetivo de avaliar os acréscimos da demanda por transporte tendo em vista o expressivo aumento da produção de álcool combustível esperado para os próximos anos, no Estado de São Paulo.

Por fim, os apêndices A até G completam esta tese. Eles têm a função de apresentar conceitos, técnicas e dados que foram omitidos no corpo do texto principal a fim de que os aspectos fundamentais pudessem ser evidenciados. Dentro desse contexto, os apêndices são elucidativos, pois trazem as informações multidisciplinares que foram utilizadas nas várias fases de elaboração desta tese.

## Referências

GUILHOTO, J.J.M.; HEWINGS, G.J.D.; TAKASHIBA, E.H.; SILVA, L.M.S. Combining geographical information systems and input-output models: concept and initial ideas. In: NORTH AMERICAN MEETING OF THE REGIONAL SCIENCE ASSOCIATION INTERNATIONAL, 50., 2003, Philadelphia. **Papers...** Urbana-Champaign: REAL, 2003. 1 CD-ROM.

ISARD, W.; BRAMHALL, D.F. **Methods of inter-regional and regional analysis**. Aldershot: Ashgate Publishing, 1998. 490 p.

## **2 ESTIMATIVA, GEORREFERENCIAMENTO E APLICAÇÕES DE UMA MATRIZ INTERMUNICIPAL DE INSUMO-PRODUTO PARA O ESTADO DE SÃO PAULO**

**Silvio M. Ichihara**

**Joaquim José Martins Guilhoto**

### **Resumo**

Este trabalho desenvolve um método para a obtenção de sistemas de insumo-produto capazes de descrever os fluxos de bens e serviços entre municípios, tendo em vista que a criação de estratégias mais precisas depende da incorporação das peculiaridades regionais no âmbito das pesquisas ligadas ao planejamento econômico. O estudo também se mostra pioneiro na arte de combinar o geoprocessamento com os elementos da teoria de insumo-produto, facilitando a interpretação das informações contidas dentro do extenso conjunto de dados inerentes às matrizes inter-regionais. Ao aplicar os conceitos teóricos, ilustra-se o potencial analítico do que é proposto, por meio de uma avaliação panorâmica das relações de oferta e demanda setoriais do Estado de São Paulo e de um estudo sobre a distribuição regional do Programa Bolsa Família, enfatizando que esse recurso deve ser entendido, não apenas como uma forma de transferência de renda, mas também como um agente catalisador para a redução da desigualdade regional, quando medidas de indução possam evitar o vazamento desses recursos para regiões mais ricas.

Palavras-chave: Insumo-produto intermunicipal; Matriz de insumo-produto para São Paulo; Geoprocessamento; Desenvolvimento regional; Programa Bolsa Família

### **Abstract**

This work develops a method for input-output systems obtainment capable to describe the flows of goods and services among cities, having in view that the creation of accurate strategies depends on the regional peculiarities incorporation in the scope of the economic planning researches. The study innovates with the art to combine the geoprocessing to the input-output theory elements, facilitating the interpretation of the information of the extensive inherent data set to the interregional matrices. When applying the theoretical concepts, the analytical potential is showed, through a panoramic evaluation of the Sao Paulo State offer and supply relationships and through a study on the regional distribution of the Bolsa Familia Program, emphasizing, that this resource must be understood, not only as a form of income transference, but also as a catalytic agent for the regional inequality decreasing, when induction procedures can prevent the emptying of these resources for richer regions.

Keywords: Inter-regional input-output; Sao Paulo State input-output matrix; Geoprocessing; Regional development; Bolsa Família Program

## 2.1 Introdução

Os sistemas de insumo-produto descrevem os fluxos de bens e serviços entre os diversos setores de uma economia, podendo admitir características de uma ou várias regiões. Para Leontief (1965), sua dimensão pode ser suficientemente grande para representar a economia mundial ou tão pequena de modo a retratar uma região metropolitana.

Ao assumir maior grau de focalização geográfica, esses modelos são capazes de incorporar as peculiaridades regionais, possibilitando a realização de análises pontuais e de estratégias ligadas ao planejamento urbano (ISARD, 1998).

Entretanto, um dos maiores obstáculos para a execução desses estudos é a dificuldade de obtenção dos dados. Pesquisas com adequada relevância estatística são onerosas e exigem tempo e dedicação para que possam ser executadas. Soma-se, ainda, a esse fator a necessidade do sigilo, que é acentuada quando os estudos analisam dados empresariais. Por isso, as vantagens das análises regionais esbarram na insuficiência de informações, restando ao pesquisador formular métodos alternativos para a estimação de dados não existentes ou inacessíveis.

Nesse contexto, o presente trabalho procura formalizar uma seqüência de procedimentos que possibilitem estimar um sistema de insumo-produto inter-regional, considerando maior grau de desagregação regional, atingindo a esfera municipal.

Devido à indisponibilidade de informações sobre a produção setorial em todos os municípios brasileiros, o método desenvolvido neste estudo foi empregado apenas ao Estado de São Paulo, a fim de se exemplificar o processo de estimação de uma matriz de insumo-produto intermunicipal.

O tópico seguinte traz o método proposto e, posteriormente, a avaliação dos resultados é feita por meio da representação espacial dos principais elementos da matriz de insumo-produto, utilizando-se técnicas de geoprocessamento, conforme a idéia inicial de Guilhoto et al. (2003).

Por fim, uma análise paralela, condicionada à distribuição geográfica do Programa Bolsa Família no Estado de São Paulo, procura exemplificar o potencial descritivo dessas informações como subsídio às estratégias de planejamento.

## 2.2 Metodologia

Inicialmente, este tópico apresenta a estrutura de uma matriz de insumo-produto inter-regional e a respectiva notação usada para representá-la. No subitem seguinte, descrevem-se, resumidamente, os principais métodos utilizados na estimação dos fluxos econômicos entre as

regiões, enfocando a abordagem de insumo-produto gravitacional, que contém elementos da teoria da informação e variáveis espaciais. Por fim, as variáveis necessárias para implementação do método escolhido são calculadas e as devidas adaptações e considerações sobre a modelagem são caracterizadas.

### **2.2.1 O modelo de insumo-produto interregional**

O sistema de insumo-produto é formado por matrizes e vetores construídos a partir das relações reais da economia, considerando o encadeamento lógico e quantitativo existente entre setores produtivos. Sua forma estrutural deve seguir a padronização internacional definida pela Organização das Nações Unidas através do System of National Accounts - SNA (UNITED NATIONS, 2006).

Em geral, o sistema é caracterizado por duas matrizes principais: produção e usos e recursos, que descrevem as relações entre  $n$  setores produtivos e  $m$  produtos, mas pode ser resumido a uma única matriz, condicionada a assumir apenas as relações inter-setoriais (com dimensão:  $n$  linhas e  $n$  colunas) ou entre produtos (dimensão:  $m$  linhas e  $m$  colunas).

Essa condição estabelece que as análises posteriores assumam uma dentre duas hipóteses possíveis: a tecnologia baseada na indústria (ao optar pelas relações entre setores) ou a tecnologia baseada no produto (ao optar pelas relações entre produtos), segundo Miller e Blair (1985).

As duas hipóteses são alternativas diferentes para o tratamento do mesmo problema, mas a escolha por uma ou outra depende de várias condições (STONE, 1961). Em geral, muitos estudos utilizam a tecnologia baseada na indústria, pois enfocam o planejamento setorial ou porque essa hipótese pode ser facilmente interpretada, considerando o circuito econômico a partir da demanda. Mesnard (2004) mostra que a teoria baseada no produto não pode ser interpretada da mesma forma, pois isso implicaria em incoerências algébricas ao se considerar o circuito econômico a partir da oferta.

Sem aprofundar a discussão sobre essa questão, opta-se pela escolha da tecnologia baseada na indústria e, a partir desse ponto, todos os conceitos e considerações estão embasados nessa pressuposição.

Por isso, para fins de notação, a denominação matriz de insumo-produto, usada neste estudo, corresponde ao conjunto formado pela matriz de usos e recursos ( $n$  setores  $\times$   $n$  setores) e os vetores de demanda final (investimentos, exportações, variação do estoque, consumo das famílias

e do Governo), importações, impostos, valor adicionado e produção total. A Figura 1 apresenta essa estrutura, considerando  $r$  regiões.

$$\begin{array}{cccccccc}
 \mathbf{Z}^{11} & \dots & \mathbf{Z}^{1r} & \dots & \mathbf{Z}^{1r} & \mathbf{Y}^{11} & \dots & \mathbf{Y}^{1r} & \dots & \mathbf{Y}^{1r} & \mathbf{X}^1 \\
 (\text{nxn}) & & (\text{nxn}) & & (\text{nxn}) & (\text{nx5}) & & (\text{nx5}) & & (\text{nx5}) & (\text{nx1}) \\
 \vdots & \ddots & & & \vdots & \vdots & \ddots & & & \vdots & \vdots \\
 \mathbf{Z}^{s1} & & \mathbf{Z}^{st} & & \mathbf{Z}^{sr} & \mathbf{Y}^{s1} & & \mathbf{Y}^{st} & & \mathbf{Y}^{sr} & \mathbf{X}^s \\
 (\text{nxn}) & & (\text{nxn}) & & (\text{nxn}) & (\text{nx5}) & & (\text{nx5}) & & (\text{nx5}) & (\text{nx1}) \\
 \vdots & & & \ddots & \vdots & \vdots & & & \ddots & \vdots & \\
 \mathbf{Z}^{r1} & \dots & \mathbf{Z}^{rt} & \dots & \mathbf{Z}^{rr} & \mathbf{Y}^{r1} & \dots & \mathbf{Y}^{rt} & \dots & \mathbf{Y}^{rr} & \mathbf{X}^r \\
 (\text{nxn}) & & (\text{nxn}) & & (\text{nxn}) & (\text{nx5}) & & (\text{nx5}) & & (\text{nx5}) & (\text{nx1}) \\
 \mathbf{I}^1 & \dots & \mathbf{I}^t & \dots & \mathbf{I}^r & & & & & & \\
 (1xn) & & (1xn) & & (1xn) & & & & & & \\
 \mathbf{T}^1 & \dots & \mathbf{T}^t & \dots & \mathbf{T}^r & & & & & & \\
 (1xn) & & (1xn) & & (1xn) & & & & & & \\
 \mathbf{V}^1 & \dots & \mathbf{V}^t & \dots & \mathbf{V}^r & & & & & & \\
 (1xn) & & (1xn) & & (1xn) & & & & & & \\
 \mathbf{X}^1 & \dots & \mathbf{X}^t & \dots & \mathbf{X}^r & & & & & & \\
 (1xn) & & (1xn) & & (1xn) & & & & & & 
 \end{array}$$

Figura 1 - Notação matricial da matriz de insumo-produto inter-regional

Sendo:

$\mathbf{Z}^{rr}$  matriz do consumo intermediário inter-setorial e inter-regional formada por elementos:

$z_{ij}^{st}$  - venda do setor  $i$  da região  $s$  para o setor  $j$  da região  $t$  ou consumo do setor  $j$  da região  $t$  proveniente do setor  $i$  da região  $s$ ;  $(s, t \in r)$ ,  $(i, j \in n)$ .

$\mathbf{I}^r$  vetor do volume importado por todos os setores da região  $r$  formado por elementos:

$i_j^t$  - volume importado pelo setor  $j$  da região  $t$ .

$\mathbf{T}^r$  vetor da arrecadação dos impostos indiretos líquidos de todos os setores da região  $r$  formado por elementos:

$t_j^t$  - arrecadação dos impostos indiretos líquidos do setor  $j$  da região  $t$ .

$\mathbf{V}^r$  vetor do valor adicionado de todos os setores da região  $r$  formado por elementos:

$v_j^t$  - valor adicionado do setor  $j$  da região  $t$ .

$\mathbf{Y}^{rr}$  matriz de demanda final da região  $r$  pela produção de  $s$  formada por cinco vetores ( $f = 5$ ): consumo das famílias, consumo do governo, exportações, formação bruta de capital fixo e variação dos estoques. Seus elementos são dados por:  $y_i^{st}$  consumo do setor  $i$  da região  $s$  pelos vetores da demanda final da região  $t$ .

$\mathbf{X}^r$  vetor da produção total de todos os setores da região  $r$  formados pelos elementos:

$x_j^t$  - produção total setor  $j$  da região  $t$  (total da soma nas colunas)

$\mathbf{X}^r$  vetor da produção total de todos os setores da região  $r$  formados pelos elementos:

$x_i^s$  - produção total setor  $i$  da região  $s$  (total da soma nas linhas).

### 2.2.2 Estimação dos fluxos inter-regionais

Quando se avalia uma única região, o conjunto  $\mathbf{r}$  é unitário e o consumo intermediário é formado apenas por uma única matriz  $\mathbf{Z}$ , designando uma estrutura bastante semelhante à apresentada por Leontief (1951) para a economia dos Estados Unidos. No Brasil, a matriz insumo-produto nacional não é publicada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE desde o ano de 1996. Entretanto as informações podem ser atualizadas por intermédio do sistema de contas nacionais, utilizando a metodologia descrita por Guilhoto e Sesso Filho (2005b).

A inexistência de publicações semelhantes aos sistemas de contas nacionais no âmbito das administrações públicas regionais impossibilita o uso do mesmo método para se criarem matrizes municipais e, mesmo que isso fosse possível, apenas as relações inter-setoriais de cada região seriam obtidas isoladamente, sendo que as relações inter-regionais dependem, também, da existência de dados sobre os fluxos de bens e serviços entre as regiões, caracterizando as matrizes  $\mathbf{Z}^{st}$  ( $s \neq t \in \mathbf{s}, t \in \mathbf{r}$ ).

Os esforços aplicados para estimar os fluxos de bens e serviços entre as regiões e seus setores produtivos apresentam-se como um conjunto de métodos classificados de diferentes formas.

Técnicas algébricas foram elaboradas ou adaptadas de outras disciplinas na tentativa de aproximar os fluxos inter-regionais estimados aos do mundo real. Round (1983) define duas classes principais de métodos para atualizar, organizar ou estimar os dados de matrizes inter-regionais: métodos com dados censitários (“survey methods”) e métodos com dados censitários limitados (“partial-survey methods” e “nonsurvey methods”).

Montoya (1999) apresenta um organograma no qual a classificação também parte desses dois ramos principais, no que se refere à natureza dos dados, fazendo considerações sobre o alcance e as limitações teóricas de cada tipo de modelo de insumo-produto inter-regional. Mas, no que tange a este trabalho, o enfoque será dado apenas às principais técnicas matemáticas descritas na literatura, que utilizam dados censitários limitados.

Nas publicações de autores como Polenske (1970), Richardson (1972) e Robinson et al. (2001), é possível distinguir seis tipos de técnicas principais que fundamentam as estimações das matrizes de insumo-produto inter-regionais, cujas necessidades por informações são diferentes, conforme o Quadro 1. No entanto, essa divisão serve apenas para organizar a evolução das idéias que surgiram visando a resolver o problema de estimação dos fluxos. Salienta-se que esses

conceitos não são excludentes, ao contrário, alguns dependem dos outros para que possam ser concluídos.

<b>Técnica</b>	<b>Exigência de dados</b>	<b>Autores que propuseram ou discutiram os modelos</b>
Modelo coluna	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Matrizes de insumo-produto intra-regionais</li> <li>• Fluxos comerciais entre as regiões</li> </ul>	Chenery (1975); Moses (1955)
Modelo linha	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Matrizes de insumo-produto intra-regionais</li> <li>• Fluxos comerciais entre as regiões</li> </ul>	Hansen e Tiebout (1963)
Quociente locacional	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Matriz de insumo-produto nacional</li> <li>• Produção e demanda dos setores das regiões</li> </ul>	Isard (1998)
Modelo de transporte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Matriz de insumo-produto nacional</li> <li>• Produção e demanda dos setores das regiões</li> <li>• Custos de transporte ou outra medida espacial</li> </ul>	Richardson (1972)
Modelos da teoria da informação (RAS e outros modelos entrópicos)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Matriz de um ano anterior ou dados previamente estimados para ajuste</li> </ul>	McDougall (1999); Robinson et al. (2001); Canning e Wang (2005)
Modelo gravitacional	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Matriz de insumo-produto nacional</li> <li>• Produção e demanda dos setores das regiões</li> <li>• Custos de transporte ou outra medida espacial</li> </ul>	Leontief e Strout (1963); Theil (1967); Wilson (1970)

Quadro 1 - Requisitos mínimos para aplicação das técnicas abordadas

Na sua forma original, o modelo inter-regional “ideal” de Isard requer, de cada região, o levantamento da sua respectiva matriz inter-setorial e as matrizes de importação de todas as outras regiões com as quais tem relacionamento. Diante da quase impossibilidade de se obterem tais dados, Chenery (1975) e Moses (1955) marcam o início do desenvolvimento de modelos destinados a suprir tais necessidades.

Segundo Moses (1955), o modelo do coeficiente coluna baseia-se em três hipóteses: as estruturas tecnológicas de cada região não se alteram; existe uma uniformidade entre as relações comerciais dos setores produtivos e os comércios entre as regiões são estáveis. Em termos práticos, a parcela de um bem que é demandada de uma região por todos os setores da outra, é considerada constante e é distribuída para cada setor produtivo de acordo com os coeficientes técnicos, conforme Chenery (1975).

Para aplicar o modelo coluna, ou Chenery-Moses, é necessário ter os coeficientes técnicos intra-regionais (matrizes inter-setoriais de cada região) e os coeficientes de comercialização dos bens e serviços entre as regiões, mas não é preciso saber sobre os fluxos inter-setoriais entre as regiões. As proporções dos dados de demanda (nas colunas), extraídas da matriz intra-regional, são utilizadas para distribuir os fluxos de bens (inicialmente agregados) nos fluxos inter-setoriais entre as regiões.

No caso do modelo do coeficiente linha, apresentado por Hansen e Tiebout (1963), a idéia é a mesma, mas difere no fato de que as parcelas são estimadas nas linhas, fixando, assim, a proporção das vendas e não das demandas, conforme o modelo coluna.

Richardson (1972) avalia que a pressuposição walrasiana, inerente aos modelos de insumo-produto, possa ser desrespeitada se a proporção da venda entre regiões de um determinado setor permanece constante mesmo com uma mudança do nível de demanda em quaisquer regiões. Isso, porque a pressuposição assume que variações na produção são ocasionadas apenas por alterações da demanda e mudanças nos preços apenas por alterações da oferta.

Polenske (1970) testou o uso dos modelos coluna, linha e gravitacional; seus resultados indicaram que o modelo coluna foi superior ao modelo linha, sem diferenças significativas com o modelo gravitacional de Leontief e Strout (1963). Outros autores, como Ranco (1985), também discutem a questão da possibilidade de incoerência teórica do modelo linha, dando preferência ao modelo coluna.

A pressuposição do modelo coluna é a de que cada região importa uma proporção fixa de suas necessidades por uma mercadoria de uma dada região exportadora, aspecto bastante razoável para muitos autores. Entretanto, dada a dificuldade de serem encontradas informações relativas aos fluxos de comércio, haja vista que esse tipo de informação não está presente nas bases de dados acessíveis, não é possível utilizar apenas esses modelos (modelo coluna e linha).

Devido a isso, o quociente locacional mostra-se como uma técnica muito menos exigente, pois nela não há a necessidade de que se retenham os fluxos de mercadorias entre as regiões e nem as matrizes de insumo-produto de cada região (intra-regionais). Sua característica principal é determinar setores exportadores e importadores, não sendo calibrado por nenhum critério adicional sobre o posicionamento espacial das regiões. Miller e Blair (1985) apresentam a seqüência completa de cálculos sobre o quociente locacional e suas principais variações: o quociente locacional só de compras e o quociente industrial cruzado.

Por não depender dos fluxos de bens entre regiões, o quociente locacional tem sido bastante usado na prática, embora tenha grandes restrições. Isard (1998) menciona que é fácil observar falhas no uso do quociente locacional, pois padrões de consumo e de renda das famílias podem gerar acúmulos de produção em alguns locais, mas nem por isso essas regiões são exportadoras desses produtos. Além disso, a estimação dos fluxos não pode ser independente de critérios que restrinjam o comércio inter-regional, como a distância ou custos de transporte. Sem esse atrito,

nada impede que duas regiões vizinhas, em que uma exporte um produto consumido pela outra, tenham maior interação do que duas regiões em locais opostos.

Atualmente, não se justifica deixar a questão espacial de lado. A teoria que envolve os conceitos da geografia econômica e quantitativa mostra-se relevante nos estudos recentes. Junto à evolução do geoprocessamento, as linhas de pensamento como a de Von Thünen e Alfred Weber ganharam ainda mais importância ao responder às questões relativas ao aluguel (uso da terra) e à localização ótima das atividades produtivas, respectivamente.

A Teoria da Área Central de Weber evidencia a relação hierárquica entre cidades e se baseia na economia de escala e na otimização dos custos de transporte (FUJITA; KRUGMAN; VENABLES, 2002), sendo que a localização ótima da produção em relação à demanda é um fator que justifica ainda mais o uso de modelos relacionados às redes de transporte nas análises de insumo-produto.

Aliado a essas teorias, recentes avanços computacionais do gerenciamento das redes de transporte (engenharia e logística) foram incorporados às ciências sociais, facilitando a viabilidade do uso dos modelos de transporte na estimação de fluxos econômicos.

Entretanto, para se estimarem os fluxos inter-regionais da matriz de insumo-produto, a minimização do custo de transporte por programação linear, embora seja uma idéia interessante, não é aplicável devido à quantidade de fluxos nulos obtidos, dada a própria essência do processo de otimização (RICHARDSON, 1972).

Nesse quesito, a abordagem gravitacional utilizada em várias disciplinas, também incorporada à modelagem de distribuição da demanda por transportes (modelo de quatro etapas), admite características muito próximas às necessidades exigidas no processo de estimação dos fluxos inter-regionais. Ela se inspira nas observações newtonianas sobre a gravidade, presumindo que a movimentação dos bens depende do nível da demanda da região de destino e da oferta da origem, mas é inibida pelo atrito da distância.

Em geral, a abordagem gravitacional não deriva de uma única técnica, podendo ser obtida a partir de conceitos distintos. Os modelos de insumo-produto gravitacionais podem unir quatro importantes fundamentos: a teoria da informação, o processo de otimização, o modelo de Leontief-Strout (apresentado adiante) e os custos de transporte.

Em Theil (1967), os elementos da teoria da informação são desenvolvidos em conjunto com diversos assuntos econômicos como: a mensuração da desigualdade de renda, problemas da

alocação do consumo e das firmas e questões da relação preço-quantidade. O autor, também, propõe meios para utilizá-los nas análises de insumo-produto a fim de tratar o problema do viés de agregação setorial e melhorar as técnicas de estimação dos fluxos do comércio internacional.

As idéias de Theil sobre as relações inter-regionais, baseadas no uso da entropia de Shannon<sup>1</sup> e do modelo de Leontief-Strout, foram ainda aperfeiçoadas pelos sistemas de otimização da entropia, dando origem ao modelo de insumo-produto gravitacional de Wilson (1970).

Inicialmente, em Wilson (1969), a incerteza da distribuição de probabilidade do número de viagens inter-regionais é maximizada, estando sujeita às restrições de oferta e demanda de viagens em cada região. Posteriormente, Wilson (1970) faz adaptações a essa técnica, substitui o número de viagens pelos fluxos econômicos e constrói novas equações de restrições, utilizando o modelo de Leontief-Strout e considerações sobre os custos de transporte.

Trabalhos mais recentes também aplicam os conceitos da maximização ou minimização entrópica e o modelo gravitacional para estimar os fluxos de bens e serviços entre as regiões. Como exemplos: Cho e Gordon (2001) fazem considerações sobre um modelo de determinação de impactos econômicos ante as catástrofes, usando redes de transportes, teoria da informação e modelos de insumo-produto; Kim et al. (2002) avaliam impactos nas redes de transporte devido a terremotos por um procedimento algorítmico que associa otimização de fluxos em trechos rodoviários com a entropia, o modelo gravitacional e o modelo de Leontief-Strout. No entanto, esses métodos demandam dados específicos de transportes que não são facilmente obtidos.

A otimização entrópica descrita por Wilson (1970) é mais flexível, pois a dificuldade da resolução do sistema depende de quais dados estão disponíveis. Quatro casos são definidos de acordo com a existência ou não das informações que compõem as restrições do modelo, modificando a maneira como será resolvido:

- modelo sem restrição da oferta e demanda;
- modelo com restrição da oferta e demanda irrestrita;
- modelo sem restrição da oferta e demanda restrita;
- modelo com restrição da oferta e demanda.

Quando a oferta, ou a demanda, ou ambos são restritos significa que há mais informação que possa auxiliar o processo de obtenção da solução. Assim, a maior dificuldade está associada à resolução do primeiro caso que não pode ser explicitamente resolvido com uso do Lagrangeano,

---

<sup>1</sup> O Apêndice A contém um breve resumo dos principais conceitos que envolvem a aplicação da entropia na economia. As considerações do Apêndice A junto ao conteúdo do Apêndice D, relacionado à economia e transportes, procuram elucidar a origem da estrutura algébrica presente na Equação 1.

exigindo processos iterativos para sua otimização. Inversamente, o quarto caso admite solução, sendo mais simples de ser resolvido, mas é necessário que os dados sobre a oferta e demanda estejam disponíveis, pois se tornam variáveis exógenas. Assim, o quarto caso do modelo de insumo-produto gravitacional com oferta e demanda restritos é dado pela Equação 1, sujeito pelas Equações 2, 3 e 4.

$$\max : - \sum_s \sum_t f_i^{st} \ln f_i^{st} \quad (1)$$

$$\text{suj: } f_i^{st} \geq 0$$

$$\sum_s f_i^{st} = d_i^t \quad (2)$$

$$\sum_t f_i^{st} = o_i^s \quad (3)$$

$$\sum_s \sum_t f_i^{st} \cdot c_i^{st} = C_i \quad (4)$$

Sendo:  $s, t \in r$  regiões, respectivo a origem e destino ( $r$  regiões);

$i, j \in n$  setores de produção ( $n$  setores);

$f_i^{st}$  - fluxo comercial agregado do produto  $i$  de  $s$  para  $t$  ( $\forall s, t$ ); ( $\forall i$ );

$d_i^t$  - demanda da região  $t$  pela produção setorial de  $i$ ;

$o_i^s$  - oferta da região  $s$  da produção setorial de  $i$ ;

$C_i$  - a função de custo de transporte;

$c_i^{st}$  - custo do transporte de  $i$  entre as regiões  $s$  e  $t$ .

Esse sistema pode, então, ser resolvido mediante o uso do Lagrangeano. Ao igualar a zero as derivadas parciais de primeira ordem com respeito a  $z_i^{st}$ , obtém-se a Equação 5:

$$f_i^{st} = \exp(-\lambda^s) \cdot \exp(-\phi^t) \cdot \exp(-\gamma c_i^{st}) \quad (5)$$

Usando as Equações 2 e 3 na Equação 5, os termos referentes a  $\exp(-\lambda^s)$  e  $\exp(-\phi^t)$  são recalculados. A Equação 6 é, então, obtida e a Equação 7 representa sua forma reduzida, caracterizando, o modelo gravitacional de insumo-produto.

$$f_i^{st} = \frac{\overbrace{1}^{a^s}}{\sum_t (\exp(-\phi^t) \cdot \exp(-\gamma c_i^{st}))} \cdot \frac{\overbrace{1}^{b^t}}{\sum_s (\exp(-\lambda^s) \cdot \exp(-\gamma c_i^{st}))} \cdot \frac{o_i^s \cdot d_i^t}{\exp(\gamma c_i^{st})} \quad (6)$$

$$f_i^{st} = a^s \cdot b^t \cdot o_i^s \cdot d_i^t \cdot \exp(\gamma c_i^{st})^{-1} \quad (7)$$

Na Equação 7, a oferta ( $o_i^s$ ) e a demanda ( $d_i^t$ ) setorial de  $i$  em cada região ( $s, t$ ) e a variável  $c_i^{st}$  devem ser determinadas fora do sistema, e essa última deve mensurar a dificuldade de transporte da produção de uma região para outra (impedância).

Embora, aparentemente, a formulação do modelo gravitacional de insumo-produto não seja tão complexa, mesmo quando tem sua origem pela maximização da entropia, o processo de calibração que determina  $a^s$ ,  $b^t$  e  $\gamma$  (na função custo de transporte), não é trivial e depende da sua operacionalização com o uso de algoritmos eficientes.

Com relação à calibração do modelo gravitacional, Nanne e Heydecker (1998) fazem interessantes considerações sobre a álgebra e os algoritmos envolvidos no processo de calibração. Apresentam o conceito por trás dos algoritmos de calibração como os métodos de balanceamento (incluindo as técnicas bi e tri-proporcionais de ajuste), de Gauss-Seidel e de procura do gradiente. Além disso, formulam um novo algoritmo baseado na derivação do gradiente e do hessiano da matriz formada pelas funções que determinam os fluxos ( $v^{st}$ ).

### **2.2.3 Aplicação do modelo de insumo-produto gravitacional**

Por considerar elementos espaciais, da teoria da informação e de insumo-produto, optou-se por eleger o modelo de insumo-produto gravitacional com restrições de oferta e demanda como embasamento teórico dos cálculos destinados a estimar os fluxos inter-regionais.

Para que as considerações não sejam apenas teóricas, este trabalho procura efetivamente realizar a estimação, na qual as técnicas são aplicadas para se constituir uma matriz de insumo-produto inter-municipal do Estado de São Paulo.

Por isso, os subitens, a seguir, utilizam as estatísticas de fontes oficiais sobre a economia regional do Estado de São Paulo, sendo que considerações importantes embasadas na teoria de insumo-produto devem ser realizadas para cálculo das variáveis de oferta ( $o_i^s$ ) e demanda ( $d_i^t$ ) presentes na Equação 7. Na seqüência, um terceiro subitem adiante corresponde às considerações relacionadas com o valor a ser atribuído à variável  $c_i^{st}$  (fator de impedância).

#### **2.2.3.1 Oferta e demanda regional: dados utilizados**

Através da Pesquisa da Atividade Econômica Paulista - PAEP, realizada pela Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados, é possível analisar os principais segmentos que compõem

a economia do Estado de São Paulo. A pesquisa é apontada como uma poderosa ferramenta capaz de caracterizar a atividade econômica em escala regional.

A base de dados da PAEP mais atual refere-se ao ano de 2001-02, sendo constituída por informações levantadas por meio de questionários aplicados aos diversos setores econômicos. Abrange o comércio, a indústria geral (indústria extrativa e de transformação), a indústria da construção, as instituições financeiras e os serviços. Para fins deste estudo, os microdados da PAEP foram consultados e tratados, tendo em vista o respeito às normas do sigilo estatístico e o plano amostral da pesquisa<sup>2</sup>.

A principal contribuição da PAEP advém dos esforços realizados para se mensurar o Valor Adicionado - *VA* das empresas, sendo obtido mediante a diferença entre o Valor Bruto da Produção - *VBP* e o Consumo Intermediário - *CI*. Esses dois últimos valores são essenciais para a determinação dos fluxos inter-regionais, pois o *VBP* pode ser tomado como uma medida de produção de cada setor em cada região e o *CI* como uma medida de demanda.

Na notação da Figura 1, da matriz de insumo-produto, o *VBP* corresponde diretamente ao vetor **X** de produção total e também pode ser associado com a oferta setorial regional.

$$VBP_i^s = x_i^s = o_i^s \quad (8)$$

Sendo:  $VBP_i^s$  - Valor Bruto da Produção do setor *i* da região *s*;

$x_i^s$  - produção total setor *i* da região;

$o_i^s$  - oferta total de *i* da região *s*;

$s, t \in \mathbf{r}$  regiões,  $i, j \in \mathbf{n}$  setores.

Quanto ao *CI*, seus elementos não representam a demanda setorial, pois estão associados apenas ao consumo das atividades produtivas e não ao consumo total, que deve considerar também a Demanda Final (**Y**). Ele representa a soma das linhas da matriz **Z** (fluxos inter-setoriais e inter-regionais) e dos vetores **I** (importações) e **T** (impostos) conforme a Equação 9.

$$CI_i^t = \sum_{j=1}^{\mathbf{n}} \sum_{s=1}^{\mathbf{r}} z_{ij}^{st} + i_j^t + t_j^t \quad (9)$$

<sup>2</sup> Algumas falhas são observadas quando se utiliza a PAEP para análises no nível municipal, pois a pesquisa não é censitária, sendo dotada de um desenho amostral focado nas regiões administrativas do Estado e não em seus municípios. Para reduzir esse problema, outros bancos de dados como a Relação Anual de Informações Sociais – RAIS (BRASIL, 2006) e pesquisas do IBGE, como a Pesquisa Agrícola Municipal e Pesquisa Pecuária Municipal, foram empregados para auxiliar e melhorar as estimativas da PAEP. A descrição das bases de dados utilizadas é apresentada no Apêndice B.

Sendo:  $CI_i^t$  - Consumo Intermediário do setor  $i$  da região  $t$ ;  
 $z_{ij}^{st}$  - transação do setor  $i$  da região  $s$  com o setor  $j$  da região  $t$ ;  
 $i_j^t$  - importações de  $j$  da região  $t$ ;  
 $t_j^t$  - impostos arredadados de  $j$  da região  $t$ .

O  $CI$  avalia o quanto cada setor em cada região consome de insumos (agregado de produtos), mas a definição da demanda setorial regional, exigida na Equação 7, é baseada no quanto cada região consome de cada setor. Assim, não é possível determinar o valor de  $d_i^t$  da Equação 7 com o  $CI$ , mas sua utilização é fundamental no procedimento proposto a seguir, que utiliza a base teórica do modelo de Leontief-Strout.

### 2.2.3.2 Cálculo da demanda embasado no modelo de Leontief-Strout

O modelo de Leontief-Strout (1963) define que toda a produção do setor  $i$  dirigida para a região  $t$  é igual ao consumo de  $i$  para a produção setorial somado à demanda final relacionada com  $i$ , na região  $t$ , conforme a Equação 10. A idéia básica é formar um pool, tanto de toda a demanda de uma região  $t$  por  $i$ , como da parcela da oferta de  $i$  de todo o sistema que é destinada para a região  $t$ , dessa forma, o sistema facilita a estimação dos fluxos de vão de uma região para outra, a fim de se obter o equilíbrio.

$$\sum_s f_i^{st} = \sum_j a_{ij}^t \cdot x_j^t + y_i^t \quad (10)$$

Sendo:  $f_i^{st}$  = fluxo comercial do bem ou serviço  $i$  da região  $s$  para  $t$  ( $\forall s, t$ ); ( $\forall i$ );  
 $y_i^t$  = agregado da demanda final por  $i$  na região  $t$ , podendo ou não considerar as exportações;  
 $x_j^t$  = produção total de  $j$  ( $\forall j$ ) produzido na região  $t$ ;  
 $a_{ij}^t$  = coeficientes técnicos da matriz de insumo-produto de cada região  $t$ .

Os coeficientes técnicos da matriz de insumo-produto ( $a_{ij}$ ) são considerados para auxiliar a estimativa do consumo de um determinado produto necessário para a produção de todas as atividades produtivas em cada região. O coeficiente deriva da razão do fluxo inter-setorial pela produção total de  $j$  da região  $t$ , ou seja, é a proporção de  $i$  usada para se fazer uma unidade de  $j$  em  $t$ :  $a_{ij}^t = \sum_s z_{ij}^{st} / x_j^t$ .

Na prática, o uso do modelo de Leontief-Strout significa calcular a quantidade do produto  $i$  que é demandada e o quanto é ofertado do mesmo  $i$  em cada região, a partir dos elementos da

matriz de insumo-produto (coeficientes técnicos da matriz de usos e recursos, demanda final e produção total de cada região).

Utilizando a notação da matriz de insumo-produto inter-regional (Figura 1) e a formulação do modelo de Leontief-Strout, a expressão que determina o vetor de demanda pode ser representada da seguinte forma:

$$d_i^t = \sum_{j=1}^n \sum_{s=1}^r z_{ij}^{st} + \sum_{s=1}^r y_i^{st} \quad (11)$$

Sendo:  $i, j \in \mathbf{n}$  setores;

$s, t \in \mathbf{r}$  regiões;

$d_i^t$  = demanda total por  $i$  na região  $t$ ;

$y_i$  = corresponde a soma dos 5 vetores da demanda final para  $i$ ;

$st$  em:  $z^{st}$  e  $y^{st}$ , representa o direcionamento da produção da região  $s$  que é destinada ao consumo intermediário e à demanda final da região  $t$ , respectivamente.

Na Equação 9, se impostos e importações forem separados, o valor agregado das transações inter-setoriais e inter-regionais pode ser estabelecido pelo  $CI$ , obtendo-se um valor que, embora seja algebricamente parecido, é bastante diferente do elemento da somatória de  $z$  da Equação 11, pois, em um dos casos, a somatória se dá através das linhas ( $i$ ) e no outro através das colunas ( $j$ ).

Embora o  $CI$  não seja exatamente o que se procura, ele pode ser utilizado para estimar as matrizes inter-setoriais de consumo intermediário agregado para cada região ( $\sum_s \mathbf{Z}^{st}$ , com a notação da Figura 1), sendo que por meio delas será possível obter a somatória de  $z$  (Equação 11) das colunas ( $j$ ).

Nesse momento, esse procedimento requer uma matriz de insumo-produto que represente a totalidade do sistema inter-regional a ser obtido ( $\sum_t \sum_s \mathbf{Z}^{st}$ , seguindo a notação da Figura 1), ou seja, se objetivo for estimar as relações entre municípios é necessário utilizar uma matriz estadual, se o objetivo for obter um sistema inter-estadual deve-se ter uma matriz nacional, e assim por diante.

Neste trabalho, para estimar uma matriz inter-regional, considerando os municípios paulistas, foi necessário utilizar dados da matriz de insumo-produto de São Paulo<sup>3</sup>.

Para realizar a transformação dos dados da demanda setorial estadual em municipal, utiliza-se, essencialmente, a participação do *CI* de cada setor em cada município sobre o *CI* estadual do setor correspondente, a fim de distribuir proporcionalmente os coeficientes técnicos associados com a matriz de consumo inter-setorial de São Paulo. O desenvolvimento seguinte demonstra a obtenção da matriz agregada de usos e recursos para cada município:

- i) inicialmente, obtém-se o vetor  $\underset{(1 \times n)}{\mathbf{CI}}$ , formado pelos elementos que correspondem ao consumo intermediário de cada setor *j* do Estado, sendo sua expressão dada pela soma nas colunas do consumo inter-setorial de São Paulo (considerando a Equação 9 para uma única região);
- ii) a obtenção do vetor das participações do *CI* de cada município *r* no total estadual, estabelecido por  $\underset{(1 \times n)}{\mathbf{pCI}^t}$ , é dada pela Equação 12;

$$\underset{(1 \times n)}{\mathbf{pCI}^t} = \underset{(1 \times n)}{\mathbf{CI}^t} \cdot \left( \underset{(n \times n)}{\hat{\mathbf{CI}}} \right)^{-1} \quad (12)$$

Sendo: *t* ∈ *r* regiões - municípios de São Paulo (*r* = 645);

$\mathbf{CI}^t$  o vetor correspondente aos valores dos consumos intermediários de cada setor em cada um dos municípios do Estado de São Paulo obtidos pela PAEP.

- iii) por fim, a matriz agregada de usos e recursos de cada município é dada pela Equação 13.

$$\underset{(n \times n)}{\sum_{s=1}^r \mathbf{Z}^{st}} = \left( \underset{(n \times n)}{\sum_{s=1}^r \sum_{t=1}^r \mathbf{Z}^{st}} \right) \cdot \left( \underset{(n \times n)}{\hat{\mathbf{pCI}^t}} \right)^{-1} \quad (13)$$

Essa seqüência de cálculos permite estimar a demanda setorial relacionada com o consumo intermediário de cada município, mas sob a forte hipótese de que os coeficientes técnicos de produção de cada região são proporcionais à média estadual<sup>4</sup>.

<sup>3</sup> Essa matriz corresponde a um sistema de 42 setores produtivos (Apêndice C) obtido para o Estado de São Paulo através do método apresentado pelo Banco da Amazônia (2002). A técnica de estimação baseia-se na desagregação dos dados estaduais a partir da matriz nacional brasileira, estimada conforme Guilhoto e Sesso Filho (2005a), e no emprego de dados sobre os fluxos interestaduais apresentados em Vasconcelos (2006).

<sup>4</sup> Esta hipótese significa que a tecnologia de produção de todos os municípios é semelhante à média estadual. Ou seja, uma empresa do setor A, em um município, consome os insumos provenientes do setor B, C e D na mesma proporção que a da média estadual, considerando todas as empresas que formam o setor A, no Estado. Por isso, os resultados deste modelo não devem ser empregados em análises que avaliam as diferenças tecnológicas da produção setorial entre os municípios.

Com o resultado da Equação 13, o primeiro elemento do lado direito da Equação 11 pode ser obtido e o segundo elemento, referente à demanda final, é constituído através do detalhamento dos dados da demanda final agregada estadual (  $Y$  ) para a escala municipal.

Para isso, utilizam-se diretamente os dados de outras bases estatísticas, além da PAEP. Os valores dos cinco vetores que formam a demanda final estadual foram distribuídos aos municípios de maneira proporcional, respeitando variáveis que correspondem exatamente ao tipo da demanda ou alguma *proxy*, conforme o Quadro 2.

<b>Tipo de Demanda Final</b>	<b>Variável existente por setor e por município</b>	<b>Observação do uso da variável municipal para detalhar o dado estadual</b>
Exportações	Exportações por município (BRASIL, 2007a).	Variável de correspondência direta com as exportações.
Consumo do Governo	Gastos da administração pública (SEADE, 2007).	Variável de correspondência direta com o consumo do governo.
Consumo das Famílias	População municipal estimada para 2002 (IBGE, 2007), junto à estrutura de consumo das famílias setorial da matriz de insumo-produto.	Variável utilizada como <i>proxy</i> da importância do consumo das famílias de cada município, junto aos dados da matriz.
Investimentos	Excedente Operacional Bruto - EOB deduzido do Valor Adicionado, presente na PAEP (Apêndice B)	A magnitude EOB setorial municipal foi utilizada como <i>proxy</i> , pois os setores com maior EOB têm mais possibilidades de investir.
Variação dos estoques	Valor Bruto da Produção - VBP, variável calculada pela PAEP (Apêndice B)	O VBP foi utilizado como <i>proxy</i> da variação dos estoques, por mensurar a quantidade total de recursos que passam pelo setor.

Quadro 2 - Variáveis utilizadas para detalhar a Demanda Final de São Paulo em escala municipal

Finalmente, os valores da oferta setorial ( $o_i^s$ ) e da demanda setorial ( $d_i^t$ ) para cada município podem ser obtidos. Resumidamente, o valor de  $o_i^s$  advém de informações sobre o *VBP* de cada setor produtivo em cada município, conforme a igualdade representada na equação 8. A obtenção de  $d_i^t$  é mais complexa, exigindo as considerações do modelo de Leontief-Strout, dados sobre o *CI* setorial municipal agregado, informações associadas à demanda final municipal e uma matriz de insumo-produto não regionalizada, mas que represente todas as regiões a serem consideradas.

### **2.2.3.3 Definição da variável utilizada na abordagem gravitacional como fator de impedância**

Através dos sistemas de informações geográficas é possível estimar custos de transporte ou outras variáveis que possam servir como fatores de atrito. No entanto, o cálculo dos custos de

transporte para avaliar o relacionamento inter-setorial entre regiões não é trivial, pois dois aspectos essenciais devem ser considerados: o primeiro refere-se à heterogeneidade e à questão do modo de transporte, e o segundo diz respeito a qual função e quais variáveis devam ser utilizadas na determinação dos custos.

O problema da heterogeneidade das atividades nos setores produtivos ocorre se duas ou mais atividades produtivas utilizam meios diferentes de transportes e estão agrupadas no mesmo setor da matriz de insumo-produto. Quanto à função e suas variáveis, Isard (1998) menciona que o custo pode ser considerado como distância, tempo ou valor monetário. Nos modelos de distribuição que usam a abordagem gravitacional, geralmente, procura-se determinar uma função de custo generalizada, na qual funções lineares são recomendadas e podem incorporar uma variável denominada penalidade modal. Esse parâmetro seria uma forma de se considerarem todas as variáveis de difícil dimensionamento, relativas aos tipos de transporte que as descrevem.

Neste trabalho, opta-se por considerar apenas um tipo de transporte para a maioria dos setores produtivos: o transporte rodoviário. As produções setoriais da extração, refino de petróleo e gás e também da siderurgia utilizam, em grande parte, outros tipos de transporte além do rodoviário e estão concentradas em poucos locais no Estado de São Paulo, por isso os relacionamentos desses setores podem ser tratados de maneira pontual.

Quanto à função de custo, sua medida é expressa pelo tempo, considerando a distância rodoviária, velocidade média, tipo de pavimento e a situação do trecho obtidos por meio do software *TransCad*® - *Caliper* (Sistema de Informações Geográficas aplicado aos transportes), sendo que a base de dados georreferenciada, que forma da rede rodoviária nacional, corresponde à da mesma empresa.

As diferenças de altitude entre origem e destino também são utilizadas, e para calculá-las, utilizam-se técnicas de interpolação dos pontos de medidas de altitude georreferenciadas, disponíveis na Base Cartográfica Integrada do Brasil ao Milionésimo Digital (IBGE, 1997).

Com o uso de todas essas informações, as medidas de tempo gasto para percorrer a menor rota de uma cidade ( $s$ ) a outra ( $t$ ) são obtidas e atribuídas como valor da variável  $c_i^{st}$ .

### 2.2.4 Estimação da matriz de insumo-produto inter-regional e inter-setorial municipal

Após a obtenção de  $o_i^s$ ,  $d_i^t$  e  $c_i^{st}$ , é possível, então, estimar os fluxos comerciais entre as regiões ( $f_i^{st}$ ) através da Equação 7. Nesse processo, os fatores de balanceamento do modelo gravitacional  $a^s$ ,  $b^t$  e  $\gamma$  podem ser estimados através de processos iterativos e de ajuste definidos em Ortúzar (2004) e Nanne e Heydecker (1998). Os procedimentos baseiam-se em métodos iterativos para busca dos melhores valores, podendo ser calibrados por informações auxiliares sobre a distribuição dos fluxos inter-regionais. Neste estudo, os algoritmos foram implementados e executados através do *software* matemático *Matlab® - MathWorks*.

Com os fluxos comerciais e os demais dados obtidos, é possível estimar a matriz de insumo-produto inter-regional, considerando as atribuições de um modelo multi-regional. O desenvolvimento a seguir, baseia-se nas técnicas apresentadas em Miller e Blair (1985) para montar a matriz inter-regional e a inversa de Leontief a partir dos fluxos comerciais entre as regiões, o consumo intermediário agregado e a demanda final também agregada.

A resolução da Equação 7 produz um conjunto de valores  $f_i^{st}$  que podem ser representados por matrizes de fluxos comerciais ( $\mathbf{F}_i$ ):

$$\mathbf{F}_i = \begin{bmatrix} f_i^{11} & \cdots & f_i^{1r} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ f_i^{s1} & \cdots & f_i^{sr} \end{bmatrix}$$

Sendo:  $s, t \in \mathbf{r}$  regiões ( $\mathbf{r} = 645$  regiões);

$i \in \mathbf{n}$  setores ( $\mathbf{n} = 42$  setores);

$f_i^{st}$  = fluxo comercial do produto  $i$  de  $s$  para  $t$  ( $\forall s, t$ ); ( $\forall i$ ).

A Equação 14 transforma as matrizes  $\mathbf{F}_i$  em matrizes de proporções de comércio  $\mathbf{P}_i$ , determinando a participação de cada produto usado em  $t$  proveniente de cada região  $s$ , sobre o total utilizado por  $t$ , inclusive  $t = s$ .

$$\mathbf{P}_i = \mathbf{F}_i \cdot \left( \mathbf{V} \cdot \mathbf{F}_i \right)^{-1} \quad (14)$$

Sendo:  $\mathbf{V}$  = vetor unitário =  $\begin{bmatrix} 1 & \cdots & 1 \end{bmatrix}$

Cada matriz  $\mathbf{P}_i$  é formada por elementos  $p_i^{st}$  que devem ser reorganizados em uma única matriz quadrada de comércio dada por  $\mathbf{G}$ , com dimensão  $\mathbf{n.r}$ .

$$\mathbf{G}_{(nr \times nr)} = \begin{bmatrix} \mathbf{G}^{11} & \dots & \mathbf{G}^{1t} & \dots & \mathbf{G}^{1r} \\ \vdots & \ddots & & & \vdots \\ \mathbf{G}^{s1} & & \mathbf{G}^{st} & & \mathbf{G}^{sr} \\ \vdots & & & \ddots & \vdots \\ \mathbf{G}^{r1} & \dots & \mathbf{G}^{rt} & \dots & \mathbf{G}^{rr} \end{bmatrix} \quad (15)$$

Sendo:  $\mathbf{G}^{st}$  = matrizes diagonais formadas por  $p_i^{st}$  (elemento da linha  $s$  e coluna  $t$  da matriz  $\mathbf{P}_i$ )

$$\mathbf{G}^{st}_{(n \times n)} = \begin{bmatrix} p_1^{st} & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & p_n^{st} \end{bmatrix}$$

Uma outra matriz ( $\mathbf{SZ}$ ) de mesma dimensão deve ser formada, utilizando as matrizes geradas na Equação 13 para formar a diagonal e as outras sub-matrizes devem ser nulas, como mostra a Equação 16.

$$\mathbf{SZ}_{(nr \times nr)} = \begin{bmatrix} \sum_{s=1}^r \mathbf{Z}^{s1} & \dots & \mathbf{0} & \dots & \mathbf{0} \\ \vdots & \ddots & & & \vdots \\ \mathbf{0} & & \sum_{s=1}^r \mathbf{Z}^{st} & & \mathbf{0} \\ \vdots & & & \ddots & \vdots \\ \mathbf{0} & \dots & \mathbf{0} & \dots & \sum_{s=1}^r \mathbf{Z}^{sr} \end{bmatrix} \quad (16)$$

Sendo:  $\sum_{s=1}^r \mathbf{Z}^{st}_{(n \times n)}$  = representação matricial das relações inter-setoriais, regionalmente agregadas, nas  $t$  regiões

Da mesma forma, a matriz relacionada com a demanda final ( $\mathbf{SY}$ ) também deve ser gerada com as informações do Quadro 2. Nesse caso, a dimensão dessa matriz depende do detalhamento requerido para a demanda final; se os 5 vetores estiverem separados, então, a dimensão da matriz será  $\mathbf{n.r} \times 5.\mathbf{r}$ , conforme a Equação 17.

$$\mathbf{SY}_{(nr \times 5r)} = \begin{bmatrix} \sum_{s=1}^r \mathbf{Y}^{s1} & \dots & \mathbf{0} & \dots & \mathbf{0} \\ \vdots & \ddots & & & \vdots \\ \mathbf{0} & & \sum_{s=1}^r \mathbf{Y}^{st} & & \mathbf{0} \\ \vdots & & & \ddots & \vdots \\ \mathbf{0} & \dots & \mathbf{0} & \dots & \sum_{s=1}^r \mathbf{Y}^{sr} \end{bmatrix} \quad (17)$$

Sendo:  $\sum_{s=1}^r \mathbf{Y}^{st}$  = matrizes com  $\mathbf{n}$  linhas e 5 colunas, que representam o quanto a demanda final de uma região  $t$  consome da produção de todas as outras  $s$  regiões, inclusive  $s = t$

Com as matrizes  $\mathbf{G}$ ,  $\mathbf{SZ}$  e  $\mathbf{SY}$ , a matriz de insumo-produto inter-regional pode ser criada com base na modelagem multi-regional, conforme as Equações 18 e 19.

$$\mathbf{ZR}_{(nr \times nr)} = \mathbf{G}_{(nr \times nr)} \cdot \mathbf{SZ}_{(nr \times nr)} \quad (18)$$

$$\mathbf{YR}_{(nr \times 5r)} = \mathbf{G}_{(nr \times nr)} \cdot \mathbf{SY}_{(nr \times 5r)} \quad (19)$$

Na qual  $\mathbf{ZR}$  é a matriz do Consumo Intermediário, que descreve tanto as relações inter-regionais como também as inter-setoriais e  $\mathbf{YR}$  é a Demanda Final detalhada para todos os setores em todas as regiões.

$$\mathbf{ZR}_{(nr \times nr)} = \begin{bmatrix} \mathbf{Z}^{11} & \dots & \mathbf{Z}^{1r} & \dots & \mathbf{Z}^{1r} \\ \vdots & \ddots & & & \vdots \\ \mathbf{Z}^{s1} & & \mathbf{Z}^{st} & & \mathbf{Z}^{sr} \\ \vdots & & & \ddots & \vdots \\ \mathbf{Z}^{r1} & \dots & \mathbf{Z}^{rt} & \dots & \mathbf{Z}^{rr} \end{bmatrix} \quad \mathbf{YR}_{(nr \times 5r)} = \begin{bmatrix} \mathbf{Y}^{11} & \dots & \mathbf{Y}^{1t} & \dots & \mathbf{Y}^{1r} \\ \vdots & \ddots & & & \vdots \\ \mathbf{Y}^{s1} & & \mathbf{Y}^{st} & & \mathbf{Y}^{sr} \\ \vdots & & & \ddots & \vdots \\ \mathbf{Y}^{r1} & \dots & \mathbf{Y}^{rt} & \dots & \mathbf{Y}^{rr} \end{bmatrix}$$

Com essas etapas, chega-se então ao sistema apresentado, inicialmente, na Figura 1. No caso da matriz intermunicipal de São Paulo, os vetores  $\mathbf{I}$  (importações),  $\mathbf{T}$  (impostos),  $\mathbf{V}$  (valor adicionado) e  $\mathbf{X}$  foram previamente obtidos por meio da PAEP e de outras bases estatísticas. Mas, em outros usos os valores referentes a  $\mathbf{T}$  poderiam estar associados a  $\mathbf{Z}$ , ou seriam obtidos pela proporcionalidade do  $CI$ , enquanto o vetor  $\mathbf{V}$  seria obtido pela diferença do  $CI$  pela produção total.

Por fim, a matriz inversa de Leontief, que embasa as análises de impacto e outras técnicas da teoria de insumo-produto, pode ser obtida mediante o uso dos coeficientes técnicos da matriz de Consumo Intermediário, como mostra a Equação 20.

$$\mathbf{IL}_{(nr \times nr)} = \left( \mathbf{I}_{(nr \times nr)} - \mathbf{AR}_{(nr \times nr)} \right)^{-1} \quad (20)$$

Sendo:  $\mathbf{AR}_{(nr \times nr)} = \mathbf{ZR}_{(nr \times nr)} \cdot \left( \hat{\mathbf{XR}}_{(nr \times nr)} \right)^{-1}$  ;

$\mathbf{AR}_{(nr \times nr)}$  = matriz de coeficientes técnicos inter-regional inter-setorial;

$$\mathbf{XR}_{(nr \times 1)} = \left( \mathbf{ZR}_{(nr \times nr)} \cdot \mathbf{V}'_{(nr \times 1)} \right) \cdot \left( \mathbf{YR}_{(nr \times 5r)} \cdot \mathbf{V}'_{(nr \times 1)} \right);$$

$\mathbf{XR}_{(nr \times nr)}$  = vetor de produção total - soma nas linhas de  $\mathbf{ZR}$  e  $\mathbf{YR}$ ;

$\mathbf{V}_{(1 \times nr)}$  = vetor unitário.

### 2.3 Resultados

Este trabalho fundamenta-se no processo de estimação de uma matriz de insumo-produto intermunicipal, por isso seu resultado caracteriza-se no sistema formado por essas informações. No entanto, a dimensão matricial obtida é bastante grande, compondo-se de mais de 43 milhões de elementos <sup>5</sup>, fato que dificulta a visualização dos resultados por meio de tabelas ou gráficos.

Mas, se por um lado a grande quantidade de regiões torna difícil a avaliação dos resultados, por outro ela permite o uso de ferramentas que utilizam o espaço, como o geoprocessamento.

Dessa forma, os itens seguintes pretendem demonstrar por meio de imagens os principais resultados, sendo que, no primeiro item, se analisa a alocação das produções e demandas setoriais dos sete principais grupos de atividades produtivas (agricultura, extração, indústria, construção civil, comércio, serviços e serviços de utilidade pública) nas regiões administrativas RAs do Estado de São Paulo.

O segundo item apresenta as estimativas dos multiplicadores de produção, determinando como cada região é capaz de reter ou permitir o vazamento de recursos para outras regiões.

---

<sup>5</sup> O sistema foi previamente calculado considerando os 42 setores produtivos, mas foi agrupado em 8 grupos setoriais para facilitar a compreensão dos dados. Além disso, há 5 tipos de demanda final para os 645 municípios de São Paulo, determinando uma matriz  $\mathbf{ZR}$  quadrada com 5160 linhas e colunas e uma matriz  $\mathbf{YR}$  com o mesmo número de linhas e 3225 colunas.

No terceiro item, as relações inter-regionais são interpretadas de acordo com o consumo das famílias, possibilitando a visualização hierárquica das cidades e a identificação de centros polarizadores regionais. Por fim, o quarto item exemplifica como esses resultados podem ser utilizados na definição de planos estratégicos de redução da desigualdade regional, tendo em vista a distribuição espacial do montante per capita de recursos gastos com o Programa Bolsa Família nos municípios de São Paulo.

Os quatro itens não esgotam a grande quantidade de informações que podem ser extraídas de uma matriz intermunicipal georreferenciada, não evidenciado assim as falhas que podem estar presentes, mas através deles é possível discutir a qualidade das principais informações geradas.

Antecedendo as avaliações, a Figura 2 apresenta a localização das regiões administrativas - RAs que dividem os municípios paulistas em 15 grupos, posicionando também as principais vias de acesso no interior de São Paulo. Esses mapas servem de referência para as considerações tomadas a seguir.

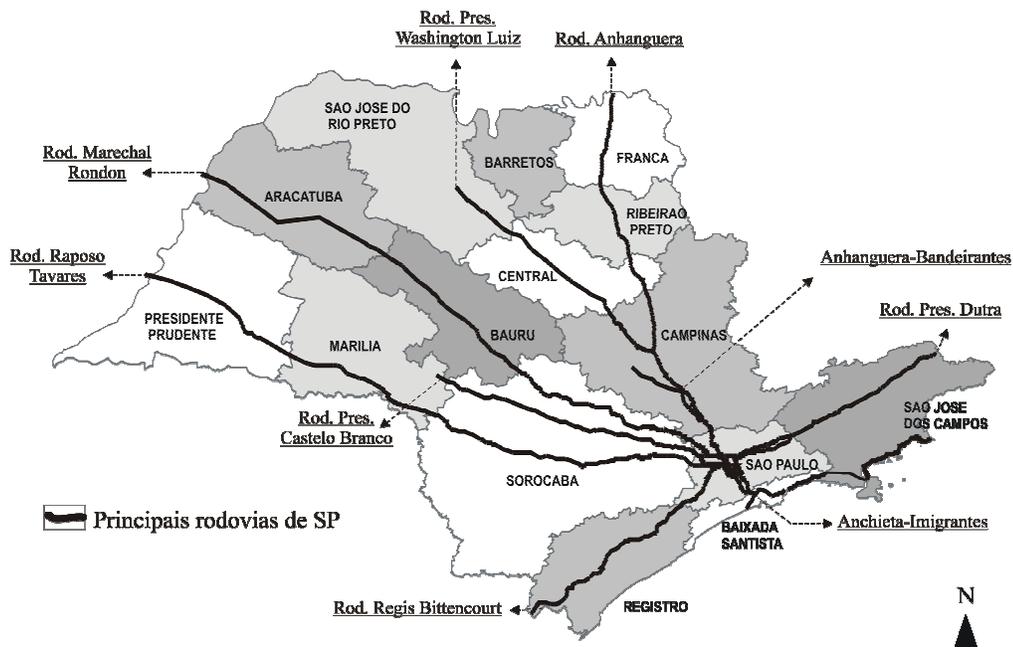


Figura 2 - Regiões Administrativas, principais rodovias de São Paulo, ferrovias, dutovias e hidrografia de São Paulo

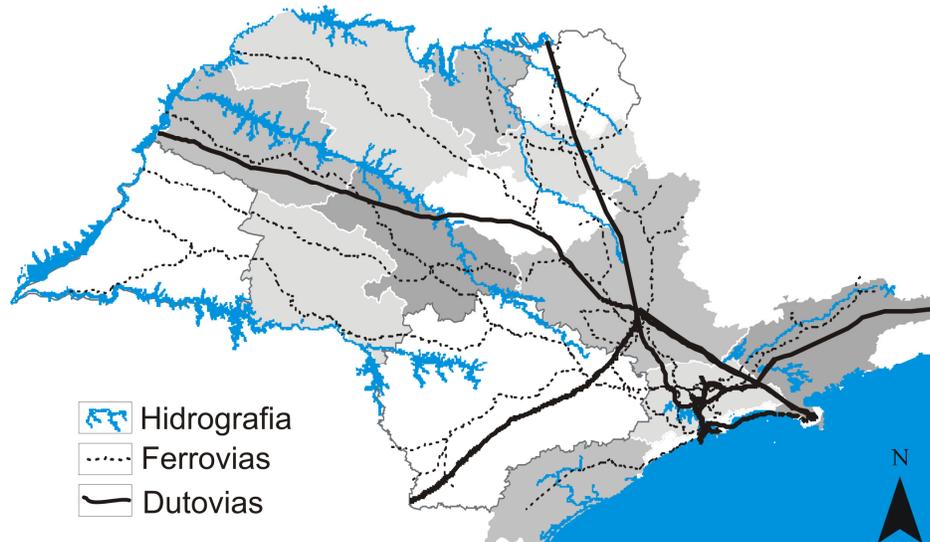


Figura 2 – Regiões Administrativas, principais rodovias de São Paulo, ferrovias, dutovias e hidrografia de São Paulo (continuação)

### 2.3.1 Distribuição regional da produção

As Figuras de 3 a 6 identificam as principais regiões de oferta e demanda relativas aos setores avaliados. Dos cinco mapas que compõem cada figura, os dois superiores foram criados por meio de interpolação<sup>6</sup> dos pontos referentes às sedes municipais, separando em classes o potencial de oferta<sup>7</sup> e demanda<sup>8</sup>. Os três mapas inferiores demonstram linhas de desejo que caracterizam os principais fluxos intermunicipais de acordo com um volume mínimo estabelecido para serem mais facilmente visualizadas, em milhões de reais de 2002.

Inicialmente, na Figura 3, a oferta da produção agropecuária é bastante concentrada nas RAs do nordeste do Estado (Campinas, Barretos, Central e Ribeirão Preto), mas a demanda é mais difusa, estabelecendo-se também na região metropolitana de São Paulo e suas adjacências.

<sup>6</sup> Interpolação de pontos usando a ponderação pelo inverso da distância ou método de Shepard.

<sup>7</sup> Valor da produção que é ofertada para o próprio município e para os demais, dentro do Estado.

<sup>8</sup> Valor da demanda de cada município, proveniente dos demais municípios paulistas, incluindo tanto a demanda do consumo intermediário quanto a da demanda final.

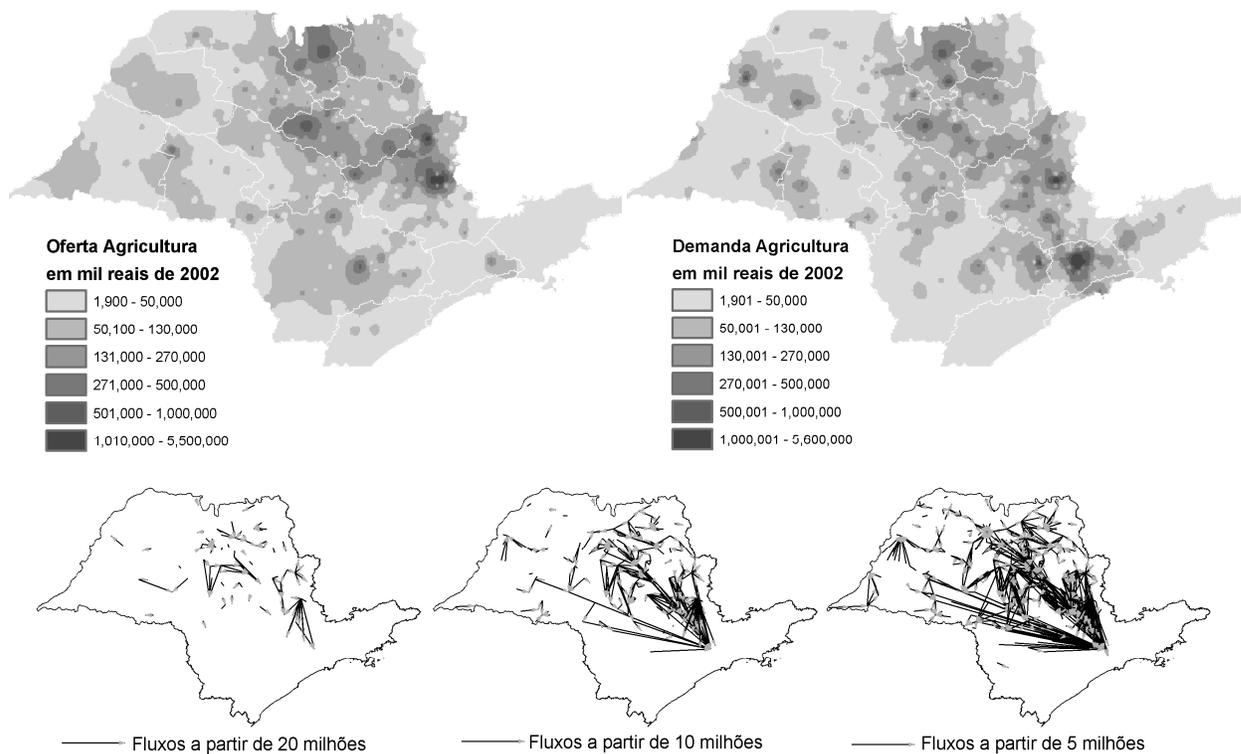


Figura 3 - Oferta e demanda do setor agropecuário e seus principais fluxos inter-regionais

Os três principais tipos de produção agropecuária do Estado são: cana-de-açúcar, bovinocultura de corte e a citricultura. A oferta das regiões de Barretos e Ribeirão Preto é gerida basicamente pelos canaviais e sua demanda é local, determinada pela indústria sucro-alcooleira. A cana é o cultivo mais importante para diversos outros municípios de São Paulo, especialmente nas regiões Central (ex. Araraquara) e de Campinas (ex. Limeira, Piracicaba), nas quais divide sua importância com a cadeia produtiva da citricultura, que também depende de um pátio industrial próximo às plantações, para reduzir custos de transporte da matéria-prima.

Muitos fluxos econômicos não aparecem nos mapas inferiores da Figura 3, pois os locais de oferta e demanda estão localizados nos mesmos municípios ou são bastante próximos. Quando o limite para a visualização dos fluxos é reduzido, observa-se a intensificação das transações entre os municípios das regiões mencionadas e para a capital. Nos fluxos acima de 5 milhões, terceiro mapa inferior, também aparecem as movimentações do noroeste paulista, destinado a locais importantes da indústria frigorífica de carne bovina. Ao mesmo tempo, os principais municípios ofertantes dirigem seus produtos agropecuários para o abastecimento das indústrias e consumo da

população na região metropolitana de São Paulo, cuja oferta é pequena em termos de valores e voltada para a produção de hortifrutigranjeiros.

Avaliando-se, agora, na Figura 4, a oferta de produtos industrializados e a demanda por produtos industrializados (isso exclui a demanda da indústria pela produção agrícola, extrativa, serviços, etc.) nota-se, claramente, que a distribuição de ambas é estabelecida por dois sentidos que partem da capital e rumam para os Estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro, através dos eixos formados pela Rodovia Anhanguera e Dutra, respectivamente.

Os mapas de oferta e demanda da Figura 4 possuem as mesmas classificações de cores, assim é possível destacar que existem diferenças entre a oferta e a demanda dos produtos industrializados nas RAs do interior. Isso está associado principalmente à agroindústria que oferta produtos industrializados, mas sua demanda depende, basicamente, da produção agropecuária.

Nas RAs de Campinas (especificamente na cidade de Campinas), São Paulo e São José dos Campos, a demanda por produtos industrializados torna-se maior, dada a proximidade com os principais centros urbanos do Estado e da capital. Pela proximidade aos centros consumidores, as indústrias que produzem e também consomem bens manufaturados foram estabelecidas, respeitando os conceitos teóricos sobre os pólos de atração da economia regional.

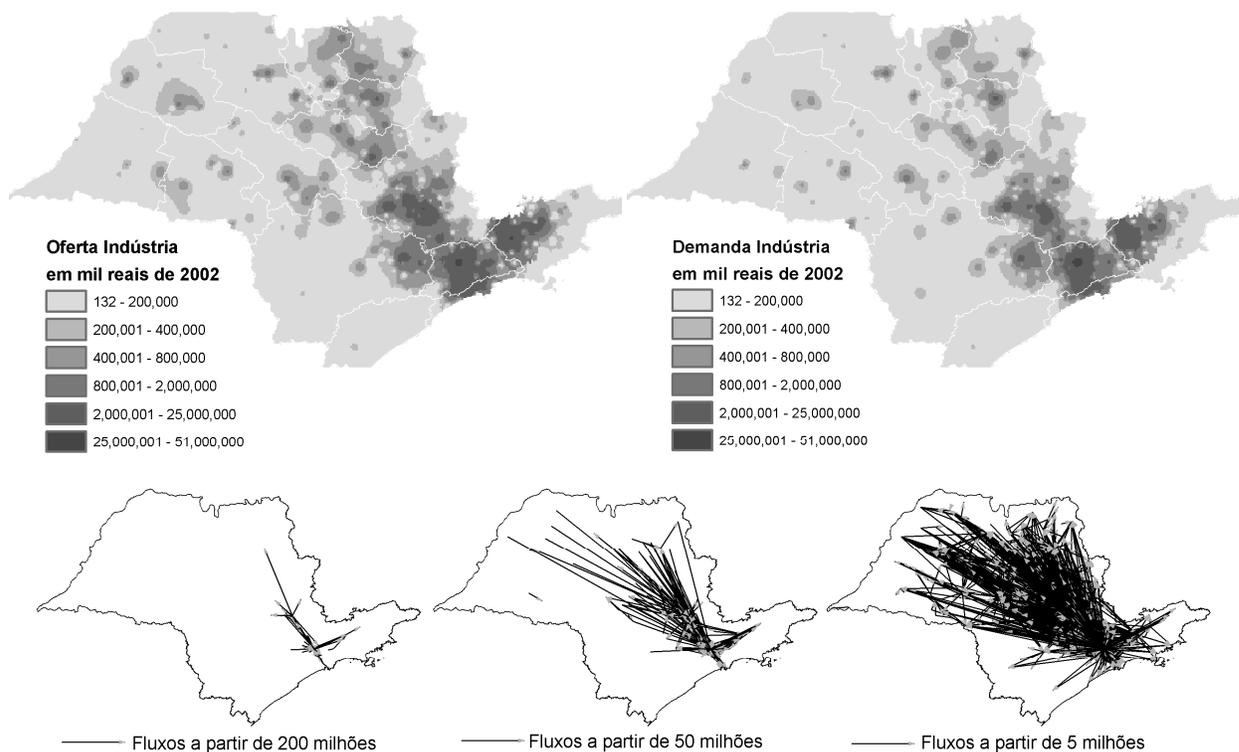


Figura 4 - Oferta e demanda do setor da indústria e seus principais fluxos inter-regionais

O primeiro mapa inferior da Figura 4 apresenta apenas as transações maiores, demonstrando a grande movimentação de produtos industrializados entre São Paulo e grandes cidades próximas (como Osasco, Guarulhos, Diadema e cidades do ABC paulista) e mais distantes (Campinas, Santos e São José dos Campos). À medida que o limite mínimo do valor dos fluxos decresce, avalia-se o aumento expressivo da interação dos municípios presentes no eixo do complexo rodoviário Anhanguera-Bandeirantes com os demais municípios de todo o Estado, cujo sentido dos fluxos se voltam para o interior, de maneira oposta ao que é apresentado sobre os fluxos do setor agropecuário (terceiro mapa inferior da Figura 3).

É importante destacar que os fluxos com maior valor representam a transação entre as cidades mais industrializadas e que têm maior quantidade de pessoas, sendo que as ligações de menor valor, basicamente, são determinadas pelo abastecimento das pequenas cidades com produtos manufaturados. No entanto, essas linhas apenas fazem a ligação direta entre o vendedor inicial e o comprador final, não representando as cidades por onde a produção efetivamente passa, ou seja, não são apresentadas as cidades intermediárias que fazem a comercialização desses produtos.

Uma forma de se avaliar por onde a produção passa pode ser obtida através do estudo do setor de comércio, sendo que o produto gerado por ele é a própria margem de comércio. Um produto produzido em uma cidade A e chega ao seu destino em C, mas antes foi comprado e revendido por B, deixa em B a margem de comércio que foi necessária para intermediar sua transação.

Ao avaliar o setor de comércio na Figura 5, observa-se que os principais locais de demanda e oferta de comércio são parecidos. Nesse contexto, em que a oferta é mais forte, a tendência para a exportação de produtos para outras regiões é maior e o inverso ocorre para a demanda.

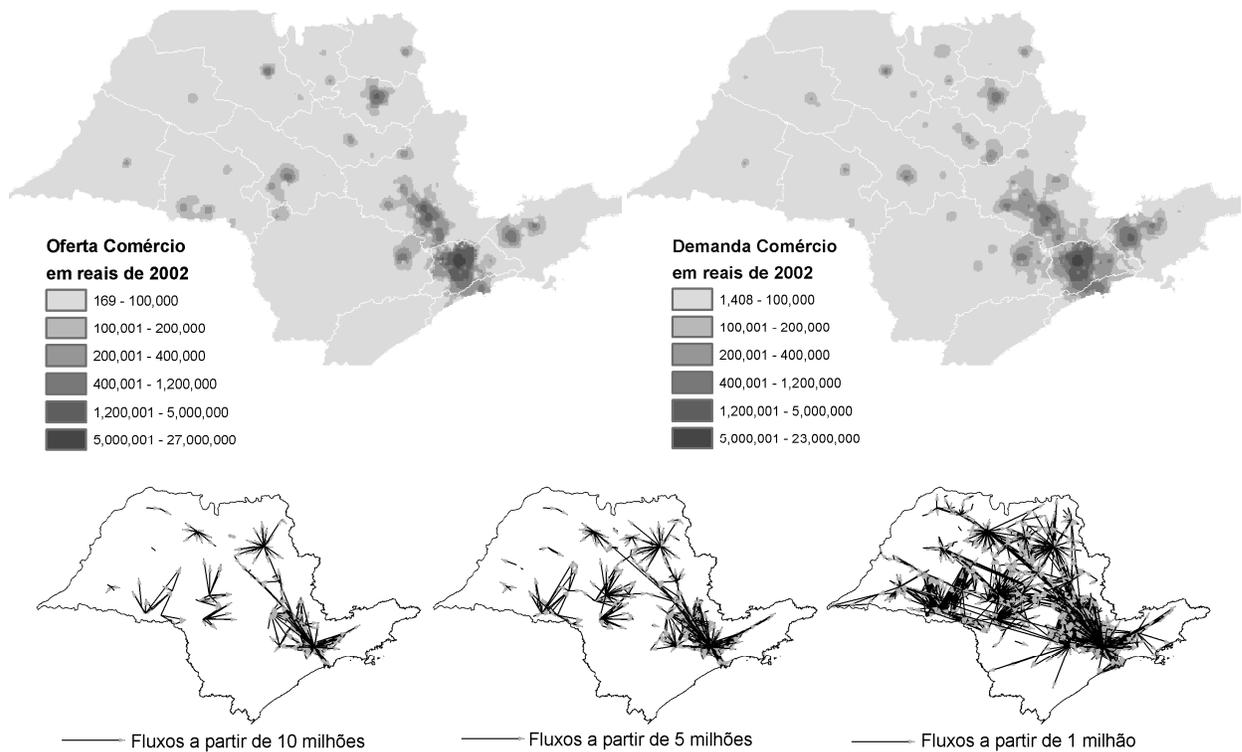


Figura 5 - Oferta e demanda do setor de comércio e seus principais fluxos inter-regionais

Os locais mais escuros tanto para a demanda como para oferta (última classificação) em geral são exportadores para as outras cidades. Esse aspecto se torna nítido quando os fluxos representados nos mapas inferiores são observados.

Com o limite a partir de 5 milhões (valor apenas atribuído à margem de comércio), diferentemente do observado para o mesmo nível nos mapas anteriores, é possível identificar as principais cidades que polarizam o comércio do interior do Estado. Nesse caso, as cidades centrais de uma região específica são identificadas pela quantidade que comercializam, podendo não ser representativas do ponto de vista da produção industrial, agrícola, extrativa ou de serviços, mas sim do seu posicionamento estratégico para o abastecimento de cidades menos expressivas distantes dos grandes centros próximos à região metropolitana de São Paulo.

De maneira semelhante à disposição da oferta e demanda de comércio, a oferta dos serviços desenvolve-se nos locais onde há demanda, conforme os mapas da Figura 6. Em alguns locais, onde a produção é maior, esse tipo de produção é exportada para os demais municípios, possibilitando também a identificação de pólos regionais. Entretanto, a diferença estrutural com o

comércio pode ser observada pelo tamanho da área de abrangência, que são maiores no caso dos serviços, na qual um centro polariza a demanda por serviços de cidades mais distantes.

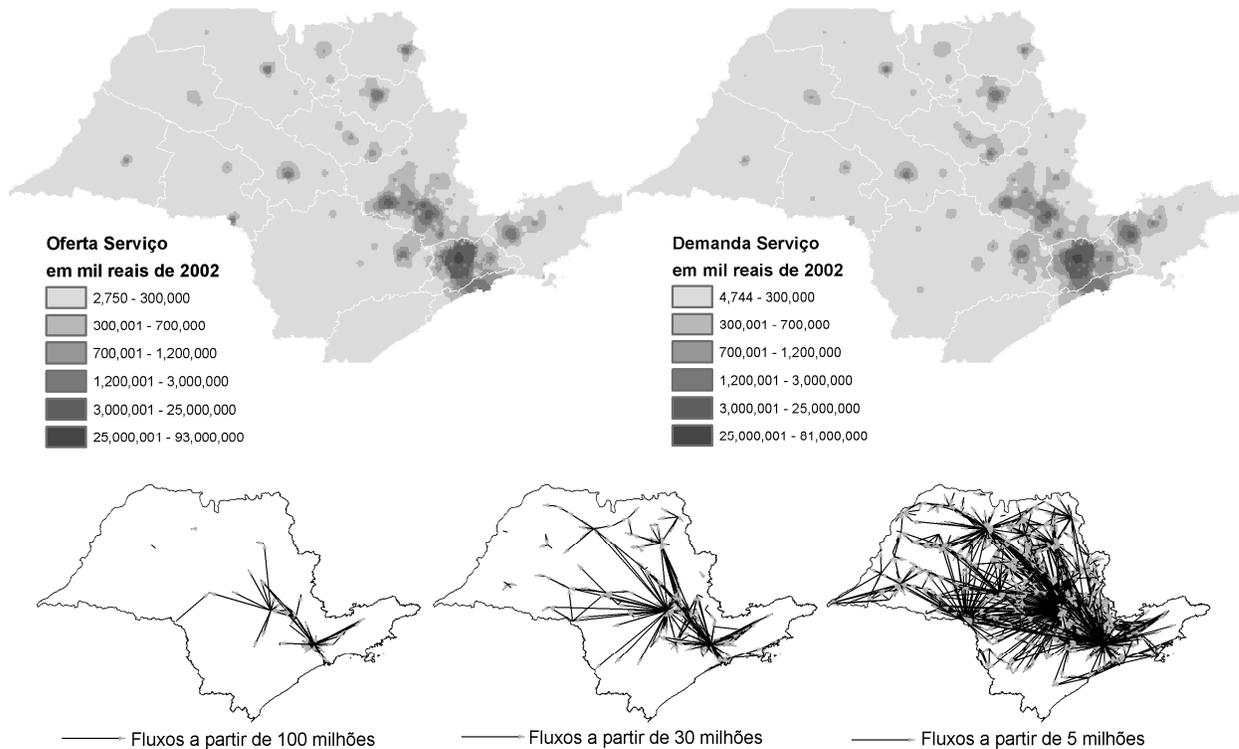


Figura 6 - Oferta e demanda do setor de serviços e seus principais fluxos inter-regionais

As maiores áreas de abrangência são explicadas através do fato de que muitos serviços prestados às famílias são obtidos dentro da própria cidade e, por isso, não são representados nos mapas (como cabeleireiro, serviços domésticos, etc.). Isso determina que os fluxos intermunicipais desse setor sejam compostos essencialmente pelos serviços prestados às empresas e outros tipos de atividades mais específicas (especialidades médicas, cursos superiores, serviços autorizados de mecânica e eletro-eletrônicos), que não podem existir em qualquer local sem que haja uma demanda mínima.

Os quatro grupos setoriais apresentados: indústria, serviços, agropecuária e comércio abrangem a maior parte da economia do Estado de São Paulo, sendo que os outros três grupos que complementam esta análise são apresentados pelas Figuras 7 a 9 de maneira mais sucinta, mas com as mesmas informações básicas das análises anteriores.

Os serviços de utilidade pública - SIUP - são constituídos principalmente pelos serviços de fornecimento de energia elétrica, água, esgoto e gás. Em geral, as atividades de abastecimento de

água, tratamento de esgoto, distribuição de gás e distribuição de energia elétrica são produzidas pelos próprios municípios que os consomem, estando proporcionalmente relacionados com o tamanho da economia atendida.

A exploração e produção de gás fazem parte do setor da indústria de extração de petróleo e gás, por isso apenas a geração e a transmissão de energia elétrica ganham destaque nos fluxos inter-municipais do setor de SIUP.

Os mapas da Figura 7 destacam as áreas de oferta e demanda desse setor que em geral, estão associadas aos grandes centros urbanos. As diferenças entre os dois primeiros mapas correspondem aos municípios onde estão localizadas as principais unidades de produção e transmissão de energia elétrica localizadas, em sua maioria, próximas aos principais rios presentes no Estado (Figura 2). Os principais fluxos observados no mapa, à direita da Figura 7, partem das usinas de Ilha Solteira e Jupuí no Rio Paraná em direção às RAs de Campinas e São Paulo.

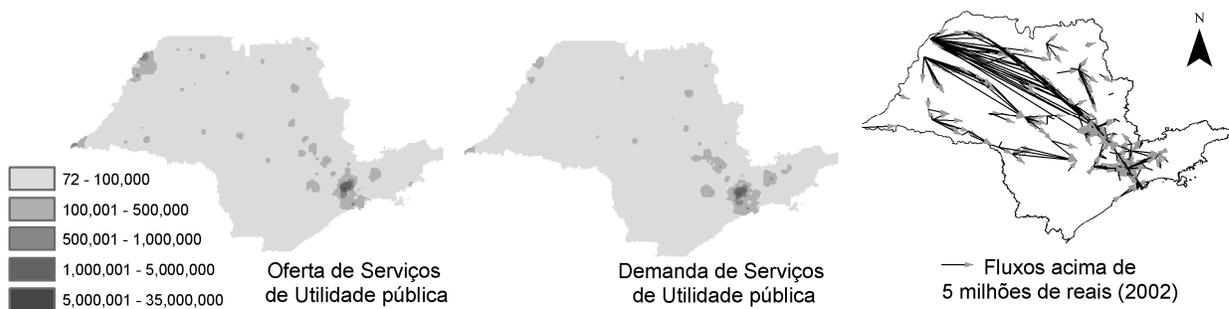


Figura 7 - Oferta e demanda do setor de serviços de utilidade pública e seus principais fluxos inter-regionais

Embora esses fluxos pareçam razoáveis, eles foram estabelecidos, neste estudo, utilizando critérios de tempo e distância entre os municípios no modelo de otimização apresentado na metodologia, mas poderiam ser bastante melhorados pelo uso dos dados sobre as linhas de transmissão. Como poucas empresas operam no setor energético, esse tipo de informação pode ser mais facilmente reunido, mas isso depende da política que cada empresa adota no fornecimento desses dados.

O setor de extrativismo que explora e produz petróleo e gás não é significativo dentro do Estado de São Paulo, mas o setor de refino que demanda por esses produtos é bastante presente nos municípios de Paulínia, Cubatão e São José dos Campos, justificando as manchas escuras do mapa de demanda da Figura 8, respectivamente, nas RAs de Campinas, Baixada Santista e São

José dos Campos. Nessas duas últimas RAs mencionadas e também na de São Paulo, localizam-se indústrias que usam como insumos produtos provenientes do extrativismo de minerais ferrosos.

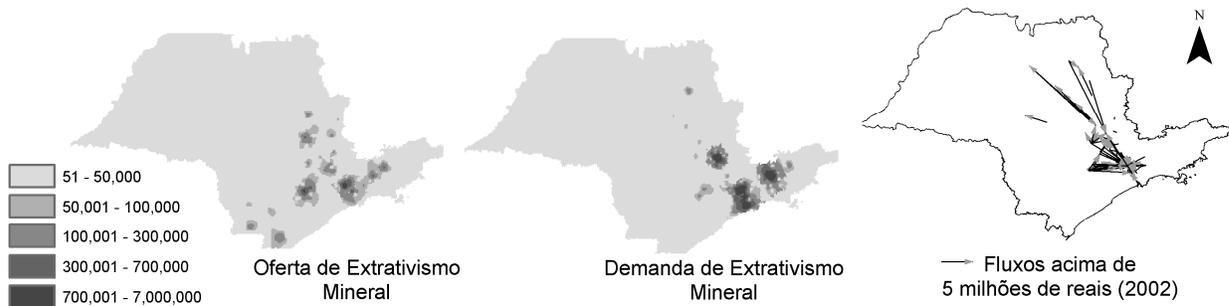


Figura 8 - Oferta e demanda do setor de extrativismo mineral e seus principais fluxos inter-regionais

No caso da oferta da indústria extrativa em São Paulo, grande parte da produção é devida à exploração de minerais não ferrosos das áreas destacadas nas RAs de Sorocaba e Campinas, como mostra o mapa de oferta. Essas unidades de exploração alimentam as indústrias de cimento e outras relacionadas com a construção civil, explicando os fluxos apresentados no mapa à direita da Figura 8. Os fluxos relativos ao abastecimento das refinarias de petróleo e das siderúrgicas não são representados, pois dependem da produção extrativa existente em outros Estados.

O último setor, descrito nesse tópico, é o da construção civil apresentado na Figura 9.



Figura 9 - Oferta e demanda do setor da construção civil e seus principais fluxos inter-regionais

Na Figura 9, é possível verificar que as áreas de oferta, demanda e, também, por onde os fluxos passam, correspondem aos eixos mais desenvolvidos associados às imediações das rodovias Anhanguera e Presidente Dutra.

A localização da oferta e demanda da construção civil depende dos locais em desenvolvimento. No entanto, relembra-se que a matriz obtida neste estudo refere-se ao ano de 2002, por isso esse é retrato estático da produção desse período.

Embora todos os setores já estivessem bastante desenvolvidos nesses eixos, como observado nas figuras anteriores, ainda assim, seria possível inferir que essas regiões estavam em processo de expansão, avaliando-se os dados sobre a construção.

Mas esse fato não causa surpresa, pois o crescimento econômico de uma região depende de uma série de fatores e um deles está relacionado com a diversificação da produção. Municípios que têm uma oferta pouco diversificada dependem da importação dos produtos de outros lugares para atender sua demanda, por isso, o crescimento de locais menos desenvolvidos promove também o avanço das regiões com maior capacidade ofertante.

Mesmo que toda a economia do Estado se desenvolva, os eixos economicamente mais proeminentes, formados pelas rodovias Anhanguera e Pres. Dutra, terão um crescimento ainda maior, devido ao fenômeno da concentração da riqueza, que pode ser estudado por meio dos multiplicadores de produção, no item seguinte.

### **2.3.2 Multiplicadores de produção setorial**

Além da avaliação setorial de oferta e demanda e do sentido dos fluxos econômicos, é possível realizar, de forma direta, outros tipos de análises com base nos dados de uma matriz intermunicipal. A Equação 20 demonstra o cálculo da matriz inversa de Leontief, cujos elementos podem ser somados, resultando nos multiplicadores de produção intra e intermunicipais.

O multiplicador descreve o quanto é gerado, direta e indiretamente, em toda a economia para se produzir uma nova unidade de cada produto setorial. Dessa forma, esse índice pode ser agrupado no que é gerado dentro da própria região e o que é gerado fora dela.

Os mapas da Figura 10 apresentam, em classes, o percentual do multiplicador de produção que é retido dentro do próprio município de acordo com quatro tipos de produção setorial (agropecuária, indústria, comércio e serviços).

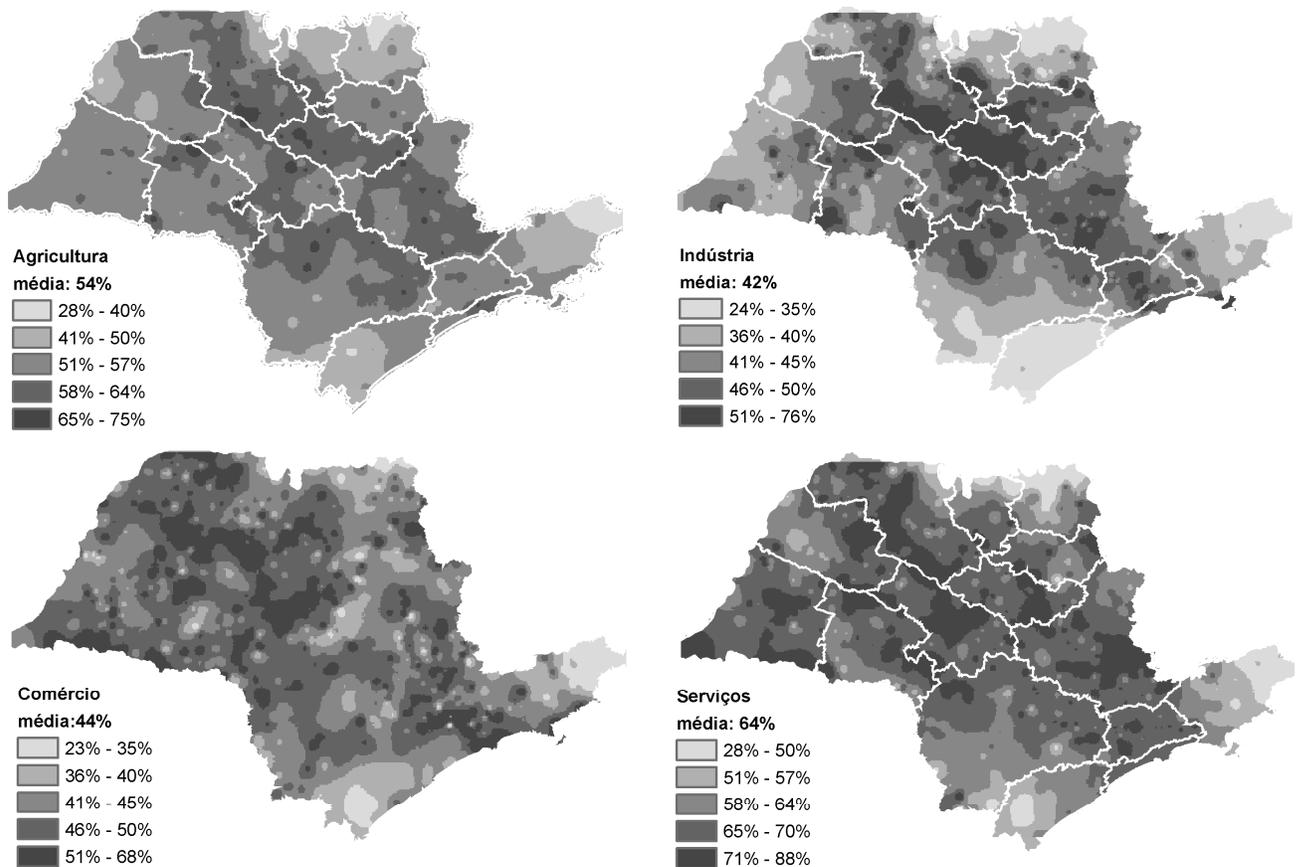


Figura 10 - Percentual do efeito multiplicador da produção retido dentro do próprio município

As regiões com percentuais maiores representam economias que têm um maior nível de interação entre si. Em geral, elas possuem produções mais diversificadas capazes de suprir grande parte da demanda por meio da produção local.

Assim, se incentivos econômicos forem dados a esses municípios, a tendência é que grande parte da riqueza gerada fique concentrada neles próprios. Inversamente, os municípios nas áreas mais claras têm pouca interação interna (intraregional) e muita dependência das relações inter-regionais, pois necessitam da produção de outros locais para seu abastecimento.

Pela análise da Figura 10, os grupos setoriais da agricultura e serviços têm maior capacidade de fixar o efeito multiplicador nos próprios municípios, em média, sendo que os setores industriais são muito mais dependentes das transações inter-regionais.

Especialmente no mapa referente à indústria, há uma nítida distinção de regiões mais claras observadas no sudeste<sup>9</sup> e nordeste<sup>10</sup> do Estado. De maneira mais sutil, essas regiões também são representadas por áreas claras nos outros mapas, destacando o grande “vazamento” do efeito multiplicador de suas economias para outras regiões.

Os efeitos multiplicadores não dependem, primordialmente, da magnitude do valor da produção presente em cada município, pois são números que derivam dos coeficientes técnicos de produção. Entretanto, como se pode observar nas Figuras 3 a 9, essas regiões também são pouco desenvolvidas em todos os setores (exceto no extrativismo).

Por isso, o potencial de retenção do efeito multiplicador da produção é baixo, não apenas nesses municípios, mas também em suas respectivas regiões adjacentes.

### **2.3.3 Centros de polarizadores do consumo das famílias**

Nas Figuras 3 a 9, apenas os principais fluxos (em termos de valor para todo o Estado) são apresentados, excluindo, assim, os das regiões mais menos desenvolvidas como a do Vale do Ribeira, cujos fluxos são extremamente pequenos se comparados aos das regiões mais industrializadas.

Uma forma de entender o relacionamento em todas as regiões é ordenar os fluxos e, posteriormente, apresentar apenas o mais importante para cada município. Assim é possível representar ao menos uma ligação para cada cidade.

A Figura 11 apresenta apenas essa ligação principal, considerando os fluxos do setor de comércio destinados ao consumo das famílias, entre os municípios mais ofertantes e os demais. Essa estrutura permite identificar os centros polarizadores e as cidades abrangidas.

Trabalhos como a Região de Influência das Cidades – REGIC (IPEA, 2002) e a Proposta para um Brasil Regionalizado (BRASIL, 2007c) já determinaram hierarquias e cidades pólos para todo o Brasil, utilizando métodos bastante diferentes e que consideram outras variáveis além de dados apenas econômicos.

---

<sup>9</sup> Eixo no sentido sul da rodovia Regis Bittencourt em direção ao interior do Estado, região do Vale do Ribeira.

<sup>10</sup> Eixo no sentido da rodovia Pres. Dutra, próximo ao Estado do Rio de Janeiro, parte norte do Vale do Paraíba paulista.

Assim, este estudo não procura comparar a Figura 11 com os resultados dos trabalhos mencionados, mesmo porque essa estrutura apresenta apenas uma classificação ordinal entre a demanda por comércio das famílias de cidades mais fracas e a produção das mais fortes.

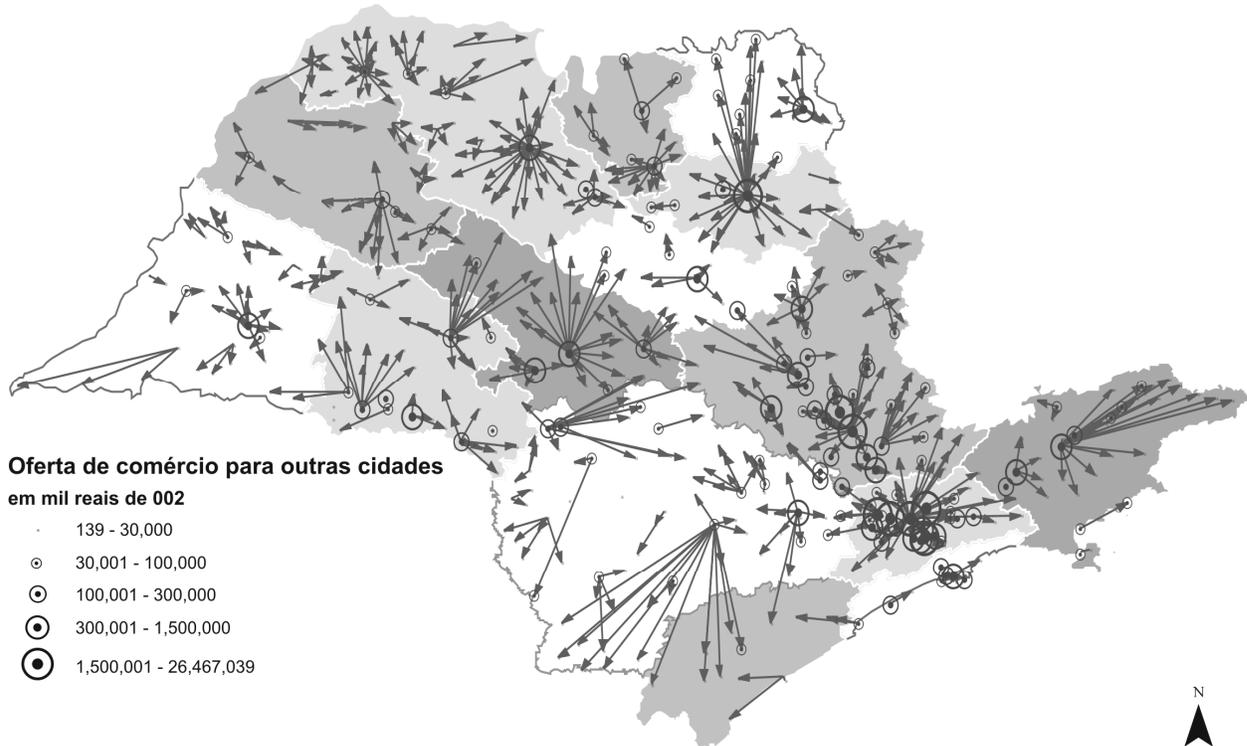


Figura 11 - Principais municípios ofertantes de comércio e municípios abrangidos

No entanto, ressalta-se que esse tipo de informação pode subsidiar estudos futuros que pretendem incluir o relacionamento econômico inter-setorial da matriz de insumo-produto na definição hierárquica entre as cidades, ou seja, diferentes apresentações de cidades polarizadoras podem ser definidas considerando cada tipo de produção e/ou demanda setorial.

### 2.3.4 Considerações sobre a redução da desigualdade regional

Todos os tópicos anteriores procuram descrever os principais resultados encontrados através da estimação de uma matriz de insumo-produto para o Estado de São Paulo, procurando-se avaliar aspectos da geografia econômica paulista. Nesse tópico, procura-se fazer uso das análises anteriores para propor uma medida localizada de redução da desigualdade regional, exemplificando um possível uso de uma matriz de insumo-produto intermunicipal.

Muitas vezes, a desigualdade regional está associada à desigualdade social, na qual regiões com economias menos desenvolvidas também têm as populações com menor renda.

Utilizando os dados do Ministério do Desenvolvimento Social (BRASIL, 2007b) sobre a distribuição municipal do montante gasto pelo Programa Bolsa Família - PBF<sup>11</sup>, a Figura 12 demonstra as áreas referentes aos gastos por habitante. Novamente as áreas que se destacam são cidades do Vale do Ribeira e algumas do Vale do Paraíba.

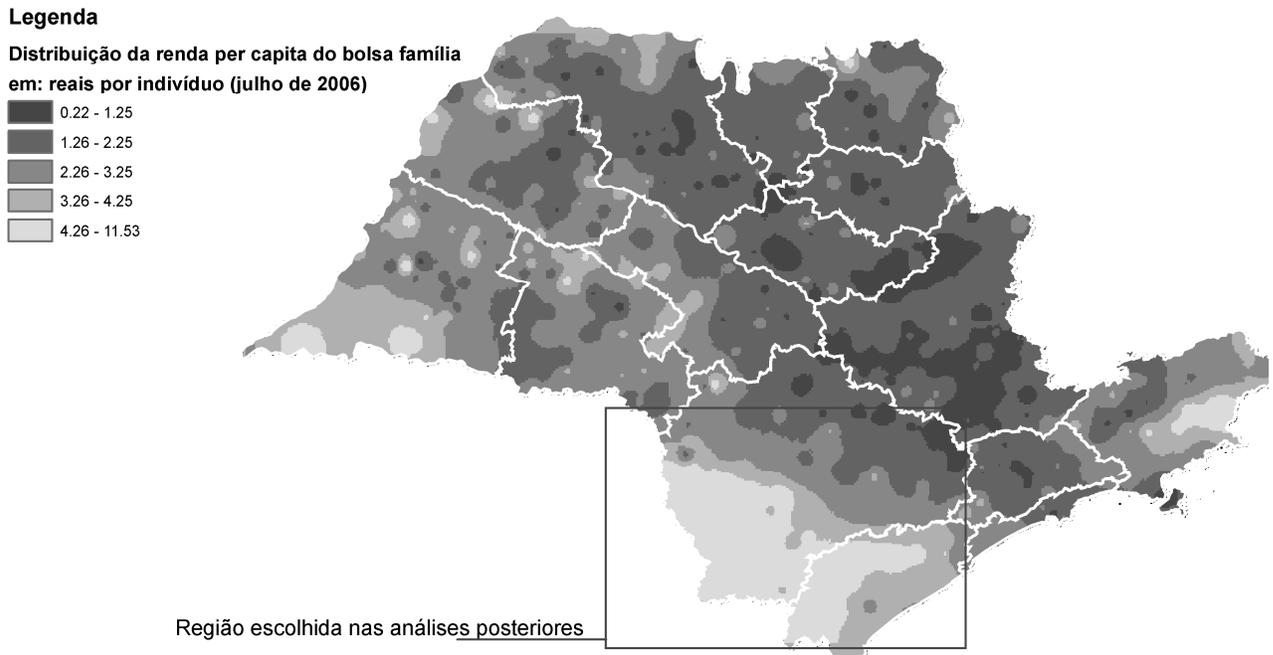


Figura 12 - Distribuição dos recursos do Programa Bolsa Família por habitante no Estado de SP

A Figura 12 não tem como objetivo apresentar as áreas onde as transferências com o PBF são maiores e sim as áreas nas quais a população pobre é relativamente maior em relação à população total. Somente nas três cidades mais populosas do Estado: São Paulo, Guarulhos e Campinas, o montante de transferência por meio do PBF foi de 25.7% do total destinado ao Estado (cerca de 61.4 milhões de reais em julho de 2006), mas considerando esse volume dividido pela população total, o gasto per capita foi de cerca de R\$ 1.20 por indivíduo, segundo a estimativa da população em 2006 (IBGE, 2007). Ao mesmo tempo, os municípios da região do Vale do Ribeira, anteriormente apontada como a menos desenvolvida no Estado, têm índices de transferência 4 a

<sup>11</sup> O Programa Bolsa Família - PBF é um programa condicional de transferência direta de renda do Governo Federal. Seu objetivo é assegurar um benefício mensal às famílias "pobres" (com renda mensal por pessoa de R\$ 60 a R\$ 120) e "extremamente pobres" (com renda mensal por pessoa abaixo de R\$ 60), segundo (BRASIL, 2007b).

10 vezes maiores por habitante, demonstrando uma população relativamente mais dependente do programa assistencialista.

Dentre as metas a serem alcançadas pelo PBF, encontra-se: “a promoção do alívio imediato da pobreza” (BRASIL, 2007b), o que o caracterizaria como um programa emergencial, mas não permanente. Mas, se medidas conjuntas de desenvolvimento socioeconômico não forem tomadas, além de se tornar realmente permanente, o PBF talvez tenha que ser ainda expandido, determinando um gasto público cada vez maior para esse fim e um volume cada vez menor de recursos para a melhoria da infra-estrutura, essencial ao crescimento econômico.

Espera-se que a solução não seja cortar bruscamente os recursos do programa, mas, sim, fortalecer o desenvolvimento e melhorar a distribuição de renda, de modo que as pessoas pobres e extremamente pobres deixem de receber o benefício por saírem dessa categoria.

Dentro desse contexto, os conceitos sobre o “vazamento” de recursos e os centros de polarização podem ser utilizados para buscar estratégias destinadas a reduzir a desigualdade regional e eventualmente fortalecer os municípios com populações relativamente mais carentes.

A Figura 13 demonstra, apenas, os principais fluxos de demanda dos municípios da área destacada na Figura 12, determinada pelos maiores índices de gastos do PBF municipal por habitante. Note-se que, basicamente, os municípios da região destacada têm pouca interação entre si, somente Itapeva e Itararé são capazes de ofertar para as cidades vizinhas, todas as outras cidades apenas demandam de cidades maiores como Itapetininga, Sorocaba, Tatuí, Registro e da região metropolitana de São Paulo.

Se essa situação não foi alterada desde 2002 (ano base para a matriz estimada), é bastante provável que o próprio volume de recursos destinados às famílias desses municípios pelo PBF gere renda nos municípios fora da região destacada.

O Governo Federal destina 2,4 milhões de reais por mês (valor de julho de 2006) ou cerca de 4% do gasto estadual do PBF para, aproximadamente, 1% da população estadual que reside nessa região coincidente ao Vale do Ribeira. Mas grande parte efeito multiplicador gerado por esses recursos, não é fixado na região, fortalecendo outras regiões mais desenvolvidas (norte da RA de Sorocaba e RA de São Paulo) e também de outros Estados como o Paraná, mas isso não é representado na Figura 13.

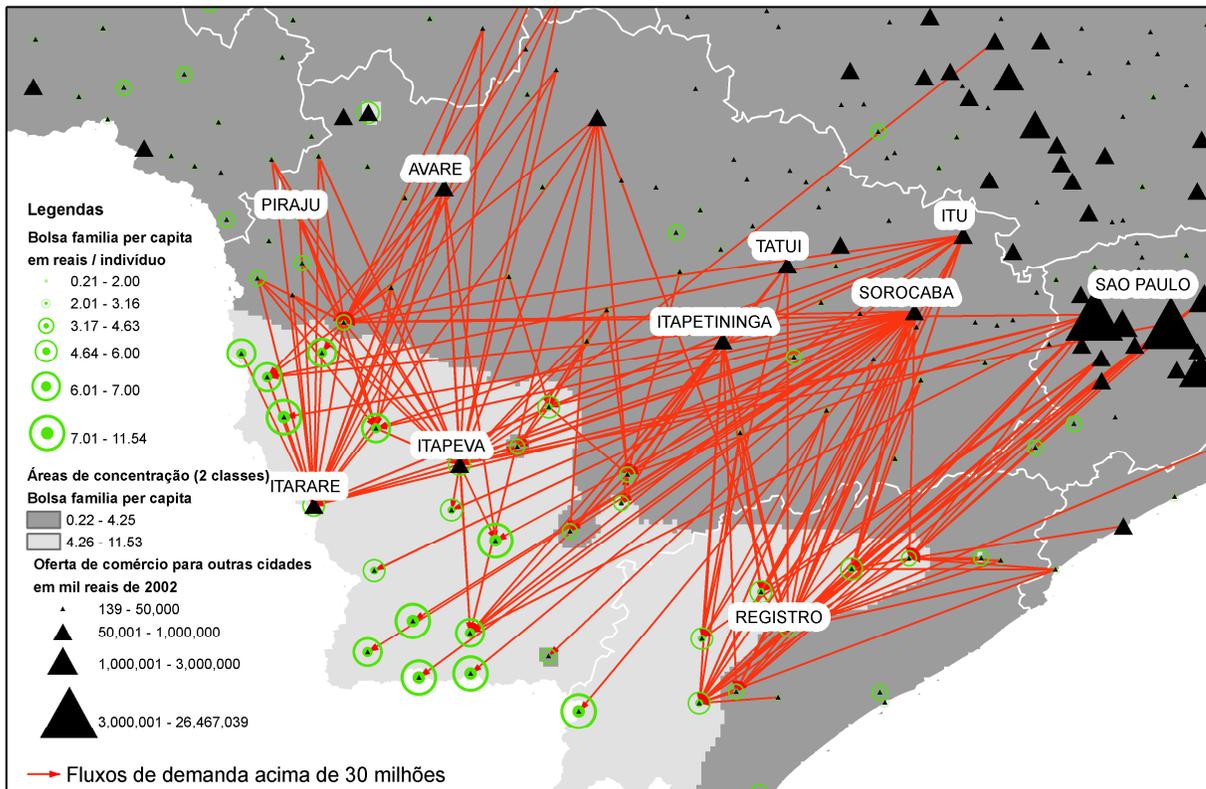


Figura 13 - Principais fluxos de demanda dos municípios com maior relação Bolsa família por habitantes

Assim, a questão colocada não é primordialmente relacionada diretamente com o PBF, mas, sim, a possibilidade de geração de riqueza local que está sendo perdida por causa do vazamento desses recursos para outras regiões.

Por isso, foca-se, então, no relacionamento apenas entre as cidades da região destacada e as cidades limítrofes. A Figura 14 apresenta os centros polarizadores, considerando-se o fluxo principal de cada cidade, assim como foi realizado para se obter a Figura 11.

Pela Figura 14, seis cidades destacaram-se por ofertarem sua produção para as demais. Itapeva, Itararé e Registro são cidades maiores, com mais de 50 mil habitantes, sendo mais desenvolvidas e capazes de polarizar o comércio regional. Entretanto, a cidade de Apiaí, localizada no centro da região em destaque, tem uma população parecida com diversas outras (na faixa de 20 a 30 mil habitantes) e se demonstra relativamente mais importante no comércio local.

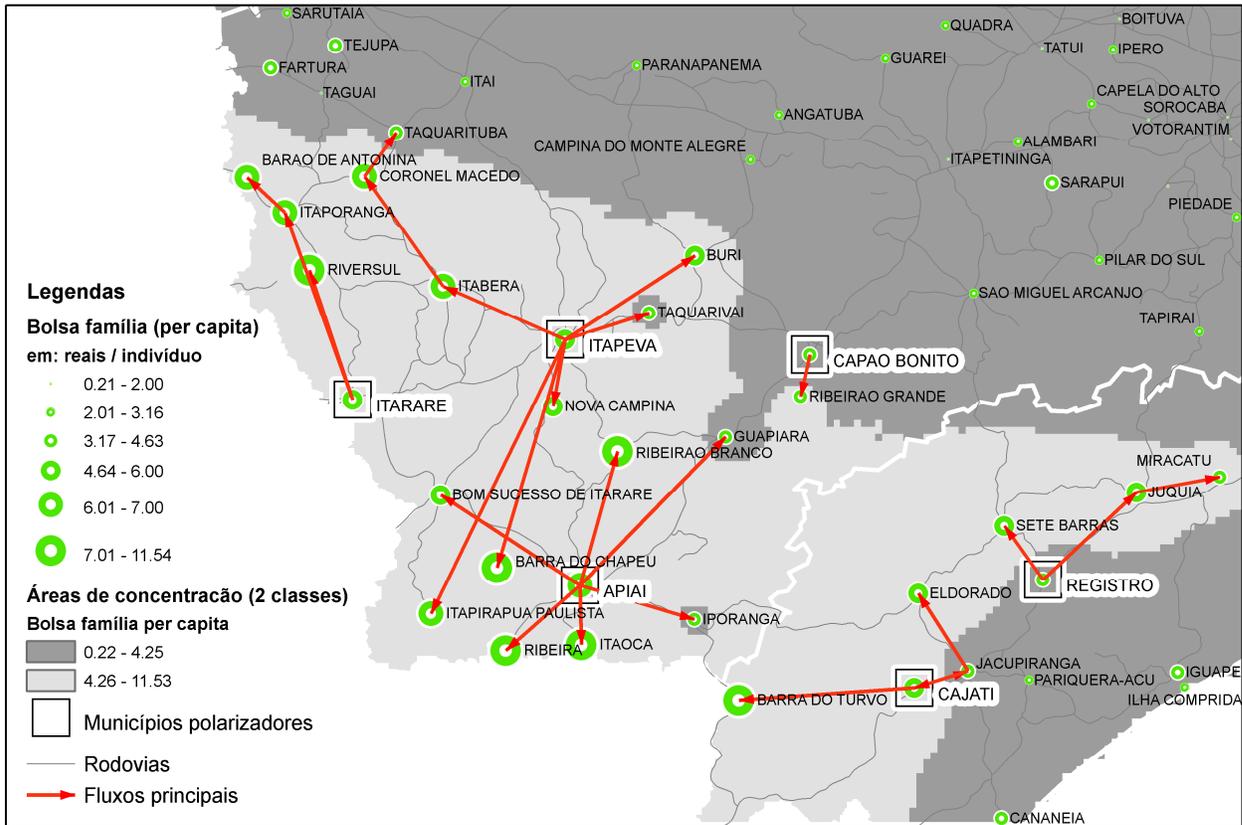


Figura 14 - Principais fluxos de demanda dos municípios com maior relação Bolsa família por habitantes

Seu posicionamento é interessante, pois está localizada no cruzamento das vias rodoviárias que ligam a outras cidades cujos índices da bolsa família por habitante são elevados.

Por esse diagnóstico, embora superficial, a cidade de Apiaí poderia ser eleita como um ponto estratégico, para o desenvolvimento local.

Apiaí e os municípios que integram sua região de abrangência (Ribeirão Branco, Bom Sucesso do Itararé, Ribeira, Itaoca, Iporanga e Guapiara) recebem mais de meio milhão de reais todos os meses através do PBF, mas não são capazes de aproveitar o efeito multiplicador desses recursos em suas economias.

Caso nada seja feito, eles poderão permanecer dependentes do PBF e outras formas de transferências condicionais de renda direta por muito tempo. Mas se incentivos privados e governamentais forem dirigidos a essa região, talvez a cidade possa centralizar parte dos recursos, evitando o vazamento da produção para os locais fora da região avaliada, de forma a vitalizar e melhorar o relacionamento econômico entre os municípios.

Como o potencial industrial da região é fraco e, ao mesmo tempo, o setor agrícola não pode se desenvolver muito (região com relevo acidentado e composta por áreas de proteção ambiental) é necessário investigar outras atividades. As atividades do setor de serviços podem ser listadas por terem, em média, melhor capacidade de fixar o efeito multiplicador (Figura 10).

Embora os dados da matriz não demonstrem, a região pode melhorar sua economia através da exploração do turismo de aventura, como já se tem sido feito nas áreas próximas a Apiaí, Iporanga e Eldorado, aproveitando as formações geológicas conservadas pelo Parque Turístico do Alto do Ribeira - PETAR. O governo pode, por exemplo: introduzir cursos superiores de turismo, geologia e/ou biologia na região e, ao mesmo tempo, dar incentivos à iniciativa privada para ampliar a infra-estrutura turística.

Medidas como essas, infelizmente, não significam reduzir as desigualdades sociais, mas podem reduzir as desigualdades regionais.

Este texto não tem a intenção de explorar a fundo e nem propor um plano de desenvolvimento para essa região, mas, através dessas considerações, procura-se exemplificar como os dados de uma matriz regionalizada ao nível municipal podem ser úteis para o entendimento das relações econômicas entre as cidades e como utilizá-las para diagnosticar, direcionar ou, até mesmo, propor estratégias regionais aliadas às políticas, já em andamento, como o PBF.

## **2.4 Conclusões**

A estimação de matrizes de insumo-produto com maior especificidade regional pode trazer diversos benefícios aos estudos regionais, sendo que este trabalho propõe e avalia um método para que isso possa ser realizado.

Como as bases de dados existentes e disponíveis não possibilitam a construção de uma matriz de insumo-produto intermunicipal baseada em dados censitários, este trabalho tenta se aproximar da realidade ao usar um grande volume de informações, considerando a produção, consumo intermediário e demanda final dos principais grupos de atividades produtivas em cada município.

Entretanto, como as estimativas do relacionamento inter-setorial partem dos coeficientes técnicos de uma única matriz (matriz do Estado de São Paulo) não é possível utilizar esses resultados em estudos, cujo objetivo seja a comparação tecnológica entre as regiões.

Mas o método é capaz de incorporar matrizes de insumo-produto para cada município (matrizes intra-regionais), estimando apenas as matrizes entre as regiões, ou seja, o método

admite que mais dados sejam usados de forma a refinar as estimativas. Ressalte-se, também, que quanto maior puder ser o detalhamento setorial melhores serão as estimativas inter-regionais.

Atualmente, as Secretarias da Fazenda estaduais determinam os fluxos da produção interestadual, devido à diferença das alíquotas para base de cálculo do Imposto de Circulação de Mercadorias e Serviços - ICMS em cada Estado e, também, mensuram a produção municipal para cálculo do valor adicionado e posterior cálculo dos Índices de Participação dos Municípios - IPM para distribuição da parcela do ICMS destinada aos municípios. Por isso, este estudo também tenta incentivar esses órgãos a que registrem e tornem disponíveis as informações para o meio acadêmico, não apenas interestaduais, mas também, as intermunicipais de origem e destino dos produtos, o que seria suficiente para consolidar bases de dados mais fidedignas sobre os fluxos econômicos.

Este trabalho apenas apresentou um exemplo de aplicação da matriz, ao avaliar a evasão de recursos de áreas menos desenvolvidas e amparadas pelo Programa Bolsa Família, demonstrando também a possibilidade de se identificarem pólos regionais, para os quais ações possam ser destinadas com o intuito de se vitalizar as economias locais de maneira mais precisa.

Antecipadamente, menciona-se que um estudo semelhante a este pode ser desenvolvido para todos os municípios brasileiros, o que faria mais sentido, visto que a transferência condicional direta de renda (Programa Bolsa Família e outros) é ainda mais importante em diversas outras regiões do país, onde o subdesenvolvimento e o extravasamento dos recursos são ainda maiores.

Este diagnóstico é essencial para entender que os meios de transferência de renda podem ser empregados como agentes catalisadores para o desenvolvimento regional, além, apenas, de uma medida de combate à pobreza, tendo em vista que recursos consideráveis são introduzidos diretamente em localidades extremamente pobres e com economias cada vez mais deprimidas.

Por fim, inúmeras outras aplicações podem utilizar os dados de matrizes de insumo-produto regionalizadas até o nível municipal, tornando os resultados dos modelos mais específicos. Todos esses dados, também, podem ser interligados a outros métodos, utilizando a variável espacial como elemento de ligação com outras disciplinas que usam sistemas de informação geográfica, análises de fluxos, redes, geoestatística, geomarketing, entre outros, permitindo que novas técnicas sejam criadas ou adaptadas.

## Referências

- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Secretaria do Comércio Exterior. **Aliceweb**. Disponível em: <<http://alicesweb.desenvolvimento.gov.br>>. Acesso em: 15 maio 2007.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Social. **Programa bolsa família**. Disponível em: <<http://www.mds.gov.br/programas/transferecia-de-renda/programa-bolsa-familia>>. Acesso em: 27 ago. 2007.
- BRASIL. Ministério Planejamento Orçamento e Gestão. **Proposta de regionalização do Brasil**. Disponível em: <<http://www.mp.gov.br>>. Acesso em: 27 out. 2007.
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Relação Anual de Informações Sociais – RAIS**. Disponível em: <<http://www.rais.gov.br>>. Acesso em: 25 nov. 2006.
- CANNING, P.; WANG, Z. A flexible mathematical programming model to estimate inter-regional input-output accounts. **Journal of Regional Science**, Oxford, v. 45, n. 3, p. 539-563, Aug. 2005.
- CHENERY, H. **Patterns of development, 1950-1970**. London: Oxford University Press for the World Bank, 1975. 234 p.
- CHO, J.E.; GORDON, P. Integrating transportation network and regional economic models to estimate the costs of a large urban earthquake. **Journal of Regional Science**, Oxford, v. 41, n. 1, p. 39-65, Feb. 2001.
- FUJITA, M.; KRUGMAN, P.; VENABLES, A.J. **Economia espacial**. São Paulo: Futura, 2002. 391 p.
- FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS – SEADE. **Informações sobre os municípios paulistas**. Disponível em: <<http://www.seade.gov.br>>. Acesso em: 12 jan. 2007.
- GUILHOTO, J.J.M.; HEWINGS, G.J.D.; TAKASHIBA, E.H.; SILVA, L.M.S. Combining geographical information systems and input-output models: concept and initial ideas. In: NORTH AMERICAN MEETING OF THE REGIONAL SCIENCE ASSOCIATION INTERNATIONAL, 50., 2003, Philadelphia. **Papers...** Urbana-Champaign: REAL, 2003. 1 CD-ROM.
- GUILHOTO, J.J.M.; SESSO FILHO, U.A. **Estrutura produtiva da Amazônia: uma análise de insumo-produto**. Belém: Banco da Amazônia S.A. - BASA, 2005. 320 p.
- GUILHOTO, J.J.M.; SESSO FILHO, U.A. Estimação da matriz insumo-produto a partir de dados preliminares das contas nacionais. **Economia Aplicada**, São Paulo, v. 9, n. 2, p. 277-299, abr. 2005.

HANSEN, L.; TIEBOUT, C. An intersectoral flows analysis of the California economy. **The Review of Economics and Statistics**, Cambridge, v. 45, n. 4. p. 409-418, Nov. 1963.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Base cartográfica integrada do Brasil ao milionésimo digital**: 1997 – IBGE / DGC / CCAR. 1 CD-ROM.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Sistema IBGE de recuperação automática - SIDRA**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: 25 maio 2007.

INSTITUTO DE PESQUISAS ECONÔMICAS - IPEA. **Caracterização e tendências da rede urbana do Brasil**. Brasília: IPEA, 2002. 390 p.

ISARD, W.; BRAMHALL, D.F. **Methods of inter-regional and regional analysis**. Aldershot: Ashgate Publishing, 1998. 490 p.

ISARD, W. Inter-regional and regional input-output analysis: a model of a space-economy. **The Review of Economics and Statistics**, Cambridge, v. 33, n. 4, p. 319-328, Nov. 1951.

KIM, T.J.; HAM, H.; BOYCE, D.E. Economic impacts of transportation network changes: implementation of a combined transportation network and input-output model. **Papers Regional Science**, Heidelberg, v. 81, n. 2, p. 223-246, Apr. 2002.

LEONTIEF, W.; STROUT, A. Multiregional input-output analysis. In: BARNHA, T. (Ed.). **Structural interdependence and economic development**. New York: St. Martin's Press, 1963. chap. 2, p.119-50

LEONTIEF, W. **Input-output economics**. 1. ed. New York: Oxford University Press, 1965. 257 p.

LEONTIEF, W. **The structure of the American economy**. 2. ed. New York: Oxford University Press, 1953. 561 p.

McDOUGALL, R.A. Entropy theory and RAS are friends. In: CONFERENCE OF GLOBAL ECONOMICAL ANALYSIS, 5., 1999, Copenhagen. **Working papers...** Copenhagen Center for Global Trade Analysis, Department of Agricultural Economics, Purdue University, 1999. Disponível em: <<http://ideas.repec.org/p/gta/workpp/300.html>>. Acesso em: 10 maio 2006.

MESNARD, L. Understanding the shortcomings of commodity-based technology in input-output models: an economic-circuit approach. **Journal of Regional Science**, Oxford, v. 44, n. 1, p. 125-141, Feb. 2004.

MILLER, R.E.; BLAIR, P.D. **Input-output analysis: foundations and extensions**. 1. ed. New Jersey: Prentice Hall, 1985. 464 p.

MONTOYA, M.A. **Análise insumo-produto internacional no Mercosul**: desenvolvimento econômico e interdependência estrutural. Passo Fundo: EDIUPF, 1999. 208 p.

MOSES, L.N. The stability of inter-regional trading patterns and input-output analysis. **The American Economic Review**, Nashville, v. 45, n. 5, p. 803-826, Dec. 1955.

NANNE, J.Z.; HEYDECKER, B.G. Improved algorithms for calibrating gravit models. In: BELL, M.G.H. **Transportation networks: recent methodological advances**. New York: Pergamon, 1998. 319 p.

ORTÚZAR, J.D.; WILLUMSEN, L.G. **Modelling transport**. 3. ed. New York: J. Wiley, 2004. 499 p.

POLENSKE, K.R. An empirical teste of inter-regional input-output models: estimation of 1963 japanese production. **The American Economic Review**, Nashville, v. 60, n. 2, p. 76-82, May 1970.

RANCO, B. Comparative stability analysis of multiregional input-output models: column, row and Leontief-Strout gravit coefficient models. **The Quartely Journal of Economics**, Cambridge, v. 99, n. 4, p. 791-815, Nov. 1984.

RICHARDSON, H.W. **Input-output and regional economics**. London: Weidenfeld and Nicolson, 1972. 267 p.

ROBINSON, S.; CATTANEO, A.; EL SAID, M. Updating and estimating a social accounting matrix using cross entropy methods. **Economic Systems Research**, London, v. 13, n. 1, p. 223-242, Mar. 2001.

ROUND, J.I. Non-survey techniques: a critical review of the theory and evidence. **International Regional Science Review**, Thousand Oaks, v. 8, n. 3, p.189-212, Dec. 1983.

STONE, R. **Input-output and national accounts**. Paris: Organisation for European Economic Co-operation, 1961. 202 p.

THEIL, H. **Economics and information theory**. Amsterdam: North-Holland Publisher Company, 1967. 488 p.

UNITED NATIONS. **System of National Accounts – SNA: 1993**. Disponível em: <<http://unstats.un.org/unsd/sna1993/toctop.asp>>. Acesso em: 10 jan. 2006.

VASCONCELOS, J.R.; OLIVEIRA, M.A. **Análise da matriz por atividade econômica do comércio interestadual no Brasil: 1999**. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, 2006. (Texto para discussão, 1159). Disponível em: <<http://www.ipea.gov.br/pub>>. Acesso em: 13 jun. 2007.

WILSON, A.G. **Entropy in urban and regional modeling**. Londres: Pion Limited, 1970. 166 p.

WILSON, A.G. The use of entropy maximising models in the theory of trip distribution, mode split and route split. **Journal of Transport Economics and Policy**, Bath, v. 3, n. 1, p. 108-126, Jan. 1969.

### **3 O IMPACTO DO CRESCIMENTO ECONÔMICO SOBRE AS RODOVIAS DE SÃO PAULO: UMA APLICAÇÃO DO MODELO DE INSUMO-PRODUTO COMBINADO COM O GEOPROCESSAMENTO**

**Silvio M. Ichihara**

#### **Resumo**

O conhecimento da infra-estrutura de transportes é essencial para definir estratégias de desenvolvimento, especialmente em países com dimensões continentais, como o Brasil. Informações sobre a disposição espacial dos agentes econômicos e de suas transações comerciais permitem a criação de planos mais precisos e regionalizados. Nesse contexto, este estudo busca estimar o impacto do crescimento econômico esperado para os próximos anos sobre a demanda pelas rodovias do Estado de São Paulo. Inicialmente, os fluxos econômicos entre as cidades de São Paulo são avaliados através de um modelo de insumo-produto gravitacional, considerando a maximização da entropia e as relações inter-setoriais derivadas dos sistemas de insumo-produto inter-regional; posteriormente, esses fluxos são incorporados a um sistema de informações geográficas aplicado à rede de transportes. Com isso, determina-se o valor econômico associado a cada rodovia, permitindo avaliar a diferença entre os anos de 2002 e 2012, por meio da análise de impacto dada pela matriz inversa de Leontief. Os resultados são demonstrados através de mapas, possibilitando a avaliação direta da demanda de transportes sobre a malha rodoviária e, também, a fácil compreensão por técnicos de outras áreas.

Palavras-chave: Fluxos inter-regionais; Transportes; Insumo-produto; SIG; Análise regional

#### **Abstract**

The knowledge of the transport infrastructure is essential to define development strategies, especially in countries with continental dimensions like Brazil. Information about the spatial distribution of the economic agents and its commercial transactions allow the creation of specific regional plans. This study attempts to estimate the impact of the economic growth on the highways, using economic data of the Sao Paulo State. Initially, the economic flows among the cities of the State are estimated using an input-output gravity model, considering entropy maximization model and the inter-industry relationships derived from the input-output systems; later, these flows are incorporated in a geographic information system applied to transport network. Thus, the economic value associated to each highway is determined, allowing evaluate the difference between the years of 2002 and 2012, through the analysis of impact using the Leontief inverse matrix. The results are demonstrated by maps, making possible the direct evaluation about demand of transport network, easily understood by other areas technicians.

Keywords: Inter-regional flows; Transport; Input-output; GIS; Regional analysis

### 3.1 Introdução

Diante do crescimento econômico esperado nos próximos anos, este trabalho destina-se a avaliar os impactos ocasionados pela expansão econômica sobre a demanda por transporte rodoviário no Estado de São Paulo. Este tema visa a ilustrar o potencial de uma das possíveis aplicações geradas ao se combinar a análise de insumo-produto com as técnicas de geoprocessamento aplicado aos transportes.

A teoria de insumo-produto utiliza definições embasadas nos alicerces da teoria econômica, mas sua aplicação não se restringe apenas a esse horizonte. Diversas questões de áreas distintas do conhecimento estão associadas ao planejamento econômico que, por sua vez, encontra material amplo, empírico e consistente nos quadros de insumo-produto.

Além da grande amplitude de aplicações em vários temas, os modelos de insumo-produto admitem características de uma única região ou de várias regiões integradas, podendo se relacionar com estruturas de menor dimensão geográfica como: Estados, municípios ou até mesmo empresas (LEONTIEF, 1965).

Em geral, o espaço físico pode ser considerado como um elemento-chave capaz de relacionar atributos de diferentes ciências que se preocupam com a distribuição espacial. Modelos da engenharia de transportes, análises gravitacionais, aplicações da geoestatística, entre outros, podem ser utilizados pelas análises da economia regional por meio do espaço.

Conceitualmente, o termo genérico do geoprocessamento refere-se ao que interage com a localização espacial. Para o caso do Brasil, país de dimensões continentais, a questão espacial admite cada vez mais importância em diversas áreas. Nesse sentido, o uso combinado da matriz de insumo-produto com as técnicas relacionadas ao geoprocessamento pode trazer diversos benefícios, especialmente no que condiz com as estratégias de planejamento, tanto do âmbito governamental quanto do privado.

Mas para que isso deixe de ser uma promessa ideológica e seja efetivamente concluído, é necessário que essa seqüência de métodos seja aplicada ao mundo real, demonstrando suas imperfeições e adaptações, averiguando-se ou não o potencial, então, mencionado.

Dentro desse conceito e, adicionalmente, na busca por respostas que sejam úteis à sociedade, o presente estudo utiliza dados socioeconômicos do Estado de São Paulo para que a idéia central que motiva o trabalho possa ser ilustrada.

Como universo geográfico, a totalidade das Unidades Federativas que formam o Brasil seria a escolha ideal para os estudos regionais que envolvem o país. Entretanto, a carência por estatísticas adequadas, essenciais na montagem de um sistema inter-municipal nacional ainda é uma grande barreira. A escolha por São Paulo deriva de diversas razões, como a existência de dados que possibilitam retratar suas relações econômicas e a importância que o Estado exerce sobre a economia do país.

"A Locomotiva do Brasil", denominação utilizada, muitas vezes, para designar o Estado de São Paulo, reflete e resume a sua importância para o Brasil. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, o Estado tem a maior população (IBGE, 2007), maior pólo industrial (IBGE, 2007) e maior produção econômica dentre as Unidades da Federação. Além disso, um terço do Produto Interno Bruto nacional - PIB pertence a São Paulo conforme o Gráfico 1.

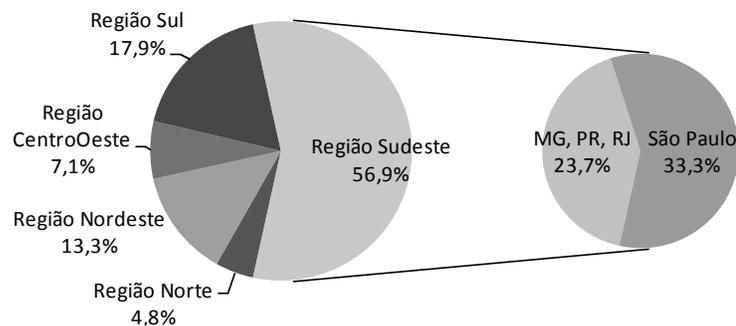


Gráfico 1 - Participação das regiões no PIB nacional (média entre 1999 a 2003)

Fonte: Produzido com dados do IBGE (2006) – Contas nacionais 1999 a 2003

Dos mais de 40 milhões de habitantes, cerca de 20 milhões concentram-se em 39 municípios que formam a região metropolitana de São Paulo, ao redor da capital (IBGE, 2007). Entretanto, a existência de outros pólos urbanos distribuídos no interior confere ao Estado razoável distribuição regional, sendo que os 645 municípios que compõem o Estado mantêm indústrias, produções agropecuárias e serviços interligados por uma malha rodoviária considerada a melhor do país, como mostram os resultados do Relatório Gerencial da Confederação Nacional dos Transportes – CNT (2006).

Pensando no futuro, não apenas de São Paulo, mas de todo o país, diante da possibilidade de crescimento do mercado consumidor interno e externo, o Brasil poderá ampliar sua produção nos próximos anos, para isso, governo, empresas e toda a sociedade procuram meios de tornar isso uma verdade.

Entretanto, o desenvolvimento econômico determina alterações regionais quanto à distribuição de riqueza, além de fortes acréscimos sobre sua infra-estrutura, especialmente no que se diz respeito ao sistema de transporte de cargas.

Funções econômicas básicas de produção, comercialização e consumo poderão ser prejudicadas ou até mesmo inibidas pela sobrecarga da infra-estrutura de transportes. Por deficiências de ferrovias e hidrovias, a locomoção da maior parte da produção nacional depende do transporte rodoviário Centro de Estudos Logísticos - COPPEAD (2002). Esse fato poderá dificultar o escoamento da produção brasileira para o mercado externo e trazer problemas ao mercado interno, caso seu desenvolvimento não acompanhe o crescimento da economia.

Nesse contexto, é necessário diagnosticar tais problemas, averiguando os locais onde haverá maior demanda por transportes, a fim de que medidas preventivas possam ser traçadas. A estimação dos impactos associados ao aumento da produção setorial pode subsidiar tanto a aplicação de recursos governamentais como privados, promovendo a expansão coordenada do setor de transportes.

Os gargalos no escoamento determinam fretes altos e custos adicionais resultando na perda de competitividade, não apenas de um setor específico, mas de todos aqueles que dependem do transporte de cargas. Por isso, o método de análise a ser utilizado deve considerar as características da oferta e demanda setorial de cada região, possibilitando a estimação dos fluxos econômicos e sua posterior incorporação à rede de transportes. Essas habilidades são encontradas nos modelos de insumo-produto inter-regional e podem ser ampliadas com o uso de outras ferramentas que consideram a distribuição espacial, como mostra o conteúdo do item seguinte.

Assim, o objetivo deste estudo é avaliar os impactos ocasionados pelo crescimento de toda a economia nacional na malha rodoviária do Estado de São Paulo, demonstrando a aplicabilidade de uma seqüência de procedimentos que visam a estimar os fluxos econômicos inter-regionais e associá-los às redes de transportes. Este trabalho propõe-se um novo enfoque metodológico fundamentado no uso combinado dos modelos de insumo-produto e técnicas de geoprocessamento, fazendo-se uso dos sistemas de informação geográfica e de análises espaciais.

### **3.2 Metodologia**

Para se avaliar o impacto sobre a malha rodoviária, duas estimativas de fluxos serão construídas, uma com as estimativas de atribuição do fluxo referente à matriz de insumo-produto

de 2002 e outra com as estimativas do crescimento da demanda esperadas para o ano de 2012, considerando o horizonte de 10 anos.

Como diversos procedimentos são empregados para estimar e atribuir os fluxos inter-regionais à rede rodoviária do Estado de São Paulo, os métodos utilizados delineiam um conjunto de ações necessárias para esse processo, conforme o esquema da Figura 1, sendo que cada item numerado é descrito a seguir.

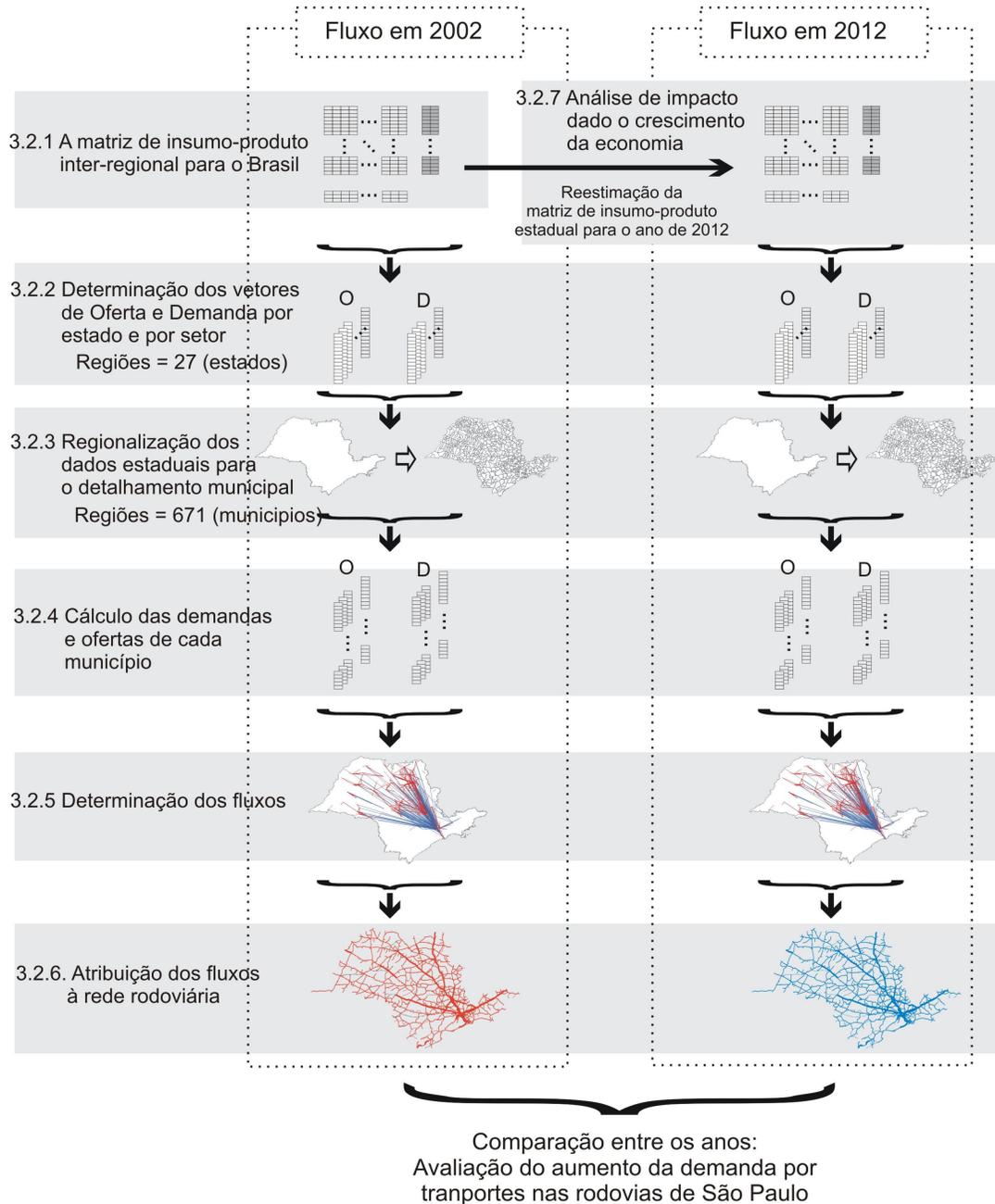


Figura 1 - Tópicos que compõem a metodologia

### **3.2.1 A matriz de insumo-produto inter-regional para o Brasil**

O Estado de São Paulo concentra um terço da economia nacional e sua relação com as demais Unidades da Federação é bastante intensa. Assim como as outras regiões dependem da produção de São Paulo, o inverso também é verdadeiro, por isso o estudo de seus fluxos econômicos deve considerar o país todo, mesmo que o objetivo esteja focado apenas nas rodovias que cruzam seu interior.

No entanto, a dificuldade de obtenção ou a própria inexistência de dados sobre a produção e consumo setorial de cada município do Brasil impede a criação de um sistema inter-municipal nacional, assim como é possível para São Paulo, usando os microdados da Pesquisa da Atividade Econômica Paulista.

Para que essa análise pudesse considerar as outras regiões do País, focalizou-se a atividade econômica dos outros Estados em suas capitais, dado que essas cidades e suas vizinhanças concentram grande parte das respectivas economias estaduais. Assim, os fluxos inter-regionais, estimados neste estudo, consideram 645 municípios de São Paulo, mais as capitais dos outros Estados brasileiros (25) e o Distrito Federal, totalizando 671 regiões.

O processo de estimação dos fluxos econômicos atribuídos à malha rodoviária parte do uso de uma matriz de insumo-produto inter-estadual de 27 regiões (26 Estados e o Distrito Federal) e chega a um sistema composto pelos fluxos entre as 671 regiões, utilizando-se para isso os métodos descritos nos itens 3.2.2, 3.2.3, 3.2.4 e 3.2.5.

### **3.2.2 Determinação dos vetores de Oferta e Demanda por região e por setor**

Os fluxos econômicos entre as Unidades da Federação foram estimados através dos métodos descritos em Guilhoto e Sesso Filho (2005a)<sup>12</sup> e Guilhoto e Sesso Filho (2005b), sendo

---

<sup>12</sup> A metodologia empregada para estimar a matriz interestadual considera, inicialmente, o trabalho de Guilhoto e Sesso Filho (2005a) para se obter a matriz nacional relativa ao ano de 2002 e, posteriormente, os relacionamentos inter-regionais existentes entre as Unidades da Federação são detalhados por meio do uso de diversas bases de dados e da técnica descrita em Guilhoto e Sesso Filho (2005b). Essa matriz é composta por 42 setores produtivos, sendo que a descrição dos setores é a mesma definida pelo Sistema de Contas Nacionais. Até abril de 2007, o maior detalhamento setorial apresentado pelo Sistema de Contas Nacionais do IBGE era composto por 42 setores, conforme Feijó (2005). Somente a partir dessa data, outros níveis de agrupamentos setoriais foram publicados, sendo que o IBGE também alterou suas estatísticas anteriores a respeito das contas nacionais. Entretanto, para fins deste trabalho foram utilizados os dados e classificações anteriores a essa mudança.

que essas informações foram ajustadas com base nos volumes de operações interestaduais apresentadas em Vasconcelos (2006).

Entretanto, para fins deste estudo, essas estimativas devem ser detalhadas para os municípios, ou seja, com o uso da matriz, sabe-se quanto o Estado de São Paulo demanda e oferta para os outros Estados, mas não se sabe, por exemplo, quanto o município de Guarulhos, em São Paulo, demanda e oferta aos demais Estados e municípios do próprio Estado. Essa informação é imprescindível para determinar o fluxo que passa sobre as rodovias que ligam as cidades entre si, no interior do Estado.

Por isso, mesmo com a matriz inter-estadual já estimada, é preciso utilizar um modelo que possa especificar ainda mais essas informações, calculando os fluxos entre os municípios.

O modelo de Leontief-Strout (1963) expresso na Equação 1 define que toda a produção do setor  $i$  dirigida para a região  $s$  é igual ao consumo de  $i$  para a produção dos demais setores em  $s$ , somado à demanda final relacionada com  $i$ , também na região  $s$ . A idéia básica é formar um pool, tanto de toda a demanda de uma região  $s$  por  $i$ , como da parcela da oferta de  $i$  de todo o sistema que é destinada para a região  $s$ , desta forma o sistema pode estimar os fluxos que vão de uma região para outra, a fim de se obter o equilíbrio.

$$\sum_t z_i^{ts} = \sum_j a_{ij}^s \cdot \sum_t z_j^{st} + y_i^s \quad (1)$$

Sendo:

$s, t \in \mathbf{r}$  regiões, relativo à origem e destino;

$i, j \in \mathbf{n}$  produtos relativos aos 42 setores de produção;

$z_i^{st}$  = fluxo comercial do produto  $i$  de  $s$  para  $t$  ( $\forall s, t$ ); ( $\forall i$ );

$y_i^s$  = demanda da região  $s$  pela produção setorial de  $i$ ;

$a_{ij}^s$  = coeficientes técnicos da matriz de insumo-produto de cada região  $s$ .

Os coeficientes da matriz de insumo-produto ( $a_{ij}$ ) são considerados para auxiliar a estimativa do consumo de um determinado produto necessário para a produção dos demais produtos em cada região. Esse elemento deriva da razão do fluxo inter-setorial pela produção total de  $j$ , em cada região ( $a_{ij}^s = z_{ij}^s / x_j^s$ ), ou seja, é a proporção de  $i$  usada para se fazer uma unidade de  $j$  em  $s$ .

O resultado dessa otimização não estimará diretamente os fluxos inter-setoriais e inter-regionais ao mesmo tempo, apenas serão obtidos os fluxos inter-regionais para cada tipo de

produção setorial, pois a idéia do pool determina a distribuição da produção a ser consumida nas regiões, mas sem saber para qual setor ou qual tipo de demanda final ela se destina.

Na prática, o uso do modelo de Leontief-Strout significa calcular a quantidade do produto  $i$  que é demandada em cada região e o quanto é ofertado do mesmo  $i$  em cada região, a partir dos elementos da matriz de insumo-produto (coeficientes técnicos da matriz de usos e recursos, demanda final e produção total de cada região).

A notação da matriz de insumo-produto inter-regional ( $\mathbf{n}$  regiões) pode ser representada conforme a Figura 2:

$$\begin{array}{cccccccc}
 \mathbf{Z}^{11} & \dots & \mathbf{Z}^{1t} & \dots & \mathbf{Z}^{1r} & \mathbf{Y}^{11} & \dots & \mathbf{Y}^{1t} & \dots & \mathbf{Y}^{1r} & \mathbf{X}^1 \\
 (\mathbf{n} \times \mathbf{n}) & & (\mathbf{n} \times \mathbf{n}) & & (\mathbf{n} \times \mathbf{n}) & (\mathbf{n} \times 5) & & (\mathbf{n} \times 5) & & (\mathbf{n} \times 5) & (\mathbf{n} \times 1) \\
 \vdots & \ddots & & & \vdots & \vdots & \ddots & & \vdots & & \vdots \\
 \mathbf{Z}^{s1} & & \mathbf{Z}^{st} & & \mathbf{Z}^{sr} & \mathbf{Y}^{s1} & & \mathbf{Y}^{st} & & \mathbf{Y}^{sr} & \mathbf{X}^s \\
 (\mathbf{n} \times \mathbf{n}) & & (\mathbf{n} \times \mathbf{n}) & & (\mathbf{n} \times \mathbf{n}) & (\mathbf{n} \times 5) & & (\mathbf{n} \times 5) & & (\mathbf{n} \times 5) & (\mathbf{n} \times 1) \\
 \vdots & & & \ddots & \vdots & \vdots & & \ddots & \vdots & & \vdots \\
 \mathbf{Z}^{r1} & \dots & \mathbf{Z}^{rt} & \dots & \mathbf{Z}^{rr} & \mathbf{Y}^{r1} & \dots & \mathbf{Y}^{rt} & \dots & \mathbf{Y}^{rr} & \mathbf{X}^r \\
 (\mathbf{n} \times \mathbf{n}) & & (\mathbf{n} \times \mathbf{n}) & & (\mathbf{n} \times \mathbf{n}) & (\mathbf{n} \times 5) & & (\mathbf{n} \times 5) & & (\mathbf{n} \times 5) & (\mathbf{n} \times 1) \\
 \mathbf{I}^1 & \dots & \mathbf{I}^t & \dots & \mathbf{I}^r & & & & & & \\
 (1 \times \mathbf{n}) & & (1 \times \mathbf{n}) & & (1 \times \mathbf{n}) & & & & & & \\
 \mathbf{T}^1 & \dots & \mathbf{T}^t & \dots & \mathbf{T}^r & & & & & & \\
 (1 \times \mathbf{n}) & & (1 \times \mathbf{n}) & & (1 \times \mathbf{n}) & & & & & & \\
 \mathbf{V}^1 & \dots & \mathbf{V}^t & \dots & \mathbf{V}^r & & & & & & \\
 (1 \times \mathbf{n}) & & (1 \times \mathbf{n}) & & (1 \times \mathbf{n}) & & & & & & \\
 \\
 \mathbf{X}^1 & \dots & \mathbf{X}^t & \dots & \mathbf{X}^r & & & & & & \\
 (1 \times \mathbf{n}) & & (1 \times \mathbf{n}) & & (1 \times \mathbf{n}) & & & & & & 
 \end{array}$$

Figura 2 - Notação matricial da matriz de insumo-produto inter-regional

Sendo:

$\mathbf{Z}^{rr}$   
( $\mathbf{n} \times \mathbf{n}$ ) matriz do consumo intermediário inter-setorial e inter-regional formada por elementos:

$z_{ij}^{st}$  - venda do setor  $i$  da região  $s$  para o setor  $j$  da região  $t$  ou consumo do setor  $j$  da região  $t$  proveniente do setor  $i$  da região  $s$ ;  $(s, t \in \mathbf{r})$ ,  $(i, j \in \mathbf{n})$ .

$\mathbf{I}^r$   
( $1 \times \mathbf{n}$ ) vetor do volume importado por todos os setores da região  $\mathbf{r}$  formado por elementos:

$i_n^t$  - volume importado pelo setor  $n$  da região  $t$ .

$\mathbf{T}^r$   
( $1 \times \mathbf{n}$ ) vetor da arrecadação dos impostos indiretos líquidos de todos os setores da região  $\mathbf{r}$  formado por elementos:

$t_n^t$  - arrecadação dos impostos indiretos líquidos do setor  $n$  da região  $t$ .

$\mathbf{V}^r$   
( $1 \times \mathbf{n}$ ) vetor do valor adicionado de todos os setores da região  $\mathbf{r}$  formado por elementos:

$v_n^t$  - valor adicionado do setor  $n$  da região  $t$ .

$\mathbf{Y}^{\mathbf{r}\mathbf{t}}$   
( $n \times y$ ) matriz de demanda final da região  $\mathbf{r}$  pela produção de  $s$  formada por cinco vetores ( $y = 5$ ): consumo das famílias, consumo do governo, exportações, formação bruta de capital fixo e variação dos estoques. Seus elementos são dados por:  $y_n^{st}$  consumo do setor  $n$  da região  $s$  pelos vetores da demanda final da região  $t$ .

$\mathbf{X}^{\mathbf{r}}$   
( $1 \times n$ ) vetor da produção total de todos os setores da região  $\mathbf{r}$  formados pelos elementos:

$x_n^t$  - produção total setor  $n$  da região  $t$  (total da soma nas colunas).

$\mathbf{X}^{\mathbf{r}}$   
( $n \times 1$ ) vetor da produção total de todos os setores da região  $\mathbf{r}$  formados pelos elementos:

$x_n^s$  - produção total setor  $n$  da região  $s$  (total da soma nas linhas).

Utilizando a notação da matriz de insumo-produto inter-regional (Figura 2) e a formulação do modelo de Leontief-Strout (Equação 1), a expressão que determina o vetor de demanda (lado direito da equação) pode ser representada da seguinte forma:

$$d_i^t = \sum_{j=1}^n \sum_{s=1}^r z_{ij}^{st} + \sum_{y=1}^5 \sum_{s=1}^r y_{iy}^{st} \quad (2)$$

Sendo:  $i, j \in \mathbf{n}$  setores;

$s, t \in \mathbf{r}$  regiões;

$y = 1 \dots 5$  - vetores da demanda final;

$d_i^t$  a demanda total por  $i$  na região  $t$ .

De maneira mais simples, a oferta regional corresponde ao próprio valor de  $\mathbf{X}^{\mathbf{r}}$ :

$$o_i^s = x_i^t = x_i^s \quad (3)$$

Sendo:  $o_i^s$  a oferta total de  $i$  da região  $s$

A partir das expressões 2 e 3 e da matriz de insumo-produto inter-estadual mencionada, podem ser obtidos elementos de oferta  $o_i^s$  e demanda  $d_i^t$  setorial do Estado de São Paulo, considerando  $t, s =$  São Paulo. Haja vista que, dentro do conjunto  $\mathbf{r} = 27$ , existe uma região que representa o respectivo Estado.

Com relação aos outros Estados, é necessário obter apenas a oferta e demanda relacionada com São Paulo, por exemplo: o quanto Minas Gerais compra e vende para São Paulo, não interessando as relações desse Estado com os demais. Isso pode ser representado matematicamente nas Equações 4 e 5, para todos os outros Estados além de São Paulo.

$$d_i^t = \sum_{j=1}^n z_{ij}^{st} + \sum_{y=1}^5 y_{iy}^{st} \quad (4)$$

Sendo:  $i, j \in n$  setores  
 $s =$  São Paulo,  
 $t : \forall t \in \mathbf{r}, t \neq$  São Paulo  
 $y = 1 \dots 5$  - vetores da demanda final  
 $d_i^t$  a demanda total por  $i$  na região  $t$

$$o_i^s = \sum_{j=1}^n z_{ij}^{st} + \sum_{y=1}^5 y_{iy}^{st} \quad (5)$$

Sendo:  $i, j \in n$  setores  
 $t =$  São Paulo  
 $s : \forall s \in \mathbf{r}, s \neq$  São Paulo  
 $y = 1 \dots 5$  - vetores da demanda final  
 $o_i^s$  a oferta  $i$  da região  $s$  da região para São Paulo

Resumindo, as Equações 2 e 3 determinam a oferta e demanda setorial do Estado de São Paulo (relacionadas com os outros Estados e com ele mesmo) e as Equações 4 e 5 determinam a oferta e demanda setorial de todos os outros Estados com São Paulo.

Os resultados dados por  $o_i^s$  e demanda  $d_i^t$  das Equações 2, 3, 4 e 5 podem ser reorganizados em vetores denominados  $\mathbf{O}_i$  e  $\mathbf{D}_i$  que representam as ofertas de todas as regiões do setor  $i$  e as demandas de todas as regiões pela produção de  $i$ , dados essenciais para que os fluxos econômicos entre as regiões possam ser calculados, conforme é demonstrado no item 2.5.

### 3.2.3 Regionalização dos dados estaduais para o detalhamento municipal

Para realizar a transformação dos dados da demanda setorial estadual em municipal, considerando apenas o Estado de São Paulo, utilizou-se, essencialmente, a participação do Consumo Intermediário -  $CI$  de cada setor em cada município sobre o  $CI$  estadual do setor correspondente, a fim de distribuir proporcionalmente os coeficientes técnicos associados com a matriz de consumo inter-setorial de São Paulo estabelecida por:

$$\mathbf{SZ}^t = \sum_{s=1}^r \mathbf{Z}^{st} \quad (6)$$

Sendo:  $t = \text{São Paulo}$ ;

$\mathbf{SZ}^{t=\text{São Paulo}}$  matriz de consumo intersetorial de São Paulo, contendo os elementos:

$sz_{ij}^{t=\text{São Paulo}}$  consumo do setor  $i$  para a produção de  $j$ .

Por meio da Pesquisa da Atividade Econômica Paulista - PAEP, realizada pela Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados, SEADE (2007), é possível estimar o  $CI$  de cada um dos 42 setores em escala municipal através do uso dos microdados que formam a pesquisa.

O desenvolvimento a seguir demonstra a obtenção da matriz agregada de usos e recursos para cada município de São Paulo:

*i)* inicialmente, denota-se o vetor  $\mathbf{CI}_{(1 \times n)}^{t=\text{São Paulo}}$ , formado pelos elementos  $ci_j^t$  que correspondem ao consumo intermediário de cada setor  $j$  do Estado de São Paulo, sendo sua expressão dada pela soma nas colunas do consumo inter-setorial de São Paulo pelos seus respectivos valores de importações e impostos indiretos líquidos, conforme a Equação 7;

$$ci_j^t = \sum_{i=1}^n sz_{ij}^t + i_j^t + t_j^t \quad (7)$$

Sendo:  $\mathbf{CI}^t$  vetor correspondente ao consumo intermediário dos  $j$  setores ( $j \in \mathbf{n}$ ) formado pelos elementos  $ci_j^t$ ;

$t = \text{São Paulo}$ .

*ii)* a obtenção do vetor das participações do Consumo Intermediário de cada município no total estadual, estabelecido por  $\mathbf{pCI}_{(1 \times n)}^u$ , é dada pela Equação 8;

$$\mathbf{pCI}_{(1 \times n)}^u = \mathbf{CI}_{(1 \times n)}^u \cdot \left( \mathbf{CI}_{(n \times n)}^{t=\text{São Paulo}} \right)^{-1} \quad (8)$$

Sendo:  $u \in \mathbf{m}$  municípios de São Paulo ( $\mathbf{m} = 645$ );

$\mathbf{CI}^u$  o vetor correspondente aos valores dos consumos intermediários de cada setor em cada um dos municípios do estado de São Paulo obtidos pela PAEP.

*iii)* por fim, a matriz agregada de usos e recursos de cada município corresponde a  $\mathbf{SZ}_{(n \times n)}^u$ ,

Equação 9.

$$\mathbf{SZ}_{(n \times n)}^u = \mathbf{SZ}_{(n \times n)}^{t=\text{São Paulo}} \cdot \left( \mathbf{pCI}_{(n \times n)}^u \right)^{-1} \quad (9)$$

Essa seqüência de cálculos permite estimar a demanda setorial relacionada com o consumo intermediário de cada município, mas sob a forte hipótese de que os coeficientes técnicos de produção de cada região são proporcionais à média estadual.

No caso do detalhamento dos dados da demanda final agregada estadual (matriz denominada:  $\mathbf{SY}^{t=\text{São Paulo}}_{(nx5)}$ ) para a escala municipal ( $\mathbf{SY}^u_{(nx5)}$ ,  $u \in \mathbf{m}=645$ ), utilizaram-se diretamente os dados de outras bases estatísticas. Os valores dos cinco vetores que formam a demanda final estadual foram distribuídos aos municípios de maneira proporcional, respeitando variáveis que correspondem exatamente ao tipo da demanda ou alguma *proxy*, conforme o Quadro 1.

Tipo de Demanda Final	Variável existente por setor e por município	Observação do uso da variável municipal para detalhar o dado estadual
Exportações	Exportações por município (BRASIL, 2007b).	Variável de correspondência direta com as exportações.
Consumo do Governo	Gastos da administração pública (SEADE, 2007).	Variável de correspondência direta com o consumo do governo.
Consumo das Famílias	População municipal – Censo de 2002 (IBGE, 2007), junto à estrutura de consumo das famílias setorial da matriz de insumo-produto.	Variável utilizada como <i>proxy</i> da importância do consumo das famílias de cada município, junto aos dados da matriz.
Investimentos	Excedente Operacional Bruto - EOB deduzido do Valor Adicionado, presente na PAEP (Apêndice B)	A magnitude EOB setorial municipal foi utilizada como <i>proxy</i> , pois os setores com maior EOB têm mais possibilidades de investir.
Variação dos estoques	Valor Bruto da Produção - VBP, variável calculada pela PAEP (Apêndice B)	O VBP foi utilizado como <i>proxy</i> da variação dos estoques, por mensurar a quantidade total de recursos que passam pelo setor.

Quadro 1 - Variáveis utilizadas para detalhar a Demanda Final de São Paulo em escala municipal

Para o detalhamento da produção estadual (vetor:  $\mathbf{X}^{t=\text{São Paulo}}_{(1xn)}$  ou  $\mathbf{X}^{s=\text{São Paulo}}_{(nx1)}$ ) para a escala municipal ( $\mathbf{X}^u_{(1xn)}$ ,  $\mathbf{X}^v_{(1xn)}$ ,  $u, v \in \mathbf{m}=645$ ), utilizou-se, também, a proporcionalidade do Valor Bruto da Produção - VBP calculado com base nos dados da PAEP em SEADE (2007).

### 3.2.4 Cálculo das demandas e ofertas de cada município

As considerações sobre o detalhamento estadual para a instância municipal permitem, agora, obter o mesmo resultado da Equação 2, relativa à demanda total (consumo setorial e demanda final), para todos os municípios de São Paulo, substituindo:

$$\begin{aligned}
 & t \quad \text{por } u \quad (u \in \mathbf{m}=645); \\
 & \sum_{s=1}^r z_{ij}^{st} \quad \text{por } sz_{ij}^u \quad (\text{elementos que formam } \mathbf{SZ}^u); \\
 & \sum_{s=1}^r y_{iy}^{st} \quad \text{por } sy_{iy}^u \quad (\text{elementos que formam } \mathbf{SY}^u).
 \end{aligned}$$

A Equação 3, também, deve ser modificada, assumindo os valores de  $x_j^v$  ( $v \in \mathbf{m}=645$ ) ao invés de  $x_j^s$ , caracterizando a oferta setorial de cada município  $v$  de São Paulo.

Unificando os valores das outras Unidades da Federação através dos resultados das Equações 4 e 5, os vetores  $\mathbf{O}_i$  e  $\mathbf{D}_i$  passam a ter 671 regiões (645 municípios de São Paulo, 25 capitais estaduais e o Distrito Federal).

Embora os vetores determinem o quanto de cada setor  $i$  é comprado e vendido por cada região, eles não definem os valores dos fluxos inter-regionais, ou seja, quanto uma região  $u$  compra e vende para as outras  $v$  regiões.

### 3.2.5 Determinação dos fluxos

Para estimar os fluxos inter-regionais, optou-se pelo uso do método de otimização através do modelo de insumo-produto gravitacional, descrito por Wilson (1970). Esse modelo baseia-se na incorporação da maximização da entropia na questão dos transportes, utilizando-a para redefinir os modelos de distribuição e escolha modal que fazem parte do modelo de quatro etapas da engenharia de transportes (ORTUZAR, 2004).

Wilson (1969) propôs um modelo que maximiza a incerteza da distribuição de probabilidade do número de viagens inter-regionais, sujeito às restrições de oferta e demanda de viagens em cada região. Posteriormente, o mesmo autor faz adaptações a essa técnica, substituindo o número de viagens pelos fluxos econômicos, ao mesmo tempo em que usa o modelo de Leontief-Strout dentro do sistema de otimização.

A modelagem de otimização entrópica, condicionada aos coeficientes técnicos da matriz de insumo-produto, define 4 casos que alteram as restrições do modelo e a maneira como será

resolvido: *i*) modelo sem restrição da oferta e demanda; *ii*) modelo com restrição da oferta e demanda irrestrita; *iii*) modelo sem restrição da oferta e demanda restrita; *iv*) modelo com restrição da oferta e demanda.

Quando a oferta, ou a demanda, ou ambos são restritos significa que há mais informação que possa auxiliar o processo de obtenção da solução. Assim, a maior dificuldade está associada à resolução do primeiro caso que não pode ser explicitamente resolvido com uso do Lagrangeano, exigindo processos iterativos para sua otimização.

Neste trabalho, a existência de informações sobre a produção setorial nos municípios, possibilitou o cálculo dos vetores de oferta e demanda, utilizando-se as mesmas considerações do modelo de Leontief-Strout e a hipótese de proximidade dos coeficientes técnicos de produção dos municípios com o do Estado.

Na presença dos valores agregados da oferta e demanda setorial municipal, pode-se recorrer ao uso do quarto modelo, com a restrição da oferta e demanda, visto que eles já foram estimados. Nesse caso, o modelo de insumo-produto gravitacional com oferta e demanda restritos é dado pela Equação 10, sujeito pelas Equações 11, 12 e 13.

$$\max : - \sum_s \sum_t z_i^{st} \ln z_i^{st} \quad (10)$$

$$\text{suj: } z_i^{st} \geq 0$$

$$\sum_t z_i^t = d_i^t \quad (11)$$

$$\sum_s z_i^{st} = o_i^s \quad (12)$$

$$\sum_s \sum_t z_i^{st} \cdot c_i^{st} = C_i \quad (13)$$

Sendo:  $s, t \in r$  regiões, respectivo a origem e destino ( $r = 671$  regiões);

$i, j \in n$  setores de produção ( $n = 42$  setores);

$z_i^{st}$  - fluxo comercial agregado do produto  $i$  de  $s$  para  $t$  ( $\forall s, t$ ); ( $\forall i$ );

$d_i^t$  - demanda da região  $t$  pela produção setorial de  $i$ ;

$o_i^s$  - oferta da região  $s$  da produção setorial de  $i$ ;

$a_{ij}^s$  - coeficientes técnicos da matriz de insumo-produto;

$C_i$  - a função de custo de transporte;

$c_i^{st}$  - custo do transporte de  $i$  entre as regiões  $s$  e  $t$ .

Esse sistema pode, então, ser resolvido através do uso do Lagrangeano.

$$L = - \sum_s \sum_t z_i^{st} \log z_i^{st} + \sum_s \lambda^s \left[ o_i^s - \sum_s z_i^{st} \right] + \sum_t \phi^t \left[ d_i^t - \sum_t z_i^t \right] + \gamma^s \left[ C_i - \sum_s \sum_t z_i^{st} \cdot c_i^{st} \right]$$

Tomando-se as derivadas parciais de primeira ordem com respeito a  $z_i^{st}$  e igualando a zero:

$$\begin{aligned}\frac{\partial L}{\partial z_i^{st}} &= -\log z_i^{st} - \lambda^s - \varphi^t - \gamma c_i^{st} = 0 \\ \log z_i^{st} &= -\lambda^s - \varphi^t - \gamma c_i^{st} \\ z_i^{st} &= \exp(-\lambda^s - \varphi^t - \gamma c_i^{st}) \\ z_i^{st} &= \exp(-\lambda^s) \cdot \exp(-\varphi^t) \cdot \exp(-\gamma c_i^{st})\end{aligned}\quad (14)$$

Usando as Equações 11 e 12 na Equação 14, os termos referentes à  $\exp(-\lambda^s)$  e  $\exp(-\varphi^t)$  tornam-se:

$$\exp(-\lambda^s) = \frac{o_i^s}{\sum_t (\exp(-\varphi^t) \cdot \exp(-\gamma c_i^{st}))} \quad \text{e} \quad \exp(-\varphi^t) = \frac{d_i^t}{\sum_s (\exp(-\lambda^s) \cdot \exp(-\gamma c_i^{st}))}$$

Substituindo-os na própria Equação 14:

$$\begin{aligned}z_i^{st} &= \frac{1}{\sum_t (\exp(-\varphi^t) \cdot \exp(-\gamma c_i^{st}))} \cdot o_i^s \cdot \frac{1}{\sum_s (\exp(-\lambda^s) \cdot \exp(-\gamma c_i^{st}))} \cdot d_i^t \cdot \exp(-\gamma c_i^{st}) \\ z_i^{st} &= \frac{\overbrace{1}^{a^s}}{\sum_t (\exp(-\varphi^t) \cdot \exp(-\gamma c_i^{st}))} \cdot \frac{\overbrace{1}^{b^t}}{\sum_s (\exp(-\lambda^s) \cdot \exp(-\gamma c_i^{st}))} \cdot \frac{o_i^s \cdot d_i^t}{\exp(\gamma c_i^{st})} \quad (15) \\ z_i^{st} &= a^s \cdot b^t \cdot o_i^s \cdot d_i^t \cdot \exp(\gamma c_i^{st})^{-1}\end{aligned}$$

No modelo de insumo-produto gravitacional restrito, expresso pela Equação 15, três variáveis exógenas devem ser utilizadas: a oferta e demanda setorial de cada região e o custo ou outra variável que mensure a dificuldade de transporte da produção de uma região para outra (impedância).

A oferta ( $o_i^s$ ) e demanda ( $d_i^t$ ) correspondem diretamente aos dados calculados anteriormente, vetores  $\mathbf{D}_i$  e  $\mathbf{O}_i$ , respectivamente. Ao mesmo tempo, diversas variáveis espaciais podem ser usadas como fator de impedância.

Nesse estudo, o valor atribuído a  $c_i^{st}$  advém de função que determina o tempo gasto para percorrer a menor rota de uma cidade a outra.

Ainda, para resolver a Equação 15, foram utilizados os processos iterativos de ajuste definidos em Ortúzar (2004). Através deles, os fatores de balanceamento do modelo gravitacional

$a^s$  e  $b^t$  podem ser estimados, viabilizando a obtenção de  $z_i^{st}$ . Os procedimentos foram implementados e executados no *software* matemático *Matlab*.

### 3.2.6 Atribuição dos fluxos à rede rodoviária

Basicamente os passos anteriores seguem a mesma idéia do modelo de quatro etapas da engenharia de transportes, na qual, inicialmente, é estimado o potencial de oferta e demanda de cada região e, posteriormente, os fluxos entre as regiões são gerados e incorporados à rede de transportes de acordo com a escolha da modalidade viária.

Como a malha rodoviária é alvo deste estudo, apenas esse tipo de transporte será utilizado no modelo de atribuição, sendo que os valores dos fluxos referentes aos usos de dutovias, ferrovias e hidrovias são específicos de alguns setores e foram tratados à parte, sendo extraídos do sistema. A carga que utiliza esses outros modos de transporte é subtraída do modelo de atribuição rodoviária antes junto à etapa do detalhamento municipal.

Os fluxos obtidos na fase anterior foram incorporados ao *software TransCad*. Esse programa é um Sistema de Informações Geográficas aplicado aos transportes que possui, dentre diversas ferramentas, procedimentos de atribuição dos fluxos às redes.

Dentre os modelos implementados no *software* para cumprir essa função, optou-se pela utilização do modelo de equilíbrio do usuário (UE - *user equilibrium model*), que tem característica determinística e possibilita restringir a capacidade de uso das vias de transporte. O UE é a formulação recomendada pelo *Bureau of Public Roads* - BPR, sendo definida conforme a Equação 16.

$$t = tc \left[ 1 + \alpha \left( \frac{f}{fc} \right)^\beta \right] \quad (16)$$

- sendo:  $t$  - tempo de viagem para percorrimto de uma conexão livre;  
 $tc$  - tempo de viagem para percorrimto de uma conexão congestionada;  
 $f$  - fluxo que passa sobre a conexão;  
 $fc$  - capacidade da conexão para suportar o fluxo;  
 $\alpha$  - parâmetro de calibração;  
 $\beta$  - parâmetro de calibração.

Para estimar o tempo de viagem de uma conexão<sup>13</sup> livre, foi usada a razão entre o tamanho e a velocidade média de cada conexão, na qual a velocidade média foi determinada conforme o tipo de pavimento e outras variáveis implícitas a cada conexão.

A base de dados georreferenciada, que forma a rede rodoviária nacional utilizada neste estudo, corresponde à da empresa comercial representante do *Transcad-Caliper* no Brasil. No entanto, para a base de dados associada à rede foi complementada com dados do IBGE e de outros órgãos que mantêm estatísticas sobre as rodovias.

O fluxo de passagem sobre cada conexão foi obtido, considerando a média do número veículos, por dia, por trecho - VDM, obtida por intermédio das seguintes fontes: Agência Reguladora de Serviços Públicos Delegados de Transporte do Estado de São Paulo - ARTESP (2007); Desenvolvimento Rodoviário S.A. - DERSA (2007); Departamento de Estradas e Rodagens de São Paulo - DER/SP (SÃO PAULO, 2007); e Departamento Nacional de Trânsito - DNIT (BRASIL, 2007c).

Testes preliminares foram elaborados para estimar os melhores parâmetros, a fim de tornar o modelo de atribuição mais eficiente, resultando nos seguintes valores para  $\alpha$  (0,15) e  $\beta$ (2,00).

Por fim, os resultados após a atribuição dos fluxos econômicos dentro da malha viária do Estado, correspondem ao elemento principal definido na Figura 1, alvo deste estudo.

### 3.2.7 Análise de impacto dado o crescimento da economia

As análises de impacto, junto aos meios de identificação de setores-chave da economia, compõem um conjunto de técnicas básicas associadas aos modelos de insumo-produto que são úteis em análises estruturais da economia. Nelas são assumidas as condições microeconômicas da função de produção de Leontief, sendo que a adoção da pressuposição de retornos constantes à escala é uma condição necessária para uso da Equação 17. Detalhes sobre esse aspecto são encontrados em Miller e Blair (1985).

$$\underset{(nx1)}{\Delta X} = (\underset{(n \times n)}{I - A})^{-1} \cdot \underset{(nx1)}{\Delta Y} \quad (17)$$

<sup>13</sup> São ligações entre dois nós (pontos da rede) que podem representar rodovias, trechos de rodovias e/ou dispositivos.

sendo:  $(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}$  matriz inversa de Leontief;  
 $\Delta \mathbf{Y}$  - variação da demanda final;  
 $\Delta \mathbf{X}$  - variação da produção total.

Na Equação 17, as análises de impacto da teoria de insumo-produto simulam uma variação na demanda final total, ou de um de seus componentes, mensurando as alterações que ocorrem na produção dos setores econômicos.

Esse tipo de análise mensura o impacto total que a economia absorve respeitando todos os efeitos diretos e indiretos implícitos nas relações de interdependência setorial. O cálculo ajusta-se perfeitamente aos objetivos deste estudo, tendo em vista a preocupação de se avaliar como o impacto do aumento da demanda final, impulsionando o crescimento econômico, atua sobre o sistema econômico.

### **3.2.7.1 O cenário referente ao aumento da economia nacional**

Como observado na Equação 17, a variação da produção decorre das alterações na Demanda Final e esse vetor é formado por cinco elementos: consumo das famílias, consumo do governo, exportações, investimentos e variação dos estoques.

Para que o devido choque seja dado ao sistema, a fim de se avaliar o crescimento da economia, é necessário determinar o quanto esses vetores irão crescer ao longo do período determinado (no caso, 10 anos, considerando a matriz de insumo-produto de 2002).

Este trabalho não teve como objetivo estimar a projeção econômica até 2012, por isso são utilizadas fontes secundárias que contêm as informações necessárias para calcular o crescimento. O Quadro 2 apresenta a variação percentual real do crescimento do consumo das famílias, consumo do governo, exportações e investimentos entre os anos de 2002 até 2005, avaliados pelo Sistema de Contas Nacionais do IBGE. Após o ano de 2005, utilizam-se as projeções estimadas pela Organização das Nações Unidas - ONU disponibilizadas pelo IPEA (2007).

Variação percentual real anual											
Fontes	IBGE	IBGE	IBGE	IPEA (ONU)	Estim*	Estim*					
Período	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Consumo privado	1,82%	-0,70%	3,81%	4,10%	4,30%	4,50%	5,00%	4,40%	4,60%	4,67%	4,56%
Consumo do governo	4,75%	1,15%	4,09%	0,10%	1,10%	1,00%	2,80%	2,80%	3,10%	2,90%	2,93%
Investimentos	-5,23%	-4,59%	9,12%	7,50%	5,10%	6,10%	5,40%	3,90%	5,90%	5,07%	4,96%
Exportações	7,42%	10,40%	15,29%	18,00%	5,30%	12,20%	8,50%	2,50%	10,50%	7,17%	6,72%
Variação percentual acumulada											
Período	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Consumo privado	0%	-0,7%	3,1%	7,3%	11,9%	17,0%	22,8%	28,2%	34,1%	40,4%	46,8%
Consumo do governo	0%	1,2%	5,3%	5,4%	6,6%	7,6%	10,6%	13,7%	17,3%	20,7%	24,2%
Investimentos	0%	-4,6%	4,1%	11,9%	17,6%	24,8%	31,5%	36,7%	44,7%	52,1%	59,6%
Exportações	0%	10,4%	27,3%	50,2%	58,2%	77,4%	92,5%	97,3%	118,1%	133,7%	149,4%

Quadro 2 - Índices de crescimento até 2005 e projeções de crescimento até 2012

Fontes: IBGE (2006) e IPEA (2007)

Nota: \* Dada a ausência de valores para os anos de 2011 e 2012, considerou-se a média móvel dos últimos 3 anos.

A última coluna referente ao crescimento acumulado em 2012 foi utilizada para determinar a variação da Demanda Final no âmbito nacional, relativa aos vetores de consumo das famílias, governo, investimentos e exportações. Apenas o vetor de variação dos estoques não foi considerado, pois, em geral, ele resulta das diferenças necessárias para manter o equilíbrio entre a oferta e demanda no sistema de insumo-produto.

Assim, os quatro vetores determinam o  $\Delta Y$ , que, por sua vez, alimenta a análise de impacto. Em seguida, efetua-se, novamente, todo o processo para o detalhamento em escala municipal e posterior atribuição dos fluxos sobre as rodovias.

### 3.2.8 Considerações finais da metodologia

Antes de iniciar a apresentação dos resultados, mencione-se que as unidades principais utilizadas nas análises são:

- R\$ por trecho: corresponde ao valor em reais que passa por cada trecho<sup>14</sup> rodoviário (R\$ em valores correntes ao ano de 2002), essencialmente, esse é o valor que resulta diretamente do método anteriormente descrito.
- R\$\*km: corresponde ao valor anterior multiplicado pelo respectivo tamanho do trecho em quilômetros.

Para a visualização nos mapas, os dados são apresentados em R\$ por trecho, pois cada trecho pode ser visualizado separadamente, mas para as análises que agregam vários trechos (por rodovias, por Estados, etc.) usa-se a medida R\$\*km.

A unidade R\$\*km é semelhante à unidade normalmente utilizada para avaliar a demanda por transportes denominada TKU (Toneladas Quilômetro Útil) que equivale à carga transportada de um ponto a outro multiplicada pela distância em quilômetros entre esses pontos.

Como o alicerce da metodologia deste estudo é a matriz de insumo-produto de 2002, todos os resultados são expressos em reais (valores de 2002), por isso optou-se pela utilização da mesma idéia do TKU, mas mensurada em valores monetários.

Obviamente, medidas como o TKU e VDM (volume diário médio de veículos) são mais precisas para a engenharia de transportes, pois através delas pode-se caracterizar o desgaste, a vida útil, o valor da manutenção e a necessidade de duplicação das rodovias. Entretanto, esse estudo preocupa-se mais com as variações percentuais que ocorrerão no período avaliado, destacando-se que, se uma rodovia apresentar aumento de  $\Delta\%$  em R\$\*km, os fluxos tanto de veículos como de cargas também poderão ser estimados caso as relações R\$/ton e R\$/veículos possam ser obtidas.

Porém, essas relações não estão disponíveis para cada setor produtivo, por isso algumas considerações são realizadas ao longo das análises subseqüentes com base em dados agregados de outras fontes que já estudaram ou estudam esse assunto no Brasil.

### 3.3 Resultados e discussão

Nesse capítulo, os resultados são apresentados em 2 itens: o Item 3.1 demonstra os resultados da atribuição dos fluxos inter-regionais sobre a malha rodoviária e avalia a adesão dessas estimativas com outras informações de fontes diversas que descrevem fluxos inter-

---

<sup>14</sup> Cada rodovia é formada por um ou mais trechos. Para maiores definições sobre o estudo de redes de transporte, consulte o Apêndice D.

regionais e a demanda por transportes, com ênfase no Estado de São Paulo; o item 5.2 considera a evolução da economia no horizonte de 10 anos e responde aos objetivos deste estudo, ao considerar as projeções de aumento da produção dado o crescimento da economia.

### 3.3.1 A adequação dos fluxos econômicos sobre as rodovias

O resultado final de atribuição à malha rodoviária dos fluxos inter-regionais de oferta e demanda, considerando todos os municípios de São Paulo e as capitais dos outros Estados, é apresentado na Figura 3, sendo cada círculo proporcional ao montante de valores que passam em cada trecho (R\$ por trecho) rodoviário.

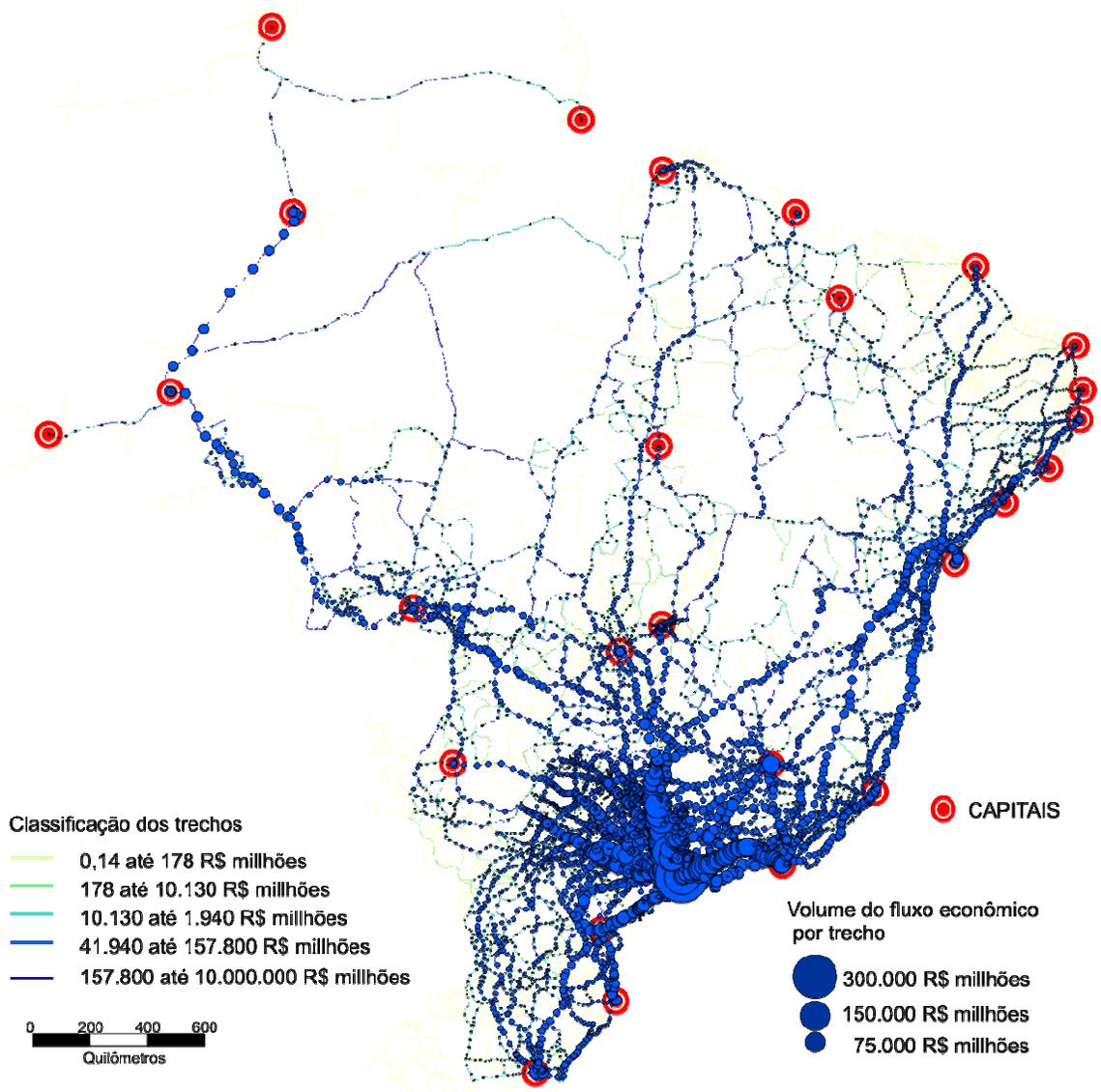


Figura 3 - Fluxos econômicos por trecho rodoviário – situação em 2002

Pela Figura 3, nota-se que há uma grande concentração de fluxos no Estado de São Paulo, ficando parte dentro próprio Estado e parte disseminada nas ligações com as demais capitais e o Distrito Federal.

Ressalte-se que esse sistema não considera os fluxos entre os outros Estados (por exemplo: entre Bahia e Minas Gerais; Paraná e Goiás, etc.): são considerados apenas os fluxos que partem dos municípios de São Paulo ou que chegam até eles. Além do alto relacionamento entre as economias de São Paulo e Minas Gerais, grande parte dos fluxos dirigidos para a região Nordeste passam pela extensa malha rodoviária mineira (a maior do país) e também pelas rodovias que passam pela Bahia (especialmente, BR 116 e BR 101). As rodovias que cruzam o triângulo mineiro também são importantes para economia paulista, ao passo que viabilizam a ligação com Goiás e posteriormente com outras regiões, como mostra a Figura 3.

Todo o fluxo relacionado ao Distrito Federal e grande parte daquele que se dirige ao Mato Grosso (pela BR 364), Maranhão e para a região Norte, especialmente, Tocantins e Pará (pela BR 153-Belém-Brasília) passa pelo Estado de Goiás. Ainda, destaque-se, também, a importância admitida pela BR 116, tanto para o Rio de Janeiro (Rodovia Presidente Dutra) como para a região sul do País (Rodovia Regis Bittencourt).

No caso do grande fluxo de passagem por Rondônia e parte do de Mato Grosso, as estimativas não estão corretas, pois a via que liga Porto Velho a Manaus (BR 319), estava praticamente intransponível em 2002. Mesmo com as devidas restrições a essa via, o modelo alocou grande parte do fluxo nessa rodovia por não ter outra opção terrestre para escoamento da produção da Zona Franca de Manaus.

Embora a alocação das transações com os Estados de Amazonas, Amapá e Roraima não estejam corretas, devido à dificuldade de organizar os dados sobre os pontos de interligação entre as rodovias e hidrovias que servem essas regiões, os fluxos, além dos limites do Estado de São Paulo, têm apenas o objetivo de melhorar disposição espacial das estimativas dos fluxos internos. Ou seja, por exemplo: a venda de produtos para o Sul, naturalmente passará por rodovias que se dirigem para o sul e não para a direção contrária.

Dirigindo a análise para São Paulo, não foram encontrados estudos semelhantes a este na literatura, por isso para averiguar o quanto esses resultados estão próximos à realidade, procura-

se comparar os resultados com os de outros estudos referentes aos fluxos de veículos e por tonelada que passam pelas rodovias de São Paulo.

O boletim estatístico da Secretaria de Transportes de São Paulo (SÃO PAULO, 2005) afirma que metade do fluxo global de cargas e veículos passa pelas rodovias sob concessão (rodovias pedagiadas). Comparando esse dado com os dados obtidos, avalia-se que o modelo de insumo-produto gravitacional aplicado à malha rodoviária de São Paulo admitiu adequada precisão ao determinar que 50,04% do fluxo econômico total do Estado (233.133 bilhões de R\$\*Km) passe pelas rodovias sob concessão, como mostra o Quadro 3.

Administração	km	Resultados em Bilhões de R\$*km
Pedagiadas	3 853	116 668.32
Não pedagiadas	15 620	116 465.21
Total	19 473	233 133.54
% pedagiadas	19.79%	50.04%

Quadro 3 - Comparação dos fluxos que passam sobre as rodovias pedagiadas e não pedagiadas

Pelo quadro, presume-se que o Governo talvez tenha ficado com a tarefa mais difícil, pois dentre as rodovias pedagiadas, a grande maioria está sob concessão de empresas privadas que são responsáveis pela administração de menos de 20% das rodovias, por onde passam mais de 50% do fluxo (que, nesse caso, representa a capacidade e receita para os regimes de concessão), restando ao Governo manter e a realizar investimentos nos outros 80% da malha.

A Figura 4 apresenta os fluxos atribuídos às rodovias e a localização das cidades com maiores Produtos Internos Brutos, segundo os dados do PIB municipal (IBGE, 2007). Ao fundo, são apresentadas as 15 regiões administrativas que dividem o Estado.

Na Figura 4, avalia-se que as principais vias estão condicionadas às rotas que ligam a capital - São Paulo - com as cidades que possuem maior PIB no interior do Estado, sendo que a região metropolitana de São Paulo polariza a grande maioria dos fluxos.

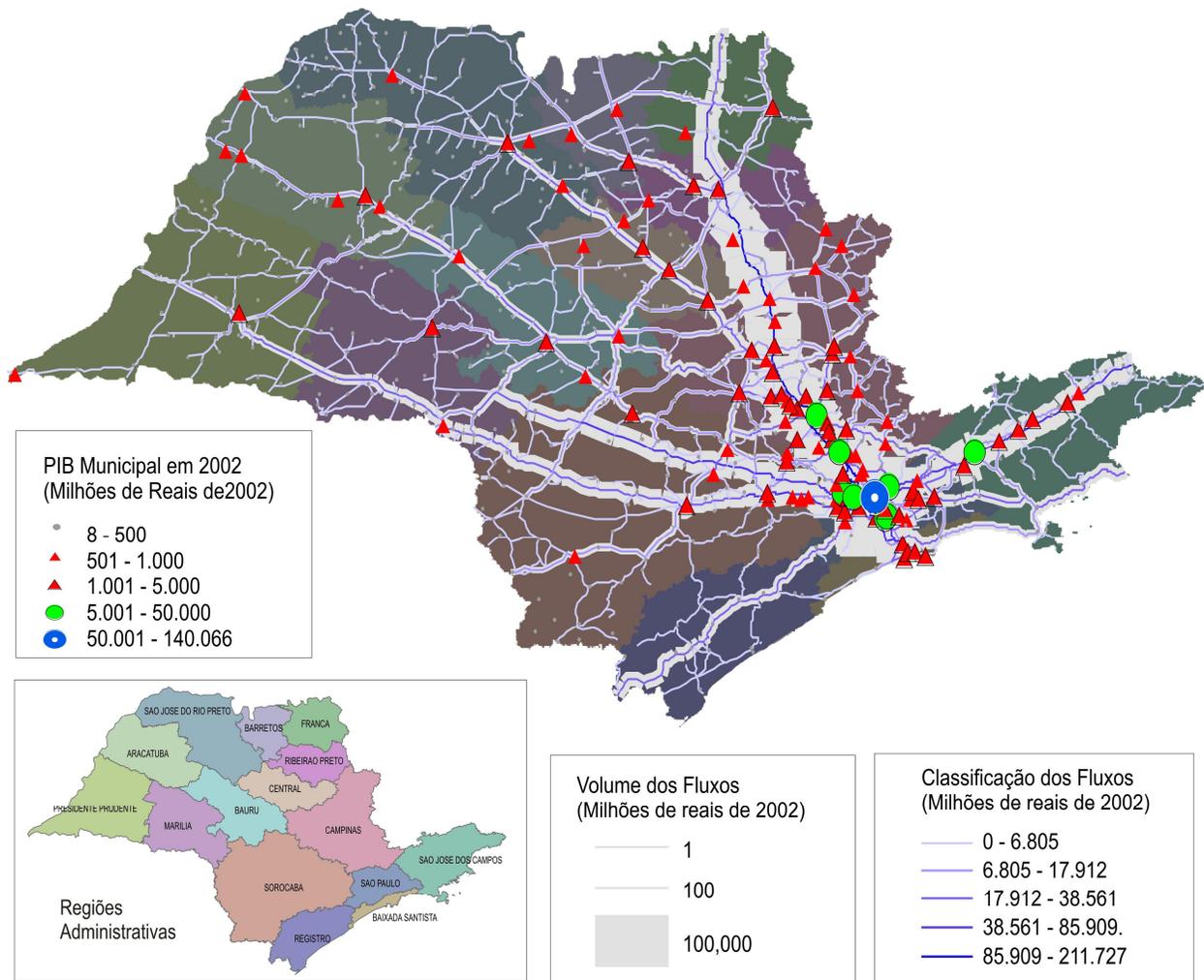


Figura 4 - Fluxos econômicos por trecho rodoviário – São Paulo - situação em 2002

A Figura 5 compara a quantidade de fluxos que passam sobre as rodovias presentes em cada Região Administrativa - RA e dentre as 15 regiões, apenas São Paulo, Campinas e Sorocaba somam 57% do total da demanda por transportes em valores monetários.

A região de Campinas concentra um quarto do fluxo do Estado, pois por ela passam duas das mais importantes rodovias não apenas para o Estado de São Paulo como para todo o País. As rodovias Anhanguera (SP 330) e Bandeirantes (SP 348) interligam a capital com importantes cidades presentes nessa RA, como: Campinas, Jundiaí, Americana, Rio Claro, Paulínia e Piracicaba. Além disso, essas rodovias fazem a conexão com outras importantes regiões, sendo que, na rodovia Anhanguera, grande parte do fluxo segue para o Triângulo Mineiro.

Regiões Administrativas	km (A)	% km	Bilhões de R\$*km (B)	% R\$*km	Densidade (Bilhões R\$) (B/A)
ARACATUBA	1.137	5,84%	5.009,18	2,15%	4,41
BAIXADA SANTISTA	344	1,77%	5.122,17	2,20%	14,89
BARRETOS	570	2,93%	3.846,26	1,65%	6,75
BAURU	909	4,67%	7.584,46	3,25%	8,34
CAMPINAS	3.324	17,07%	60.012,05	25,74%	18,06
CENTRAL	772	3,97%	9.360,09	4,01%	12,12
FRANCA	639	3,28%	8.588,14	3,68%	13,43
MARILIA	1.490	7,65%	11.160,72	4,79%	7,49
PRESIDENTE PRUDENTE	1.172	6,02%	3.531,53	1,51%	3,01
REGISTRO	810	4,16%	6.715,98	2,88%	8,29
RIBEIRAO PRETO	830	4,26%	11.519,82	4,94%	13,87
SAO JOSE DO RIO PRETO	1.893	9,72%	7.740,20	3,32%	4,09
SAO JOSE DOS CAMPOS	1.420	7,29%	20.472,68	8,78%	14,41
SAO PAULO	1.119	5,75%	38.416,36	16,48%	34,34
SOROCABA	3.042	15,62%	34.053,89	14,61%	11,20
TOTAL	19.473	100,00%	233.134	0,00%	11,97

Figura 5 - Fluxos respectivos às rodovias presentes em cada Região Administrativa de São Paulo

A RA de Sorocaba, por sua vez, caracteriza-se por conter quase toda a extensão da rodovia Presidente Castelo Branco (SP 280) e grande parte da rodovia Raposo Tavares (SP 270), que interligam a capital com o oeste do Estado e com regiões do Paraná.

A RA da Baixada Santista possui a menor extensão rodoviária, mas com grande densidade, pois nela estão contidos os terminos das rodovias que formam outro importante complexo: Anchieta – Imigrantes. Especialmente no caso das exportações, essas duas rodovias possibilitam a ligação entre a capital e todo o restante do Estado com o Porto de Santos (que exportou cerca de 62 % da produção do Estado de São Paulo em 2002, correspondendo a 79% do peso líquido).

Por fim, todas as rodovias citadas nos parágrafos anteriores iniciam-se na RA de São Paulo, região responsável por 51% do PIB estadual e 17% do PIB nacional, evidenciando, assim, o motivo da polarização dos fluxos ao redor da capital.

### 3.3.2 O impacto do crescimento da economia sobre as rodovias de São Paulo

O Quadro 4 apresenta os principais resultados das estimativas de aumento dos fluxos econômicos sobre as rodovias do Estado de São Paulo, considerando o horizonte de 10 anos.

Ano	2002	2012
No Estado de São Paulo	Baseado na matriz de 2002	Cenário do crescimento econômico
Unidade	bilhões de R\$*km	bilhões de R\$*km
Fluxos sobre as rodovias de SP	233 133,54	380 854,13
Varição percentual		63,36%

Quadro 4 - Resultados gerais das análises de impacto sobre as rodovias de São Paulo, em R\$\*km

Pelas projeções dos aumentos da demanda final avaliados em 46,8% do consumo das famílias; 24,2% do consumo do governo; 59,6% dos investimentos e 149,4% das exportações (item 2.7.1); estima-se a elevação de 63,4% dos fluxos nas rodovias de São Paulo, para o ano de 2012.

Como mencionado no item 3.2.8, além da avaliação dos fluxos econômicos, é importante associar esse valor à quantidade de toneladas que serão acrescidas sobre a malha rodoviária. Para isso é necessário aplicar aos resultados um coeficiente formado pela razão entre toneladas e reais.

A base de dados da Secretaria de Comércio Exterior – SECEX (BRASIL, 2007b) é uma das únicas que correlaciona o valor dos produtos exportados ao seu peso equivalente. Esses dados possibilitam a geração do referido coeficiente expresso em ton/R\$.

Destaque-se que o uso de um único valor como uma média para toda a produção econômica pode implicar em diversos problemas, mas essa foi a alternativa encontrada diante da indisponibilidade de acesso a melhores informações. Além disso, o coeficiente estabelecido pelo valor e volume das exportações do Estado de São Paulo torna-se mais plausível nessa análise, à medida que as projeções das exportações (149%) são muito superiores às dos outros vetores que compõem a demanda final, pois esse fato aumenta a proporcionalidade dos produtos exportados no pool geral da produção do Estado.

Considerando, então, o coeficiente de transformação obtido pela base de dados da SECEX, tem-se, para a economia em geral, a razão de 0,00044778730 ton/R\$. Multiplicando-as os valores do Quadro 4 expressos em R\$\*km pelo coeficiente em R\$/ton, os novos valores são:

- para 2002: 104,39 bilhões de toneladas\*km;
- para 2012: 170,54 bilhões de toneladas\*km.

A quantidade de toneladas de produto multiplicada pela distância por ela percorrida é a medida da produção de transporte, dada por ton\*km ou TKU. Essa unidade é utilizada em outros estudos como o Plano Diretor de Desenvolvimento de Transportes - PDDT Vivo, realizado pela Secretaria Estadual dos Transportes de São Paulo (SÃO PAULO, 2003).

Segundo as informações da agenda do PDDT, estudos concebidos pelos técnicos da Secretaria dos Transportes avaliam que, no ano de 2000, a produção de transportes em São Paulo foi de 116,2 bilhões de ton\*km, na qual 93,1% desse valor (ou 108,2 ton\*km) foi atribuído apenas às rodovias.

O PDDT, também, faz a projeção para o horizonte de 20 anos, estimando que, em 2020, a demanda total por transportes alcance os 250 bilhões de ton\*km, mas com redução significativa da participação das rodovias para 64,5% (164 bilhões de ton\*km). Condicionalmente, essa redução ocorrerá apenas se grandes investimentos forem realizados na rede ferroviária.

Considerando que a projeção é linear ao longo do tempo, tanto para os dados desta pesquisa como a do PDDT, note-se, através do Gráfico 2, que o valor do PDDT total e das estimativas deste estudo para as rodovias não são semelhantes, pois diferem em torno de 25 bilhões de ton\*km tanto no ano de 2002 como no ano de 2012. Entretanto, as inclinações das duas retas são bastante parecidas, com aumento de 6,72 bilhões ton\*km por ano para o PDDT e 6,61 bilhões ton\*km por ano para os resultados do modelo de insumo-produto gravitacional, o que demonstra que a metodologia empregada neste trabalho, em termos das variações, teve grande adesão aos dados do PDDT, mesmo utilizando técnicas, recursos e fontes distintas.

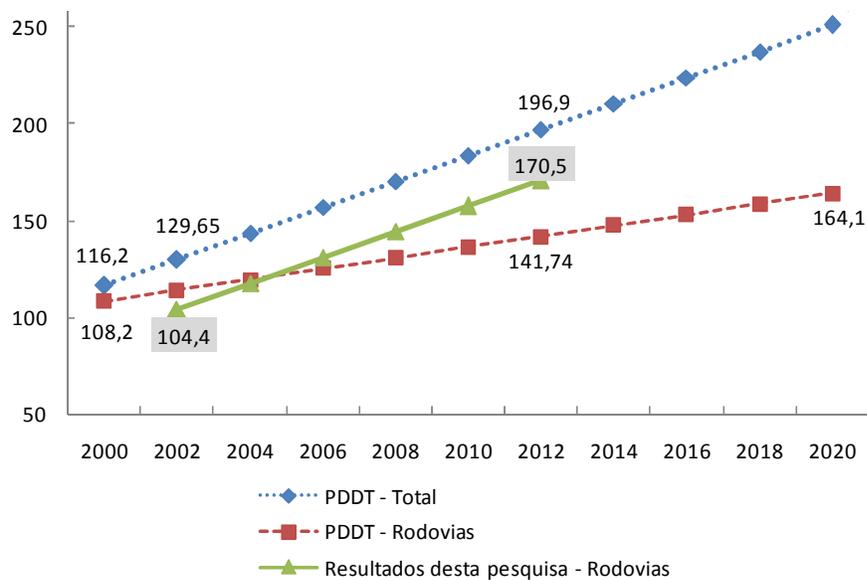


Gráfico 2 - Comparação da evolução dos fluxos estimados neste trabalho e do PDDT vivo

No entanto, como este trabalho mensura apenas os fluxos rodoviários, seria conveniente que a inclinação fosse próxima à projeção do PDDT para as rodovias e não para o total. A explicação para isso baseia-se no fato de que os parâmetros usados neste estudo não levaram em consideração altos investimentos destinados ao desenvolvimento ferroviário. O modelo apenas considera que a expansão ferroviária será proporcional ao aumento da produção dos setores que já utilizam as ferrovias em 2002. Essa hipótese não é descartada, pois os poucos investimentos

realizados recentemente advém de empresas privadas e concessionárias para escoar o aumento da produção, especialmente para a exportação (como é o caso da produção de açúcar).

Além de planos, o Governo não tem consolidado esforços para ampliar a rede ferroviária a fim de desonerar o peso sobre as rodovias, determinando um prognóstico pouco favorável ao desenvolvimento ferroviário, como mostra o relatório da Confederação Nacional do Transporte - CNT em conjunto com o Centro de Estudos em Logística - CEL (COPPEAD, 2002).

Utilizando, novamente, a unidade em R\$\*km, pelo qual o modelo foi ajustado, avalia-se que o uso das rodovias pedagiadas, diante do crescimento econômico previsto para 2012, será maior, ampliando sua participação em 0,5% (Quadro 5). Isso porque as cidades que terão maior desenvolvimento estão próximas às principais autovias, atualmente sob regime de concessão, determinando aumentos maiores que a média estadual sobre as rodovias pedagiadas, como ilustra a Figura 6.

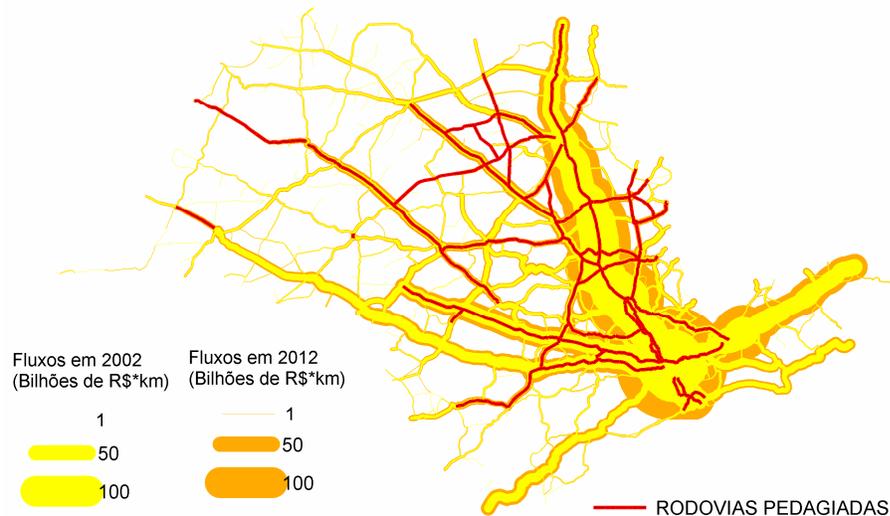


Figura 6 - Desenvolvimento do fluxo econômico sobre as rodovias 2002-2012

Bilhões de Reais	2002	2012
Não Pedagiadas	116 465,21	188 437,27
Pedagiadas	116 668,32	192 416,86
Total	233 133,54	380 854,13
% Pedagiadas	50,04%	50,52%

Quadro 5 - Desenvolvimento da participação do fluxo econômico sobre as rodovias

O método empregado manteve constante, até o ano de 2012, os parâmetros que determinam o tempo utilizado para percorrer cada trecho, sob a hipótese de que o Governo possa manter

devidamente as condições das rodovias sem concessão. Por isso, é possível que o aumento do fluxo sobre as vias pedagiadas seja ainda maior, caso os recursos públicos não sejam suficientes.

Focando as análises para as regiões dentro do Estado, o impacto do crescimento econômico determinou variações diferentes nas Regiões Administrativas do Estado. Pelos dados apresentados na Figura 7, as regiões na face norte de São Paulo tiveram crescimentos abaixo da média estadual (63,4%), variando entre 57,2 (São José do Rio Preto) a 61,4 % (Araçatuba), apenas Campinas teve um crescimento maior. O mesmo ocorreu com as regiões na face Sul, em que a região de Presidente Prudente apresentou a maior variação negativa em relação à do Estado.

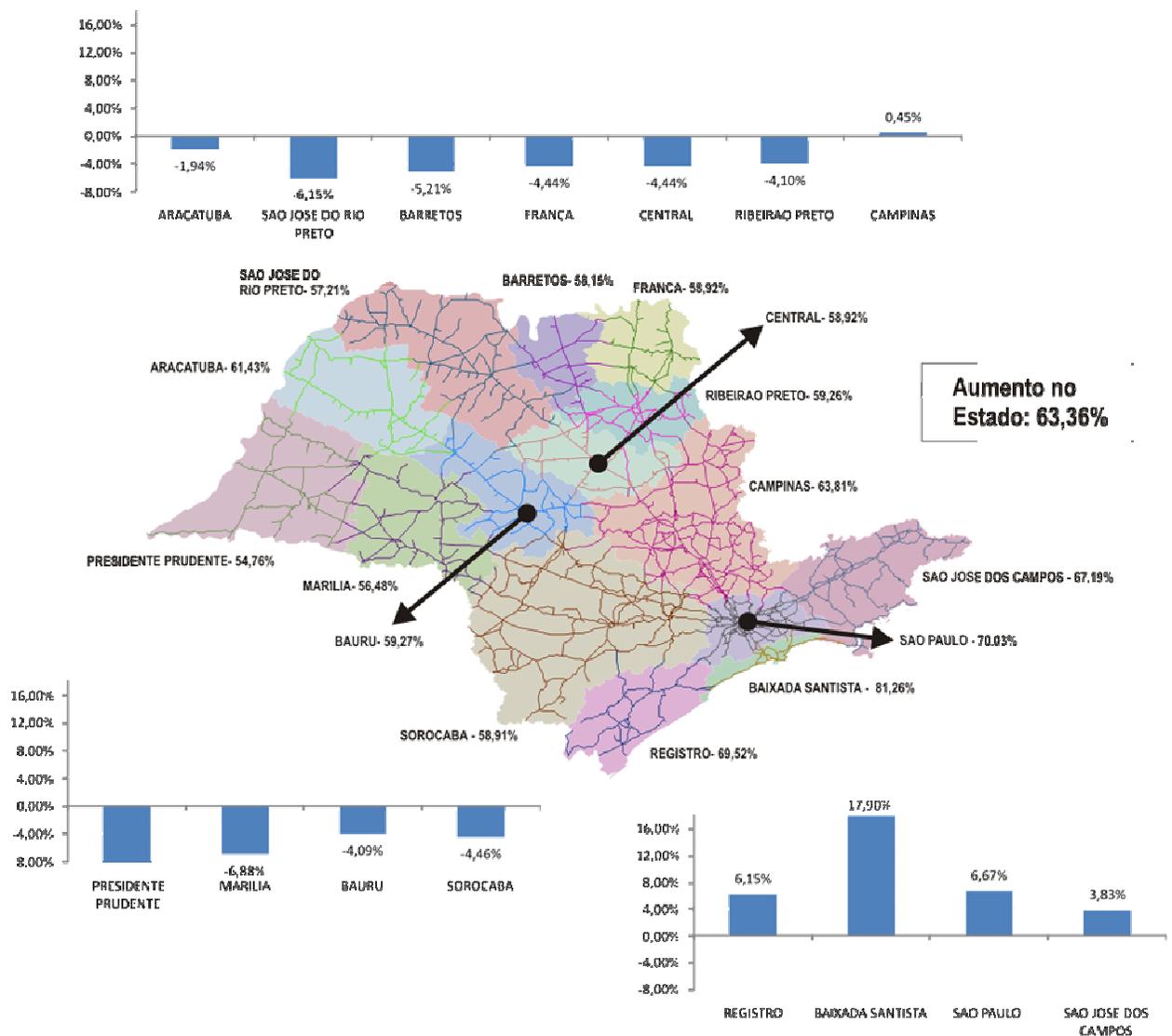


Figura 7 - Variação dos fluxos regionais e composição gráfica das diferenças em relação à média do Estado

Regiões como Marília e Bauru possuem rodovias que terão acréscimos percentuais devido ao escoamento da produção destinada aos centros consumidores próximos a São Paulo. O mesmo volume de cargas também passará nas RAs de Campinas e Sorocaba, mas a elevação percentual se torna menor dada a grande malha compreendida nessas regiões.

Os acréscimos nas regiões de São José dos Campos e Registro estão relacionados com o respectivo aumento do fluxo nas rodovias Presidente Dutra e Regis Bittencourt, em direção ao Rio de Janeiro e Curitiba, haja vista que o impacto considera toda a demanda nacional.

As regiões próximas ao litoral tiveram os maiores aumentos em relação à média. A maior quantidade de exportações previstas para 2012 incorporou 17% ao crescimento no fluxo da Baixada Santista acima da média do Estado. O complexo Anchieta-Imigrantes terá aumento do fluxo estimado em 77,6%, mas a maior parte de sua extensão está dentro da RA de São Paulo que, por sua vez, também terá um aumento acima da média.

A polarização das principais rodovias em direção à cidade de São Paulo e a grande quantidade de empresas situadas nos municípios ao redor da capital elevarão o fluxo de mercadorias e serviços sobre o anel viário da cidade de São Paulo em 74%. Se partes importantes (como o trecho sul) do Rodoanel Mário Covas não forem concluídas, esse aumento também passará pelas avenidas marginais da cidade de São Paulo.

Ao mesmo tempo, ressalte-se que as medidas para melhorar a acessibilidade do entorno rodoviário com a capital podem incentivar ainda mais o desenvolvimento das regiões vizinhas, caracterizando um processo cíclico em que as soluções atuais serão a causa de novos problemas futuros de congestionamento das vias que cercam a capital.

Dessa forma, estratégias multimodais que utilizam outros tipos de transportes (ferroviário, hidroviário e dutoviário) devem ser bastante valorizadas, junto a plataformas logísticas de integração com as rodovias.

Embora muitas outras considerações possam ser extraídas dos dados gerados nesta pesquisa, o resultado mais importante deste estudo corresponde à geração das estimativas sobre a demanda de transportes associada a cada trecho rodoviário presente no Estado, considerando toda a cadeia produtiva pertencente à economia paulista e suas inter-relações com a das outras Unidades da Federação.

### 3.4 Conclusões

Muitos estudos da economia aplicada partem de bases de dados que são devidamente analisadas por métodos quantitativos, resultando em coeficientes, índices, ou quaisquer valores capazes de responder total ou parcialmente às questões que interessam à sociedade.

O método empregado neste trabalho segue o fluxo contrário. A partir dos resultados de outros estudos, como as projeções de crescimento da economia, pode-se estimar uma grande quantidade de parâmetros associados à evolução da demanda por transportes em cada trecho rodoviário do Estado de São Paulo. Por isso, o resultado mais importante deste estudo corresponde à geração dessas informações que consideram a economia paulista uma cadeia produtiva essencialmente dependente pela infra-estrutura de transportes.

A utilidade posterior das informações geradas neste trabalho depende do enfoque a ser dado pelos agentes tomadores de decisão. Para o Governo, elas podem servir para identificar as melhores medidas voltadas à redução da demanda por transportes condicionadas a aspectos inerentes cada setor econômico, pois, caso a malha rodoviária não seja ampliada ou outros tipos de transporte não sejam incentivados, a capacidade da infra-estrutura rodoviária poderá ser uma grande barreira ao tão esperado crescimento econômico.

Ainda, se as informações geradas por este trabalho forem realmente consistentes com a realidade, este trabalho serve como exemplo de como a teoria de insumo-produto pode ser incorporada aos sistemas de informação geográfica. Aplicações voltadas às análises de fluxos, redes e logística permitirão que novos métodos sejam criados ou adaptados, considerando o nível municipal com análises regionais mais específicas.

## Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES - ANTT. **Relatórios anuais das concessões ferroviárias**. Disponível em: <<http://www.antt.gov.br>>. Acesso em: 21 maio 2007.

AGÊNCIA REGULADORA DE SERVIÇOS PÚBLICOS DELEGADOS DE TRANSPORTE DO ESTADO DE SÃO PAULO – ARTESP. **Relatórios anuais**. Disponível em: <<http://www.artesp.sp.gov.br>>. Acesso em: 10 abr. 2007.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **Radar comercial**. Disponível em: <<http://radar.desenvolvimento.gov.br/radar>>. Acesso em: 15 maio 2007.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Secretaria do Comércio Exterior. **Aliceweb**. Disponível em: <<http://alicesweb.desenvolvimento.gov.br>>. Acesso em: 15 maio 2007.

BRASIL. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. **Rodovias: postos de contagem, volume médio diário – Brasil por ano**. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/menu/rodovias>>. Acesso em: 15 abr. 2007.

CENTRO DE ESTUDOS EM LOGÍSTICA - COPPEAD. **Transporte de cargas no Brasil: ameaças e oportunidades para o desenvolvimento do país: diagnóstico e plano de ação**. 2002. Disponível em: <<http://www.centrodelogistica.com.br>>. Acesso em: 5 jun. 2007.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE – CNT. **Pesquisa rodoviária 2006: relatório gerencial**. Brasília: Confederação Nacional do Transporte, 2006. 156 p. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br>>. Acesso em: 20 out. 2007.

DESENVOLVIMENTO RODOVIÁRIO SA – DERSA. **Rodovias: nossos caminhos**. Disponível em: <<http://www.dersa.sp.gov.br/rodovias>>. Acesso em: 30 abr. 2007.

FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS – SEADE. **Informações sobre os municípios paulistas**. Disponível em: <<http://www.seade.gov.br>>. Acesso em: 12 jun. 2007.

GUILHOTO, J.J.M.; SESSO FILHO, U.A. Estimação da matriz insumo-produto a partir de dados preliminares das Contas Nacionais. **Economia Aplicada**, São Paulo, v. 9, n. 2, p. 277-299, abr. 2005.

GUILHOTO, J.J.M.; SESSO FILHO, U.A. **Estrutura produtiva da Amazônia: uma análise de insumo-produto**. Belém: Banco da Amazônia S.A. - BASA, 2005. 320 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Estatística: contas nacionais**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 9 set. 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Sistema IBGE de recuperação automática - SIDRA**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: 29 maio 2007.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA - IPEA. **Ipeadata**: dados macroeconômicos e regionais. Disponível em <<http://www.ipeadata.gov.br>>. Acesso em: 21 maio 2007.

LEONTIEF, W.; STROUT, A. multiregional input-output analysis. In: BARNA, T. (Ed.). **Structural interdependence and economic development**. 1. ed. New York: St. Martin's Press, 1963. chap. 2, p. 119-50

LEONTIEF, W. **Input-output economics**. 1. ed. New York: Oxford University Press, 1965. 257 p.

MILLER, R.E.; BLAIR, P.D. **Input-output analysis: foundations and extensions**. 1. ed. New Jersey: Prentice Hall, 1985. 464 p.

ORTÚZAR, J.D.; WILLUMSEN, L.G. **Modelling transport**. 3. ed. New York: John Wiley, 2004. 499 p.

SÃO PAULO (Estado). Departamento de Estradas e Rodagens de São Paulo - DER/SP. **Volume diário médio por rodovia**. Disponível em: <<http://www.der.sp.gov.br>>. Acesso em: 10 abr. 2007.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Transportes. **Boletim estatístico da Secretaria dos Transportes do Estado de São Paulo**. 2005. Disponível em: <<http://www.transportes.sp.gov.br>>. Acesso em: 9 jun. 2007.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Transportes. **Plano diretor de desenvolvimento dos transportes – PDDT: 2ª versão**. Disponível em: <<http://www.transportes.sp.gov.br>>. Acesso em: 10 jun. 2007.

VASCONCELOS, J.R.; OLIVEIRA, M.A. **Análise da matriz por atividade econômica do comércio interestadual no Brasil**: 1999. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, 2006. (Texto para discussão, 1159). Disponível em: <<http://www.ipea.gov.br/pub>>. Acesso em: 13 jun. 2007.

WILSON, A.G. **Entropy in urban and regional modeling**. Londres: Pion Limited, 1970. 166 p.

WILSON, A.G. The use of entropy maximising models in the theory of trip distribution, mode split and route split. **Journal of Transport Economics and Policy**, Bath, v. 3, n. 1, p. 108-126, Jan. 1969.

#### **4 O IMPACTO DO AUMENTO DA DEMANDA DE ÁLCOOL SOBRE AS RODOVIAS DE SÃO PAULO: UMA ANÁLISE DE INSUMO-PRODUTO GEOREFERENCIADA**

**Silvio M. Ichihara**

**Joaquim José Martins Guilhoto**

##### **Resumo**

A redução da utilização dos combustíveis fósseis é uma das principais preocupações mundiais, incentivando a utilização de fontes alternativas como o etanol. Nesse cenário, o Brasil se destaca, pois foi o segundo maior produtor de álcool combustível no mundo em 2006, detém a tecnologia de produção e utiliza o álcool em larga escala há mais de duas décadas. Entretanto, o país apresenta problemas de infra-estrutura de transportes que poderão ser agravados com o crescimento da economia de forma a reduzir as vantagens dos setores produtivos, inclusive, o da indústria de etanol. Diante desses fatos, o estudo avalia os impactos ocasionados pela expansão da cadeia do álcool na demanda pelo transporte rodoviário no Estado de São Paulo. Os resultados apontam que o iminente aumento da produção de etanol ampliará a demanda de transportes em cerca de 12 bilhões de TKU (toneladas-km-útil) apenas em São Paulo, além do crescimento médio já esperado de 76 bilhões de toneladas até 2012. A instalação de um projeto contendo 6 centros coletores destinados a escoar a produção para as exportações será capaz de reduzir esse aumento, em parte, nos principais eixos rodoviários que ligam o interior à capital, mas o volume de tráfego maior e mais preocupante refere-se à distribuição do combustível por todo o mercado interno, determinando que investimentos imediatos sejam realizados em outros tipos de modais, além do rodoviário, para distribuição do etanol. Some-se a esse fato a preocupação com o aumento dos custos de manutenção das rodovias vicinais que ficam a cargo dos Governos municipal e estadual, devido ao aumento da produção de insumos (cana-de-acúcar) nas regiões do norte e oeste.

Palavras-chave: Etanol; Insumo-produto; Geoprocessamento; Transportes; Rodovias do Estado de São Paulo

**Abstract**

The reduction of the use of biofuels is one of the main world-wide concerns, stimulating the use of alternative sources such as ethanol. In this scene Brazil is a highlight, as it was the second biggest combustible ethanol producer in the world in 2006, it withholds the production technology and it uses the ethanol in wide scale for more than two decades. However, the country presents transports infrastructure problems that could be aggravated with the growth of economy and thus the advantages of the productive sectors may reduce, including the ethanol industry. Ahead of these facts, this study evaluates the impacts caused by the expansion of the ethanol chain on the demand for the road transport in the Sao Paulo State. The results point that the imminent increase of the production of ethanol will extend the demand of transports in about 12 billion ton-km only in Sao Paulo, beyond the expected average growth of 76 billion tons up to 2012. The installation of a project with 6 collecting centers destined to drain the production for the exportations will be capable to reduce this increase, in part, in the main road axles that bind the countryside to the capital. However, the biggest and most preoccupying traffic volume refers to the fuel distribution over the domestic market, determining that immediate investments has to be done in other modal transports, besides the road one, for distribution of ethanol. This fact is worsen by the concern of the increase of the maintenance costs of the vicinal roads that are delegated to the city and State Governments, due to the increase of input production (sugar cane) in the north and west regions.

Keywords: Ethanol; Input-output; Geoprocessing; Transports; Highways of the Sao Paulo State

## 4.1 Introdução

O objetivo deste estudo é avaliar os impactos ocasionados pela expansão da cadeia do álcool na demanda pelo transporte rodoviário do Estado de São Paulo, avaliando e quantificando como a utilização de sistemas de coleta multi-modais pode reduzir o provável problema futuro de sobrecarga da malha rodoviária.

No Brasil, o avanço da tecnologia dos veículos que utilizam combustível flexível possibilita o uso do álcool como substituto direto da gasolina, permitindo que o consumidor possa reduzir gastos ao optar total ou parcialmente pelo uso do etanol em função da relação de seu preço com o da gasolina.

Ainda, a redução da queima dos combustíveis fósseis situa-se como uma das principais preocupações ambientais diante da questão do aquecimento global, não apenas no Brasil, mas em todo o Mundo. Tal fato desencadeou a pesquisa e adoção de fontes energéticas alternativas aos derivados do petróleo, nas quais se incluem o álcool e o biodiesel (que pode futuramente utilizar o etanol em seu processo de fabricação).

Se pelo lado da demanda, aspectos tecnológicos, econômicos e ambientais têm contribuído para o aumento do consumo de álcool, por outro, a produção desse combustível em larga escala é ainda restrita a poucos países.

Nesse cenário, a produção brasileira de álcool ganha destaque, sendo que dentre os estados com maior capacidade já instalada, o Estado de São Paulo admite maior importância ao concentrar mais de dois terços da produção nacional desse combustível e, mesmo que a construção de muitas das novas unidades produtoras esteja prevista para fora de seus limites, a produção paulista ainda pode ser bastante ampliada, aproveitando toda a estrutura existente e seu vasto mercado consumidor proporcional à frota de veículos que possui.

O processo de desenvolvimento da produção de etanol pode acarretar alterações regionais locais quanto à distribuição de riqueza e empregos em suas localidades, além de fortes acréscimos sobre sua infra-estrutura, especialmente no que diz respeito ao sistema de transporte de cargas.

Essencialmente, a cadeia do álcool depende da locomoção de grandes volumes, desde a obtenção da cana-de-açúcar, passando pelas etapas de distribuição do combustível até o consumo final nos postos revendedores.

Além disso, se a produção for ampliada em outras regiões, parte da produção de álcool dirigida para o mercado externo utilizará, em grande parte, o sistema viário de São Paulo para ser escoada pelo sistema portuário do Estado.

Tendo em vista esses fatos, a antecipação dos impactos ocasionados pelo aumento do consumo do etanol no Brasil pode contribuir para promover a expansão coordenada do setor. Para isso, o método proposto para essa finalidade concatena fundamentos da análise espacial, dos modelos de insumo-produto e técnicas de geoprocessamento aplicado às redes de transportes.

Os itens, a seguir, ainda dentro desse tópico introdutório, formalizam a revisão da literatura sobre a perspectiva esperada do aumento do consumo de etanol nos próximos anos, justificando o que está explícito nos parágrafos anteriores e delimitando os cenários necessários para calcular as estimativas futuras.

Posteriormente, o tópico denominado metodologia descreve os métodos empregados, tanto nas análises como também no processamento das bases de dados utilizadas. Os dois últimos tópicos expõem os resultados e suas respectivas discussões e as conclusões finais.

#### **4.1.1 Oferta e demanda de álcool combustível no Brasil**

O entendimento sobre a evolução da produção e do consumo de álcool combustível no Brasil depende, basicamente, do acompanhamento histórico de três outros produtos: cana-de-açúcar (sua principal matéria-prima), açúcar (com o álcool ele define o mix da produção industrial do setor) e derivados combustíveis do petróleo, principalmente a gasolina (bem substituto ao álcool hidratado e complementar ao álcool anidro).

Tanto a produção do açúcar, como a de álcool, têm, em comum, a obtenção do caldo da cana-de-açúcar. Isso determina que, na mesma planta industrial, usinas com destilarias anexas podem destinar parte ou a totalidade de sua produção para um ou outro produto, dependendo da rentabilidade (ALVES; BACCHI, 2004).

Ao mesmo tempo, as etapas que envolvem o cultivo da cana-de-açúcar e seu pré-processamento (limpeza, moagem e obtenção do caldo) correspondem a 80% do custo de produção dos dois produtos como é determinado por Macedo (2005). Isso demonstra a importância da cana nesse processo e a flexibilidade da planta industrial sulcroatcooleira, visto que a decisão em se produzir açúcar ou álcool depende de alterações nos 20% dos custos e operações restantes.

Entretanto, sem mercado consumidor para um dos produtos, essa flexibilidade não gera vantagens. Até meados da década de 1970, o uso industrial da cana-de-açúcar era dirigido basicamente para a fabricação de açúcar, pois a demanda por álcool era bastante restrita, aumentando apenas após o lançamento do Plano Nacional do Álcool, denominado Proálcool.

Criado pelo Governo, o Proálcool buscou amenizar o problema da demanda energética associada ao modelo de industrialização adotado no Brasil, que tinha a indústria automotiva como um de seus alicerces. Seu objetivo primordial era substituir os combustíveis derivados do petróleo a fim de se reduzir sua importação e evitar o aumento da dependência do País quanto a divisas externas.

Em 1973, quando ocorreu o primeiro choque do petróleo, cerca de 80% do petróleo consumido era importado. No referido ano, a elevação de 322% do preço internacional do barril de petróleo foi uma das principais motivações que levaram o Governo a implantar o programa dois anos depois. Em 1979, o segundo choque, elevou ainda mais os preços do barril, incentivando também políticas de investimento estatal para os segmentos de exploração de petróleo no território nacional (ARAGÃO, 2005).

Paralelo aos choques do petróleo, as perspectivas do mercado mundial do açúcar tornaram-se instáveis. O estímulo dado pela elevação do preço do açúcar, no fim da década de 1960 e início da de 1970, determinou a forte expansão de sua produção, elevando sua oferta e posterior declínio do preço do produto. Em 1975, o preço do açúcar no mercado internacional retraiu cerca de 240% e a ascensão desse mercado após esse ano não era promissora, devido ao próprio desaquecimento da economia mundial da segunda metade dos anos 70.

Ante essa conjuntura, o Governo buscou garantir o abastecimento de álcool através da manutenção da paridade do preço do álcool com o do açúcar, caso o preço desse último voltasse a aumentar, beneficiando a administração das usinas, por meio do artigo 6º do decreto que instituiu o Proálcool (BRASIL, 1975).

Em vista desses fatos, a partir de 1975, a execução do programa teve diferentes fases ao longo de sua trajetória até os dias atuais. Utilizando a divisão de Veiga-Filho e Ramos (2004) a cronologia do Proálcool pode ser desenvolvida em quatro períodos como mostra o eixo horizontal do gráfico: “Produção de álcool”, no centro da Figura 1.

A Figura 1 procura sintetizar os acontecimentos que incidiram direta ou indiretamente na indústria sulcralcooleira, relacionando-os com séries históricas de preços e produção.

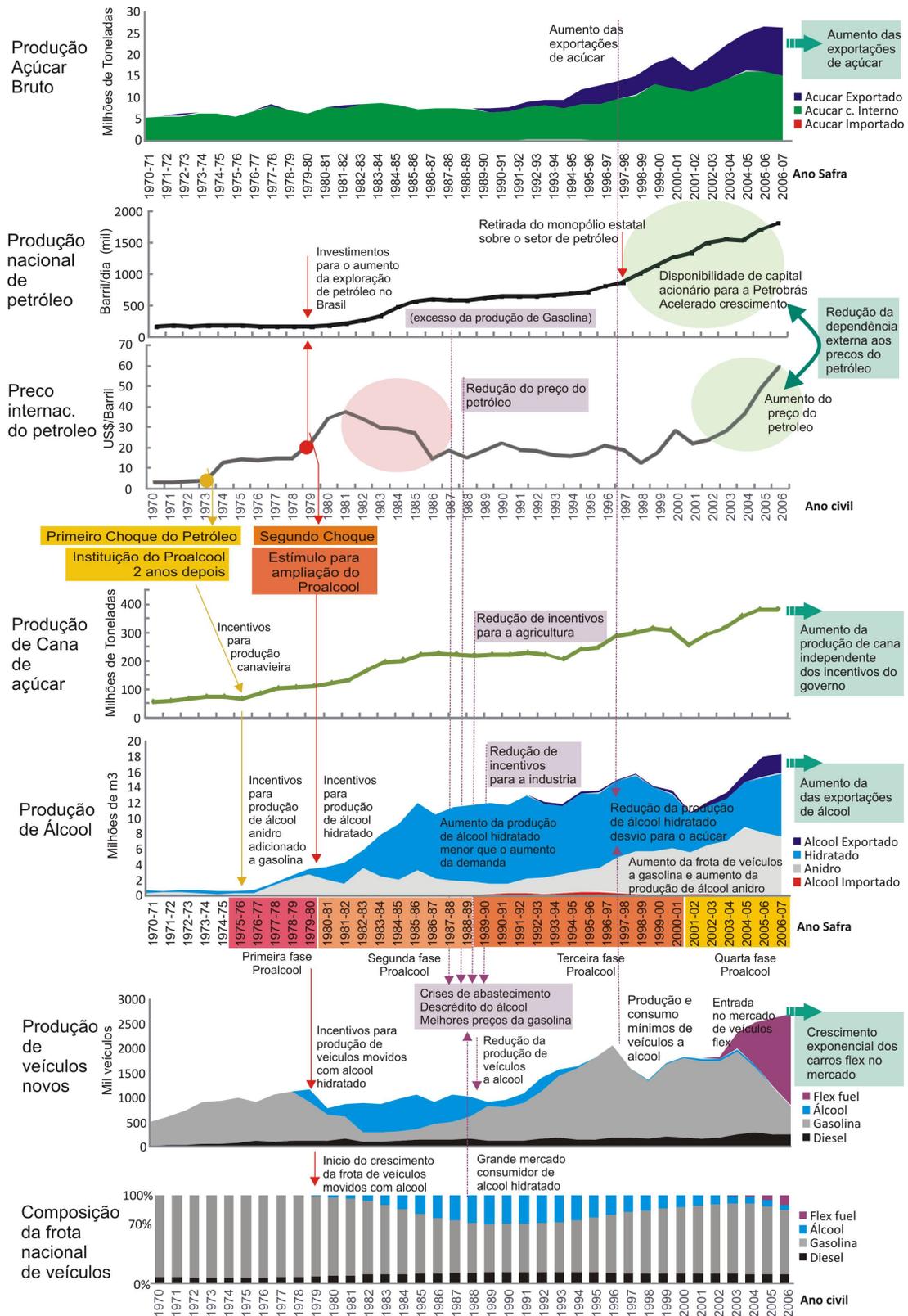


Figura 1 - Desenvolvimento do mercado de álcool, considerando os de cana-de-açúcar, açúcar, petróleo e veículos

Fonte: Produzido com informações:

- i)* sobre a produção de açúcar bruto - BRASIL (2007);
- ii)* sobre a produção nacional de petróleo - IPEA (2007);
- iii)* sobre o preço internacional do petróleo - EIA (2007a);
- iv)* sobre a produção de cana de açúcar - BRASIL (2007);
- v)* sobre a produção de álcool - BRASIL (2007);
- vi)* sobre a produção de veículos novos - ANFAVEA (2006);
- vii)* sobre a composição da frota nacional de veículos - ver Apêndice F.

No período da primeira fase do Proálcool (1975-1979), os incentivos dirigidos à indústria de álcool, junto aos financiamentos destinados ao cultivo da cana-de-açúcar, propiciaram a redução da ociosidade presente nas usinas de açúcar, elevando de maneira acentuada a produção de álcool anidro. O combustível tornou-se complementar à gasolina e auxiliou o abastecimento da frota automotiva nacional.

Entretanto, isso não possibilitou a redução significativa da dependência do país do petróleo importado. Por isso, os efeitos do segundo choque do petróleo, em 1979, ainda foram bastante sentidos, levando o Governo a promulgar a próxima etapa do Proálcool, na qual o álcool deixou de ser apenas complemento, para se tornar também um combustível único (álcool hidratado). Essa medida marca o início da segunda fase (1979-1989) que esteve associada ao auge e à posterior crise do programa.

Ao induzir a indústria automobilística a fabricar motores a álcool e auxiliar a implantação de novas destilarias autônomas e redes de distribuição, o Governo eleva ao mesmo tempo a oferta e demanda de álcool na economia nacional, obtendo sucesso nos dois lados à custa de pesados recursos públicos. Com a colaboração da indústria automobilística e a confiança depositada pelo consumidor, o programa atinge o auge entre 1982 e 1985, quando mais de 60% dos automóveis produzidos no Brasil eram movidos a álcool. Mas, após esse período, inicia-se o processo de declínio do programa, devido a três fatores principais que contribuíram para a falta de álcool hidratado no fim da década de 1980:

- i)* a retenção de gastos do Governo, ocasionando a brusca redução de recursos públicos e incentivos para a agricultura canavieira e para as indústrias ligadas ao Proálcool;
- ii)* a queda dos preços do petróleo no mercado internacional, além do aumento significativo da exploração e refino de petróleo em território nacional, sendo que a rigidez dos coeficientes técnicos de craqueamento do petróleo determinou o excesso de produção de gasolina;
- iii)* a perspectiva de ascensão dos preços do açúcar no mercado internacional.

A falta de álcool, em 1989, marca o início da terceira fase que termina com o fraco desempenho do programa em 2000, ocasionado, agora, pela significativa redução da demanda por álcool. Esse período é marcado por incertezas atribuídas ao processo de desregulamentação do setor sucroalcooleiro. O Governo, inicialmente, suprimiu a ação do Instituto do Álcool e Açúcar – IAA e, posteriormente, não manteve mais tabelados os preços de açúcar, álcool anidro, cana-de-açúcar e álcool hidratado nos anos de 1994, 1997, 1998 e 1999, respectivamente (ALVES, 2002). Associado ao processo, a redução de crédito e liquidez, durante a década 1990, incentivou os produtores a buscarem recursos nas exportações de açúcar, segundo Moraes (2000). Com a liberação das exportações de açúcar em 1994, o volume do produto exportado saltou de 1,5 para cerca de 12 milhões de toneladas, nos anos de 1990 a 1999.

Diante da instabilidade do setor sucroalcooleiro, a credibilidade da gasolina, em detrimento da do álcool, foi fortalecida. O preço do petróleo internacional não teve grandes oscilações e, em 1997, ao retirar a exclusividade do monopólio estatal da Petróleo Brasileiro S.A. - Petrobrás, a Lei nº 9478<sup>15</sup> tornou possível a competição no setor petrolífero. A própria Petrobrás é incentivada a incrementar substancialmente seus investimentos na exploração e transformação do petróleo, sendo que com o processo de desestatização e vendas de ações excedentes do controle da União, a empresa passou a contar com um grande volume de recursos acionários, melhorando ainda mais seu desempenho (GIAMBIAGI; MOREIRA, 1999).

Esses fatos condicionaram a redução da produção de veículos a álcool desde o fim da década de 1980 e ao longo da de 1990, reduzindo sua frota em circulação e o consumo de álcool hidratado. O excesso de produção reduziu os preços do álcool e parte do processamento da cana foi redirecionada para o açúcar.

Para Veiga-Filho e Ramos (2004), o Proálcool apenas se susteve até o ano de 2000 devido à obrigação de incorporar álcool anidro à gasolina. Após esse ano, a expansão do número de veículos movidos com combustível flexível (veículos *flex fuel*) e o aumento da demanda por álcool no mercado internacional marcam a quarta fase do programa que parte de 2000 e chega até os dias atuais (2007).

Nos últimos anos, ações corporativas entre segmentos econômicos renovaram o Proálcool, sendo que a intervenção do Estado foi bastante reduzida (MARTINES-FILHO; BURNQUIST;

---

<sup>15</sup> A Lei nº 9478, além de retirar o monopólio estatal da Petrobras, também institui a Agência Nacional do Petróleo - ANP e o Conselho Nacional de Política Energética - CNPE (BRASIL, 1997).

VIAN, 2006), estando ainda presente apenas porque o álcool faz parte da matriz energética nacional.

Ao lançar os veículos *flex*, a indústria automotiva permitiu que o consumidor pudesse optar pelo abastecimento com gasolina, com álcool hidratado ou com a mistura de ambos. Dada a diferença existente entre os preços dos dois combustíveis, o mercado consumidor aceitou rapidamente essa nova tecnologia, aumentando consideravelmente a demanda interna por álcool.

Segundo Macedo (2005), o próprio aumento da frota de veículos, reflexo do desenvolvimento econômico do país e das facilidades de financiamento para a compra de veículos, determinou o maior consumo da gasolina e conseqüente demanda por álcool anidro, dado que, nos últimos anos, o teor de etanol adicionado gira em torno de 24%.

O desenvolvimento econômico pode favorecer ainda mais a indústria sulcralcooleira. O problema de fornecimento de energia elétrica, limitante aos planos de crescimento nacional, beneficia as usinas que possuem potencial para a geração de eletricidade a partir do bagaço resultante da moagem da cana. Estima-se que, no âmbito nacional, 3 a 4 mil MW de energia podem ser comercializados pelas usinas (RODRIGUES, 2003).

Do lado da demanda externa, a crescente preocupação com a redução da poluição do ar em grandes centros urbanos e a questão do aquecimento global, vinculada à queima dos combustíveis fósseis, têm elevado a adição de álcool anidro à gasolina em todo o mundo, favorecendo as exportações brasileiras, assunto mais bem discutido no item seguinte.

Mediante essa história, note-se que a situação da cadeia produtiva sulcralcooleira em 2006 é ascendente e determinada por um ambiente bastante diferente do observado em outras épocas. Nos últimos anos, essa indústria foi obrigada a desenvolver eficiência e competitividade, diante das reviravoltas da economia brasileira e das políticas governamentais. Ao mesmo tempo, sólidas garantias de mercado têm sido estabelecidas dentro e fora das fronteiras do país, garantindo a estabilidade da demanda e da produção para os próximos anos.

#### **4.1.2 Oferta e demanda de álcool combustível no Mundo**

O uso de álcool anidro adicionado à gasolina não é recente. Segundo Rodrigues (1975), entre 1942 e 1946, o Brasil chegou a utilizar, experimentalmente, uma mistura com teor de 42% de álcool. Além disso, na década de 1970, outros países também realizaram testes com percentuais que variavam de 6% a 30%.

Os motivos principais que justificavam a adição do álcool estavam relacionados ao preço do petróleo e à questão técnica do aumento da octanagem (capacidade de suportar pressão sem detonar). Nesse quesito, outros dois aditivos têm a mesma função: o Chumbo-Tetra-Etila - CTE e o Metil-terci-butil-éter - MTBE.

O CTE foi utilizado em larga escala até a década de 1970, mas devido a sua enorme toxicidade associada ao chumbo, seu uso foi proibido em muitos países. O MTBE não é tão perigoso para a saúde quanto o CTE, mas pode ocasionar sérios problemas para o meio ambiente, contaminando o solo e aquíferos subterrâneos, por isso sua utilização também foi reduzida.

Além da questão dos aditivos, obviamente, a própria combustão da gasolina gera gases tóxicos e problemas ao meio ambiente e para a saúde humana. Entretanto, segundo Goldenstein e Azevedo (2006), a preocupação atual não está relacionada tanto com a emissão de gases tóxicos, mas, sim, com a do gás tido como inofensivo durante muito tempo: o dióxido de carbono. Para os autores, se por um lado o desenvolvimento tecnológico de sistemas de injeção eletrônica e filtros catalisadores reduziu a emissão dos gases tóxicos em cerca de 90%, por outro, o gás carbônico, oriundo da queima de combustíveis fósseis, tornou-se o principal suspeito da causa do aquecimento global.

O planeta demorou milhões de anos para estocar os compostos de carbono no subsolo, mas, apenas em algumas décadas, o Homem pôde reverter esse processo provocando o desequilíbrio do ciclo do carbono. O excesso de dióxido de carbono na atmosfera fez com que as atenções se voltassem para a obtenção de energia a partir de fontes que mantenham o ecossistema em equilíbrio.

Após a década de 1980, diversos eventos internacionais serviram como base para a formulação do Protocolo de Quioto em 1997. Esse tratado estabeleceu um calendário, no qual diversos países têm a obrigação de reduzir a produção de gases poluentes em 5,2% até 2012, tendo como base os índices de 1990 (MORAES, 2000).

Nesse contexto, o setor de transportes é um dos principais responsáveis pelo lançamento de gases na atmosfera, respondendo por 18% do total das emissões mundiais de CO<sub>2</sub> e 14% das emissões de gases totais<sup>16</sup>, segundo relatório do World Resources Institute - WRI (2006). O setor apresentou, ainda, o maior crescimento das emissões diretas de gás carbônico nas últimas

---

<sup>16</sup> Além da preocupação com o gás carbônico, a problemática do aquecimento global gira em torno de todos os gases que absorvem e retransmitem a radiação infravermelha, como o vapor d'água, metano, CFCs e HCFCs denominados Greenhouse Gas - GHG (UNEP, 2000).

décadas<sup>17</sup>. Por isso, tanto o desenvolvimento de novos motores mais eficientes, como os movidos por combustíveis renováveis, destacam-se dentre as várias alternativas<sup>18</sup> usadas para mitigar o problema.

No caso da utilização de combustíveis renováveis como o álcool, o gás carbônico resultante de sua queima é contrabalançado por aquele necessário para o crescimento da cana-de-açúcar, tornando-o inerte para a contabilidade ambiental. Dessa forma, sua combustão não contribui para o aumento do efeito estufa, por isso esse combustível tem sido reconhecido como uma das possíveis soluções ante a questão do aquecimento global, caracterizando-se como forte candidato às políticas de financiamento em razão do que foi estabelecido no Protocolo de Quioto.

Embora os avanços para o futuro apontem para veículos híbridos que possam utilizar energia elétrica, solar e quaisquer outras fontes ainda menos nocivas ao ambiente, no curto prazo, o etanol apresenta vantagens, pois sua adição à gasolina pode ser feita em até 10% sem necessitar de alterações na regulagem dos motores (RODRIGUES, 1975), evitando a adoção brusca e imediata de tecnologias muito diferentes das tradicionais.

Além disso, substituir toda a infra-estrutura existente para distribuição de combustíveis líquidos por uma outra rede de abastecimento energético (como a energia elétrica) seria um processo extremamente oneroso para os Governos e suas economias, praticamente inviável em curto espaço de tempo.

O processo de adaptação aos novos paradigmas ambientais necessita ser, então, gradativo, fazendo com que diversos países optem pelo uso do álcool nos próximos anos, especialmente como aditivo para a gasolina<sup>19</sup>.

Embora o respeito pela questão ambiental tenha se desenvolvido notoriamente nas duas últimas décadas, a substituição dos combustíveis fósseis por fontes renováveis também foi fortemente influenciada pela elevação de 168% do preço do petróleo entre os anos de 2001 e 2006, segundo o Energy Information Administration - EIA (2007).

---

<sup>17</sup> Entre 1970 e 2004 o crescimento das emissões elevou 120% sendo superado apenas pelo setor de geração de energia (145%) segundo o Intergovernmental Panel on Climate *Change* - IPCC (2007).

<sup>18</sup> Além do desenvolvimento de novos motores o relatório do IPCC sugere ainda substituir o transporte rodoviário de cargas pelo ferroviário, investir em transporte público e, até mesmo, reorganizar a disposição urbana para incentivar o uso de transportes não motorizados (IPCC, 2007).

<sup>19</sup> O Apêndice E apresenta um resumo das medidas adotadas em alguns países que já iniciaram esse processo, substituindo parte do consumo da gasolina e diesel por combustíveis que usam a biomassa vegetal, focando o uso do etanol no setor de transportes.

A projeção futura do EIA (2007), no entanto, demonstra a posterior queda dos preços após os anos de 2007 e 2008, voltando a subir de maneira moderada a partir de 2014, como mostra o Gráfico 1.

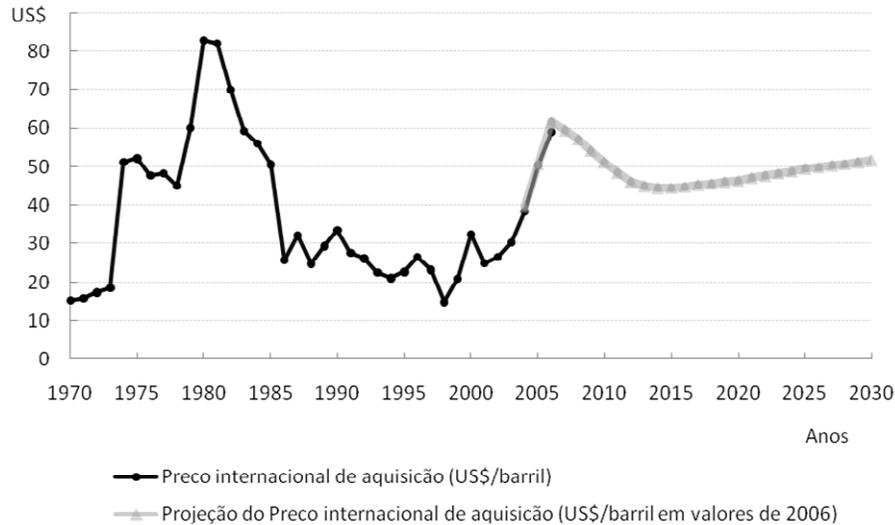


Gráfico 1 - Evolução e projeção do preço internacional do petróleo

Fonte: Produzido com informações do EIA (2007) e deflacionados utilizando o Consumer Price Index - CPI (ano base: 2006).

Mesmo com o declínio do preço do barril previsto para os anos futuros, o valor médio a partir de 2014 (cerca de US\$ 47) ainda se manterá muito acima da média da década de 1990 e início da de 2000, dada expectativa de esgotamento contínuo das reservas petrolíferas. Conforme a teoria do Pico de Hubbert, na qual após um período de grande produção espera-se o declínio e subsequente término da produção de petróleo.

A perspectiva mundial de substituição dos derivados do petróleo por fontes renováveis torna inevitável o crescimento do mercado internacional de biocombustíveis, como o etanol. No entanto, se por um lado o aumento da demanda por etanol pode ocorrer em muitos países, por outro, sua oferta é restrita a cerca de 30 países, como observado na Figura 2, destacando o fato de que apenas quatro países (Estados Unidos, Brasil, China e Índia) concentraram cerca de 80% da produção mundial, em 2006, segundo a Renewable Fuels Association - RFA (2007).

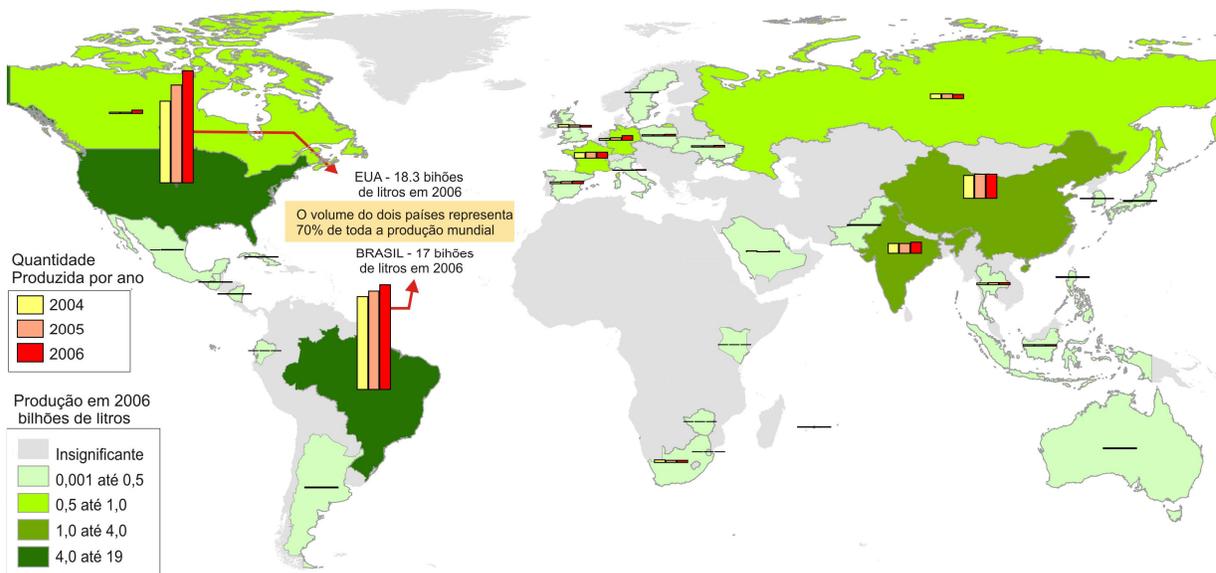


Figura 2 - Principais países produtores de etanol em 2006 e evolução da produção de 2004 a 2006

Fonte: Produzido com informações de RFA (2007)

Em 2006, do total de 51 bilhões de litros de etanol produzidos no mundo, os Estados Unidos foram responsáveis pela maior produção, com 18,3 bilhões, mas seu consumo foi ainda maior (20,3 bilhões), exigindo recorrer à redução de seus estoques e à importação (RFA, 2007). Enquanto isso, o Brasil, maior produtor até o ano de 2004, destinou parte considerável de sua produção para as exportações em 2006. Segundo o relatório do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, cerca de 2,5 bilhões de litros (14% da produção na safra 2005/06) foram exportados para diversos países, em especial, para aqueles que têm grande dependência do petróleo, conforme a Figura 3.

Esses aspectos demonstram a atuação do país no recente mercado internacional do álcool. Para Marjotta-Maistro (2002), o potencial de expansão da produção no Brasil é maior e mais veloz do que em qualquer outro país exportador, devido à grande capacidade instalada para a produção de cana-de-açúcar, baseada no suporte das indústrias de álcool e açúcar. Além do fato de ser o único país com a experiência histórica de utilização maciça de combustível renovável.

Esta afirmação ainda é reforçada quando se avalia os baixos custos de produção do etanol no Brasil em relação aos dos outros países. O relatório sobre a perspectiva da produção internacional de biocombustíveis para transporte, produzido pela International Energy Agency - IEA (2004), demonstra que os custos do álcool a partir da cana-de-açúcar são bastante inferiores. Mesmo em estimativas futuras, a alta competitividade do etanol ainda permanece e apenas o álcool

produzido a partir hidrólise enzimática da celulose (madeira) poderá ter custos próximos aos da cana, caso o desenvolvimento tecnológico possa reduzir os custos de processamento.

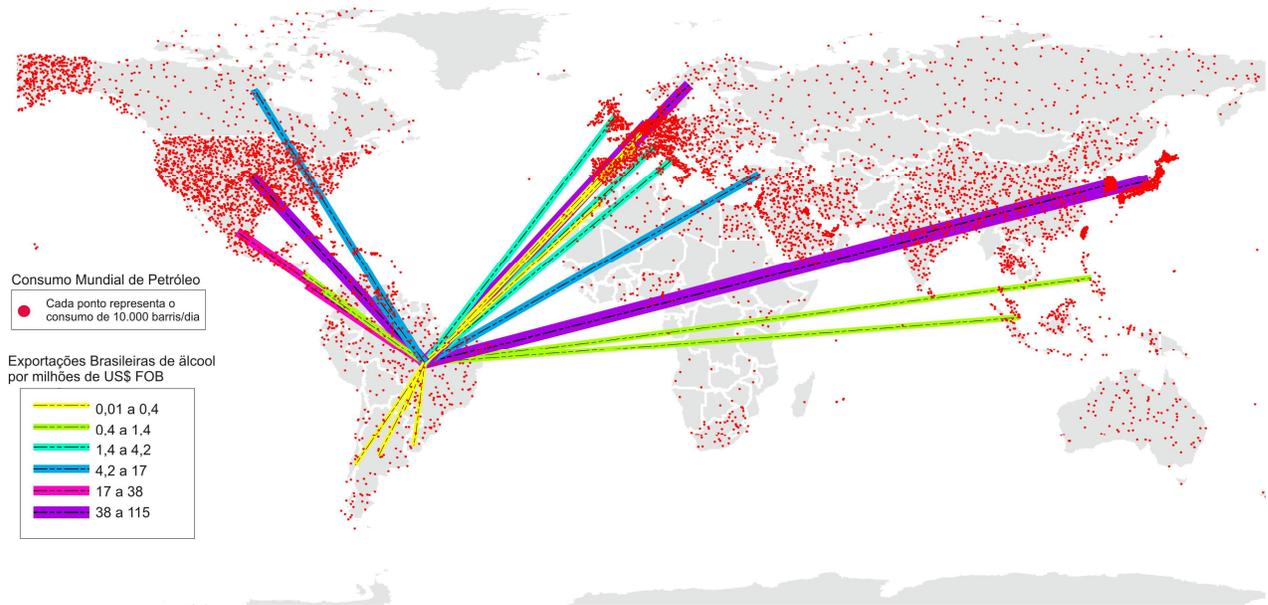


Figura 3 - Consumo de petróleo por país em 2004 e destino das exportações brasileiras de etanol em 2005

Fonte: Produzido com informações:

- i) sobre o consumo de petróleo (EIA, 2007);
- ii) sobre as exportações brasileiras de etanol – Sistema Radar Comercial (BRASIL, 2007a).

#### 4.1.3 Perspectivas sobre a produção de álcool no Brasil e no Estado de São Paulo

Como observado, muitos aspectos corroboram com a hipótese do aumento da produção mundial de álcool nos próximos anos. Pelas informações do IEA (2004), espera-se que em 2020 a produção mundial de etanol esteja ao redor de 120 bilhões de litros.

Um estudo mais recente, elaborado pelo Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República - NAE (BRASIL, 2005), estima que, em 2012, a demanda mundial por álcool seja de 84 e, em 2025, ao redor de 205 bilhões de litros. Essas estimativas levaram em consideração as projeções do consumo mundial de combustíveis e as autorizações referentes ao teor de etanol na gasolina de diversos países.

É provável que parte dessa demanda seja atendida pela produção interna dos próprios países, sendo que o volume de importações no mercado internacional deverá atingir 8 e 40 bilhões de

litros de etanol, nos dois anos em questão. Nesse cenário, o Brasil pode atender a 50% do mercado, implicando na exportação de 4 bilhões de litros em 2012 e 20 bilhões em 2025.

O estudo do NAE (BRASIL, 2005) incorpora o crescimento nacional da frota de carros bicomustíveis e, conseqüentemente, o aumento da demanda interna de outros 5 bilhões de litros para 2012. Como a produção nacional de etanol, em 2005, atingiu cerca de 16 bilhões de litros espera-se que, em 2012, a produção esteja ao redor de 25 bilhões de litros<sup>20</sup>. Isso significa que o cultivo de cana-de-açúcar ocupará 8 milhões de hectares<sup>21</sup> em 2012 e pelo menos 100 novas usinas serão construídas. Para 2025, o mesmo estudo aponta o patamar de produção nacional de álcool em torno de 50 bilhões de litros.

Outros relatórios do governo apontam para cenários ainda mais otimistas. As projeções demonstradas pela Assessoria de Gestão Estratégica - AGE, ligada ao Ministério da Agricultura, representam valores superiores, em que a produção de 25 bilhões será alcançada dois anos antes, em 2010 (BRASIL, 2007b).

Essas projeções são confirmadas empiricamente, ao averiguar o direcionamento de grande volume de financiamentos do BNDES para os setores associados com a produção do etanol, incluindo a agricultura e usinas. Em 2004, o desembolso do banco para esses setores esteve ao redor de R\$ 600 milhões. Em 2006, o volume alcançou mais de R\$ 2,0 bilhões e, no início de 2007, o volume de solicitações superou 7,2 bilhões (BNDES, 2007).

Além disso, a União dos Produtores de Bioenergia - UDOP (2007), já apresenta as informações cadastrais de 73 usinas que serão inauguradas nos próximos anos, sendo que alguns projetos de construção já estão em fase adiantada. A Figura 4 apresenta os locais onde serão instaladas essas novas unidades, distribuídas em 6 estados: São Paulo (31), Minas Gerais (16), Goiás (13), Mato Grosso do Sul (8) ; Paraná (4) e Mato Grosso (1).

A maior parte das novas usinas estarão localizadas em São Paulo, onde serão construídas 31 usinas, sendo que 29 estão situadas na região do noroeste paulista (área destacada dentro do Estado, na Figura 4). Ao expandir o domínio da região noroeste, tanto ao norte como ao sul, conforme os limites tracejados, a nova área passa a conter 46 usinas ou 63% do total das 73 novas usinas. Se também forem contabilizadas as duas aglomerações indicadas pelos círculos (em Goiás

---

<sup>20</sup> 25 bilhões de litros = 4 bilhões do aumento das exportações + 5 bilhões do aumento da demanda interna + 16 bilhões já produzidos em 2006.

<sup>21</sup> Considerando a produção de 6000 litros de álcool anidro por hectare e, também, o aumento da cana destinada à produção de açúcar.

e no Mato Grosso do Sul), forma-se uma geometria que contém 74% das futuras usinas, basicamente, é um arco que reflete a expansão do desenvolvimento sucroalcooleiro.

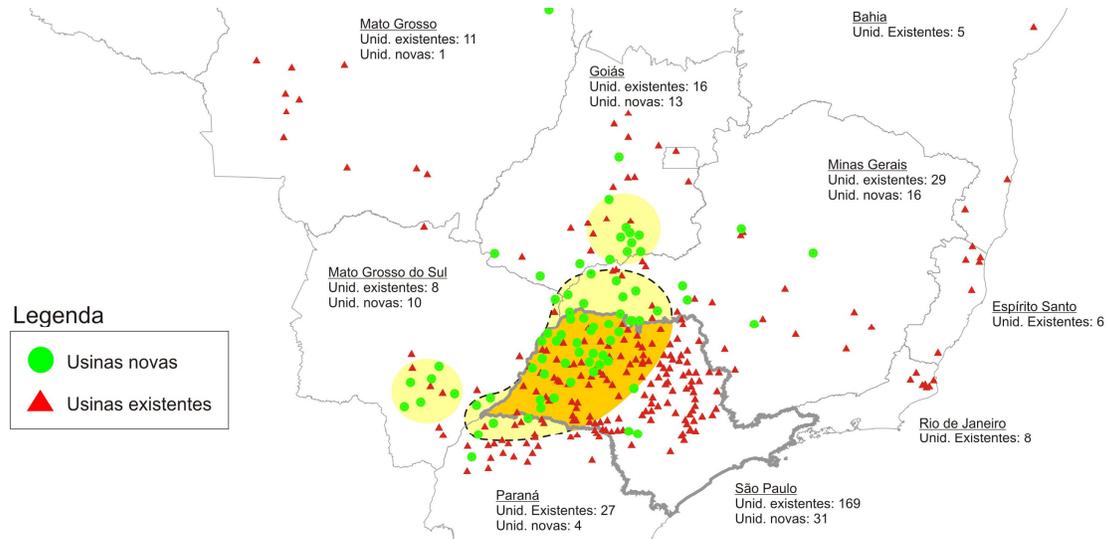


Figura 4 - Localização das novas unidades de produção e as existentes na região Centro-Sul

Fonte: Produzido com dados de UDOP (2007)

Ao posicionar a geometria sobre os mapas de potencial agrícola para o cultivo da cana e da infra-estrutura viária, percebe-se que as novas unidades serão implantadas em regiões estratégicas, conforme a Figura 5.

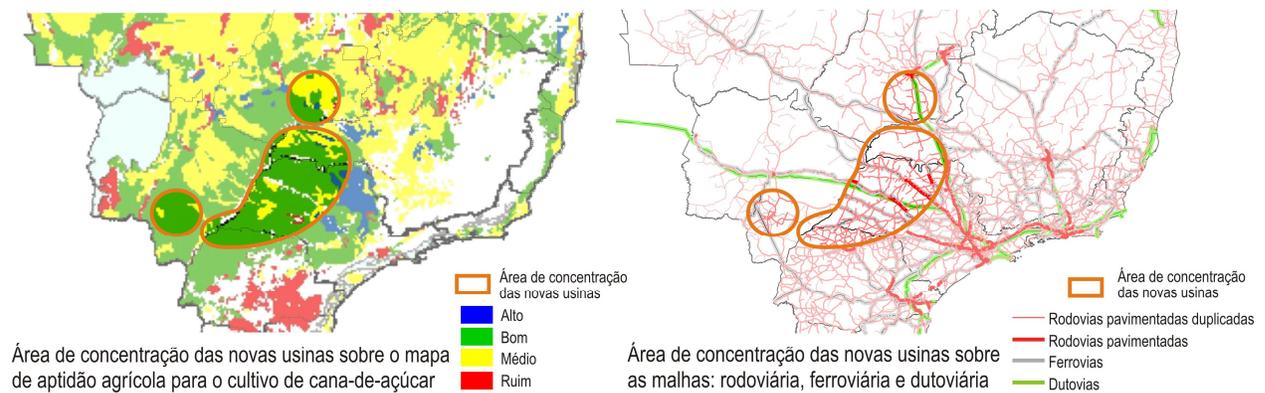


Figura 5 - Áreas de concentração das novas usinas sobre a aptidão agrícola e os sistemas viários

Fonte: Produzido com informações de:

- i) Mapa de aptidão agrícola: Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético Nipe-Unicamp - CGEE;
- ii) Sistema viário Bases de dados gerreferenciadas (ver Apêndice B).

Embora sejam também apontadas outras regiões do país como aptas ou até melhores em razão do clima, potencial de mecanização e menor valor da terra, ainda assim, a preferência pela implantação de unidades dentro do Estado de São Paulo e seus arredores ocorre devido à infraestrutura já instalada, às vias de escoamento para a exportação e a proximidade, tanto com o mercado de insumos como com o mercado consumidor. A Figura 6 mostra como o Estado de São Paulo se destaca diante dos demais Estados em termos da produção de álcool, da presença de insumos (cana-de-açúcar) e do consumo de álcool, de acordo com a disposição estadual da frota nacional de automóveis.

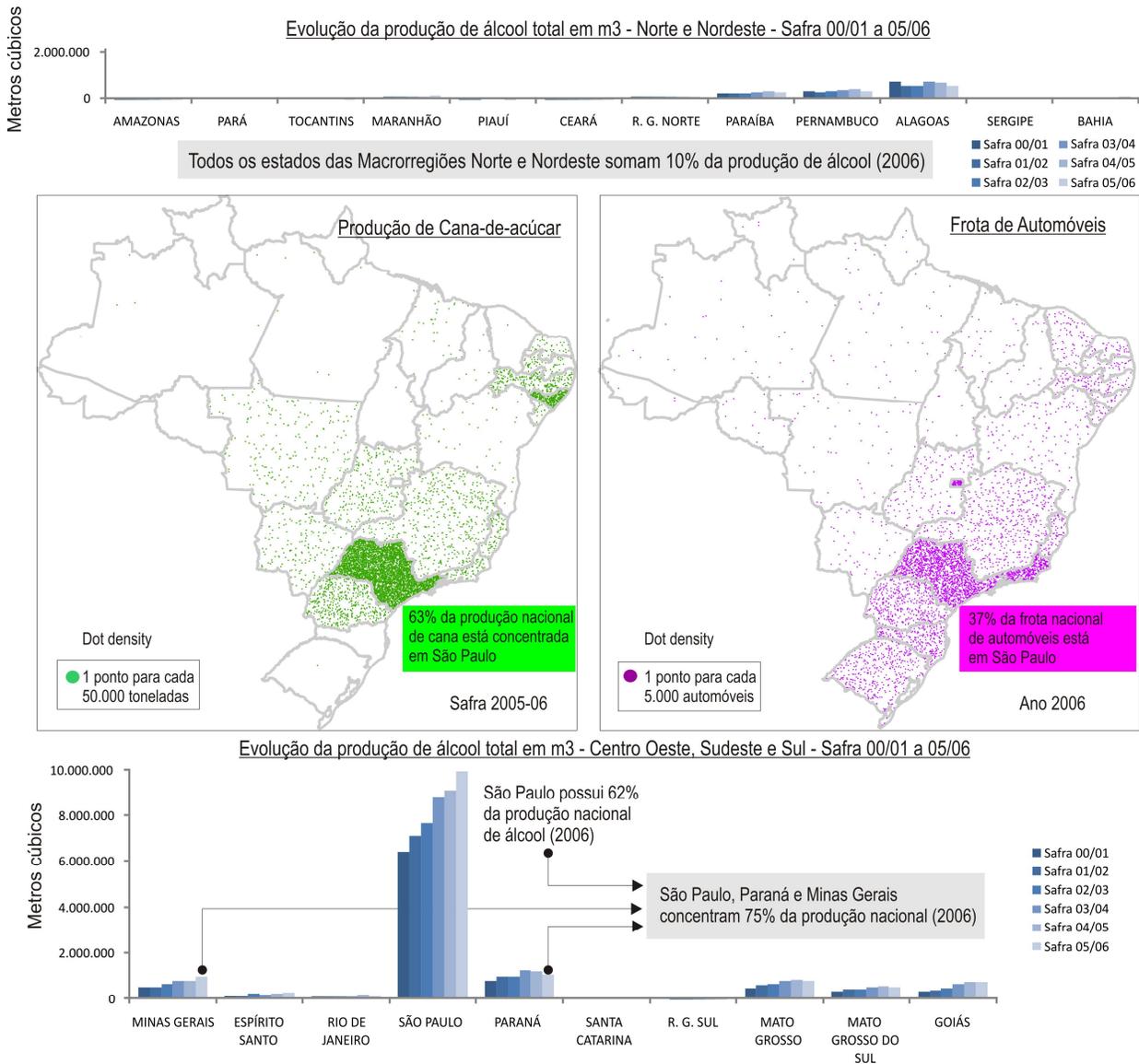


Figura 6 - Produção álcool, produção de cana-de-açúcar e quantidade de automóveis por Estado

Pelo lado dos insumos, o Estado de São Paulo concentra mais de 60% da produção canavieira de todo o País. Da mesma forma, mas pelo lado da produção, essa proporção também é alcançada pela indústria do álcool, sendo que a expressiva marca alcançada em 2006 (10 bilhões de litros) representou cerca de 1/5 da produção mundial do combustível.

Sobre a demanda de álcool, São Paulo possui ainda 37% da frota nacional de automóveis, e apenas 20% do total de automóveis do país estão fora do eixo formado pelos Estados do Sul e Sudeste. O Estado é o maior mercado consumidor, não apenas de álcool, mas de todos os combustíveis, pois possui a maior população, maior parque industrial e maior produção econômica, concentrando cerca de um terço do Produto Interno Bruto - PIB.

Devido ao grande volume de cargas existente em a toda cadeia do álcool, é necessário que os cultivos de cana-de-açúcar se situem ao redor das unidades de produção de álcool, que por sua vez devem estar próximas de seu mercado demandante.

Segundo dados de Brasil (2007), cada tonelada de cana-de-açúcar produz 82 litros de etanol, dessa forma, se a produção brasileira alcançar o patamar de 25 bilhões de litros (25 milhões de toneladas) em 2012, como descrito anteriormente, haverá o acréscimo de 9 milhões de toneladas de álcool, em relação a 2006, para serem transportados sobre o sistema viário e mais 110 milhões de toneladas de cana deverão ser transportados do campo até as usinas. Obviamente esses valores ainda não incluem o peso dos veículos que transportarão essas cargas, a quantidade de insumos que o setor agrícola necessitará e diversos outros bens e serviços que serão demandados por toda a cadeia produtiva.

Saliente-se que a maior parte desta carga deverá passar pelo Estado de São Paulo, devido a três aspectos principais:

- i)* a maior parte da produção nacional que já pertence a São Paulo será incrementada pelas novas usinas que surgirão dentro do Estado e em áreas próximas;
- ii)* o Estado possui o maior mercado consumidor e é via de passagem de grande parte dos combustíveis para abastecimento das macrorregiões Sul e Sudeste, que detêm 80% da frota nacional de automóveis;
- iii)* o Porto de Santos<sup>22</sup>, localizado na região centro-norte do litoral paulista, escoou mais da metade das exportações de álcool do país entre os anos de 2004 e 2005. Também,

---

<sup>22</sup> Segundo Torquato (2005) o Porto de Santos foi responsável por 57% das exportações de álcool seguido pelos portos de Paranaguá (18%) e Maceió (16%), entre os anos de 2004 e 2005.

inaugurou no fim de 2005 o Terminal de Exportação de Álcool de Santos - TEAS com capacidade inicial de tancagem de 40 milhões de litros.

#### **4.1.4 A necessidade de estimar a demanda por transportes ocasionada pelo aumento da produção de álcool**

Em face das favoráveis perspectivas de crescimento do mercado interno e externo de álcool, o Brasil detém o domínio técnico e áreas cultiváveis disponíveis para ampliar sua produção. Entretanto, funções econômicas básicas de produção, comercialização e consumo podem ser bastante afetadas pela infra-estrutura de transportes.

Por deficiências de ferrovias, hidrovias e dutovias a locomoção da maior parte da produção nacional depende do transporte rodoviário. Isso dificulta o escoamento da produção brasileira para o mercado externo e traz problemas ao mercado interno, caso seu desenvolvimento não acompanhe o crescimento da economia.

Os gargalos no escoamento determinam fretes altos e custos adicionais resultando na perda de competitividade, não apenas do setor sucroalcooleiro, mas de vários outros setores produtivos. Ainda, no caso das etapas que envolvem a produção de álcool no Brasil, o transporte de insumos agrícolas e da cana-de-açúcar pode-se tornar outro agravante ao sistema viário, devido ao alto volume de suas cargas.

Nesse contexto, é necessário antecipar tais problemas, averiguando os locais onde haverá maior demanda por transportes, a fim de que medidas possam ser antecipadamente traçadas. A estimação dos impactos associados ao aumento da produção de álcool, especialmente no Estado de São Paulo, pode subsidiar tanto a aplicação de recursos governamentais como privados.

No caso da demanda interna, na qual grande parte do abastecimento é realizada através de rodovias, o aumento do consumo de álcool poderá causar a sobrecarga de vias que também são importantes para outros setores.

Por isso, o método de análise a ser utilizado deve considerar as características da oferta e demanda setorial de cada região, possibilitando a estimação dos fluxos econômicos e sua posterior incorporação à rede de transportes. Essas habilidades são encontradas nos modelos de insumo-produto inter-regional e podem ser ampliadas com o uso de outras ferramentas que consideram a distribuição espacial, como mostra o conteúdo do tópico seguinte.

## 4.2 Metodologia

A partir do que foi exposto, considera-se que tanto a demanda nacional por etanol quanto as exportações do mesmo produto serão ampliadas nos próximos anos. Como já foi mencionado, o crescimento nacional da frota de carros *flex* e o aumento das exportações impulsionadas pelo uso de biocombustíveis poderão elevar a produção nacional de 16 bilhões (em 2005) para cerca de 30 bilhões de litros de etanol, em 2012.

Este estudo não tem a intenção de utilizar métodos para validar essas projeções de crescimento ou calcular novas estimativas, por isso os valores apresentados pelo estudo do AGE serão utilizados para as análises subseqüentes<sup>23</sup>.

Em linhas gerais, o objetivo deste trabalho é avaliar como o aumento do volume da produção de etanol impactará no aumento da demanda pelo transporte rodoviário. Por isso, o método a seguir descreve como esses valores relacionados com o aumento da produção de etanol podem ser incorporados ao modelo de insumo-produto georreferenciado aplicado aos transportes desenvolvido no Capítulo 3 desta tese.

Como o método é basicamente o mesmo que o empregado no Capítulo 3, muitas passagens são suprimidas nesse tópico. O maior enfoque é dado às principais alterações que devem ser introduzidas no modelo para que se possa realizar uma análise específica da cadeia de produção do etanol.

A Figura 7 esquematiza o conjunto de técnicas e considerações utilizadas para que isso seja possível, destacando as etapas que necessitam de adaptações, modificando o método original apresentado no Capítulo 3.

Como um índice, a Figura 7 liga as etapas envolvidas na elaboração deste estudo com os itens que compõem esse tópico metodológico. Inicialmente, uma matriz de insumo-produto é estimada para o âmbito nacional (item 4.2.1), em seguida, utiliza-se a matriz inversa de Leontief para efetuar uma análise de impacto que leva em consideração tanto o aumento do consumo interno por álcool combustível quanto também o aumento das exportações (item 4.2.2).

---

<sup>23</sup> Outras estimativas, como a do NAE (BRASIL, 2005), poderiam ser utilizadas, entretanto optou-se pelo uso da estimativa mais otimista sobre o aumento da produção de etanol, que se caracteriza, indiretamente, como a maior possibilidade de demanda por transportes por este setor.

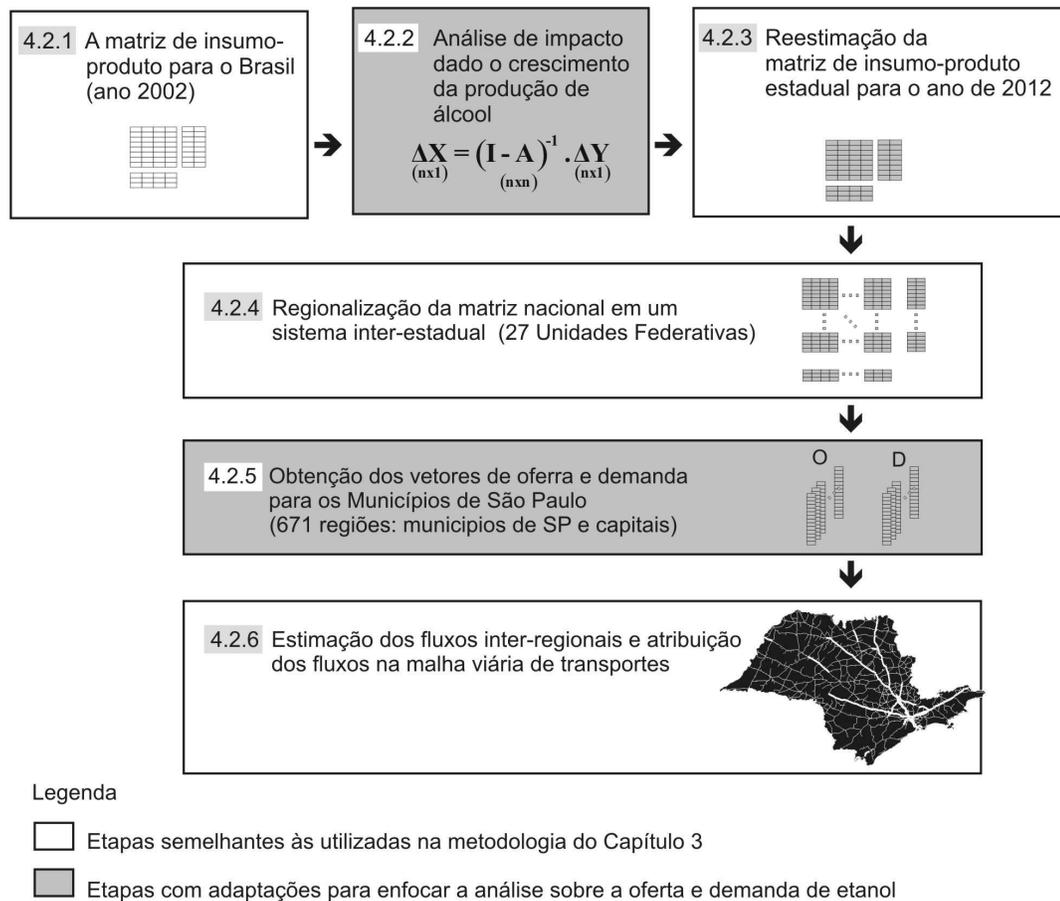


Figura 7 - Esquematização da metodologia, destacando as etapas que necessitam de modificações especiais para análise do setor de produção do etanol

No item 4.2.2, as considerações dessa análise de impacto, que dão origem a um vetor de variação das produções setoriais diante do aumento da demanda final, são importantes, pois o aumento das exportações de etanol podem ser diretamente incorporadas, mas o aumento do consumo interno depende de alterações nos coeficientes técnicos para incrementar a utilização do etanol em detrimento do consumo de derivados do petróleo em todos os setores da matriz de usos e recursos.

Após essas etapas, o sistema de insumo-produto pode ser reestimado para o ano de 2012 (item 4.2.3) e, em seguida, efetua-se o processo de regionalização dos dados da matriz, primeiramente, para o âmbito estadual (item 4.2.4) e depois para os municípios (item 4.2.5).

No item 4.2.5, são elaboradas algumas operações com bases de dados georreferenciadas a fim de se localizar, com maior eficiência, os locais atuais e futuros de produção e comercialização do etanol para que o modelo possa incorporar os fluxos inter-municipais de

maneira mais consistente. Nesse item, dois cenários são criados com o intuito de se comparar o transporte de cargas rodoviário, caso as dutovias para escoamento da produção para exportação sejam ou não instaladas.

Por fim, os fluxos econômicos entre as regiões paulistas são atribuídos à rede rodoviária do Estado de São Paulo (item 4.2.6) e as comparações sobre a demanda por transportes de carga em cada trecho rodoviário podem ser realizadas diante de 2 cenários:

- crescimento de toda a economia até 2012 com acentuado aumento do consumo e das exportações de etanol, sem alterações na oferta da rede de transportes.
- crescimento de toda a economia até 2012 com acentuado aumento do consumo e das exportações de etanol, com alterações na oferta da rede de transportes, considerando a incorporação das dutovias.

Para se avaliar o impacto na malha rodoviária, duas estimativas de fluxos serão construídas, uma com as estimativas de atribuição do fluxo referente à matriz de insumo-produto de 2002 e outra com as estimativas do crescimento da demanda esperadas para o ano de 2012, considerando o horizonte de 10 anos.

#### **4.2.1 A matriz de insumo-produto para o Brasil**

No Brasil, a matriz insumo-produto nacional não é publicada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE desde o ano de 1996. Para atualizar as informações, Guilhoto e Sesso Filho (2005) apresentam um método para estimar a matriz de insumo-produto brasileira, através do Sistema de Contas Nacionais - SCN.

O ano de 2002 foi determinado como ano-base nesse estudo, dada a maior disponibilidade de informações para esse referido ano, como a existência da Pesquisa da Atividade Econômica Paulista – PAEP (SEADE, 2007).

Assim através das estatísticas do Sistema de Contas Nacionais, pôde-se construir uma matriz de insumo-produto nacional para o ano de 2002. Nesse caso, a matriz original representa 42 setores produtivos<sup>24</sup>, mas para atingir os objetivos propostos, três deles foram divididos em 8 setores da seguinte maneira:

---

<sup>24</sup> Até abril de 2007, o maior detalhamento setorial apresentado pelo Sistema de Contas Nacionais do IBGE era composto por 42 setores, conforme Feijó (2005). Somente a partir dessa data, outros níveis de agrupamentos setoriais foram publicados, sendo que o IBGE também alterou suas estatísticas anteriores. Entretanto, para fins deste trabalho foram utilizados os dados e classificações anteriores a essa mudança.

Agropecuária		Bovinocultura Cana-de-açúcar Agropecuária (demais setores agropecuários)
Comércio		Comercio Atacadista de Álcool Comércio Varejista de Álcool Comércio (demais setores do comércio)
Elementos Químicos		Indústria do Álcool Elementos Químicos (demais elementos químicos)

O detalhamento desses três setores originou um novo agrupamento da matriz em 47 setores, sendo que os seguintes motivos foram considerados:

- Indústria do álcool: os dois tipos de álcool considerados: anidro e hidratado, são os principais produtos a serem avaliados, configurando-se como os objetos que são alvos das análises de impacto, ou seja, somente através da variação da demanda final pela produção da Indústria do álcool, poderão ser estimados os impactos em todo o sistema econômico. Por isso essa atividade composta por usinas e destilarias foi separada do setor de Elementos Químicos.
- Comércio varejista e atacadista de álcool: o comércio de álcool no mercado interno não é realizado diretamente pela Indústria do álcool, sendo necessário o intermédio de dois tipos de atividades: os distribuidores (atacadistas) e os revendedores (postos de gasolina), justificando o detalhamento dos dois tipos de comércio. Especificamente, a distinção do setor atacadista é ainda mais importante, pois esse mercado se concentra em poucas cidades que redistribuem os combustíveis para as demais, fato que aumenta a distância percorrida entre a produção industrial e o consumidor final. Por isso, a distinção desse setor e a localização dos pontos de distribuição são importantes para o estudo. Segundo dados da ANP (2007) há apenas 99 distribuidores no Estado de São Paulo presentes em pouco mais de 30 municípios.
- Cana-de-açúcar: é o setor que fornece o principal insumo para a produção de álcool, além disso, a localização dos cultivos e o transporte da cana são pontos essenciais para as questões relacionadas ao transporte rodoviário de cargas.
- Bovinocultura: a grande maioria das áreas agricultáveis de São Paulo já estão ocupadas, sendo que as regiões remanescentes são áreas de preservação da Mata Atlântica. Assim, o crescimento do cultivo de cana acontecerá em substituição a outros tipos de atividade rural. Parte-se da hipótese de que a maioria das novas áreas de produção de cana crescerão em áreas de pastagem, por isso o setor da bovinocultura também foi separado.

A valorização da terra no Estado aumenta seu custo de oportunidade, exigindo uma alta produtividade por hectare, o que muitas vezes não é alcançado pela atividade bovinocultura. Como mostra a escala do eixo direito do Gráfico 2, a área de pastagem ocupa a maior parte da área utilizável do Estado, mas é significativa sua redução nos últimos 6 anos, ao passo que a área de cana-de-açúcar aumentou no mesmo período. Também pode ser constatado o acréscimo da área de outros cultivos temporários e a constância dos cultivos permanentes (citricultura, silvicultura, etc.).

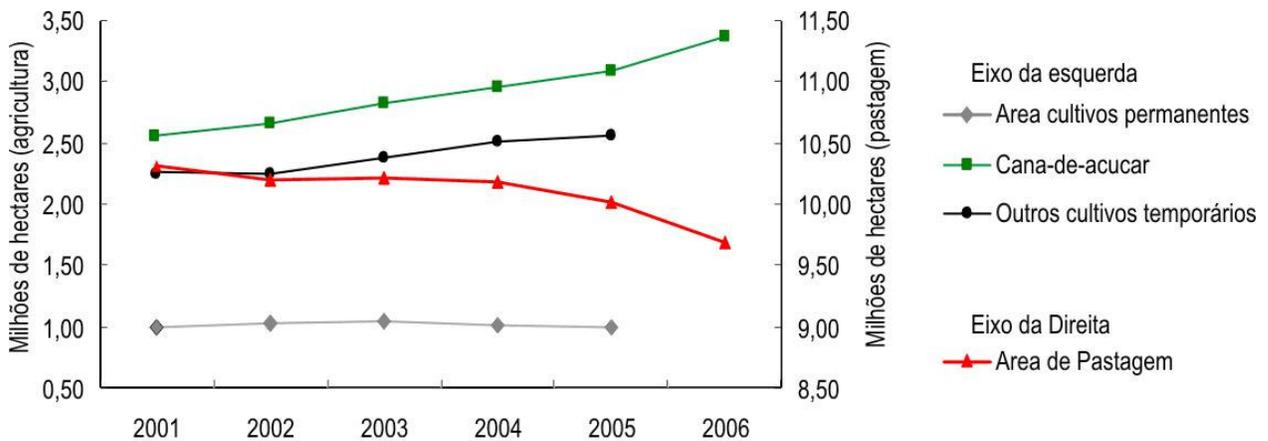


Gráfico 2 - Evolução das áreas de cultivo agrícola e de pastagens do Estado de São Paulo

Fonte: Produzido com informações de:

- i) área de cultivo da cana-de-açúcar e área de pastagem obtidas em IEA (2007);
- ii) outros cultivos temporários e áreas de cultivos permanentes com dados de IBGE (2007).

Diante dessas colocações, a matriz de insumo-produto inter-regional de 42 setores foi reestimada para 47 setores. Após esse processo, os principais setores que se relacionam com o tema em questão foram detalhados na matriz, no entanto, diversos outros setores que não têm relação direta com o problema poderiam ser agrupados para facilitar os cálculos posteriores. A agregação setorial traz esse tipo de benefício, mas esse procedimento gera um problema denominado de viés de agregação<sup>25</sup>. Por isso optou-se por manter os 42 setores e os 5 novos para evitar problemas relacionados com possíveis alterações dos coeficientes técnicos.

<sup>25</sup> Theil (1957) caracterizou os efeitos condicionados à agregação, tanto no contexto microeconômico, relativo à agregação das firmas que formam um setor industrial, quanto no contexto macroeconômico, relativo à agregação dos diferentes setores industriais, assim definidos no trabalho. Entre seus resultados, destacam-se as equações formalizadas para avaliar o viés de agregação e a conclusão de que setores menores (com menor produção)

#### 4.2.2 Análise de impacto associada ao crescimento da demanda por etanol

Basicamente, a análise de impacto é dada pela Equação 1, na qual a variação da produção decorre em resposta a alterações na Demanda Final, sendo que esse vetor é formado por cinco elementos: consumo das famílias, consumo do governo, exportações, investimentos e variação dos estoques.

$$\underset{(nx1)}{\Delta X} = (\underset{(nxn)}{I - A})^{-1} \cdot \underset{(nx1)}{\Delta Y} \quad (1)$$

Sendo:  $n$  - Número de setores produtivos ( $n=47$ );

$\underset{(nx1)}{\Delta X}$  - variação da produção;

$\underset{(nx1)}{\Delta Y}$  - variação da demanda final;

$A = Z \cdot (\hat{X})^{-1}$  ;

$\underset{(nxn)}{A}$  - matriz de coeficientes técnicos;

$\underset{(nxn)}{Z}$  - matriz de consumo intermediário;

$\underset{(nx1)}{X}$  - vetor da produção total setorial;

$\underset{(nxn)}{I}$  - matriz identidade.

Através da matriz nacional para o ano de 2002, é possível obter a matriz inversa de Leontief:  $(I - A)^{-1}$ , e a variação dos cinco vetores associados a  $\Delta Y$  deve conter o aumento da demanda por etanol para se obter a variação da produção setorial nacional:  $\Delta X$ .

A demanda prevista pelas estimativas do estudo do AGE (BRASIL, 2007b) aponta que a demanda total de álcool a ser suprida pela produção brasileira seja de 6 bilhões de litros para as exportações e 23 bilhões para a demanda interna. O Gráfico 3 mostra essa evolução, comparando com os anos de 2002 e 2012, em valores percentuais.

O acréscimo de 840%, referente ao aumento das exportações (ano-base: 2002), pode ser inserido diretamente no vetor das exportações constituindo  $\Delta Y$ . Entretanto, a variação de 185%, referente ao consumo interno é determinada não apenas pelo aumento do consumo do governo e famílias (vetores da Demanda Final), mas também pelo aumento do Consumo Intermediário.

Isso implica que não basta apenas considerar essa variação de 185% nas linhas do comércio varejista destinadas ao consumo das famílias e do governo (componentes de  $\Delta Y$ ), é necessário

---

possuem coeficientes de produção mais próximos de zero e por isso o viés de agregação de primeira ordem desses setores também é menor.

também, considerar: *i*) o crescimento de toda a economia e *ii*) alterar os coeficientes técnicos associados ao uso do etanol nos setores produtivos que consomem esse produto.

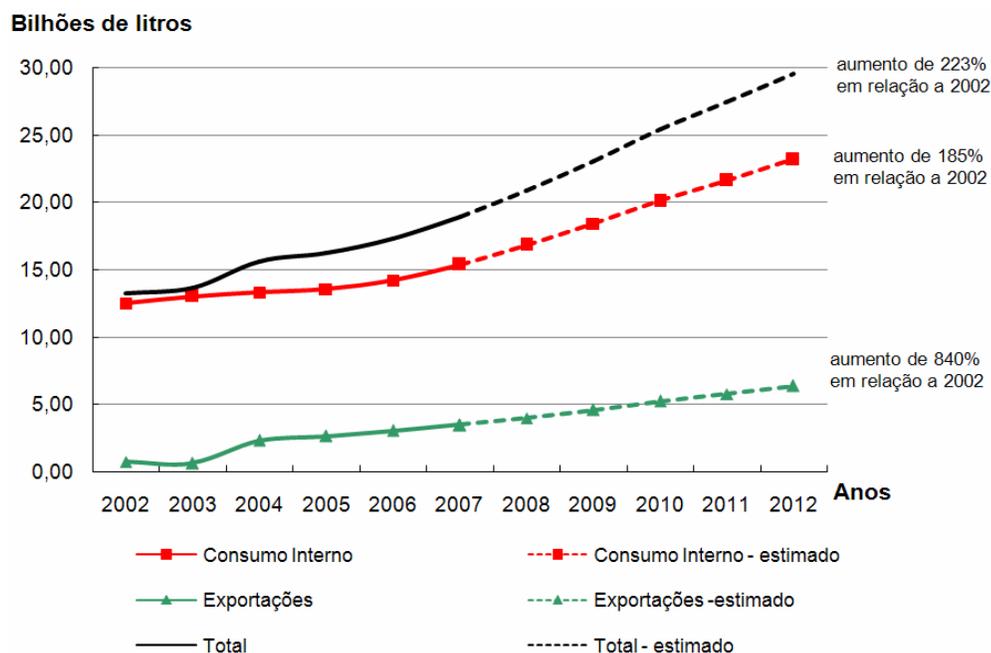


Gráfico 3 - Perspectiva do aumento esperado das exportações e do consumo interno de etanol

Fonte: Projeções do agronegócio mundial e Brasil, segundo Brasil (2007, p. 48)

Para inserir, neste contexto, o crescimento médio de toda a economia brasileira até o ano de 2002, foram utilizadas as projeções econômicas de outras pesquisas que contêm as informações necessárias para calcular o crescimento econômico até 2012. O Quadro 1 apresenta a variação percentual real do crescimento do consumo das famílias, consumo do governo, exportações e investimentos entre os anos de 2002 até 2005, avaliados pelo Sistema de Contas Nacionais do IBGE. Após o ano de 2005, utilizam-se as projeções estimadas pela Organização das Nações Unidas - ONU disponibilizadas pelo IPEA (2007).

Estimativa do crescimento acumulado dos vetores da demanda final até 2012 utilizando como ano-base: 2002											
Período	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Consumo privado	0,0%	-0,7%	3,1%	7,3%	11,9%	17,0%	22,8%	28,2%	34,1%	40,4%	46,8%
Consumo do governo	0,0%	1,2%	5,3%	5,4%	6,6%	7,6%	10,6%	13,7%	17,3%	20,7%	24,2%
Investimentos	0,0%	-4,6%	4,1%	11,9%	17,6%	24,8%	31,5%	36,7%	44,7%	52,1%	59,6%
Exportações	0,0%	10,4%	27,3%	50,2%	58,2%	77,4%	92,5%	97,3%	118,1%	133,7%	149,4%

Quadro 1 - Índices de crescimento até 2005 e projeções de crescimento até 2012

Fontes: IBGE (2006) e IPEA (2007)

Nota: Dada ausência de valores para os anos de 2011 e 2012, considerou-se a média móvel dos últimos 3 anos.

A última coluna referente ao crescimento acumulado em 2012 foi utilizada para determinar a variação da Demanda Final no âmbito nacional, respectivo aos vetores de consumo das famílias, governo, investimentos e exportações. Apenas o vetor de variação dos estoques não foi considerado, pois, em geral, ele resulta das diferenças necessárias para manter o equilíbrio entre a oferta e a demanda no sistema de insumo-produto.

Quanto à questão do coeficiente técnico de utilização do etanol, cálculos prévios indicaram que, mesmo com todos os aumentos associados aos quatro vetores de  $\Delta Y$ , o consumo de nacional de etanol não se elevaria em 185%.

O impacto do crescimento econômico (variações da última coluna do Quadro 1) provoca o aumento da demanda interna por álcool em 58,24%, mas, para que a variação alcance os 185%, é necessário que se alterarem os coeficientes técnicos da matriz relacionados ao uso do álcool. A alteração tecnológica dos sistemas utilizados nos veículos e o maior preço da gasolina, conforme apresentado no tópico introdutório, justificam o maior uso de álcool em substituição à gasolina.

Por análises prévias usando métodos iterativos, avaliou-se que o aumento de 41% nos coeficientes técnicos associados ao uso do álcool seria suficiente para que a demanda interna elevasse em 185% o consumo de etanol. Ao mesmo tempo, o consumo intermediário de gasolina tipo C decresce cerca de 27,8%, utilizando a equivalência energética em que 0,68 litro gasolina comum corresponde a um litro de álcool.

#### **4.2.3 Reestimação da matriz de insumo-produto para o ano de 2012**

Ao aumentar o uso do álcool e o desuso da gasolina (aplicado proporcionalmente ao setor de Refino do Petróleo na matriz) na matriz  $Z$ , altera-se a matriz de coeficientes técnicos ( $A$ ). Essa nova matriz modifica os valores da inversa de Leontief que é pós-multiplicada pelo vetor  $\Delta Y$ .

Por sua vez, esse vetor contém o aumento médio setorial do crescimento do consumo das famílias, consumo do governo, exportações e investimentos obtidos no Quadro 1. Ainda no vetor  $\Delta Y$ , as variações nas linhas referentes à indústria e comércio atacadista de álcool são substituídas pelos valores de aumento das exportações em 840%. Ao mesmo tempo, nas linhas referentes à indústria e ao comércio varejista, são atribuídos os valores de aumento do consumo das famílias e gastos do governo em 185%.

Dessa forma, pela equação 1 obtém-se o vetor  $\Delta X$  que é somado ao vetor de  $X$ . O novo vetor da produção total setorial pode ser, então, convertido em uma nova matriz  $Z$ , através da inversão da equação pela qual se obtém a matriz  $A$ . Utilizando-se a nova matriz  $Z$  e a Demanda Final ( $\Delta Y + Y$ ), chega-se a um novo sistema de insumo-produto estimado para o ano de 2012, com base nas projeções econômicas e no aumento acima da média setorial da demanda por álcool combustível.

#### **4.2.4 Regionalização da matriz nacional em um sistema de insumo-produto interestadual**

Os fluxos econômicos entre as Unidades da Federação foram estimados através dos métodos descritos em Guilhoto e Sesso Filho (2005b). Sendo que estas informações foram ajustadas com base em diversas fontes estatísticas de órgão oficiais e de associações industriais. Além disso, a estrutura de comércio inter-estadual considerou, para fins de se manter a proporcionalidade entre os estados, os volumes de operações interestaduais formais tributadas e não tributadas apresentadas em Vasconcelos (2006).

Entretanto, para fins deste estudo, estas estimativas devem ser detalhadas para os municípios. Ou seja, com o uso da matriz, sabe-se quanto o estado de São Paulo demanda e oferta para os outros estados, mas não se sabe quanto o município de Piracicaba, em São Paulo, demanda e oferta para os demais estados e municípios do próprio estado. Esta informação é imprescindível para determinar o fluxo que passa sobre as rodovias que ligam as cidades entre si, no interior do estado.

Por isso mesmo com a matriz inter-estadual já estimada, é preciso um modelo que possa especificar ainda mais estas informações, calculando os fluxos entre os municípios, da mesma forma como é apresentado no estudo do Capítulo 3, desta tese.

Para que esta análise pudesse considerar as outras regiões do País, focalizou-se a atividade econômica dos outros Estados em suas capitais, dado que estas cidades e suas vizinhanças concentram grande parte das respectivas economias estaduais. Assim, os fluxos inter-regionais estimados neste estudo consideram os 645 municípios de São Paulo, mais as capitais dos outros Estados brasileiros (25) e o Distrito Federal, totalizando 671 regiões.

#### 4.2.5 Obtenção dos vetores de oferta e demanda para os municípios de São Paulo

A análise de impacto pode ser realizada tanto na matriz de insumo-produto estadual como na municipal, entretanto, as considerações quanto ao uso de cada uma delas são diferentes, no que se refere à questão da distribuição espacial da produção.

Se o impacto do aumento da demanda fosse estudado diretamente em uma matriz municipal, deve-se presumir que a localização da produção será mantida constante, pois, nas análises de insumo-produto, os coeficientes técnicos não são alterados com o aumento da demanda. Ao passo que na análise de impacto na matriz nacional que é redistribuída para os âmbitos estadual e municipal, sequencialmente, os coeficientes técnicos também não são alterados, mas é possível redistribuir geograficamente o incremento da produção, resultante do aumento da demanda.

Isso determina a esse tipo de modelagem a grande vantagem de não precisar assumir a hipótese comum da estabilidade dos padrões de comércio dos modelos regionais, fato bastante discutido em Isard (1998).

Nesse estudo, como há uma grande necessidade de adequação dos dados à questão espacial, a fim de situar de maneira eficiente os fluxos na rede rodoviária, o detalhamento posterior dos resultados para os municípios, após a execução das análises de impacto, traz dinamismo às análises espaciais de insumo-produto.

Novos aspectos que irão alterar a distribuição geográfica da oferta e demanda correspondem a projetos de usinas a serem construídas, novas áreas de cultivo da cana-de-açúcar e alterações na localização da demanda e das estruturas de distribuição do álcool.

Os parágrafos, a seguir, descrevem quais considerações foram utilizadas nesse processo de redistribuição geográfica dos elementos que compõem a cadeia do álcool.

*i)* A redistribuição da participação municipal na produção estadual de cana-de-açúcar considera o crescimento do cultivo sobre os locais que estão próximos às novas usinas e têm maior quantidade de pastagens disponíveis, o que possibilita o crescimento da área de cultivo de cana-de-açúcar em detrimento da bovinocultura, conforme as Figuras 8 e 9. As estimativas para 2012 utilizam dados sobre: o potencial de substituição da pastagem (considerando a produtividade média da bovinocultura de corte, em unidades animais por hectare e dados de relevo); as projeções da oferta e demanda de cana municipal conforme a localização futura das indústrias e técnicas de geoprocessamento incluindo: técnicas de sobreposição e álgebra de

mapas, análise geoestatística, estatística espacial e avaliação da menor distância euclidiana entre os demandantes por áreas de cultivo e os locais em potencial.

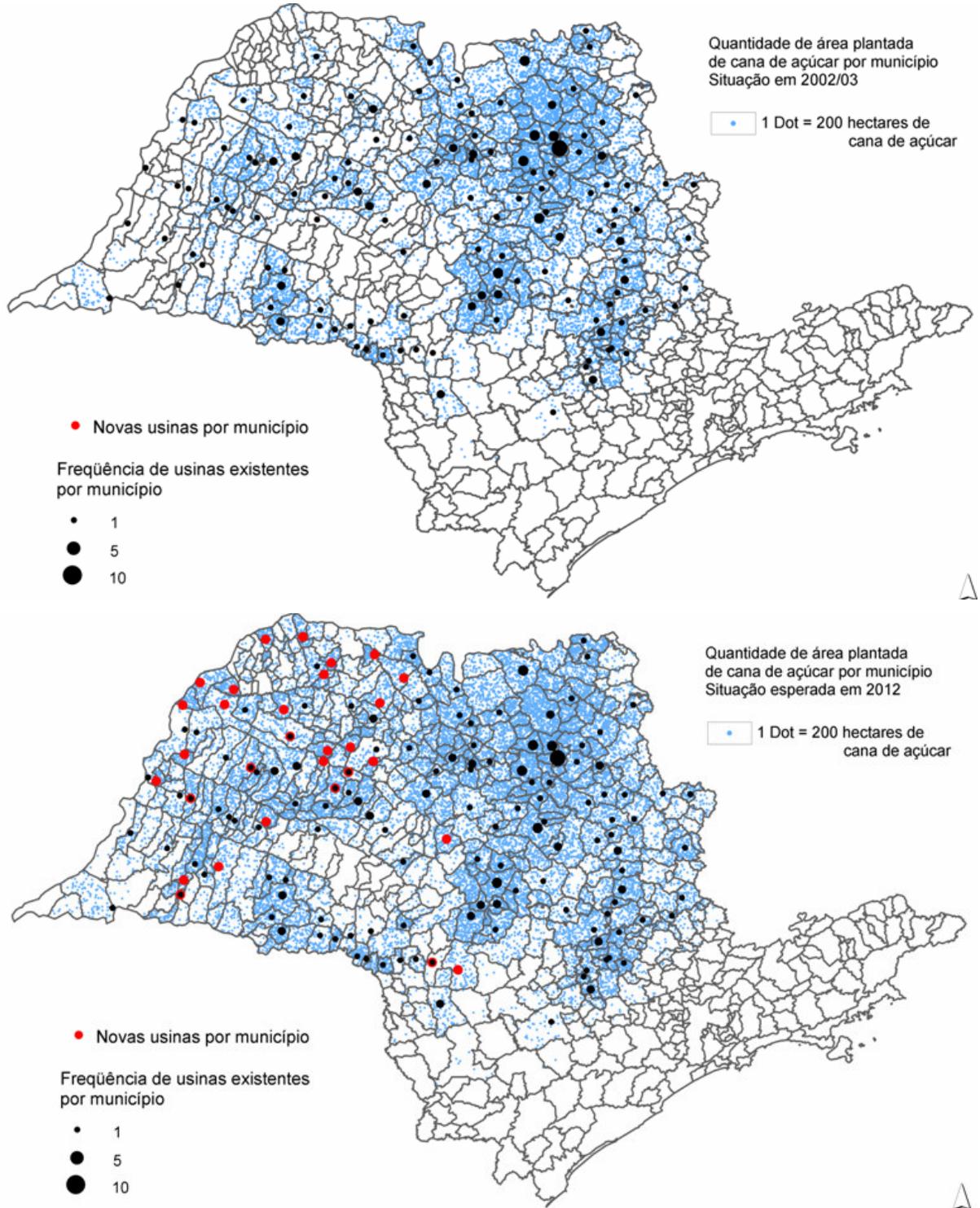


Figura 8 - Evolução estimada da área de cultivo da cana de acordo com a proximidade das novas usinas

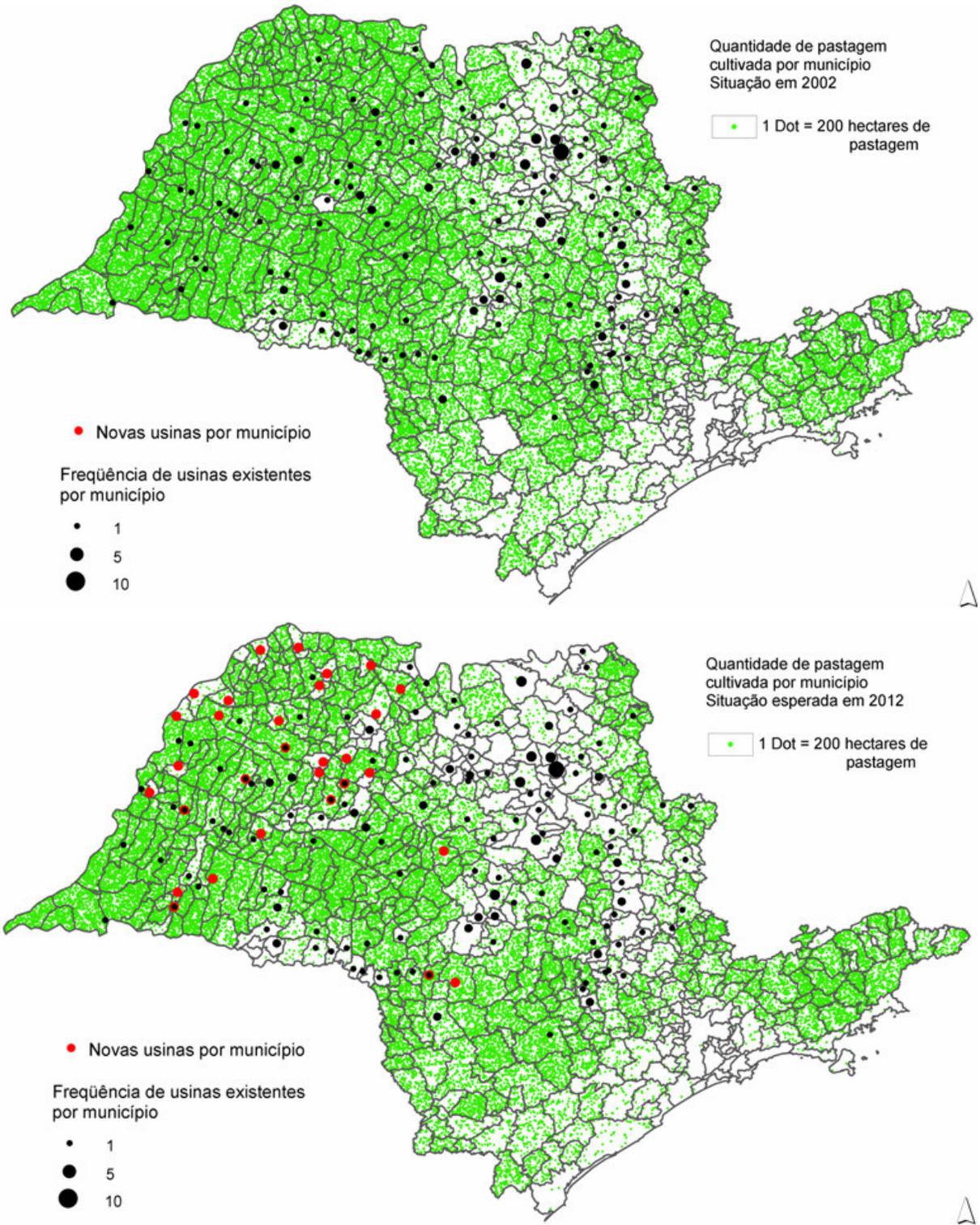


Figura 9 - Redução estimada da área de pastagem de acordo com a proximidade das novas usinas

ii) A redistribuição da participação de cada município na produção total de álcool do Estado de São Paulo incorpora as usinas de álcool construídas até 2006, com suas respectivas produções e, também, as novas unidades, associando-as ao processamento médio estimado em 147 milhões de litros por ano<sup>26</sup>, conforme a Figura 10.

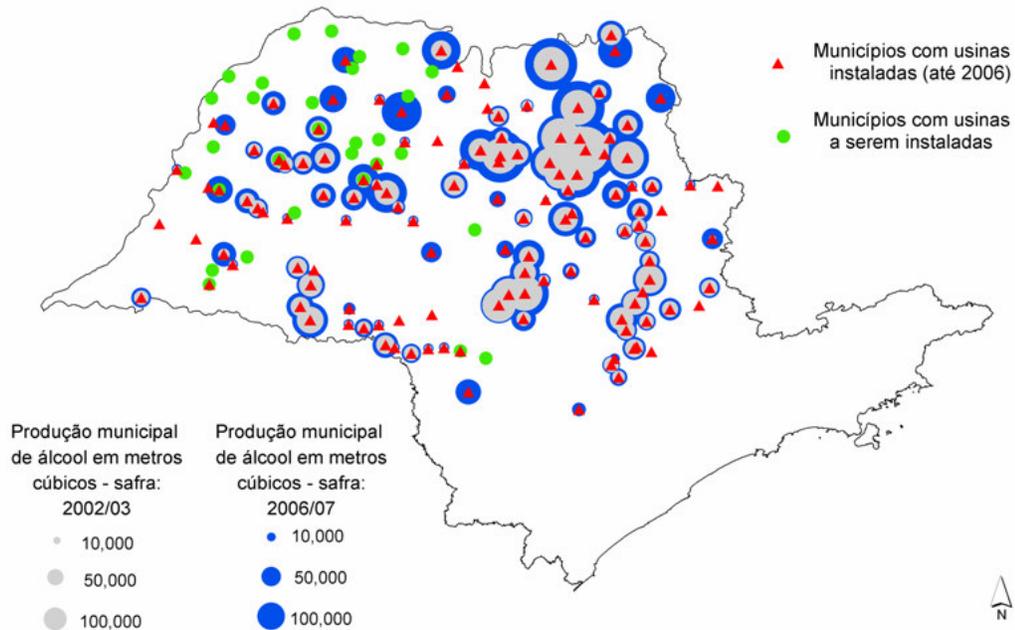


Figura 10 - Posicionamento das novas usinas e evolução da produção de 2002 a 2006 das usinas já existentes

iii) A redistribuição da participação municipal no comércio atacadista considera o registro das distribuidoras de combustíveis do Estado de São Paulo da Agência Nacional do Petróleo – ANP. Sendo que a localização de novas filiais no ano de 2012 foi determinada, utilizando o estudo das Regiões de Influência das Cidades – REGIC<sup>27</sup>, destinando parte da participação do pólo de Paulínia para municípios de hierarquia superior que abrangem regiões com grande número de automóveis atendidos, por isso essa avaliação também considera a frota de veículos emplacados por município do Departamento Nacional de Trânsito – DENATRAN<sup>28</sup>. Os novos centros de distribuição e os já existentes, até 2005, podem ser avaliados na Figura 11.

<sup>26</sup> Segundo BNDES (2007), a capacidade média de processamento de cana-de-açúcar das novas unidades será de 1,8 milhões de toneladas. Utilizando a relação de 82 litros de álcool por tonelada de cana (BRASIL, 2007), obtém-se que a produção de cada usina será de 147 milhões de litros/ano de álcool.

<sup>27</sup> A avaliação das áreas de influência comercial pode ser realizada através dos mapas sobre a REGIC no Apêndice G.

<sup>28</sup> Os dados consultados, as projeções e o método usado nas estimativas de aumento da frota de veículos municipal podem ser consultados no Apêndice F.

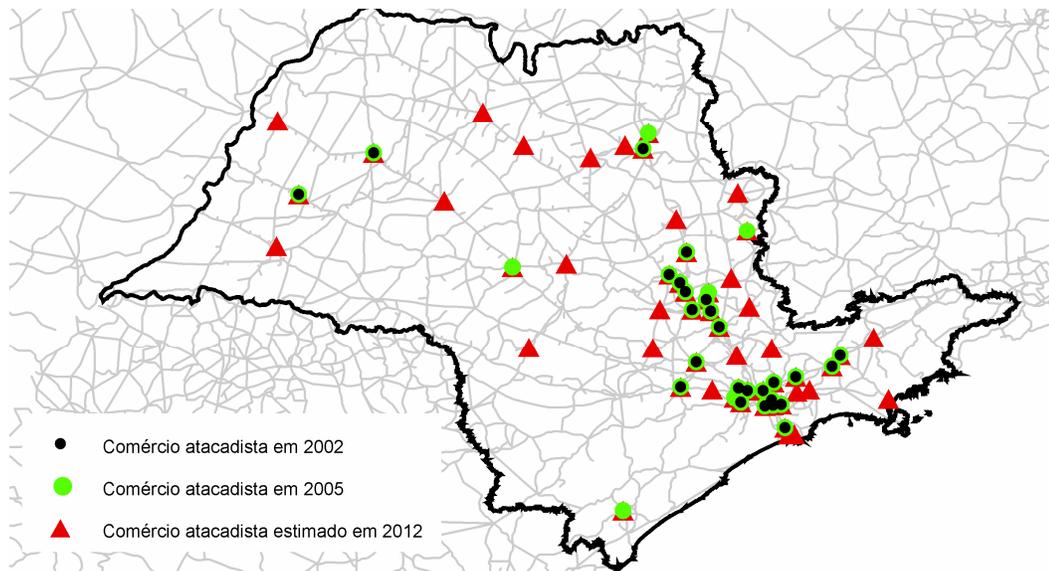


Figura 11 - Posicionamento dos locais com comércio atacadista de álcool - existentes e novos

A redistribuição das áreas de cultivo, de unidades industriais e da disposição comercial aumenta a precisão das estimativas, melhorando a sua aderência aos fatos futuros. Além disso, ela permite que diferentes cenários sejam avaliados.

Dois cenários foram escolhidos para avaliar como a possível alteração do tipo de transporte pode influenciar na redução da carga rodoviária sobre as rodovias paulistas, tendo em vista a utilização de centros coletores e dutovias previstas para o escoamento da produção de etanol para as exportações.

O primeiro cenário considera que o sistema composto por ferrovias e dutovias para transporte do álcool não será instalado, fazendo com que a maior parte da exportação passe pelas rodovias que ligam o interior do Estado ao Porto de Santos. O segundo cenário considera que ele será construído até 2012, reduzindo a carga de passa sobre as rodovias.

O projeto da Petrobrás Distribuidora baseia-se em uma rede composta por 8 centros coletores que destinarão o álcool para 2 portos através de ferrovias, sendo que um terceiro porto seria utilizado ligado por meio de dutovia, Como mostra a Figura 12. Entretanto, o projeto exige vários investimentos em 6 cidades do Estado de São Paulo (Araraquara, Bauru, Ourinhos, Paulínia, Sertãozinho e Santa Adélia) mais os recursos para ampliar a tancagem, melhorar os sistemas de descarga e expedição, reformar a malha e desvios e comprar ou restaurar vagões.



Figura 12 - Projeto ferroviário e dutoviário para exportação, segundo a Petrobrás

Fonte: Petrobrás (2003a)

Quanto ao sistema portuário, mais recursos são necessários para ampliar a capacidade de tancagem e construir linhas de recebimento e expedição. Segundo a Transpetro (2005) o custo total para implantar o sistema destinado a exportar 8 bilhões de litros por ano é de US\$ 315 milhões, esse valor envolve a construção de um sistema de movimentação exclusiva para álcool (alcoolduto), áreas de recepção e armazenagem interligadas a ferrovias e hidrovias (considerando também a hidrovia do Rio Tietê). Apenas a construção do alcoolduto, que parte da refinaria de Paulínia - SP até a de Duque de Caxias - RJ está avaliada em US\$ 200 milhões, mesmo aproveitando áreas de servidão dos polidutos já existentes. Com cerca de 620 km, o alcoolduto passará pelo município de Guararema onde pode fazer conexão com o porto de São Sebastião.

Como se espera, o funcionamento do sistema multimodal composto por rodovia, ferrovia e dutovia proposto pela Petrobrás, o segundo cenário proposto, considera o destino final da produção para exportação dirigida para os centros coletores do interior do Estado. Pois se os projetos de escoamento forem consolidados, a produção destinada à exportação utilizará a malha rodoviária apenas até os centros coletores, retirando a carga sobre importantes eixos que ligam o interior de São Paulo até Santos.

#### 4.2.6 Estimação dos fluxos inter-regionais e atribuição à malha rodoviária

Após realizar as devidas considerações sobre as mudanças na localização dos agentes envolvidos com a produção e comercialização do etanol, os vetores de oferta e demanda setorial municipal podem ser construídos.

Com o uso desses vetores a modelagem de insumo-produto gravitacional proposta no Capítulo 3 pode, então, ser realizada para se obterem os fluxos econômicos intermunicipais. Posteriormente, esses fluxos são atribuídos à rede de transporte rodoviário do Estado de São Paulo para que a demanda por transportes nas rodovias possa ser obtida.

### 4.3 Resultados e discussão

Pelas projeções e aumento da demanda final avaliadas em 46,8% do consumo das famílias; 24,2% do consumo do governo; 59,6% dos investimentos e 149,4% das exportações; estima-se a elevação de 63,9% dos fluxos sobre as rodovias de São Paulo, para o ano de 2012 em relação ao ano de 2002, conforme mostra o Quadro 2.

Esse primeiro resultado aponta que, possivelmente, os setores que têm grande dependência do transporte de cargas serão prejudicados caso a oferta de transporte não seja ampliada.

Ano	2002	2012	2012	2012
No Estado de São Paulo	Situação inicial	Crescimento econômico	Cenário 1: anterior com aumento da demanda interna e externa por etanol	Cenário 2: anterior com inclusão dos centros coletores
Unidade	bilhões de R\$*km	bilhões de R\$*km	bilhões de R\$*km	bilhões de R\$*km
Fluxos nas rodovias de SP	233,133.54	382,142.50	388,004.15	387,631.14
Variação percentual		63.92%	66.43%	66.27%
Aumentos % atribuídos à maior demanda por etanol			2.51%	2.36%

Quadro 2 - Resultados das análises de impacto nas rodovias de São Paulo, em bilhões de R\$\*km

Dentre esses setores, a produção e comercialização de etanol poderão ser prejudicadas, devido ao congestionamento e à depreciação acentuada das rodovias. Ainda, ao considerar o cenário de grande aumento da demanda por etanol, com a ampliação das exportações e da demanda interna, avalia-se um impacto ainda maior na rede rodoviária da ordem de 66,4%, acentuando o problema.

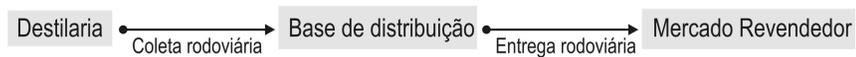
A estratégia da Petrobrás, visando à reforma e construção de centros coletores do álcool produzido no interior do Estado, determinará a redução dos fluxos rodoviários ao retirar grande parte da carga de etanol dirigido ao mercado externo, mas não será capaz de reduzir o impacto total determinado pela elevação da produção do combustível, pois a estimativa da redução é

relativamente pequena diante do aumento ocasionado pela expansão da cadeia do álcool dentro do Estado (0,16%, dada a diferença entre os valores de 2,51 e 2,36%).

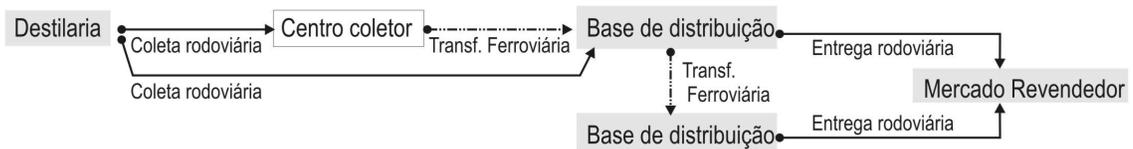
Embora o sistema composto por ferrovias e dutovias possa transportar cerca de 8 bilhões de litros por ano (TRANSPETRO, 2005), capacidade suficiente para escoar toda a produção voltada à exportação no ano de 2012, o volume destinado ao mercado interno é muito maior, sendo dirigido em sua maior parte para a Região Metropolitana de São Paulo – RMSP e suas adjacências.

Os 23 bilhões de litros que serão destinados ao mercado interno em 2012, tanto para o abastecimento de São Paulo quanto o de outros Estados, precisam percorrer grandes trechos, sendo que o transporte rodoviário é, e ainda será, o principal modo utilizado, caso não sejam feitos investimentos para a melhoria de outros modais de transporte e sistemas de transferência de carga entre as principais áreas de produção usineira e a capital paulista. Segundo Petrobrás (2003a), existem 4 alternativas de distribuição do álcool no mercado interno:

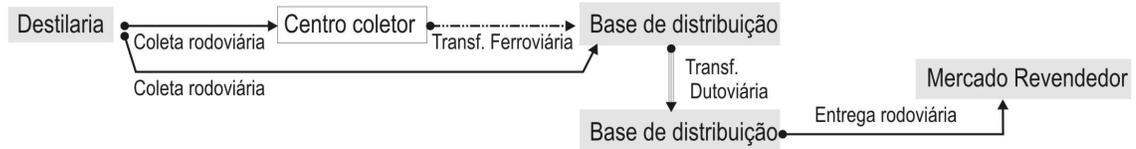
- Distribuição direta que representa mais de 70% do volume total de álcool consumido no Brasil e é mais utilizada nos estados onde as usinas estão presentes, como São Paulo, Minas Gerais, Paraná, etc.



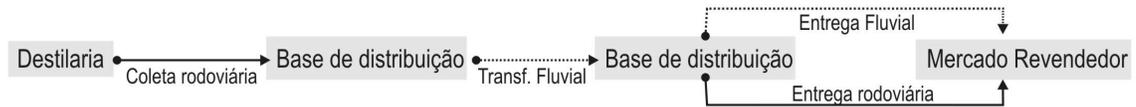
- Transferência Ferroviária que é utilizada no transporte de álcool para os estados das Regiões Sul, especialmente Rio Grande do Sul e áreas mais remotas do Centro-Oeste.



- Transferência Dutoviária que é utilizada para abastecer principalmente os Estados que não possuem produção local suficiente como Rio de Janeiro e Santa Catarina. Também é usado, em parte, para o abastecimento da Grande São Paulo, mas segundo o anuário da Agência Nacional de Transportes Terrestres - ANTT (2005), as duas dutovias que levavam álcool para o pool de São Paulo (Barueri - São Paulo e São Caetano do Sul - São Paulo) não transportaram álcool em 2004, sendo que em 2003 o volume já era bastante baixo.



- Transferência Hidroviária que é utilizada para abastecer principalmente os Estados da Região Norte e regiões de difícil acesso rodoviário



Todos os tipos de distribuição apresentados não destoam do que se espera de um modelo conceitual típico de transferências de cargas, na qual as escolhas sobre forma modal de transporte dependem da relação entre o volume e a distância, como mostra o Gráfico 4.

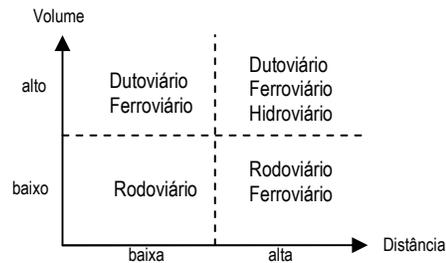


Gráfico 4 - Tipos de Transportes mais adequados de acordo com o volume e distância

Fonte: Figueiredo (2006)

Como muitas usinas estão próximas de grandes centros consumidores o primeiro tipo de distribuição se torna mais comum, além disso, a baixa quantidade de ferrovias e dutovias existentes e seus elevados custos de implantação fortalecem ainda mais a utilização do transporte rodoviário no Brasil.

Além disso, Figueiredo (2006) aponta a existência ferrovias que têm rotas idênticas ao transporte rodoviário determinando que, mesmo em longas distâncias, o uso das rodovias é preferido devido ao sucateamento ou a impossibilidade do uso da rede para o transporte de combustíveis.

Soma-se a esse fato que a comercialização do produto, necessariamente, precisa passar por distribuidores atacatistas para depois ser revendido pelos varejistas. A rota indústria-atacatista-varejista nem sempre é retilínea, pois, mesmo sabendo-se que o mercado varejista é bastante pulverizado, o mercado atacatista é composto por poucas empresas e seu número tem sido cada

vez mais reduzido, diante das exigências legais da Agência Nacional do Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis – ANP, em prol da fiscalização e tributação dos combustíveis.

Em linhas gerais, o álcool produzido em São Paulo é: destinado ao próprio Estado; destinado a outros Estados e exportado para o Exterior. Ao mesmo tempo, parte do álcool produzido em outros Estados é veiculado no território paulista para depois ser exportado.

Destaca-se que o setor demanda grande quantidade de insumos para o cultivo da cana-de-açúcar (adubos, máquinas, etc.) e, depois, ainda precisa transportar toda essa matéria-prima vegetal para as usinas. Mesmo em se tratando de trajetos curtos, bilhões de toneladas de cana passam sobre as rodovias vicinais.

Os parágrafos anteriores são razões que explicam a pequena variação negativa ao se implantar um sistema dos centros coletores voltado apenas para a exportação do etanol. Obviamente, isso não tem o intuito de criticar o referido projeto, muito pelo contrário, qualquer forma de incentivo à instalação ou recuperação dos outros tipos modais de transportes, além do rodoviário, deve ser colocada em primeiro plano.

Entretanto, os resultados apontam para a busca de outras soluções tendo em vista a logística do abastecimento do mercado interno, além apenas da preocupação com o mercado externo.

Diante da breve e promissora fase de aumento da produção de etanol que tem grandes chances de ocorrer, a expansão poderá ser menor do que se espera por causa da insuficiência da infra-estrutura de transportes que comprometerá, não apenas o setor alcooleiro, mas a economia no seu sentido mais amplo.

#### **4.3.1 Resultados expressos por peso**

Além da avaliação dos fluxos econômicos é importante associar este valor à quantidade de toneladas que serão acrescidas sobre a malha rodoviária. Para isso é necessário aplicar aos resultados um coeficiente formado pela razão entre toneladas e reais.

A base de dados da SECEX (BRASIL, 2007b) é uma das únicas que correlaciona o valor dos produtos exportados pelo seu peso equivalente. Estes dados possibilitam a geração do referido coeficiente expresso em ton/R\$.

Destaca-se que o uso de um único valor como uma média para toda a produção econômica pode implicar em diversos problemas, mas esta foi a alternativa encontrada diante da indisponibilidade de acesso a melhores informações. Além disso, o coeficiente estabelecido pelo

valor e volume das exportações do Estado de São Paulo, torna-se mais plausível nesta análise, à medida que as projeções das exportações (149% - economia e 427% álcool) são muito superiores às dos outros vetores que compõem a demanda final, pois este fato aumenta a proporcionalidade dos produtos exportados no pool geral da produção do Estado.

Considerando então os coeficientes de transformação obtidos pela base de dados da SECEX, tem-se: *i*) para a economia em geral: 0,00044778730 ton/R\$; *ii*) para a diferença associada a maior demanda por álcool: 0,00125264898 ton/R\$.

Utilizando-se então estes coeficientes com os dados do Quadro 2 tem-se que, em 2012, a demanda por transportes em TKU (tonelada – quilômetro - útil) será de 170,5 bilhões de toneladas. Considerando que a diferença entre o crescimento e os cenários deriva apenas de modificações no setor alcooleiro, as variações de 2,51% e 2,36% podem ser diretamente correlacionadas com o segundo coeficiente, correspondendo a 12 e 11,3 bilhões de TKU, respectivamente.

Isto determina que, em 2012, este aumento da atividade do complexo setorial do álcool representará, sozinho, cerca de 7% da demanda total de transportes atribuída a toda a economia do Estado.

#### **4.3.2 Regionalização dos resultados**

A Figura 13 considera de maneira isolada apenas os percentuais de aumento de uso da malha rodoviária, considerando apenas a demanda por transportes dos setores relacionados com a cadeia do álcool. A situação 1 (mapa superior à esquerda) é determinada apenas pelos acréscimos influenciados pela demanda interna e a situação 2 (mapa inferior à esquerda) pelos acréscimos gerados também pelo aumento das exportações, sem considerar a existência dos centros coletores.

As novas usinas a serem instaladas em São Paulo, como mostrado na Figura 4, acarretarão no maior uso das rodovias na região noroeste do Estado. Percentualmente, o aumento dos fluxos dessas rodovias serão maiores quando só a demanda pelo transporte dos setores relacionados com a cadeia do etanol é considerada. Com o aumento das exportações, a atividade geral das usinas e do comércio atacadista torna-se mais intensa ampliando de maneira difusa a carga sobre as rodovias que seguem para região metropolitana de São Paulo e o Porto de Santos. Como o Porto

de Paranaguá também será uma opção para escoamento da produção de álcool, o tráfego também se dirige para o Estado do Paraná.

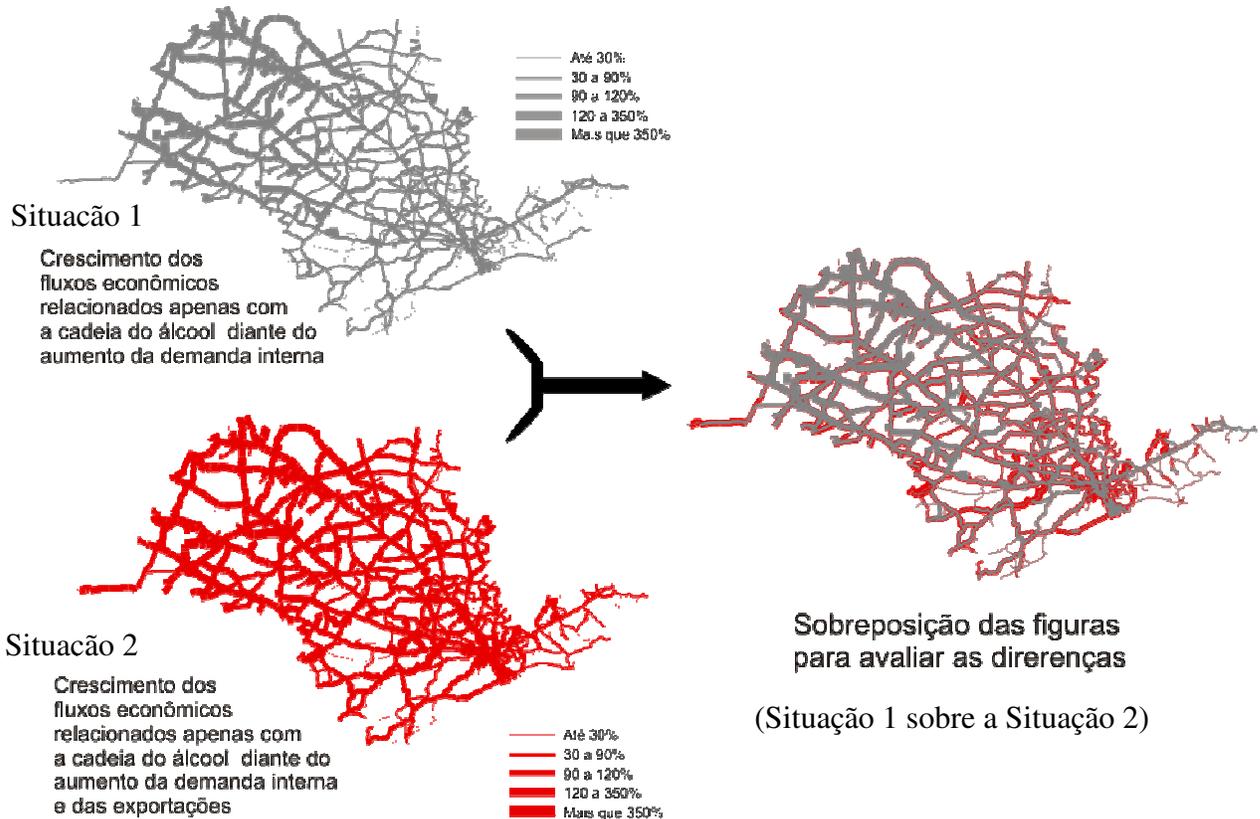


Figura 13 - Sobreposição dos fluxos econômicos avaliados para os cenários 2 e 3, considerando apenas os setores relacionados com a cadeia do álcool

Como foi discutido, não haverá um alívio muito grande com a implantação dos centros coletores na contextualização geral para o Estado de São Paulo, entretanto, haverá benefícios mais significativos em determinadas regiões de dentro do Estado.

Ainda pela Figura 12, é possível avaliar que a produção voltada às exportações tem como característica o congestionamento das vias que se dirigem ao Porto de Santos, que também são as vias que ligam o interior com a capital, por isso a instalação dos centros coletores representa um ensejo positivo sobre os eixos mais importantes do Estado, conforme os resultados apresentados no Quadro 3 para as 42 principais rodovias, que têm os maiores fluxos atribuídos em 2002.

N	Codigo	Nome	Situação inicial		Cresc. Econ. aumento %	Cenário 1 R\$*km (2012) Etanol cresc.	Cenário 2 R\$*km (2002) Etanol cresc. Centros coleta	Diferença entre os cenários
			Km	R\$*km (2002)				
	SP	TOTAL DO ESTADO	19,473	233,133,930,068	63.92%	+ 2.51%	+ 2.36%	-0.16%
1	SP330 / SP348	ANHANGUERA / BANDEIRANTES	527	40,773,693,083	68.63%	+ 1.18%	+ 1.09%	-0.09%
2	BR116	PRESIDENTE DUTRA / REGIS BITTENCOURT	506	23,561,318,328	62.51%	+ 0.97%	+ 0.33%	-0.64%
3	SP270	RAPOS TAVARES	630	19,086,432,867	60.12%	+ 5.88%	+ 3.88%	-2.00%
4	SP280	MARGINAL TIETE/PRESIDENTE CASTELO BRANCO	328	17,166,389,798	71.13%	+ 3.81%	+ 6.25%	2.43%
5	SP310	FELICIANO SALLES CUNHA / WASHINGTON LUIZ	516	10,953,389,641	51.01%	+ 3.22%	+ 3.22%	-0.01%
6	SP300	MARECHAL RONDON	614	8,951,036,322	59.58%	+ 1.01%	+ 1.93%	0.93%
7	SP150 / SP160	ANCHIETA / IMIGRANTES	102	8,766,837,709	81.09%	+ 0.79%	+ 0.49%	-0.30%
8	SP255	ANTONIO MACHADO SANT'ANA / COMENDADOR JOAO RIBEIRO DE BARROS / JOAO MELLAO	336	5,113,718,715	66.96%	+ 4.95%	+ 8.46%	3.51%
9	SP055	CAICARA / PADRE MANUEL DA NOBREGA / PEDRO TAQUES - PRESTES MAIA / PIACAGUERA	238	4,912,844,144	70.28%	+ 0.85%	- 0.57%	-1.42%
10	SP225	COMENDADOR JOAO RIBEIRO DE BARROS / ENGENHEIRO JOAO BAPTISTA CABRAL RENNO	327	4,863,366,127	63.20%	+ 2.53%	+ 1.21%	-1.32%
11	SP147	DEPUTADO LAERCIO CORTE / DOUTOR OCTAVIO DE OLIVEIRA SANTOS / LAZARO CORDEIRO DE CAMPOS / SAMUEL DE CASTRO NEVES	234	4,255,913,822	50.50%	+ 9.83%	+ 9.92%	0.09%
12	SP070	MARGINAL TIETE / RODOVIA DOS TRABALHADORES	88	4,247,893,891	75.08%	- 0.45%	- 1.52%	-1.06%
13	SP127	ANTONIO ROMANO SCHINCARIOL / CORNELIO PIRES / FAUSTO SANTOMAURO	197	3,758,403,400	65.70%	- 0.04%	+ 3.22%	3.27%
14	SP304	CESARIO JOSE DE CASTILHO / DEPUTADO LEONIDAS PACHECO FERREIRA / LUIZ DE QUEIROZ	257	3,608,311,316	52.98%	+ 3.60%	+ 5.14%	1.54%
15	SP333	ABRAAO ASSAD / CARLOS TONANNI / LAURENTINO MASCARI / TRANSBRASILIANA	441	3,603,533,523	49.92%	+ 1.57%	+ 3.34%	1.77%
16	SP191	GERALDO BARROS / IRINEU PENTEADO	175	3,169,066,181	56.96%	- 2.23%	+ 3.41%	5.64%
17	SP425	PAULO BORGES DE OLIVEIRA	476	3,100,589,651	57.31%	+ 2.70%	+ 3.82%	1.12%
18	SP079	CONVENCAO REPUBLICANA / PADRE GUILHERME HOVEL / RAIMUNDO ANTUNES SOARES / SANTOS DUMONT / TENENTE CELESTINO AMERICO	190	2,870,407,521	48.58%	+ 0.33%	+ 0.62%	0.28%
19	SP322	ARMANDO DE SALLES OLIVEIRA / RODOVIA DA LARANJA / WALDEMAR LOPES FERRAZ	266	2,863,011,773	45.31%	+ 2.51%	+ 5.24%	2.72%
20	BR381	FERNAO DIAS	84	2,690,410,058	43.34%	- 3.84%	+ 5.55%	9.39%
21	SP215	ADHEMAR PEREIRA DE BARROS / EDUARDO VICENTE NASSER	200	2,518,789,491	45.62%	+ 6.06%	- 1.19%	-7.25%
22	SP340	ADHEMAR PEREIRA DE BARROS	169	2,487,189,267	55.72%	+ 2.02%	+ 2.78%	0.76%
23	SP332	ABRAAO ASSAD / GENERAL MILTON TAVARES DE SOUZA / JOAQUIM FERREIRA / PADRE DONIZETTI	221	2,484,478,498	68.86%	+ 7.53%	+ 6.34%	-1.19%
24	SP065	PEDRO I	135	2,426,252,108	88.65%	+ 1.24%	+ 7.97%	6.73%
25	SP088	PROFESSOR ALFREDO ROLIM DE MOURA	95	2,333,211,544	78.77%	+ 2.13%	+ 4.31%	2.18%
26	SP334	CANDIDO PORTINARI	170	2,322,706,165	65.95%	+ 1.33%	+ 0.11%	-1.22%
27	SP101	BENTO ANTONIO DE MORAES / JORNALISTA FRANCISCO AGUIRRE PROENCA	133	2,068,023,915	56.90%	+ 1.26%	+ 5.99%	4.72%
28	BR153	TRANSBRASILIANA	322	1,635,489,180	49.64%	+ 4.20%	+ 2.95%	-1.26%
29	SP345	CANDIDO PORTINARI / ENGENHEIRO RONAN ROCHA	152	1,632,063,946	50.37%	+ 3.45%	+ 5.27%	1.82%
30	SP294	COMENDADOR JOAO RIBEIRO DE BARROS	341	1,607,983,810	71.19%	+ 1.90%	+ 7.39%	5.49%
31	SP312	AV DOS AUTONOMISTAS / RODOVIA DOS ROMEIROS	67	1,464,549,407	74.39%	+ 1.98%	+ 1.87%	-0.11%
32	SP360	ENGENHEIRO CONSTANCIO CINTRA	97	1,458,942,629	51.77%	+ 1.08%	+ 4.25%	3.17%
33	BR101	PEDRO TAQUES - PRESTES MAIA	56	1,434,218,630	67.02%	- 3.63%	- 6.20%	-2.57%
34	SP308	CESARIO JOSE DE CASTILHO / RODOVIA DO ACUCAR	133	1,331,631,672	57.93%	+ 2.57%	+ 4.35%	1.78%
35	SP062		103	1,272,284,413	74.73%	+ 3.70%	+ 5.30%	1.60%
36	SP066		107	1,268,923,125	106.66%	+ 7.97%	+ 2.95%	-5.02%
37	SP326		176	1,191,371,753	66.04%	+ 5.87%	+ 0.35%	-5.52%
38	SP031		38	1,137,264,759	83.37%	- 1.44%	+ 3.26%	4.70%
39	SP320	EUCLIDES DA CUNHA	188	1,092,270,950	57.01%	+ 2.14%	+ 2.03%	-0.11%
40	SP176	AV DAS NACOES UNIDAS	38	1,072,752,137	86.77%	- 7.16%	- 0.49%	6.67%
41	SP095		67	1,042,493,946	54.50%	- 12.1%	- 10.2%	1.84%
42	SP099	RODOVIA DOS TAMOIOS	70	1,009,052,077	83.60%	- 4.84%	+ 3.89%	8.73%

Quadro 3 - Resultados do crescimento dos fluxos por rodovia, considerando o crescimento econômico e as considerações dos cenários 1 e 2

As variações negativas da última coluna do Quadro 3, para as principais rodovias, podem ser melhor compreendidas com a visualização da Figura 14, observando-se que os centros coletores estão posicionados de maneira bastante adequada sobre os eixos transversais e diagonais que cortam o Estado no sentido Oeste-Leste.

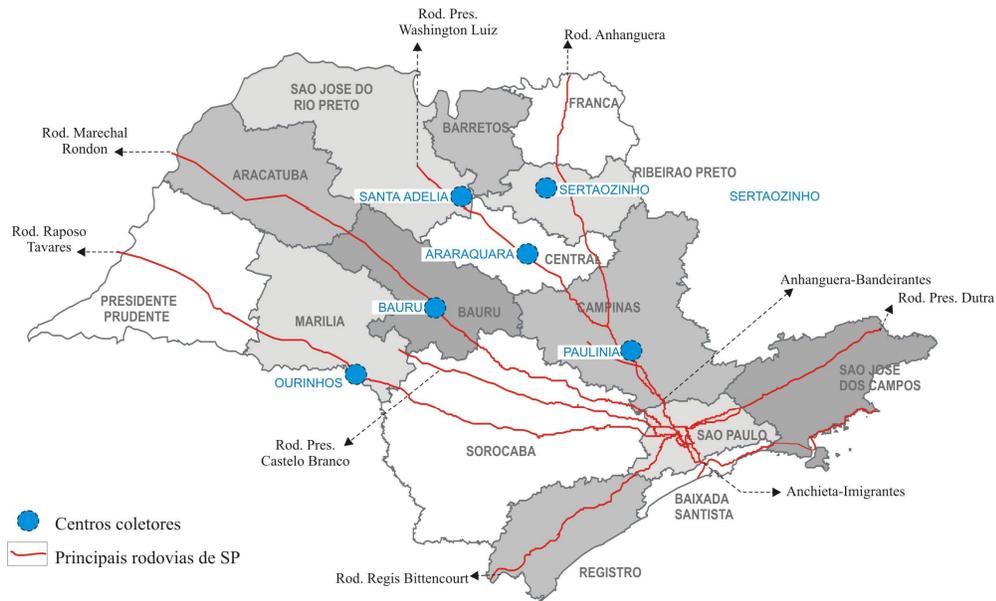


Figura 14 - Localização dos centros coletores e os principais eixos rodoviários do Estado de São Paulo

Especificando também os resultados por Regiões Administrativas - RAs do Estado, a Figura 15 representa a somatória dos fluxos dos trechos rodoviários que passam por cada RA. Como já poderia ser esperado, após observar a Figura 13, o aumento da demanda por etanol, em relação ao crescimento médio da economia e em termos percentuais, elevará mais significativamente os fluxos das regiões do norte e noroeste paulista como Araçatuba, Presidente Prudente e Barretos, conforme observado na segunda coluna da direita para a esquerda.

Regiões como Marília e Bauru possuem rodovias que terão acréscimos percentuais devido ao escoamento da produção destinada aos centros consumidores próximos a São Paulo. Os acréscimos nas regiões de São José dos Campos e Registro estão relacionados com o respectivo aumento do fluxo nas rodovias Presidente Dutra e Regis Bittencourt, em direção ao Rio de Janeiro e Curitiba, haja vista que o impacto considera toda a demanda nacional.

Ano	2002	2012	2012	2012	Diferenças	
	Participação de cada região administrativas no fluxo geral do Estado	Crescimento econômico	Cenário 1: anterior com aumento da demanda interna e externa por etanol	Cenário 2: anterior com inclusão dos centros coletores	Diferença entre o Cresc. Econ. e o cenário 1	Diferença entre os cenários 2 e 1
ARACATUBA		1.9%		66.70%		 0.96%
BAIXADA SANTISTA		2.6%		80.40%		 -1.04%
BARRETOS		1.6%		59.65%		 1.47%
BAURU		3.5%		57.27%		 0.47%
CAMPINAS		25.6%		64.45%		 1.40%
CENTRAL		4.1%		58.57%		 -0.02%
FRANCA		3.3%		60.35%		 0.05%
MARILIA		4.3%		60.30%		 -0.49%
PRESIDENTE PRUDENTE		1.4%		58.60%		 0.28%
REGISTRO		3.7%		51.27%		 -1.58%
RIBEIRAO PRETO		4.3%		65.00%		 0.38%
SAO JOSE DO RIO PRETO		3.2%		59.20%		 0.58%
SAO JOSE DOS CAMPOS		8.5%		77.42%		 -1.32%
SAO PAULO		16.5%		75.46%		 0.07%
SOROCABA		15.4%		65.16%		 1.23%
ESTADO DE SÃO PAULO	100.0%	63.9%	66.43%	66.27%	2.51%	-0.16%

Figura 15 - Resultados do crescimento econômico e cenários dos fluxos rodoviários por Região Administrativa

Dada a elevada magnitude do aumento das exportações, há o acréscimo em toda a malha rodoviária de São Paulo. Constata-se que o trânsito de valores sobre as vias das RAs de Presidente Prudente e Marília cresceram abaixo da média estadual, entretanto com o aumento dos investimentos para a produção de álcool nessas regiões, os fluxos serão significativamente aumentados para mais de 3,3%.

Considerando as variações entre os cenários 1 e 2, última coluna da Figura 15, Se os centros coletores para escoamento das exportações de álcool se tornarem ativos, haverá a redução da carga viária em algumas regiões, mas em outras a reação será o inverso. Pois algumas delas estão próximas ou contém as cidades onde serão instalados os centros como, o caso do centro coletor de Santa Adélia (aumentando o fluxo das RAs de Barretos S.J. do Rio Preto) de Sertãozinho na RA de Ribeirão Preto e Paulínia na RA de Campinas.

Os efeitos mais benéficos ocasionados pela implantação dos centros coletores é sentido na Baixada Santista com a redução da carga que passa sobre o sistema Anchieta-Imigrantes e, também, na RA de S.J. dos Campos com a redução do fluxo que poderia ser intenso dada a possibilidade de escoamento do etanol por portos no litoral norte e do Rio de Janeiro.

Na RA de São Paulo, local mais crítico em termos de congestionamentos (polarização das grandes rodovias do Estado), não seria muito beneficiada com a inclusão dos centros coletores,

pois como o modelo de atribuição utilizado busca o equilíbrio entre os usuários, a redução ocasionada pelo transporte de álcool para exportação seria suprimida imediatamente por outros tipos de carga que também precisam passar pelo local. Além disso, a demanda interna por etanol na RMSP é muito grande viabilizando, talvez, a construção de dutovias para abastecer também as áreas dentro da RA de São Paulo a partir da cidade de Paulínia.

#### **4.4 Conclusões**

Os resultados apontam que o iminente aumento da produção de etanol ampliará a demanda de transportes em cerca de 12 bilhões de TKU apenas no Estado de São Paulo. Além do crescimento médio já esperado para 2012 de 63%, em relação a 2002, que poderá causar diversos problemas, o grande avanço do setor poderá ir comprometer ainda mais a eficiência do setor de transportes.

A instalação de um projeto, contendo 6 centros coletores, destinado a escoar a produção para as exportações será capaz de reduzir esse aumento em pequena parcela, diante de seu aumento global. Mas, ressalta-se que a importância da construção dos centros é reforçada, quando se observa que os principais eixos rodoviários e ligação do interior com a capital serão os mais beneficiados devido à retirada da carga dirigida ao Porto de Santos.

Junto com o aumento da produção para a exportação do álcool, os demais setores também crescerão até 2012, aumentando em mais de 70% do fluxo de passagem no entorno da cidade de São Paulo. Se medidas como o investimento nos centros coletores não forem realizadas para evitar os congestionamentos na região, o custo do transporte irá aumentar, especialmente nas vias para a exportação, reduzindo a capacidade competitiva da produção nacional.

Avaliando o volume de tráfego maior e mais preocupante, referente à distribuição do combustível por todo o mercado interno, determina-se que investimentos imediatos sejam realizados em outros tipos de modais, além do rodoviário, para que o etanol possa ser distribuído tanto no Estado de São Paulo quanto nos outros Estados.

A quantificação do aumento do estrangulamento do fluxo na região metropolitana de São Paulo indica que a necessidade de se construir dutovias para abastecer também as áreas dentro da RA de São Paulo.

Lembrando-se, no entanto, de que a questão da demanda de transporte rodoviário, atribuída ao maior consumo de etanol dentro do Brasil, está correlacionada com o próprio crescimento

econômico. Embora os fluxos sejam mais concentrados na capital, ele está presente em todo interior e a melhor forma para prover a distribuição pulverizada e em pequena escala do combustível é o próprio transporte rodoviário. Além disso, a carga resultante do aumento da produção de insumos (cana-de-açúcar) nas regiões do norte e oeste, provavelmente também não poderá utilizar diferentes tipos de modais por ser transportada em pequenos trechos.

Soma-se a isso a questão de, talvez, incentivar a ampliação do sistema de distribuição atacadista de etanol, para que o álcool produzido em uma determinada região não necessite viajar por longos trechos para então retornar ao mercado de origem. Ou seja, o combustível produzido por uma usina em uma cidade não pode ser vendido diretamente ao mercado varejista da mesma cidade, devido à obrigatoriedade do combustível passar antes pelos distribuidores, onde os volumes podem ser mais facilmente fiscalizados pelo Governo.

Por estes fatos, a atenção deve também ser direcionada ao aumento dos custos de manutenção das rodovias vicinais que ficam a cargo dos Governos municipal e estadual, o que acarretará em grande ônus para o Estado, podendo ser repassado indiretamente para a população na forma de arrecadação de mais tributos. Haja vista que as rodovias vicinais, em geral, não são interessantes para os regimes de concessão privada, pois seus custos são muito maiores que o volume de receita que seria obtido com o pedagiamento.

Assim, é de vital importância que sejam formuladas estratégias entre o Governo do Estado São Paulo, os municípios e as empresas privadas no sentido de atentar para soluções de melhoria da logística de abastecimento do mercado interno e das usinas. Tendo em vista que esse problema não está apenas ligado ao crescimento da cadeia do etanol, mas também a todos os usuários da malha rodoviária.

## Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES - ANTT. **Relatórios anuais das concessões ferroviárias**. Disponível em: <<http://www.antt.gov.br>>. Acesso em: 21 maio 2007.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO – ANP. **Relação de distribuidores líquidos**. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br>>. Acesso em: 30 ago. 2007.

ALVES, L.R.A. **Transmissão de preços entre produtos do setor sucroalcooleiro do Estado de São Paulo**. 2002. 107 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

ALVES, L.R.A.; BACCHI, M.R.P. Oferta de exportação de açúcar do Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 42, n. 1, p. 9-33, jan./mar. 2004.

ARAGÃO, A.P. **Estimativa da contribuição do setor de petróleo ao Produto Interno Bruto do Brasil: 1955/2004**. Rio de Janeiro: Superintendência de Planejamento e Pesquisa – ANP, 2005. Nota Técnica. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br>>. Acesso em: 27 abr. 2007.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES - ANFAVEA. **Estatísticas**. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br>>. Acesso em: 10 maio 2007.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL – BNDES. **Visões ambientais para o financiamento de biocombustíveis no Brasil**. 2007. Disponível em: <<http://www.fbds.org.br>>. Acesso em: 17 abr. 2007.

BRASIL. Decreto Federal n. 76.593, de 14 de novembro de 1975. Institui o Programa Nacional do Alcool e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.senado.gov.br/sicon>>. Acesso em: 7 abr. 2007.

BRASIL. Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997. Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do petróleo e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br/ccivil/leis/L9478.htm>>. Acesso em: 25 abr. 2007.

BRASIL. Secretaria de Planejamento de Longo Prazo. **Biocombustíveis**. Disponível em: <<http://www.nae.gov.br/cadernosnae.htm>>. Acesso em: 22 set. 2007.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Balanco nacional da cana-de-açúcar e agroenergia: 2007**. Disponível em: <[www.feagri.unicamp.br/energia](http://www.feagri.unicamp.br/energia)>. Acesso em: 23 jun. 2007.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **Radar comercial**. Disponível em: <<http://radar.desenvolvimento.gov.br/radar>>. Acesso em: 20 maio 2007.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Assessoria de Gestão Estratégica - AGE. **Projeções do agronegócio: mundial e Brasil – 2006/2007 a 2016/2017**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br>>. Acesso em: 10 out. 2007.

ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION - EIA. **Energy statistics, data, and analysis: world crude oil prices**. Disponível em: <<http://tonto.eia.doe.gov>>. Acesso em: 4 maio 2007.

FEIJÓ, C.A.; RAMOS, R.L.O.; YOUNG, C.E.F.; LIMA, F.C.G.C.; GALVÃO, O.J. de A. **O novo Sistema de Contas Nacionais do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2004. 413 p.

FIGUEIREDO, R. **Gargalos logísticos na distribuição de combustíveis brasileira**. Disponível em: <<http://joomla.coppead.ufrj.br>>. Acesso em: 10 maio 2007.

FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS – SEADE. **Informações sobre os municípios paulistas**. Disponível em: <<http://www.seade.gov.br>>. Acesso em: 20 jun. 2007.

GIAMBIAGI, F.; MOREIRA, M.M. **A economia brasileira nos anos 90**. Rio de Janeiro: BNDES, 1999. 488 p.

GOLDENSTEIN, M.; AZEVEDO, R.L.S. Combustíveis alternativos e inovações no setor automotivo: será o fim da “era do petróleo”? **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 23, p. 235-266, mar. 2006.

GUILHOTO, J.J.M.; SESSO FILHO, U.A. **Estrutura produtiva da Amazônia: uma análise de insumo-produto**. Belém: Banco da Amazônia S.A. - BASA, 2005. 320 p.

GUILHOTO, J.J.M.; SESSO FILHO, U.A. Estimação da matriz insumo-produto a partir de dados preliminares das Contas Nacionais. **Economia Aplicada**, São Paulo, v. 9, n. 2, p. 277-299, abr. 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Sistema IBGE de recuperação automática - SIDRA**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: 25 maio 2007.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA – IEA. **Banco de dados**. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/out/banco/menu.php>>. Acesso em: 30 jul. 2007.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONOMICA APLICADA – IPEA. **Ipeadata: séries históricas**. Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br>>. Acesso em: 21 jul. 2007.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **Climate Change 2007: mitigation of climate change**. Disponível em: <[http://www.mnp.nl/ipcc/pages\\_media/SRCCS-final/SRCCS\\_WholeReport.pdf](http://www.mnp.nl/ipcc/pages_media/SRCCS-final/SRCCS_WholeReport.pdf)>. Acesso em: 4 maio 2007.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - IEA. **Biofuels for transport: an international perspective**. 2004. 201 p. Disponível em: <<http://www.iea.org>>. Acesso em: 15 maio 2007.

ISARD, W.; BRAMHALL, D.F. **Methods of inter-regional and regional analysis**. Aldershot: Ashgate Publishing, 1998. 490 p.

MACEDO, C.I. **A energia da cana-de-açúcar: doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e a sua sustentabilidade**. São Paulo: Unica, 2005. 237 p.

MACHADO, S. **Petrobrás Transporte**: Transpetro. Disponível em: <<http://www.onip.org.br>>. Acesso em: 28 abr. 2007.

MARJOTTA-MAISTRO, M.C. **Ajustes nos mercados de álcool e gasolina no processo de desregulamentação**. Piracicaba, 2002. 180 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

MARTINES-FILHO, J.; BURNQUIST, H.L.; VIANA, C.E.F. Bioenergy and the rise of sugarcane-based ethanol in Brazil. **Choices**, Milwaukee, v. 21, n. 2, p. 91-97, Apr./June 2006.

MORAES, M.A.F.D. **A desregulamentação do setor sucroalcooleiro do Brasil**. Americana: Caminho Editorial, 2000. 238 p.

MORAES, M.A.F.D. Usinas de açúcar e álcool: novos mercados e fontes de financiamento. **Preços Agrícolas**, Piracicaba, v.15, n. 169, p. 3-5, nov./dez. 2000.

RENEWABLE FUELS ASSOCIATION - RFA. **Annual world ethanol production by country**. Disponível em: <<http://www.ethanolrfa.org/industry/statistics/#EIO>>. Acesso em: 5 maio 2007.

RODRIGUES, E. **Crise energética**. Rio de Janeiro: José Olympio, 1975. 190 p.

RODRIGUES, J.R. **Ampliação da produção de etanol e co-geração de energia elétrica**: documento de base para discussão. Brasília: BNDES, 2003. 17 p. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br>>. Acesso em: 21 abr. 2007.

THEIL, H. **Economics and information theory, studies in mathematical and managerial economics**. Amsterdam: North-Holland Publisher Company, 1967. 488 p.

TORQUATO, S.A. **Avanços e entraves na logística de exportação do álcool**: 2005. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br>>. Acesso em: 10 mar. 2007.

UNIÃO DOS PRODUTORES DE BIOENERGIA – UDOP. **Mapa do Centro-Sul**. Disponível em: <<http://www.udop.com.br/>>. Acesso em: 15 ago. 2007.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME – UNEP. **The GHG indicator**: guidelines for calculating greenhouse gas emissions for business and non-commercial organisations. Paris: UNEP, 2000. 61 p. Disponível em: <<http://www.unep.org>>. Acesso em: 8 maio 2007.

UNITED NATIONS. **System of National Accounts - SNA**. Washington, 1993. Disponível em: <<http://unstats.un.org/unsd/sna1993/toctop.asp>>. Acesso em: 10 jan. 2006.

VASCONCELOS, J.R.; OLIVEIRA, M.A. **Análise da matriz por atividade econômica do comércio interestadual no Brasil**: 1999. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, 1999. (Texto para discussão, 1159). Disponível em: <<http://www.ipea.gov.br/pub/td>>. Acesso em: 13 jun. 2007.

VEIGA FILHO, A.A.; RAMOS, P. Proálcool e evidências de concentração na produção e processamento de cana-de-açúcar. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 36, n. 7, p. 48-61, jul, 2006.

WORLD RESOURCES INSTITUTE - WRI. **Climate Analysis Indicators Tool – CAIT**: on-line database version 3.0. Washington: World Resources Institute, 2006. Disponível em: <<http://cait.wri.org>>. Acesso em: 28 abr. 2007.

## **APÊNDICES**

## Apêndice A – Breves considerações sobre a teoria da informação e incerteza

A teoria da informação se preocupa com importantes terminologias que denotam o risco e a incerteza. Segundo Knight (1972), o risco está associado a comportamentos aleatórios dos quais se tem conhecimento e que podem ser previsíveis dentro de uma margem de erro, enquanto que a incerteza está ligada a eventos imprevisíveis, sobre os quais não há informações suficientes para associá-las a uma estrutura comportamental. Não distante desta idéia pioneira, Park e Sharp-Bette (1990) mencionam que, embora o resultado não seja preciso sob condições de risco, é possível avaliar sua probabilidade. E no caso da incerteza nada pode ser suficientemente observado. Entretanto, dada a importância da incerteza, alguns autores discordam dessa idéia e propõem formas para mensurá-la.

Klir (1988) apresenta de forma unificada, a síntese de diversas técnicas desenvolvidas com o propósito de se mensurar a incerteza. O diagrama a seguir, extraído de seu livro, mostra como essas medidas são posicionadas no âmbito geral da teoria da informação.

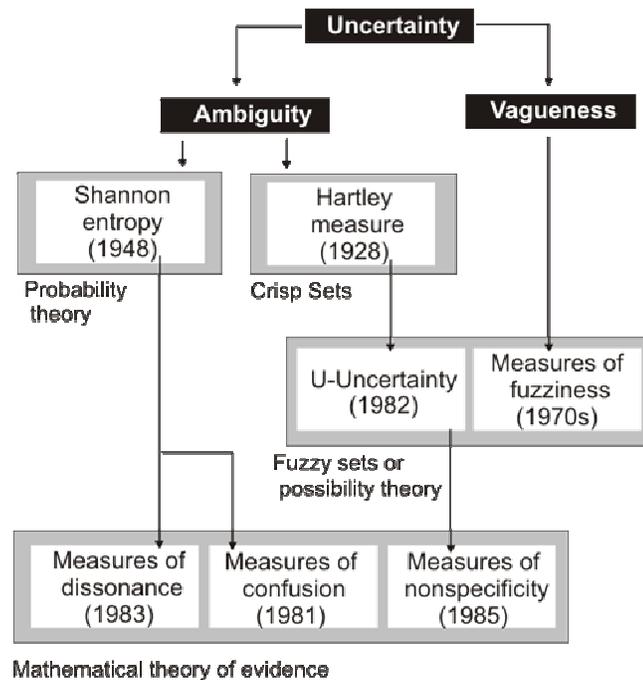


Figura 1 - O conceito da incerteza na teoria da informação

Fonte: Produzido pelo autor com base em Klir (1988)

A incerteza pode ser subdividida e cada tipo de incerteza representa um tipo particular de informação. Na Figura 1 são apresentados sete tipos de incertezas e, portanto, sete

formas de mensuração de cada tipo de informação. As medidas estão associadas aos anos em que as idéias iniciais foram propostas e os quadros em cinza representam os quatro grupos estruturais que as associam de acordo com suas origens teóricas.

Para o arcabouço teórico ligado a Teoria da Probabilidade, a única medida associada é a entropia de Shannon que foi e tem sido adotada na área da economia e administração. Basicamente, a teoria da informação utiliza a entropia como elemento fundamental para formalizar quantitativamente a incerteza através dos conceitos matemáticos de logaritmo e probabilidade.

### O informacional e a entropia

Na sua essência, a entropia corresponde ao grau de desordem de um sistema, sendo que o aumento da desordem corresponde ao aumento da entropia. Como grandeza física, considerando a segunda lei da termodinâmica, ela mede a parte da energia que não pode ser transformada em trabalho. Sua interpretação estatística foi visualizada em 1877, através de Ludwig Boltzmann, que definiu a entropia como um valor proporcional ao logaritmo neperiano do número de microestados que um gás pode ocupar. Mas sua ligação com a teoria da informação se deu apenas no século seguinte com o trabalho de Shannon (1948).

Através da ocorrência de *bits*, Shannon quantificou a capacidade de transmissão de mensagens com ruído em canais de comunicação, utilizando para isso a entropia como medida do caos de uma distribuição de probabilidade discreta. Ao direcionar o conceito logarítmico da entropia (desordem e probabilidade) para a informação, o autor criou uma forma de medir a incerteza, que foi adotada pela teoria da informação.

Para explicar o conceito lógico por traz da entropia e como ele se relaciona com a economia, alguns autores, como Wilson (1970), partem das definições de micro e macroestados, conforme as considerações iniciais de Boltzmann para sistemas gasosos, que parecem ser mais complexas, mas mais apropriadas para o entendimento de questões axiomáticas. Entretanto, este texto não procura fazer considerações teóricas sobre o assunto, visando apenas explana-lo da forma mais rápida.

Por isso, a seguir, utiliza-se o problema de localização de um cão em um tabuleiro, apresentado por Theil (1967) para introduzir a idéia da incerteza necessária no desenvolvimento deste trabalho.

Um cão que escolhe aleatoriamente um local para ficar em uma área que se parece com um tabuleiro de 8 casas, no exemplo, supõe-se que ele escolhe o quadrado 53 (Figura 2).

1	9	17	25	33	41	49	57
2	10	18	26	34	42	50	58
3	11	19	27	35	43	51	59
4	12	20	28	36	44	52	60
5	13	21	29	37	45	53	61
6	14	22	30	38	46	54	62
7	15	23	31	39	47	55	63
8	16	24	32	40	48	56	64

Figura 2 - Localização de um cão em área constituída por 64 partes iguais

Entretanto, não se sabe onde o cão está, ou seja, o estado de total incerteza. Para descobrir é necessário fazer perguntas que serão respondidas de forma binária, sim ou não. Sendo que cada pergunta custa 1 real. Se forem utilizadas as perguntas:

O cão está no quadrado 1?

O cão está no quadrado 2?

O cão está no quadrado 3? E sucessivamente até obter a resposta sim.

Na melhor das hipóteses se gasta 1 real e na pior, 63 reais (se as perguntas chegarem até 63, por exclusão o cão está no 64). Esperança deste problema é 32 reais, considerando uma distribuição uniforme e discreta, na qual a chance de gastar 1 real ( $p=1/63$ ) é igual a de gastar 2, 3, ..., 63 reais ou  $(1+2+\dots+63) \cdot (1/63)=32$ .

Entretanto, as perguntas para este caso podem ser mais seletivas, de forma a agregar um grande conjunto de quadrados:

O cão está nas quatro primeiras colunas?

O cão está nas quatro primeiras linhas?

O cão está entre a quinta e sexta colunas? E, sucessivamente, conforme a Figura 3.

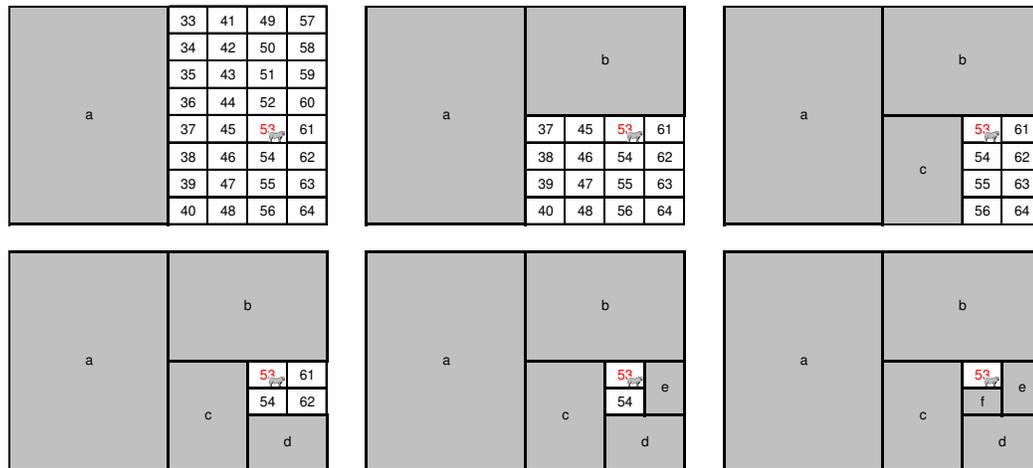


Figura 3 - Esquema de perguntas seletivas

Neste caso, seis perguntas são sempre necessárias, mas com certeza a localização sempre é determinada não importando onde está o cão. Theil (1967) avalia que o segundo esquema de perguntas (seletivo) será o adotado, pois o valor esperado de gastos (31 reais) é muito maior de que os certos 6 reais.

Assim, pelo esquema seletivo, antes de se obter a informação da primeira pergunta, a probabilidade de se achar o cão era  $p=1/64$ , depois de torna  $p=1/32$  e, sucessivamente, ela aumenta ( $1/16, 1/8, 1/4, 1/2$ ), com a resposta da sexta questão, conclui-se o local com certeza. Graficamente isso pode ser aproximado para uma função logarítmica. O gráfico da direita da Figura 4 torna contínua a seqüência discreta das probabilidades em relação à informação.

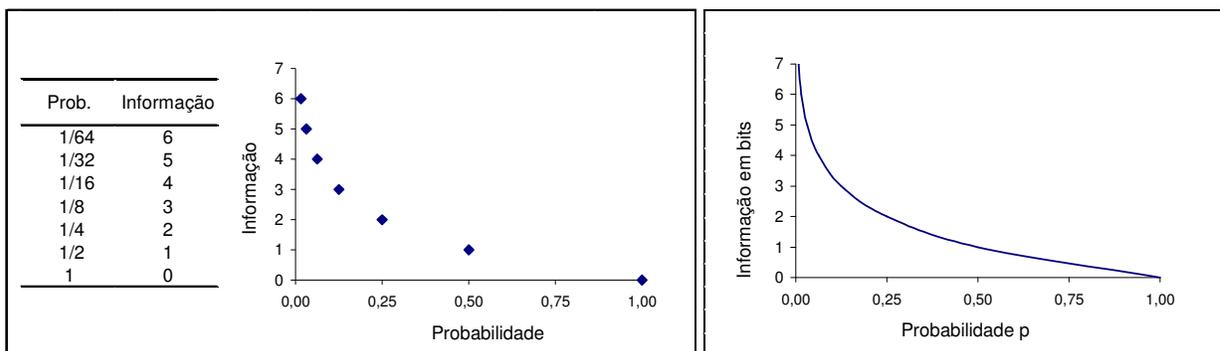


Figura 4 - Gráficos representado a função logarítmica

A função associada ao gráfico da direita é dada pela Equação 1:

$$h(p) = \log_2 \frac{1}{p} \quad \text{ou} \quad h(p) = -\log_2 p \quad (1)$$

A medida  $h(p)$  é chamada informacional ou auto-informação do evento e representa a quantidade informação ou surpresa.

- Informação: quanto maior a quantidade de informação requerida, menor é a probabilidade de se adivinhar um evento (se no exemplo da localização do cão a área estivesse dividida em 512, seriam necessárias 9 perguntas e a probabilidade inicial de acerto seria  $p=1/512$ ).
- Surpresa: supondo que a probabilidade de um candidato A ganhar uma eleição é de 40% e a do outro (B) é 60%, tem-se que:

$$\{p_A = 0,4 \rightarrow h(p_A) = 1,32 \text{ bit}\} \text{ e } \{p_B = 0,6 \rightarrow h(p_B) = 0,77 \text{ bit}\} .$$

Neste caso, a surpresa implícita na vitória de A é muito maior do que B vencer.

Ao usar o conceito do logaritmo, o informacional obtém propriedades interessantes. Além do simples exemplo da localização do cão, muitos outros problemas são parecidos com esta idéia. Frente a um problema, as pessoas procuram obter informações de maneira seletiva partindo do geral para o específico, aumentando exponencialmente as chances de acerto, à medida que as informações se tornam mais precisas. Siqueira (1999) faz uma revisão das características do informacional deduzindo os axiomas a ele atribuídos.

A unidade que mede o informacional é o *bit*. Sendo que base do logaritmo que forma a expressão do informacional depende das propriedades do *bit*. No exemplo da localização do cão as informações têm formato binário (sim ou não), por isso o base do logaritmo utilizada é 2.

Outros valores podem ser atribuídos aos *bits* e, conseqüentemente, à base do logaritmo do informacional, pois isto depende do tipo de informação que é utilizada para descrever o evento. Entretanto, é muito razoável estabelecer o grau de dificuldade para identificar um evento em um espaço amostral, através das respostas sim e não, o que torna extremamente comum utilizar a base 2 no logaritmo.

Definido o informacional, sabe-se que a medida é capaz de quantificar a informação ou a surpresa, mas para definir a entropia de Shannon é necessário utilizar também o conceito de esperança.

O valor esperado ou esperança de uma variável aleatória ( $X$ ) contendo  $n$  eventos ( $x_i$ ) é dada por:  $E[X] = \sum_{i=1}^n x_i \cdot p(x_i)$ , para o caso discreto e  $E[X] = \int_{-\infty}^{+\infty} x \cdot f(x) dx$ , para o caso contínuo, com  $f(x)$  como função de distribuição de probabilidade de  $X$ .

A entropia discreta de Shannon ( $H(X)$ ) é a esperança do informacional de uma variável aleatória ( $X$ ), conforme a Equação 2.

$$E[h(p)] = H(X) = \sum_{i=1}^n p_i \cdot h(p_i) \quad \text{bit/evento} \quad (2)$$

$$H(X) = -\sum_{i=1}^n p_i \cdot \log_2 p_i \quad \text{bit/evento}$$

Theil (1967) apenas introduz a idéia do uso do logaritmo com o exemplo do cão. Mas na linha de raciocínio deste tópico ele também foi usado na definição do informacional e é expandido para transmitir a idéia da entropia de Shannon.

Assim, considerando agora que o cão tem cinco opções de local para ficar, mas com duas situações possíveis que definem as variáveis aleatórias  $X_A$  e  $X_B$ . Deseja-se saber qual situação (A ou B) possui mais incerteza. O problema é esquematizado na Figura 5.

1	2	3	4	5
$x=1$	$x=2$	$x=3$	$x=4$	$x=5$
$p=0,1$	$p=0,2$	$p=0,4$	$p=0,2$	$p=0,1$
<b>Situação A</b>				
	$x_i$	$p_i$	$x_i \cdot p_i$	
	1	0,1	0,1	
	2	0,2	0,4	
	3	0,4	1,2	
	4	0,2	0,8	
	5	0,1	0,5	
	$E(X)=$		3	

1	2	3	4	5
$x=1$	$x=2$	$x=3$	$x=4$	$x=5$
$p=0,2$	$p=0,2$	$p=0,2$	$p=0,2$	$p=0,2$
<b>Situação B</b>				
	$x_i$	$p_i$	$x_i \cdot p_i$	
	1	0,2	0,2	
	2	0,2	0,4	
	3	0,2	0,6	
	4	0,2	0,8	
	5	0,2	1,0	
	$E(X)=$		3	

Figura 5 - Localização do cão em duas situações

Na situação A, o cão pode estar em qualquer quadrado (eventos de 1 a 5), sendo que a probabilidade do cão escolher o quadrado 3 é  $p_3=0,4$ , os quadrados 2 e 4 tem  $p_2=p_4=0,2$  e o restante das chances em 1 e 5. Assim, o valor esperado na situação A resulta na escolha do local 3.

Na situação B, o cão escolhe aleatoriamente onde ficar com probabilidades iguais para todas as suas opções, sendo que o valor esperado na situação B, também resulta na escolha do local 3.

O valor esperado nas duas situações é 3, mas a incerteza da localização do cão em B é muito maior, pois todos os locais têm a mesma probabilidade de serem escolhidos, muito diferente da situação A. Aplicando a Equação 2 para estas duas variáveis aleatórias (situação A e B) tem-se a medida da entropia de acordo com as probabilidades associadas aos eventos em cada situação, conforme a Figura 6.

Situação A			Situação B		
$p_i$	$h(p_i)$	$p_i \cdot h(p_i)$	$p_i$	$h(p_i)$	$p_i \cdot h(p_i)$
0,1	3,322	0,332	0,2	2,322	0,464
0,2	2,322	0,464	0,2	2,322	0,464
0,4	1,322	0,529	0,2	2,322	0,464
0,2	2,322	0,464	0,2	2,322	0,464
0,1	3,322	0,332	0,2	2,322	0,464
H(X)=		2,122	H(X)=		2,322

Figura 6 - Incerteza atribuída às duas situações

Nota-se que a incerteza inerente à situação B é maior. Qualquer outra disposição dos valores das probabilidades da situação A que não seja igual ao da situação B sempre resultará em um valor entrópico menor. Isto, porque a distribuição uniforme observada em B contém o maior grau de incerteza possível e só varia de acordo com  $n$ .

Ao utilizar a entropia de Shannon para quantificar a incerteza, destaca-se que os valores atribuídos aos eventos ( $x_i$ ) da variável aleatória ( $X$ ) não são utilizados, apenas as suas respectivas probabilidades são necessárias.

As formulações para o informacional e a entropia de Shannon, considerando que as funções de probabilidade contínuas, são expressa pelas equações 3 e 4, respectivamente.

$$h_x = -\ln(f(X)) \quad (3)$$

$$E[h_x] = H(X) = -\int_{-\infty}^{\infty} \ln[f(x)] f(x) dx \quad (4)$$

sendo:  $f(X)$  a função de densidade de probabilidade da variável aleatória  $X$

A entropia de Shannon pode ser utilizada em diversos tipos de funções de distribuição de probabilidade admitindo características próprias. As relações entre a entropia e a variância com os parâmetros de alguns tipos de distribuições discretas e contínuas (uniforme, binomial, gamma, etc.) são apresentadas no trabalho de Ebrahimi et al. (1999). Os autores fazem importantes considerações sobre a entropia através da expansão das funções de densidade pela série de Fourier-Legendre.

### Entropia cruzada

A divergência de Kullback-Leibler (KULLBACK, 1959) ou medida de entropia cruzada mensura a distância entre distribuições de probabilidade, usando o conceito da entropia de Shannon. Sua formulação para o caso discreto e contínuo é apresentada pelas equações 5 e 6.

$$K_{XY}(p\|q) = \sum_{i=1}^n p_i \log \frac{p_i}{q_i} \quad (5)$$

sendo:  $p_i$  a probabilidade associada ao evento  $x_i$  de  $X$

$q_i$  a probabilidade associada ao evento  $y_i$  de  $Y$

$$K_{XY}(p\|q) = - \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \log \frac{f(x)}{f(y)} dx \quad (6)$$

sendo:  $f(x)$  a f.d.p. da variável aleatória  $X$ ;  $f(x) = p$

$f(y)$  a f.d.p. da variável aleatória  $Y$ ;  $f(y) = q$

Pela própria composição das expressões nota-se que esta medida é direcionada, pois  $K(p\|q) \neq K(q\|p)$ . Quanto maior a diferença informacional entre  $p$  e  $q$  maior será o valor da divergência.

Esta medida não é *a priori* uma medida de incerteza, mas pode se comportar como uma se uma das distribuições for uniforme. A distribuição uniforme admite o máximo de incerteza, pois nada pode ser considerado se todos os eventos tiverem a mesma probabilidade de acontecer (como o exemplo à direita da Figura 6). Neste caso, ao se comparar uma distribuição qualquer com a uniforme, quanto maior o valor da divergência maior menor será a incerteza a ela atribuída. Na estatística bayesiana, esta medida também pode ser usada para medir o ganho informacional ao transportar a distribuição de uma variável, da qual não se tem nenhuma evidência de suas características (*priori distribution*), para outra distribuição quando ela se torna condicionada a alguma evidência (*posteriori distribution*).

A divergência de Kullback-Leibler tem propriedades interessantes, além das relacionadas apenas com a entropia de Shannon, que parece com as propriedades de distâncias métricas, embora não sejam, por exemplo, a medida deve ser sempre positiva e só será igual a zero se  $p=q$ .

### Entropia além das distribuições de probabilidade

Tanto a entropia de Shannon como divergência de Kullback-Leibler podem ser usadas fora do contexto das distribuições de probabilidade. Se ao invés de probabilidades  $p$  e  $q$  representarem proporções de um atributo qualquer, por exemplo: renda, a entropia se torna uma medida natural para avaliar o grau de desigualdade entre classes sociais, como mostra Theil (1967).

Neste caso, sendo:  $y_i$  a  $i$ -ésima parcela positiva de uma soma, tem-se que a entropia:

$$K_{XY}(p\|q) = - \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \log \frac{f(x)}{f(y)} dx \quad (6)$$

sendo:  $f(x)$  a f.d.p. da variável aleatória  $X$ ;  $f(x) = p$   
 $f(y)$  a f.d.p. da variável aleatória  $Y$ ;  $f(y) = q$

$$p_i = \frac{y_i}{\sum_i^n y_i} \quad \begin{cases} y_i \geq 0 \\ \sum_{i=1}^n p_i \geq 0 \end{cases}$$

$$H(y) = \sum_{i=1}^n p_i \cdot \log \frac{1}{p_i} \quad \text{ou} \quad H(y) = \sum_i^n \left( \frac{y_i}{\sum_i^n y_i} \cdot \log \left( \frac{\sum_i^n y_i}{y_i} \right) \right)$$

Este tipo de aplicação permite que a entropia de Shannon e, conseqüentemente, a divergência de Kullback-Leibler, possam ser aplicadas em diversas outras áreas.

### Otimização da entropia

Dois procedimentos da teoria da informação têm sido bastante explorados por diversas áreas: a maximização da entropia e a minimização da entropia cruzada. A maximização da entropia foi introduzida por Jaynes (1957) ao enfatizar métodos da estatística mecânica, enquanto que a minimização proposta por Kullback (1959) apresenta-se como uma forma de generalização do princípio da maximização.

Maximizar a entropia significa buscar uma distribuição de probabilidade que represente o máximo de incerteza, dadas certas restrições. Enquanto que a minimização da entropia busca

reduzir a distância informacional entre duas distribuições de probabilidade, também respeitando certas restrições.

Conforme exposto anteriormente, a divergência de Kullback-Leibler pode medir a distância de uma distribuição  $p$  qualquer, em relação à uniforme, que representa a incerteza máxima. Neste caso, ao minimizar a entropia de  $p$  (o mesmo que minimizar a medida de Kullback-Leibler) em relação à distribuição uniforme resultará no mesmo resultado que a maximização da entropia de  $p$ .

Segundo Mattos e Veiga (2002), as formulações algébricas da maximização e minimização da entropia, considerando uma função  $p$  de distribuição de probabilidade discreta podem ser apresentadas pelas Equações 7 e 8 respectivamente.

Maximização da entropia:

$$\begin{aligned} \max : H(X) &= -\sum_{i=1}^n p_i \cdot \log p_i \\ \text{sujeito a : } p_i &\geq 0 \\ \sum_i p_i &= 1 \\ \sum_i p_i g_i^M(x_i) &= a_r \end{aligned} \quad (7)$$

Minimização da entropia:

$$\begin{aligned} \max : K_{XY}(p||q) &= \sum_i p_i \log \frac{p_i}{q_i} \\ \text{sujeito a : } p_i &\geq 0 \\ \sum_i p_i &= 1 \\ \sum_i p_i g_i^M(x_i) &= a_r \end{aligned} \quad (8)$$

sendo:  $p_i$  a probabilidade associada ao evento  $x_i$  de  $X$

$q_i$  a probabilidade associada ao evento  $y_i$  de  $Y$

$$\left. \begin{aligned} p_i &\geq 0 \\ \sum_i p_i &= 1 \end{aligned} \right\} \text{restrições naturais associadas às funções de} \\ \text{distribuição de probabilidade discreta}$$

$$\left. \sum_i p_i g_i^M(x_i) = a_r \right\} \text{restrições de consistência}$$

Nas aplicações relativas às funções de distribuição de probabilidade, as restrições de consistência são normalmente caracterizadas por  $g_i^M(x_i) = (x_i - \mu)^M$ , na qual  $M$  representam os

momentos da distribuição, sendo  $\mu$  o primeiro momento, ou valor esperado, neste caso. Lembrando a teoria de probabilidades os momentos têm a capacidade de especificar as funções de probabilidade.

As considerações quanto à maximização da incerteza são úteis, especialmente, para o caso em que se deseja distribuir a produção setorial nos fluxos inter-regionais da matriz de insumo-produto, isto porque, no estado em que não se tem nenhuma informação de como ocorrem os relacionamentos, é necessário admitir o estado de absoluta incerteza, na qual eles podem ocorrer com a mesma probabilidade, mas sujeitos a algumas restrições como: a quantidade ofertada e demandada por cada região; as relações espaciais que causam atrito (como os custos de transporte) e aspectos do modelo de insumo-produto. Procedimento que é discutido no tópico referente ao modelo de distribuição do próximo sub-tópico, com as devidas adaptações seguindo Wilson (1970).

## Referências

- BLIEN, U.; GRAEF, F. Entropy optimizing methods for the estimation of tables. ANNUAL CONFERENCE OF THE GESELLSCHAFT FÜR KLASSIFIKATION, 21., 1997, Berlin. **Proceedings...** Berlin: Springer, 1997. p. 3-15.
- EBRAHIMI, N.; MAASOUMI, E.; SOOFI, E.S. Ordering univariate distributions by entropy and variance. **Journal of Econometrics**, Orlando, v. 90, n. 2, p. 317-336, June 1999.
- JAYNES, E.T. Information theory and statistical mechanics. **The Physical Review**, New York, v. 106, n. 4, p. 620-630, May 1957.
- JOHNSON, R.A.; WICHERN, D.W. **Applied multivariate statistical analysis**. 5. ed. New Jersey: Prentice Hall, 2002. 767 p.
- KLIR, G.J. **Fuzzy sets, uncertainty, and information**. New Jersey: Prentice Hall, 1988. 355 p.
- KNIGHT, F.H. **Risco, incerteza e lucro**. Rio de Janeiro: Expressão e Cultura, 1972. 385 p.
- KULLBACK, S. **Information theory and statistics**. New York: Wiley, 1959. 395 p.
- MATTOS, R.S.; VEIGA, A. Otimização de entropia: implementação computacional dos princípios maxent e minxent. **Pesquisa Operacional**, v. 22, n. 1, p. 37-59, jan./jun. 2002.
- PARK, C.; SHARP-BETTE, G. **Advanced engineering economics**. New York: Wiley, 1990. 768 p.
- SHANNON, C.E. A mathematical theory of communication. **The Bell System Technical Journal**, Urbana-Champaign, v. 27, p. 623-656, Oct. 1948.

SIQUEIRA, J.O. **Determinação entrópica do preço racional da opções européia simples ordinária sobre ações e bond**: uma aplicação da teoria da informação em finanças em condição de incerteza. São Paulo, 1999. 309 p. Tese (Doutorado em Administração) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo.

THEIL, H. **Economics and information theory**. Amsterdam: North-Holland Publisher Company, 1967. 488 p.

WILSON, A.G. **Entropy in urban and regional modeling**. Londres: Pion Limited, 1970. 166 p.

## **Apêndice B – Descrição das principais base de dados utilizadas**

A seguir são descritas apenas as principais fontes de dados sócio-econômicos que foram utilizadas:

- Microdados da Pesquisa da Atividade Econômica Paulista - PAEP da Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados – SEADE;
- Sistema de Informações dos Municípios Paulistas da SEADE (SEADE, 2007);
- Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (IBGE, 2007);
- Perfil dos Municípios Brasileiros do IBGE (IBGE, 2001);
- Relação Anual de Informações Sociais - RAIS do Ministério do Trabalho e Emprego - MTE (BRASIL, 2006);
- Região de Influência das Cidades - REGIC do Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas - IPEA (2002);
- Bases de dados geoprocessadas.

### **1 A matriz de insumo-produto inter-regional brasileira para o ano de 2002**

No Brasil, a matriz insumo-produto nacional não é publicada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE desde o ano de 1996. Com intuito de atualizar as informações, a metodologia descrita por Guilhoto e Sesso Filho (2004) pode ser usada para atualizar a matriz de insumo-produto brasileira para outros anos.

Mesmo com informações dispersas sobre a produção e demanda setorial das unidades da federação, é possível estimar a matriz inter-regional para todos os estados brasileiros, aplicando técnicas conjuntas e respeitando diversas pressuposições dentre elas, a constância dos coeficientes técnicos em todas as unidades da federação. Estas técnicas envolvem, principalmente, o quociente locacional, o quociente locacional interindustrial, a técnica RAS de balanceamento e métodos de validação, todos apresentados no capítulo anterior.

Este conjunto de técnicas não inclui os conceitos da teoria da informação e nem da abordagem gravitacional ou, simplesmente, dos custos de transporte. Isto se deve ao fato que o autor não precisou trabalhar com a total ausência de informações sobre os fluxos inter-regionais. Por meio de dados do Ministério da Fazenda, mais especificamente, do Imposto de Circulação de

Mercadorias - ICMS, os fluxos comerciais entre as regiões (unidades federativas) puderam ser obtidos.

Ao determinar diferentes alíquotas para produtos semelhantes, mas em estados diferentes, a administração do ICMS necessita ter o controle do que é produzido em cada região e vendido para as outras, a fim de estabelecer um sistema de compensação, durante a divisão do montante arrecadado destinado aos estados.

Por isso, os dados do Ministério da Fazenda servem para calibrar e validar as estimativas dos fluxos inter-regionais no nível estadual, mas infelizmente estas informações não são mensuradas para o nível municipal. Assim, a determinação dos fluxos entre os municípios paulistas deve ser realizada sem o auxílio de dados ou informações que possam auxiliar as estimativas.

## **2 Pesquisa da Atividade Econômica Paulista - PAEP**

Através da Pesquisa da Atividade Econômica Paulista - PAEP, realizada pela SEADE, é possível analisar os principais segmentos que compõem a economia do Estado de São Paulo. A pesquisa é apontada como uma poderosa ferramenta capaz de caracterizar a atividade econômica em escala regional.

A base de dados da PAEP mais atual refere-se ao ano de 2001, sendo constituída por informações levantadas através de questionários aplicados aos diversos setores econômicos. Abrange o comércio, a indústria geral (indústria extrativa e de transformação), a indústria da construção, as instituições financeiras e os serviços.

O mecanismo de classificação das atividades econômicas adotado é denominado Classificação de Atividades Econômicas da PAEP - CAEPAEP. Embora seja uma classificação própria da PAEP, a codificação é baseada na Classificação Nacional de Atividades Econômicas - CNAE e segue de forma lógica o padrão das normas nacionais, possibilitando a plena integração ou comparação com outras bases de dados.

A principal contribuição da PAEP advém dos esforços referentes à mensuração do Valor Adicionado - *VA* das empresas, sendo obtido através da diferença entre o Valor Bruto da Produção - *VBP* e o Consumo Intermediário - *CI*. Além da caracterização da atividade econômica, a forma como foi elaborado o levantamento da PAEP também possibilita avaliar: a

difusão e inovação tecnológica nas empresas e nos territórios; as técnicas de gestão da produção; e os aspectos relativos às contratações, carências e treinamentos de mão-de-obra.

A PAEP não é censitária, mas é dotada de um desenho amostral bastante acurado, com adequada atenção às regiões do interior. O plano amostral utilizou o Cadastro de Empresas - CEMPRE como o universo da pesquisa e estratificou a amostra de acordo com os grupos de setores produtivos e regiões administrativas.

Nos questionários destinados a cada empresa, os dois valores - *VBP* e *CI* - são obtidos de forma indireta, através da soma ou subtração de outras variáveis. Assim, análises mais detalhadas podem ser realizadas com as informações contidas nas variáveis primárias que originam o *VBP* e o *CI*.

Além da possibilidade de detalhar os dados empregados para o cálculo do *VA*, os microdados também permitem a utilização das informações em outros níveis de desagregação, haja vista que as informações podem ser decompostas por regiões e setores.

Os dados tabulados são disponibilizados publicamente aos usuários através de mecanismos automatizados pela internet. No caso dos microdados, estes podem ser acessados por meio de consultas realizadas nas instalações da SEADE, sob supervisão e com prévia autorização.

Para fins deste estudo os microdados foram consultados na sala de acesso aos microdados da PAEP mediante autorização prévia, tendo em vista o respeito às normas do sigilo estatístico.

## 2.1 Os vetores de oferta e demanda setorial de cada município

O Valor Adicionado - *VA* objetivo da PAEP é obtido através da diferença entre o Valor Bruto da Produção - *VBP* e o Consumo Intermediário - *CI*. Estes dois valores são essenciais para a determinação dos fluxos inter-regionais, pois o *VBP* pode ser tomado como uma medida de produção de cada setor em cada região e o *CI* como uma medida de demanda.

Na matriz de insumo-produto o *CI* pode ser obtido pela soma das linhas (oferta) ou pela soma das colunas (demanda). A soma do *CI* relativo à demanda com *VA*, impostos e importações gera o *VBP* (Equação 1). Sendo que o *CI* (oferta) somado à Demanda Final - *DF* também gera o mesmo *VBP*, (Equação 1). Isto confere o equilíbrio do sistema

$$[CI \text{ (oferta)} + DF] = VBP = [CI \text{ (demanda)} + impostos + importações + VA] \quad (1)$$

Como na PAEP o VA somado ao *CI* gera o *VBP*, então, é possível concluir que o *CI* da PAEP (Equação 2) corresponde à soma dos impostos, importações e do *CI* (demanda), conferindo-lhe as características apenas do lado da demanda.

$$CI (PAEP) = [ CI (demanda) + impostos + importações ] \quad (2)$$

Por estas considerações os vetores de oferta e setorial de cada região podem ser obtidos de maneira aproximada pela PAEP. Mas esta pesquisa não é censitária e é dotada de um desenho amostral focado nas regiões administrativas do Estado de São Paulo, não nos municípios. Assim, um determinado setor que existe em um município, pode não ter sido contemplado na amostragem da região administrativa, determinando falhas quando se utiliza a pesquisa para análises no nível municipal.

Ao mesmo tempo, os dados da RAIS cobrem praticamente todo o universo das empresas formais, ou seja, desde que a empresa seja cadastrada ela conseqüentemente existe no banco de dados da RAIS. Entretanto, seu foco são os vínculos trabalhistas e não a produção, por isso o levantamento não inclui informações sobre valor adicionado ou consumo intermediário.

Utilizando a RAIS, é possível saber quais são os setores produtivos existentes em cada município e o seu porte, através da quantidade de empregados que possui. Por isso, foi criada uma forma de se juntar as duas pesquisas (RAIS e PAEP), por meio de um índice sobre o tamanho dos setores, relacionado com empregados e a massa salarial.

Quando a existência de um setor em um município é identificada pela RAIS, mas o setor não é avaliado pela PAEP, usa-se a estrutura de oferta e demanda deste mesmo setor, considerando a região administrativa em que está o município e estes valores são ponderados pelo índice de tamanho criado através da RAIS.

Destaca-se também que a RAIS não tem dados confiáveis sobre o setor agrícola, por isso as pesquisas PAM e PPM obtidas pelo SIDRA, também foram usadas no caso da produção e demanda agropecuária.

Esta foi a forma encontrada para se obter os vetores de oferta e demanda setorial municipal que, além disso, foi calibrada com dados do Produto Interno Bruto municipal obtidos no sistema de *downloads* do IBGE.

## **2.2 Sistema de Informações dos Municípios Paulistas - IMP**

O Sistema de Informações dos Municípios Paulistas, também organizado pela SEADE, possui dados distribuídos em 25 temas<sup>29</sup> sobre os municípios e regiões administrativas do estado de São Paulo.

Tabulações e cruzamentos a partir de regiões, séries históricas e temas podem ser realizados por meio do site da SEADE, presente na rede mundial virtual (internet), utilizando através dos módulos de pesquisa básica e avançada.

A quantidade de temas e variáveis que o IMP disponibiliza é a maior, em relação às outras fontes de estatística, superando o próprio IBGE, em se tratando de dados dos municípios paulistas. Especialmente informações sobre disponibilidade e uso de recursos humanos e infraestrutura (energia, água, saneamento, educação, etc.) são interessantes para estudos como o deste trabalho.

## **2.3 Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA**

O SIDRA é o principal sistema de disseminação de informações do IBGE via internet. Seu alcance integra a maioria das pesquisas estatísticas e programas de geociências realizados pelo IBGE. O banco de dados é constantemente atualizado com o decorrer das pesquisas, criando extensas e contínuas séries históricas. Os temas associados são: demografia e população; indústria e comércio; serviços e emprego; índices de preços; educação e saneamento; produção, agricultura e pecuária; renda e finanças e; dados territoriais.

Grande parte destes temas está disponível para o nível municipal, em abrangência nacional, incluindo aqueles que não são bem explorados pelo IMF e que são interessantes para este trabalho. Como exemplos disso podem ser citados: a pesquisa da Produção Agrícola Municipal - PAM e da Produção Pecuária Municipal - PPM.

## **2.4 Perfil dos municípios brasileiros**

Esta pesquisa contém uma extensa quantidade de dados sobre 5.560 municípios divididos em temas que abrangem os principais eixos temáticos. Pode ser consultada através do sistema de

---

<sup>29</sup> Temas fornecidos: caracterização do território; comércio; comércio exterior; comunicações; condições de vida; construção civil; cultura; população e estatísticas vitais; educação; eleições; energia; esporte; finanças públicas estaduais; finanças públicas municipais; gestão municipal; habitação; indústria; instituições financeiras; justiça e segurança; meio ambiente; política urbana; produto e renda; renda e rendimento; saneamento; saúde; serviços; tecnologia de informação e comunicação; trabalho e transporte.

*downloads*, presente no site do IBGE, ou por meio de CD-ROM. Nesse último caso, o acesso aos dados depende da instalação de um sistema de recuperação de informações georreferenciadas denominado Estatcart.

Realizada em 2001 junto às prefeituras, esta pesquisa merece destaque, especialmente por representar os mesmos ideais que motivam a realização desta tese, ao representar suas informações em formato georreferenciado. O sistema é organizado dentro de arquivos compatíveis com os Sistemas de Informação Geográfica, tendo a finalidade de facilitar seu uso perante as necessidades da gestão pública, subsidiando, o planejamento e o acompanhamento de políticas públicas setoriais e, obviamente, sendo útil também para a iniciativa privada.

## **2.5 Relação Anual de Informações Sociais - RAIS**

A Relação Anual de Informações Sociais - RAIS, legalmente instituída pelo Decreto nº 76.900, de 23/12/75, tem o objetivo de prover e disponibilizar dados sobre estatísticas do trabalho a fim de subsidiar o controle da atividade trabalhista no país. Os dados gerados são utilizados pelos sistemas de administração do seguro desemprego, abono salarial, Cadastro Geral de Empregados e Desempregados - CAGED, Programa de Integração Social - PIS, Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público - PASEP, Fundo de Garantia do Tempo de Serviço - FGTS e Instituto Nacional do Seguro Social - INSS.

Através da RAIS, podem ser consultados dados referentes aos vínculos empregatícios assumidos pela administração pública e privada e pelos empregadores cadastrados no INSS. A pesquisa é disponibilizada por site da RAIS na internet, e é realizada pelo Serviço Federal de Processamento de Dados - SERPRO.

## **2.6 Região de Influência das Cidades - REGIC**

A REGIC determina as áreas de atração das cidades brasileiras, classificando-as em diferentes níveis de hierarquia. A pesquisa foi realizada em 1993, mas seus dados foram melhor explorados somente em 2002 (IPEA, 2002). A pesquisa procura entender a organização espacial do Brasil, através do relacionamento da rede urbana brasileira. Seu principal embasamento teórico está fundamentado na Teoria dos Lugares Centrais que classifica cidades em hierarquias. Criada por Christaller (1933 apud FUJITA, 2002), a base conceitual explica as características das cidades como o tamanho, a localização e o grau de dependência com outras cidades.

Denominada também como Teoria da Área Central, ela sustenta-se na evidência de que áreas centrais formam uma hierarquia, na qual existem grupos de cidades-mercado que se focalizam em um centro administrativo maior. Os centros por sua vez também podem ser considerados como cidades-mercado de um grupo que se relaciona com um centro ainda maior. Argumentos, como as economias de escala e minimização de custos, ligam-se às pressuposições essenciais da teoria, relativas ao alcance espacial máximo (raio de atuação máximo que a oferta de bens e serviços de uma cidade central alcança) e o alcance espacial mínimo (área minimamente necessária para formar um nível de demanda que possibilite a existência da produção de um bem ou serviço).

Durante a pesquisa do IBGE foram criadas funções (funções centrais) que foram abastecidas por pesquisas a campo. As funções determinam o sentido dos fluxos de oferta e demanda de bens e serviços com baixa, média e alta complexidade, possibilitando a identificação das cidades hierarquicamente inferiores e as superiores.

Embora não tenham sido determinados os fluxos econômicos (valores monetários movimentados), mas, apenas os sentidos, os resultados da REGIC são interessantes para os fins deste trabalho, pois eles se associam indiretamente com a visualização do relacionamento econômicos entre regiões menos complexas para as mais desenvolvidas.

## **2.7 As bases de dados georreferenciadas**

A tecnologia dos SIG a ser adotada, para o georreferenciamento dos dados de insumo-produto, corresponde à estrutura vetorial. Se for necessário para alguma análise espacial específica, existem formas de se converter estas informações para a estrutura matricial (“raster”).

O IBGE disponibiliza os mapas do Brasil em formatos vetoriais através de arquivos tipo “*shapefile*”, sendo que estes arquivos podem conter polígonos, pontos ou linhas. Os polígonos geralmente se referem aos municípios, estados, aldeias, localidades e quaisquer outros tipos de objetos que precisam ser representados por áreas. Os pontos identificam os pontos centrais dos municípios e outros elementos que devam ser representados com apenas uma coordenada. As linhas determinam rios, estradas, ferrovias, hidrovias e tudo que possa ser representado por linhas e, posteriormente, incorporado a uma rede.

A principal fonte dos arquivos digitais de linhas, polígonos e pontos usada neste trabalho é a Base Cartográfica Integrada do Brasil ao Milionésimo Digital (IBGE, 2006), na escala 1:1.000.000.

## Referências

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Relação Anual de Informações Sociais: RAIS**. Disponível em: <<http://www.rais.gov.br>>. Acesso em: 25 nov. 2006.

FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS – SEADE. **Informações sobre os municípios paulistas**. Disponível em: <<http://www.seade.gov.br>>. Acesso em: 12 jan. 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Base cartográfica integrada do Brasil ao milionésimo digital**: 2001. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 15 out 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Sistema IBGE de recuperação automática: SIDRA**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: 25 maio 2007.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONOMICA APLICADA – IPEA. **Ipeadata**: séries históricas. Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br>>. Acesso em: 21 jul. 2007.

INSTITUTO DE PESQUISAS ECONÔMICAS - IPEA. **Caracterização e tendências da rede urbana do Brasil**. Brasília: IPEA, 2002. 390 p.

GUILHOTO, J.J.M.; SESSO FILHO, U.A. Estimação da matriz insumo-produto a partir de dados preliminares das contas nacionais. **Economia Aplicada**, São Paulo, v. 9, n. 2, p. 277-299, abr. 2005b.

**Apêndice C – Apresentação dos setores produtivos e a respectiva agregação em 8 grupos setoriais**

<b>MIP 42</b>	<b>Descrição - 42 setores</b>	<b>MIP 8</b>	<b>Descrição - 8 setores</b>
1	Agropecuária	1	Agropecuária
2	Extrativismo mineral	2	Extrativismo mineral
3	Petróleo e gás	3	Indústria
4	Mineral não-metálico	3	Indústria
5	Siderurgia	3	Indústria
6	Metalurgia de não-ferrosos	3	Indústria
7	Outros metalúrgicos	3	Indústria
8	Máquinas e equipamentos	3	Indústria
9	Material elétrico	3	Indústria
10	Equipamentos eletrônicos	3	Indústria
11	Automóveis, caminhões e ônibus	3	Indústria
12	Peças e outros veículos	3	Indústria
13	Madeira e mobiliário	3	Indústria
14	Celulos, papel e gráfica	3	Indústria
15	Indústria da borracha	3	Indústria
16	Elementos químicos	3	Indústria
17	Refino do petróleo	3	Indústria
18	Químicos diversos	3	Indústria
19	Farmácia e veterinária	3	Indústria
20	Artigos plásticos	3	Indústria
21	Indústria têxtil	3	Indústria
22	Artigos do vestuário	3	Indústria
23	Fabricação de calçados	3	Indústria
24	Indústria do café	3	Indústria
25	Beneficiamento de outros prod. vegetais	3	Indústria
26	Abate de animais	3	Indústria
27	Indústria de laticínios	3	Indústria
28	Fabricação de açúcar	3	Indústria
29	Fabricação de óleos vegetais	3	Indústria
30	Outros produtos alimentares	3	Indústria
31	Indústrias diversas	3	Indústria
32	Serviços Industrias de Utilidade Pública	4	Serviços Industrias de Utilidade Pública
33	Construção Civil	5	Construção Civil
34	Comércio	6	Comércio
35	Transportes	7	Serviços
36	Comunicações	7	Serviços
37	Instituições financeiras	7	Serviços
38	Serviços prestados às famílias	7	Serviços
39	Serviços prestados as empresas	7	Serviços
40	Aluguel de imóveis	7	Serviços
41	Administração pública	8	Administração pública
42	Serviços privados não mercantis	7	Serviços

Quadro 1 - Descrição dos 42 setores do Sistema de Contas Nacionais - IBGE e 8 grupos setoriais.

Fonte: Produzido pelo autor com base no Sistema de Contas Nacionais.

Nota: O setor da Administração Pública não foi incluído nas análises do texto.

## Apêndice D – Considerações sobre transporte e economia

Considerar a associação que existe entre economia e transporte é fundamental para a compreensão de diversos aspectos do mundo real. Obras como a de Quinet e Vikerman (2004) compilam a interação direta que existe entre estes dois temas. O Quadro 1 procura organizar, sinteticamente, algumas disciplinas da economia que estão intimamente ligadas ao transporte.

Disciplinas da economia ligadas ao transporte	Itens estudados
Teoria do crescimento	Transporte como determinante do desenvolvimento econômico, considerando: <ul style="list-style-type: none"> <li>• custos de transporte (tecnologia, tipos de transporte)</li> <li>• elasticidades relacionadas aos custos de transportes</li> <li>• infra-estrutura</li> <li>• oferta de transporte.</li> </ul> Teoria do crescimento endógeno (Solow-Swan).
Economia regional e urbana	Aglomeração e segregação urbana. Economias de escala. Assuntos relacionados à presença de recursos físicos.
A teoria de localização	Localização de agentes econômicos (firmas e demanda). Demanda por transporte, especificamente, demanda por viagens. Modelo de transporte – modelo de 4 etapas.
Organização da oferta	Mercado de transporte imperfeito Intervenção pública através da organização e coordenação de <ul style="list-style-type: none"> <li>• infra-estrutura,</li> <li>• info-estrutura,</li> <li>• serviços de transporte.</li> </ul>
Teoria do bem estar	Otimização das decisões públicas utilizando conceitos <ul style="list-style-type: none"> <li>• utilidade individual</li> <li>• utilidade generalizada</li> </ul>

Quadro 1 - Relações conceituais entre economia e transporte

Fonte: Produzido pelo autor com base em Quinet e Vikerman (2004)

Embora todos estes assuntos sejam amplos e interessantes, especificamente, o modelo de transporte é o alvo deste tópico. Geralmente utilizado na determinação da demanda por viagens, este modelo traz diversas considerações que podem ser aplicadas ao problema de estimação dos fluxos inter-regionais na matriz de insumo-produto.

A modelagem de transportes visa obter o melhor desempenho do planejamento operacional, tático e estratégico tendo em vista a demanda da sociedade por transportes. Para

atingir este objetivo, durante anos de aperfeiçoamento, diversos experimentos foram conduzidos resultando na criação de um conjunto de técnicas denominado modelo clássico de transportes.

Ortúzar (2004) apresenta de forma esquemática a composição do modelo clássico que também é denominado por muitos autores como modelo de quatro etapas, sendo constituído por uma seqüência de sub-modelos que incluem geração, distribuição, escolha modal e atribuição.

Em uma região, localizam-se as pessoas, as firmas e outros aspectos importantes para estimar a demanda por transportes, que é avaliada pelo número de viagens. Depois é necessário obter dados das redes de transporte associadas às modalidades de locomoção (rodoviário, aeroviário, linhas coletivas, etc.). Então, o modelo clássico procura estimar como a demanda (viagens) por cada tipo de transporte é distribuída em cada percurso pertencente à rede.

Sintetizando, o processo é esquematizado pela Figura 1 em que,

- i)* inicialmente, estimam-se quantas viagens partem de cada região e quantas viagens chegam em cada região (exemplificando: para a produção de viagens por trabalhadores, bairros residenciais são mais produtores de viagens e bairros industriais mais atrativos).
- ii)* Como cada região produz e atrai viagens, é necessário estabelecer como são distribuídas as viagens, determinando os fluxos (quantidade de viagens) entre as regiões.
- iii)* Dentro de cada fluxo, diferentes tipos de transportes podem ser utilizados, por isso as viagens são condicionadas aos seus meios mais apropriados de locomoção (exemplificando: os trabalhadores se locomovem das regiões de produção para as de atração usando carros, linhas de ônibus, metrô, aviões, etc.);
- iv)* Para cada meio de transporte, podem existir diferentes formas de se realizar o percurso, por isso é necessário alocar as viagens nas rotas existentes na rede de transporte.

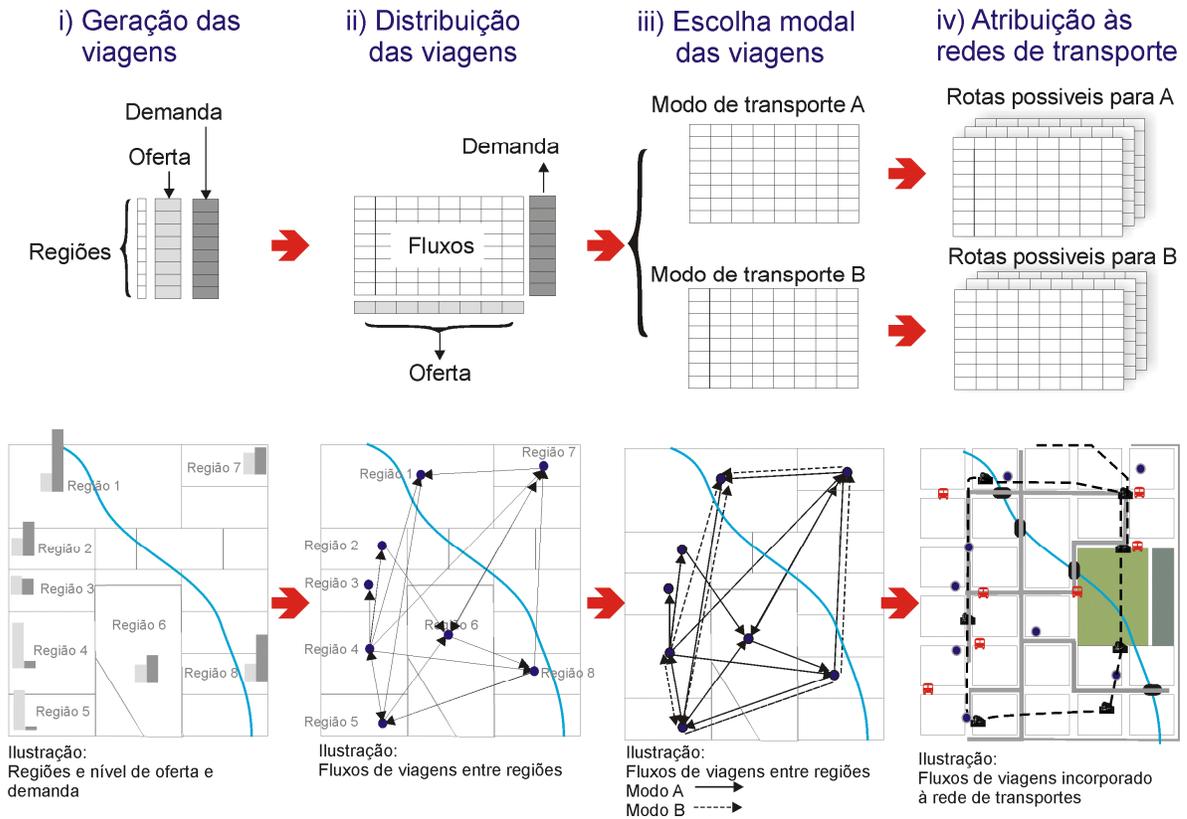


Figura 1 - Esquematização e ilustração dos 4 modelos

Embora a seqüência apresentada seja a mais comumente utilizada, ela não é a única possível. Ortúzar (2004) apresenta meios em que as etapas de distribuição e escolha da modalidade de transporte possam ser realizadas simultaneamente. O autor menciona também que, pela seqüência, a demanda por transportes (estimada no processo de geração) é inelástica, pois, como é determinada inicialmente, ela é independente dos serviços providos pela rede de transporte, respectivos aos modelos de escolha modal e atribuição.

A seguir, são apresentadas as técnicas mais comuns inseridas nos quatro modelos de maneira sucinta. Mais informações sobre estas etapas e suas considerações podem ser obtidas em Ortúzar (2004), Banks (2002) e Oppenheim (1995).

### i) Modelo de geração de viagens

As técnicas inerentes a este modelo procuram estimar o número de viagens produzidas e atraídas em cada região previamente estabelecida. Para tanto,  $o^r$  (viagens produzidas na região  $r$ ) e  $d^r$  (viagens atraídas pela região  $r$ ) são, geralmente, determinadas por funções do tipo:

$$o^r = f(s_1^r, s_2^r, \dots, s_k^r)$$

$$d^r = f(s_1^{r'}, s_2^{r'}, \dots, s_k^{r'})$$

Sendo:  $s_k^r$  e  $s_k^{r'}$  são  $k$  fatores sociais, econômicos, físicos ou ambientais atribuídos a elementos presentes em cada região e que podem ser usados para determinar o poder de produzir ou atrair viagens, respectivamente.

Exemplo: uma região residencial possui como elementos as famílias. Estas têm como atributos: quantidade de carros, nível de renda, escolaridade, etc. que são utilizados para estimar a produção de viagens. Por outro lado, uma região comercial tem como elementos as lojas, que têm como atributos os postos de trabalho, serviços, etc. que são atrativos.

Estas funções na maioria das vezes têm conformação linear. Sendo que os coeficientes estimados  $\beta_k^r$  para estes fatores (variáveis dependentes) são determinados por meio de modelagem econométrica, mais especificamente, por regressões lineares ou quase-lineares, na qual  $o^r$  e  $d^r$  são as variáveis independentes.

$$o^r = \beta_0^r + \sum_k \beta_k^r s_k^r$$

$$d^r = \beta_0^{r'} + \sum_k \beta_k^{r'} s_k^{r'}$$

## ii) Modelo de distribuição

Os modelos de distribuição têm a função de estimar o inter-relacionamento de uma região para outra. Para isso, Banks (2002) apenas menciona a existência de alguns métodos, mas ressalta, assim como na maioria dos outros trabalhos, que o mais empregado e desenvolvido para esta finalidade é modelo o gravitacional ou também denominado modelo sintético.

O modelo gravitacional quantifica o número de viagens ( $v^{st}$ ) que são alocadas entre as regiões de origem ( $s$ ) para as de destino ( $t$ ). Sua formulação algébrica pode assumir diferentes formas, mas estas alternativas não variam muito, pois todas se baseiam na estrutura do modelo gravitacional newtoniano. As Equações 1 a 3 apresentam os tipos mais comumente utilizados assumindo três tipos de considerações: restrição pela oferta, demanda ou por ambos.

Considerando a “produção de viagens” (oferta)

$$v^{st} = (o^s) \cdot \frac{d^t \cdot (c^{st})^{-\alpha}}{\sum_t d^t \cdot (c^{st})^{-\alpha}} \quad (1)$$

Considerando a “atração por viagens” (demanda):

$$v^{st} = (d^t) \cdot \frac{o^s \cdot (c^{st})^{-\alpha}}{\sum_s o^s \cdot (c^{st})^{-\alpha}} \quad (2)$$

Considerando ambos (oferta e demanda):

$$v^{st} = k^{st} \cdot o^s \cdot d^t \cdot (c^{st})^{-\alpha} \quad (3)$$

Sendo:

$s, t \in r$  regiões, respectivo a origem e destino

$v^{st}$  = número de viagens entre de  $s$  para  $t \quad \forall s, t$

$k^{st}$  = constante estimada para o ajuste do fluxo

$c^{st}$  = a função de custo de transporte entre as regiões  $s$  e  $t$

$o^s$  = quantidade de viagens produzidas ou oferta por viagens

$d^t$  = quantidade de viagens atraídas ou demanda por viagens

$\alpha$  = parâmetro a ser determinado por meio de calibração

Estes tipos de formulações não esgotam este assunto, ao contrário, apenas introduzem a um conceito mais amplo que é o modelo gravitacional derivado da maximização da entropia.

Wilson (1969) foi o responsável pela incorporação da maximização da entropia na questão dos transportes, utilizando-a para redefinir os modelos de distribuição e escolha modal. Posteriormente, Wilson (1970) utiliza a mesma base teórica para definir expressões que possibilitam a estimação dos fluxos inter-regionais das matrizes de insumo-produto.

Como as considerações para o modelo de distribuição de viagens são intimamente parecidas com as do modelo para estimar os fluxos da matriz (um dos objetivos desta tese), o desenvolvimento do que foi proposto por Wilson (1969) é apresentado.

#### A inclusão da maximização da entropia no modelo de distribuição, Wilson (1969, 1970)

Talvez o ponto mais genial de Wilson (1969) tenha sido a definição de micro e macroestados e sua incorporação ao problema da distribuição e da escolha modal.

Para simplificar as definições originais, supõe-se que um macroestado é composto por microestados que são formados por elementos. No caso das viagens entre regiões  $s$  e  $t$ , cada viagem (unidade) é um elemento, cada fluxo ( $v^{st}$ ) é um microestado e todos os fluxos somados são o macroestado.

Inicialmente, tem-se o estado de absoluta incerteza, sobre quantos e quais elementos existem e cada microestado ( $v^{11} = ?$ ,  $v^{12} = ?$ , ...,  $v^{st} = ?$ ). Obviamente, nota-se que todos estes elementos que serão alocados nos microestados pertencem ao macroestado. Deseja-se então obter todas as possíveis combinações de elementos do macroestado que podem pertencer ao primeiro microestado ( $v^{11}$ )<sup>30</sup>.

Não é necessário saber a quantidade de viagens dentro de  $v^{11}$ , pois se deseja obter uma expressão que determine a quantidade de combinações ( $w$ ) que podem ser formadas por estes elementos a partir dos elementos do macroestado. Assim:

$$w_{11} = \frac{V!}{v^{11}!(V-v^{11})!} \quad \text{sendo: } V = \sum_s \sum_t v^{st}$$

Calculando-se as combinações para todos os microestados, mas sem repetição dos elementos já considerados:

$$w = \frac{V!}{v^{11}!(V-v^{11})!} \cdot \frac{(V-v^{11})!}{v^{12}!(V-v^{11}-v^{12})!} \cdot \frac{(V-v^{11}-v^{12})!}{v^{13}!(V-v^{11}-v^{12}-v^{13})!} \cdot \dots = \frac{V!}{\prod_{st} v^{st}!} \quad (4)$$

Aplicando o logaritmo na função  $w$  (que determina todas as possibilidades de combinação dos elementos de cada microestado no conjunto macroestado)

$$\begin{aligned} \log w &= \log \left( \frac{V!}{\prod_{st} v^{st}!} \right) \\ &= \log V! - \log \left( \prod_{st} v^{st}! \right) \\ &= \log V! - \sum_i \sum_j \log v^{st}! \end{aligned}$$

A aproximação de Stirling determina que:  $\log X! = X \log X - X$ , utilizando-a para a expressão:  $v^{st}!$ , tem-se:

<sup>30</sup> Antes, lembrando de um básico conceito da análise combinatória: a combinação simples (CS).

Definição: cálculo de todas as possíveis combinações de elementos sem que ocorra a repetição de qualquer elemento em cada grupo de  $v$  elementos.

Expressão:  $CS(V, v) = \frac{V!}{v!(V-v)!}$

Exemplo: Seja  $A = \{a, b, c, d\}$ , deseja-se formar grupos ( $a$ ) de dois a dois ( $V=4$  e  $v=2$ )

Aplicando a fórmula:  $CS(4, 2) = 6$  ou  $a(2) = \{ab, ac, ad, bc, bd, cd\}$

$$\begin{aligned}
\log w &= \log V! - \sum_i \sum_j (v^{st} \log v^{st} - v^{st}!) \\
\log w &= \log V! + \sum_i \sum_j v^{st} - \sum_i \sum_j (v^{st} \log v^{st}) \\
\log w &= \log V! + \sum_i \sum_j v^{st} - \sum_i \sum_j (v^{st} \log v^{st}) \\
\log w &= \log V! + V! - \sum_i \sum_j (v^{st} \log v^{st}) \\
\log w &= \underbrace{\log V! + V!}_{\text{Termo constante sem interesse}} - \sum_i \sum_j (v^{st} \log v^{st}) \\
\log w' &= - \sum_i \sum_j (v^{st} \log v^{st})
\end{aligned} \tag{5}$$

O termo da direita da Equação 5 é bastante interessante e traduz a idéia da entropia. Assim  $\log w'$  pode ser maximizado, considerando os conceitos da otimização entrópica. Entretanto, os valores de  $v^{st}$  estão sujeitos naturalmente a três restrições:

- a soma dos valores considerando  $s$  deve coincidir com a quantidade de viagens ofertadas;
- a soma em  $t$  com a quantidade demandada;
- e os valores de  $v^{st}$  devem ser positivos.

O modelo de maximização da entropia usando  $\log w$  procura associar a máxima incerteza na distribuição de probabilidade de  $v^{st}$ , respeitando as condições da oferta e demanda por transporte. Além disso, outra informação que pode ser incorporada é o custo de transporte, podendo ser adicionado ao conjunto de restrições, reduzindo o universo de possibilidades durante a maximização.

O modelo de otimização, portanto:

$$\begin{aligned}
\max : & \log w' \\
\text{suj:} &
\end{aligned} \tag{6}$$

$$v^{st} \geq 0$$

$$o^s - \sum_s v^{st} = 0 \tag{7}$$

$$d^t - \sum_t v^{st} = 0 \tag{8}$$

$$C - \sum_s \sum_t v^{st} \cdot c^{st} = 0 \tag{9}$$

Sendo:

$s, t \in r$  regiões, respectivo a origem e destino

$v^{st}$  = número de viagens entre de  $s$  para  $t \quad \forall s, t$

$o^s$  = quantidade de viagens produzidas ou oferta por viagens na região  $s$

$d^t$  = quantidade de viagens atraídas ou demanda por viagens na região  $t$

$c^{st}$  = a função de custo de transporte entre as regiões  $s$  e  $t$

$$C = \sum_s \sum_t v^{st} c^{st}$$

Resolvendo através do Lagrangeano:

$$L = - \sum_s \sum_t v^{st} \log v^{st} + \sum_s \lambda^s \left[ o^s - \sum_s v^{st} \right] + \sum_t \varphi^t \left[ d^t - \sum_t v^{st} \right] + \gamma^s \left[ C - \sum_s \sum_t v^{st} \cdot c^{st} \right]$$

Tomando-se as derivadas parciais de primeira ordem com respeito a  $v^{st}$  e igualando a zero:

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial v^{st}} &= -\log v^{st} - \lambda^s - \varphi^t - \gamma^{st} = 0 \\ \log v^{st} &= -\lambda^s - \varphi^t - \gamma^{st} \\ v^{st} &= \exp(-\lambda^s - \varphi^t - \gamma^{st}) \\ v^{st} &= \exp(-\lambda^s) \exp(-\varphi^t) \exp(-\gamma^{st}) \end{aligned} \quad (10)$$

Usando as Equações 7 e 8 na Equação 10, dois termos, referentes a  $e^{-\lambda^s}$  e  $e^{-\varphi^t}$ , são obtidos:

$$\exp(-\lambda^s) = \frac{o^s}{\sum_t (\exp(-\varphi^t) \cdot \exp(-\gamma^{st}))}$$

$$\exp(-\varphi^t) = \frac{d^t}{\sum_s (\exp(-\lambda^s) \cdot \exp(-\gamma^{st}))}$$

Substituindo os termos na própria Equação 10.

$$v^{st} = \frac{1}{\sum_t (\exp(-\varphi^t) \cdot \exp(-\gamma^{st}))} \cdot o^s \cdot \frac{1}{\sum_s (\exp(-\lambda^s) \cdot \exp(-\gamma^{st}))} \cdot d^s \cdot \exp(-\gamma^{st})$$

$$v^{st} = \frac{\overbrace{1}^{a^s}}{\underbrace{\sum_t (\exp(-\varphi^t) \cdot \exp(-\gamma c^{st}))}_{\text{fator de balanceamento}}} \cdot \frac{\overbrace{1}^{b^s}}{\underbrace{\sum_s (\exp(-\lambda^s) \cdot \exp(-\gamma c^{st}))}_{\text{do modelo gravitacional}}} \cdot \frac{o^s \cdot d^s}{\underbrace{\exp(\gamma c^{st})}_{\text{modelo clássico gravitacional}}} \quad (11)$$

$$v^{st} = a^s \cdot b^s \cdot o^s \cdot d^s \cdot \exp(\gamma c^{-st})$$

Assim constata-se que a partir da maximização da entropia é possível obter o modelo gravitacional incorporando a função custo. Entretanto, os termos da Equação 11 contêm avanços no sentido de:

- calibrar o modelo - fator de balanceamento do modelo gravitacional e
- determinar que a função custo tenha características exponenciais, sendo  $\gamma$  um fator de balanceamento para ajuste do modelo para cada área específica (microestado).

Embora aparentemente a formulação do modelo gravitacional não seja tão complexa, mesmo quando tem sua origem pela maximização da entropia, o processo de calibração que determina  $a^s$ ,  $b^s$  e  $\gamma$  (na função custo de transporte), não é trivial e depende da sua operacionalização com o uso de algoritmos eficiente.

Com relação à calibração do modelo gravitacional, Nanne e Heydecker (1998) fazem interessantes considerações sobre a álgebra e os algoritmos envolvidos no processo de calibração. Apresentam o conceito por trás dos algoritmos de calibração como o métodos de balanceamento (incluindo as técnicas bi e tri-proporcionais de ajuste), de Gauss-Seidel e de procura do gradiente. Além disso, formulam um novo algoritmo baseado na derivação do gradiente e do hessiano da matriz formada pelas funções que determinam os fluxos ( $v^{st}$ ).

### iii) Modelo de escolha modal

O próximo passo da estimação da demanda por transportes é a escolha da forma de locomoção dentro de cada fluxo de viagens. Ou seja, as viagens entre as regiões ( $v^{st}$ ) podem ser realizadas de  $m$  modos.

O trabalho de Wilson (1969), desenvolvido anteriormente, também se aplica à escolha modal. Pela definição dos macro e microestados, pode-se criar outros microestados dentro dos microestados originais.

No modelo de distribuição, as viagens (elementos da combinação simples) estavam contidos nos microestados ( $v^{st}$ ), que por sua vez estavam contidos nos macroestados ( $V$ ).

Ao incluir a escolha modal, o tipo de transporte (ônibus, carro, avião, etc.) são agora os elementos. As viagens em si se tornam microestados, pois a quantidade de viagens pode ser combinada entre os tipos de locomoção. Os fluxos entre regiões são mesoestados ( $v^{st}$ ) e todas as possibilidades de relacionamentos entre regiões são os macroestados ( $V$ ).

Basicamente as mesmas idéias do modelo anterior são estabelecidas, com a diferença da inserção de  $m$  no modelo de otimização. Portanto:

$$\max : - \sum_s \sum_t \sum_m v^{st(m)} \log v^{st(m)} \quad (12)$$

sujeito a:

$$v^{st(m)} \geq 0$$

$$o^s - \sum_s v^{st(m)} = 0 \quad (13)$$

$$d^t - \sum_t v^{st(m)} = 0 \quad (14)$$

$$C - \sum_s \sum_t \sum_m v^{st(m)} \cdot c^{st(m)} = 0 \quad (15)$$

Sendo que para cada viagem entre  $s$  e  $t$  existem  $m$  meios de locomoção. Com os mesmos passos do desenvolvimento anterior do lagrangeano a expressão final é dada por:

$$v^{st(m)} = a^s \cdot b^t \cdot o^s \cdot d^t \cdot \exp(\gamma c^{-st(m)}) \quad (16)$$

Considerando que cada  $v^{st}$  é composto por  $m$  modos diferentes de locomoção, é possível avaliar a proporção ( $p^m$ ) inerente a cada modo de transporte:

$$p^{st(m)} = \frac{v^{st(m)}}{v^{st}} = \frac{a^s \cdot b^t \cdot o^s \cdot d^t \cdot \exp(\gamma c^{-st(m)})}{a^s \cdot b^t \cdot o^s \cdot d^t \cdot \sum_m \exp(\gamma c^{-st(m)})} = \frac{\exp(\gamma c^{-st(m)})}{\sum_m \exp(\gamma c^{-st(m)})} \quad (17)$$

Na qual  $p^{st(m)}$  é uma proporção de viagens entre  $s$  e  $t$  feita através do modo  $m$ . Esta forma funcional é denominada *logit* e é amplamente aplicada no modelo de distribuição, em especial no modelo de divisão multimodal. O parâmetro  $\gamma$  pode ser calibrado utilizando modelos *logit* de regressão binária. Outras considerações podem ser observadas no próprio trabalho de Wilson (1969) ou em Ortúzar (2004).

#### iv) Modelo de atribuição

A última etapa do modelo de quatro etapas corresponde à definição dos percursos a serem usados nas viagens, considerando cada tipo de transporte. Antes, algumas definições devem ser estabelecidas sobre os termos: nós (*nodes*), conexões (*links*), rotas (*route*) e rede (*network*), usando a Figura 2.

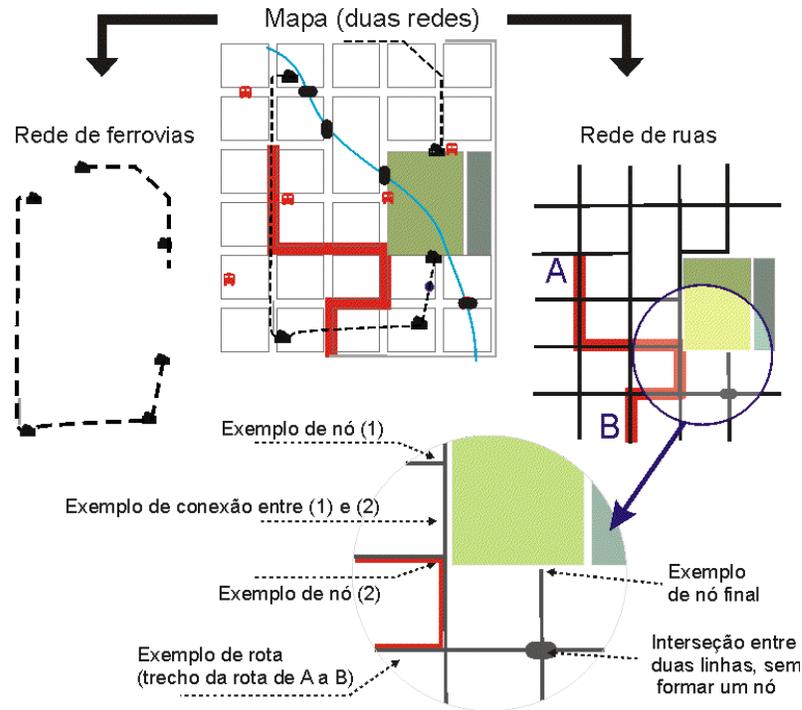


Figura 2 - Definições: redes, nós, conexões e rotas

A rede de transporte corresponde a todas as possibilidades que um meio de transporte oferece para ir de um local a outro. É formada por nós, conexões e rotas, sendo que os nós são os pontos que finalizam a rede ou os locais onde há interseções. As conexões são as linhas que ligam dois nós e, as rotas são conjuntos de conexões que formam um percurso. Sobre os nós, nem todas as interseções de linhas formam nós. Uma estrada que passa por cima de outra através de uma ponte, pode não permitir a passagem do fluxo de uma linha para outra.

Os modelos de atribuição dos fluxos para a rede dependem geralmente das características associadas às conexões como distância, capacidade de tráfego, velocidade do tráfego, tipo de pavimento, direção, entre outros.

Através das três etapas anteriores determina-se a quantidade de viagens ( $v^{st}$ ) de uma região  $s$  para outra  $t$  através do modo de transporte  $m$ , mas o desenvolvimento não está completo,

pois a rede de  $m$  permite que existam diversas possibilidades de rotas que ligam  $s$  e  $t$ . Em muitos, casos todas as viagens de  $v^{st}$  serão atribuídas à rota com menor distância ou custo a ela associada.

Este tipo de modelo denominado tudo ou nada (*all or nothing*) é bastante aceito em alguns casos, mas em situações urbanas ele é associado aos custos marginais gerados pela adição de um veículo na rota. Se muitos veículos utilizarem ao mesmo tempo o caminho de menor custo, o tráfego aumenta e o custo também determinando a procura por outras vias. Nestas condições, obviamente, o tempo de viagem assume grande importância e junto a outros fatores apresentam-se como atritos ao modelo (*constrained all or nothing*) (BANKS, 2002).

Outros métodos mais complexos incluem: a construção de árvores de decisão dentro de algoritmos para distribuir as viagens dentro das rotas possíveis; métodos de simulação como a de Monte Carlo associado às distribuições que definam percepções dos usuários; métodos estocásticos entre outros, que podem ser consultados em Ortúzar (2004).

Na definição dos modelos de atribuição também estão incluídas técnicas de definição de rotas para sistemas públicos de transporte, relacionando-as com a função estratégica do modelo de transportes.

## Referências

BANKS, J.H. **Introduction to transportation engineering**. 2. ed. Boston: McGraw-Hill, 2002. 502 p.

NANNE, J.Z.; HEYDECKER, B.G. Improved algorithms for calibrating gravit models. In: BELL, M.G.H. **Transportation networks: recent methodological advances**. Amsterdam: Pergamon, 1998. 319 p.

O'KELLY, T.C. A review of statistical spatial analysis in geographical information systems. In: FOTHERINGHAM, A.S.; ROGERSON, P.A. **Spatial analysis and GIS**. London: Taylor & Francis, 1995. p. 132-167.

OPPENHEIM, N. **Urban travel demand modeling: from individual choices to general equilibrium**. New York: Wiley, 1995. 480 p.

ORTÚZAR, J.D.; WILLUMSEN, L.G. **Modelling transport**. 3. ed. New York: Wiley, 2004. 499 p.

QUINET, E.; VICKERMAN, R.W. **Principles of transport economics**. Camberley: Edward Elgar Publishing Ltd., 2004. 416 p.

THEIL, H. **Economics and information theory**. Amsterdam: North-Holland Publisher Company, 1967. 488 p.

WILSON, A.G. **Entropy in urban and regional modeling**. Londres: Pion Limited, 1970. 166 p.

WILSON, A.G. The use of entropy maximising models in the theory of trip distribution, mode split and route split. **Journal of Transport Economics and Policy**, Bath, v. 3, n. 1, p. 108-126, Jan. 1969.

## Apêndice E - Medidas adotadas em alguns países para incentivar o uso de combustíveis renováveis

Mercado em 2004*	Utilização e perspectivas	Incentivos na produção	Incentivos para o consumo
<b>Brasil</b> E: 11500 B: ainda pequena no ano avaliado.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Etanol:</b> Todo o abastecimento de gasolina é realizado com a mistura 20 a 25% de etanol. Ao mesmo tempo o Etanol hidratado é utilizado em larga escala para abastecimento direto de veículos leves.</li> <li>• <b>Biodiesel:</b> Autorização de 2% de óleos vegetais no diesel a partir de 2004, tornando o uso obrigatório em 2008. Meta de 5% para 2013.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incentivos agrícolas.</li> <li>• Empréstimos com taxas menores para as indústrias</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incentivos fiscais para a venda de álcool anidro.</li> <li>• Controle de preços por meio de acordos com usinas.</li> <li>• Foram realizados acordos com a indústria automobilística, determinando a produção de pelo menos 2/3 como sendo veículos flex em 2007.</li> </ul>
<b>EUA</b> E: 14300 B: 114	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Etanol:</b> Em alguns estados americanos o uso do MTBE (aditivo poluente, como já mencionado) foi proibido e substituído pelo etanol. Califórnia, Nova Iorque e Minnesota utilizam 10% na gasolina.</li> <li>• <b>Biodiesel:</b> autorizado o uso de 20% óleos de fontes renováveis no diesel.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• O Energy Bill (Lei da Energia, 2005) assegura a expansão do mercado norte-americano de etanol por intermédio de incentivos fiscais, subsídios às fazendas de milho e a regulação das misturas de etanol na gasolina e no diesel (Lavegin 2006).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incentivos fiscais</li> <li>• Exclusão de taxas sobre os combustíveis em alguns estados</li> <li>• Incentivos na venda de veículos <i>flex</i>.</li> <li>• Exigência da frota governamental.</li> <li>• Os carros a gasolina produzidos após 1980 deverão operar com 10% de etanol.</li> </ul>
<b>Canadá</b> E: 175 B: 10	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Etanol:</b> Exigência de 5 a 10% na gasolina em algumas províncias. Mas a intenção é que todos os carros produzidos após 1980 deverão operar com a composição 10%.</li> <li>• <b>Biodiesel:</b> uso de 20% de fontes renováveis no diesel.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biodiesel: Expectativa de produção de 500 milhões de litros/ano até 2010.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução de impostos sobre combustíveis renováveis.</li> <li>• Mercado de veículos <i>flex</i>.</li> </ul>
<b>França</b> E: 98 B: 396	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Etanol:</b> adição de 3%, a partir de 2005.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Créditos fiscais sobre equipamentos que usam energia renovável.</li> <li>• Taxas de penalidade para refinadoras que não usam biocombustíveis.</li> <li>• Acesso ao Mercado Comum Europeu.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exclusão de algumas taxas na venda de biocombustíveis.</li> <li>• Quotas e diretivas a favor do uso</li> </ul>
<b>Alemanha</b> B: 1176	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Etanol:</b> idem a Suécia.</li> <li>• <b>Biodiesel:</b> exigência de mínimo de 5% de mistura do diesel com fontes renováveis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concessão de capitais.</li> <li>• Acesso ao Mercado Comum Europeu.</li> <li>• Incentivos fiscais.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Isenção de taxas na venda de biocombustíveis.</li> </ul>

<b>Mercado em 2004</b>	<b>Utilização e perspectivas</b>	<b>Incentivos na produção</b>	<b>Incentivos para o consumo</b>
<b>Suécia</b> E: 66 B: 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Etanol</u>: desde 2005 a comunidade Européia exige pelo menos 2% de etanol na gasolina, com projeção para 5,75% em 2010.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incentivos fiscais para a construção de novas plantas de produção de combustíveis renováveis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Isenção de algumas taxas sobre combustíveis renováveis e carros <i>flex</i>.</li> <li>• Mercado de Veículos <i>flex</i>.</li> </ul>
<b>Reino Unido</b> B: 10	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Etanol</u>: idem a Suécia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concessão de capitais</li> <li>• Acesso ao Mercado Comum Europeu.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Isenção de algumas taxas na venda de biocombustíveis.</li> </ul>
<b>Índia</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Etanol</u>: Desde 2002 o uso já era obrigatório em alguns estados. Em 2006 o percentual foi de 5%. A meta é ter um percentual de mistura parecido com o Brasil (20-25%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Subsídios para os insumos e agricultura.</li> <li>• Créditos fiscais e empréstimos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Isenção de algumas taxas na venda de biocombustíveis.</li> <li>• Garantia de preços</li> </ul>
<b>Tailândia</b> E: 0.13 B: 90	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Etanol: exigência de 10% na gasolina, em Bangkok, com meta de utilização em todo o país em 2010.</li> <li>• Além disso, 2% do total da energia a ser produzida em 2010 deverá ser proveniente de fontes renováveis.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Programas de assistência agrícola</li> <li>• Grandes investimentos para a produção de etanol</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução das taxas de rodagem para veículos que usam etanol ou biodiesel.</li> <li>• Veículos <i>flex</i> a partir de 2007</li> </ul>
<b>China</b> E: 1039 B: 68	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Etanol</u>: Diversas províncias exigem o uso de 10% do etanol na gasolina.</li> </ul>		
<b>Japão</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Etanol</u>: Incentivo a mistura facultativa de 3%, sendo o uso compulsório nos próximos anos, com previsão de aumento para 10% até 2008. O etanol também deverá ser incorporado ao diesel e utilizado em usinas termoelétricas.</li> <li>• <u>Biodiesel</u>: o país mantém projetos que utilizam óleo de cozinha reciclado para ser adicionado ao diesel.</li> </ul>		
<b>Austrália</b> B: 20	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Etanol</u>: Permite a adição de 2% a 10% de álcool na gasolina.</li> <li>• <u>Biodiesel</u>: Em 2006, a capacidade de produção de biodiesel foi de 20 milhões de litros.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• O país tem planos para produção de álcool até 2010, com meta estabelecida em 350 milhões de litros.</li> </ul>	

Fonte: Produzido com informações de IPCC (2007), Austrália (2005) e Negrão e Urban (2004)

Nota: \* Números expressos em milhões de litros, sendo que **E** refere-se à produção de etanol e **B** de biodiesel.

**Referências**

AUSTRÁLIA. Department of Prime Minister and Cabinet. **Biofuels taskforce**. Sidney, 2005. Disponível em: <[http://www.pmc.gov.au/biofuels/final\\_report.cfm](http://www.pmc.gov.au/biofuels/final_report.cfm)>. Acesso em: 27 abr. 2007.

NEGRÃO, L.C.P.; URBAN, M.L.P. Álcool como “commodity” internacional. **Economia e Energia**, Brasília, v. 47, n. 1, p. 8-18, jan. 2005.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **Climate change 2007: mitigation of climate change**. Bangkok, Apr. 2007. Disponível em: <[http://www.mnp.nl/ipcc/pages\\_media/SRCCS-final/SRCCS\\_WholeReport.pdf](http://www.mnp.nl/ipcc/pages_media/SRCCS-final/SRCCS_WholeReport.pdf)>. Acesso em: 4 maio 2007.

## Apêndice F - Estimativas da evolução da frota de veículos no Brasil

O Departamento Nacional de Transito - DENATRAN publica a evolução da frota de veículos, segundo as Grandes Regiões, Unidades da Federação e Municípios, mas estes números se referem à quantidade de carros emplacados cumulativamente ao longo dos anos, não subtraindo a quantidade de carros sucateados. Além a base de dados disponível foi atualizada até ano de 2003.

Outra fonte de dados sobre a produção de automóveis, mais recente, pode ser encontrada no Anuário da Indústria Automobilística Brasileira da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores – ANFAVEA, que relaciona a quantidade de veículos produzidos por categoria.

Por isso nenhuma das bases de dados citadas fornecem diretamente o valor da frota de veículos circulantes no País, sendo necessário estimá-las. Geralmente, opta-se por aplicar uma taxa de sucateamento sobre o valor acumulado da quantidade de carros produzidos por ano, de acordo com a idade dos veículos.

A curva de sucateamento tem por objetivo determinar o percentual de veículos que saem de circulação. Neste estudo a curva de sucateamento utilizada corresponde à definida pelo Serviço de Planejamento da Petrobras, descrita em estudo do Ministério da Ciência e Tecnologia (BRASIL, 2002).

### Curvas de sucateamento

A função de sucateamento, definida pelo Serviço de Planejamento da Petrobras, é função Gompertz, que utiliza a idade do veículo, e é expressa por:

$$s_t = e^{-e^{(a+bt)}}$$

$$x_t = \frac{1 - s_t}{1 - s_{t-1}} - 1$$

sendo:

$t$  é idade do veículo ( $t < 40$ );

$s_t$  = fração de veículos sucateados em função da idade  $i$ ;

$a$  e  $b$  = parâmetros de ajuste da função;

$x_t$  = taxa anual de sucateamento no período  $t$ .

Os parâmetros a e b definidos no estudo do MCT foram calibrados através da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios PNAD de 1998. No entanto, para fins deste estudo estes valores foram alterados conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Definição dos Parâmetros para Curva de sucateamento conforme tipo de veículo

Parâmetros	Automóveis (veículos leves)	Comerciais	Caminhões	Ônibus
a	1,688544	1,58386	1,7979	1,49253
b	-0,16226	-0,1591	-0,1416	-0,1805

Fonte: Produzido segundo estimativas deste estudo.

A utilização destes valores determina funções de Gompertz com diferentes formatos conforme o Gráfico 1.

Taxa de veículos não sucateados

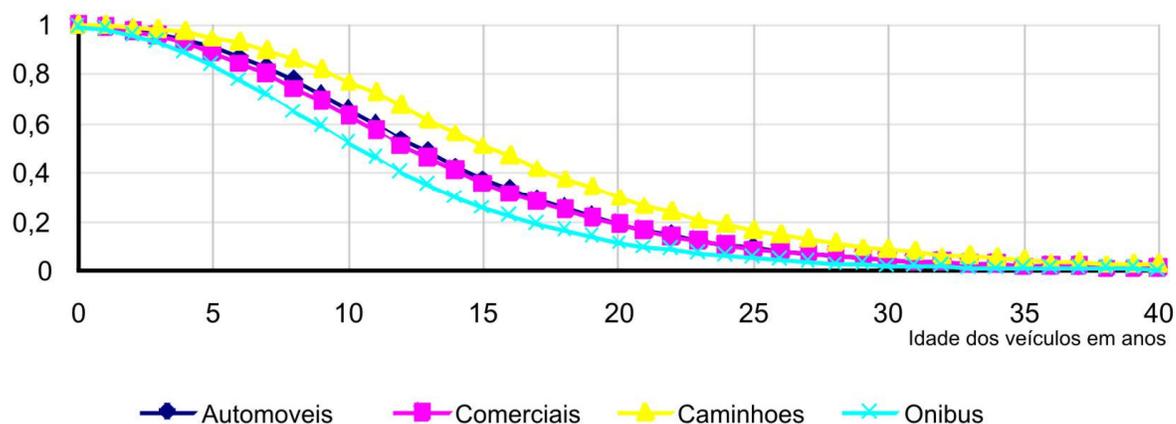


Gráfico 1 - Curvas de Sucateamento

Fonte: Produzido conforme descrito no texto.

Estas curvas foram utilizadas sobre a base de dados acumulada de produção de veículos novos da ANAFAVEA. Os resultados são demonstrados na Tabela 2, a partir do ano de 1970 até o ano de 2006. Na Tabela 2 as categorias de veículos foram somadas de acordo com o tipo de combustível usado.

Os dados foram também expandidos para além de 2006 até 2012 considerando uma taxa de crescimento anual da frota nacional em 3,5% e taxa de substituição de 40% dos veículos a gasolina e a álcool pelos veículos *flex*.

Tabela 2 - Estimativa da frota nacional de veículos

Ano	Gasolina	Álcool	Flex fuel	Diesel	Total
1970	2.200.953	0	0	190.544	2.391.498
1971	2.611.769	0	0	210.983	2.822.752
1972	3.104.118	0	0	239.166	3.343.285
1973	3.697.385	0	0	276.308	3.973.694
1974	4.418.115	0	0	320.112	4.738.227
1975	5.125.515	0	0	376.954	5.502.469
1976	5.843.991	0	0	450.509	6.294.500
1977	6.438.274	0	0	550.708	6.988.982
1978	7.151.437	0	0	637.947	7.789.384
1979	7.869.922	4.599	0	738.459	8.612.980
1980	8.322.873	257.404	0	849.189	9.429.467
1981	8.488.664	384.135	0	943.256	9.816.055
1982	8.533.312	617.202	0	1.082.581	10.233.096
1983	8.291.504	1.200.518	0	1.147.201	10.639.223
1984	8.005.904	1.744.308	0	1.216.306	10.966.518
1985	7.700.725	2.359.046	0	1.290.749	11.350.520
1986	7.388.648	3.015.927	0	1.376.819	11.781.394
1987	7.150.390	3.415.863	0	1.470.847	12.037.100
1988	6.942.435	3.901.209	0	1.561.469	12.405.113
1989	6.846.725	4.189.357	0	1.648.928	12.685.009
1990	7.001.166	4.134.930	0	1.700.839	12.836.935
1991	7.139.302	4.119.163	0	1.749.532	13.007.996
1992	7.359.241	4.118.026	0	1.791.020	13.268.288
1993	7.806.424	4.162.464	0	1.853.847	13.822.735
1994	8.548.739	4.063.615	0	1.931.981	14.544.335
1995	9.469.984	3.845.842	0	1.974.699	15.290.525
1996	10.602.941	3.583.734	0	1.999.907	16.186.582
1997	11.938.775	3.308.829	0	2.070.955	17.318.560
1998	12.756.179	3.032.888	0	2.146.242	17.935.309
1999	13.326.568	2.770.304	0	2.189.896	18.286.769
2000	14.146.305	2.514.203	0	2.270.983	18.931.491
2001	15.058.943	2.278.143	0	2.320.949	19.658.035
2002	15.876.726	2.093.279	0	2.343.320	20.313.325
2003	16.619.973	1.902.337	49.014	2.385.806	20.957.131
2004	17.423.304	1.744.000	379.581	2.493.748	22.040.632
2005	17.819.562	1.579.785	1.251.026	2.633.456	23.283.830
2006	17.801.530	1.404.860	2.626.589	2.723.584	24.556.563
2007	17.340.975	1.245.691	4.459.489	2.817.904	25.864.058
2008	16.601.880	1.101.528	6.586.067	2.916.510	27.205.984
2009	15.687.491	971.445	8.902.142	3.019.198	28.580.277
2010	14.666.231	854.454	11.338.402	3.126.020	29.985.108
2011	13.585.961	749.564	13.846.231	3.236.942	31.418.699
2012	12.481.560	655.822	16.389.807	3.351.949	32.879.137

Fonte: Produzido conforme descrito no texto.

## Referências

DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRANSITO - DENATRAN. **Evolução da frota de veículos, segundo as grandes regiões, unidades da federação e municípios das capitais: 1990 a 2003.** Disponível em: <<http://www.infoseg.gov.br/renaest>>. Acesso em: 2 mar. 2007.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES – ANFAVEA. **Anuário da indústria automobilística brasileira: 2006.** Disponível em: <[http://www.anfavea.com.br/anuario2006/Cap02\\_2006.pdf](http://www.anfavea.com.br/anuario2006/Cap02_2006.pdf)>. Acesso em: 5 mar. 2007.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT. **Primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa:** relatórios de referência, 2002. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br>>. Acesso em: 15 jan. 2007.

## **Apêndice G - Definição da variável utilizada na abordagem gravitacional como fator de impedância**

Através dos sistemas de informações geográficas é possível estimar custos de transporte ou outras variáveis que possam servir como fatores de atrito. No entanto, o cálculo dos custos de transporte para avaliar o relacionamento inter-setorial entre regiões não é trivial, pois dois aspectos essenciais devem ser considerados. O primeiro refere-se à heterogeneidade e a questão do modo transporte, sendo que e o segundo diz respeito a qual função e quais variáveis utilizar na determinação dos custos.

O problema da heterogeneidade das atividades nos setores produtivos ocorre se duas ou mais atividades produtivas utilizam meios diferentes de transportes e estão agrupadas no mesmo setor da matriz de insumo-produto. Por exemplo, o setor de refino de petróleo em uma determinada região consome recursos que dependem do transporte dutoviário (matéria prima - petróleo e/ou gás) e do transporte rodoviário (serviços, elementos químicos).

Quanto à função e suas variáveis, Ortúzar (2004) menciona que o custo pode ser considerado como distância, tempo ou valor monetário. Nos modelos de distribuição que usam a abordagem gravitacional, geralmente, procura-se determinar uma função de custo generalizada, na qual funções lineares são recomendadas, e podem incorporar uma variável denominada penalidade modal. Este parâmetro seria uma forma de se considerar todas as variáveis de difícil dimensionamento, respectivas aos tipos de transporte que as descrevem.

Para reduzir estes problemas, neste trabalho, opta-se por considerar apenas um tipo de transporte para a maioria dos setores produtivos - o transporte rodoviário, sendo que as atividades de extração de petróleo e gás, siderurgia e comunicações podem ser tratadas a parte.

Quanto à função de custo, sua medida é expressa pelo tempo, considerando a distância, a velocidade média, o tipo de pavimento e a diferença de altitude entre origem e destino, a fim de facilitar os procedimentos computacionais da programação.

As produções setoriais da extração e refino de petróleo e gás e também da siderurgia são bastante concentradas em poucos locais no Estado de São Paulo, por isso os relacionamentos destes setores podem ser tratados de maneira pontual. A produção do setor de comunicações não demanda por transportes e está concentrada em poucos centros urbanos. Quanto ao restante dos setores, a razão de se considerar o transporte rodoviário é explorada a seguir.

### **Avaliação da importância da malha rodoviária**

Muitos textos mencionam a importância da malha rodoviária para o sistema produtivo brasileiro, caracterizando-a como o principal meio de transporte que viabiliza as relações internas entre agentes econômicos. Sendo que esta afirmação também é válida para a economia paulista.

Para obter conclusões com alguma razão científica sobre este assunto, elaborou-se um procedimento para averiguar se a disposição da malha rodoviária aumenta o poder de predição sobre os fluxos econômicos, aplicado ao Estado de São Paulo. Para isso, utilizam-se os dados da Região de Influência das Cidades - REGIC (IPEA, 2002), sobre a hierarquia das cidades, e um sistema de informações geográficas aplicado aos transportes, com a ferramenta de determinação de zonas de influência. A Figura 1 ilustra como o procedimento é realizado.

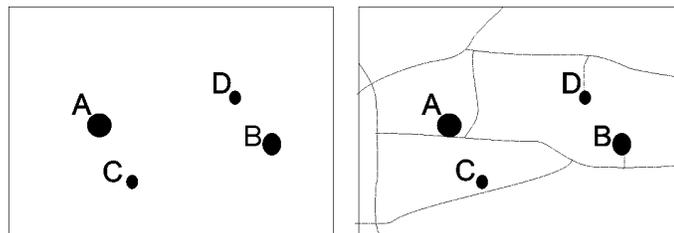


Figura 1 - Distribuição das cidades A, B, C e D sem e com malha rodoviária

Pela Figura 1, considera-se que as cidades A e B são mais desenvolvidas e as cidades C e D são pequenas e demandam por produtos de outras cidades. Conforme a Teoria da Área Central de Christaller e apenas observando a figura da esquerda, a cidade C dependerá de A e a cidade D do comércio de B. Entretanto, com a adição da informação da malha rodoviária, na figura da direita, o fluxo comercial de C estará relacionado com B e de D com A, mas isto ocorrerá se as rodovias tiverem influência sobre a decisão dos demandantes residentes em C e D.

Embora pareça óbvio o fluxo entre A e C por causa da estrada, se existir um outro meio de transporte mais eficiente, C pode continuar associada com A, independente das rodovias (exemplos: se C for uma cidade pobre do sertão nordestino, cujo transporte animal é mais utilizado do que o automotivo, se uma ferrovia passar por A e C, etc.).

Supondo que o pesquisador tem a informação real de que C associa-se com A e D com B, então não se prova totalmente, mas também não se pode descartar que as rodovias exercem grande influência nos fluxos comerciais da região, pois o poder de predição da figura com as rodovias é maior do que sem elas.

O mesmo teste é realizado com o Estado de São Paulo. Supondo que a REGIC seja a informação real sobre a dependência de cidades pequenas com os pólos regionais, utiliza-se:

- inicialmente, um padrão apenas com as distâncias em linha reta,
- depois acrescentando a malha rodoviária<sup>31</sup> e,
- por último, a malha rodoviária com informações sobre o tempo de percurso,

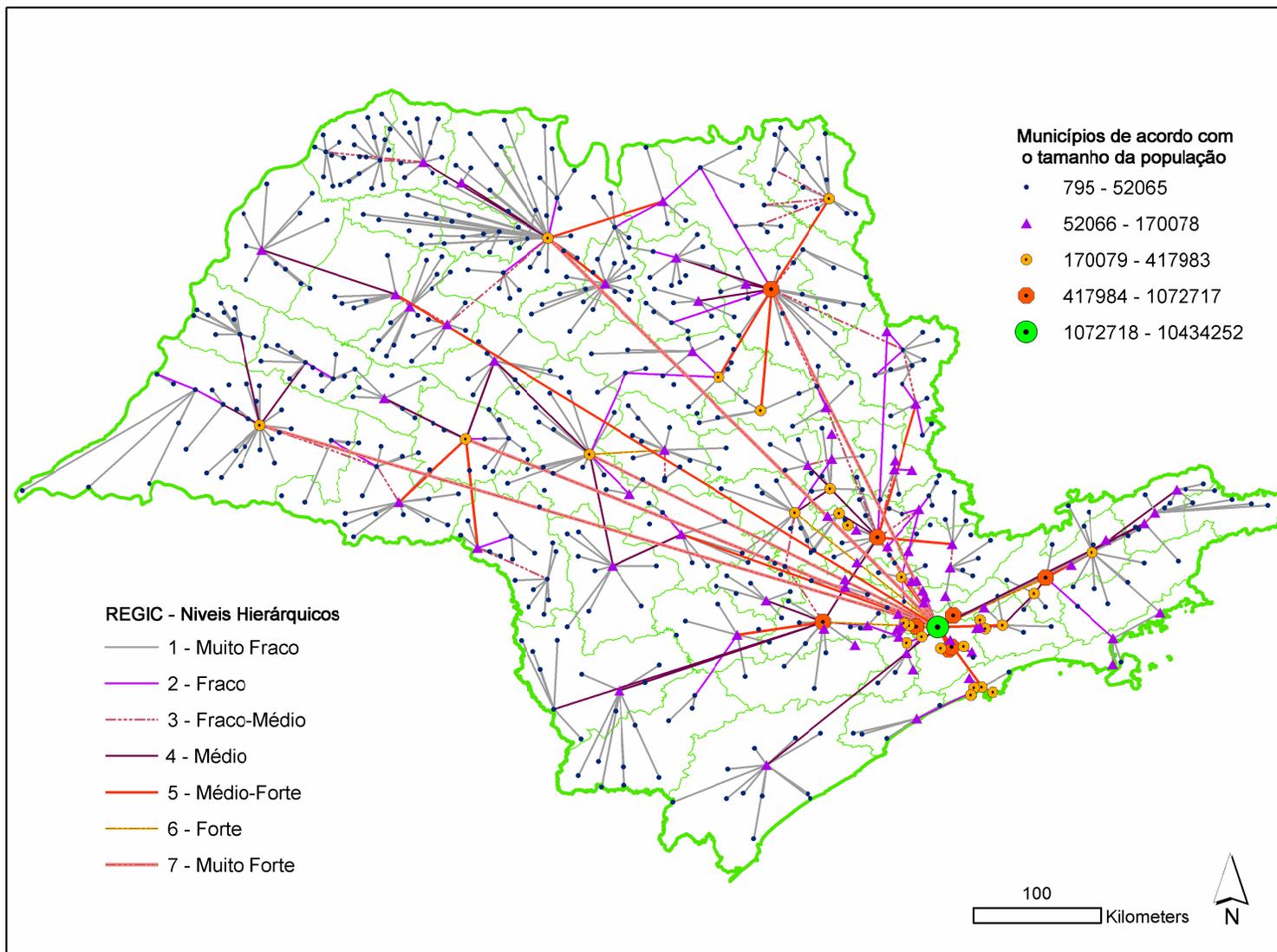
para avaliar qual dos padrões melhor se aproxima com o da REGIC.

Os mapas a seguir apresentam:

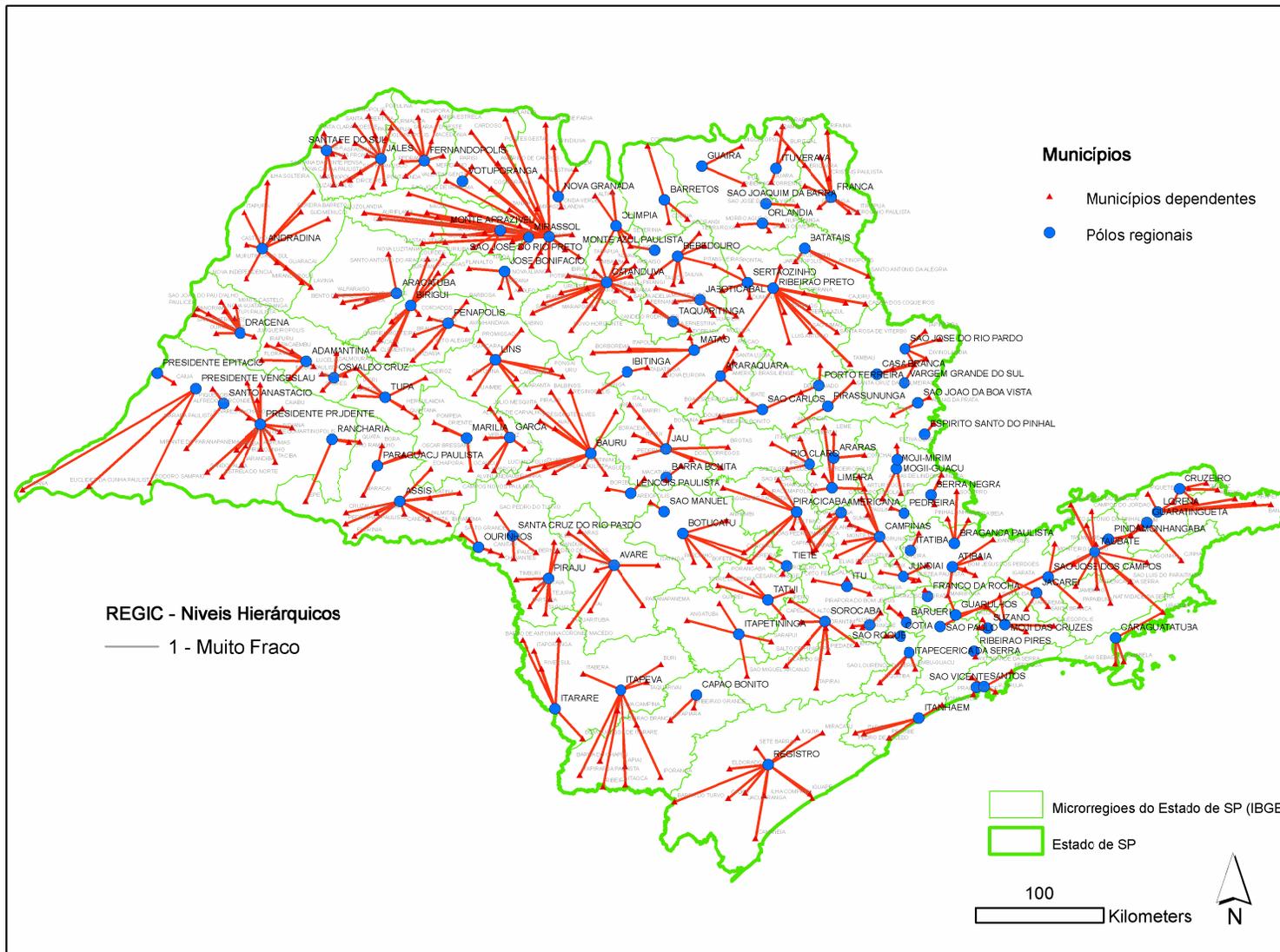
- 1 – todos os graus de hierarquia da REGIC, na qual uma cidade pequena depende de um pólo regional que, por sua vez, depende de outro pólo regional maior e, sucessivamente, até todos se concentrarem na cidade de São Paulo;
- 2 – o mesmo mapa anterior, mas apresentando apenas as hierarquias iniciais, com 149 municípios centais (pólos) e 496 municípios dependentes;
- 3 – os mesmos pólos e cidades do mapa 2, mas com os relacionamentos entre pólos e dependentes determinados através da minimização das distâncias rodoviárias;
- 4 – o mapa 2 sobreposto a outro contendo a mesma idéia do mapa 3, mas com a minimização do tempo de percurso rodoviário.

---

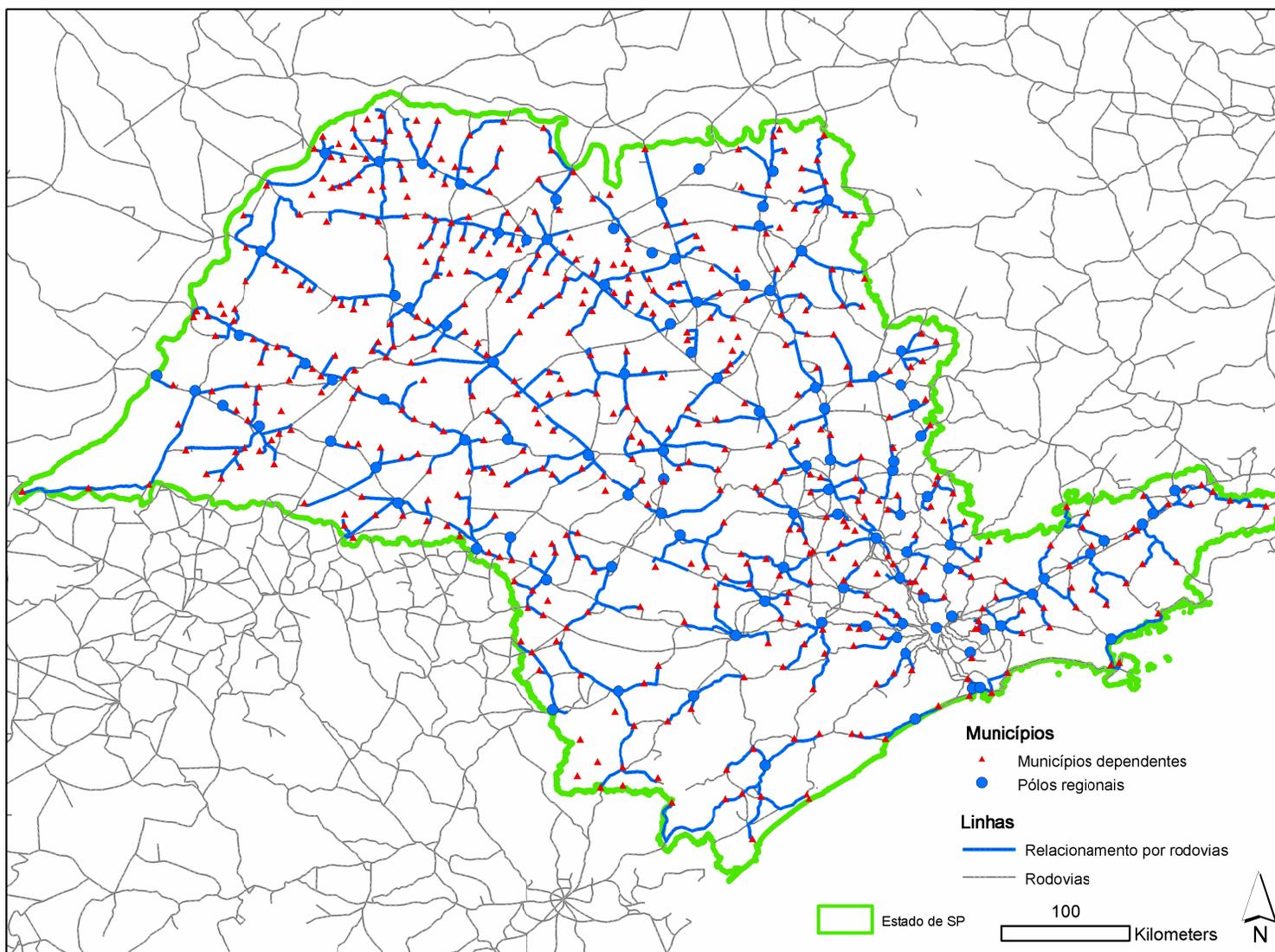
<sup>31</sup> Na malha rodoviária considera-se apenas as estradas pavimentadas. Sendo que algumas estradas mesmo pavimentadas, por serem trechos pequenos ou com pouca importância, também não são consideradas devido à sua inexistência na base de dados utilizada.



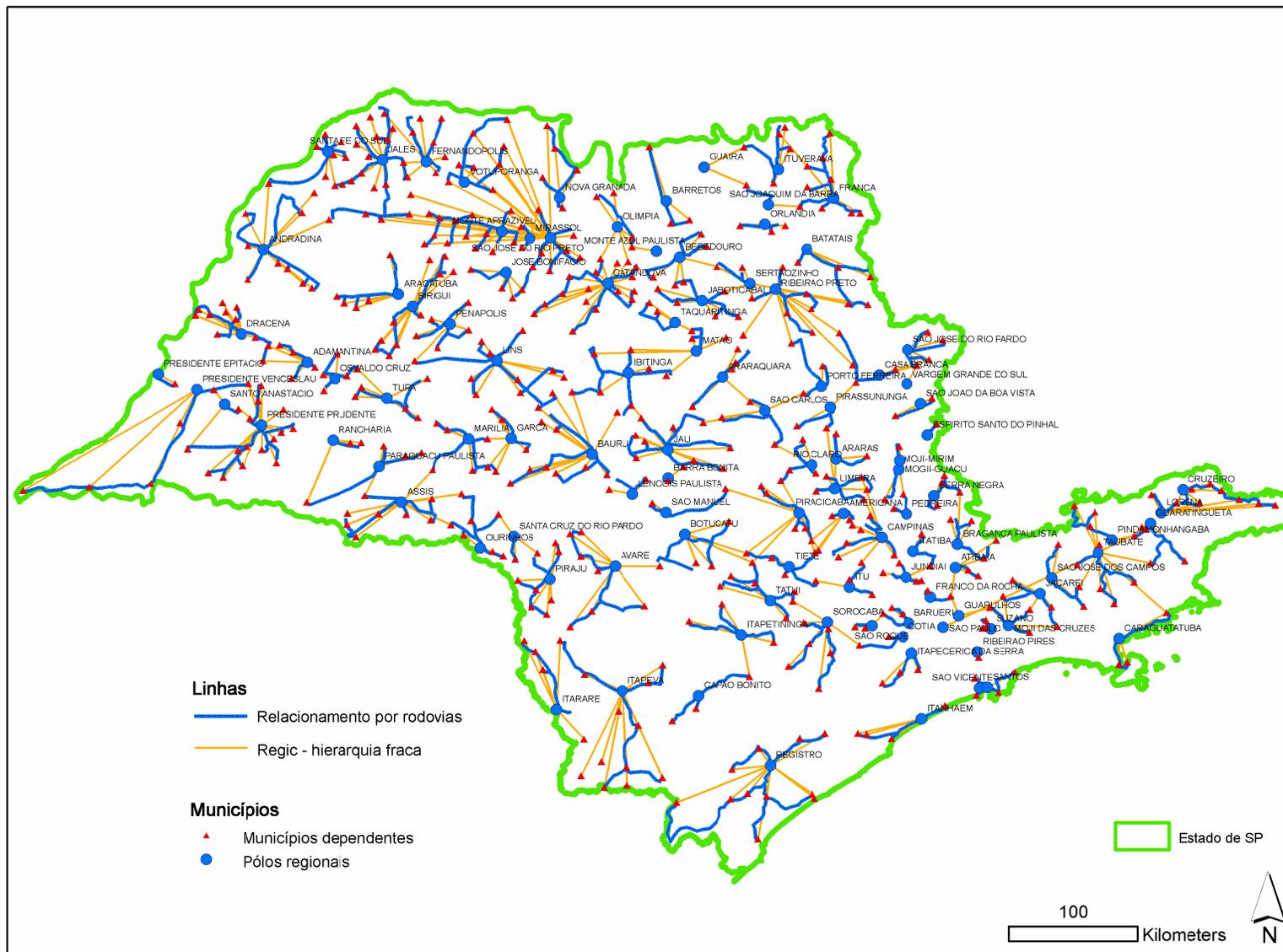
Mapa 1 – Todos os graus das hierarquias da REGIC



Mapa 2 – Primeiro grau das hierarquias da REGIC



Mapa 3 – Primeira ligação através da minimização da distância rodoviária



Mapa 4 – Sobreposição dos mapas 2 e 3

A Tabela 1 define o universo da análise. Embora a REGIC tenha 7 níveis hierárquicos, variando do muito fraco para o muito forte, apenas foram considerados os relacionamentos iniciais, ou seja, partindo-se de um município fraco ou muito fraco, com quem ele se liga primeiramente.

Tabela 1 - Dados da REGIC considerando as hierarquias fracas

Descrição	Municípios
Total de municípios	645
Total de municípios pólos	149
Total de municípios dependentes	496

Fonte: Produzido segundo estimativas deste estudo.

A Tabela 2 resume o resultado desta análise. Considerando o relacionamento de um município dependente com o município pólo mais próximo em linha reta, têm-se 71% de coincidências com a REGIC. Mas quando a distância retilínea é substituída pela rodoviária, o percentual de acertos aumenta para 76% e depois para 77%, quando informações sobre a qualidade das estradas e a velocidade média são acrescentados a fim de determinar o tempo de percurso.

Tabela 2 - Coincidências entre os relacionamentos da REGIC e dos preditos

Tipo de critério para relacionar os municípios (dependentes-polo)	Número de coincidências com a REGIC	Proporção de acerto
Relacionamento com a minimização da distância euclideana	353	0,71
Relacionamento com a minimização da distância rodoviária	378	0,76
Relacionamento com a minimização do tempo rodoviário	382	0,77

Fonte: Produzido segundo estimativas deste estudo.

Assim, se não existissem os dados da REGIC e fosse necessário “adivinhar” os relacionamentos entre cidades dependentes e cidades pólos, pelo menos 77% de acertos seriam obtidos se as informações sobre as rodovias fossem utilizadas.

Conforme mencionado, isto não prova e nem mede a importância do transporte rodoviário, mas indica que considerar as informações rodoviárias aumenta o poder de predição das estimativas.

### **Referências**

INSTITUTO DE PESQUISAS ECONÔMICAS - IPEA. **Caracterização e tendências da rede urbana do Brasil**. Brasília: IPEA, 2002. 390 p.

ORTÚZAR, J.D.; WILLUMSEN, L.G. **Modelling transport**. 3. ed. New York: Wiley, 2004. 499 p.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)