



**LUCAS GONÇALVES PEREIRA**

**"ANÁLISE MULTIESCALA MULTICRITÉRIO DO DESEMPENHO  
ENERGÉTICO-AMBIENTAL BRASILEIRO"**

**Campinas  
2012**





**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS**

**LUCAS GONÇALVES PEREIRA**

**"ANÁLISE MULTIESCALA MULTICRITÉRIO DO DESEMPENHO  
ENERGÉTICO-AMBIENTAL BRASILEIRO"**

Orientador: Prof. Dr. Enrique Ortega Rodriguez

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia de Alimentos da Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade  
Estadual de Campinas para obtenção do título de doutor em Engenharia de Alimentos.

**ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA TESE  
DEFENDIDA PELO ALUNO LUCAS GONÇALVES PEREIRA  
E ORIENTADA PELO PROF. DR. ENRIQUE ORTEGA RODRIGUEZ**

Assinatura do orientador

---

**Campinas  
2012**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA POR  
LUCIANA P. MILLA – CRB8/8129- BIBLIOTECA DA FACULDADE DE  
ENGENHARIA DE ALIMENTOS – UNICAMP

P414a Pereira, Lucas Gonçalves  
Análise multiescala multicritério do desempenho energético-ambiental brasileiro / Lucas Gonçalves Pereira. -- Campinas, SP: [s.n], 2012.

Orientador: Enrique Ortega Rodriguez.  
Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas.  
Faculdade de Engenharia de Alimentos.

1. Análise multicritério. 2. Indicadores ambientais. 3. Energia. 4. Energia. 5. Pegada ecológica. I. Ortega Rodriguez, Enrique. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em inglês: Multi-scale multi-criteria analysis of the Brazilian energetic environmental performance

Palavras-chave em inglês (Keywords):

Multi-criteria analysis

Environmental indicators

Emergy

Energy

Ecological footprint

Área de concentração: Engenharia de Alimentos

Titulação: Doutor em Engenharia de Alimentos

Banca examinadora:

Enrique Ortega Rodriguez [Orientador]

Ademar Ribeiro Romeiro

Feni Dalano Roosevelt Agostinho

Maria Amelia Rodrigues da Silva Enriquez

Mario Vito Comar

Data da defesa: 24/08/2012

Programa de Pós Graduação: Engenharia de Alimentos

**BANCA EXAMINADORA**

---

**Dr. ENRIQUE ORTEGA RODRIGUEZ**  
TITULAR

---

**Dr. ADEMAR RIBEIRO ROMEIRO**  
TITULAR

---

**Dr. FENI DALANO ROOSEVELT AGOSTINHO**  
TITULAR

---

**Dra. MARIA AMELIA RODRIGUES DA SILVA ENRIQUEZ**  
TITULAR

---

**Dr. MARIO VITO COMAR**  
TITULAR

---

**Dra. EMILIA WANDA RUTKOWSKI**  
SUPLENTE

---

**Dra. LUCIANA TOGEIRO DE ALMEIDA**  
SUPLENTE

---

**Dr. MIGUEL JUAN BACIC**  
SUPLENTE



*Aos meus pais, Eloisa e Flavio (in memoriam)...*



## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA .....	1
2. OBJETIVOS.....	5
2.1. Objetivos Específicos .....	5
3. HIPÓTESE .....	7
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	9
4.1. Indicadores de Sustentabilidade.....	9
4.2. Análise Multicritério.....	12
4.2.1. Avaliação Emergética .....	14
4.2.2. Mochila Ecológica .....	15
4.2.3. Análise de Energia Incorporada .....	16
4.2.4. Inventário de Emissões .....	18
4.2.5. Pegada Ecológica .....	19
4.3. Análise de Sensibilidade .....	20
5. METODOLOGIA.....	23
5.1. Definição do escopo e fronteiras do sistema.....	23
5.1.1. Brasil.....	23
5.1.2. Estado de São Paulo.....	24
5.1.3. Município de Campinas .....	25
5.2. Inventário .....	27
5.3. Análise metodológica .....	27
5.3.1. Avaliação Emergética .....	29
5.3.2. Mochila Ecológica .....	33
5.3.3. Análise de Energia Incorporada .....	34
5.3.4. Inventário de Emissões .....	35
5.3.5. Pegada Ecológica .....	36
5.4. Interpretação dos resultados.....	38
5.4.1. Análise de sensibilidade.....	39
5.4.2. Normalização dos indicadores .....	39
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
6.1. Avaliação Emergética .....	41
6.1.1. Brasil.....	41
6.1.1.1. Análise de série histórica.....	44
6.1.1.2. Comparação entre Brasil e Itália .....	48
6.1.1.3. A questão dos serviços humanos e uma proposta de um cálculo alternativo .....	59
6.1.1.4. Análise crítica da metodologia emergética.....	76
6.1.2. Estado de São Paulo.....	79
6.1.3. Município de Campinas .....	83
6.2. Mochila Ecológica .....	88
6.2.1. Brasil.....	88
6.2.2. Estado de São Paulo.....	89
6.2.3. Município de Campinas .....	91
6.3. Análise da Energia Incorporada e Inventário de Emissões Indiretas .....	92
6.3.1. Brasil.....	92
6.3.2. Estado de São Paulo.....	94
6.3.3. Município de Campinas .....	95
6.4. Pegada ecológica.....	96
6.4.1. Brasil.....	96
6.4.2. Estado de São Paulo.....	99
6.4.3. Município de Campinas .....	101
6.5. Análise comparada dos resultados obtidos pela seleção de metodologias .....	102
6.6. Análise de Sensibilidade .....	106
7. CONCLUSÕES .....	115
8. REFERÊNCIAS .....	119
9. APÊNDICE .....	127
9.1. Memorial de cálculo do Brasil.....	127

9.1.1. Avaliação Emergética .....	127
9.1.2. Mochila Ecológica .....	141
9.1.3. Análise de Energia Incorporada .....	143
9.1.4. Inventário de Emissões .....	146
9.1.5. Pegada Ecológica .....	148
9.2. Memorial de cálculo para o estado de São Paulo.....	148
9.2.1. Avaliação Emergética .....	148
9.2.2. Mochila Ecológica .....	153
9.2.3. Análise de Energia Incorporada .....	154
9.2.4. Inventário de Emissões .....	157
9.2.5. Pegada Ecológica .....	158
9.3. Memorial de cálculo para o município de Campinas.....	159
9.3.1. Avaliação Emergética .....	159
9.3.2. Mochila Ecológica .....	162
9.3.3. Análise de Energia Incorporada .....	163
9.3.4. Inventário de Emissões .....	165
9.3.5. Pegada Ecológica .....	166

## INDICE DE TABELAS

Tabela 1. Fatores de intensidade de materiais. ....	34
Tabela 2. Fatores de intensidade de energia. ....	35
Tabela 3. Potencial de degradação por tipo de emissão gasosa. ....	36
Tabela 4. Fatores de equivalência.....	38
Tabela 5. Avaliação Emergética do Brasil para o ano de 2008. ....	43
Tabela 6. Fluxos do Brasil para os anos de 1981, 1989, 1996, 2000 e 2008. ....	45
Tabela 7. Fluxos de energia do Brasil calculados para os anos de 1981, 1989, 1996, 2000 e 2008. ....	46
Tabela 8. Indicadores demográficos, econômicos e emergéticos para o Brasil nos anos de 1981, 1989, 1996, 2000 e 2008. ....	47
Tabela 9. Indicadores demográficos, econômicos e emergéticos para a Itália nos anos de 1984, 1989, 1991, 1995, 2000, 2002 e 2008. ....	49
Tabela 10. Produtos selecionados do comércio entre Brasil e Itália em 2008. ....	58
Tabela 11. Fluxos de energia relacionados aos valores intrínsecos e monetários de produtos selecionados....	63
Tabela 12. Fontes renováveis e não renováveis locais do Brasil para o ano de 2008. ....	65
Tabela 13. Fórmulas de cálculo para cada cenário. ....	65
Tabela 14. Avaliação emergética de importados, exportados e turismo. ....	66
Tabela 15. Avaliação emergética do Brasil para o ano de 2008, categorizando produtos importados e exportados em básicos, semimanufaturados e manufaturados.....	67
Tabela 16. Fluxos no Balanço Nacional de Pagamentos (2008).....	68
Tabela 17. Valores da dívida externa brasileira (1981-2000). ....	69
Tabela 18. Indicadores de energia calculados para cada cenário.....	71
Tabela 19. Dados demográficos, econômicos e geográficos do estado de São Paulo em 2008.....	79
Tabela 20. Avaliação Emergética do estado de São Paulo para o ano de 2008. ....	80
Tabela 21. Indicadores emergéticos do estado de São Paulo para o ano de 2008. ....	81
Tabela 22. Dados demográficos, econômicos e geográficos do município de Campinas em 2008. ....	83
Tabela 23. Avaliação Emergética do município de Campinas para o ano de 2008. ....	84
Tabela 24. Indicadores emergéticos do município de Campinas para o ano de 2008.....	85
Tabela 25. Comparação entre indicadores emergéticos para diferentes cidades. ....	87
Tabela 26. Mochila Ecológica para os principais produtos do Brasil em 2008. ....	89
Tabela 27. Mochila Ecológica para os principais produtos do estado de São Paulo em 2008.....	91
Tabela 28. Mochila Ecológica para os principais produtos do município de Campinas em 2008.....	92
Tabela 29. Requerimento energético bruto e emissões indiretas dos principais produtos do Brasil em 2008. ....	93
Tabela 30. Retorno de energia sobre investimento energético em 2008. ....	94
Tabela 31. Requerimento energético bruto e emissões indiretas dos principais produtos do estado de São Paulo em 2008. ....	95
Tabela 32. Requerimento energético bruto e emissões indiretas dos principais produtos do município de Campinas em 2008. ....	96
Tabela 33. Biocapacidade do Brasil em 2008.....	97
Tabela 34. Pegada Ecológica do Brasil em 2008.....	98
Tabela 35. Biocapacidade do estado de São Paulo em 2008. ....	100
Tabela 36. Pegada Ecológica do estado de São Paulo em 2008. ....	101
Tabela 37. Biocapacidade do município de Campinas em 2008. ....	101
Tabela 38. Pegada ecológica do município de Campinas em 2008. ....	102
Tabela 39. Indicadores para o ano de 2008 selecionados para a análise comparada. ....	105
Tabela 40. Variações aplicadas e resultantes nos diversos fatores avaliados na Análise de Sensibilidade. ....	108



## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapas do Brasil, do estado de São Paulo e da Região Metropolitana (RM) de Campinas com destaque para o município de Campinas. ....	26
Figura 2. Diagrama explicativo da coleta e estimativa de dados para os casos analisados.....	28
Figura 3. Diagrama simplificado de fluxos de energia para cálculo dos indicadores emergéticos.....	29
Figura 4. (4a) Diagrama sistêmico genérico de um país (BROWN; ULGIATI, 2004; ODUM, 1996).....	41
Figura 5. Gráfico da variação dos indicadores demográficos, econômicos e emergéticos para a série histórica do Brasil (1981-2008).....	48
Figura 6. Gráfico da variação dos indicadores demográficos, econômicos e emergéticos para a série histórica da Itália (1981-2008). ....	50
Figura 7. Crescimento da população do Brasil e da Itália (1984-2008).....	51
Figura 8. PIB PPP do Brasil e da Itália (1984-2008).....	52
Figura 9. PIB PPP <i>per capita</i> do Brasil e da Itália (1984-2008).....	52
Figura 10. Razão energia por dinheiro (EMR) e PIB PPP para Brasil e Itália. ....	52
Figura 11. Energia usada total no Brasil e na Itália. ....	53
Figura 12. Energia usada per capita no Brasil e na Itália. ....	54
Figura 13. Densidade emergética no Brasil e na Itália. ....	54
Figura 14. Fluxos de energia no Brasil e na Itália. ....	55
Figura 15. Indicadores emergéticos do Brasil e da Itália. ....	56
Figura 16. Taxa de intercâmbio emergético para Brasil e Itália. ....	57
Figura 17. Importados, exportados e fluxos monetários através das fronteiras de um sistema nacional. ....	62
Figura 18. Diagrama sistêmico do Brasil com os valores obtidos pela metodologia convencional. ....	73
Figura 19. Diagrama sistêmico do Brasil com os valores obtidos pela metodologia proposta no item 6.1.1.3. 74	
Figure 20. Diagrama comparativo do método convencional e modificado. ....	75
Figura 21. Diagrama sistêmico sugerido. ....	78
Figura 22. Diagrama sistêmico do estado de São Paulo. ....	82
Figura 23. Diagrama sistêmico do município de Campinas. ....	86
Figura 24. Crescimento populacional em Campinas (1970 - 2007). ....	86
Figura 25. Diagrama em radar comparando o Brasil, o estado de São Paulo e o município de Campinas quanto aos indicadores selecionados. ....	105
Figura 26. Variação da precipitação média em terra e sua influência nos indicadores emergéticos. ....	110
Figura 27. Variação do UEV do petróleo e sua influência nos indicadores emergéticos. ....	110
Figura 28. Variação do MIF de ligas de ferro e sua influência nas demandas indiretas de água e de materiais abióticos. ....	111
Figura 29. Variação do FIE do petróleo e sua influência no Requerimento Bruto de Energia e no Potencial de Aquecimento Global (GWP 100 anos). ....	111
Figura 30. Variação da taxa de sequestro de CO <sub>2</sub> e sua influência nos indicadores da Pegada Ecológica. ....	112
Figura 31. Variação do EQF de floresta e sua influência nos indicadores da Pegada Ecológica. ....	112



## RESUMO

Tendências de crescimento econômico têm sido observadas tanto para o mundo como para o Brasil. No entanto, para se analisar o desempenho de um sistema, é fundamental contabilizar todos os fluxos de energia e material, o uso e a ocupação da terra, a taxa de uso de recursos renováveis e não renováveis, o bem estar social, e não só parâmetros econômicos. O presente estudo segue a visão segundo a qual, o uso de uma seleção de metodologias de avaliação do desempenho energético-ambiental apresenta resultados robustos, uma vez que os diferentes indicadores obtidos funcionam de maneira complementar. Foram aplicados os métodos de Avaliação Emergética, Análise de Energia Incorporada, Mochila Ecológica, Inventário de Emissões Indiretas, e Pegada Ecológica para o caso do Brasil em 2008, além do estado de São Paulo e do município de Campinas, em razão da importância para a economia nacional. Uma discussão acerca da relevância dos métodos selecionados foi feita e concluiu-se que a metodologia emergética é a mais robusta por lidar também com os aspectos econômicos e contabilizar as contribuições da natureza para os sistemas avaliados, porém é a que apresenta mais inconsistências devido à falta de padronização dos cálculos e de fatores de conversão confiáveis. A aplicação da metodologia à série história do Brasil demonstrou que o desempenho ambiental vem piorando de 1981 a 2008: a Renovabilidade caiu de 82 % para 45 %, a ELR subiu de 0,21 para 1,12, o ESI passou de 74,17 para 5,70 e a fração importada de energia subiu de 6 % para 16 %. Por outro lado, no mesmo período, o PIB *per capita* aumentou de US\$ 3.760 para US\$ 9.355. Em 2008, verificou-se que o PIB *per capita* foi maior para Campinas com US\$ 14.217, seguido por São Paulo com US\$ 13.587. O estado e o município apresentaram alta dependência de recursos externos (91 % e 99 %) e baixa capacidade de suporte (0,08 e 0,04). Campinas apresentou valores *per capita* inferiores à média brasileira para materiais abióticos e para o Potencial de Aquecimento Global (GWP), e valores próximos em termos da demanda de água. O estado de São Paulo, por sua vez, apresentou valores muito superiores para esses indicadores se comparados aos outros dois casos. No entanto, o estado tem a maior participação na economia nacional com mais de 30 % do PIB do Brasil e é responsável por exportar grandes quantidades de produtos e energia para os outros estados. A riqueza econômica de Campinas não está associada a aspectos produtivos e de energia, e sim a uma economia baseada em serviços (polo de ensino e alta tecnologia), que ainda não são devidamente contabilizados pelas metodologias aplicadas. De uma maneira geral, foi possível perceber que os indicadores econômicos e os ambientais caminham em direções opostas, ou seja, o crescimento econômico está associado a um aumento do consumo e da demanda por materiais e energia, e conseqüente dependência por recursos não renováveis externos. Nesse sentido, o modelo de crescimento econômico acelerado proposto pelo governo federal deveria ser revisto tendo como ponto de partida um desenvolvimento baseado em menor consumo, maior preservação e recuperação das áreas florestais naturais, menor dependência de recursos estrangeiros e maior valorização dos produtos e dos recursos locais.

Palavras-chave: Análise multicritério, Indicadores ambientais, Energia, Emergia, Pegada Ecológica.



## ABSTRACT

Economic growth tendencies have been observed for the world as well as for Brazil. However, in order to assess the performance of a system, it is important to account for all the energy and material flows, the use and the occupation of land, the use of renewable and nonrenewable resources, the social wellbeing, and not only economic parameters. This study follows the view according to which, the use of a selection of methodologies to evaluate the energetic environmental performance presents robust results, once the various indicators work in a complementary way. The following methods were applied: Emergy Evaluation, Embodied Energy Analysis, Ecological Rucksack, Indirect Emissions Inventory and Ecological Footprint to the case of Brazil in 2008, besides the state of Sao Paulo and the municipality of Campinas, due to their importance to the national economy. The relevancy of the selected methods was discussed and conclusion is that the emergy methodology is the most robust one for dealing with economic aspects as well as accounting for the contributions from nature to the systems. However it is the most inconsistent method due the lack of standardized calculations and trustful conversion factors. The evaluation applied to a historical series have shown that the environmental performance have been worsening from 1981 to 2008: Renewability has dropped from 82 % to 45 %, ELR increased from 0.21 to 1.12, ESI decreased from 74.17 to 5.70 and the emergy imported fraction rose from 6 % to 16 %. On the other hand, in the same period, the GDP *per capita* increased from US\$ 3,760 to US\$ 9,355. In 2008, the GDP *per capita* for Campinas was the highest with US\$ 14,217 followed by Sao Paulo with US\$ 13,587. The state of Sao Paulo and the municipality of Campinas presented high dependency on imported resources (91 % and 99 %) and low carrying capacity (0.08 and 0.04). However, Campinas has presented lower values that the national average for abiotic materials and GWP, and close values in terms of water demand. The state of Sao Paulo has the highest share of the national economy with over 30 % of the Brazilian GDP and it is responsible for large amounts of exported products and energy to other states. The economic wealth of Campinas is not associated with productive or energetic aspects, but with an economy based on services (center of learning and development of new technologies), which are not yet accounted by the applied methodologies. Generally, it is possible to observe that economic and environmental indicators tend to evolve in opposite directions, in other words, the economic growth is associated with an increase on the consumption and on the demand of materials and energy, and consequent dependency on nonrenewable imported resources. In this sense, the accelerated economic growth model proposed by the current Brazilian federal government should be reviewed having as basis the development based on low consumption, increased preservation and recuperation of natural forest areas, lower dependency on foreign resources and higher appreciation for local products and resources.

Keywords: Multi-criteria analysis, Environmental indicators, Emergy, Energy, Ecological Footprint.



## 1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Na década de 70, Meadows et al. (1972) afirmaram que caso as tendências de crescimento da população mundial, industrialização, poluição, produção de alimentos e esgotamento de recursos daquele momento fossem mantidas, os limites para o crescimento do planeta seriam alcançados dentro dos cem anos seguintes. O resultado mais provável nesse caso seria um súbito e incontrolável declínio da população e da capacidade industrial. Ainda segundo os mesmos autores, seria possível alterar esses padrões de crescimento e estabelecer uma condição ecológica e econômica que fosse sustentável para o futuro. O estado de equilíbrio global deveria ser construído de forma que as necessidades materiais básicas de cada pessoa fossem satisfeitas.

No entanto, as tendências de crescimento verificadas nos dias atuais foram mantidas ou até mesmo aumentadas em relação àquelas previstas por Meadows et al. (1972). A população mundial subiu de 3,8 bilhões em 1972 para 7 bilhões de pessoas em 2010 segundo a ONU (2010). O consumo mundial total de energia cresceu de 7 bilhões de toneladas de petróleo equivalente em 1985 para mais de 11 bilhões em 2009, e segundo projeções, deve crescer 53 % até 2035 (EIA, 2012). Em 2009 o consumo global de energia era dividido em: 39 % de petróleo, 25 % de carvão, 23 % de gás natural, 6 % de energia nuclear, 4 % de biomassa, 3 % de hidroeletricidade e apenas 1 % de fontes naturais renováveis (energia eólica, solar, de marés e das ondas) (EIA, 2012). À época da afirmação de Meadows et al. (1972), o Produto Mundial Bruto era de US\$ 20 trilhões, e em 2010 atingiu o valor de US\$ 70 trilhões (CIA, 2010).

No Brasil, essas tendências de crescimento econômico e de padrões de consumo também são demonstradas. A população do País em 1960 era de 73 milhões de pessoas, e segundo projeções, atingiu mais de 190 milhões em 2010 (CIA, 2008; IBGE, 2008). O Produto Interno Bruto, que era de US\$ 35 bilhões em 1970, chegou a mais de US\$ 2 trilhões em 2010 (FMI, 2010). O consumo nacional de energia subiu de 62 milhões de toneladas de petróleo equivalente em 1970 para 241 milhões de toneladas em 2010 (MME, 2010), um crescimento de cerca de 400 %. Acompanhando o crescimento econômico brasileiro, as emissões de CO<sub>2</sub> apresentaram a mesma tendência de aumento, de 19,7 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> em 1960 para 393,3 milhões em 2008 (UNSD, 2008).

Analisando os dados apresentados para o Brasil e para o mundo, sob a ótica neoclássica de desenvolvimento baseado no crescimento econômico, pode-se chegar à conclusão de que o

País apresenta um ótimo "desempenho". No entanto, apesar de todos os avanços tecnológicos e todas as tendências de crescimento econômico e de consumo de energia apresentados, segundo Rees (1992), a humanidade permanece em estado de dependência da produtividade e dos serviços da biosfera. Do ponto de vista ecológico, terra adequada e capital natural produtivo são fundamentais para a continuação da civilização no planeta.

Para se analisar o desempenho global de um sistema, é fundamental desenvolver um modelo que leve em conta os fluxos de energia e de material, o uso e a ocupação da terra, a taxa de uso de recursos renováveis e não renováveis, o bem estar social, e não somente parâmetros econômicos. Segundo Costanza (1999), é necessário estabelecer critérios, indicadores ou medidas para a aplicação do conceito de desenvolvimento sustentável. As decisões humanas seriam baseadas, na maioria das vezes, na perda e no ganho de valores. Em geral, o desempenho econômico é o aspecto que tomadores de decisão consideram de maior interesse, devido ao paradigma de que desenvolvimento significa crescimento econômico. No entanto, uma avaliação completa da sustentabilidade não pode ignorar o uso de recursos naturais e os aspectos ambientais.

Indicadores de impacto das atividades humanas sobre o meio ambiente são importantes não somente como ferramenta didática, mas também como base para tomada de decisões por parte de instituições públicas e privadas. Os resultados podem ser utilizados como guia na busca por mudanças nos padrões de vida da população (COSTANZA, 1999).

Apesar do reconhecimento da importância do estudo dos ecossistemas e dos impactos causados pelas atividades humanas sobre o mesmo, ainda não existe um consenso na comunidade científica mundial acerca de um método único de avaliação do desempenho ambiental (PEREIRA; ORTEGA, 2012). Deve ser ressaltado que, em nenhuma circunstância, um único método será suficiente para fornecer informação abrangente sobre impacto ambiental e que Avaliações de Ciclo de Vida<sup>1</sup> baseadas em critérios únicos invariavelmente acabam fornecendo indicadores parciais ou até mesmo contraditórios (ULGIATI; BARGIGLI; RAUGEI, 2006).

O presente estudo pretende seguir a visão proposta por Ulgiati, Raugei e Bargigli (2006), segundo a qual, o uso de uma seleção de metodologias de avaliação do desempenho

---

<sup>1</sup>A Avaliação do Ciclo de Vida é uma técnica para identificação dos aspectos ambientais e dos impactos potenciais associados a um produto, compreendendo as etapas que vão desde a retirada da natureza das matérias-primas elementares que entram no sistema produtivo até a disposição do produto final (ISO 14040, 2006).

ambiental de sistemas apresenta resultados mais robustos se comparados a estudos que utilizam apenas um critério ou método, uma vez que os diferentes indicadores obtidos podem funcionar de maneira complementar.

A avaliação ambiental dentro do escopo da abordagem multicritério aplicada ao caso do Brasil mostrará que o país caminha no sentido de um desenvolvimento sustentável, em face do crescimento demonstrado pelos indicadores econômicos e de consumo de energia? A combinação de diferentes métodos possibilitará extrair informações mais robustas e consistentes a fim de nortear políticas ambientais?

Um dos grandes desafios ao se avaliar o desempenho energético-ambiental do Brasil é lidar com um país de dimensões continentais e imensa variedade de características climáticas, culturais e econômicas. Devido a essas características e dentro do contexto apresentado anteriormente, será realizada também uma avaliação ambiental em escala subnacional. Além do Brasil, o estado de São Paulo e o município de Campinas foram selecionados como estudos de caso; o primeiro por ser o estado economicamente mais forte do país (34 % do PIB nacional em 2008 (SEADE, 2011)), além de concentrar grande parte da população (23 % da população do Brasil (SEADE, 2011)) e dos agronegócios (maior produtor nacional de etanol com cerca de 60 % e de açúcar com 64 % do total na safra 2008/2009 (UNICA, 2011)) no país; o segundo também pela sua força econômica (2,71 % do PIB do estado de São Paulo (SEADE, 2011)), por ser um polo de ensino de qualidade e de pesquisa em alta tecnologia, e por apresentar características distintas, como uma população predominantemente urbana, poucas áreas naturais preservadas e produção de alimentos, energia e materiais praticamente desprezíveis.

Dentro do escopo da abordagem multicritério, foram selecionadas metodologias cujos resultados podem funcionar de forma complementar. A primeira delas é a Avaliação Emergética (ODUM, 1996), cujo método é baseado no ponto de vista da biosfera, pois contabiliza as contribuições da natureza por meio dos recursos naturais que usualmente são considerados "gratuitos" pelas análises econômicas convencionais. Outra metodologia a ser incorporada é a da Mochila Ecológica (SCHMIDT-BLEEK, 1993), que foca nos fluxos indiretos de materiais utilizados pelos processos produtivos e tem como objetivo avaliar o distúrbio ambiental associado com a retirada de matéria-prima do ecossistema natural. Além disso, pretende-se incluir na abordagem proposta a Análise de Energia Incorporada

(SLESSER, 1974; HERENDEEN, 1998), que considera a quantidade de energia comercial requerida diretamente e indiretamente pelo processo que produz um bem ou serviço, portanto, o foco do método é a depleção de combustíveis fósseis. Por meio desse método, é possível estimar as emissões gasosas indiretas referentes à demanda de energia comercial usada nos processos, agrupando-as em categorias de impacto ambiental. Pretende-se também utilizar a Pegada Ecológica (WACKERNAGEL; REES, 1996), por ser uma metodologia que fornece um indicador de fácil entendimento ao público em geral, apresentado em termos unidade de área, e que vem de encontro com a necessidade de se avaliar a disponibilidade de espaço como um dos fatores limitantes do desenvolvimento sustentável.

## **2. OBJETIVOS**

O objetivo do presente trabalho é realizar uma análise multicritério do desempenho energético-ambiental do Brasil aplicada a três diferentes escalas.

### **2.1. Objetivos Específicos**

- (i) Aplicar a Síntese Emergética para o Brasil no ano de 2008;
- (ii) Atualizar as Avaliações Emergéticas do Brasil para os anos de 1981 (ODUM, 1986), 1989 (COMAR, 1998), 1996 (COELHO; ORTEGA; COMAR, 2003) e 2000 (SWEENEY et al., 2007);
- (iii) Comparar os resultados obtidos para os diversos anos com as tendências apresentadas pelos estudos de caso da Itália publicados por Cialani, Russi e Ulgiati (2005) e Lomas, Cialani, e Ulgiati (2007);
- (iv) Aplicar as seguintes metodologias ao caso do Brasil para o ano de 2008: Mochila Ecológica, Análise da Energia Incorporada, Inventário de Emissões Indiretas e Pegada Ecológica;
- (v) Aplicar as mesmas metodologias, além da Avaliação Emergética, aos estudos de caso do estado de São Paulo e do município de Campinas com dados do ano de 2008;
- (vi) Apesar do foco do trabalho ser avaliar os aspectos energéticos e ambientais (uso de recursos naturais, materiais e energia, e geração e absorção de resíduos), dentro da discussão e apresentação dos resultados, alguns parâmetros e indicadores econômicos que auxiliem no entendimento do contexto serão utilizados de forma complementar.



### **3. HIPÓTESE**

A aplicação de uma abordagem multicritério de avaliação ambiental para os estudos de caso do Brasil, do estado de São Paulo e do município de Campinas demonstrará que crescimento econômico e desenvolvimento sustentável caminham em sentidos opostos. Além disso, o uso de várias metodologias de avaliação do desempenho energético-ambiental permitirá uma visão ampla dos impactos gerados pelas atividades antrópicas, o que possibilitará extrair informações mais robustas e consistentes a fim de nortear políticas ambientais.



## 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1. Indicadores de Sustentabilidade

Oficialmente, o conceito de sustentabilidade foi introduzido no encontro internacional *The World Conservation Strategy* (IUCN; UNEP; WWF, 1980). Segundo Siche et al. (2007), a partir desta data, o conceito passou a ser empregado com maior frequência, assumindo dimensões econômicas, sociais e ambientais, na busca por embasar uma nova forma de desenvolvimento.

A ideia de desenvolver indicadores para avaliar a sustentabilidade surgiu na Conferência Mundial sobre o Meio Ambiente - Rio 92, conforme registrado no capítulo 40 da Agenda 21:

"Os indicadores comumente utilizados, como o produto nacional bruto (PNB) ou as medições das correntes individuais de contaminação ou de recursos, não dão indicações precisas de sustentabilidade. Os métodos de avaliação da interação entre diversos parâmetros setoriais do meio ambiente e o desenvolvimento são imperfeitos ou se aplicam deficientemente. É preciso elaborar indicadores de desenvolvimento sustentável que sirvam de base sólida para adotar decisões em todos os níveis, e que contribuam a uma sustentabilidade autorregulada dos sistemas integrados do meio ambiente e o desenvolvimento." (ONU, 1992).

A proposta era definir padrões sustentáveis de desenvolvimento que considerassem aspectos ambientais, econômicos, sociais, éticos e culturais. No entanto, a necessidade de se avaliar quantitativamente o desempenho de sistemas, surgiu apenas à medida que o conceito de desenvolvimento sustentável se tornou cada vez mais interiorizado por instituições, governos e sociedades.

De forma geral, indicadores são parâmetros selecionados e considerados isoladamente ou combinados entre si, sendo especialmente úteis para refletir sobre determinadas condições dos sistemas em análise. Segundo Mitchell (1996), indicador é uma ferramenta que permite a obtenção de informações sobre uma dada realidade. Para Mueller, Torres e Morais (1997), um indicador pode ser um dado individual ou um agregado de informações, sendo que um bom indicador deve conter os seguintes atributos: simples de entender; quantificação estatística e lógica coerente; e comunicar eficientemente o estado do fenômeno observado.

Segundo McCool e Stankey (2004), conceitualmente, indicadores desempenham três papéis importantes nas avaliações de sustentabilidade: (i) auxiliam a descrever as condições de sistemas complexos e interdependentes; (ii) dependendo dos mecanismos de realimentação, os indicadores facilitam a avaliação de desempenho de várias formas de administração e políticas praticadas para atingir a sustentabilidade; (iii) alertam os usuários para mudanças nos sistemas sociais, culturais, econômicos e ambientais. Pode-se destacar também o uso de indicadores como ferramenta de previsão e planejamento.

Indicadores são úteis na descrição das condições (quantidade ou magnitude de algo) e do desempenho de um sistema. Nesse sentido, eles fornecem a linguagem comum para a descrição do sistema, o que é necessário para uma comunicação efetiva e clara. Bossel (1999) afirma que “Aprender a lidar com um sistema complexo significa aprender a reconhecer um conjunto específico de indicadores e interpretar o que os resultados significam para a saúde, ou viabilidade, do sistema”.

Além disso, indicadores podem fornecer uma medida da efetividade das ações e políticas por meio das quais se busca atingir um estado sustentável, caso haja monitoramento temporal. Tais indicadores não se propõem a descrever um sistema, mas sim em revelar a resposta a um dado tratamento ou intervenção em relação a um objetivo específico. Por exemplo, se o objetivo é conservar o estoque de capital natural, buscam-se indicadores que possam avaliar mudanças nesses estoques como o resultado de uma ação. Assim, para cumprir essa função, os indicadores devem ter a habilidade de medir as relações de causa e efeito. Além de quantificar a magnitude de um estoque, um indicador deve também ser capaz de medir a taxa de mudança nesse estoque (BOSSEL, 1999). Essa medida é especialmente útil para se entender dinâmica de sistemas.

Portanto, para entender e administrar sistemas complexos (como os sistemas ecológicos e econômicos) é necessário uma forma de quantificar o desempenho geral dos mesmos. Todos os sistemas complexos são, por definição, compostos por um número de partes interativas. Em geral, esses componentes variam em tipo, estrutura e função dentro do sistema como um todo. Desta maneira, o comportamento de um sistema não pode ser resumido apenas pela soma dos comportamentos individuais das partes. Da mesma forma, o estado de um organismo não pode ser suposto como uma soma dos estados individuais, uma

vez que seus componentes são por si só complexos e têm funções diferentes e não comensuráveis dentro do sistema total (COSTANZA, 1999).

Definições e indicadores são um pré-requisito para a aplicação prática do conceito de sustentabilidade ambiental. Apesar da definição geral de sustentabilidade estar presente em todas as áreas da economia ecológica e desenvolvimento social, três regras de uso de recursos surgiram a partir dela (DALY, 1990; PEARCE; TURNER, 1990):

- A taxa de uso dos recursos renováveis não deve exceder a taxa de regeneração natural dos mesmos;
- A emissão de resíduos não deve exceder a capacidade natural assimilativa dos ecossistemas;
- Os recursos não renováveis devem ser explorados de uma maneira “sustentável” limitando a taxa de esgotamento à taxa de criação dos substitutos renováveis.

As três regras acima caracterizam o uso sustentável dos recursos naturais. Por isso, os indicadores de sustentabilidade ecológica devem refletir o quanto o uso atual de recursos naturais está distante do objetivo. Os passos principais para a criação de tais indicadores são (OPSCHOOR; REIJNDERS, 1991):

- Identificação dos elementos principais do capital natural e de suas funções econômicas;
- Seleção dos elementos mais importantes para fazer parte da série de indicadores. Apesar dos níveis de importância não serem conhecidos em todos os casos, deve haver um processo de pesquisa para determinar prioridades;
- Os padrões devem ser orientados pelas regras de uso sustentável de recursos;
- Construção de indicadores refletindo a situação atual do meio ambiente em relação aos padrões de sustentabilidade.

Os economistas neoclássicos identificam o uso ineficiente dos recursos naturais como razão principal para os problemas ambientais. Essa ineficiência seria causada por falhas de mercado devido a efeitos externos. A estratégia econômica visa obter o preço correto sob o pensamento neoclássico. Os custos externos são estimados por diferentes métodos e a ideia é de internalizar esses custos.

Por outro lado, a estratégia da economia ecológica analisa os impactos de atividades econômicas em sistemas ecológicos. Essa estratégia visa manter os ecossistemas intactos

protegendo as habilidades naturais como a estabilidade ou resiliência ecológica. Indicadores derivados da estratégia ecológica são medidos em unidades físicas. Os indicadores físicos que quantificam os limites das funções ecológicas críticas podem ser caracterizados como indicadores da sustentabilidade ecológica forte<sup>2</sup>, porque eles negam o nível de substituição que a sustentabilidade fraca<sup>2</sup> assume (VICTOR; HANNA; KUBURSI, 1994).

Apesar das abordagens econômicas e ecológicas serem complementares no que diz respeito à medida do desenvolvimento sustentável, até agora houve pouco êxito no vínculo dos dois conceitos ou na determinação da fronteira entre ambos. No entanto, segundo Rennings e Wiggering (1997), essa ligação deveria existir a fim de se obter uma medida mais apropriada da sustentabilidade, pois todas as abordagens econômicas e ecológicas apresentam lacunas.

#### **4.2. Análise Multicritério**

Diferentes métodos de avaliação energética fornecem perspectivas diversas e algumas vezes resultados pouco comparáveis (BROWN; HERENDEEN, 1996; HAU; BAKSHI, 2004; SCIUBBA; ULGIATI, 2005). Os tomadores de decisão precisam de subsídios para uma escolha bem fundamentada entre diferentes alternativas de escolha. Esses subsídios deveriam ser fornecidos por indicadores que mostram diferentes aspectos do sistema, mas frequentemente, o analista responsável por obter e fornecer indicadores considera somente uma ou duas metodologias, ignorando outros importantes aspectos e elaborando conclusões não fundamentadas pelos indicadores calculados. Por exemplo, escolher uma fonte alternativa de energia baseada somente no índice EROI (*Energy Return on Investment*) ou na quantidade de CO<sub>2</sub> emitido para a atmosfera não é suficiente para expressar a sustentabilidade de um sistema.

Alguns pontos críticos que precisam ser cuidadosamente considerados para que uma análise energética seja realmente significativa e confiável foram apontados em trabalhos científicos (AYRES, 1995; HEIJUNGS, 1996; von BAHR; STEEN, 2004). Eles destacam a

---

<sup>2</sup> Hauwermeiren (1998) apresenta os dois princípios da sustentabilidade fraca: a) possibilidade de substituição, quase perfeita, entre capital natural e manufaturado; b) o progresso técnico deve ser contínuo, superando as limitações que impedem o crescimento econômico devido à escassez de recursos. Por outro lado, o princípio da sustentabilidade forte não aceita a substituição do capital natural por manufaturado. Turner, Pearce e Bateman (1994) salientam que alguns serviços ecossistêmicos são indispensáveis para a sobrevivência humana e não são substituíveis, devendo receber prioridade quanto à sua conservação.

importância crucial de se usar dados confiáveis publicados na literatura (periódicos com *peer-review* e órgãos oficiais), e de realizar um inventário crítico de todos os fluxos do sistema analisado, se possível de maneira participativa.

Segundo Ulgiati, Bargigli e Rauegi (2006), uma das características centrais da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), mais especificamente a flexibilidade de deixar a escolha do método de avaliação por parte do analista, pode se tornar facilmente uma das suas maiores deficiências. Na verdade, na maioria das vezes a escolha do método a ser empregado é feita baseada na preocupação de se utilizar um único parâmetro, que, por mais importante que seja, não será capaz de fornecer uma resposta suficiente para uma questão tão complexa como a sustentabilidade ambiental.

Na busca por resolver essa deficiência ligada ao uso de um único método de avaliação, esforços foram feitos (AZAPAGIC; CLIFT, 1999; HANEGRAAF; BIEWINGA; van der BIJL, 1998; HERRCHEN; KELLER; ARENZ, 1997; KHAN; SADIQ; HUSAIN, 2002; LAZZARETTO; TOFFOLO, 2002; PEREIRA; ORTEGA, 2012; SICHE et al., 2010; ULGIATI, 2000; VALERO, 2000). Na maioria dos casos, o objetivo final desses trabalhos foi o de integrar diferentes métodos, gerando um indicador final que forneceria uma resposta definitiva. No entanto, na tentativa de combinar metodologias, pode-se chegar a um indicador híbrido, que carrega as deficiências individuais de cada uma delas e que, além disso, não pode ser usado como base de comparação.

A abordagem proposta por Ulgiati, Rauegi e Bargigli (2006) fornece uma estrutura conceitual para tomada de decisões com diferentes critérios, em que as perspectivas não são forçadas a combinar, mantendo suas regras próprias. O método integrado foi nomeado *Sustainability Multicriteria Multiscale Assessment* (SUMMA) e seu principal objetivo é superar as deficiências inerentes das abordagens de critério único. Os autores escolheram aplicar uma seleção de métodos à “montante” e à “jusante”: os métodos à “montante” focam nas entradas do sistema, e respondem pelos impactos causados geralmente longe do sistema sobre análise; enquanto os métodos à “jusante” focam nas saídas do sistema, e respondem pelos impactos causados localmente e regionalmente. Os métodos aplicados oferecem pontos de vista complementares sobre a complexa questão das avaliações de impacto energético-ambientais.

Utilizando o SUMMA como referência conceitual, os cinco métodos a seguir foram escolhidos para avaliar o desempenho energético-ambiental dos três sistemas analisados neste trabalho: (i) Avaliação Emergética; (ii) Mochila Ecológica; (iii) Análise da Energia Incorporada; (iv) Inventário de Emissões; (v) Pegada Ecológica.

#### **4.2.1. Avaliação Emergética**

A Avaliação Emergética (ODUM, 1988, 1996, 2007) é um método de análise energética com raízes na termodinâmica irreversível (DE GROOT; MAZUR, 1962; PRIGOGINE, 1947;) e no pensamento sistêmico (VON BERTALANFFY, 1968). O foco da metodologia está no cálculo de indicadores de desempenho ambiental que contabilizam recursos naturais e econômicos usados em sistemas naturais e humanos (BASTIANONI, 1993; BROWN; CUADRA; RYDBERG, 2006; LEFROY; RYDBERG, 2003; RYDBERG; HADEN, 2006; ULGIATI, 1999; ULGIATI; ODUM; ULGIATI, 2001).

De acordo com a teoria emergética, diferentes formas de energia, materiais, trabalho humano e serviços econômicos são avaliados em uma base comum, ao serem convertidos em uma única forma de energia equivalente (energia solar), expressa como equivalentes de Joule solar (seJ). Para ser mais específico, energia é definida como a “quantidade total de energia disponível de um tipo (no caso, energia solar) que é usada direta e indiretamente na produção de um produto, fluxo ou serviço” (ODUM, 1996).

A contabilidade emergética é uma medida do suporte ambiental do presente e do passado a um determinado processo, que permite avaliar as relações entre o sistema natural e as atividades humanas. O conceito de auto-organização fornece uma estrutura para a compreensão de como os sistemas utilizam as fontes de energia para desenvolver novos estados organizacionais ao longo do tempo. Processos de transformação de energia através da biosfera geram ordem, degradam energia no processo, e ciclam informação numa rede de sistemas organizada de forma hierárquica. Entender a relação entre energia e os ciclos de materiais e informação fornece uma visão mais clara sobre as complexas relações entre sociedade e biosfera (BROWN; ULGIATI, 2004).

Segundo Odum (1996), além de fluxos de energia e matéria, seria importante avaliar a energia associada à informação. A informação pode ser o aspecto principal na avaliação de muitos sistemas, por incluir a biodiversidade genética e o conhecimento humano. No entanto,

ainda não existem trabalhos onde esse conceito é aplicado, medido ou avaliado dentro do escopo de avaliações emergéticas de sistemas nacionais e produtivos. Alguns esforços pontuais foram feitos no sentido de avaliar a informação genética e a complexidade de ecossistemas (JORGENSEN; ODUM; BROWN, 2004; ULGIATI; BROWN, 2009).

O método emergético é profundamente fundamentado no conceito de "qualidade" do recurso, ou seja, a percepção de que diferentes formas de energia têm habilidades diferentes de produzir trabalho útil mesmo quando o conteúdo energético (poder calorífico) é o mesmo. Tal habilidade (ou qualidade) é uma qualidade intrínseca do recurso e provém de características do seu processo de formação. Isso também se aplica a diferentes materiais usados em um processo, mesmo que suas massas sejam as mesmas. A qualidade do recurso depende de características físico-químicas, que por sua vez dependem do trabalho da natureza para gerá-lo. Ao invés de apenas considerar o que pode ser extraído de um recurso (exergia), o método de síntese emergética foca no quanto custa para a biosfera e a sociedade produzirem determinado recurso (abordagem do ponto de vista do doador ou *donor side approach*).

A quantidade de energia disponível previamente utilizada para gerar um produto em relação ao conteúdo energético de tal produto fornece uma medida da posição hierárquica do item dentro da escala termodinâmica da biosfera. Tal taxa é expressa como Joule solar equivalente por Joule ( $\text{seJ J}^{-1}$ ) ou por grama ( $\text{seJ g}^{-1}$ ), denominadas transformidade e emergia específica, respectivamente. Quanto mais energia é previamente utilizada, maior será a transformidade do produto e sua qualidade e, conseqüentemente, mais alta será sua posição na hierarquia de energia (ODUM, 1996).

#### **4.2.2. Mochila Ecológica**

A Análise do Fluxo de Materiais é definida pela *Eurostat* (2001) como um método que avalia a eficiência do uso de materiais. A análise ajuda a identificar o desperdício de recursos naturais e outros materiais da economia que poderiam ficar “escondidos” quando metodologias convencionais que avaliam questões econômicas são as únicas consideradas nas avaliações de sistemas.

A entrada de materiais é dividida em quatro diferentes categorias: matérias-primas abióticas, bióticas, água e ar. Fatores de intensidade de materiais ( $\text{g unidade}^{-1}$ ) são usados para se contabilizar a quantidade de cada tipo de material que é requerida direta e indiretamente

para fornecer aquela entrada ao sistema. As intensidades de material de cada uma das entradas podem então ser somadas e agrupadas dentro das categorias. Essa medida funciona como um indicativo da carga ambiental de cada categoria imposta pela produção daquele bem ou serviço.

A análise é feita considerando-se todas as fases do produto: produção (incluindo extração de matérias-primas, manufatura de pré-produtos, transporte e vendas), uso (incluindo consumo, transporte e reparo), e reciclagem e/ou descarte. Quantificar entradas e saídas de fluxos de massa é o ponto de partida fundamental. Precisa-se avaliar não só a quantidade de entrada de materiais para os processos locais, mas também à máxima extensão a quantidade de saídas (produtos e coprodutos) do sistema sob investigação, pois a extração de materiais e as emissões associadas causam mudanças nos fluxos e ciclos naturais (RITTHOFF; ROHN; LIEDTKE, 2002).

Quando o foco está nos fluxos indiretos de materiais (fluxos a montante) e desconsideram-se os fluxos de material diretos (fluxos a jusante), surge uma subcategoria da Análise de Fluxo de Materiais denominada como Mochila Ecológica. Essa abordagem (SCHMIDT-BLEEK, 1993) objetiva avaliar o distúrbio ambiental associado com a retirada de matéria-prima do ecossistema natural. De acordo com *Eurostat* (2001), a Mochila Ecológica pode ser definida como o total de materiais que não é fisicamente incluído no preço de mercado do produto, mas que foram necessários para sua produção.

Essa ferramenta pode ajudar a mostrar o potencial positivo de um manejo baseado na conservação de recursos em nível local, assim como em níveis regional, nacional e global. Ao se medir entradas, normalmente não se avaliam os impactos à jusante (*downstream*), mas pode-se chegar a uma boa compreensão do potencial impactante de um produto ou serviço em escala global. Logo, o método da Mochila Ecológica pode funcionar como uma ferramenta de precaução ambiental, já que se baseia na ideia de que quanto menos matérias-primas são usadas, menor o potencial de geração de impacto ambiental.

#### **4.2.3. Análise de Energia Incorporada**

De acordo com o *International Federation of Institutes for Advanced Study* (IFIAS) (SLESSER, 1974), a Análise Energética é definida como o processo de determinação da energia requerida diretamente e indiretamente por um sistema que o permita produzir

determinado bem ou serviço. Até agora, a análise tem sido aplicada de acordo com as convenções da IFIAS, que procuram quantificar a disponibilidade e o uso dos estoques de combustíveis fósseis, que algumas vezes são também denominados como combustível ou energia “comercial”.

Desde a década de 1960, a Análise Energética vem sendo expandida para contabilizar não somente os processos internos das indústrias, mas também as operações e serviços auxiliares que são necessários para suportar a produção industrial (aqueles que não contribuem diretamente ao processo industrial). A energia associada ao consumo de combustível por um processo é conhecido como consumo de energia direta da operação e é igual à energia contida no combustível. Essa é a energia que está realmente disponível ao consumidor final, entretanto, para tornar a energia e/ou combustível útil e entregá-lo ao consumidor final, energia adicional deve ser investida. A energia associada com o uso de qualquer combustível incluirá não somente o conteúdo de combustível, mas também a energia utilizada desde a provisão de combustíveis e materiais utilizados por meio da sequência de processos de extração do combustível da natureza (na maioria das vezes encontradas a quilômetros de profundidade da superfície da terra) e torná-los disponível ao consumidor final. O gasto energético para tornar disponível um combustível é chamado de Requerimento Bruto de Energia (RBE) do combustível.

Dentro das regulações da IFIAS, o RBE, que também é conhecido como Análise de Energia Incorporada, considera a quantidade de energia comercial que é requerida diretamente e indiretamente pelo processo que produz um bem ou serviço. Mais especificamente, essa abordagem está focada em combustíveis e eletricidade, fertilizantes e outros químicos, maquinaria e outros bens fornecidos aos processos em termos de energia de petróleo equivalente requeridos para produzi-lo. No RBE de um produto, todos os processos que utilizam materiais e energia que não requerem combustível fóssil não são contabilizados. Recursos fornecidos gratuitamente pelo meio ambiente, como solo (nutrientes) e água (chuva e rios), não são contabilizados pelo RBE. Trabalho humano e serviços econômicos também não são incluídos na maioria das avaliações, porque representam menos de 0,5 % do RBE para sistemas industrializados. O RBE promove a ideia de que somente combustíveis fósseis podem ser escassos, enquanto recursos naturais são ilimitados e, portanto, não são contabilizados dentro do balanço energético (FRANZESE et al., 2009).

A energia incorporada de um produto ou processo é calculada pela soma da entrada de energia bruta multiplicada pelos respectivos fatores de intensidade energética. Os indicadores finais mais importantes desta metodologia são: (i) a quantidade total de energia incorporada consumida pelo sistema e (ii) sua eficiência energética representada pelo índice EROI. O EROI é obtido pela divisão da energia que sai do sistema (valor calorífico superior) pela energia incorporada que entra no sistema e resulta em um valor adimensional que representa a eficiência energética do sistema ou de um produto específico. Maiores detalhes sobre a análise de energia incorporada podem ser encontrados nos trabalhos de Slessor (1974) e de Herendeen (1998).

#### **4.2.4. Inventário de Emissões**

O Inventário de Emissões fornece importantes informações sobre emissões diretas (locais) e indiretas (globais). Devido à corrente preocupação com problemas relacionados ao aquecimento global, este tipo de inventário é considerado fundamental em qualquer avaliação ambiental. Este trabalho focou apenas nas emissões indiretas, por não existir uma base de dados confiável e gratuita que englobe as duas categorias de emissão.

Emissões indiretas são aquelas relacionadas à produção dos materiais e energia utilizados pelo sistema; estas emissões estão geralmente localizadas distante do sistema, entretanto, causam um impacto ambiental em escala global. Para estimar as emissões indiretas, todos os materiais e energia utilizados pelo sistema são primeiramente convertidos em petróleo equivalente (considerando os mesmos fatores de conversão utilizados previamente na Análise de Energia Incorporada) e depois multiplicados pelos fatores de emissão disponibilizados por bancos de dados da *Environmental Protection Agency* (EPA) e da *European Environment Agency* (EEA). Esses bancos fornecem informações acerca das emissões gasosas de gás carbônico, monóxido de carbono, metano, óxido nitroso, óxidos de nitrogênio, material particulado e dióxido de enxofre, relativas à queima de combustíveis fósseis em gramas de emissão gasosa por MJ de energia, o que permite uma estimativa da quantidade de emissões indiretas provocadas pela demanda energética imposta pelo sistema de produção.

Alguns métodos como o CML 2 *baseline* 2000 descrito por Guineé et al. (2002) fornecem medidas do potencial de degradação de emissões gasosas, líquidas e sólidas.

Portanto, por meio deles é possível se chegar aos potenciais degradantes em função das emissões indiretas obtidas, sendo categorizadas por potenciais de aquecimento global, acidificação da chuva, eutrofização da água, oxidação fotoquímica, e toxicidade humana.

#### **4.2.5. Pegada Ecológica**

O conceito de Pegada Ecológica foi formalmente introduzido por Mathis Wackernagel e William Rees (WACKERNAGEL; REES, 1996, 1997). Objetivando responder ao então corrente debate em torno da capacidade de suporte da Terra, a metodologia foi criada para representar o consumo humano de recursos biológicos e a geração de resíduos em termos de área apropriada do ecossistema natural, que poderia ser comparada com a capacidade produtiva da biosfera em um determinado ano. Ao focar em área produtiva, extração de recursos e resíduos gerados, a pegada ecológica forneceria uma estimativa da demanda humana sobre a biosfera e da habilidade dessa biosfera em suprir essa demanda.

As áreas produtivas de terra e mar suprem as necessidades básicas humanas de alimentos, fibra, lenha, energia e espaço para infraestrutura. A metodologia também avalia o espaço necessário para absorver o CO<sub>2</sub> liberado pelo consumo energético. Segundo a metodologia, cada tipo de área teria uma importância diferente para o consumo humano, assim as áreas são categorizadas e diferentes pesos são estabelecidos para cada tipo. Por exemplo, de acordo com a metodologia, uma área produtora de alimentos tem maior importância aos humanos do que uma área preservada de floresta e, portanto, recebe um peso maior na ponderação da metodologia. Após essa normalização, é possível que todas as áreas sejam somadas.

Os resultados da Pegada Ecológica são expressos em termos de hectares globais (gha), definidos como hectares de terra com produtividade média global e que representam uma medida da produtividade que pode ser obtida, ao invés de uma simples medida de área. Por exemplo, considere o consumo de uma tonelada de madeira: quando o resultado é expresso em hectares reais, ele representa uma área de floresta local impactada pelo consumo dessa tonelada de madeira; no entanto, esse valor não deve ser comparado diretamente com outros tipos de áreas, pois apresentam características distintas de produtividade. Dessa maneira, o uso de hectares globais permite que as diferentes áreas sejam comparadas.

De uma forma geral, a Pegada Ecológica é reconhecida como uma importante

contribuição na estimativa do impacto humano sobre a natureza. Após o conceito ter sido desenvolvido, algumas análises incluíram descrições detalhadas do método (HABERL et al., 2001; SENBEL et al., 2003; van VUUREN; BOUWMAN, 2005). Críticas recentes exploram mais a fundo a metodologia. Por exemplo, Lenzen, Borgstrom e Bond (2007) encontraram inconsistências no processo de conversão de hectares para hectares globais devido ao fato do método ajustar a produção primária a médias globais, mas não aplicam o mesmo conceito à produção secundária. De acordo com Venetoulis e Talberth (2008), o uso de produtividades potenciais para calcular fatores de equivalência<sup>3</sup> não representa a intensidade verdadeira de pressão humana sobre os ecossistemas. A maior parte das críticas está ligada à não distinção entre uso sustentável e insustentável da terra, aos fatores de conversão, às taxas de sequestro de CO<sub>2</sub> e aos procedimentos de cálculo que, de maneira geral, não são aplicáveis em escalas diversas.

O método convencional descrito por Wackernagel e Rees (1996) exclui dos cálculos áreas consideradas de baixa produtividade como tundra e desertos. De acordo com Kitzes et al. (2009), isso foi feito pelo fato dessas áreas apresentarem produção não significativa de recursos úteis ao homem e baixa capacidade de absorção de resíduos. Venetoulis e Talberth (2008) e Pereira e Ortega (2012) criticam essa consideração, dizendo que todas as áreas do planeta são relevantes, uma vez que a maior parte da superfície participa do ciclo de carbono. Além disso, muitos ecossistemas, que não são usados diretamente, podem fornecer benefício aos seres humanos por meio da biodiversidade e serviços ambientais (van den BERGH; VERBRUGGEN, 1999). Kitzes et al. (2009) afirmam que essa é uma questão que ainda necessita de melhorias por parte da metodologia.

### **4.3. Análise de Sensibilidade**

A Análise de Sensibilidade pode ser definida como “a investigação das mudanças potenciais e erros que afetam o estudo e seus impactos nas conclusões a serem tiradas do modelo” (PANNELL, 2009). A análise objetiva determinar a robustez com respeito às

---

<sup>3</sup>Segundo Wackernagel e Rees (1996), os fatores de equivalência representam a produtividade potencial média global de uma determinada área em relação à produtividade média global de todos os tipos de áreas considerados. De acordo com a metodologia, uma área de cultivos, por exemplo, é mais produtiva do que uma pastagem, e, portanto, tem um fator de equivalência maior do que o de pastagem. Essa produtividade está relacionada à habilidade do tipo de solo e às condições climáticas que permitam o desenvolvimento de biomassa vegetal útil ao homem.

incertezas nos pesos atribuídos, valor das funções, assim como nas mudanças nos métodos de agregação. A informação disponível aos tomadores de decisão normalmente é incerta e imprecisa, devido aos erros de medida e de conceitos. A Análise de Sensibilidade, portanto, avalia quanto e como esses erros afetam os resultados finais. Se a incerteza é conhecida, políticas adequadas capazes de levar em consideração as incertezas podem ser adotadas.

Além disso, a Análise de Sensibilidade ajuda a construir confiança no modelo por estudar as incertezas que geralmente estão vinculadas aos parâmetros usados. Muitos parâmetros representam quantidades difíceis, ou até impossíveis, de medir com grande precisão. Quando o analista está incerto sobre os valores a serem escolhidos, é possível (ou até mesmo obrigatório) usar estimativas. A análise de sensibilidade pode indicar quais parâmetros são adequados para uso no modelo (BREIEROVA et al., 2001); também permite determinar que nível de precisão é necessário para um parâmetro tornar o modelo suficientemente útil e válido. Se os testes revelarem que o modelo é insensível, pode ser possível usar uma estimativa ao invés de um valor caracterizado por maior precisão. A dificuldade na obtenção e incerteza sobre dados é uma das razões principais pela qual a análise de sensibilidade é tão útil na tomada de decisões e recomendações.

Caso haja dúvidas sobre os parâmetros, a análise de sensibilidade pode fornecer informação sobre:

- O quão robusto é o cenário proposto em face aos diferentes valores dos parâmetros?
- Sobre quais circunstâncias o cenário proposto muda?
- Como o cenário ótimo varia em diferentes circunstâncias?

Como previamente mencionado, os resultados de uma análise multicritério são extremamente valiosos ao se tomar uma decisão ou se fazer uma recomendação. Se o resultado obtido é pouco sensível a variações nos parâmetros, cria-se confiança na aplicação prática da interpretação do mesmo. Por outro lado, se o resultado é muito sensível a variações dos parâmetros, a análise de sensibilidade pode ser usada para gerar cenários e, por conseguinte, indicar de que forma as mudanças sugeridas alteram o modelo.

Não existe uma estratégia única que sirva a todos os modelos, portanto a análise de sensibilidade identifica diferentes estratégias para circunstâncias distintas, assim como o contexto em que a estratégia está inserida. Mesmo não havendo incerteza sobre os valores dos parâmetros, é seguro que estes podem mudar de maneira particular dependendo do tempo ou

do lugar. A análise pode ser usada para testar se uma simples decisão estratégica é adequada ou se uma estratégia complexa é mais vantajosa (PANNELL, 2009).

Em princípio, a análise de sensibilidade é uma ideia simples: mudar o modelo e observar o seu comportamento. Na prática, no entanto, existem muitas possibilidades diferentes de mudança e observação do modelo. De maneira geral, a abordagem consiste em variar o valor de um parâmetro numérico em vários níveis. Em outros casos, onde há incerteza sobre uma situação específica com apenas duas soluções possíveis, decidir se uma ou outra ocorrerá. Deve-se decidir se a variação será feita com um parâmetro por vez, deixando os outros com valores padrões ou de base, ou se é necessário avaliar-se uma combinação de mudanças.

Pannell (2009) destaca que uma questão importante nessa decisão é a afinidade relativa nas combinações de mudanças. Se dois parâmetros tendem a se relacionar positivamente (por exemplo, os preços de dois produtos similares), a possibilidade que ambos tenham os valores aumentados ao mesmo tempo deve ser considerada.

## **5. METODOLOGIA**

Como mencionado anteriormente, o objetivo do trabalho é aplicar as metodologias de Avaliação Emergética, Mochila Ecológica, Análise de Energia Incorporada, Inventário de Emissões e Pegada Ecológica para diferentes sistemas, mais especificamente em níveis nacional (Brasil), estadual (São Paulo) e municipal (Campinas). As metodologias serão utilizadas segundo suas próprias regras, visando avaliar sua utilidade e aplicabilidade nas escalas consideradas.

### **5.1. Definição do escopo e fronteiras do sistema**

A definição do escopo, apesar de aparentemente simples, é uma parte crítica deste trabalho, devido à grande influência nos resultados finais. É fundamental decidir o que será analisado, quais as fronteiras do sistema estudado e a escala de tempo a ser considerada. Todos os dados coletados estarão relacionados com os limites estabelecidos na primeira etapa. A Figura 1 mostra os mapas do Brasil, do estado de São Paulo e da Região Metropolitana de Campinas com destaque para o município de Campinas. A seguir são descritas algumas características políticas, demográficas e econômicas dos três casos estudados.

#### **5.1.1. Brasil**

O Brasil é uma república federativa formada pela união de 26 estados federados e pelo Distrito Federal. O país conta com 5.564 municípios, uma população superior a 180 milhões de habitantes e uma área de 8,5 milhões km<sup>2</sup>, que equivale a 47 % do território sul-americano. Em comparação com os demais países do globo, dispõe do quinto maior contingente populacional e da quinta maior área (IBGE, 2008).

A geografia é diversificada, com paisagens semi-áridas, montanhosas, de planície tropical, subtropical, com climas variando do seco sertão nordestino ao chuvoso clima tropical equatorial, ao clima mais ameno da Região Sul, com clima subtropical e geadas frequentes. O Brasil é o país de maior biodiversidade do planeta, sendo o primeiro signatário da Convenção sobre a Diversidade Biológica (CDB) e é responsável por aproximadamente 14 % da biota mundial de acordo com o *Conservation International* (CI). Devido à sua dimensão continental e à grande variação geomorfológica e climática, o Brasil abriga seis biomas e 78 ecorregiões (IBAMA, 2008).

De acordo com o Produto Interno Bruto (FMI, 2008), o Brasil é a oitava economia do mundo. No entanto, o país tem uma renda *per capita* inferior a alguns países da mesma região como Argentina, Chile e Uruguai. O PIB brasileiro em 2008 calculado pela Paridade do Poder de Compra foi de quase US\$ 2 trilhões segundo o FMI (2008): 5,9 % do setor produtivo agrícola e animal; 27,9 % da indústria; e 66,2 % do setor de serviços (IBGE, 2011). Segundo dados do MDIC (2011), o Brasil foi o vigésimo-segundo maior exportador mundial com US\$ 198 bilhões e o vigésimo-quarto importador com US\$ 183 bilhões em 2008. O país é um dos maiores produtores e exportadores de minerais (29 bilhões de toneladas de reserva de minérios), responsável por 15 % de todo o minério de ferro extraído anualmente no mundo (372 milhões de toneladas equivalentes a mais de US\$ 16,5 bilhões em 2008), o que representa 8,36% de valor total exportado. Além disso, o Brasil está na lista dos dez maiores produtores de ouro, estanho, zinco, urânio, manganês, fosfatos, níquel, nióbio e bauxita (IBRAM, 2010). Os recursos primários representaram 37 % de todas as exportações em 2008 (US\$ 73,0 bilhões), incluindo principalmente minerais, e produtos animais e agrícolas; mais de 60 % das exportações foi de produtos industrializados (semimanufaturados e manufaturados), incluindo aviões (US\$ 5,5 bilhões), automóveis de passageiros (US\$ 4,9 bilhões) e produtos de ferro e aço (US\$ 4,0 bilhões). Os principais parceiros comerciais brasileiros em 2008 foram China (US\$ 20,2 bilhões exportados e US\$ 15,9 bilhões importados pelo Brasil), Estados Unidos da América (US\$ 15,7 bilhões exportados e US\$ 20,2 bilhões importados) e Argentina (US\$ 12,8 bilhões exportados e US\$ 11,3 bilhões importados) (MDIC, 2010).

### **5.1.2. Estado de São Paulo**

O estado de São Paulo engloba 645 municípios, com uma área de aproximadamente 248 mil km<sup>2</sup> e uma população de 42,7 milhões de pessoas (21,5 % da população do Brasil) (SEADE, 2010).

O PIB do estado superou US\$ 500 bilhões em 2008 com uma participação de mais de 30 % no PIB nacional (SEADE, 2011). A atividade agropecuária é também a maior do país com 27 % de participação na atividade nacional, baseada principalmente nas culturas de cana-de-açúcar e de laranja e na criação de bovinos e aves, que abastecem as indústrias de processamento desses produtos. São Paulo apresenta uma distribuição espacial da atividade econômica bastante desigual, já que as Regiões Metropolitanas de São Paulo e da Baixada

Santista e as Regiões Administrativas de Campinas (onde se localiza a Região Metropolitana de Campinas), São José dos Campos e Sorocaba agregam quase 90 % de toda a riqueza gerada no estado.

### **5.1.3. Município de Campinas**

O município de Campinas está localizado a noroeste da capital do estado de São Paulo, distando cerca de 90 quilômetros e é sede da Região Metropolitana de Campinas. Ocupa uma área de 790 km<sup>2</sup> e sua população é estimada em pouco mais de 1 milhão de habitantes (IBGE, 2008).

Décimo mais rico do Brasil, o município representa, isoladamente, cerca de 1 % de todo o Produto Interno Bruto (PIB) do país, além de ser responsável por pelo menos 15 % de toda a produção científica nacional, sendo o terceiro maior polo de pesquisa e desenvolvimento brasileiro, segundo informação da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP, 2012).

O município é formado pela cidade de Campinas e por quatro distritos: Joaquim Egídio, Sousas, Barão Geraldo e Nova Aparecida. É a terceira cidade mais populosa do estado de São Paulo, ficando atrás de Guarulhos e da capital paulista. Sua região metropolitana é constituída por 19 municípios e conta com 2,6 milhões de habitantes (IBGE, 2008), o que a torna a nona mais populosa do Brasil. Campinas faz parte do chamado Complexo Metropolitano Expandido que ultrapassa os 29 milhões de habitantes, aproximadamente 75% da população do estado inteiro. As regiões metropolitanas de Campinas e de São Paulo já formam a primeira macrometrópole do hemisfério sul, unindo 65 municípios que juntos abrigam 12% da população brasileira (IBGE, 2008).

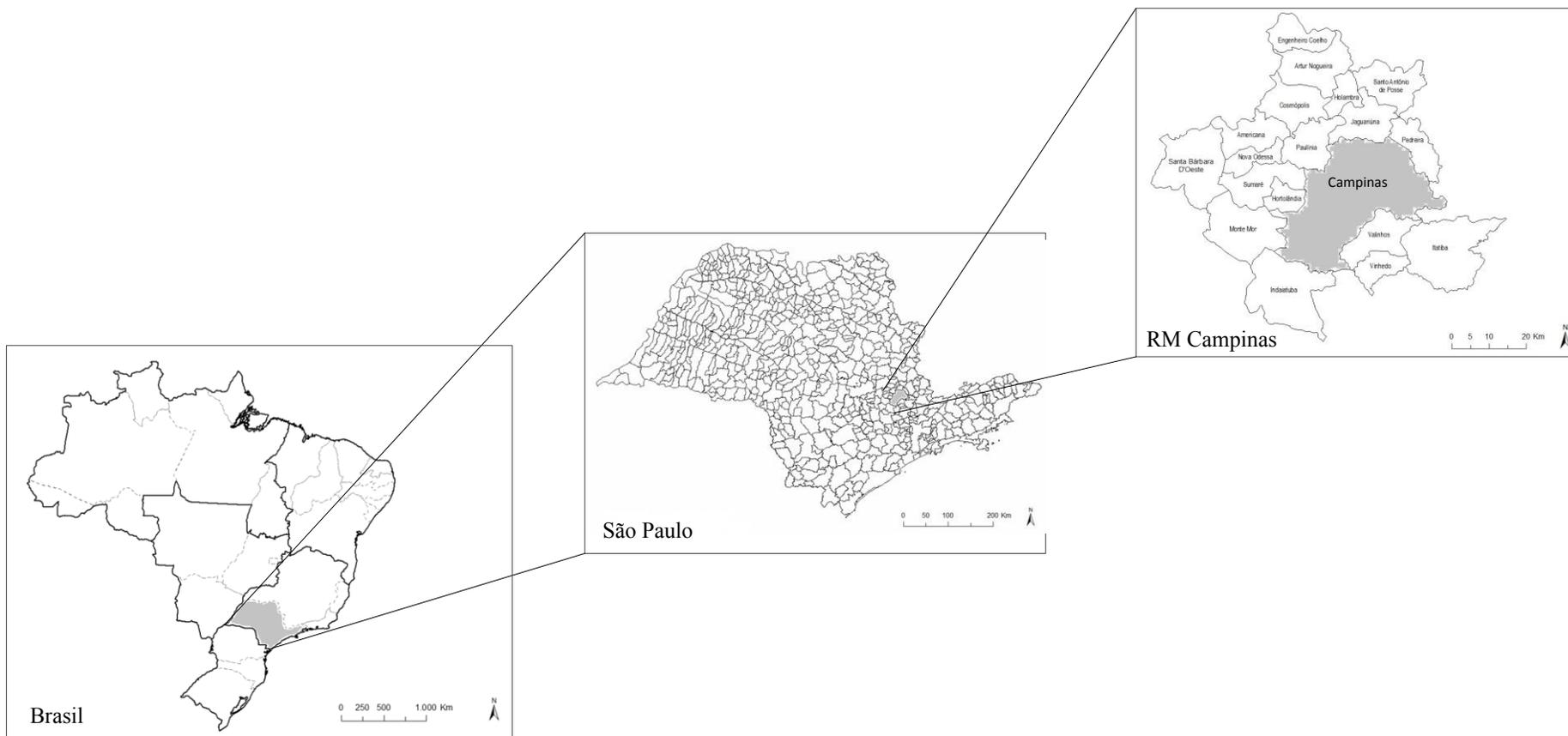


Figura 1. Mapas do Brasil, do estado de São Paulo e da Região Metropolitana (RM) de Campinas com destaque para o município de Campinas.

## **5.2. Inventário**

O objetivo desta etapa é quantificar entradas e saídas que o avaliador julga relevantes ao sistema definido. Nesta fase são identificados os fluxos de massa e energia. A coleta de dados é normalmente a etapa mais dispendiosa da análise, dependendo da disponibilidade de informações em banco de dados e na literatura. A Figura 2 ilustra a estrutura de coleta e de estimativa dos dados brutos a serem usados nos cálculos envolvidos nas metodologias aplicadas. Além disso, são apresentadas as referências de cada dado utilizado.

Esta etapa depende diretamente das metodologias selecionadas, uma vez que a demanda por informações varia dependendo das regras específicas a serem seguidas por cada uma delas. Nesse caso, percebeu-se que a Avaliação Emergética é a mais exigente em termos de quantidade de dados necessários.

## **5.3. Análise metodológica**

O sistema analisado é tratado como uma “caixa preta”. Apesar de os dados de entrada e saída serem coletados na etapa anterior, esse processo deve ocorrer paralelamente com a análise metodológica para garantir a máxima consistência entre os dados obtidos e aqueles exigidos pelas metodologias em questão.

No método proposto por Ulgiati, Raugei e Bargigli (2006), ao usuário é dada a liberdade de selecionar as metodologias a serem utilizadas. Da proposta original, a Pegada Ecológica foi adicionada e será utilizada nesse trabalho. Os indicadores à jusante (“*downstream*”) que buscam estabelecer os potenciais impactantes das emissões não serão avaliados nesse momento.

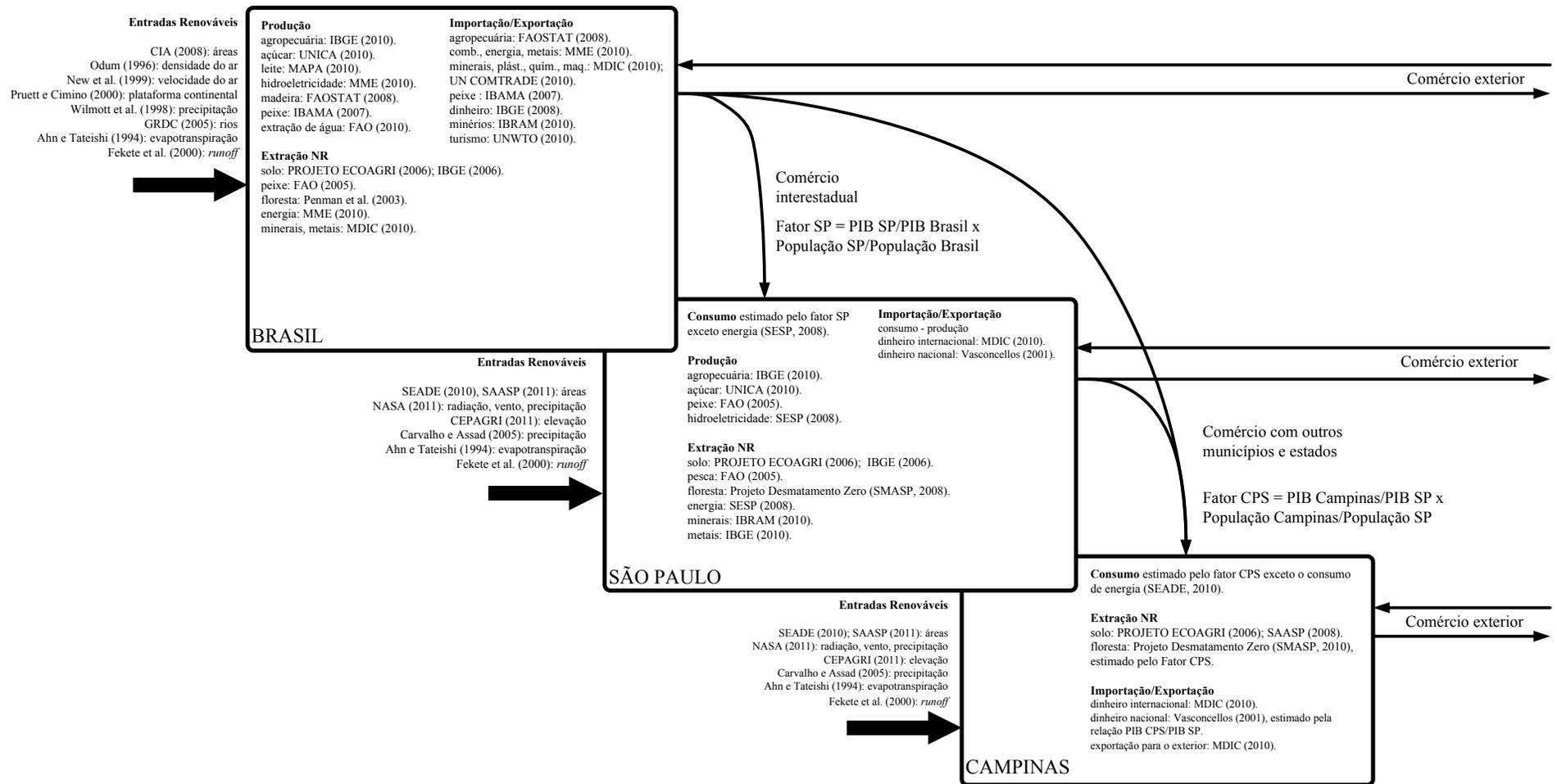


Figura 2. Diagrama explicativo da coleta e estimativa de dados para os casos analisados.

### 5.3.1. Avaliação Emergética

A energia associada a um fluxo, seja ele de energia ou de matéria, é calculada se o valor de unidade de energia ou *unit energy value* (UEV) é conhecido. A energia de um estoque é obtida multiplicando-se a quantidade do mesmo em unidade usual pela energia por unidade ( $\text{seJ unidade}^{-1}$ ). As transformidades ou valores de unidade de energia (UEVs) são uma espécie de indicadores de eficiência e podem ser considerados como o fator de conversão da metodologia, uma vez que transformam os dados brutos em fluxos de energia.

A primeira etapa da Avaliação Emergética (ODUM, 1996) é a elaboração do diagrama, que representa o funcionamento do sistema estudado. Na Figura 3 são destacadas as contribuições da natureza composta de recursos não renováveis (N) e de renováveis do meio ambiente (R); e entradas da economia (F) desmembradas em materiais (M) e serviços (S) comercializados. A proposta do diagrama sistêmico é conduzir um inventário crítico dos processos, estoques, e fluxos que são importantes para o sistema estudado, os quais serão então valorados. Os componentes e fluxos do diagrama são ordenados da esquerda para a direita, de maneira que à esquerda estão representados os fluxos com maior energia disponível; para a direita existe um decréscimo deste fluxo com cada transformação sucessiva de energia.

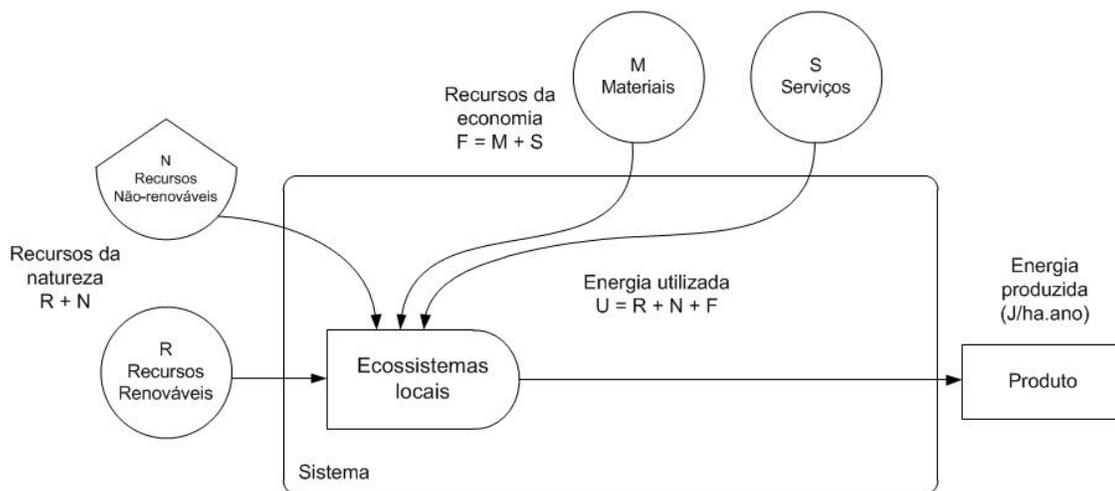


Figura 3. Diagrama simplificado de fluxos de energia para cálculo dos indicadores emergéticos

A partir da construção do diagrama é elaborada uma tabela de cálculo dos fluxos de energia, contabilizando os dados de fluxos de materiais, trabalho, e energia. As informações primárias de fluxos e reservas de estoques são convertidas em unidades de energia e então

somadas para obter a energia total do sistema. Os dados brutos coletados nessa etapa serão de fundamental importância para a aplicação das outras ferramentas a serem utilizados nesse trabalho. Por meio de fatores de conversão característicos de cada metodologia, os dados em questão serão convertidos nos indicadores.

A metodologia emergética apresenta a vantagem de possuir diversos indicadores que são úteis para interpretar a dependência ou não de um sistema quanto aos recursos da economia e da natureza (ODUM, 1996). A seguir são apresentadas as definições dos indicadores emergéticos de acordo com Brown e Ulgiati (2004):

- Transformidade: definida como a entrada de energia por unidade de energia disponível (exergia). Por exemplo, se 4000 emjoules solares são requeridos para gerar 1 Joule de madeira, então a transformidade solar dessa madeira é 4000 emjoules solares por Joule, ou  $\text{seJ J}^{-1}$ . A energia solar é a maior, porém mais dispersa entrada de energia no planeta. Por definição, a transformidade da luz solar absorvida pela Terra é igual a  $1 \text{ seJ J}^{-1}$ .
- Energia específica: definida como a energia por unidade de massa e usualmente expressa como energia solar por grama, ou  $\text{seJ g}^{-1}$ . Sólidos podem ser melhor avaliados com dados referentes à energia por unidade de massa para sua concentração. Uma vez que energia é requerida para concentrar materiais, o valor emergético de qualquer substância aumenta com sua concentração. Logo, elementos e componentes pouco abundantes na natureza tem uma razão energia/massa maior quando encontrados na forma concentrada, uma vez que mais trabalho ambiental foi necessário para concentrá-los tanto espacialmente quanto quimicamente.
- Energia por unidade de dinheiro ou *Emergy to Money Ratio* (EMR): definida como a energia que suporta uma unidade de produto econômico (expressa como dinheiro). O indicador é utilizado para converter fluxos monetários em energia. Uma vez que o dinheiro é pago às pessoas por seus serviços e não ao meio ambiente, a contribuição para um processo representado pelo pagamento monetário é a energia adquirida com o dinheiro. A quantidade de recursos que se pode adquirir depende da quantidade de energia que suporta a economia e do montante monetário que circula. A razão dinheiro/energia pode ser calculada dividindo-se o total de energia usada por uma economia pelo Produto Interno Bruto (PIB) ou

Produto Nacional Bruto (PNB), e variações considerando-se valores nominais ou de Paridade do Poder de Compra ou *Purchasing Power Parity* (PPP).

- Razão de Rendimento Emergético ou *Emergy Yield Ratio* ( $EYR = U / F$ ): é uma medida da habilidade de um processo de explorar e tornar disponível recursos por meio do investimento de recursos externos. O indicador fornece um olhar sobre o processo de uma perspectiva diferente, dando uma medida sobre a apropriação de recursos locais pelo processo, o que pode ser visto como uma contribuição potencial adicional à economia (BROWN; ULGIATI, 1997). O menor valor possível para a EYR é um, o que indica que a energia convergindo para gerar aquele rendimento é basicamente energia investida vinda exterior, ou seja, o processo estaria usando apenas recursos importados e não renováveis. Fontes de energia primária (petróleo cru, gás natural, urânio) normalmente apresentam valores de EYR maiores do que cinco, uma vez que são explorados utilizando poucas entradas da economia e geram grandes fluxos de energia, pois armazenam o trabalho realizado pela natureza ao longo de milhares de anos.
- Razão de Carga Ambiental ou *Environmental Loading Ratio* ( $ELR = N + F / R$ ): é uma medida que permite a comparação entre as quantidades de energia não renovável e adquirida com a quantidade de energia renovável local. Na ausência de investimentos externos, a energia renovável localmente disponível pode guiar o crescimento de um ecossistema dentro dos limites impostos pelo meio ambiente e caracterizado por um  $ELR = 0$ . No entanto, a energia de recursos não renováveis importados leva a um desenvolvimento diferente, que distancia do comportamento de um sistema natural. Quanto maior a ELR, maior é a distância entre os dois comportamentos descritos. De certa forma, a ELR é uma medida das perturbações à dinâmica do ambiente local, geradas pelo desenvolvimento movido por fontes externas. A razão permite uma distinção clara entre recursos renováveis e não renováveis, complementando os conceitos fornecidos pela transformidade (BROWN; ULGIATI, 1997). Por meio da análise de estudos já realizados, percebe-se que ELRs baixos (em torno de dois ou menos) indicam impactos ambientais relativamente pequenos (ou processos que utilizam grandes áreas e diluem os

impactos). Valores de ELR entre três e dez são indicativos de impactos ambientais moderados, enquanto que ELRs superando dez indicam impactos muito grandes.

- Índice de Sustentabilidade Emergética ou *Emergy Sustainability Index* ( $ESI = EYR / ELR$ ): é uma medida do potencial de exploração de recursos locais (EYR) por unidade de carga imposta ao sistema local (ELR). Em princípio, o menor valor possível para ESI é zero. De acordo com estudos prévios, ESIs menores do que 1 são indicativos de sistemas economicamente fortes e orientados ao consumo, valores entre 1 e 10 caracterizam as chamadas economias "em desenvolvimento", enquanto valores maiores do que dez indicam economias que ainda não apresentam desenvolvimento industrial significativo.
- Razão de Investimento Emergético ou *Emergy Investment Ratio* ( $EIR = F / N + R$ ): representa a razão entre a emergia externa utilizada em relação à emergia dos recursos internos ao sistema (tanto renovável quanto não renovável). Portanto, é uma medida da eficiência do uso de emergia externa investida.
- Razão de Intercâmbio emergético ou *Emergy Exchange Ratio* ( $EER = \text{importação/exportação}$ ): representa a razão entre a emergia importada e exportada por um sistema.
- Densidade Emergética: é a medida da emergia investida em uma unidade de espaço do sistema sob estudo. O indicador sugere que espaço seria um fator limitante ao processo. Altos valores de densidade emergética caracterizam centros de cidades, prédios governamentais, universidades e institutos de pesquisa, usinas de energia, e aglomerados industriais, enquanto baixos valores são característicos de áreas rurais e ambientes naturais (HUANG et al., 2001; ODUM et al., 1995).
- Porcentagem de emergia renovável: é a razão entre emergia renovável e a emergia total usada.
- Emergia *per capita*: é a razão entre a emergia total usada em uma economia ou região e a população total. Pode ser usada como a medida de padrão de vida de uma população.

Os procedimentos para aplicação da Avaliação Emergética de estados e de nações estão descritos no Capítulo 10 do livro *Environmental Accounting: Emergy and Environmental Decision Making* (ODUM, 1996, p. 182). Com o passar dos anos e o avanço metodológico da teoria emergética, percebe-se uma clara preocupação com o estabelecimento de padrões não só para os cálculos, mas também para os conceitos envolvidos. Com esse intuito, o artigo de Brown e Ulgiati (2004) intitulado *Emergy Analysis and Environmental Accounting* apresentou de forma resumida os principais conceitos, indicadores e procedimentos metodológicos. De maneira geral, a emergia total usada em um país é calculada como sendo a soma das entradas de recursos renováveis e não renováveis, dos bens e dos materiais importados, e dos serviços associados a esses produtos importados (valor monetário convertido a fluxo de emergia). De acordo com Odum (1996), não são contabilizadas as exportações dentro da emergia total usada no país.

No trabalho de Sweeney et al. (2007), no entanto, a emergia total ganhou um novo termo a ser adicionado: os produtos gerados dentro do país como produção agrícolas e pecuários, peixes, lenha, etc. Nesse trabalho, considerou-se que esse procedimento é incorreto, pois a produção interna de um país é abastecida/movida pelos recursos renováveis e não renováveis locais e importados, e dessa forma, ao contabilizá-la no cálculo, tem-se uma dupla contagem das entradas na emergia total usada.

### **5.3.2. Mochila Ecológica**

No método da Mochila Ecológica (BARGIGLI; RAUGEI; ULGIATI, 2004; HINTERBERGER; STILLER, 1998; SCHMIDT-BLEEK, 1993), cada entrada do sistema (massa ou energia) é multiplicada por apropriados fatores de intensidade de material (Tabela 1), resultando na quantidade total de material abiótico (quantidade de matéria inorgânica que foi escavada, transportada e processada por unidade entregue), material biótico (matéria orgânica), água que foram indiretamente requeridos pelo sistema produtivo (Ulgiati et al., 2006).

Tabela 1. Fatores de intensidade de materiais.

Item	abiótico	biótico	água
Perda de solo*	0,76	0,04	0,20
Madeira	0,63	4,37	9,20
Petróleo cru	1,22		4,30
Gás natural	1,22		0,50
Carvão	5,06		4,60
Eletricidade**	4,78E-04		9,04E-03
Etanol***	4,85	0,24	350,30
Fertilizante N	24,98		124,28
Fertilizante P	8,56		59,52
Fertilizante K	18,87		17,67
Ligas de ferro	21,58		504,90
Ferro gusa	9,32		81,90
Alumínio	18,98		539,20
Chumbo	15,60		
Cobre	179,07		236,39
Estanho	8486,00		10958,00
Níquel	141,29		233,30
Zinco	21,76		305,10
Ouro	540000,00		
Papel	9,17		303,00
Cimento (Portland)	3,22		16,90
Celulose	1,71		6,70
Plástico (Polipropileno)	2,09		35,80

Todas as unidades em  $\text{g g}^{-1}$ , \*\*exceto eletricidade dada em  $\text{g J}^{-1}$ .

Todos os valores referentes a Wuppertal Institute (2003), exceto \*Odum (1996) e

\*\*\*Agostinho e Ortega (2012).

No presente trabalho, a categoria referente ao impacto dos materiais bióticos não será exibida nas tabelas de avaliação, pois os valores estão disponíveis apenas para os itens: madeira, perda de solo e etanol. De qualquer forma, os cálculos referentes aos três tipos de materiais estão disponíveis no Apêndice da tese.

### 5.3.3. Análise de Energia Incorporada

A metodologia (HERENDEEN, 1998; SLESSER, 1974) lida com o requerimento bruto direto e indireto de energia comercial pelo sistema. Todas as entradas de materiais e energia são multiplicadas pelos fatores de intensidade de energia (petróleo equivalente em  $\text{g unidade}^{-1}$ ) apresentados na Tabela 2, e a energia incorporada total do sistema é computada como a soma das entradas em óleo equivalente, que pode ser convertida para unidades de energia por meio do valor calorífico de 1 g de petróleo ( $41.860 \text{ J g}^{-1}$ ) (IEA, 2011).

Tabela 2. Fatores de intensidade de energia.

Item	valor em $g_{oil} g^{-1}$	valor em $MJ kg^{-1}$	
Etanol*		2,60	
Gasolina	1,50000	62,80	
Diesel	1,28000	53,59	
GLP (Gás Liquefeito de Petróleo)	1,41000	59,03	
Óleo para aquecimento doméstico	1,23000	51,50	
Gás natural	1,15000	48,15	
Eletricidade**	0,00006	2,50E-06	
Água	0,00013	0,01	
Alimentos			
	Peixe	0,92355	38,67
	Carne	0,97946	41,01
	Frutas e vegetais	0,06355	2,66
	Leite, queijo e derivados	0,22961	9,61
	Cereais e derivados	0,13903	5,82
	Bebidas alcoólicas	0,01338	0,56
	Azeite e óleo de sementes	0,05017	2,10
Ferro e aço	0,68681	28,76	
Cobre	2,20975	92,52	
Alumínio	6,79646	284,55	
Cimento (Portland)	0,16722	7,00	
Areia e cascalho	0,00209	0,09	
Vidro	0,63306	26,51	
Plástico	2,24558	94,02	
Asfalto	3,87291	162,15	
Madeira	0,11945	5,00	
Têxteis	5,05208	211,52	
Papel e derivados	0,89584	37,51	
Fertilizante N	0,76366	31,97	
Fertilizante P	1,75108	73,31	
Fertilizante K	0,32011	13,40	

Conversão:  $41.868 J g_{oil}^{-1}$  (IEA, 2011)

Todos os valores referentes ao trabalho de Biondi, Panaro e Pellizzi (1989), exceto \*Agostinho e Ortega (2012)

\*\*eletricidade dada em  $g J^{-1}$  e  $MJ J^{-1}$

### 5.3.4. Inventário de Emissões

Por meio da metodologia de Análise da Energia Incorporada é possível estimar emissões indiretas relativas às entradas avaliadas. Na proposta de Ulgiati, Raugei e Bargigli (2006) uma série de impactos é avaliada por meio das bases CML 2 *baseline* 2000 (GUINEÉ et al., 2002) e CORINAIR (2007), que estimam o potencial de degradação ambiental de emissões gasosas, líquidas e sólidas em termos de fatores de equivalência apropriados para cada categoria de impacto. Esses bancos de dados foram selecionados entre outros similares pela sua versatilidade e qualidade.

Algumas categorias de impacto que podem ser analisadas pelo método são:

- Potencial de aquecimento global: os valores são expressos em potencial de aquecimento global para 100 anos (GWP 100) e dados em gramas de dióxido de

carbono equivalente (g CO<sub>2</sub> eq.);

- Potencial de acidificação: o dióxido de enxofre foi escolhido como um gás ácido de referência e o impacto de outras emissões é computado por meio de fatores de equivalência baseados na acidez relativa. O potencial é expresso em g de SO<sub>2</sub> equivalente;
- Potencial de eutrofização, expresso em g de PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> equivalente;
- Potencial de oxidação fotoquímica do ozônio, expresso em g de etileno equivalente;
- Potencial de toxicidade humana, expresso em g de 1,4 diclorobenzeno equivalente.

Segundo o CORINAIR (2007), os dados de emissões gasosas referentes à combustão de óleo pesado em queimador industrial são os seguintes: 73,30 g CO<sub>2</sub> MJ<sup>-1</sup>; 5,00E-03 g CO MJ<sup>-1</sup>; 0,22 g NO<sub>x</sub> MJ<sup>-1</sup>; 0,15 g SO<sub>2</sub> MJ<sup>-1</sup>; 0,02 g PM<sub>10</sub> MJ<sup>-1</sup>; 6,00E-04 g N<sub>2</sub>O MJ<sup>-1</sup>; 3,00E-03 g CH<sub>4</sub> MJ<sup>-1</sup>. A Tabela 3 apresenta os potenciais de degradação ambiental de cada tipo de emissão gasosa.

Tabela 3. Potencial de degradação por tipo de emissão gasosa.

Gás	GWP 100 anos (g CO <sub>2</sub> eq)	Toxicidade humana (g 1,4 diclorobenzeno eq)	Oxidação fotoquímica (g etileno eq)	Acidificação (g SO <sub>2</sub> eq)	Eutrofização (g PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> eq)
CO <sub>2</sub>	1,00				
CO			0,27		
NO <sub>x</sub>		1,20	0,03	0,50	0,13
SO <sub>2</sub>		0,10	0,05	1,20	
PM <sub>10</sub>					
N <sub>2</sub> O	298,00				0,27
CH <sub>4</sub>	25,00		0,01		

Dentro da estrutura dessa abordagem, a possibilidade de atualizações dos fatores equivalentes específicos continua em aberto. Da mesma forma, é possível a inclusão de outras categorias de impacto para atender a exigências específicas do sistema analisado. No presente trabalho, serão calculados alguns impactos (vide Apêndice), no entanto, para fins de avaliação serão apresentados somente aqueles referentes ao potencial de aquecimento global (GWP 100 anos).

### 5.3.5. Pegada Ecológica

A metodologia convencional de Pegada Ecológica (WACKERNAGEL; REES, 1996) foi desenvolvida basicamente para cálculo de países. A unidade (o hectare global) é usada para

permitir a comparação entre as diferentes produtividades de cada tipo de categoria de terra considerado.

Da mesma forma que as metodologias anteriormente apresentadas, a Pegada Ecológica lança mão de fatores de conversão específicos para transformar os dados brutos em unidade de área: fatores de equivalência e de rendimento. Fatores de equivalência (Tabela 4) são usados para normalizar diferentes tipos de terra antes que os resultados (demanda por diferentes tipos de terra) possam ser agregados em um único número. Para documentar a produção ecológica disponível dentro de um país ou região, o número de hectares físicos de área biologicamente produtiva que existem em cada categoria é multiplicado pelo fator de rendimento, o que representa quanto o ecossistema de um país ou região difere em termos de produtividade da média mundial. Ao fazer essa conversão de hectares reais para hectares globais, tanto a quantidade como a qualidade da biomassa que pode ser gerada por um espaço de terra são consideradas: fatores de rendimento lidam com a quantidade, enquanto que os de equivalência se referem à qualidade da biomassa, sendo essa relacionada com a utilidade aos humanos. Portanto, de acordo com a metodologia da Pegada Ecológica, a qualidade da biomassa está direta e unicamente ligada ao consumo e a preferências humanas.

No presente trabalho, assumiu-se que a produtividade média dos diferentes tipos de terra do Brasil (incluindo o estado de São Paulo e o município de Campinas) é a mesma, ou seja, não será aplicado o fator de rendimento. Considera-se, por exemplo, que 1 hectare de plantação de cana-de-açúcar tem a mesma produtividade (cerca de 70 toneladas por hectare) seja ela localizada em qualquer parte do Brasil, no estado de São Paulo ou no município de Campinas, se for o caso. No entanto, será aplicado o fator de equivalência, com a finalidade de normalizar as diferentes categorias através de pesos diferentes: 1 hectare de área plantada com cultivos, tem uma produtividade distinta de 1 hectare utilizado para pastagem segundo convenções da metodologia (WACKERNAGEL; REES, 1996).

Assim sendo, para o cálculo da Pegada Ecológica do Brasil, do estado de São Paulo e do município de Campinas serão estimadas as seguintes áreas: cultivo, pastagem, floresta, pesca, urbana, e de sequestro de carbono. A Biocapacidade é dada pela extensão das áreas de cada tipo, enquanto o impacto é medido pelo consumo dos diferentes produtos referentes a cada tipo de área com atividades antrópicas.

A fim de se estimar a área de carbono equivalente ao impacto gerado pelo consumo de energia, utiliza-se a taxa de sequestro de CO<sub>2</sub> pelas florestas (0,178 ton CO<sub>2</sub> por hectare por ano, segundo Penman et al. (2003)). Maiores detalhes acerca das estimativas de sequestro global de CO<sub>2</sub> podem ser encontrados no Apêndice da tese. Por considerar essa categoria de impacto, a Pegada Ecológica pode ser vista como um método misto (“upstream” e “downstream”).

Tabela 4. Fatores de equivalência.

Categoria	Fator de equivalência (ha ha <sup>-1</sup> )
Cultivo	2,21
Pastagem	0,49
Marinha	0,36
Urbana*	2,21
Floresta	1,34

Fonte: Kitzes et al. (2007).

\*O fator de equivalência para a área urbana é considerado o mesmo que o de cultivo, pois segundo Wackernagel e Rees (1996), os grandes centros urbanos se originaram sobre as áreas mais férteis do planeta e, portanto, guardam grande potencial produtivo de cultivos.

#### 5.4. Interpretação dos resultados

A interpretação dos indicadores obtidos é o último passo da análise. A meta nesse caso é de que a comunicação dos resultados seja clara, inteligível e útil (teoricamente) para o tomador de decisão. Esta etapa deve ocorrer em interação com as fases anteriores, pois a interpretação dos resultados obtidos está diretamente ligada aos objetivos propostos no início da análise.

Os indicadores finais de cada sistema foram considerados nas discussões e conclusões deste trabalho, onde as comparações entre os sistemas foram realizadas por meio de duas abordagens: (i) comparação numérica simples considerando cada indicador separadamente, e (ii) de forma gráfica usando normalização dos dados.

Considerando que as cinco metodologias utilizadas fornecem muitos indicadores e que seria inviável mostrá-los de forma clara em um único gráfico, o analista pode selecionar determinados indicadores de acordo com sua experiência ou de acordo com os objetivos específicos do trabalho. Esta seleção é importante para permitir que os indicadores ajudem os tomadores de decisão ao invés de confundi-los com uma grande quantidade de números. Uma vez que os indicadores foram escolhidos, eles podem ser normalizados e diagramados de uma maneira que seus valores podem ser comparados contra um valor de referência, ou

simplesmente visualizados juntos, para fornecer uma visão geral do desempenho ambiental do sistema.

#### **5.4.1. Análise de sensibilidade**

Uma vez que os procedimentos de cálculo serão realizados no Microsoft Excel, é possível que a análise de sensibilidade seja realizada assumindo variações nos fluxos de -50 %, -40 %, ... , +40 %, +50 %, avaliando em que extensão afetam os resultados e indicadores finais. Essa variação pode ser aplicada de maneira independente às quantidades brutas de cada fluxo ou aos fatores de conversão utilizados, ou a ambos. Dessa forma, é possível contabilizar as incertezas das estimativas e os possíveis erros.

#### **5.4.2. Normalização dos indicadores**

Para apresentar resultados de uma forma comparativa, é muito útil criar tabelas, onde diferentes indicadores de impactos (intensidade de energia, potencial de aquecimento global, etc.) são listados em relação a diferentes grupos de dados (anos diferentes e sistemas diferentes).

Uma maneira clara de visualizar os diferentes indicadores provenientes da análise multicritério é por meio de gráficos. A fim de se comparar dados de magnitudes diferentes, procedimentos de normalização se fazem necessários.

Nesse trabalho, o processo de normalização considerado é baseado na abordagem do valor padrão, em que cada valor individual calculado é subtraído da média aritmética de todos os valores, e dividido pelo desvio padrão; a mesma abordagem foi utilizada por Ulgiati et al. (2011) na avaliação de combustíveis alternativos aos fósseis.

Devido ao grande número de indicadores fornecidos por uma análise multicritério, o analista pode selecionar alguns de acordo com sua experiência ou com os objetivos específicos do trabalho. Segundo Agostinho (2012), esta seleção é importante para permitir que os indicadores ajudem os tomadores de decisão ao invés de confundi-los com uma grande quantidade de números. Uma vez escolhidos, os indicadores podem ser normalizados e diagramados de maneira que seus valores sejam comparados com um valor de referência, ou simplesmente visualizados juntos para fornecer uma visão geral do desempenho energético-ambiental do sistema.



## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1. Avaliação Emergética

#### 6.1.1. Brasil

Além do estudo mais recente com dados de 2008, foram feitas revisões e atualizações dos estudos anteriores de 1981 (ODUM; BROWN; CHRISTIANSON, 1986), 1989 (COMAR, 1998), 1996 (COELHO et al., 2003), e 2000 (SWEENEY et al., 2007) para o caso do Brasil. Os trabalhos anteriores ao ano 2000 tiveram seus cálculos refeitos para a base global de  $15,83E+24$  seJ ano<sup>-1</sup> (ODUM, 2000).

Partiu-se do pressuposto de que a metodologia emergética mais utilizada e aceita atualmente é a descrita por Odum (1996), reforçada por Brown e Ulgiati (2004), e aplicada em trabalhos como Ascione et al. (2009) para o estudo de Roma e Zucaro (2010) para a análise da Itália. Por esse motivo, ela foi utilizada como o método base para as avaliações aplicadas aos estudos de caso. No item 6.1.1.3 é discutida uma proposta de modificação da metodologia e no ítem 6.1.1.4 é feita uma análise crítica de algumas estruturas da Avaliação Emergética. Buscou-se ainda uma padronização dos itens a serem considerados no balanço emergético, afim de que os resultados para os diversos anos possam ser comparados de forma mais refinada e coerente.

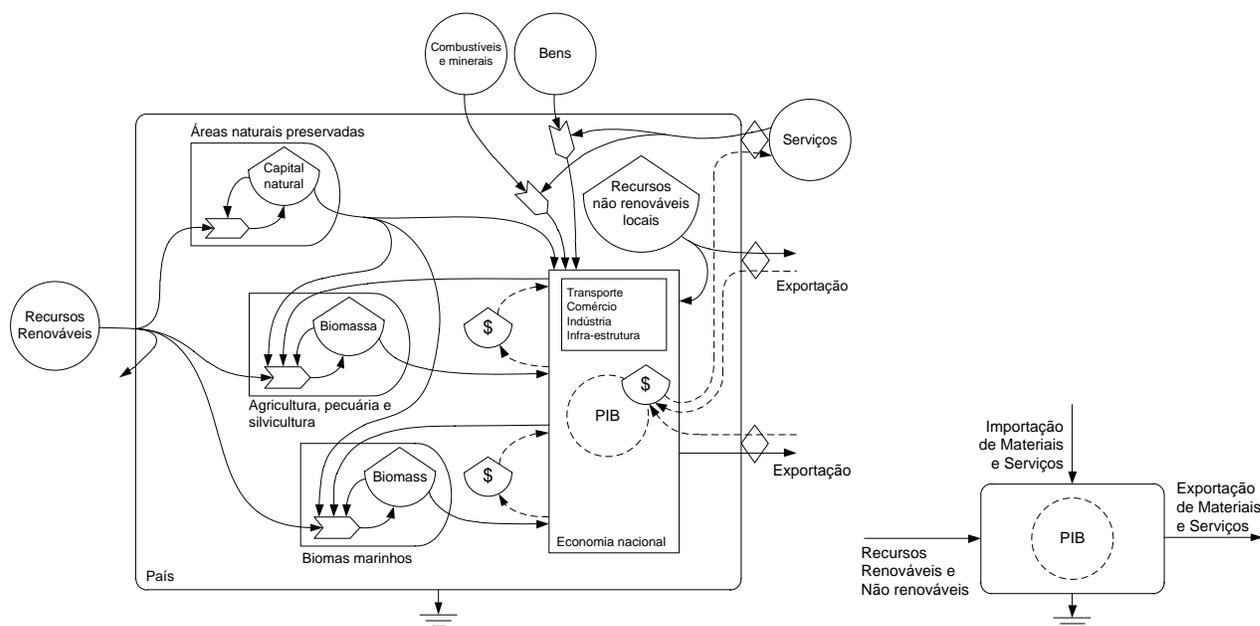


Figura 4. (4a) Diagrama sistêmico genérico de um país (BROWN; ULGIATI, 2004; ODUM, 1996).

(4b) Diagrama agregado de um país.

O diagrama sistêmico apresentado na Figura 4 mostra as contribuições ambientais não renováveis, entradas naturais renováveis, entradas da economia como serviços e bens adquiridos, e produtos exportados do sistema. Os produtos adquiridos são necessários para o funcionamento do sistema e incluem os serviços referentes ao trabalho humano, à energia não renovável e aos materiais trazidos para dentro do sistema (combustíveis, minerais, eletricidade, máquinas, fertilizantes, etc.). Após a elaboração do diagrama do país, todos os fluxos de massa e energia referentes à economia nacional e relevantes à Avaliação Emergética são reunidos e categorizados de acordo com a metodologia: fluxos renováveis e não renováveis localmente disponíveis, produtos, serviços e fluxos não renováveis importados. A Tabela 5 apresenta a Avaliação Emergética para o Brasil no ano de 2008. Observa-se que os itens referentes à floresta, à pesca e à água foram inseridos na categoria de não renováveis, pois se referem ao uso não sustentável de cada um deles: floresta representa a perda de florestas por mudança no uso do solo; pesca representa um valor de captura de peixes acima de um limite considerado sustentável para o país segundo a FAO (2005); e a água representa o consumo de água acima de um limite considerado sustentável pela FAO (2010).

Tabela 5. Avaliação Emergética do Brasil para o ano de 2008.

#	Itens	Unidade	Fluxo	UEV (seJ unidade <sup>-1</sup> )	Ref	Emergia (seJ ano <sup>-1</sup> )	% da U
Fontes renováveis locais						3,51E+24	47,57
1	Radiação solar	J	3,80E+22	1	[a]	3,80E+22	
2	Calor interno	J	1,59E+19	5,80E+04	[b]	9,22E+23	
3	Marés	J	1,10E+19	7,40E+04	[c]	8,14E+23	
4	Vento	J	1,20E+19	2,50E+03	[c]	3,00E+22	
5	Chuva, evapotranspiração e rios	J	8,56E+19	variável	-	2,70E+24	
6	Ondas	J	2,42E+18	5,10E+04	[a]	1,23E+23	
7	Correntes marinhas	J	3,70E+16	variável	-	6,86E+23	
Fontes não renováveis locais							
8	Perda de florestas	J	8,69E+18	5,86E+04	[a]	5,09E+23	6,90
9	Pesca acima do limite sustentável	g	1,07E+12	2,78E+11	[a]	2,97E+23	4,02
10	Extração não renovável de água	J	0,00E+00	2,80E+05	[d]	0,00E+00	0,00
11	Perda de solo: matéria orgânica	J	2,32E+18	1,24E+05	[e]	2,88E+23	3,90
12	Carvão	J	1,04E+17	6,71E+04	[f]	7,00E+21	0,09
13	Gás natural	J	8,96E+17	8,05E+04	[f]	7,21E+22	0,98
14	Petróleo	J	3,94E+18	9,06E+04	[f]	3,57E+23	4,84
15	Minerais	g	3,61E+14	variável	-	9,16E+23	12,41
16	Metais	g	1,02E+15	variável	-	1,96E+23	2,66
Importação							
17	Combustíveis	J	7,90E+18	variável	-	7,12E+23	9,65
18	Metais	g	6,59E+11	variável	-	5,85E+21	0,08
19	Minerais	g	9,40E+13	2,22E+09	[g]	2,09E+23	2,83
20	Agricultura	g	8,61E+12	variável	-	2,48E+22	0,34
21	Produtos animais	g	1,75E+12	variável	-	6,71E+22	0,91
22	Pesca	g	2,10E+11	2,78E+11	[a]	5,84E+22	0,79
23	Plásticos	g	1,01E+11	5,29E+09	[g]	5,34E+20	0,01
24	Químicos	g	1,40E+13	6,38E+09	[a]	8,93E+22	1,21
25	Maquinário e transporte	g	6,52E+11	1,10E+10	[h]	7,17E+21	0,10
26	Bens refinados	g	8,55E+11	2,69E+09	[g]	2,30E+21	0,03
27	Eletricidade	J	1,51E+17	3,36E+05	[c]	5,06E+22	0,69
Exportações*							
28	Combustíveis	J	1,53E+18	variável	-	1,51E+23	
29	Etanol	J	1,13E+17	1,45E+05	[i]	1,65E+22	
30	Metais	g	7,78E+12	variável	-	4,00E+22	
31	Minerais	g	2,82E+14	2,22E+09	[g]	6,26E+23	
32	Agricultura	g	5,57E+13	variável	-	3,34E+23	
33	Produtos animais	g	2,42E+12	variável	-	9,28E+22	
34	Pesca	g	5,82E+10	2,78E+11	[a]	1,62E+22	
35	Plásticos	g	3,20E+10	5,39E+09	[g]	1,69E+20	
36	Químicos	g	9,45E+11	6,38E+09	[a]	6,03E+21	
37	Maquinário e transporte	g	9,59E+11	1,10E+10	[h]	1,05E+22	
38	Bens refinados	g	2,58E+11	2,69E+09	[g]	6,93E+20	
39	Eletricidade	J	2,47E+15	3,36E+05	[i]	8,30E+20	
Serviços							
40	Importação	US\$	1,73E+11	2,25E+12	[j]	3,89E+23	5,01
41	Exportação*	US\$	1,98E+11	4,12E+12	[k]	8,16E+23	
42	Turismo de fora	US\$	5,80E+09	2,25E+12	[j]	1,30E+22	0,17
43	Turismo para fora*	US\$	1,10E+10	4,12E+12	[k]	4,53E+22	

[a] ODUM, 1996; [b] ODUM, 2000; [c] ODUM et al., 2000; [d] BUENFIL, 2001; [e] BARGIGLI; ULGIATI, 2003 [f] BROWN; ULGIATI, 2004; [g] BURANAKARN, 1998; [h] ODUM et al., 1987b; [i] ODUM; BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2002 [j] SWEENEY et al., 2007 modificado; [k] esse trabalho.

\* Não são contabilizados na emergia total usada U (ODUM, 1996).

Para efeito de cálculos, os valores do Produto Mundial Bruto e do Produto Interno Bruto do Brasil foram usados relativos à Paridade do Produto de Compra (Purchasing Power Parity ou PPP). O PIB e o PMB calculados em termos da PPP de cada moeda são relativos a um padrão selecionado (usualmente o dólar americano). O método PPP contabiliza o poder de compra efetivo de um consumidor médio dentro de uma economia nacional. O método é considerado um melhor indicador para comparar padrões de vida, seja ao longo do tempo ou países. O PIB PPP para países selecionados pode ser encontrado em: <http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2006/01/data/dbginim.cfm>.

Sweeney et al. (2007) calcularam o uso de energia para diversos países e chegaram a um valor global de  $1,61E+26$  seJ por ano. O Produto Mundial Bruto (PPP PMB) foi de US\$ 71,6 trilhões em 2008, logo a razão energia/dinheiro global estimada para esse trabalho foi de  $2,25E+12$  seJ por US\$ (energia global/PPP PMB). Para se calcular a razão energia/dinheiro para o Brasil em 2008, o PPP PIB usada foi de US\$ 1,98 trilhões (FMI, 2008), valor superior ao PIB nominal de US\$ 1,22 trilhões (IBGE, 2008).

#### **6.1.1.1. Análise de série histórica**

Após a obtenção dos resultados para o Brasil com dados de 2008, foi feita uma comparação com os trabalhos revisados e atualizados de Odum, Brown e Christianson (1986) para o ano de 1981, Comar (1998) para o ano de 1989, Coelho, Comar e Ortega (2003) para o ano de 1996, e Brown e Cohen (2006) para o ano 2000. Segundo Pereira et al. (2010), análises com séries históricas têm provado sua utilidade na captura de tendências do comportamento da economia de países. A Tabela 6 apresenta os fluxos de entrada no Brasil ao longo dos anos analisados. A Tabela 8 apresenta os fluxos obtidos pela Avaliação Emergética do Brasil com os dados de 1981, 1989, 1996, 2000 e 2008.

Tabela 6. Fluxos do Brasil para os anos de 1981, 1989, 1996, 2000 e 2008.

#	Items	Unid.	1981	1989	1996	2000	2008
Fontes renováveis locais							
1	Radiação solar	J	3,80E+22	3,80E+22	3,80E+22	3,80E+22	3,80E+22
2	Calor interno	J	1,59E+19	1,59E+19	1,59E+19	1,59E+19	1,59E+19
3	Marés	J	1,10E+19	1,10E+19	1,10E+19	1,10E+19	1,10E+19
4	Vento	J	1,20E+19	1,20E+19	1,20E+19	1,20E+19	1,20E+19
5	Chuva, evapotranspiração e rios	J	8,56E+19	8,56E+19	8,56E+19	8,56E+19	8,56E+19
6	Ondas	J	2,42E+18	2,42E+18	2,42E+18	2,42E+18	2,42E+18
7	Correntes marinhas	J	3,70E+16	3,70E+16	3,70E+16	3,70E+16	3,70E+16
Fontes não renováveis locais							
8	Perda de florestas	J	4,14E+16	4,14E+16	4,14E+16	4,14E+16	4,14E+16
9	Pesca acima do limite sustentável	g	8,00E+11	8,00E+11	8,00E+11	7,80E+11	1,07E+12
10	Extração não renovável de água	J	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
11	Perda de solo: matéria orgânica	J	4,32E+17	2,32E+18	2,32E+18	3,39E+18	9,02E+17
12	Carvão	J	1,40E+17	0,00E+00	0,00E+00	1,20E+17	1,04E+17
13	Gás natural	J	4,10E+16	2,87E+16	2,87E+16	2,79E+17	8,96E+17
14	Petróleo	J	3,60E+17	1,42E+18	1,42E+18	2,80E+18	3,94E+18
15	Minerais	g	5,97E+13	2,44E+14	2,44E+14	7,90E+13	3,61E+14
16	Metais	g	-	-	-	2,30E+14	1,02E+15
Importação							
17	Combustíveis	g	2,13E+18	1,87E+18	2,16E+18	2,26E+18	7,90E+18
18	Metais	g	1,12E+12	9,47E+11	3,27E+11	2,40E+12	6,59E+11
19	Minerais	g	5,52E+12	5,52E+12	5,52E+12	3,50E+12	9,40E+13
20	Agricultura	g	7,78E+12	4,91E+12	1,25E+13	2,10E+13	8,73E+12
21	Produtos animais	g	1,50E+11	4,82E+11	9,77E+11	7,20E+11	7,39E+11
22	Pesca	g	-	-	-	-	2,10E+11
23	Plásticos	g	2,35E+11	2,24E+11	2,94E+12	1,40E+12	1,01E+11
24	Químicos	g	8,04E+12	6,22E+12	1,26E+13	1,40E+13	1,40E+13
25	Maquinário e transporte	g	3,78E+11	2,80E+11	1,88E+12	US\$ 2,40E+10	6,52E+11
26	Bens refinados	g	8,17E+11	7,30E+11	3,38E+12	US\$ 3,70E+09	8,55E+11
27	Eletricidade	J	-	-	-	1,55E+17	1,51E+17
Exportações							
28	Combustíveis	g	5,76E+16	2,51E+17	1,29E+17	3,82E+17	1,65E+18
29	Etanol	J	-	-	-	5,40E+15	1,13E+17
30	Metais	g	2,67E+12	9,59E+12	1,39E+13	1,80E+13	7,78E+12
31	Minerais	g	1,39E+08	1,39E+14	1,39E+14	5,20E+13	2,82E+14
32	Agricultura	g	1,36E+13	1,48E+13	2,35E+13	4,20E+13	5,57E+13
33	Produtos animais	g	2,96E+11	4,20E+11	6,19E+11	1,30E+12	2,47E+12
34	Pesca	g	1,41E+11	5,13E+11	9,03E+11	1,20E+12	5,82E+10
35	Plásticos	g	4,17E+11	1,59E+12	2,84E+12	2,80E+12	3,20E+10
36	Químicos	g	7,11E+11	1,04E+12	1,68E+12	US\$ 1,50E+10	9,45E+11
37	Maquinário e transporte	g	2,79E+12	2,79E+12	6,61E+12	US\$ 4,60E+09	9,59E+11
38	Bens refinados	g	-	-	-	1,44E+13	2,58E+11
39	Eletricidade	J	-	-	-	-	2,47E+15
Serviços							
40	Importação	US\$	4,66E+09	5,63E+09	5,33E+10	5,58E+10	7,76E+10
41	Exportação	US\$	5,86E+09	8,75E+09	4,77E+10	5,51E+10	1,93E+11
42	Turismo de fora	US\$	-	-	-	4,20E+09	1,10E+10
43	Turismo para fora	US\$	-	-	-	1,81E+09	5,80E+09

Tabela 7. Fluxos de energia do Brasil calculados para os anos de 1981, 1989, 1996, 2000 e 2008.

#	Itens	Energia (seJ ano <sup>-1</sup> )				
		1981	1989	1996	2000	2008
Fontes renováveis locais						
1	Radiação solar	3,80E+22	3,80E+22	3,80E+22	3,80E+22	3,80E+22
2	Calor interno	9,22E+23	9,22E+23	9,22E+23	9,22E+23	9,22E+23
3	Marés	8,14E+23	8,14E+23	8,14E+23	8,14E+23	8,14E+23
4	Vento	3,00E+22	3,00E+22	3,00E+22	3,00E+22	3,00E+22
5	Chuva, evapotranspiração e rios	2,70E+24	2,70E+24	2,70E+24	2,70E+24	2,70E+24
6	Ondas	1,23E+23	1,23E+23	1,23E+23	1,23E+23	1,23E+23
7	Correntes marinhas	6,86E+23	6,86E+23	6,86E+23	6,86E+23	6,86E+23
Fontes não renováveis locais						
8	Perda de florestas	2,43E+21	2,43E+21	2,43E+21	2,43E+21	5,09E+23
9	Pesca acima do limite sustentável	2,22E+23	2,22E+23	2,22E+23	1,70E+22	2,97E+23
10	Extração não renovável de água	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
11	Perda de solo: matéria orgânica	5,36E+22	2,88E+23	2,88E+23	4,20E+23	2,88E+23
12	Carvão	9,38E+21	0,00E+00	0,00E+00	8,06E+21	7,00E+21
13	Gás natural	3,30E+21	2,31E+21	2,31E+21	2,24E+22	7,21E+22
14	Petróleo	3,26E+22	1,29E+23	1,29E+23	2,54E+23	3,57E+23
15	Minerais	1,33E+23	5,42E+23	5,42E+23	7,20E+23	9,16E+23
16	Metais	-	-	-	1,80E+23	1,96E+23
Importação						
17	Combustíveis	1,93E+23	1,70E+23	1,95E+23	1,97E+23	7,12E+23
18	Metais	4,75E+18	4,02E+18	1,39E+18	1,02E+19	5,85E+21
19	Minerais	1,23E+22	1,23E+22	1,23E+22	7,77E+21	2,09E+23
20	Agricultura	2,08E+18	1,31E+18	3,34E+18	3,10E+22	2,48E+22
21	Produtos animais	7,27E+21	2,34E+22	4,74E+22	1,50E+22	6,71E+22
22	Pesca	-	-	-	-	5,84E+22
23	Plásticos	1,25E+21	1,19E+21	1,56E+22	7,41E+21	5,34E+20
24	Químicos	5,13E+22	3,97E+22	8,04E+22	8,93E+22	8,93E+22
25	Maquinário e transporte	4,16E+21	3,08E+21	2,07E+22	6,24E+22	7,17E+21
26	Bens refinados	2,20E+21	1,96E+21	9,08E+21	9,62E+21	2,30E+21
27	Eletricidade	-	-	-	5,20E+22	5,06E+22
Exportação						
28	Combustíveis	5,22E+21	2,28E+22	1,17E+22	3,49E+22	1,51E+23
29	Etanol	-	-	-	7,02E+20	1,65E+22
30	Metais	1,13E+19	4,07E+19	5,91E+19	1,20E+22	4,00E+22
31	Minerais	3,09E+17	3,09E+23	3,09E+23	1,20E+23	6,26E+23
32	Agricultura	1,34E+23	1,46E+23	2,32E+23	1,20E+23	3,34E+23
33	Produtos animais	1,43E+22	2,04E+22	3,00E+22	1,20E+22	9,28E+22
34	Pesca	7,44E+20	2,72E+21	4,78E+21	1,80E+22	1,62E+22
35	Plásticos	2,66E+21	1,01E+22	1,82E+22	1,79E+22	1,69E+20
36	Químicos	7,82E+21	1,14E+22	1,85E+22	1,80E+23	6,03E+21
37	Maquinário e transporte	7,51E+21	7,51E+21	1,78E+22	5,52E+22	1,05E+22
38	Bens refinados	-	-	-	4,84E+18	6,93E+20
39	Eletricidade	-	-	-	-	8,30E+20
Serviços						
40	Importação	1,05E+22	1,27E+22	1,20E+23	1,53E+23	3,89E+23
41	Exportação	1,21E+23	1,15E+23	4,74E+23	7,78E+22	7,67E+23
42	Turismo de fora	-	-	-	4,71E+21	1,30E+22
43	Turismo para fora	-	-	-	7,78E+22	4,37E+22

A Tabela 8 apresenta indicadores demográficos, econômicos e energéticos para o Brasil nos mesmos anos apresentados na Tabela 7. Para facilitar a visualização das tendências e diferenças entre os anos, foi elaborado um gráfico apresentado na Figura 5.

Tabela 8. Indicadores demográficos, econômicos e emergéticos para o Brasil nos anos de 1981, 1989, 1996, 2000 e 2008.

Indicador	Unidade	1981	1989	1996	2000	2008
População <sup>A</sup>	mi pessoas	121,38	144,00	161,32	169,80	189,61
PIB PPP <sup>B</sup>	bi US\$	467,54	790,84	1.081,17	1.256,52	1.978,14
PIB PPP per capita	US\$ pessoa <sup>-1</sup>	3.760	5.446	6.701	7.400	9.355
Inflação <sup>B</sup>	%	101,7	1.430,7	16,0	6,0	4,4
R (fluxo renovável local)	seJ	3,51E+24	3,51E+24	3,51E+24	3,51E+24	3,51E+24
N (fluxo não renovável local)	seJ	4,71E+23	1,22E+24	1,23E+24	1,48E+24	2,69E+24
F (importação total)	seJ	2,72E+23	2,51E+23	3,81E+23	4,71E+23	1,23E+24
U (emergia usada total)	seJ	4,27E+24	5,00E+24	5,25E+24	5,62E+24	7,82E+24
Exportação total	seJ	1,72E+23	5,30E+23	6,42E+23	1,65E+24	1,28E+24
Energia per capita (U/população)	seJ pessoa <sup>-1</sup>	3,52E+16	3,47E+16	3,25E+16	3,31E+16	4,12E+16
Densidade emergética (U/área)	seJ m <sup>-2</sup>	4,99E+11	5,85E+11	6,14E+11	6,57E+11	9,15E+11
Renovabilidade (R/U)	%	82	70	67	63	45
Fração usada importada (F/U)	-	0,06	0,05	0,07	0,08	0,16
EMR (U/PIB PPP)	seJ US\$ <sup>-1</sup>	9,13E+12	6,33E+12	4,85E+12	4,47E+12	4,12E+12
EYR (U/F)	-	15,69	19,93	13,78	11,93	6,36
ELR ((N+F)/R)	-	0,21	0,42	0,46	0,56	1,12
EIR (F/(R+N))	-	0,07	0,05	0,08	0,09	0,20
ESI (EYR/ELR)	-	74,17	47,46	29,97	21,48	5,70
EER (imp/exp)	-	1,58	0,47	0,59	0,29	0,96

<sup>A</sup> Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2008).

<sup>B</sup> Fundo Monetário Internacional (FMI, 2008).

Na Figura 5 são apresentadas as variações de indicadores convencionais (população, PIB PPP e PIB PPP *per capita*) e emergéticos (Renovabilidade, EMR, ESI, 1/ELR) selecionados. O índice *Emergy Loading Ratio* (ELR) indica a carga ambiental imposta sobre o ambiente, por isso, para fins de visualização no gráfico, foi utilizado o valor 1/ELR, que indica uma situação oposta ao ELR. Por meio da Figura 5, é possível notar tendências de aumento para a população, para o PIB PPP e para o PIB PPP *per capita*. De maneira contrária, os indicadores selecionados fornecidos pela Avaliação Emergética apresentam tendências de queda, seguindo praticamente a mesma variação. Portanto, o gráfico da Figura 5 apresenta um indicativo de que o crescimento econômico e o desenvolvimento sustentável estão seguindo caminhos opostos.

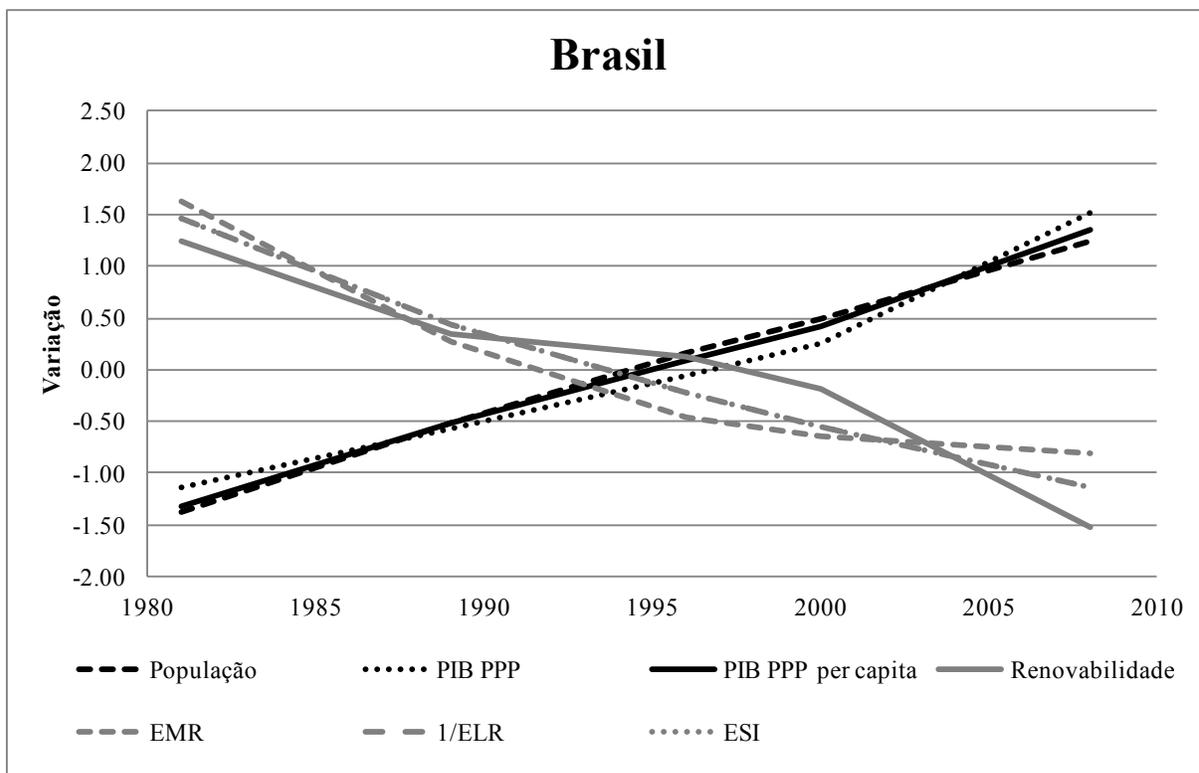


Figura 5. Gráfico da variação dos indicadores demográficos, econômicos e energéticos para a série histórica do Brasil (1981-2008).

### 6.1.1.2. Comparação entre Brasil e Itália

Além de analisar a tendência dos dados econômicos, demográficos e energéticos ao longo do tempo, os resultados obtidos para o Brasil foram comparados com os de um país com características sócio-econômico-ambientais distintas. Valendo-se do fato do autor desse trabalho ter realizado um período de intercâmbio na Universidade Parthenope de Napoli na Itália por meio do Programa de Suporte Alfa de Cooperação entre União Européia e América Latina (*Sustainable Use of Photosynthesis Products & Optimum Resource Transformation*) e, por conseguinte, da facilidade em obtenção dos dados referentes ao país, a Itália foi selecionada como caso de estudo para a comparação. Dessa forma, foi possível evidenciar as diferenças entre uma nação em desenvolvimento, cuja economia é baseada principalmente no setor agrícola e na exportação de matérias-primas e commodities (Brasil) e uma nação desenvolvida caracterizada pelos setores de manufatura industrial, turismo e serviços (Itália).

A comparação entre os dois países em termos de energia e indicadores convencionais de demografia e economia pode ajudar a refletir sobre as diferenças de padrão de vida e de trocas comerciais entre os países. Séries históricas foram usadas da literatura (CIALANI;

RUSSI; ULGIATI, 2005; COELHO et al., 2003; COMAR, 1998; LOMAS; CIALANI; ULGIATI, 2007; ODUM, 1986; PEREIRA et al., 2010; SWEENEY et al., 2007). Todos os trabalhos foram revisados e, quando necessário, a base global foi atualizada para 15,83E+24 seJ por ano (ODUM, 2000). Na Tabela 9 seguinte são mostrados alguns dados demográficos e econômicos bem como os indicadores emergéticos obtidos para os anos de 1984, 1989, 1991, 1995, 2000, 2002 e 2008 para o estudo da Itália.

Tabela 9. Indicadores demográficos, econômicos e emergéticos para a Itália nos anos de 1984, 1989, 1991, 1995, 2000, 2002 e 2008.

Indicadores	Unidade	1984	1989	1991	1995	2000	2002	2008
População	mi pessoas	56,64	56,70	56,76	57,33	57,84	57,32	60,05
PIB PPP	bi US\$	700,78	946,06	1.051,45	1.204,88	1.438,57	1.451,08	1.814,56
PIB PPP per capita	US\$ pessoa <sup>-1</sup>	12.381	16.672	18.544	21.015	24.869	25.460	30.686
Inflação	%	10,9	6,3	6,2	5,4	2,6	2,6	2,1
R (fluxo renovável local)	seJ	2,03E+23	2,02E+23	2,02E+23	2,03E+23	2,03E+23	2,02E+23	2,02E+23
N (fluxo não renovável local)	seJ	5,03E+23	5,98E+23	8,41E+23	8,01E+23	7,41E+23	5,77E+23	7,60E+23
F (importação total)	seJ	8,99E+23	1,32E+24	1,37E+24	1,69E+24	2,47E+24	2,27E+24	2,41E+24
U (emergia usada total)	seJ	1,60E+24	2,12E+24	2,41E+24	2,70E+24	3,42E+24	3,05E+24	3,37E+24
Exportação	seJ	3,95E+23	5,23E+23	5,17E+23	7,64E+23	1,40E+24	1,46E+24	1,51E+24
Emergia per capita (U/população)	seJ pessoa <sup>-1</sup>	2,83E+16	3,74E+16	4,25E+16	4,70E+16	5,91E+16	5,32E+16	5,62E+16
Densidade emergética (U/área)	seJ m <sup>-2</sup>	5,33E+12	7,04E+12	7,70E+12	8,57E+12	1,14E+13	1,01E+13	1,12E+13
Renovabilidade (R/U)	%	13	10	9	8	6	7	6
Fração usada importada (F/U)		0,56	0,62	0,59	0,66	0,72	0,74	0,71
EMR (U/PIB PPP)	seJ US\$ <sup>-1</sup>	2,29E+12	2,24E+12	2,29E+12	2,24E+12	2,38E+12	2,10E+12	1,86E+12
EYR (U/F)		1,78	1,61	1,76	1,59	1,38	1,34	1,40
ELR ((N+F)/R)		6,91	9,47	10,46	11,72	15,85	14,10	15,68
EIR (F/(R+N))		1,27	1,65	1,31	1,69	2,62	2,92	2,51
ESI (EYR/ELR)		0,26	0,17	0,17	0,14	0,09	0,10	0,09
EER (imp/exp)		2,27	2,53	2,64	2,22	1,77	1,56	1,60

Por meio da Figura 6, é possível notar um comportamento diferente dos indicadores com relação ao caso do Brasil apresentado na Figura 5. Os indicadores convencionais demográficos e econômicos obtidos para o caso italiano, apresentam um comportamento mais irregular com quedas e subidas. Pela Tabela 9, é possível observar que a população na Itália se mantém praticamente constante até 2002 quando há um salto de 57 para 60 milhões em 2008, o que se reflete no gráfico. O mesmo pode ser observado para o PIB do país. No caso dos indicadores emergéticos, percebe-se que a tendência de queda não é tão clara e constante como na Figura 5.

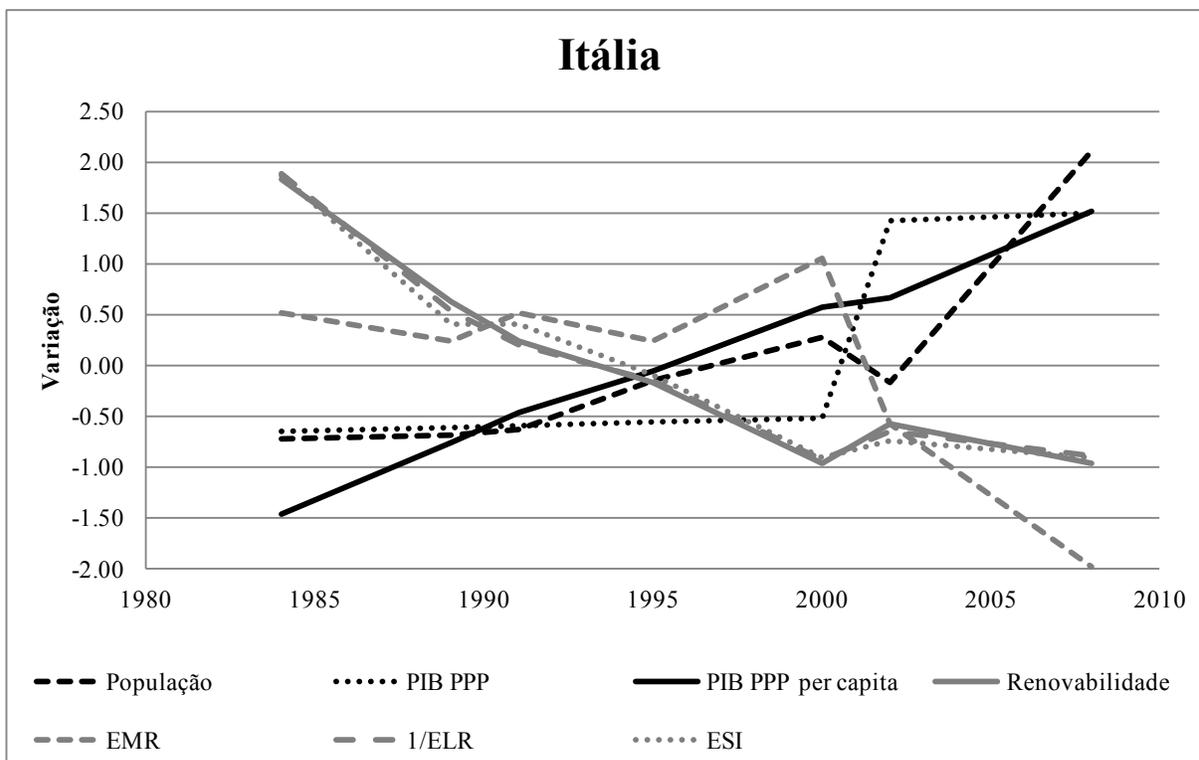


Figura 6. Gráfico da variação dos indicadores demográficos, econômicos e energéticos para a série histórica da Itália (1981-2008).

De uma maneira geral, analisando as séries históricas apresentadas nas Tabelas 9 e 10, observa-se que o Brasil apresenta tendências de mudanças grandes tanto nos indicadores convencionais, quanto nos que se referem ao desempenho ambiental. As diferenças observadas entre Brasil e Itália apresentadas também nas Figuras 5 e 6, denotam que os países se encontram em estágios diferentes de crescimento ou mesmo que adotaram modelos de crescimento distintos.

Se por um lado essas mudanças podem trazer benefícios econômicos e sociais aos países em desenvolvimento, como redução das taxas de desemprego e de juros, e aumento da renda per capita e do poder aquisitivo, por outro podem trazer associados ao desenvolvimento econômico problemas ambientais. O elevado crescimento e políticas públicas inadequadas podem levar à degradação dos recursos naturais locais, aumento das emissões antrópicas de resíduos, redução das áreas preservadas, etc.

O crescimento ou estabilidade populacional afetam os índices *per capita* assim como os índices indiretamente ligados à dinâmica de populações (PIB per capita, energia total per capita, etc.). A Figura 7 mostra o crescimento populacional na Itália e no Brasil de 1984 a 2008. Como pode ser observado, o número de habitantes ainda cresce no Brasil, enquanto na Itália ele atingiu um nível constante. Durante o período investigado a população brasileira cresceu mais de 45%, comparado a um crescimento de apenas 4% da italiana. De acordo com o IBGE (2008), apesar da taxa de crescimento populacional no Brasil ainda ser maior do que a de países desenvolvidos, a previsão é de uma desaceleração nos próximos anos. Segundo projeções, a taxa de crescimento cairá para 0,25% em 2050 e finalmente para zero em 2062, quando a população começará a decrescer.

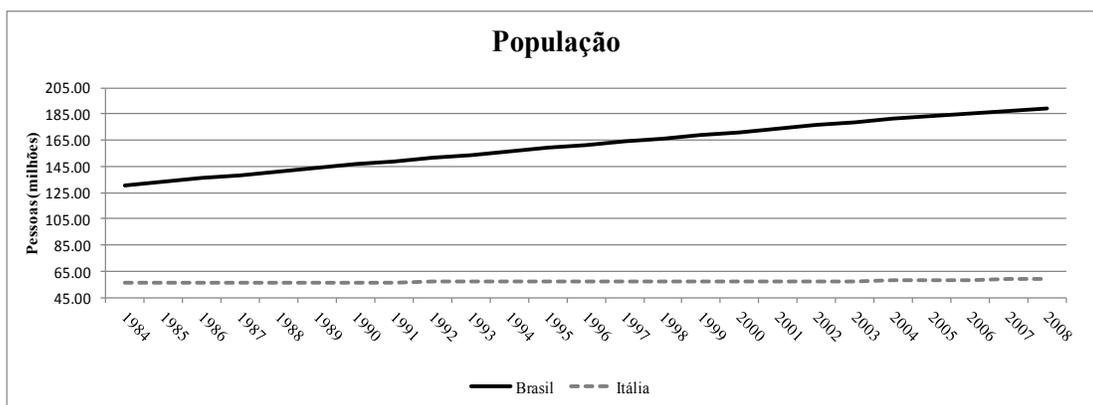


Figura 7. Crescimento da população do Brasil e da Itália (1984-2008).

O Produto Interno Bruto é uma medida da atividade econômica doméstica total. A inflação afeta o PIB, fazendo com que ele cresça mesmo na falta de um incremento real da economia nacional. De acordo com Lomas et al. (2007), calcular indicadores baseados em energia envolvendo o PIB sem considerar como a sua dinâmica é afetada pela inflação pode torná-los não confiáveis e não comparáveis. A inflação afeta o real sentido do PIB (Figura 8) e do PIB per capita (Figura 9). Como consequência, ela também afeta os valores e o sentido da razão energia/dinheiro (Figura 10) e as taxas de intercâmbio energético (Figura 16). A única forma de entender e comparar indicadores baseados na energia é deixar claro as ligações entre o PIB e a inflação ao longo dos anos. A questão é se maiores PIBs per capita realmente indicam um ganho no poder de compra. Por essa razão, o uso do PIB PPP (PIB baseado na Paridade do Poder de Compra) pode ser mais apropriado.

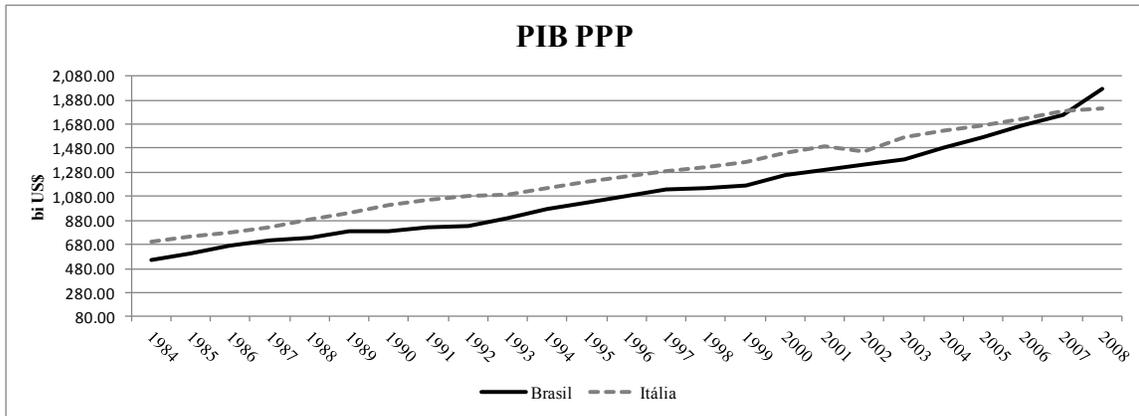


Figura 8. PIB PPP do Brasil e da Itália (1984-2008).

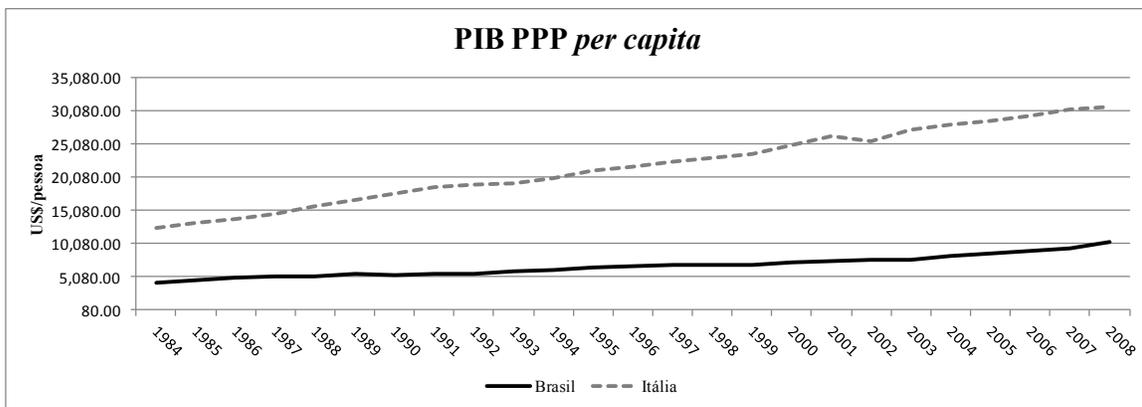


Figura 9. PIB PPP per capita do Brasil e da Itália (1984-2008).

As Figuras 8 e 9 mostram que o PIB PPP e o PIB PPP per capita cresceram para ambos os países nos anos selecionados. O Brasil teve um aumento grande no PIB PPP nos últimos anos ultrapassando a Itália em 2008. Apesar disso, a renda per capita brasileira ainda é baixa devido à grande população. A Figura 10 mostra uma queda nas taxas de energia/dinheiro para ambos os países, uma vez que a energia não segue a mesma tendência de crescimento do PIB.

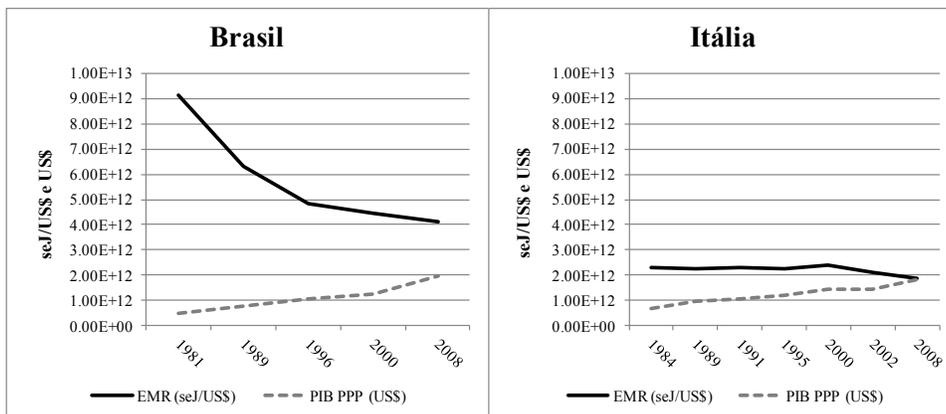


Figura 10. Razão energia por dinheiro (EMR) e PIB PPP para Brasil e Itália.

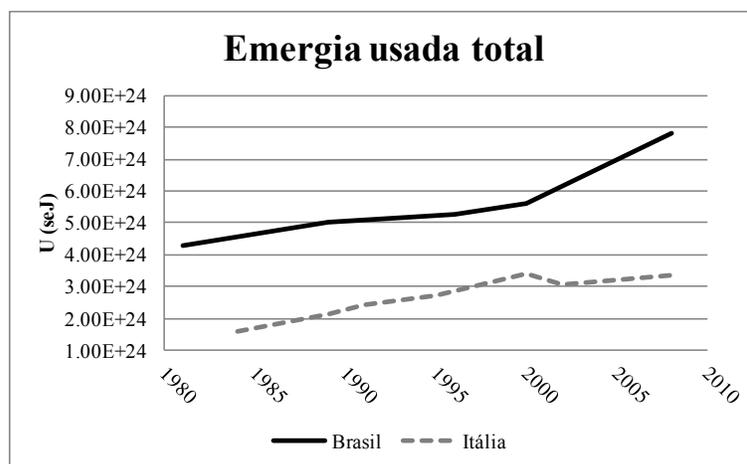


Figura 11. Energia usada total no Brasil e na Itália.

O total de energia fornece uma medida do tamanho real da economia desse país (Figura 11). A energia total usada no Brasil foi 4,27E+24 seJ em 1981, 5,00E+24 seJ em 1989, 5,25E+24 em 1996, 5,62E+24 em 2000, e 7,82E+24 seJ em 2008 mostrando uma tendência de aumento no período investigado. A mesma tendência é observada para a Itália, apesar de ocorrerem pequenas flutuações nos últimos anos. Em 2008, a Itália teve uma energia total de 3,37E+24 seJ, cerca de 50 % menor do que do Brasil. Ao analisar a Figura 12, verifica-se que no caso da energia per capita, a situação é inversa, com o Brasil apresentando valores muito menores do que da Itália. Além de valores menores, o uso de energia no Brasil apresenta uma tendência de queda até 2008, quando começa a crescer, devido ao fato da energia usada ter crescido a uma taxa maior do que a população. A Itália ainda apresenta uma tendência de aumento durante o período investigado. Isso pode ser explicado pelos efeitos combinados de diferentes padrões de crescimento populacional e de estilos de vida nos dois países assim como maiores benefícios comerciais para a Itália.

A densidade energética (seJ por metro quadrado) apresentada na Figura 13 mostra a concentração do uso da energia, o que funciona como um indicador útil da intensidade das atividades desenvolvidas no país, ou indicar a terra como um fator limitante. A densidade energética brasileira é baixa e constante se comparada com os valores da Itália. A baixa densidade no Brasil pode ser explicada pelo grande espaço de terra disponível, mas o termo “disponível” não deve ser mal interpretado. Essa terra não está disponível para qualquer uso, mas já é um espaço sendo utilizado para manter a economia brasileira atualmente, ou seja, colaborando para o aumento da capacidade de suporte. Converter essa terra para uso

econômico aumentaria o PIB e diminuiria a capacidade de suporte e a sustentabilidade. No caso italiano, apesar da energia total ser praticamente metade do valor para o Brasil em 2008, a área do país europeu é de apenas 300.000 km<sup>2</sup>, ou seja, 3,5 % da área do território brasileiro, o que resulta em uma densidade energética muito superior àquela encontrada para o estudo do Brasil, como apresentado na Figura 13.

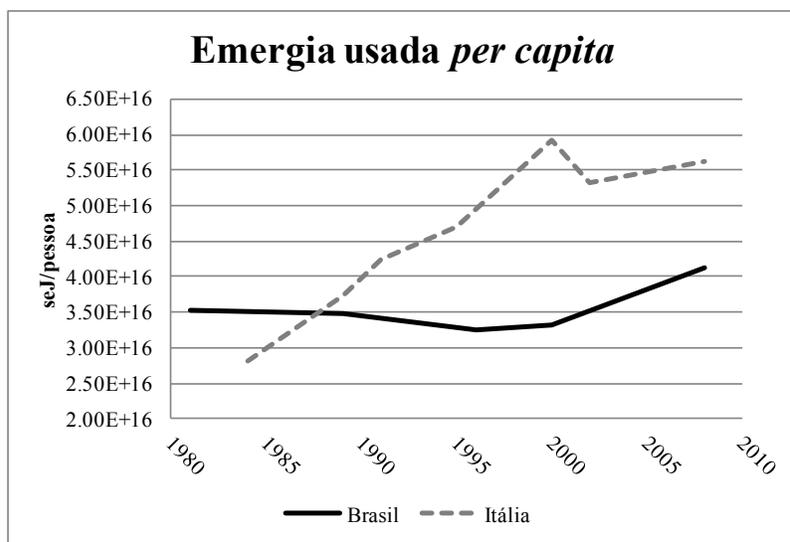


Figura 12. Energia usada per capita no Brasil e na Itália.

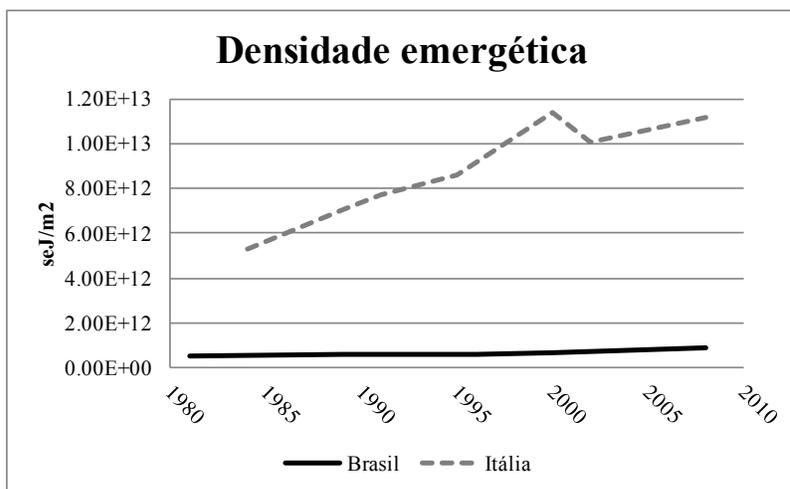


Figura 13. Densidade energética no Brasil e na Itália.

A análise da Figura 14 evidencia que o Brasil é muito menos dependente de recursos econômicos importados (menor F/U) do que a Itália. Outro aspecto importante é que o Brasil utiliza mais recursos locais renováveis do que a Itália em relação à energia total do país

(maior R/U), o que também pode ser explicado pelo fato do Brasil ainda ter disponibilidade de recursos não renováveis locais (N).

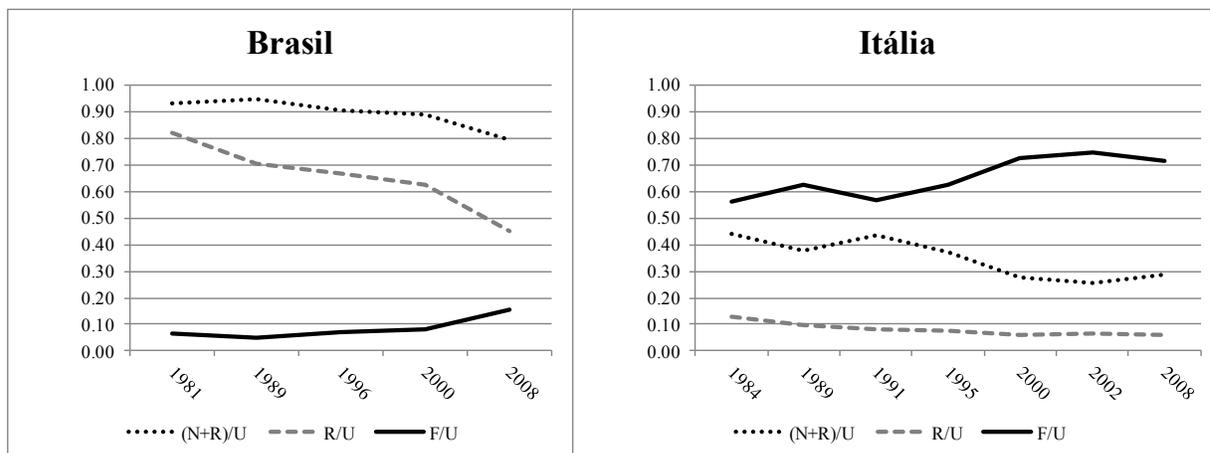


Figura 14. Fluxos de energia no Brasil e na Itália.

A Figura 15 mostra uma comparação entre os principais indicadores emergéticos calculados para o Brasil e Itália. A taxa de rendimento emergético ( $EYR = U/F = (R+N+F)/F$ ) é uma medida da habilidade do processo de explorar e fazer com que os recursos locais estejam disponíveis, investindo recursos externos. O menor valor possível é 1, por definição. Por essa razão, os valores decrescentes do indicador ao longo do tempo para os dois países indicam sistemas que realizam mais processos de conversão de recursos importados, do que processos de prospecção de recursos novos. A razão de carga ambiental ( $ELR = (N+F)/R$ ) calculada para o sistema italiano é muito alta (15,68 em 2008), indicando uma grande dependência de recursos não renováveis. Por outro lado, o baixo valor de ELR para o Brasil (1,12 em 2008) indica uma grande dependência de recursos renováveis. Os dois parâmetros combinados fornecem o Índice de Sustentabilidade Emergética ( $ESI = EYR/ELR$ ), que é uma medida do potencial de exploração de recursos locais por unidade de carga imposta ao sistema local. O ESI para o sistema italiano vem decrescendo ininterruptamente em mais de 45 % (0,09 em 2008). A mesma tendência de decrescimento é observada para o Brasil, porém o valor absoluto é muito maior.

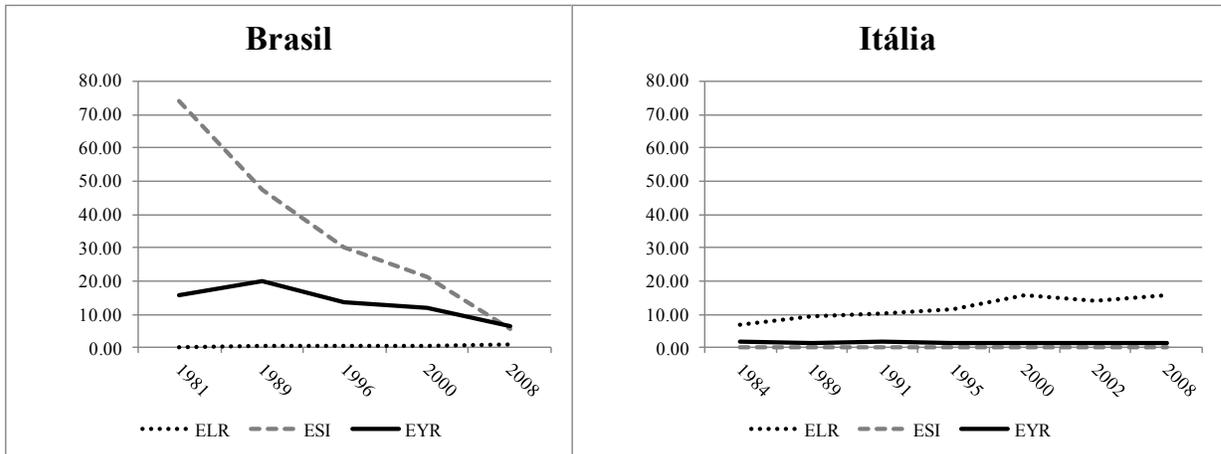


Figura 15. Indicadores energéticos do Brasil e da Itália.

“Termos de troca” é definido pela economia convencional como a relação entre o valor recebido pelas exportações e a quantidade de importados que um país é capaz de adquirir com aquele valor, ou seja, é a razão entre “o valor econômico total das exportações pelo valor econômico total das importações”. Essa razão pode ser útil para mostrar o nível de dependência econômica de produtos importados, mas não mostra na realidade a quantidade (energia ou massa) ou qualidade comercializada, uma vez que o preço é altamente influenciado por taxas de inflação, impostos, tecnologia, poder de compra da moeda de um país, ou mesmo pela subjetividade na definição do valor de um produto seja pela marca, pela demanda ou livre arbítrio do vendendor.

De acordo com Lomas et al. (2007), uma vez que o dinheiro só paga pelo trabalho humano e pelos seus serviços, é altamente incerto que o preço de mercado leve em conta as “importações escondidas” incorporadas nos produtos. Por outro lado, a Avaliação Emergética fornece uma definição alternativa para “termos de troca”, pois a energia associada à troca do recurso é comparada com a energia associada ao dinheiro recebido.

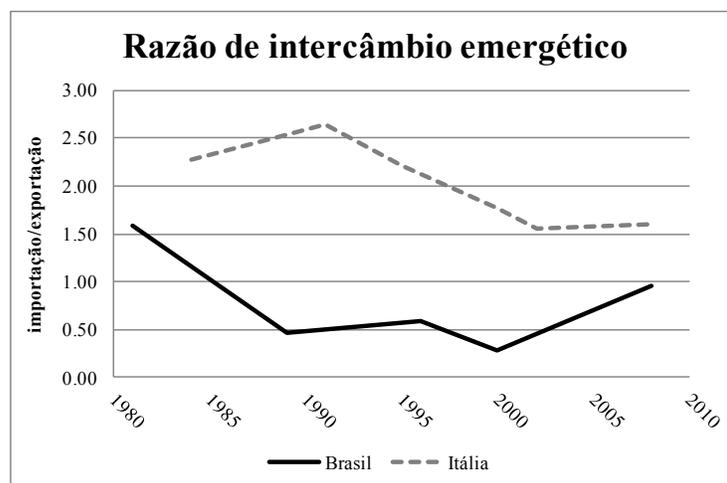


Figura 16. Taxa de intercâmbio energético para Brasil e Itália.

A Figura 16 mostra que a Itália é muito mais dependente de recursos importados em termos de energia do que o Brasil, apesar de haver uma tendência de redução no caso italiano. O Brasil vem importando cada vez mais em termos de quantidade e valor agregado, logo há uma tendência recente de aumento da razão importação/exportação desde o ano 2000. A fim de se obter um entendimento mais profundo das diferenças econômicas entre os dois países, uma comparação foi realizada envolvendo as trocas comerciais relativas ao ano mais recente de estudo. A Tabela 10 mostra o valor econômico, a quantidade e os fluxos de energia com e sem os serviços humanos associados aos produtos selecionados comercializados entre os países.

De acordo com a Tabela 10, o Brasil exportou uma quantidade total de 15 milhões de toneladas para a Itália, e importou apenas cerca de 800 mil toneladas em 2008. Apesar da quantidade total de produtos exportados pelo Brasil ser muito maior do que a importada, o valor monetário é quase o mesmo: US\$ 4,77 bilhões e US\$ 4,61 bilhões respectivamente, portanto em termos de troca econômica simples a relação importação/exportação é próxima de um.

A aplicação do método energético para produtos comercializados na Tabela 10 mostra uma perspectiva diferente no balanço das trocas comerciais. O Brasil exportou  $6,06E+22$  seJ ( $4,97E+22$  seJ sem incluir os serviços humanos) para a Itália e recebeu em troca apenas (pelo mesmo valor econômico)  $2,09E+21$  seJ ( $7,83E+20$  seJ sem incluir os serviços humanos) em 2008. Isso significa que o Brasil investiu entre  $1,80E+13$  seJ (sem incluir os serviços

humanos) e  $2,20E+13$  seJ (incluindo os serviços humanos) para gerar um ganho de US\$ 1. Em contrapartida, a Itália investiu entre  $1,12E+12$  seJ e  $2,98E+12$  seJ para receber o mesmo valor. Em termos de energia contabilizando todas as contribuições da natureza e da economia humana, a Itália precisa investir cerca de um décimo daquilo que investe o Brasil para gerar o mesmo ganho monetário.

Tabela 10. Produtos selecionados do comércio entre Brasil e Itália em 2008.

Produtos	Quantidade (g)	Valor (US\$)	UEV <sup>A</sup> (seJ g <sup>-1</sup> )	Ref	Energia sem L&S (seJ ano <sup>-1</sup> )	Energia dos L&S <sup>B</sup> (seJ ano <sup>-1</sup> )	Energia com L&S (seJ ano <sup>-1</sup> )
<b>Brasil para Itália</b>							
Soja	1,13E+12	4,77E+08	9,87E+09	[a]	1,12E+22	1,88E+21	1,31E+22
Café em grãos (não tostado)	1,73E+11	4,77E+08	2,57E+10	[b]	4,45E+21	1,88E+21	6,33E+21
Madeira	7,45E+11	4,15E+08	6,79E+08	[c]	5,06E+20	1,64E+21	2,15E+21
Minério de ferro aglomerado	4,10E+12	3,79E+08	2,22E+09	[d]	9,09E+21	1,50E+21	1,06E+22
Minério de ferro não aglomerado	6,68E+12	3,13E+08	2,22E+09	[d]	1,48E+22	1,24E+21	1,60E+22
Couro	1,98E+10	2,06E+08	2,42E+11	[e]	4,80E+21	8,14E+20	5,61E+21
Catodos de cobre refinado	2,28E+10	1,59E+08	3,36E+09	[f]	7,66E+19	6,28E+20	7,05E+20
Bagaço da ext. do óleo de soja	3,73E+11	1,39E+08	1,97E+08	[g]	7,33E+19	5,49E+20	6,22E+20
Calçados	2,72E+09	1,21E+08	7,22E+09	[h]	1,96E+19	4,78E+20	4,98E+20
Grãos de milho	3,21E+11	7,22E+07	1,45E+10	[a]	4,66E+21	2,85E+20	4,95E+21
<b>Total de produtos selecionados</b>	<b>1,36E+13</b>	<b>2,76E+09</b>			<b>4,97E+22</b>	<b>1,09E+22</b>	<b>6,06E+22</b>
<b>Total de todos os produtos<sup>C</sup></b>	<b>1,50E+13</b>	<b>4,77E+09</b>					
<b>Itália para Brasil</b>							
Partes de tratores e veículos	1,48E+10	1,36E+08	4,65E+09	[i]	6,89E+19	2,53E+20	3,22E+20
Lubrificantes sem aditivos	8,25E+10	1,00E+08	3,38E+09	[j]	2,79E+20	1,86E+20	4,65E+20
Partes de chassis de veículos	1,32E+10	9,41E+07	4,65E+09	[i]	6,14E+19	1,75E+20	2,36E+20
Partes de máq. de terraplanagem	1,94E+10	7,74E+07	4,65E+09	[i]	9,03E+19	1,44E+20	2,34E+20
Câmbio para veículos	4,05E+09	6,72E+07	4,65E+09	[i]	1,88E+19	1,25E+20	1,44E+20
Beta interferon (medicamento)	3,65E+06	5,59E+07	4,25E+10	[k]	1,55E+17	1,04E+20	1,04E+20
Naftas para petroquímicas	5,35E+10	4,54E+07	4,65E+09	[l]	2,49E+20	8,44E+19	3,33E+20
Maquinário para embalagem	8,71E+08	4,27E+07	4,65E+09	[i]	4,05E+18	7,94E+19	8,35E+19
Outros maquinários	1,87E+09	4,20E+07	4,65E+09	[i]	8,70E+18	7,81E+19	8,68E+19
Drogas farmacêuticas	7,25E+07	4,15E+07	4,25E+10	[k]	3,08E+18	7,72E+19	8,03E+19
<b>Total de produtos selecionados</b>	<b>1,90E+11</b>	<b>7,02E+08</b>			<b>7,83E+20</b>	<b>1,31E+21</b>	<b>2,09E+21</b>
<b>Total de todos os produtos<sup>C</sup></b>	<b>8,03E+11</b>	<b>4,61E+09</b>					
<b>Relação valor monetário da exportação/importação do Brasil de todos os produtos = US\$ 4,77E+09 / US\$ 4,61E+09 = 1,03</b>							
<b>Relação energia exportada/energia importada do Brasil para produtos selecionados sem L&amp;S = 4,97E+22 seJ / 7,83E+20 seJ = 63,47</b>							
<b>Relação energia exportada/energia importada do Brasil para produtos selecionados com L&amp;S = 6,06E+22 seJ / 2,09E+21 seJ = 29,01</b>							

Fonte: Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio (MDIC, 2008).

<sup>A</sup> Unit Energy Value (fator de intensidade emergética ou transformidade). Todos os valores foram atualizados para a base global de  $15,83E+24$  seJ ano<sup>-1</sup> e não incluem os serviços humanos (L&S).

<sup>B</sup> Energia dos serviços humanos (L&S) estimada usando a razão energia/dinheiro calculada nesse trabalho para o Brasil e a Itália. No caso de um produto exportado do Brasil para a Itália, utilizamos a razão energia/dinheiro do Brasil calculada para 2008 ( $3,95E+12$  seJ US\$<sup>-1</sup>). No caso de um produto italiano enviado ao Brasil, utilizamos a razão energia/dinheiro da Itália calculada para o ano de 2008 ( $1,86E+12$  seJ US\$<sup>-1</sup>).

<sup>C</sup> inclui todos os produtos comercializados, não apenas os selecionados.

Referências: [a] BRANDT-WILLIAMS, 2002; [b] GUILLÉN, 2003 (valor de  $1,54E+06$  seJ J<sup>-1</sup> =  $1,54E+06$  seJ J<sup>-1</sup> x  $4,0$  kcal g<sup>-1</sup> x  $4186$  J kcal<sup>-1</sup> =  $2,57E+10$  seJ g<sup>-1</sup>); [c] BASTIANONI et al., 2001; [d] BURANAKARN, 1998 (estimado como minério de ferro); [e] ODUM et al., 1987a (valor de  $1,44E+07$  seJ J<sup>-1</sup> =  $1,44E+07$  seJ J<sup>-1</sup> x  $4,0$  kcal g<sup>-1</sup> x  $4186$  J kcal<sup>-1</sup> =  $2,42E+11$  seJ g<sup>-1</sup>); [f] LAPP, 1991; [g] ODUM; ODUM, 1983; [h] ODUM et al., 1987b (estimado como borracha); [i] HAUKOOS, 1995 (estimado como produtos de aço); [j] ODUM, 1996 (estimado como petróleo cru); [k] ODUM et al., 2000 (estimado como fertilizante); [l] HAUKOSS, 1995.

Ao analisar essa troca em termos de valor monetário, pode-se considerá-la como uma “troca justa” (exportação/importação no Brasil = 1,03). Considerando-se a quantidade (massa) comercializada, fica claro que o Brasil exporta dez vezes mais produtos do que importa da Itália. Isso se deve ao fato das exportações brasileiras serem baseadas em commodities que são comercializadas sem diferenciação qualitativa no mercado. Observando-se os fluxos de energia dos produtos selecionados, nota-se uma grande disparidade na troca: energia da exportação/energia da importação no Brasil = 63,47 (sem incluir serviços humanos) ou 29,01 (incluindo serviços humanos). Uma vez que o valor monetário das trocas entre Brasil e Itália é quase o mesmo, isso sugere que há um ganho quase trinta vezes maior da Itália em relação ao Brasil nas trocas comerciais, e que a economia italiana é muito mais dependente dos recursos brasileiros do que indicam os fluxos monetários.

Outro ponto interessante a ser observado é que a energia relativa aos serviços humanos (L&S ou *labor and services*), apresentados como uma coluna específica na Tabela 10 é muito mais relevante à energia total de um item, se aquele produto em questão é industrializado ou manufaturado. Tomando o beta interferon (medicamento para tratamento de esclerose múltipla) como exemplo, a energia sem incluir os serviços humanos é  $1,55E+17$  seJ, enquanto que a energia somente dos serviços humanos associados ao produto é  $1,04E+20$  seJ. A maior parte dos produtos selecionados comercializados da Itália para o Brasil são considerados manufaturados, o que pode nos levar a três interpretações distintas: ou a Itália gasta uma grande quantidade de energia para produzir aquele produto, ou está sobretaxando o produto químico, ou o fator de intensidade energética utilizada neste caso está equivocado. Por outro lado, como já mencionado, os produtos brasileiros exportados para a Itália são considerados em sua maioria básicos ou semimanufaturados, logo a energia relativa aos serviços humanos nesses casos não é tão relevante para a energia total do produto.

### **6.1.1.3. A questão dos serviços humanos e uma proposta de um cálculo alternativo**

Ao se realizar um balanço nacional sob a perspectiva da metodologia energética, deve-se destacar que além das trocas de produtos, todas as transações financeiras que cruzam as fronteiras devem ser contabilizadas. Odum (1996) afirma que esses fluxos são o dinheiro referente ao saldo de despesas de turistas no exterior e de visitantes no país, às transações financeiras dos imigrantes e dos emigrantes, aos empréstimos e investimentos externos e

internos mais o pagamento de juros, aos programas de ajuda financeira, ao pagamento de operações militares, a compras de empresas, e movimentações monetárias feitas por empresas multinacionais.

Produtos adquiridos fora e levados para dentro de um país devem ter duas componentes, cada qual deve ser avaliada: (i) a energia contabilizada em função das unidades físicas, como energia e massa (à qual denominou-se "energia básica" nesse trabalho); (ii) toda energia relativa aos investimentos (serviços humanos) em atividades de mineração, processamento, transporte, etc. No entanto, de acordo com Odum (1996), se o fator de intensidade emergética usado para calcular o fluxo de energia já incluir os serviços humanos, seria uma dupla contagem avaliar os serviços de forma separada.

Atualmente, os fluxos de energia relacionados aos valores básicos dos produtos são calculados usando fatores de intensidade que não incluem os serviços humanos. Convencionalmente, os serviços humanos são estimados por meio do valor de mercado dos produtos (refletiriam os gastos com todos os recursos usados nos processos para disponibilizá-los) convertidos a fluxos de energia pela EMR.

Apesar de ser uma solução para a falta de um banco de dados completo e confiável de fatores de intensidade, essa forma de cálculo separado impossibilita a visualização do real fluxo de energia associado a cada tipo de produto. A categoria "serviços" é apresentada de forma isolada na tabela de avaliação emergética, enquanto os fluxos relativos aos produtos discriminados na mesma tabela refletiriam apenas a componente básica. Além disso, estudos recentes mostram uma grande importância da categoria "serviços" para avaliações emergéticas: Ascione et al. (2009) mostram 98,4 % de energia importada em relação ao total usado na cidade de Roma na Itália, na qual 22,4 % são serviços humanos importados. Pereira et al. (2010) estimaram valores de até 20 % de serviços importados em relação ao total usado na Itália em 2008; Lei, Wang e Ton (2008) encontraram valores de 13,2 % para serviços importados em relação à energia total usada em Macau em 2004. Neste trabalho, foi feita uma tentativa de estimar como os valores de mercado influenciam os fluxos de energia de um produto.

De acordo com Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio (MDIC, 2010), produtos importados e exportados podem ser divididos em duas categorias: básicos e industrializados. Os produtos básicos incluem minerais brutos, frutas, vegetais, grãos, e carnes,

enquanto que os industrializados são subdivididos em manufaturados e semimanufaturados, incluindo produtos químicos, minerais refinados, automóveis, aviões, bebidas e energia.

Os produtos avaliados foram selecionados de acordo com a disponibilidade de fatores de intensidade emergética e com a facilidade de reconhecimento das matérias-primas usadas na sua produção. Esses fatores são essenciais para permitir uma comparação entre a energia relacionada ao valor intrínseco do produto e a energia associada a todos os processos humanos realizados para atingir o produto final, que será estimada por meio do valor de mercado. Por exemplo, um automóvel de passageiros é basicamente composto por 15 % de plástico e borracha, 50 % de aço, 20 % de ferro, e 15 % de alumínio (estimado de MSL, 2001). Estabelecer a composição permite a alocação de massa, que será usada para estimar a energia de um carro baseada nos materiais usados para produzi-lo. Além disso, o fluxo de energia associado com o valor de mercado será estimado: esse fluxo representa o valor de mercado das matérias-primas, trabalho, conhecimento, lucro, etc., necessários para se chegar ao produto final. A comparação entre ambos os valores de energia permite avaliar qual contribui mais substancialmente à energia total do produto.

No caso de produtos importados, para se obter o fluxo de energia dos serviços humanos, o valor monetário do produto (pago pelo importador) deve ser multiplicado pela EMR do país exportador, pois ela reflete toda a energia gasta por dólar para gerar aquele produto naquele país.

A Figura 17 é uma representação gráfica de todos os fluxos relacionados à importação, exportação, e trocas monetárias em um sistema nacional. Uma das modificações a ser realizada nesse item será a inclusão o Balanço de Pagamentos Nacional na contabilidade emergética do Brasil. Ao contrário dos valores monetários usados para estimar os serviços humanos, o dinheiro relativo a investimentos financeiros, empréstimos, leasing, royalties, etc., deve ser convertido a fluxos de energia utilizando-se a EMR da origem. Por exemplo, se um país está recebendo investimentos externos, esse fluxo monetário deve ser multiplicado pela EMR global (considerando que não é possível detectar toda a origem do dinheiro, uma média global é usada). Por outro lado, se a operação financeira é de envio de dinheiro para o exterior, o fluxo monetário deve ser multiplicado pela EMR nacional.

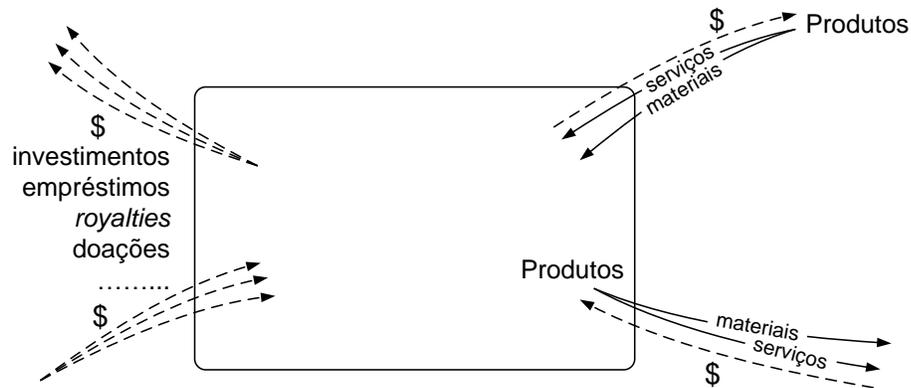


Figura 17. Importados, exportados e fluxos monetários através das fronteiras de um sistema nacional.

A Tabela 11 mostra que dois valores de energia foram obtidos para cada produto: (i) considerando apenas o valor intrínseco das matérias-primas dos produtos, sem incluir os serviços humanos; (ii) considerando apenas o valor de mercado como forma de estimar os serviços humanos. Na última coluna é apresentada uma razão entre ambos para fins de comparação, a qual se denominou "razão monetária/básica".

De acordo com os resultados da Tabela 11, os fluxos de energia para produtos básicos são mais dependentes do valor intrínseco das matérias-primas, o que significa que a energia disponível contida no produto é mais importante. Produtos básicos podem ser considerados commodities: comercializados em grandes quantidades sem diferenciação qualitativa no mercado. Em outras palavras, esses produtos não apresentam valor agregado, uma vez que poucos serviços humanos são aplicados em sua produção. Por outro lado, os fluxos de energia dos produtos industrializados revelam que, nesse caso, os serviços humanos estimados por meio dos valores de mercado são mais importantes do que os valores intrínsecos. A razão monetária/básica mostra uma grande disparidade: no caso de produtos altamente manufaturados como automóveis, essa razão chega a quase dez, o que significa que a energia do valor monetário é dez vezes a energia do valor intrínseco das matérias-primas que compõem o produto.

Tabela 11. Fluxos de energia relacionados aos valores intrínsecos e monetários de produtos selecionados.

Produtos	Valor monetário (US\$)*	Massa Energia	Unidade	UEV (seJ unidade <sup>-1</sup> )	Ref	Energia <sup>1</sup> monetária (seJ)	Energia <sup>2</sup> básica (seJ)	Razão monetária/básica
<b>Básicos</b>								
Petróleo cru <sup>i</sup>	1,68E+10	6,28E+18	J	9,06E+04	[a]	4,35E+22	5,69E+23	0,08
Gás natural <sup>i</sup>	2,72E+09	4,18E+17	J	8,05E+04	[a]	7,02E+21	3,37E+22	0,21
Trigo em grãos <sup>i</sup>	1,87E+09	8,00E+16	J	2,67E+05	[b]	4,84E+21	2,14E+22	0,23
Minério de ferro <sup>e</sup>	1,65E+10	3,73E+14	g	2,22E+09	[c]	1,95E+23	8,27E+23	0,24
<b>Semimanufaturados</b>								
Alumínio bruto <sup>i</sup>	3,05E+09	1,08E+10	g	7,76E+08	[b]	7,89E+19	8,35E+18	9,45
Açúcar de cana <sup>e</sup>	3,65E+09	1,77E+17	J	1,51E+05	[b]	4,31E+22	2,67E+22	1,62
<b>Manufaturados</b>								
Automóveis <sup>i</sup>	5,43E+09	5,06E+11	g			1,38E+22	1,44E+21	9,59
(plástico e borracha 15%)		7,58E+10	g	5,29E+09	[c]		4,01E+20	
(aço 50%)		2,53E+11	g	2,99E+09	[d]		7,56E+20	
(ferro 20%)		1,01E+11	g	2,22E+09	[c]		2,24E+20	
(alumínio 15%)		7,58E+10	g	7,76E+08	[b]		5,88E+19	
Suco de laranja <sup>e</sup>	8,52E+08	1,28E+12	g	1,92E+09	[e]	1,01E+22	2,45E+21	4,11

[a] BROWN; ULGIATI, 2004; [b] ODUM et al., 2000; [c] BURANAKARN, 1998; [d] ODUM, 1996; [e] BRANDT-WILLIAMS, 2002.

\* Free on Board (FOB).

<sup>1</sup> Energia do valor monetário = valor monetário (US\$) \* EMR (seJ US\$<sup>-1</sup>).

<sup>i</sup> Importados. Energia do valor monetário obtida por meio da EMR global de acordo com Sweeney et al. (2007). EMR<sub>global</sub> = 2,60E+12 seJ US\$<sup>-1</sup>.

<sup>e</sup> Exportados. Energia do valor monetário obtida pela EMR do Brasil de acordo com Sweeney et al. (2007). EMR<sub>Brasil</sub> = 11,8E+12 seJ US\$<sup>-1</sup>.

<sup>2</sup> Energia básica (seJ) = massa ou energia (g ou J) \* UEV (seJ g<sup>-1</sup> ou seJ J<sup>-1</sup>).

Como pode ser observado, conforme os produtos se tornam mais industrializados, a tendência é que o valor de mercado reflita a tecnologia, o conhecimento, e todos os processos ocorridos para gerar aquele produto. Assim, o valor da energia associada aos materiais básicos usados vai se tornando cada vez menos significativo na razão monetária/básica.

Um dos intuitos desse item é propor uma alternativa à questão referente ao fato da categoria "serviços" ser apresentada de forma isolada na tabela de Avaliação Emergética. Para isso, a proposta é categorizar os produtos importados e exportados em básicos, semimanufaturados e manufaturados. Considerando os resultados da Tabela 11, a seguinte consideração é feita: os fluxos de energia para produtos básicos serão estimados somente em termos do valor intrínseco dos materiais que os compõem. O cálculo será feito usando os valores de massa ou energia e os fatores de intensidade emergética individuais. Os fluxos de energia para semimanufaturados e manufaturados serão estimados de acordo com o valor de mercado dos produtos e com a razão energia/dinheiro do mundo (para importados) e do país (para exportados).

É importante ressaltar que os valores monetários usados nos cálculos de produtos importados e exportados são *Free on Board* (FOB). FOB é um termo de venda sobre o qual o

preço cotado pelo vendedor inclui todos os custos até o momento em que o produto é colocado a bordo do navio no porto de partida especificado pelo comprador. Esse valor não inclui os custos de transporte que o comprador tem após o embarque.

Como já mencionado, a energia dos serviços é o produto do valor monetário pela razão energia/dinheiro do país de origem, portanto o dinheiro pago por um produto importado tem poder de compra de acordo com a razão energia/dinheiro do exportador. Para se calcular a razão energia/dinheiro (seJ por US\$), que é usada para converter fluxos monetários em energéticos, o uso de PIB (Produto Interno Bruto) e do PMB (Produto Mundial Bruto) em termos da Paridade do Poder de Compra (PPP) foi proposto no item 6.1.1.1 e também será usado nesse item.

Quatro cenários foram criados com o intuito de aplicar as modificações propostas à metodologia convencional (BROWN; ULGIATI, 2004; ODUM, 1996) e verificar sua relevância aos índices de energia. Para todos os cenários, os fluxos renováveis e a extração não renovável não se alteram:

- Cenário A: Avaliação Emergética convencional (ODUM, 1996) considerando os produtos importados e exportados, e os serviços relacionados aos importados, exportados e turismo (tabelas 12 e 14).
- Cenário B: produtos importados e exportados são categorizados em: básicos, semimanufaturados e manufaturados. Os fluxos de energia para produtos básicos são estimados por meio dos UEVs (fatores de intensidade emergética ou transformidade) que não incluem os serviços humanos, enquanto que os fluxos de energia para os semimanufaturados e manufaturados são estimados por meio dos valores monetários usando-se a EMR (global para importados e nacional para exportados). Os valores monetários dos importados e exportados foram excluídos da categoria "serviços", uma vez que já estão sendo usados no cálculo da energia dos próprios produtos. A energia do turismo é estimada da mesma forma que no cenário A (tabelas 12 e 15).
- Cenário C: o Balanço Nacional de Pagamento foi incluído, e a categoria "fluxos monetários" foi criada. Essa é composta por todos os ganhos e gastos financeiros que o país teve durante o ano. Os ganhos são considerados créditos monetários e convertidos em energia usando-se a EMR global. Os gastos são os débitos

monetários e convertidos em energia usando-se a EMR nacional. O turismo é excluído como um item isolado, uma vez que já está incluído dentro dos fluxos monetários do Balanço de Pagamentos (tabelas 12, 14 - excluindo serviços, e 16).

- Cenário D: modificações à metodologia convencional propostas nos cenários C e B são aplicadas simultaneamente (tabelas 12, 15 - excluindo turismo, e 16).

Tabela 12. Fontes renováveis e não renováveis locais do Brasil para o ano de 2008.

#	Itens	Unidade	Fluxo	UEV (seJ unidade <sup>-1</sup> )	Ref	Energia (seJ ano <sup>-1</sup> )
Fontes renováveis locais						3,51E+24
1	Radiação solar	J	3,80E+22	1	[d]	3,80E+22
2	Calor interno	J	1,59E+19	5,80E+04	[f]	9,22E+23
3	Marés	J	1,10E+19	7,40E+04	[b]	8,14E+23
4	Ventos	J	1,20E+19	2,50E+03	[b]	3,00E+22
5	Água	J	8,56E+19	variável	-	2,70E+24
6	Ondas	J	2,42E+18	5,10E+04	[f]	1,23E+23
7	Correntes marinhas	J	3,70E+16	variável	-	6,86E+23
Fontes não renováveis locais						2,38E+24
8	Perda de florestas	J	8,69E+18	5,86E+04	[d]	5,09E+23
9	Pesca acima do limite sustentável	g	1,07E+12	2,78E+11	[d]	2,97E+23
10	Extração não renovável de água	J	0,00E+00	2,80E+05	[g]	0,00E+00
11	Perda de solo: matéria orgânica	J	2,32E+18	1,24E+05	[h]	2,88E+23
12	Etanol	J	1,88E+18	1,30E+05	[a]	2,45E+23
13	Carvão	J	1,04E+17	6,71E+04	[a]	7,00E+21
14	Gás natural	J	8,96E+17	8,05E+04	[a]	7,21E+22
15	Petróleo	J	3,94E+18	9,06E+04	[a]	3,57E+23
16	Minerais	g	3,61E+14	variável	-	9,16E+23
17	Metais	g	1,02E+15	variável	-	1,96E+23

[a] ODUM, 1996; [b] ODUM, 2000; [c] ODUM et al., 2000; [d] BUENFIL, 2001; [e] BARGIGLI; ULGIATI, 2003  
[f] BROWN; ULGIATI, 2004; [g] BURANAKARN, 1998; [h] ODUM et al., 1987b

A Tabela 13 mostra como as modificações propostas de categorização dos produtos importados e exportados, e de inclusão dos fluxos monetários considerados no Balanço Nacional de Pagamentos são aplicadas às fórmulas básicas de cálculo usadas na contabilidade emergética de nações.

Tabela 13. Fórmulas de cálculo para cada cenário.

Item	Cenário A	Cenário B	Cenário C	Cenário D
Energia total usada	R+N+Ip+Is+Tin	R+N+Ic+Tin	R+N+Ip+MF	R+N+Ic+MF
Energia total importada	Ip+Is+Tin	Ic+Tin	Ip+Is+MF(+)	Ic+MF(+)
Energia total exportada	Ep+Es+Tout	Ec+Tout	Ep+Es+MF(-)	Ec+MF(-)

R: fluxos renováveis / N: extração não renovável / Ip: produtos importados / Is: serviços importados / Ic: importados (básicos + semimanufaturados + manufaturados) / Tout: turismo para fora / Tin: turismo para dentro / Ep: produtos exportados / Es: serviços exportados / Ec: exportados (básicos + semi-manufaturados + manufaturados) / MF: fluxos monetários (+ ou -).

Note que a categoria relacionada a turismo (tanto do Brasil para fora, quanto do exterior para o Brasil) é excluída como um item isolado nos Cenários C e D. Ao incluir-se o Balanço Nacional de Pagamentos na forma de fluxos monetários, o dinheiro relativo ao turismo já está contabilizado no item "serviços" do balanço como mostrado na Tabela 16.

Tabela 14. Avaliação emergética de importados, exportados e turismo.

#	Item	Unidade	Fluxo	UEV (seJ unidade <sup>-1</sup> )	Ref	Energia (seJ ano <sup>-1</sup> )
Importados						
1	Combustíveis	J	7,90E+1	variável	-	7,12E+23
2	Metais	g	6,59E+1	variável	-	5,85E+21
3	Minerais	g	9,40E+1	2,22E+09	[a]	2,09E+23
4	Agricultura	g	8,61E+1	variável	-	2,48E+22
5	Produtos animais	g	1,75E+1	variável	-	6,71E+22
6	Pesca	g	2,10E+1	2,78E+11	[b]	5,84E+22
7	Plásticos	g	1,01E+1	5,29E+09	[a]	5,34E+20
8	Químicos	g	1,40E+1	6,38E+09	[b]	8,93E+22
9	Maquinário e transporte	g	6,52E+1	variável	-	7,17E+21
10	Bens refinados	g	8,55E+1	2,69E+09	[a]	2,30E+21
11	Eletricidade	J	1,51E+1	3,36E+05	[c]	5,06E+22
Exportados						
12	Combustíveis	J	1,65E+1	variável	-	1,51E+23
13	Metais	g	7,78E+1	variável	-	4,00E+22
14	Minerais	g	2,82E+1	2,22E+09	[a]	6,26E+23
15	Agricultura	g	5,57E+1	variável	-	3,34E+23
16	Produtos animais	g	2,47E+1	variável	-	9,28E+22
17	Pesca	g	5,82E+1	2,78E+11	[b]	1,62E+22
18	Plásticos	g	3,20E+1	5,29E+09	[a]	1,69E+20
19	Químicos	g	9,45E+1	6,38E+09	[b]	6,03E+21
20	Maquinário e transporte	g	9,59E+1	variável	-	1,05E+22
21	Bens refinados	g	2,58E+1	2,69E+09	[a]	6,93E+20
22	Eletricidade	J	2,47E+1	3,36E+05	[c]	8,30E+20
Serviços						
23	Importados	US\$	1,73E+1	2,25E+12	[d]	3,89E+23
24	Exportados	US\$	1,98E+1	4,12E+12	[e]	8,14E+23
25	Turismo para fora	US\$	1,10E+1	4,12E+12	[e]	4,52E+22
26	Turismo para dentro	US\$	5,80E+0	2,25E+12	[d]	1,30E+22

[a] BURANAKARN, 1998; [b] ODUM, 1996; [c] ODUM et al., 2000; [d] SWEENEY et al., 2007 modificado; [e] este trabalho.

A Tabela 15 apresenta os fluxos de energia para os produtos brasileiros importados e exportados categorizados em básicos, semimanufaturados e manufaturados. Os fluxos de energia para os produtos básicos foram obtidos usando-se os UEVs individuais não contabilizando os serviços humanos. Por outro lado, a energia relativa aos produtos industrializados (semimanufaturados e manufaturados) foi calculada usando-se a razão energia/dinheiro, que é a forma usual de se estimar os serviços humanos segundo a metodologia emergética. Os produtos apresentados na Tabela 15 foram selecionados por

apresentarem os maiores valores monetários nas tabelas de comércio exterior (MDIC, 2010). Seguindo o princípio apresentado nesse item para os produtos industrializados, quanto maior for o valor monetário, maior será o fluxo de energia relativo a um produto.

Tabela 15. Avaliação emergética do Brasil para o ano de 2008, categorizando produtos importados e exportados em básicos, semimanufaturados e manufaturados.

#	Itens	Unidade	Fluxo	Cenário B Emergia (seJ ano <sup>-1</sup> )	Cenário D Emergia (seJ ano <sup>-1</sup> )
<b>Importados</b>					
1	Básicos*	g	6,59E+13	1,07E+24	1,07E+24
	Combustíveis	J	7,90E+18	7,12E+23	7,12E+23
	Agricultura	g	8,61E+12	2,48E+22	2,48E+22
	Produtos animais	g	1,75E+12	6,71E+22	6,71E+22
	Pesca	g	2,10E+11	5,84E+22	5,84E+22
	Minerais	g	9,40E+13	2,09E+23	2,09E+23
2	Semimanufaturados <sup>+</sup>	US\$	8,89E+09	2,00E+22	2,00E+22
	Clorato de potássio	US\$	3,83E+09	8,61E+21	8,61E+21
	Catodos de cobre	US\$	1,93E+09	4,34E+21	4,34E+21
	Borracha sintética	US\$	5,55E+08	1,25E+21	1,25E+21
	Ligas de ferro	US\$	3,80E+08	8,54E+20	8,54E+20
3	Manufaturados <sup>+</sup>	US\$	1,32E+11	2,98E+23	2,98E+23
	Automóveis de passageiros	US\$	5,34E+09	1,20E+22	1,20E+22
	Combustíveis de petróleo	US\$	5,24E+09	1,18E+22	1,18E+22
	Partes de automóveis e tratores	US\$	4,98E+09	1,12E+22	1,12E+22
	Drogas para humanos e animais	US\$	3,92E+09	8,80E+21	8,80E+21
<b>Exportados</b>					
4	Básicos*	g	3,73E+14	1,28E+24	1,28E+24
	Combustíveis	J	1,65E+18	1,51E+23	1,51E+23
	Agricultura	g	5,57E+13	3,34E+23	3,34E+23
	Produtos animais	g	2,47E+12	9,28E+22	9,28E+22
	Pesca	g	5,82E+10	1,62E+22	1,62E+22
	Minerais	g	2,82E+14	6,26E+23	6,26E+23
5	Semimanufaturados <sup>+</sup>	US\$	2,71E+10	1,11E+23	1,07E+23
	Produto de aço e ferro	US\$	4,00E+09	1,65E+22	1,58E+22
	Celulose	US\$	3,90E+09	1,61E+22	1,54E+22
	Açúcar de cana	US\$	3,65E+09	1,50E+22	1,44E+22
	Ferro gusa	US\$	3,14E+09	1,30E+22	1,24E+22
	Ligas de ferro	US\$	2,31E+09	9,50E+21	9,12E+21
	Óleo de soja	US\$	1,98E+09	8,17E+21	7,84E+21
	Couro e peles	US\$	1,87E+09	7,69E+21	7,38E+21
	Alumínio	US\$	1,42E+09	5,84E+21	5,60E+21
6	Manufaturados <sup>+</sup>	US\$	9,27E+10	3,82E+23	3,66E+23
	Aviões	US\$	5,50E+09	2,26E+22	2,17E+22
	Automóveis de passageiros	US\$	4,92E+09	2,02E+22	1,94E+22
	Partes para automóveis e tratores	US\$	3,51E+09	1,45E+22	1,39E+22
	Combustíveis de petróleo	US\$	2,96E+09	1,22E+22	1,17E+22
	Etanol	US\$	2,39E+09	9,84E+21	9,45E+21
	Açúcar refinado	US\$	1,83E+09	7,55E+21	7,25E+21
<b>Turismo</b>					
7	Turismo para fora <sup>+</sup>	US\$	1,10E+10	4,52E+22	-
8	Turismo para dentro <sup>+</sup>	US\$	5,80E+09	1,31E+22	-

\* Fluxos de energia para os produtos básicos calculados da mesma forma que apresentado na Tabela 17.

<sup>+</sup> UEV para exportados e turismo para fora corresponde à razão energia/dinheiro em 2008 (EMR = 4,12E+12 seJ US\$<sup>-1</sup> para o cenário B e EMR = 3,95E+12 seJ US\$<sup>-1</sup> para o cenário D), enquanto o UEV usado para importados corresponde à razão energia/dinheiro mundial de acordo com Sweeney et al. (2007) modificado usando o PMB em termos de Paridade do Poder de Compra (EMR = 2,25E+12 seJ US\$<sup>-1</sup>).

O Balanço Nacional de Pagamentos é uma ferramenta essencial para se obter uma visão completa das conexões macroeconômicas entre economias envolvidas nas transações financeiras internacionais. Ele torna possível visualizar todos os fluxos monetários através das fronteiras do país. A Tabela 16 mostra todos esses fluxos para o Brasil em 2008, excluindo o valor monetário referente aos produtos importados e exportados. Para uma nação em desenvolvimento como o Brasil é extremamente importante visualizar o Balanço de Pagamentos, especialmente os fluxos relativos a empréstimos e o pagamento da dívida externa. Essas transações são chamadas "operações regulatórias", e as demandas impostas pelo Fundo Monetário Internacional (FMI) podem ditar as regras de funcionamento do país. Uma das principais imposições é que o Brasil tem metas em relação ao *superávit* primário (receitas não financeiras superiores às despesas não financeiras). Nesse balanço, no entanto, não são levados em consideração os juros e a correção monetária da dívida pública, pois não fazem parte da natureza operacional do governo. Essas exigências fazem com que o país tenha que direcionar seus investimentos em função de interesses externos, ocasionando principalmente cortes no orçamento, e conseqüente, diminuição da qualidade dos serviços públicos como educação, saúde, segurança, etc.

De acordo com a Tabela 16, o maior fluxo monetário em termos emergéticos está relacionado às rendas. O símbolo negativo (-) indica que o valor está deixando o país e, portanto, contribuindo para o aumento da energia total exportada.

Tabela 16. Fluxos no Balanço Nacional de Pagamentos (2008).

Fluxos monetários	Fluxo	Unidade	Cenário C Emergia (seJ ano <sup>-1</sup> )	Cenário D Emergia (seJ ano <sup>-1</sup> )
Serviços <sup>A</sup>	-1,67E+10	US\$	-6,93E+22	-6,60E+22
Rendas <sup>B</sup>	-4,06E+10	US\$	-1,68E+23	-1,60E+23
Transações unilaterais <sup>C</sup>	+4,22E+09	US\$	9,50E+21	9,50E+21
Conta capital <sup>D</sup>	+1,06E+09	US\$	2,37E+21	2,37E+21
Conta financeira <sup>E</sup>	+2,83E+10	US\$	6,36E+22	6,36E+22
Erros e omissões	+1,81E+09	US\$	4,07E+21	4,07E+21

\*UEV usado para o crédito monetário (+) corresponde à razão energia/dinheiro do Brasil em 2008 (EMR = 4,15E+12 seJ US\$<sup>-1</sup> para o cenário C e EMR = 3,95E+12 seJ US\$<sup>-1</sup> para o cenário D), enquanto que o UEV para débito monetário (-) corresponde à razão energia/dinheiro global de acordo com Sweeney et al. (2007) modificado usando o PMB em termos da Paridade do Poder de Compra (EMR = 2,25E+12 seJ US\$<sup>-1</sup>).

<sup>A</sup> Transporte, viagens internacionais, serviços financeiros, computação, royalties, leasing de equipamentos, comunicação, construção / <sup>B</sup> Salários e lucros de investimentos / <sup>C</sup> Doações e subsídios / <sup>D</sup> Estoque de empréstimos, investimentos diretos, e aplicações financeiras estrangeiras / <sup>E</sup> Investimentos nacionais diretos, investimentos estrangeiros diretos, empréstimos entre empresas, e operações regulatórias (FMI).

Por meio da Tabela 17 é possível observar os impactos da dívida externa no PIB nacional. Percebe-se que mesmo com o grande crescimento anual do PIB em termos da Paridade do Poder de Compra, a porcentagem em relação à dívida externa total se mantém praticamente constante. Portanto, pode-se concluir que essa é uma situação economicamente insustentável. Dessa forma, o FMI, as agências e credores internacionais mantêm uma posição de controle sobre o país, afetando decisões políticas e econômicas.

Segundo o Banco Central (BCB, 2012), em fevereiro de 2008, o Brasil conseguiu superar o montante da dívida externa com as reservas internacionais. No entanto, isso não significa que o país "quitou" a dívida. As reservas são mantidas para executar a política cambial, protegendo a moeda corrente nacional contra ataques especulativos. Outra razão para essa dívida não ser paga, refere-se ao fato de apenas 35 % do valor ser referente ao setor público não financeiro; o restante pertence a bancos e empresas privadas. A dívida continuou aumentando, e chegou a quase US\$ 300 bilhões em maio de 2012, com as reservas brasileiras registrando US\$ 374 bilhões.

Tabela 17. Valores da dívida externa brasileira (1981-2000).

Ano	FMI (US\$ bi)	Financiamento de Importações (US\$ bi)	Empréstimos (US\$ bi)	Total da dívida externa <sup>A</sup> (US\$ bi)	PIB PPP <sup>B</sup> (US\$ bi)	% da dívida em relação ao PIB
1981	-	12,88	48,53	73,97	467,54	15,82
1982	0,54	13,52	56,13	85,49	499,02	17,13
1983	2,65	16,24	62,43	93,74	501,12	18,71
1984	3,97	18,38	68,74	102,13	547,52	18,65
1985	4,61	22,63	68,62	105,17	608,76	17,28
1986	4,50	27,71	69,55	111,20	669,12	16,62
1987	3,94	33,61	69,97	121,19	712,14	17,02
1988	3,08	33,03	66,45	113,51	738,39	15,37
1989	2,44	34,25	62,59	115,51	790,84	14,61
1990	2,21	34,95	59,39	123,44	787,14	15,68
1991	1,17	32,23	59,59	123,93	823,07	15,05
1992	1,01	33,03	60,28	135,95	837,42	16,23
1993	0,30	36,28	77,68	145,73	898,96	16,21
1994	0,18	35,71	83,77	148,29	971,80	15,26
1995	0,14	36,11	93,06	159,26	1.033,53	15,41
1996	0,07	34,16	109,86	179,93	1.081,17	16,64
1997	0,03	50,78	112,47	199,99	1.135,11	17,62
1998	4,80	69,11	141,31	241,64	1.149,21	21,03
1999	8,83	65,05	140,19	241,47	1.175,02	20,55
2000	1,77	58,77	145,65	236,15	1.252,99	18,85

<sup>A</sup> IBGE - [http://www.ibge.gov.br/seculoxx/economia/setor\\_externo/tabelas/tabelas.shtm](http://www.ibge.gov.br/seculoxx/economia/setor_externo/tabelas/tabelas.shtm).

<sup>B</sup> FMI (2008).

A Tabela 18 mostra os resultados obtidos para os cenários considerados aplicados ao caso de estudo do Brasil com dados de 2008. Os fluxos renováveis e não renováveis são os mesmos para todos os cenários. A primeira modificação proposta, de categorizar as trocas comerciais calculando os fluxos de energia para produtos básicos por meio de UEVs que não contabilizam os serviços humanos e os industrializados baseados somente no valor de mercado dos produtos parece ser uma alternativa válida. Considerando os cenários A e B, o fluxo de energia para produtos importados mantém o mesmo valor ( $1,63E+24$  seJ por ano), enquanto que o fluxo para exportados tem um pequeno decréscimo (de  $2,12E+24$  para  $1,76E+24$  seJ por ano).

O cenário C apresenta a inclusão dos fluxos monetários no cálculo energético. Comparando os cenários A e C, o fluxo total para a energia importada apresenta um pequeno aumento (de  $1,63E+24$  para  $1,70E+24$  seJ por ano), assim como o fluxo de energia exportada (de  $2,12E+24$  para  $2,34E+24$  seJ por ano), o que pode ter acontecido devido à inclusão dos débitos nos fluxos monetários.

O cenário D apresenta todas as modificações propostas aplicadas de forma simultânea: a energia total importada diminui de forma pouco acentuada (de  $1,63E+24$  nos cenários A e B, e  $1,70E+24$  no cenário C para  $1,31E+24$  seJ por ano). O mesmo ocorre com a energia total exportada, resultando em um valor de  $1,94E+24$  seJ por ano no cenário D. Todas as variações eram esperadas, uma vez que o método convencional tende a superestimar os fluxos de energia de importação e exportação por considerar tanto os valores intrínsecos quanto os de mercado para os produtos. Por outro lado, os fluxos monetários incluídos no Balanço de Pagamentos apresentam um comportamento variável (não seguem uma tendência), pois dependem de fatores nacionais e internacionais de relevâncias políticas e econômicas que ocorrem a cada ano em questão.

Todos os outros índices energéticos, incluindo o uso total de energia, tendem a seguir o mesmo comportamento ao aplicarem-se as modificações propostas, uma vez que acarretam impactos somente nos produtos comercializados internacionalmente e nos fluxos monetários.

Tabela 18. Indicadores de energia calculados para cada cenário.

Índices	Unidade	A	B	C	D
Fluxos renováveis (R)	seJ	3,51E+24	3,51E+24	3,51E+24	3,51E+24
Recursos não renováveis (N)	seJ	2,89E+24	2,89E+24	2,89E+24	2,89E+24
Energia total importada (F)	seJ	1,63E+24	1,63E+24	1,70E+24	1,31E+24
Energia total exportada	seJ	2,12E+24	1,76E+24	2,34E+24	1,94E+24
Energia total usada (U=R+N+F)	seJ	8,03E+24	8,03E+24	8,10E+24	7,71E+24
Razão exportação/importação	-	1,31	1,08	1,38	1,48
Importação menos exportação	seJ	-4,89E+23	-1,30E+23	-6,49E+23	-6,33E+23
Densidade emergética (U/área)	seJ m <sup>-2</sup>	9,39E+11	9,39E+11	9,47E+11	9,01E+11
EIR (F/(R+N))	-	0,25	0,25	0,26	0,20
ELR (N+F/R))	-	1,29	1,29	1,30	1,19
ESI (EYR/ELR)	-	1,38	1,38	1,35	1,54
EYR (U/F)	-	1,78	1,78	1,77	1,84
Fração local (R+N/U)	%	79,71	79,71	79,06	83,05
Renovabilidade (R/U)	%	43,76	43,76	43,40	45,59
Fração adquirida (F/U)	%	20,29	20,29	20,94	16,95
EMR (U/PIB PPP)	seJ US\$ <sup>-1</sup>	4,12E+12	4,12E+12	4,15E+12	3,95E+12

Na Figura 18 está ilustrado o diagrama sistêmico do Brasil com os dados obtidos para o cálculo convencional segundo Odum (1996) e Brown e Ulgiati (2004). A principal diferença em relação ao diagrama da Figura 19, onde está ilustrado o diagrama referente ao cálculo modificado, está na parte dos fluxos monetários introduzidos na alternativa proposta e no cálculo da energia dos produtos importados e exportados. Na Figura 20, é possível visualizar mais claramente essas diferenças através do diagrama comparativo.

De uma maneira geral, as entradas renováveis de energia (vento, chuva, ondas, marés, correntes marinhas, rios, e sol) podem ser observadas, bem como alguns fluxos relevantes internos (extrativismo mineral, produção de energia e de produtos agropecuários). É importante ressaltar que esses fluxos não foram mudados com a proposta de modificação, ou seja, são comuns às duas formas de cálculo.

Um dos intuitos da modificação proposta nesse item é de facilitar a visualização dos fluxos de energia dos serviços relacionados a cada um dos produtos industrializados importados e exportados, o que não é possível no método emergético convencional, pois os valores monetários referentes aos produtos comercializados internacionalmente são apresentados de forma separada e agregada.

Nota-se claramente que no método modificado, os fluxos referentes aos produtos industrializados como automóveis, óleos combustíveis, medicamentos, aviões, etc. apresentam valores maiores (pois são estimados pelo valor monetário) e, por conseguinte, sua importância

é destacada em termos de trocas comerciais. No método convencional, os fluxos referentes a esses produtos são pequenos, pois os serviços estão apresentados de forma tal que não há uma relação clara com o valor agregado desses produtos.

Outro aspecto apresentado no diagrama com a metodologia modificada é a inclusão dos fluxos monetários internacionais de débitos e créditos financeiros. O fluxos de energia referentes aos débitos totalizam  $36,4E+22$  seJ por ano, valor superior inclusive à energia dos produtos manufaturados importados ( $29,8E+22$  seJ por ano), mostrando sua importância dentro do sistema econômico nacional analisado.

De uma forma geral, por meio da representação dos fluxos internos de energia associados à produção mineral, energética e agropecuária, é possível notar que esses valores são muito superiores aos valores dos fluxos energéticos de importação, mostrando que o Brasil apresenta capacidade de sustentar suas atividades por meio de recursos locais, apesar de grande parte da extração não ser renovável.

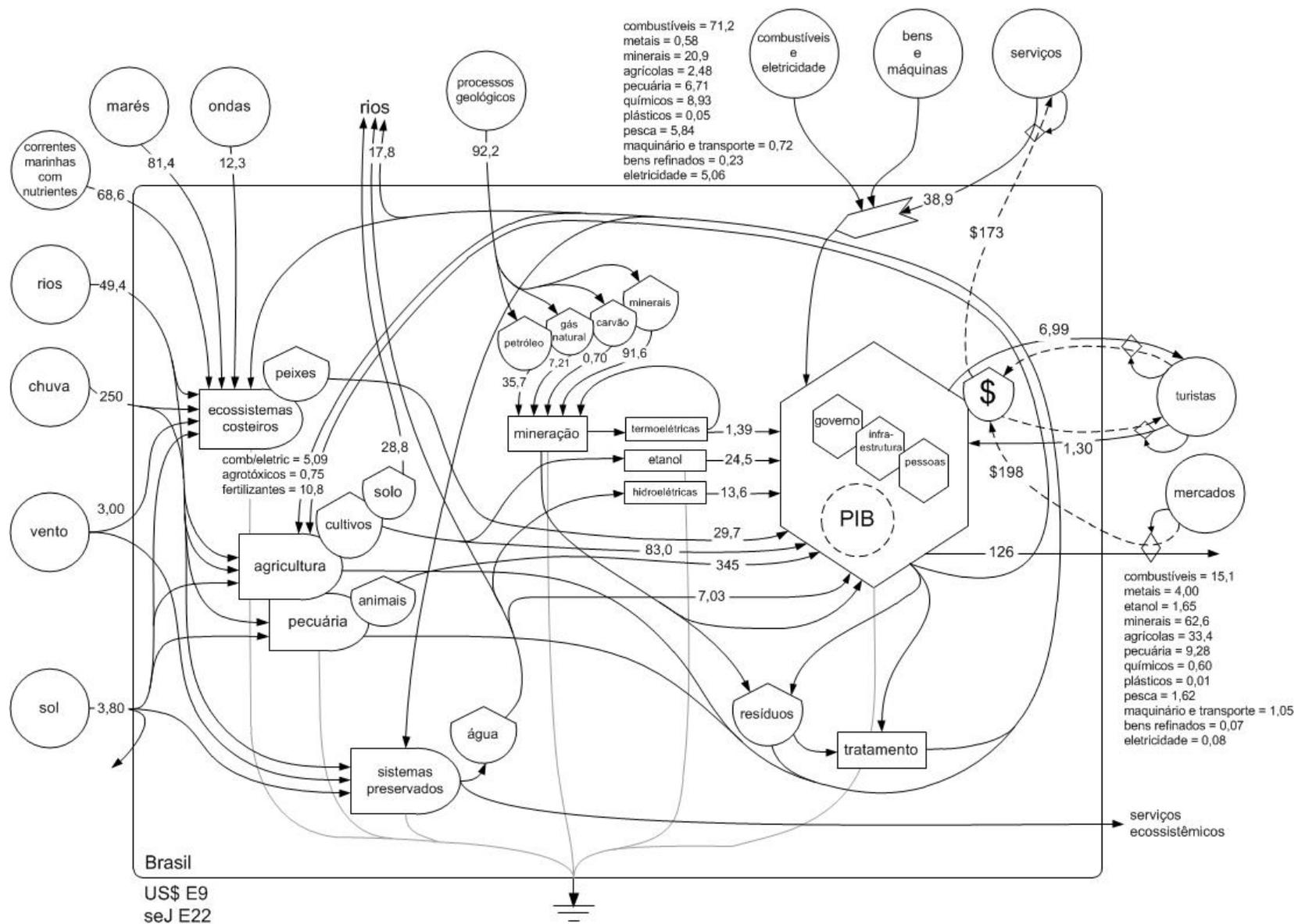


Figura 18. Diagrama sistêmico do Brasil com os valores obtidos pela metodologia convencional.

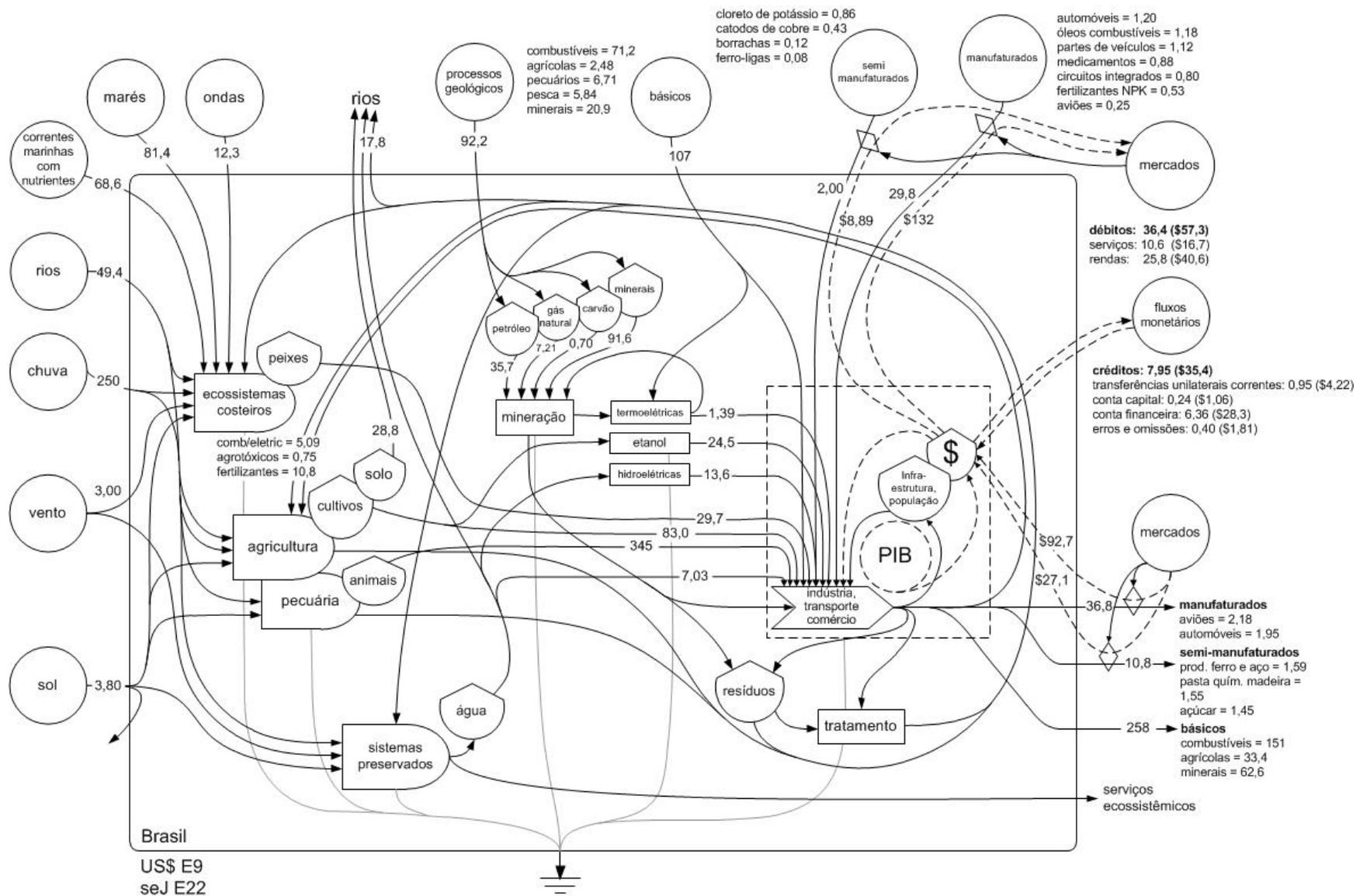


Figura 19. Diagrama sistêmico do Brasil com os valores obtidos pela metodologia proposta no item 6.1.1.3.

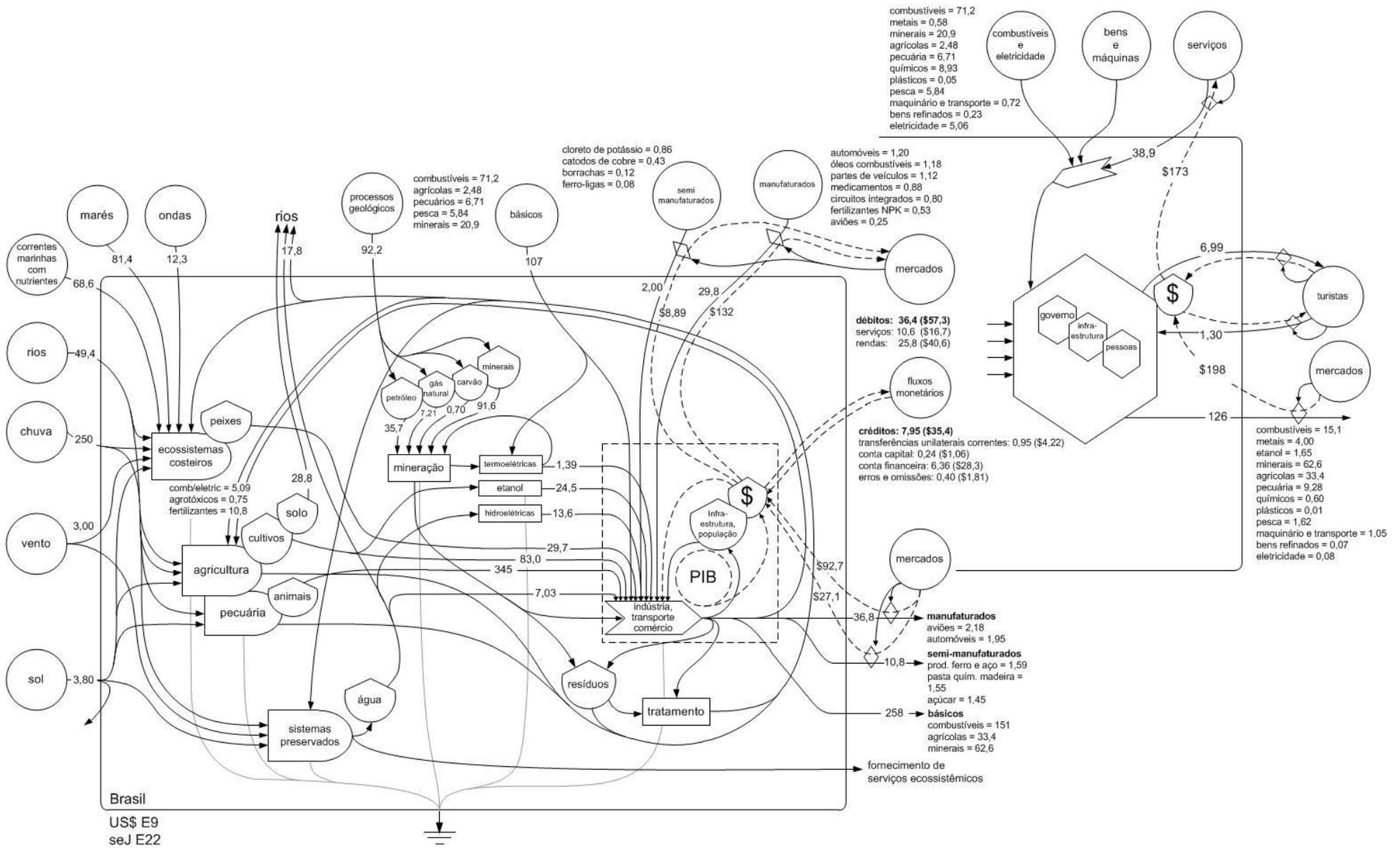


Figure 20. Diagrama comparativo do método convencional e modificado.

#### **6.1.1.4. Análise crítica da metodologia emergética**

A Avaliação Emergética é reconhecida como uma metodologia robusta e inovadora (BROWN; ULGIATI, 2012; FRANZESE et al., 2009; PEREIRA; ORTEGA, 2012;) capaz de contabilizar as contribuições da natureza e da economia humana por meio de uma abordagem em que fluxos de energia, matéria e dinheiro são convertidos a uma mesma base, o que possibilita o cálculo de diversos indicadores. Os indicadores emergéticos fornecem uma perspectiva não convencional do desempenho ambiental de um país baseado no ponto de vista do doador dos recursos, ou seja, do meio ambiente. Além disso, é capaz de apontar alguns resultados interessantes em termos econômicos e sociais.

No entanto, apesar da metodologia emergética apresentar características únicas se comparada aos métodos aplicados neste trabalho, ainda carece de uma padronização dos cálculos e de uma seleção confiável de fatores de conversão. Na realização deste trabalho, muito tempo foi gasto na busca pelos fatores de intensidade emergética (UEV) na literatura científica. Percebeu-se que, em muitos casos, existem vários de valores distintos de UEV para o mesmo item. Por exemplo, no caso do UEV do minério de ferro, existem pelo menos três trabalhos (BURANAKARN, 1998; BASTIANONI et al., 2001; ODUM, 1996) com valores diferentes que variam cerca de 300 % entre si. Esse fato dificulta enormemente a reprodutibilidade e a comparação de resultados.

Dentro do contexto da falta de padronização ligada aos cálculos, foi possível verificar que o trabalho de Sweeney et al. (2007), usado como referência para a obtenção dos dados brutos, não seguiu a metodologia de Odum (1996). Na Avaliação Emergética do Brasil com dados de 2000, Sweeney et al. (2007) encontraram valores de R (3,53E+24 seJ), N (3,81E+24 seJ), serviços da importação (1,55E+23 seJ) e EMR (1,17E+13 seJ por US\$). No presente trabalho foram obtidos os seguintes valores para o mesmo ano: R (3,51E+24 seJ), N (1,48E+24 seJ), serviços da importação (1,58E+23 seJ) e EMR (4,47E+12 seJ por US\$). Os valores referentes às entradas de recursos renováveis (R) e aos serviços da importação foram semelhantes, porém houve grande discrepância entre os valores obtidos para os recursos não renováveis (N) e para a EMR (razão energia dinheiro). Uma análise mais aprofundada, mostrou que no cálculo de N, Sweeney et al. (2007) consideraram não só as entradas não renováveis (perda de solo, minerais, metais, perda de florestas, etc.) no sistema nacional, mas também a produção interna de produtos agrícolas, pecuários, pesqueiros, de madeira, etc.

Nesse trabalho, foram contabilizadas somente as entradas não renováveis, pois toda a produção interna do país é alimentada/movida por essas entradas, portanto, haveria uma dupla contagem no cálculo de Sweeney et al. (2007). Outro valor que apresentou grande diferença foi o da EMR: além da questão já discutida referente a N, outro fator que contribuiu para esse fato foi o valor do PIB utilizado. Sweeney et al. (2007) utilizaram um PIB de US\$ 600 bilhões, enquanto nesse trabalho utilizou-se um PIB PPP de US\$ 1,2 trilhões segundo o FMI (2008).

A discussão apresentada no item 6.1.1.3 deste trabalho, mostrou que a metodologia emergética ainda carece de uma definição mais clara com relação aos cálculos de fluxos monetários (serviços humanos) contabilizados em balanços nacionais. Além disso, seria importante incluir na metodologia convencional todos os fluxos de dinheiro como proposto por Odum (1996). Ficou evidente também que ainda não há uma maneira satisfatória de se avaliar produtos industrializados complexos no escopo da metodologia emergética, pois a maior parte dos fatores de intensidade emergética (UEV) disponíveis é para produtos básicos. Neste trabalho, foi realizado um esforço nesse sentido ao se propor o uso do valor monetário de mercado como forma de estimar a emergia de produtos manufaturados.

Como recomendação para futuros trabalhos, deve-se realizar a Avaliação Emergética de produtos industrializados, de forma que os UEVs para esses tipos de produtos sejam disponibilizados. A avaliação deve levar em conta toda a cadeia produtiva desde a extração das matérias-primas até o processo industrial final, passando pelo transporte e pela incorporação do trabalho humano direto e indireto que acaba por definir o preço final do produto. De forma análoga, recomenda-se que seja feito um novo cálculo da emergia para o caso dos minerais e combustíveis fósseis. Além de considerar toda a emergia investida na cadeia de extração, deveria ser incluída a emergia intrínseca do produto associada a milhões de anos de trabalho da natureza para geração daquele estoque não renovável. Trabalho nesse sentido foi iniciado por Brown, Gaetano e Ulgiati (2011) para combustíveis fósseis, que reportaram valores de 1,5 a 2,5 vezes maiores para UEVs de carvão, petróleo e gás natural do que os utilizados normalmente.

Uma questão levantada também no item 6.1.1.3, ao se avaliar os fluxos monetários no Brasil em 2008, foi à imposição de exigências políticas e econômicas em função de auxílios financeiros ao país. Como verificado, os fluxos monetários referentes às operações regulatórias traduzidos em termos emergéticos foram pequenos nesse caso se comparados aos

outros fluxos avaliados. No entanto, essas exigências externas fazem com que todo o sistema produtivo e a aplicação dos recursos por parte governo tenham que seguir normas, que por sua vez, acabam por moldar o sistema econômico nacional. Uma maneira de se avaliar essa contribuição seria por meio da "informação". No capítulo 12 do livro *Environmental Accounting*, Odum (1996) afirma que informação inclui a biodiversidade genética e o conhecimento do ser humano. Segundo o mesmo autor, informação pode ser o item mais importante em muitos sistemas, por exercer o controle sobre o mesmo. Trabalhos já foram realizados nesse sentido como o de Jorgensen, Odum e Odum (2004), no entanto, esse conceito ainda não foi incluído em cálculos de sistemas econômicos.

A Figura 21 ilustra como poderia ser visualizado um diagrama sistêmico que incorporasse as questões relativas aos fluxos de dinheiro e de informação. O sistema econômico é representado pelo retângulo tracejado que delimitaria as fronteiras da avaliação. Esse sistema, que engloba também a produção agrícola e pecuária, deveria ser tratado como uma caixa preta, ou seja, a produção interna às fronteiras não deveria ser contabilizada na emergia total, apenas as entradas e as saídas. Os ecossistemas locais, por sua vez, devem ser mantidos fora do sistema econômico, pois funcionam como receptores de energia renovável transformando-a em energia útil aos sistemas antrópicos. Da mesma forma, os estoques de recursos não renováveis locais (solo, minerais e energia) devem ser mantidos dentro do sistema nacional, porém externos às fronteiras econômicas, pois funcionam como fonte de recursos para o funcionamento das atividades humanas desenvolvidas dentro do país.

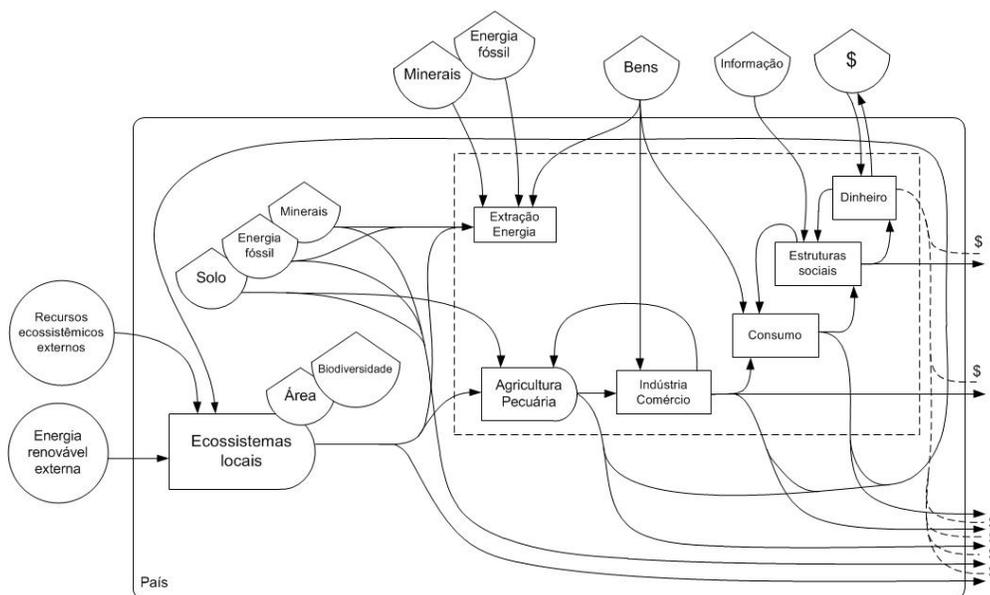


Figura 21. Diagrama sistêmico sugerido.

### 6.1.2. Estado de São Paulo

A Tabela 19 apresenta os dados econômicos, geográficos e populacionais do estado de São Paulo em 2008. Dentre os valores cabe destacar a grande população do estado, em torno de 41,5 milhões de pessoas, a área total de cultivo e pastagens muito superior à área de floresta natural, e a grande participação do estado no PIB do Brasil com 34 %.

Tabela 19. Dados demográficos, econômicos e geográficos do estado de São Paulo em 2008.

Dados	Unidade	Valor
População <sup>A</sup>	pessoas	41.460.866
Área total <sup>A</sup>	ha	24.820.943
Áreas metropolitanas		
RM São Paulo <sup>A</sup>	ha	805.100
área urbana (27 % da RM São Paulo) <sup>A</sup>	ha	213.900
RM Campinas <sup>A</sup>	ha	334.800
área urbana (estimada como 27 % da RM Campinas)	ha	90.396
Baixada Santista <sup>A</sup>	ha	242.200
área urbana (estimada como 27 % da Baixada Santista)	ha	65.394
Área urbana estimada do estado de São Paulo	ha	369.690
Área de cultivo permanente <sup>B</sup>	ha	1.222.035
Área de cultivo temporário <sup>B</sup>	ha	6.737.699
Área de pastagem <sup>B</sup>	ha	8.072.849
Área de reflorestamento <sup>B</sup>	ha	1.023.158
Área de floresta natural <sup>B</sup>	ha	2.432.912
Produto interno bruto do Brasil <sup>C</sup>	bi US\$	1.978
Produto interno bruto do estado de São Paulo <sup>A</sup>	bi US\$	557,23
PIB per capita do Brasil	US\$ pessoa <sup>-1</sup>	8.220
PIB per capita do estado de São Paulo <sup>A</sup>	US\$ pessoa <sup>-1</sup>	13.587
Participação do PIB do estado de São Paulo no PIB do Brasil	%	34
Razão PIB per capita SP / Brasil	-	1,65
Razão população SP / Brasil	-	0,23
Fator SP <sup>D</sup>	-	0,38

<sup>A</sup> SEADE (2011) / <sup>B</sup> SAASP (2008) / <sup>C</sup> FMI (2008) / <sup>D</sup> Fator SP = (Razão PIB per capita SP / Brasil) \* (Razão população SP / Brasil).

A Tabela 20 apresenta os dados brutos e os fluxos de energia para a Avaliação Energética do estado de São Paulo para o ano de 2008. É interessante ressaltar que alguns itens como carvão e petróleo foram excluídos da tabela da parte de não renováveis locais por não serem produzidos de forma significativa pelo estado. Os dados referentes à produção interna do estado estão disponíveis na literatura, porém aqueles de importação e exportação interestaduais em termos de quantidade de produtos não foram encontrados. Para solucionar esse obstáculo, obteve-se o fator SP que relaciona PIB e população do Brasil e do estado de São Paulo. Por meio desse fator, pode-se estimar o consumo de produtos dentro do estado e, consequentemente, comparar com a produção interna, para se estimar o quanto seria importado ou exportado. Todos os cálculos estão devidamente explicitados no memorial de cálculo para o estado de São Paulo apresentado no Apêndice (item 9.2).

Tabela 20. Avaliação Emergética do estado de São Paulo para o ano de 2008.

#	Itens	Unidade	Fluxo	UEV (seJ unidade <sup>-1</sup> )	Ref	Energia (seJ ano <sup>-1</sup> )	% da U
Fontes renováveis locais							
1	Radiação solar	J	1,33E+21	1	[a]	1,02E+23	2,99
2	Calor interno	J	4,64E+17	5,80E+04	[b]	2,69E+22	
3	Marés	J	4,17E+15	7,40E+04	[c]	3,08E+20	
4	Vento	J	6,45E+17	2,50E+03	[c]	1,61E+21	
5	Chuva e evapotranspiração	J	2,17E+18	variável	-	1,02E+23	
6	Ondas	J	2,77E+17	5,10E+04	[a]	1,41E+22	
Fontes não renováveis locais							
7	Perda de florestas	J	1,58E+16	5,86E+04	[a]	9,23E+20	0,03
8	Pesca acima do limite sustentável	g	2,32E+10	2,78E+11	[a]	6,46E+21	0,19
9	Extração não renovável de água	g	0,00E+00	2,80E+05	[d]	0,00E+00	0,00
10	Perda de solo: matéria orgânica	J	1,90E+17	1,24E+05	[e]	2,35E+22	0,69
11	Carvão	J	0,00E+00	6,71E+04	[f]	0,00E+00	0,00
12	Gás natural	J	8,21E+15	8,05E+04	[f]	6,61E+20	0,02
13	Petróleo	J	0,00E+00	9,06E+04	[f]	0,00E+00	0,00
14	Minerais	g	0,00E+00	variável	-	0,00E+00	0,00
15	Metais	g	1,08E+13	variável	-	3,65E+22	1,07
Importação							
16	Combustíveis	J	1,29E+18	variável	-	1,13E+23	3,32
17	Metais	g	3,75E+14	variável	-	3,60E+22	1,06
18	Minerais	g	3,11E+14	2,22E+09	[g]	6,90E+23	20,24
19	Agricultura	g	4,11E+13	varies	-	1,47E+23	4,31
20	Produtos animais	g	1,23E+13	varies	-	5,01E+23	14,70
21	Pesca	g	4,11E+11	2,78E+11	[a]	1,14E+23	3,34
22	Maquinário e transporte	g	1,67E+09	1,10E+10	[h]	1,17E+21	0,03
23	Eletricidade	J	5,14E+16	3,36E+05	[c]	1,73E+22	0,51
Exportação*							
24	Combustível	J	0,00E+00	variável	-	0,00E+00	
25	Etanol	J	1,54E+17	1,45E+05	[i]	2,23E+22	
26	Metais	g	0,00E+00	variável	-	0,00E+00	
27	Minerais	g	0,00E+00	variável	-	0,00E+00	
28	Agricultura	g	1,91E+13	variável	-	4,05E+22	
29	Produtos animais	g	1,73E+12	variável	-	1,85E+23	
30	Pesca	g	0,00E+00	2,78E+11	[a]	0,00E+00	
31	Maquinário e transporte	g	3,07E+11	1,10E+10	[h]	3,38E+21	
32	Eletricidade	J	0,00E+00	3,36E+05	[c]	0,00E+00	
Serviços							
33	Importação do Brasil	US\$	3,56E+11	4,12E+12	[j]	1,47E+24	43,13
34	Importação do exterior	US\$	6,64E+10	2,25E+12	[k]	1,49E+23	4,37
35	Exportação para o Brasil*	US\$	5,10E+11	6,16E+12	[j]	1,72E+24	
36	Exportação para o exterior*	US\$	5,74E+10	6,16E+12	[j]	1,93E+23	

[a] ODUM, 1996; [b] ODUM, 2000; [c] ODUM et al., 2000; [d] BUENFIL, 2001; [e] BARGIGLI; ULGIATI, 2003 [f] BROWN; ULGIATI, 2004; [g] BURANAKARN, 1998; [h] ODUM et al., 1987b; [i] ODUM; BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2002 [j] esse trabalho; [k] SWEENEY et al., 2007 modificado.

\* Não são contabilizados na energia total usada U (ODUM, 1996).

A Figura 22 mostra o diagrama sistêmico elaborado para o estado de São Paulo com os fluxos emergéticos (em E+20 seJ por ano) e monetários (em US\$ bilhões por ano). Os dados para o comércio interestadual de produtos não estão disponíveis, por isso os fluxos de produtos importados e exportados não são discriminados em nacionais e internacionais. Essa nomenclatura foi usada apenas para os fluxos monetários nesse caso, onde fica claro que a

energia trocada nacionalmente com outros estados é bem superior à energia do comércio internacional. À esquerda do diagrama estão representados os fluxos renováveis de energia e acima os materiais e serviços importados. Pode-se observar que os fluxos não renováveis de materiais e serviços importados são superiores aos fluxos locais renováveis. Além disso, por meio do diagrama é possível perceber que os centros urbanos e industriais concentram a demanda de energia, materiais e produtos agrícolas, para fins de consumo local e para agregar valor para posterior troca comercial.

A Tabela 21 apresenta os indicadores emergéticos obtidos para estudo de caso em questão. Por meio deles, é possível perceber que o estado de São Paulo é extremamente dependente de importações ( $3,12E+24$  seJ ou 91 %), no entanto, realiza muitas exportações ( $3,74E+24$  seJ), fazendo com que a Razão de Intercâmbio Emergético (EER) seja 0,83. Em termos de desempenho ambiental, o Índice de Sustentabilidade Emergética foi muito baixo (ESI = 0,03) e a carga imposta sobre o meio ambiente foi alta (ELR = 32,64).

De uma maneira geral, os resultados da Avaliação Emergética mostraram que o estado de São Paulo é de fundamental importância econômica para o país, devido às importações e exportações para o exterior e para outros estados brasileiros. No entanto, os resultados apresentados pelos indicadores que avaliam o desempenho foram ruins, provavelmente devido às intensas atividades antrópicas realizadas no estado em comparação com o pequeno fluxo renovável local.

Tabela 21. Indicadores emergéticos do estado de São Paulo para o ano de 2008.

Indicador	Unidade	Valor
R (fluxo renovável local)	seJ	1,02E+23
N (fluxo não renovável local)	seJ	6,80E+22
F (importação total)	seJ	3,12E+24
S (serviços da importação)	seJ	1,62E+24
U (energia usada total)	seJ	3,29E+24
Exportação total	seJ	3,74E+24
Serviços da exportação	seJ	3,49E+24
Energia per capita (U/população)	seJ cap <sup>-1</sup>	7,94E+16
Densidade emergética (U/área)	seJ m <sup>-2</sup>	1,33E+13
Renovabilidade (R/U)	%	3,0
Fração usada importada (F/U)	%	91
EMR (U/PIB)	seJ US\$ <sup>-1</sup>	6,16E+12
EYR (U/F)	-	1,05
ELR ((N+F)/R)	-	32,64
EIR (F/(R+N))	-	10,06
ESI (EYR/ELR)	-	0,03
EER (imp/exp)	-	0,83

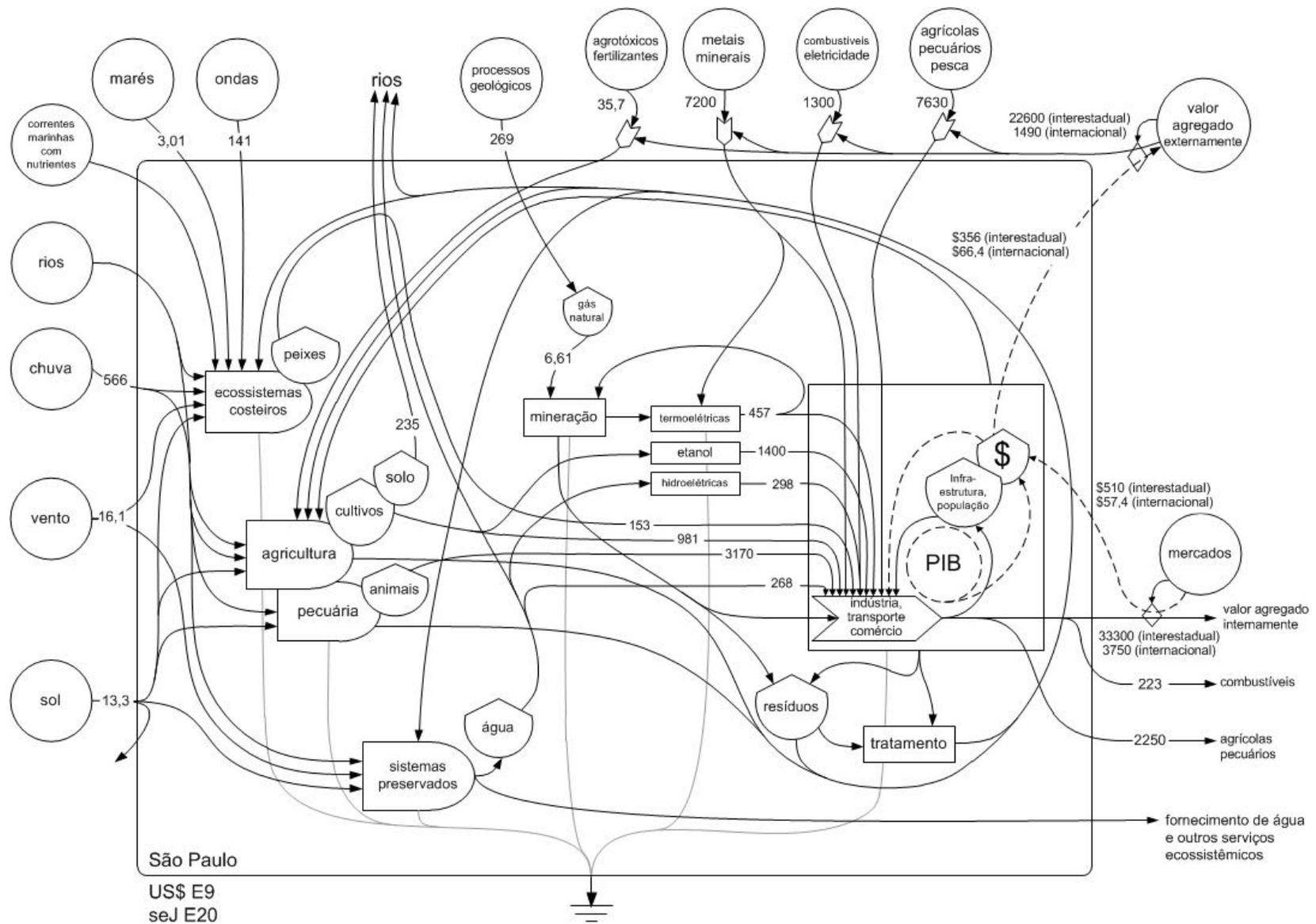


Figura 22. Diagrama sistêmico do estado de São Paulo.

### 6.1.3. Município de Campinas

Na etapa de avaliação do município de Campinas, da mesma forma que nos casos do Brasil e do estado de São Paulo, aplicou-se primeiramente a Avaliação Emergética. Um dos problemas encontrados no que diz respeito à aplicação de metodologias que demandam uma quantidade muito grande de dados brutos em escalas políticas menores é justamente a inexistência de um banco de dados oficial. A avaliação visa medir principalmente a dependência do sistema em relação a produtos, serviços e recursos importados, ou seja, que venham de fora da fronteira do município, porém esse tipo informação não está disponível nas estatísticas da prefeitura municipal de Campinas.

Da mesma forma que no caso do estado de São Paulo, para contornar esse obstáculo, as estimativas de consumo do município foram feitas baseadas na importância econômica e do tamanho da população em relação ao Brasil e ao estado de São Paulo. Buscou-se um fator de conversão (fator CPS) baseado na razão entre o Produto Interno Bruto de Campinas e o Produto Interno Bruto do de São Paulo e entre as populações de Campinas e de São Paulo (Tabela 22). Todos os cálculos estão devidamente explicitados no memorial de cálculo para o município de Campinas apresentado no Apêndice (item 9.3).

Tabela 22. Dados demográficos, econômicos e geográficos do município de Campinas em 2008.

Dados	Unidade	Valor
População <sup>A</sup>	pessoas	1.061.290
Área total <sup>A</sup>	ha	79.570
Área urbana <sup>B</sup>	ha	38.989
Área de cultivo permanente <sup>B</sup>	ha	1.856
Área de cultivo temporário <sup>B</sup>	ha	4.640
Área de pastagem <sup>B</sup>	ha	24.428
Área de reflorestamento <sup>B</sup>	ha	3.808
Área de floresta natural <sup>B</sup>	ha	2.732
Produto interno bruto do município de Campinas <sup>A</sup>	bi US\$	15,1
PIB per capita do município de Campinas	US\$ pessoa <sup>-1</sup>	14.217
Participação do PIB do município de Campinas no estado de SP	%	2,71
Razão PIB per capita Campinas / SP	-	1,05
Razão população Campinas / SP	-	0,03
Fator CPS <sup>C</sup>	-	0,03

<sup>A</sup> SEADE (2011) / <sup>B</sup> SAASP (2008) / <sup>C</sup> Fator CPS = (Razão PIB per capita Campinas / SP \* Razão população Campinas / SP).

A Tabela 23 apresenta os fluxos de energia assim como os dados brutos relativos aos itens avaliados. Apesar de ser um município economicamente forte, Campinas importa todos os recursos não renováveis utilizados para manter suas atividades internas.

Tabela 23. Avaliação Emergética do município de Campinas para o ano de 2008.

#	Itens	Unidade	Fluxo	UEV (seJ unidade <sup>-1</sup> )	Ref	Emergia (seJ ano <sup>-1</sup> )	% do Total
Fontes renováveis locais							
1	Radiação solar	J	3,61E+18	1,00E+00	[a]	3,71E+20	0,51
2	Calor interno	J	1,49E+15	5,80E+04	[b]	8,63E+19	
3	Vento	J	1,98E+15	2,50E+03	[c]	4,94E+18	
4	Água total	J	3,71E+20	variável		3,71E+20	
Fontes não renováveis locais							
5	Perda de florestas	J	5,04E+13	5,86E+04	[a]	2,95E+18	0,00
6	Pesca acima do limite sustentável	g	0,00E+00	2,78E+11	[a]	0,00E+00	0,00
7	Extração não renovável de água	g	0,00E+00		[d]	0,00E+00	0,00
8	Perda de solo: matéria orgânica	J	3,63E+14	1,24E+05	[e]	4,51E+19	0,06
9	Carvão	J	0,00E+00	6,71E+04	[f]	0,00E+00	0,00
10	Gás natural	J	0,00E+00	8,05E+04	[f]	0,00E+00	0,00
11	Petróleo	J	0,00E+00	9,06E+04	[f]	0,00E+00	0,00
12	Minerais	g	0,00E+00	2,22E+09	[g]	0,00E+00	0,00
13	Metais	g	0,00E+00	variável	-	0,00E+00	0,00
Importação							
14	Combustíveis	J	2,48E+16	variável	-	2,22E+21	3,06
15	Etanol	J	7,29E+15	1,30E+05	[h]	9,48E+20	1,31
16	Metais	g	7,27E+11	variável	-	1,37E+20	0,19
17	Minerais	g	8,31E+12	2,22E+09	[g]	1,84E+22	25,35
18	Agricultura	g	1,23E+11	variável	-	3,85E+20	0,53
19	Produtos animais	g	2,79E+10	variável	-	1,19E+21	1,64
20	Pesca	g	8,78E+08	2,78E+11	[a]	2,44E+20	0,34
21	Maquinário e transporte	g	1,54E+10	1,10E+10	[i]	1,70E+20	0,23
22	Eletricidade	J	9,58E+15	3,36E+05	[c]	3,22E+21	4,44
Exportação*							
23	Maquinário e transporte	g	1,27E+10	1,10E+10	[i]	1,39E+20	
Serviços							
24	Importação do Brasil	US\$	9,64E+09	4,12E+12	[j]	3,97E+22	54,70
25	Importação do exterior	US\$	2,47E+09	2,25E+12	[k]	5,55E+21	7,65
26	Exportação para o Brasil*	US\$	0,00E+00	1,31E+13	[j]	0,00E+00	
27	Exportação para o exterior*	US\$	1,24E+09	1,31E+13	[j]	1,62E+22	

[a] ODUM, 1996; [b] ODUM, 2000; [c] ODUM et al., 2000; [d] BUENFIL, 2001; [e] BARGIGLI; ULGIATI, 2003 [f] BROWN; ULGIATI, 2004; [g] BURANAKARN, 1998; [h] ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2002; [i] ODUM et al., 1987b; [j] esse trabalho; [k] SWEENEY et al., 2007 modificado.

\* Não são contabilizados na emergia usada total (ODUM, 1996).

Por meio da Tabela 24 é possível verificar os indicadores emergéticos e perceber a grande dependência do município de recursos externos, uma vez que os fluxos de emergia renováveis e não renováveis locais são bem inferiores aos importados. Além disso, o sistema apresenta um alto valor de carga ambiental (ELR) e um índice emergético de sustentabilidade (ESI) igual a zero. Não foi incluído na tabela o valor estimado para os serviços associados às exportações de Campinas para o Brasil. Por meio do fator CPS e dos valores de exportação do estado de São Paulo, foi possível estimar um valor total de US\$ 13,8 bilhões ou 1,81E+23 seJ para exportações de serviços do município para dentro do país. Porém, analisando-se os dados e percebendo-se que a produção interna de produtos é muito pequena, considerou-se apenas o valor referente aos serviços exportados para o exterior, pois são seguros e referenciados pelo

MDIC (2010). As exportações de Campinas para o exterior são baseadas em produtos industrializados, e como já discutido no item 6.1.1.3, os serviços associados a esses produtos são mais relevantes do que a energia básica dos mesmos, por isso o valor desses serviços representa praticamente a totalidade dos serviços exportados (1,62E+22 seJ).

Tabela 24. Indicadores emergéticos do município de Campinas para o ano de 2008.

Indicador	Unidade	Valor
R (fluxo renovável local)	seJ	3,71E+20
N (fluxo não renovável local)	seJ	4,80E+19
F (importação total)	seJ	7,10E+22
S (serviços da importação)	seJ	4,53E+22
U (energia usada total)	seJ	7,15E+22
Exportação total	seJ	1,62E+22
Serviços da exportação para o exterior	seJ	1,62E+22
Energia per capita (U/população)	seJ cap <sup>-1</sup>	6,73E+16
Densidade emergética (U/área)	seJ m <sup>-2</sup>	8,98E+13
Renovabilidade (R/U)	%	0,52
Fração usada importada (F/U)	%	99
EMR (U/PIB)	seJ US\$ <sup>-1</sup>	1,31E+13
EYR (U/F)	-	1,01
ELR ((N+F)/R)	-	191,42
EIR (F/(R+N))	-	169,39
ESI (EYR/ELR)	-	0,00
EER (imp/exp)	-	4,34

Foi elaborado um digrama sistêmico para representar o município de Campinas apresentado na Figura 23. É possível observar que a maior parte das atividades e dos fluxos de energia concentra-se próximo ao lado direito do diagrama, onde está localizada a área urbana do município, bem como a maior demanda por materiais, serviços e energia que são importados.

Segundo dados da SAASP (2008), a área natural preservada de Campinas (7.029 ha) corresponde a menos de 10 % da área total do município (79.570 ha). Dessa forma, a contribuição renovável dessa área para o total do município é praticamente desprezível. Nota-se que a fração renovável do município é muito pequena em relação ao total utilizado de energia, o que é refletido na baixa sustentabilidade e renovabilidade do sistema.

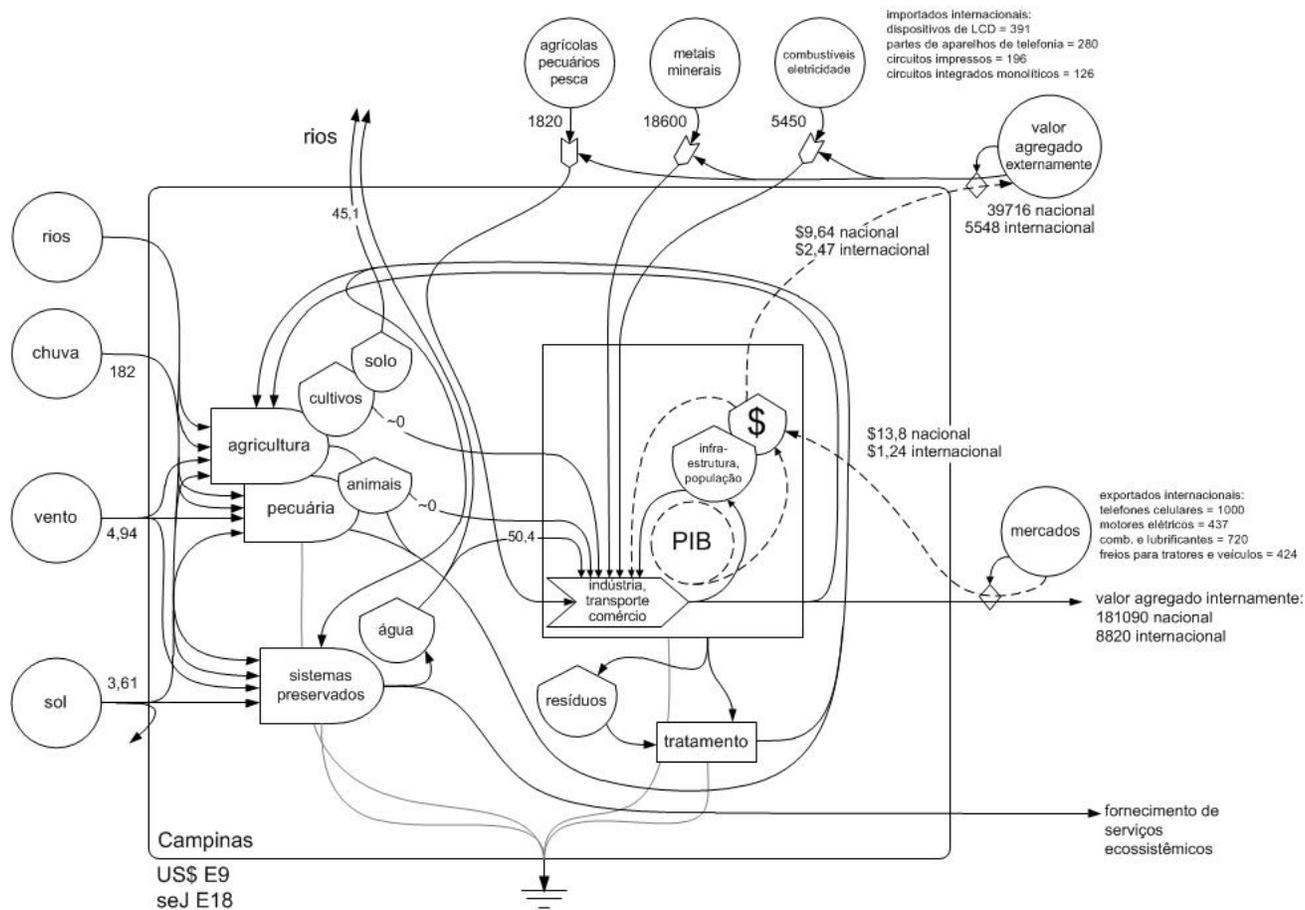


Figura 23. Diagrama sistêmico do município de Campinas.

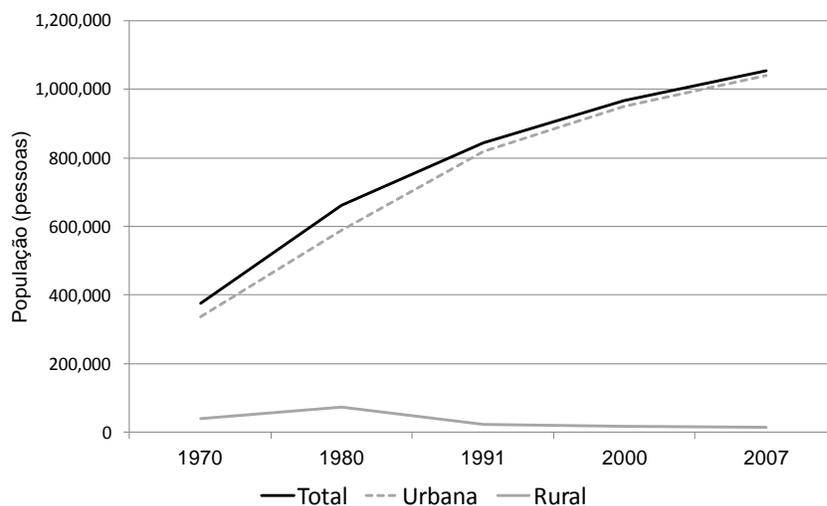


Figura 24. Crescimento populacional em Campinas (1970 - 2007).

Um dos reflexos do padrão de vida da população e da dinâmica populacional do município de Campinas pode ser observado na Figura 24. A população rural é extremamente

reduzida e vem caindo nos últimos anos. Apesar da área agrícola do município ter praticamente a mesma extensão da área urbana, a população se concentra nos centros urbanizados, onde há pouca ou nenhuma produção agrícola, alta dependência de fontes não renováveis de energia e grande produção de resíduos.

Por fim, buscaram-se na literatura alguns resultados já obtidos para a Avaliação Emergética de cidades para se ter uma visão mais clara da posição de Campinas em um contexto global.

A análise da Tabela 25 indica que a situação do município de Campinas é bem semelhante a de outras grandes cidades do mundo. O próprio conceito de centro urbano pode explicar a maioria dos resultados obtidos, ou seja, locais com grande concentração de pessoas e serviços que demandam alta quantidade de energia e de produtos. Essas características levam a baixos valores de renovabilidade e alta carga sobre o ambiente.

Um dos contrastes apresentados está no Produto Interno Bruto das cidades. Roma apresenta o maior dentre as cidades analisadas, visto que pertence a um país desenvolvido membro da União Européia. Apesar de apresentarem um Produto Interno Bruto ainda pequeno, as cidades asiáticas como Macau e Beijing já apresentam altos índices de impacto ambiental (ELR) e baixa renovabilidade (R/U). Cidades e países em desenvolvimento tendem a buscar o modelo que hoje caracteriza aqueles desenvolvidos, ou seja, alto consumo de materiais, serviços e recursos não renováveis importados. Campinas estaria em um meio termo entre Roma e as cidades asiáticas, lembrando que o município é altamente dependente de recursos importados, e sua área de preservação e o uso de recursos renováveis são baixíssimos.

Tabela 25. Comparação entre indicadores emergéticos para diferentes cidades.

Indicador	Unidade	Roma <sup>A</sup> (2002)	Macao <sup>B</sup> (2004)	Beijing <sup>C</sup> (2004)	Campinas <sup>D</sup> (2008)
Área	ha	125.800	2.750	1.680.000	79.570
População	hab	2.540.000	465.333	14.900.000	1.061.290
Densidade demográfica	hab ha <sup>-1</sup>	20,19	169,21	8,87	13,34
PIB	bi US\$	75,90	10,30	53,50	15,10
PIB por pessoa	US\$ hab <sup>-1</sup>	29.882	22.150	3.590	14.227
Energia total usada	seJ	1,08E+23	2,46E+22	6,50E+23	7,15E+22
Energia <i>per capita</i> (U/população)	seJ hab <sup>-1</sup>	4,25E+16	5,28E+16	4,36E+16	6,73E+16
Densidade emergética (U/área)	seJ ha <sup>-1</sup>	8,59E+17	8,94E+18	3,87E+17	8,98E+17
EMR (U/PIB)	seJ US\$ <sup>-1</sup>	1,42E+12	2,39E+12	1,21E+13	1,31E+13
EYR (U/F)	-	1,02	0,74	1,52	1,01
ELR ((N+F)/R)	-	60,43	904,00	492,57	191,42
ESI (EYR/ELR)	-	0,02	0,00	0,00	0,00
Renovabilidade (R/U)	%	0,37	2,90	0,30	0,52

<sup>A</sup> ASCIONE et al. (2009); <sup>B</sup> LEI; WANG; TON (2008); <sup>C</sup> ZHANG; YANG; Yu (2009); <sup>D</sup> esse trabalho.

## **6.2. Mochila Ecológica**

### **6.2.1. Brasil**

A Tabela 26 apresenta os resultados obtidos para a Mochila Ecológica para os principais produtos básicos e fontes de energia analisados no Brasil em 2008.

No caso da produção interna, fica clara a maior demanda por recursos abióticos e água por parte dos metais com valores em torno de 90 % em ambas as categorias. Segundo os fatores de intensidade de materiais (WUPPERTAL INSTITUTE, 2003) apresentados na Tabela 1, percebe-se que os valores para os metais (ligas de ferro, alumínio, chumbo, etc.) são bem superiores aos valores para os demais produtos. Dentro da categoria de materiais abióticos, destacam-se ainda a perda de solo com 6,30 % e a geração de eletricidade com 2,65 %, enquanto na categoria de demanda de água, destacam-se a produção de etanol com 4,11 % e a geração de eletricidade com 2,29 %.

Ao analisar os resultados para as importações, as maiores demandas por materiais abióticos são de fertilizantes com 43,43 % e pelos combustíveis com 32,42 %. No que se refere à demanda por água, o maior impacto foi da eletricidade com 35,39 %, seguido pelos fertilizantes com 28,36 %. Segundo o MDIC (2010), o Brasil importou cerca de US\$ 44 milhões em energia elétrica em 2008, o que é equivalente a  $1,51E+17$  J ou 8,5 % do consumo total de energia no país.

Em termos de produtos exportados, a maior demanda por materiais abióticos é imposta pelos fertilizantes com 50,51 % e metais com 35,39 %. No caso da água, os dois itens também se destacaram: a demanda foi dos metais com 40,74 % e dos fertilizantes com 32,18 %.

Analisando os totais, percebe-se um equilíbrio entre as importações e as exportações. A demanda total imposta por materiais abióticos para importados foi de  $6,54E+14$  g e para exportados,  $5,62E+14$  g. A demanda total por água para importados foi de  $3,84E+15$  g e para exportados,  $3,39E+15$  g.

Tabela 26. Mochila Ecológica para os principais produtos do Brasil em 2008.

#	Item	Fluxo	Unidade	abióticos <sup>A</sup>	%	água <sup>A</sup>	%
<b>Produção interna</b>							
1	Madeira	5,77E+13	g	3,63E+13	0,15	5,31E+14	0,10
2	Perda de solo: matéria orgânica	1,03E+14	g	1,56E+15	6,30	4,10E+14	0,08
3	Etanol	6,35E+13	g	3,08E+14	1,24	2,22E+16	4,11
4	Carvão	4,48E+12	g	2,27E+13	0,09	2,06E+13	0,00
5	Gás natural	8,96E+17	g	2,67E+13	0,11	1,09E+13	0,00
6	Petróleo	9,20E+13	g	1,12E+14	0,45	3,95E+14	0,07
7	Metais	1,02E+15	g	2,18E+16	88,04	5,01E+17	92,69
8	Fertilizantes	9,82E+12	g	1,15E+14	0,46	6,51E+14	0,12
9	Papel	9,01E+12	g	8,26E+13	0,33	2,73E+15	0,51
10	Cimento	5,15E+13	g	2,17E+13	0,09	8,51E+13	0,02
11	Celulose	1,27E+13	g	2,17E+13	0,09	8,51E+13	0,02
12	Eletricidade	1,37E+18	J	6,56E+14	2,65	1,24E+16	2,29
	<b>TOTAL</b>			<b>2,48E+16</b>		<b>5,41E+17</b>	
<b>Importação</b>							
13	Combustíveis	1,72E+14	g	2,12E+14	32,42	7,85E+14	20,43
14	Metais	7,52E+11	g	7,29E+13	11,15	2,58E+14	6,71
15	Fertilizantes	1,63E+13	g	2,84E+14	43,43	1,09E+15	28,36
16	Plásticos	1,01E+11	g	2,11E+11	0,03	3,62E+12	0,09
17	Papel	1,10E+12	g	1,01E+13	1,54	3,33E+14	8,67
18	Cimento	5,73E+11	g	1,85E+12	0,28	9,68E+12	0,25
19	Celulose	5,49E+11	g	9,39E+11	0,14	3,68E+12	0,10
20	Eletricidade	1,51E+17	J	7,20E+13	11,01	1,36E+15	35,39
	<b>TOTAL</b>			<b>6,54E+14</b>		<b>3,84E+15</b>	
<b>Exportação</b>							
21	Combustíveis	3,58E+13	g	4,56E+13	8,11	2,29E+14	6,76
22	Metais	7,83E+12	g	1,99E+14	35,39	1,38E+15	40,74
23	Fertilizantes	1,63E+13	g	2,84E+14	50,51	1,09E+15	32,18
24	Plásticos	3,20E+10	g	6,69E+10	0,01	1,15E+12	0,03
25	Papel	2,01E+12	g	1,84E+13	3,27	6,09E+14	17,98
26	Cimento	2,07E+11	g	6,67E+11	0,12	3,50E+12	0,10
27	Celulose	7,83E+12	g	1,34E+13	2,38	5,25E+13	1,55
28	Eletricidade	2,47E+15	J	1,18E+12	0,21	2,23E+13	0,66
	<b>TOTAL</b>			<b>5,62E+14</b>		<b>3,39E+15</b>	

<sup>A</sup> Valores obtidos a partir dos fatores de intensidade de materiais apresentados na Tabela 1, fornecidos por Wuppertal Institute (2003), exceto para perda de solo fornecidos por Odum (1996) e o etanol de cana-de-açúcar fornecidos por Agostinho e Ortega (2012).

### 6.2.2. Estado de São Paulo

A Tabela 27 apresenta os resultados obtidos para a Mochila Ecológica para os principais produtos básicos e fontes de energia analisados para o estado de São Paulo em 2008.

No caso da produção interna, a maior demanda por recursos abióticos é dividida entre eletricidade com 28,81 %, etanol com 24,74 %, metais com 21,22 % e perda de solo com 17,99 %. Dentro da categoria de demanda por água, destaca-se a produção de etanol com 61,65 %.

Ao analisar os resultados para as importações, as maiores demandas por materiais abióticos e água são dos metais com mais de 90 % dos totais. Já em termos de produtos exportados, a maior demanda por materiais abióticos e água é imposta pelo etanol.

Analisando os totais, percebe-se um desequilíbrio entre as importações e as exportações. A demanda total imposta por materiais abióticos para importados foi de  $8,68E+15$  g e para exportados,  $3,69E+13$  g. A demanda total por água para importados foi de  $1,93E+17$  g e para exportados,  $2,13E+15$  g. Esse resultado mostra que o estado de São Paulo, por sua necessidade de importação de produtos e energia, gera impactos maiores fora do sistema do que no interior, uma vez que a demanda por materiais abióticos e água gerada pela produção interna é inferior à demanda imposta pelas importações.

Como se percebe pelos resultados apresentados na Tabela 27, o etanol foi um dos produtos com maior demanda por materiais no estado de São Paulo em 2008. Apesar disso, sua produção vem crescendo nos últimos anos. Segundo dados da UNICA (2011), na safra 2000/2001, a produção no estado de São Paulo foi de mais de 148 milhões de toneladas de cana-de-açúcar com cerca de 6,5 milhões de metros cúbicos de etanol. No mesmo período, o Brasil produziu pouco mais de 257 milhões de toneladas de cana e 10,5 milhões de metros cúbicos de etanol. Na safra 2008/2009, a produção em São Paulo subiu para 346 milhões de toneladas de cana e 16,7 milhões de metros cúbicos de etanol. No biênio 2010/2011, a produção de cana chegou a 359 milhões no estado com mais de 15 milhões de metros cúbicos de etanol.

Tabela 27. Mochila Ecológica para os principais produtos do estado de São Paulo em 2008.

#	Item	Fluxo	Unidade	abiótico <sup>A</sup>	%	água <sup>A</sup>	%
<b>Produção interna</b>							
1	Madeira	1,23E+13	g	7,76E+12	1,09	1,13E+14	0,55
2	Perda de solo: matéria orgânica	1,68E+14	g	1,28E+14	17,99	3,36E+13	0,16
3	Etanol	3,64E+13	g	1,76E+14	24,74	1,27E+16	61,65
4	Gás natural	8,96E+17	g	2,44E+11	0,03	1,00E+11	0,00
5	Metais	1,08E+13	g	1,51E+14	21,22	2,63E+15	12,77
6	Papel	4,06E+12	g	3,72E+13	5,23	1,23E+15	5,97
7	Celulose	1,27E+13	g	6,33E+12	0,89	2,48E+13	0,12
8	Eletricidade	4,28E+17	J	2,05E+14	28,81	3,87E+15	18,79
	<b>TOTAL</b>			7,12E+14		2,06E+16	
<b>Importação</b>							
9	Combustíveis	3,10E+13	g	1,56E+14	1,80	2,15E+14	0,11
10	Metais	3,75E+14	g	8,08E+15	93,10	1,88E+17	97,27
11	Fertilizantes	9,54E+12	g	2,38E+14	2,74	1,19E+15	0,62
12	Eletricidade	5,14E+16	J	2,05E+14	2,36	3,87E+15	2,00
	<b>TOTAL</b>			8,68E+15		1,93E+17	
<b>Exportação</b>							
13	Etanol	5,19E+12	g	2,52E+13	68,24	1,82E+15	85,61
14	Papel	9,73E+11	g	8,92E+12	24,15	2,95E+14	13,88
15	Celulose	1,64E+12	g	2,81E+12	7,61	1,10E+13	0,52
	<b>TOTAL</b>			3,69E+13		2,13E+15	

<sup>A</sup> Valores obtidos a partir dos fatores de intensidade de materiais apresentados na Tabela 1, fornecidos por Wuppertal Institute (2003), exceto para perda de solo fornecidos por Odum (1996) e o etanol de cana-de-açúcar fornecidos por Agostinho e Ortega (2012).

### 6.2.3. Município de Campinas

A Tabela 28 apresenta os resultados obtidos para a Mochila Ecológica principalmente para os produtos básicos e fontes de energia importados pelo município de Campinas em 2008.

No caso da produção interna, o único item avaliado foi o de perda de solo. Analisando-se as importações, as maiores demandas de materiais abióticos ficaram por conta do etanol com 61,65 % e dos metais com 21,38 %. Na demanda por água o destaque novamente foi do etanol com 82,49 %.

Apesar de não produzir etanol dentro do município, Campinas importa grandes quantidades do combustível, que traz consigo os impactos ambientais associados à sua produção como já discutido no estudo de caso do estado de São Paulo.

Tabela 28. Mochila Ecológica para os principais produtos do município de Campinas em 2008.

#	Item	Fluxo	Unidade	abiótico <sup>A</sup>	%	água <sup>A</sup>	%
Produção interna							
1	Perda de solo: matéria orgânica	1,61E+10	g	2,44E+11		6,43E+10	
Importação							
2	Petróleo	5,37E+11	g	6,55E+11	0,90	2,31E+12	0,06
3	Gás natural	4,29E+10	g	5,23E+10	0,07	2,14E+10	0,00
4	Etanol	9,21E+12	g	4,47E+13	61,65	3,23E+15	82,49
5	Metais	7,27E+11	g	1,55E+13	21,38	5,45E+14	13,92
6	Fertilizantes	2,56E+11	g	4,46E+12	6,15	1,72E+13	0,44
7	Papel	8,25E+10	g	7,65E+11	1,06	2,50E+13	0,64
8	Cimento	5,28E+11	g	1,70E+12	2,34	8,92E+12	0,23
9	Celulose	5,52E+10	g	9,44E+10	0,13	3,70E+11	0,01
10	Eletricidade	9,58E+15	J	4,58E+12	6,32	8,66E+13	2,21
TOTAL				7,25E+13		3,92E+15	

<sup>A</sup> Valores obtidos a partir dos fatores de intensidade de materiais apresentados na Tabela 1, fornecidos por Wuppertal Institute (2003), exceto para perda de solo fornecidos por Odum (1996) e o etanol de cana-de-açúcar fornecidos por Agostinho e Ortega (2012).

### 6.3. Análise da Energia Incorporada e Inventário de Emissões Indiretas

#### 6.3.1. Brasil

A Tabela 29 mostra o requerimento bruto de energia comercial (RBE) e as emissões indiretas relativas à demanda energética apresentada em termos de potencial de aquecimento global (GWP 100 anos). Uma vez que somente foram consideradas as emissões indiretas e essas foram obtidas por meio de fatores de emissões gasosas da queima do petróleo, todas as categorias de impacto ambiental são proporcionais à energia comercial requerida. Por isso, na Tabela 29, foi apresentada apenas a categoria de potencial de aquecimento global.

Analisando a produção interna na Tabela 29, percebe-se que o maior impacto associado ao aquecimento global pertence à produção de metais com 70,26 %, seguido pela produção de petróleo com 12,61 %. No caso dos itens importados, destacam-se os combustíveis com quase a totalidade do impacto (90,63 %), enquanto nas exportações também destacam-se os combustíveis com 70,32 %, seguido pelos metais com 15,89 %.

Observando os valores totais de GWP para a produção interna, importação e exportação, percebe-se que o país está importando mais "impactos" do que exportando. A importação de combustíveis é a principal responsável por esse desequilíbrio. O Brasil importa 177 milhões de toneladas de combustíveis (principalmente petróleo) e exporta somente 37 milhões.

Tabela 29. Requerimento energético bruto e emissões indiretas dos principais produtos do Brasil em 2008.

#	Item	Fluxo	Unidade	RBE <sup>A</sup> (MJ)	GWP 100 anos (g CO2 eq.)	% do GWP
Produção interna						
1	Agricultura	2,10E+11	kg	9,68E+11	7,12E+13	2,28
2	Pecuária	3,78E+10	kg	9,44E+11	6,94E+13	2,23
3	Pesca	1,07E+09	kg	4,14E+10	3,04E+12	0,10
4	Madeira	5,77E+10	kg	2,89E+11	2,12E+13	0,68
5	Consumo de água	5,93E+13	kg	3,26E+11	2,40E+13	0,77
6	Eletricidade	1,33E+18	J	3,33E+12	2,45E+14	7,86
7	Etanol	6,35E+10	kg	1,65E+11	1,21E+13	0,39
8	Carvão	3,66E+09	kg	1,76E+11	1,30E+13	0,42
9	Gás Natural	1,67E+10	kg	8,05E+11	5,92E+13	1,90
10	Petróleo	8,50E+10	kg	5,34E+12	3,93E+14	12,61
11	Fertilizantes	9,82E+09	kg	2,17E+11	1,60E+13	0,51
12	Metais	1,02E+12	kg	2,98E+13	2,19E+15	70,26
	TOTAL			4,24E+13	3,12E+15	
Importação						
13	Combustíveis	1,77E+11	kg	1,07E+13	7,87E+14	90,63
14	Metais	6,18E+08	kg	9,21E+10	6,77E+12	0,78
15	Fertilizantes	1,63E+10	kg	5,20E+11	3,82E+13	4,40
16	Agricultura	8,73E+09	kg	5,07E+10	3,73E+12	0,43
17	Pecuária	5,26E+08	kg	5,55E+09	4,08E+11	0,05
18	Pesca	2,10E+08	kg	8,12E+09	5,97E+11	0,07
19	Plásticos	1,01E+08	kg	9,50E+09	6,98E+11	0,08
20	Maquinário e transporte	6,52E+08	kg	4,38E+10	3,22E+12	0,37
21	Eletricidade	1,51E+17	J	3,77E+11	2,77E+13	3,19
	TOTAL			1,18E+13	8,68E+14	
Exportação						
22	Combustíveis	3,69E+10	kg	2,09E+12	1,54E+14	70,32
23	Etanol	3,82E+09	kg	9,94E+09	7,31E+11	0,33
24	Metais	7,74E+12	kg	4,73E+11	3,48E+13	15,89
25	Fertilizantes	1,02E+09	kg	3,27E+10	2,40E+12	1,10
26	Agricultura	4,85E+10	kg	2,49E+11	1,83E+13	8,36
27	Pecuária	2,39E+09	kg	4,34E+10	3,19E+12	1,46
28	Pesca	5,82E+07	kg	2,25E+09	1,66E+11	0,08
29	Plásticos	3,20E+07	kg	3,01E+09	2,21E+11	0,10
30	Maquinário e transporte	9,59E+08	kg	6,44E+10	4,74E+12	2,16
31	Eletricidade	2,47E+15	J	6,17E+09	4,54E+11	0,21
	TOTAL			2,97E+12	2,19E+14	

<sup>A</sup> Valores obtidos utilizando-se os fatores de intensidade energética fornecidos por Biondi, Biondi, Panaro e Pellizzi (1989), com exceção dos valores para o etanol fornecidos por Agostinho e Ortega (2012).

Atualmente uma das maiores preocupações no que diz respeito ao uso de fontes não renováveis de energia é o retorno energético obtido pelo que foi investido, ou seja, o que é gerado em razão daquilo que foi gasto para se obter aquela quantidade útil de energia. Na Tabela 30, são listados os retornos pelos gastos energéticos (EROI) para as fontes de energia internas no caso brasileiro analisado. Logicamente, esses valores são estimativas baseadas na energia produzida internamente de acordo com o MME (2010) e nos

requerimentos de energia fornecidos por Biondi, Panaro e Pellizzi (1989) para eletricidade, carvão, gás natural e petróleo, e Agostinho e Ortega (2012) para etanol.

Percebe-se que o etanol apresenta o melhor EROI para os casos analisados com 11,40. Para simples comparação, os valores encontrados na literatura para a produção convencional de etanol de cana-de-açúcar são 3,7 (OLIVEIRA et al., 2005), 8,2 (PEREIRA; ORTEGA, 2010), 9,0 (SMEETS et al., 2008) e 9,3 (MACEDO; SEABRA; SILVA, 2008). Considerando que não era o objetivo principal deste trabalho o cálculo do EROI e que não foi realizado um estudo aprofundado da cadeia produtiva de etanol de cana-de-açúcar, verifica-se um resultado aceitável.

Tabela 30. Retorno de energia sobre investimento energético em 2008.

#	Item	Fluxo	Unidade	Energia gerada (MJ)	REB <sup>A</sup> (MJ)	EROI <sup>B</sup>
Produção interna <sup>C</sup>						
1	Etanol	6,35E+10	kg	1,88E+12	1,65E+11	11,40
2	Carvão	3,66E+09	kg	1,04E+11	1,76E+11	0,60
3	Gás Natural	1,67E+10	kg	8,96E+11	8,05E+11	1,11
4	Petróleo	8,50E+10	kg	3,94E+12	5,34E+12	0,74

<sup>A</sup> Valores obtidos utilizando-se os fatores de intensidade energética fornecidos por Biondi, Biondi, Panaro e Pellizzi (1989), com exceção dos valores para o etanol fornecidos por Agostinho e Ortega (2012).

<sup>B</sup> EROI = Energia gerada (MJ) / Requerimento energético bruto (REB).

<sup>C</sup> Dados do Balanço Energético Nacional de 2009 (ano base 2008) (MME, 2010).

### 6.3.2. Estado de São Paulo

A Tabela 31 mostra o requerimento bruto de energia comercial (REB) e as emissões indiretas relativas a essa demanda energética categorizadas em termos de potencial de aquecimento global (GWP 100 anos).

Analisando a produção interna na Tabela 31, percebe-se que o maior impacto associado ao potencial de aquecimento global pertence à produção de eletricidade com 70,26 %, seguida pela produção de metais com 16,62 %. No caso dos itens importados, destacam-se os metais com 77,45 % do total, seguidos pelos combustíveis com 12,57 %, enquanto nas exportações destacam os produtos agrícolas com 55,52 %.

Observando os valores totais de GWP para a produção interna, importação e exportação, percebe-se que o maior impacto ambiental nesse caso, vem dos produtos importados pelo estado.

Tabela 31. Requerimento energético bruto e emissões indiretas dos principais produtos do estado de São Paulo em 2008.

#	Item	Fluxo	Unidade	REB <sup>A</sup> (MJ)	GWP 100 anos (g CO <sub>2</sub> eq.)	% do GWP
Produção interna						
1	Agricultura	4,30E+10	kg	1,36E+11	9,97E+12	7,24
2	Pecuária	1,78E+09	kg	1,85E+10	1,36E+12	0,99
3	Pesca	5,51E+07	kg	2,13E+09	1,57E+11	0,11
4	Madeira	1,23E+10	kg	6,16E+10	4,53E+12	3,29
5	Consumo de água	2,26E+13	kg	1,24E+11	9,14E+12	6,63
6	Eletricidade	4,28E+17	J	1,07E+12	7,87E+13	57,11
7	Etanol	3,64E+10	kg	9,45E+10	1,05E+13	7,62
9	Gás Natural	1,53E+08	kg	7,37E+09	5,42E+11	0,39
12	Metais	1,08E+13	kg	3,11E+11	2,29E+13	16,62
	TOTAL				1,38E+14	
Importação						
13	Combustíveis	2,81E+10	kg	1,68E+12	1,30E+14	12,57
14	Metais	3,71E+11	kg	1,09E+13	8,01E+14	77,45
15	Fertilizantes	9,54E+09	kg	3,05E+11	2,24E+13	2,17
16	Agricultura	4,11E+10	kg	2,09E+11	1,54E+13	1,49
17	Pecuária	1,19E+10	kg	3,27E+11	2,40E+13	2,32
18	Pesca	4,11E+08	kg	1,59E+10	1,17E+12	0,11
19	Maquinário e transporte	1,07E+08	kg	7,16E+09	5,27E+11	0,05
20	Eletricidade	2,16E+17	J	5,40E+11	3,97E+13	3,84
	TOTAL				1,03E+15	
Exportação						
21	Etanol	5,19E+09	kg	1,35E+10	1,50E+12	22,09
22	Agricultura	1,91E+10	kg	5,12E+10	3,77E+12	55,52
23	Maquinário e transporte	3,07E+08	kg	2,06E+10	1,52E+12	22,39
	TOTAL				6,79E+12	

<sup>A</sup> Valores obtidos utilizando-se os fatores de intensidade energética fornecidos por Biondi, Biondi, Panaro e Pellizzi (1989), com exceção dos valores para o etanol fornecidos por Agostinho e Ortega (2012).

### 6.3.3. Município de Campinas

A Tabela 32 mostra o requerimento bruto de energia comercial (REB) e as emissões indiretas relativas a essa demanda energética categorizadas em termos do potencial de aquecimento global (GWP 100 anos) para o município de Campinas no ano de 2008.

Por meio da Tabela 32, percebe-se que apenas o consumo de água foi considerado no caso da produção interna, enquanto nas exportações foram avaliados somente os produtos de maquinário e transporte que são comercializados internacionalmente.

No caso da importação, os maiores impactos associados ao potencial de aquecimento global pertencem aos combustíveis com 48,70 %, seguidos pela eletricidade com 25,94 % e pelos metais com 22,90 %.

Tabela 32. Requerimento energético bruto e emissões indiretas dos principais produtos do município de Campinas em 2008.

#	Item	Fluxo	Unidade	REB <sup>A</sup> (MJ)	GWP 100 anos (g CO <sub>2</sub> eq.)	% do GWP
Produção interna						
1	Consumo de água	6,04E+11	kg	3,32E+09	2,44E+11	
Importação						
2	Combustíveis	5,29E+08	kg	3,28E+10	3,53E+12	48,70
3	Metais	7,07E+08	kg	2,11E+10	1,66E+12	22,90
4	Agricultura	1,23E+08	kg	5,53E+08	4,35E+10	0,60
5	Pecuária	2,58E+07	kg	6,51E+08	5,11E+10	0,70
6	Pesca	8,78E+05	kg	3,40E+07	2,67E+09	0,04
7	Maquinário e transporte	1,54E+07	kg	1,04E+09	8,14E+10	1,12
8	Eletricidade	9,58E+15	J	2,40E+10	1,88E+12	25,94
TOTAL					7,25E+12	
Exportação						
9	Maquinário e transporte	1,27E+07	kg	8,51E+08	6,69E+10	

<sup>A</sup>Valores obtidos utilizando-se os fatores de intensidade energética fornecidos por Biondi, Biondi, Panaro e Pellizzi (1989), com exceção dos valores para o etanol fornecidos por Agostinho e Ortega (2012).

## 6.4. Pegada ecológica

### 6.4.1. Brasil

As Tabelas 33 e 34 apresentam os resultados obtidos para a aplicação da Pegada Ecológica ao estudo de caso do Brasil com dados de 2008. Como já descrito na parte da metodologia (item 5.3.5.), a análise dos resultados nesse caso se faz por meio da comparação da Biocapacidade e da Pegada Ecológica que representa o consumo.

Por meio da Tabela 33, percebe-se que a maior contribuição para a Biocapacidade do país é da floresta natural, em função da extensa área da floresta Amazônica com 358 milhões de hectares (MMA, 2007) ou 62,37% do total da cobertura vegetal preservada brasileira. A metodologia da Pegada Ecológica, no entanto, não demonstra a importância do bioma amazônico em termos de serviços ambientais prestados. Bergier (2010) destaca a contribuição da evapotranspiração da floresta para o fornecimento de umidade para correntes de ar que rumam na direção sul, podendo afetar os regimes de chuva no Pantanal. Além disso, Batjes e Dijkshoorn (1999) citam a importância da manutenção dos estoques de carbono e nitrogênio no solo amazônico, que podem ser liberados com a mudança no uso da terra. Saatchi et al. (2007) estimam que a floresta Amazônica tenha um estoque total de carbono de 86 petagramas ou 86 bilhões de toneladas, o que equivale a 11 anos de emissões globais de dióxido de carbono considerando os valores de 2005. No que diz respeito à biodiversidade, Nelson et al.

(1990) e de Oliveira e Mori (1999) destacam que a bacia amazônica possui uma das maiores diversidades de espécies do mundo.

Tabela 33. Biocapacidade do Brasil em 2008.

Tipo	Área (ha)	EQF <sup>A</sup> (ha ha <sup>-1</sup> )	Biocapacidade (ha pessoa <sup>-1</sup> )
Cultivo	61.020.085 <sup>B</sup>	2,21	0,71
Pastagem	78.048.460 <sup>B</sup>	0,49	0,20
Urbana	2.128.500 <sup>C</sup>	2,21	0,02
Pesca	71.000.000 <sup>D</sup>	0,36	0,13
Floresta natural	574.000.000 <sup>E</sup>	1,34	4,06
<b>Total</b>			<b>5,13</b>

<sup>A</sup> Kitzes et al. (2007) / <sup>B</sup> IBGE (2008) / <sup>C</sup> MAPA (2010) / <sup>D</sup> CIA (2008) / <sup>E</sup> MMA (2007).

Do ponto de vista do consumo, a Tabela 34 mostra que a categoria mais impactante na Pegada Ecológica do Brasil é a de energia. A pegada relativa à área de cultivo foi de 0,58 hectares por pessoa, enquanto a de pastagem foi de 0,19. De acordo com o IBGE (2008), a área real de pastagem é de 78 milhões de hectares contra 61 milhões de hectares de cultivo, e pela Tabela 34, verifica-se que a área equivalente de consumo de pastagem é de 74,2 milhões de hectares contra 49,5 milhões de hectares de cultivo, porém os fatores de equivalência dão pesos diferentes aos tipos de área, o que resulta em uma pegada de cultivo aproximadamente cinco vezes maior que a de pastagem.

Na categoria de energia, a Pegada é calculada por meio das emissões de CO<sub>2</sub> equivalente. Nesse trabalho, foram utilizados dois valores de referência: o primeiro deles de 0,53 Gt CO<sub>2</sub> eq. foi retirado da Parte 2 do Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros de Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal (MCTI, 2010); o segundo de 0,09 Gt CO<sub>2</sub> eq. foi obtido do *Millennium Development Goal Indicators* da ONU (UNSD, 2008), incluindo emissões da indústria de energia, transporte, combustão, serviços e moradia, mas não inclui emissões de mudanças no uso da terra, pois ainda não existe uma metodologia consensual.

Segundo o MCTI (2010), as emissões do setor de energia representaram 19 % das emissões totais de CO<sub>2</sub> eq. As emissões devido a processos industriais representaram 4 % das emissões totais, com a produção de ferro-gusa e aço, constituindo a maior parcela (58 %). O setor de mudança do uso da Terra e Florestas foi responsável pela maior parcela das emissões de CO<sub>2</sub> eq., que incluem o manejo de áreas protegidas, a regeneração de áreas abandonadas e a

mudança no estoque de carbono nos solos, com as emissões líquidas do setor participando com 77% das emissões líquidas totais de CO<sub>2</sub> eq. A conversão de florestas para outros usos, em particular o agrícola, consistiu na quase totalidade das emissões de CO<sub>2</sub> do setor, sendo a pequena parcela restante devido à adição de calcário agrícola aos solos.

Considerando o valor da UNSD (2008), tem-se um saldo ecológico positivo para a Pegada Ecológica (biocapacidade - pegada = saldo) de 0,52 ha por pessoa (5,13 - 4,61), porém se o valor fornecido pelo MCTI (2010) que inclui emissões de CO<sub>2</sub> provenientes de mudanças no uso da terra for considerado, o saldo ecológico é negativo de -16,59 ha por pessoa (5,13 - 21,82).

Tabela 34. Pegada Ecológica do Brasil em 2008.

Tipo	Produção (kg ano <sup>-1</sup> )	Importação (kg ano <sup>-1</sup> )	Exportação (kg ano <sup>-1</sup> )	Consumo <sup>A</sup> (kg ano <sup>-1</sup> )	Produtividade <sup>B</sup> (ton ha <sup>-1</sup> )	Área eq. <sup>C</sup> (ha)	Eqf <sup>D</sup> (ha ha <sup>-1</sup> )	Pegada (ha pessoa <sup>-1</sup> )
Cultivo	2,10E+11	8,73E+09	4,85E+10	1,71E+11	3,45E+03	4,95E+07	2,21	0,58
Pastagem	3,78E+13	5,26E+11	2,39E+12	3,59E+13	4,84E+05	7,42E+07	0,49	0,19
Urbana	-	-	-	-	-	2,13E+06	2,21	0,02
Pesca	1,07E+09	2,10E+08	5,82E+07	1,22E+09	1,72E+01	7,10E+07	0,36	0,13
Floresta	5,77E+10	0,00E+00	0,00E+00	5,77E+10	1,00E+04	5,77E+06	1,34	0,04
Energia	0,53 Gt CO <sub>2</sub> eq <sup>E</sup>	-	-	-	-	2,95E+09	1,34	20,85
Energia	0,09 Gt CO <sub>2</sub> eq <sup>F</sup>	-	-	-	-	5,15E+08	1,34	3,64
<b>Total</b>								<b>21,82 ou 4,61</b>

<sup>A</sup> Consumo = Produção + Importação - Exportação / <sup>B</sup> Produtividade = (Produção/Área do tipo) / <sup>C</sup> Área equivalente ao consumo = (Consumo/Produtividade) / <sup>D</sup> Kitzes et al. (2007) / <sup>E</sup> MCTI (2010) / <sup>F</sup> UNSD (2008).

Segundo Siche et al. (2010), uma análise mais adequada nesse caso pode ser feita dividindo-se a Biocapacidade pela Pegada Ecológica, ao que se nomeou "fator capacidade de suporte". Esse fator demonstra se um sistema pode ou não suportar sua própria população considerando seu estilo de vida atual. Valores menores que 1 significam que o sistema está em uma situação insustentável sobre o ponto de vista dessa metodologia, enquanto que valores superiores a 1 caracterizam um sistema sustentável. Considerando-se uma Biocapacidade de 5,13 ha por pessoa e uma Pegada Ecológica de 4,61 ha por pessoa para o Brasil, o fator capacidade de suporte é de 1,11. Esse valor indica que o país apresenta uma condição sustentável do ponto de vista ambiental com possibilidade de crescimento do consumo em ainda 10 %.

Para fins de comparação com resultados publicados na literatura, utilizou-se o *Living Planet Report* (LPR) publicado a cada dois anos pela *World Wide Fund for Nature* (WWF), que utiliza a Pegada Ecológica como referência metodológica desde 2002. Segundo o LPR de 2008 (WWF, 2008), o Brasil apresentou uma Pegada de 2,5 hectares globais por pessoa em 2005 sendo que 50 % era atribuída às áreas de pastagem. Ao mesmo tempo, a Biocapacidade era de 7,5 hectares globais. No LPR de 2010 (WWF, 2010), foi incluída no cálculo da Pegada do Brasil a categoria referente à energia (carbono), assim a demanda total por pessoa subiu para 3,0 hectares globais e a Biocapacidade foi superior a 8,0 hectares globais por pessoa em 2007. No último LPR 2012 (WWF, 2012), o Brasil apresentou uma Pegada de 2,5 hectares globais e uma Biocapacidade de 9,0 hectares globais para o ano de 2008. Neste trabalho, a Biocapacidade foi estimada em 5,13 hectares por pessoa e a Pegada em 4,61 hectares por pessoa para o ano de 2008. De acordo com os dados apresentados, os resultados encontrados com a metodologia da Pegada Ecológica neste trabalho foram mais pessimistas do que os apresentados nos relatórios da WWF. A categoria de maior impacto na Pegada do Brasil segundo este trabalho foi a de energia com mais de 4 hectares por pessoa, enquanto no LPR 2012 (WWF, 2012), essa categoria atingiu menos de 1 hectare por pessoa. Como os cálculos e os fatores de conversão da Pegada Ecológica utilizados nos relatórios não são divulgados, não é possível saber onde há diferenças metodológicas entre o método aplicado neste trabalho e o do LPR.

#### **6.4.2. Estado de São Paulo**

As Tabelas 35 e 36 apresentam os resultados obtidos para a aplicação da Pegada Ecológica ao estudo de caso do estado de São Paulo com dados de 2008. Por meio da Tabela 35, percebe-se que a maior contribuição para a Biocapacidade do estado ao contrário do caso do Brasil não é mais da floresta natural, mais sim das áreas de cultivo. A contribuição da área de floresta natural preservada (0,08 ha por pessoa) é menor inclusive do que a de áreas de pastagens (0,10 ha por pessoa). Esses valores evidenciam a expansão das áreas de produção agrícola e pecuária, em detrimento das áreas de vegetação preservada da Mata Atlântica. Como exemplo, segundo a UNICA (2011), a safra de 2008/2009 de cana no estado de São Paulo apresentou uma área de colheita de 4,45 milhões de hectares, ou seja, 56 % da área total de cultivos do estado. Uma análise mais impactante mostra que essa área de produção de cana-

de-açúcar é quase o dobro da área de floresta natural preservada do estado (2,43 milhões de hectares).

Tabela 35. Biocapacidade do estado de São Paulo em 2008.

Tipo	Área <sup>A</sup> (ha)	Eqf <sup>B</sup> (ha ha <sup>-1</sup> )	Biocapacidade (ha pessoa <sup>-1</sup> )
Cultivo	7.959.734	2,21	0,42
Pastagem	8.072.849	0,49	0,10
Urbana	369.690	2,21	0,02
Pesca	27.500	0,36	0,00
Floresta natural	2.432.912	1,34	0,08
<b>Total</b>			<b>0,62</b>

<sup>A</sup> SAASP (2008) / <sup>B</sup> Kitzes et al. (2007).

Ao analisar a Tabela 36, percebe-se que a categoria mais impactante para a Pegada Ecológica do estado de São Paulo é a de energia, assim como no caso do Brasil. O item cana-de-açúcar foi apresentado de forma separada por ser uma produção de destaque no contexto do estado e pelo grande uso de área. Apesar disso, a área equivalente de consumo não é tão grande quanto a de cultivos, pois a produtividade da cana é bem maior, 74 toneladas por hectare segundo o MCTI (2010). Considerando o saldo ecológico (Biocapacidade - Pegada Ecológica), chega-se a um valor negativo de -7,12 hectares por pessoa. Segundo a metodologia, isso demonstra que o estado ultrapassou sua capacidade de suporte. Pode concluir que o restante do país funciona, de certa forma, como uma área de suporte para as atividades antrópicas desenvolvidas em São Paulo.

Diferentemente do Brasil, o fator capacidade de suporte para o estado de São Paulo foi estimado em 0,08, o que indica uma situação de déficit, ou seja, o consumo é muito maior do que a capacidade do estado de manter sua própria população.

Tabela 36. Pegada Ecológica do estado de São Paulo em 2008.

Tipo	Produção (ton ano <sup>-1</sup> )	Importação (ton ano <sup>-1</sup> )	Exportação (ton ano <sup>-1</sup> )	Consumo <sup>A</sup> (ton ano <sup>-1</sup> )	Produtividade <sup>B</sup> (ton ha <sup>-1</sup> )	Área eq. <sup>C</sup> (ha)	Eqf <sup>D</sup> (ha ha <sup>-1</sup> )	Pegada (ha pessoa <sup>-1</sup> )
Cultivo	43.000.000	41.100.000	19.100.000	65.000.000	54,1	12.000.000	2,21	0,64
Cana-de-açúcar	36.400.000	0	5.190.000	31.200.000	74,0	4.220.000	2,21	0,22
Pastagem	1.780.000	11.900.000	0	13.700.000	0,22	61.900.000	0,49	0,73
Urbana	-	-	-	-	-	370.000	2,21	0,02
Pesca	55.100	411.000	0	4,66E+08	16,9	27.500	0,36	0,00
Floresta	12.300.000	0	0	12.300.000	10,0	1.230.000	1,34	0,04
Energia	0,03 Gt CO <sub>2</sub> eq <sup>E</sup>	-	-	-	-	188.000.000	1,34	6,09
<b>Total</b>								<b>7,74</b>

<sup>A</sup> Consumo = Produção + Importação - Exportação / <sup>B</sup> Produtividade = (Produção/Área do tipo) / <sup>C</sup> Área equivalente ao consumo = (Consumo/Produtividade) / <sup>D</sup> Kitzes et al. (2007) / <sup>E</sup> CETESB (2010).

### 6.4.3. Município de Campinas

As Tabelas 37 e 38 apresentam os resultados obtidos para a aplicação da Pegada Ecológica ao estudo de caso do município de Campinas com dados de 2008.

Por meio da Tabela 37, percebe-se que a maior contribuição para a Biocapacidade do município é da área urbana. Apesar de surpreendente, esse resultado está alinhado com o dado da SAASP (2008) de que a área urbana de Campinas representa cerca de 50 % da área total do município e do pressuposto conceitual da metodologia (WACKERNAGEL; REES, 1996), segundo o qual as cidades surgiram sobre as áreas mais férteis do mundo e, portanto, apresentam uma produtividade potencial similar a das áreas de cultivo (mesmo fator de equivalência).

Tabela 37. Biocapacidade do município de Campinas em 2008.

Tipo	Área <sup>A</sup> (ha)	Eqf <sup>B</sup> (ha ha <sup>-1</sup> )	Biocapacidade (ha pessoa <sup>-1</sup> )
Cultivo	6.496	2,21	0,01
Pastagem	24.428	0,49	0,01
Urbana	38.989	2,21	0,08
Pesca	-	0,36	0,00
Floresta natural	2.732	1,34	0,00
<b>Total</b>			<b>0,11</b>

<sup>A</sup> SAASP (2008) / <sup>B</sup> Kitzes et al. (2007).

Ao analisar Tabela 38, percebe-se que a categoria mais impactante para a Pegada Ecológica do município de Campinas é a de energia, assim como nos casos do Brasil e do estado de São Paulo.

Considerando o saldo ecológico (Biocapacidade - Pegada Ecológica), chega-se a um valor negativo de -2,91 hectares por pessoa. Do ponto de vista da metodologia, esse valor mostra que o município ultrapassou sua capacidade de suporte e depende de outras áreas do país para suportar os padrões de consumo e de absorção de emissões.

Tabela 38. Pegada ecológica do município de Campinas em 2008.

Tipo	Produção (kg ano <sup>-1</sup> )	Importação (ton ano <sup>-1</sup> )	Exportação (ton ano <sup>-1</sup> )	Consumo <sup>A</sup> (ton ano <sup>-1</sup> )	Produtividade <sup>B</sup> (ton ha <sup>-1</sup> )	Área eq. <sup>C</sup> (ha)	Eqf <sup>D</sup> (ha ha <sup>-1</sup> )	Pegada (ha pessoa <sup>-1</sup> )
Cultivo	0	123.000	0	123.000	5,41	22.661	2,21	0,05
Pastagem	0	25.800	0	25.800	0,22	116.713	0,49	0,05
Urbana	-	-	-	-	-	38.989	2,21	0,08
Pesca	0	87,8	0	8,78	16,9	52	0,36	0,00
Floresta	-	-	-	-	10,0	-	1,34	0,00
Energia	1,72E-03 Gt CO <sub>2</sub> eq <sup>E</sup>	-	-	-	-	2.250.000	1,34	2,84
<b>Total</b>								<b>3,02</b>

<sup>A</sup> Consumo = Produção + Importação - Exportação / <sup>B</sup> Produtividade = (Produção/Área do tipo) / <sup>C</sup> Área equivalente ao consumo = (Consumo/Produtividade) / <sup>D</sup> Kitzes et al. (2007) / <sup>E</sup> SEADE (2011).

Apesar do valor baixo obtido para a Biocapacidade, uma vez que o município apresenta mais de 50 % de área urbana e poucas áreas de vegetação preservada, o resultado para o consumo de 3,02 hectares por pessoa foi menor do que os valores encontrados para o Brasil e para o estado de São Paulo. Outro ponto que pode ter contribuído para esse resultado foi o fato do consumo do município ter sido obtido por meio do fator CPS, o que pode ter levado a uma subestimativa da Pegada Ecológica.

O fator capacidade de suporte do município de 0,04 é ainda menor do que o do estado de São Paulo, demonstrando uma clara incapacidade de manutenção da população local com recursos próprios, ressaltando a dependência de fontes externas já evidenciada pela Avaliação Emergética.

## 6.5. Análise comparada dos resultados obtidos pela seleção de metodologias

Nesta seção os três casos estudados nesse trabalho são analisados de forma simultânea por meio das diversas metodologias aplicadas. Nesse ponto do trabalho, cabe ao analista

selecionar os indicadores que melhor expressem o desempenho energético-ambiental dos sistemas analisados e para discutir as principais disparidades que possam ocorrer entre eles.

A Tabela 39 apresenta os indicadores selecionados de cada método utilizado nesse trabalho para os casos do Brasil, do estado de São Paulo e município de Campinas no ano de 2008.

O PIB *per capita* foi selecionado por ser um indicador econômico pelo qual é possível comparar qualidade de vida. Nesse caso, o município de Campinas apresentou o melhor resultado com US\$ 14.217 por pessoa, valor próximo a US\$ 13.587 por pessoa, encontrado para o estado de São Paulo. O valor da média brasileira foi bem inferior com US\$ 8.220 por pessoa.

Foram selecionados ainda três indicadores da Avaliação Emergética. A renovabilidade, que mostra a porcentagem de energia dos recursos renováveis pela energia total usada pelo sistema, é um indicador de bom desempenho ambiental. No entanto, para fins de comparação com os outros selecionados, ela foi apresentada com o seu valor inverso ( $1/\text{Renovabilidade}$ ), o que é um indicador de mau desempenho. Assim, o pior resultado foi para o município de Campinas com 1,92. Além disso, outros dois indicadores emergéticos foram selecionados: a fração importada, que mostra a dependência de recursos externos e a razão de carga ambiental (ELR), que indica a pressão imposta sobre o meio ambiente. Em ambos os casos, os piores resultados foram encontrados para o município de Campinas com 99 % de fração importada e ELR de 191,42, enquanto o estado de São Paulo apresentou 91 % de fração importada e ELR de 32,64. Dentro dessa análise, o Brasil apresentou excelentes resultados com uma fração importada de apenas 16 % e um ELR de 1,12.

Dentro da metodologia da Mochila Ecológica foram selecionados os indicadores de demanda indireta por materiais abióticos e por água. Ambos estão apresentados na Tabela 39 em termos *per capita* para permitir a comparação entre as três escalas políticas estudadas. As demandas foram estimadas considerando a produção interna, a importação e a exportação, ou seja, a demanda total foi calculada como sendo a soma da produção interna e a importação, subtraindo a exportação de produtos e energia. Os piores resultados foram encontrados para o estado de São Paulo com uma demanda indireta de materiais abióticos de 225,63 toneladas por pessoa e uma demanda indireta de água de 5.100,47 toneladas por pessoa. O município de Campinas apresentou o melhor desempenho em termos de demanda de materiais abióticos

com 68,54 toneladas por pessoa, enquanto o Brasil apresentou o melhor resultado para a demanda de água com 2.854,10 toneladas por pessoa.

A partir da Análise da Energia Incorporada e do Inventário de emissões indiretas foi selecionado apenas o potencial de aquecimento global (GWP 100 anos). Da mesma forma que no caso dos indicadores de demanda da Mochila Ecológica, o GWP foi estimado levando em consideração a produção interna, a importação e a exportação. O pior resultado foi encontrado para o estado de São Paulo com 28,10 ton CO<sub>2</sub> eq por pessoa, enquanto o melhor desempenho foi do município de Campinas com 7,00 ton CO<sub>2</sub> eq por pessoa. Por outro lado, esse mesmo tipo de comparação pode ser feito tendo como referência os dados de emissões diretas de CO<sub>2</sub>: para o município de Campinas, as emissões totalizaram 1,70 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> eq (SEADE, 2011) ou 1,60 toneladas de CO<sub>2</sub> eq por pessoa; para o estado de São Paulo, são 30,0 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> eq (CETESB, 2010) ou 0,73 toneladas de CO<sub>2</sub> eq por pessoa; para o Brasil, as emissões totais contabilizam 90 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> eq (UNSD, 2008) ou 0,47 toneladas de CO<sub>2</sub> eq por pessoa. Portanto, o indicador GWP encontrado para Campinas pode ter sido subestimado nesse trabalho.

A metodologia de Pegada Ecológica fornece o "fator capacidade de suporte", que é obtido pela razão entre Biocapacidade e Pegada, fornecendo uma estimativa de quantas pessoas o sistema poderia suportar, caso o padrão de vida corrente fosse mantido. No entanto, para realizar a análise comparada, utilizou-se a razão entre Pegada e Biocapacidade, que é um indicador de mau desempenho. Dentro desse contexto, o pior resultado foi o do município de Campinas com 27,45, seguido pelo estado de São Paulo com 12,48, enquanto o Brasil apresentou um valor de 0,90.

Tabela 39. Indicadores para o ano de 2008 selecionados para a análise comparada.

	Unidade	Brasil	São Paulo	Campinas
<b>Econômico</b>				
PIB <i>per capita</i>	US\$ pessoa <sup>-1</sup>	8.220	13.587	14.217
<b>Avaliação Emergética</b>				
1/Renovabilidade	-	0,02	0,33	1,92
Fração importada	%	16,0	91,0	99,0
ELR	-	1,12	32,64	191,42
<b>Mochila Ecológica</b>				
Demanda indireta de abióticos <i>per capita</i>	ton pessoa <sup>-1</sup>	131,28	225,63	68,54
Demanda indireta de água <i>per capita</i>	ton pessoa <sup>-1</sup>	2.854,10	5.100,47	3.693,68
<b>Energia Incorporada e emissões indiretas</b>				
Potencial de aquecimento global (GWP 100 anos)	ton CO <sub>2</sub> eq pessoa <sup>-1</sup>	19,88	28,10	7,00
<b>Pegada Ecológica</b>				
Pegada/Biocapacidade	-	0,90	12,48	27,45

A Figura 25 apresenta um diagrama em radar montado a partir dos indicadores selecionados mostrados na Tabela 39. Para fins de comparação no diagrama, os indicadores foram normalizados com referência ao valor médio das categorias.

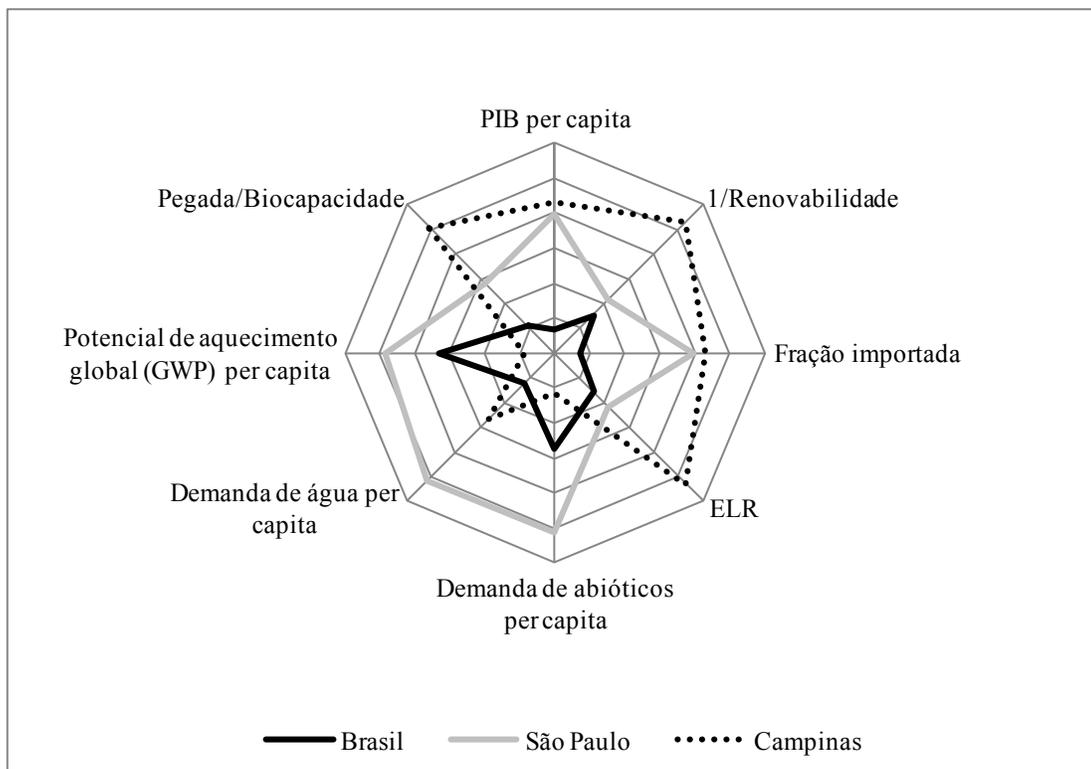


Figura 25. Diagrama em radar comparando o Brasil, o estado de São Paulo e o município de Campinas quanto aos indicadores selecionados.

Por meio da observação da Figura 25, pode-se concluir que o Brasil apresenta o melhor desempenho geral com relação aos indicadores selecionados, uma vez que a área obtida no diagrama em radar é a menor entre as três escalas estudadas. Nota-se também que o município de Campinas e o estado de São Paulo, apresentam áreas totais similares no digrama, porém diferem nos indicadores selecionados. Campinas apresenta altos valores para o ELR, fração importada, 1/Renovabilidade e Pegada/Biocapacidade, enquanto São Paulo é superior no potencial de aquecimento global e na demanda de materiais abióticos e água *per capita*. Apesar do melhor desempenho, a média do valor do PIB por pessoa do Brasil (US\$ 8.220) é muito inferior aos valores do município de Campinas (US\$ 14.217) e do estado de São Paulo (US\$ 13.587), o que condiz com a hipótese de que o crescimento econômico e a qualidade de vida baseada em indicadores neoclássicos caminham em sentidos opostos ao do desenvolvimento sustentável baseado no baixo impacto ambiental e na utilização de fontes locais e renováveis de energia e materiais.

## 6.6. Análise de Sensibilidade

A Análise de Sensibilidade objetiva determinar a robustez com respeito às incertezas nos pesos atribuídos, valor das funções, assim como nas mudanças nos métodos de agregação. Nesse trabalho, a maior parte dos dados foi obtida de trabalhos referenciados, e alguns foram estimados pelo autor. Diante disso, é fundamental reconhecer as incertezas e avaliar o quanto afetam os resultados finais. Cabe ao analista identificar onde ocorrem essas incertezas e que dados devem ser avaliados. Para realizar essa avaliação foram aplicadas variações de -50 % até +50 % nos itens selecionados para o caso do Brasil. Na Tabela 40, estão apresentados os itens avaliados para cada metodologia, e as variações resultantes nos indicadores finais.

A seguir são justificadas as escolhas com relação aos itens avaliados:

- A Avaliação Emergética se caracteriza por contabilizar entradas de fontes renováveis no sistema, ao contrário das outras metodologias aplicadas neste trabalho. No entanto, essa particularidade aumenta enormemente a demanda por dados. Além disso, na busca por esses tipos de dados para o caso do Brasil, deve ser ressaltada a necessidade de se utilizar valores médios que podem apresentar grande discrepância com relação aos valores máximos e mínimos, devido às características climáticas, florestais, hidrológicas, etc. que variam ao longo do

território brasileiro. Nesse sentido, escolheu-se avaliar a precipitação média em terra, que serve de ponto de partida para o cálculo das energias referentes ao potencial químico e geopotencial do *runoff* da chuva e, conseqüentemente, dos fluxos de energia. Pelo cálculo realizado para o Brasil, a energia do potencial químico da chuva contribuiu com 77 % do valor total de R, que por sua vez contribuiu com 48 % da energia total usada no país em 2008. Além da precipitação, avaliou-se a variação no UEV do petróleo, pois a produção interna do combustível contribuiu com 4,84 % na energia total usada, e a importação de combustíveis, no qual o petróleo é o principal componente, contribuiu com 9,65 %.

- No método da Mochila Ecológica, selecionou-se o fator de intensidade de materiais (MIF) referente às ligas de ferro, pois o item "metais" contribuiu de forma significativa para a demanda indireta de materiais abióticos com 88 % e de água com 93 % da produção interna do Brasil em 2008.
- Nos métodos de Análise de Energia Incorporada e de Inventário de Emissões selecionou-se o fator de intensidade de energia (EIF) referente ao petróleo, pois a contribuição do combustível para o potencial de aquecimento global da produção interna foi de 13 %. No caso da importação, os combustíveis, no qual o petróleo é o principal componente, contribuíram com 91 %, e na exportação, contribuíram com 70 % do GWP.
- Na metodologia da Pegada Ecológica, foram escolhidos a taxa de sequestro de CO<sub>2</sub> e o fator de equivalência (EQF) de floresta; o primeiro por estar relacionado à categoria de energia diretamente ligada às emissões de CO<sub>2</sub>, que foram tema de discussão anterior por apresentar valores distintos dependendo da referência utilizada (MCTI, 2010; UNSD, 2008), e o segundo por estar relacionado à conversão das áreas de floresta natural que representaram 79 % da Biocapacidade total, e às categorias de energia e floresta que representaram 80 % da Pegada total do Brasil em 2008.

Tabela 40. Variações aplicadas e resultantes nos diversos fatores avaliados na Análise de Sensibilidade.

Avaliação Emergética											
<b>Precipitação média em terra</b>	-50	-40	-30	-20	Variações aplicadas (%)						
					-10	0	+10	+20	+30	+40	+50
Variações resultantes (%)											
Recursos renováveis (R)	-38,35	-30,66	-22,96	-15,27	-7,58	0	+7,81	+15,50	+23,19	+30,88	+38,58
Energia total usada (U)	-17,21	-13,76	-10,31	-6,85	-3,40	0	+3,50	+6,96	+10,41	+13,86	+17,31
ELR ((N+F)/R)	+62,20	+44,21	+29,81	+18,02	+8,20	0	-7,24	-13,42	-18,83	-23,60	-27,84
Renovabilidade (R/U)	-25,72	-19,80	-14,33	-9,27	-4,57	0	3,89	+7,71	+11,29	+14,66	+17,82
EMR (U/PIB PPP)	-17,21	-13,76	-10,31	-6,85	-3,40	0	3,50	+6,96	+10,41	+13,86	+17,31
EYR (U/F)	-17,21	-13,76	-10,31	-6,85	-3,40	0	3,50	+6,96	+10,41	+13,86	+17,31
EIR (F/(R+N))	+27,73	+21,00	+14,94	+9,46	+4,48	0	-4,23	-8,07	-11,61	-14,88	-17,92
ESI (EYR/ELR)	-48,96	-40,20	-30,90	-21,08	-10,72	0	+11,58	+23,53	+36,01	+49,03	+62,57
UEV <sup>A</sup> do petróleo											
	-50	-40	-30	-20	Variações aplicadas (%)						
					-10	0	+10	+20	+30	+40	+50
Variações resultantes (%)											
Recursos não renováveis (N)	-6,64	-5,31	-3,98	-2,65	-1,33	0	+1,33	+2,65	+3,98	+5,31	+6,64
Importação (F)	-23,13	-18,50	-13,88	-9,25	-4,63	0	+4,63	+9,25	+13,88	+18,50	+23,13
Energia total usada (U)	-6,23	-4,99	-3,74	-2,49	-1,25	0	+1,25	+2,49	+3,74	+4,99	+6,23
ELR ((N+F)/R)	+43,04	+30,58	+20,61	+12,45	+5,64	0	-5,05	-9,33	-13,07	-16,38	-19,31
Renovabilidade (R/U)	+6,65	+5,25	+3,88	+2,56	+1,26	0	-1,23	-2,43	-3,60	-4,75	-5,87
EMR (U/PIB PPP)	-6,23	-4,99	-3,74	-2,49	-1,25	0	+1,25	+2,49	+3,74	+4,99	+6,23
EYR (U/F)	+21,98	+16,59	+11,77	+7,45	+3,54	0	-3,23	-6,19	-8,90	-11,41	-13,72
EIR (F/(R+N))	-20,85	-16,58	-12,36	-8,19	-4,07	0	+4,03	+8,01	+11,94	+15,84	+19,68
ESI (EYR/ELR)	-14,72	-10,72	-7,33	-4,45	-1,99	0	+1,92	+3,46	+4,80	+5,94	+6,93
Mochila Ecológica											
<b>MIF<sup>B</sup> de ligas de ferro</b>	-50	-40	-30	-20	Variações aplicadas (%)						
					-10	0	+10	+20	+30	+40	+50
Variações resultantes (%)											
Produção interna (A)	-46,12	-36,86	-27,60	-18,34	-9,08	0	+9,45	+18,71	+27,97	+37,23	+46,49
Importação (A)	-3,36	-2,69	-2,02	-1,34	-0,67	0	+0,67	+1,34	+2,02	+2,69	+3,36
Exportação (A)	-20,35	-16,28	-12,21	-8,14	-4,07	0	+4,07	+8,14	+12,21	+16,28	+20,35
Produção interna (MA)	-43,95	-35,16	-26,37	-17,58	-8,79	0	+8,79	+17,58	+26,37	+35,16	+43,95
Importação (MA)	-5,57	-4,46	-3,34	-2,23	-1,11	0	+1,11	+2,23	+3,34	+4,46	+5,57
Exportação (MA)	-17,70	-14,16	-10,62	-7,08	-3,54	0	+3,54	+7,08	+10,62	+14,16	+17,70

Energia Incorporada e Inventário de Emissões												
<b>EIF<sup>C</sup> de petróleo</b>		-50	-40	-30	-20	-10	0	+10	+20	+30	+40	+50
		Variações aplicadas (%)										
		Variações resultantes (%)										
	Produção interna (RBE)	-6,30	-5,04	-3,78	-2,52	-1,26	0	+1,26	+2,52	+3,78	+5,04	+6,30
	Importação (RBE)	-39,87	-31,90	-23,92	-15,95	-7,97	0	+7,97	+15,95	+23,92	+31,90	+39,87
	Exportação (RBE)	-35,19	-28,15	-21,11	-14,07	-7,04	0	+7,04	+14,07	+21,11	+28,15	+35,19
	Produção interna (GWP)	-6,30	-5,04	-3,78	-2,52	-1,26	0	+1,26	+2,52	+3,78	+5,04	+6,30
Importação (GWP)	-39,92	-31,94	-23,95	-15,97	-7,98	0	+7,98	+15,97	+23,95	+31,94	+39,92	
Exportação (GWP)	-35,16	-28,13	-21,10	-14,06	-7,03	0	+7,03	+14,06	+21,10	+28,13	+35,16	
<b>Pegada Ecológica</b>												
<b>Taxa de sequestro de CO<sub>2</sub></b>		-50	-40	-30	-20	-10	0	+10	+20	+30	+40	+50
		Variações aplicadas (%)										
		Variações resultantes (%)										
	Pegada	-39,48	-31,58	-23,69	-15,79	-7,90	0	+7,90	+15,79	+23,69	+31,58	+39,48
	Biocapacidade/Pegada	+65,23	+46,16	+31,04	+18,75	+8,57	0	-7,32	-13,64	-19,15	-24,00	-28,30
	Biocapacidade - Pegada	+350,0	+280,0	+210,0	+140,0	+70,00	0	-70,00	-140,0	-210,0	-280,0	-350,0
		Variações aplicadas (%)										
<b>EQF<sup>D</sup> de floresta</b>		-50	-40	-30	-20	-10	0	+10	+20	+30	+40	+50
		Variações resultantes										
	Pegada	-39,91	-31,93	-23,95	-15,97	-7,98	0	+7,98	+15,97	+23,95	+31,93	+39,91
	Biocapacidade	-52,63	-42,11	-31,58	-21,05	-10,53	0	+10,53	+21,05	+31,58	+42,11	+52,63
	Biocapacidade/Pegada	-21,17	-14,95	-10,03	-6,05	-2,76	0	+2,36	+4,39	+6,16	+7,71	+9,09
	Biocapacidade - Pegada	-165,3	-132,3	-99,23	-66,15	-33,08	0	+33,08	+66,15	+99,23	+132,3	+165,3

<sup>A</sup> Fator de intensidade emergética ou *Unit Emery Value*. <sup>B</sup> Fator de intensidade de materiais ou *Material Intensity Factor*.

<sup>C</sup> Fator de intensidade energética ou *Energy Intensity Factor*. <sup>D</sup> Fator de equivalência ou *Equivalence Factor*.

Como forma de facilitar a visualização dos resultados obtidos com a Análise de Sensibilidade apresentados na Tabela 40 foram elaborados gráficos (Figuras 26 a 31), que mostram a variação do item avaliado e as influências nos principais indicadores das metodologias aplicadas neste trabalho.

Por meio das Figuras 26 e 27, é possível verificar que os indicadores emergéticos que apresentaram as maiores variações resultantes em função de variações aplicadas à precipitação média em terra, foram o ELR e o ESI com valores superiores a 60 %. No caso das variações aplicadas ao UEV do petróleo, os indicadores que apresentaram as maiores variações resultantes foram o ELR com valores que atingiram mais de 40 % e o EIR com valores de até 20 %.

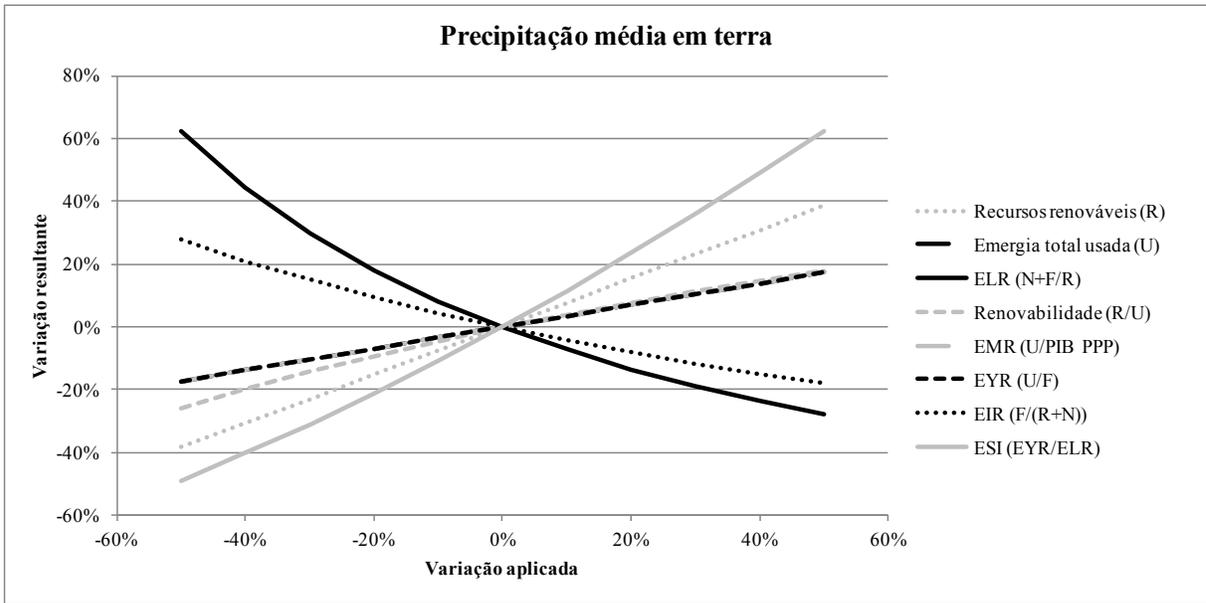


Figura 26. Variação da precipitação média em terra e sua influência nos indicadores emergéticos.

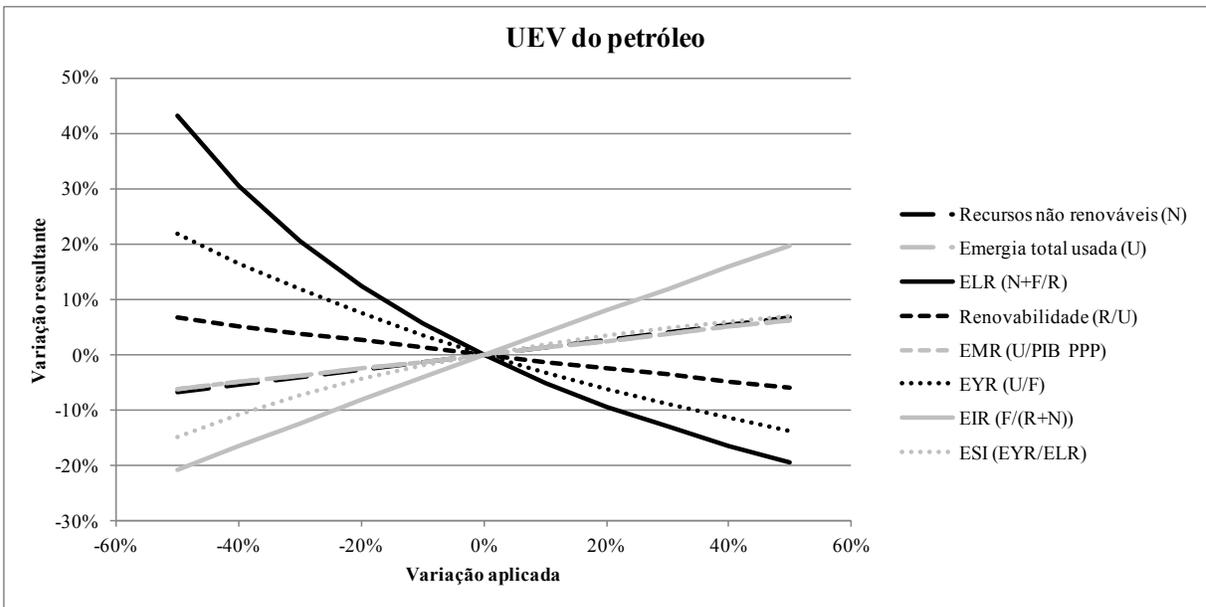


Figura 27. Variação do UEV do petróleo e sua influência nos indicadores emergéticos.

Analisando a Figura 28, é possível visualizar que as maiores variações resultantes em função de variações aplicadas ao MIF das ligas de ferro foram apresentadas pelas demandas indiretas de materiais abióticos (MA) e água (A) referentes à produção interna, atingindo valores superiores a 40 %.

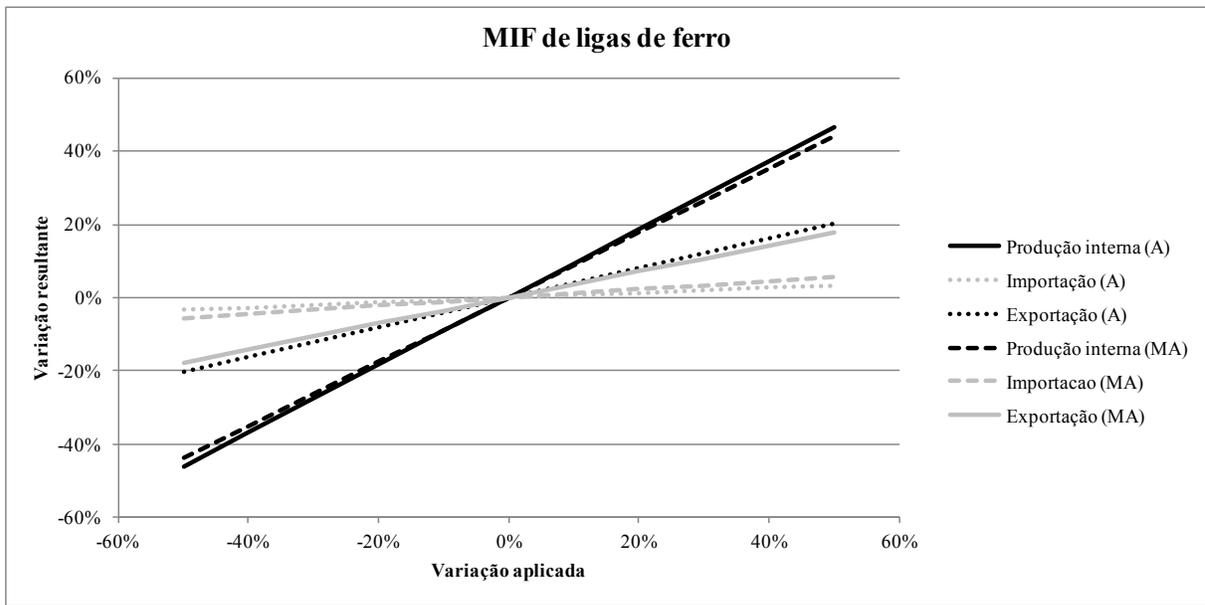


Figura 28. Variação do MIF de ligas de ferro e sua influência nas demandas indiretas de água e de materiais abióticos.

Por meio da Figura 29, verifica-se que as maiores variações resultantes em função de variações aplicadas ao FIE do petróleo foram apresentadas pelo Requerimento Bruto Energético (RBE) referente à exportação e pelo Potencial de Aquecimento Global (GWP) referente à importação e à exportação, atingindo valores de até 40 %.

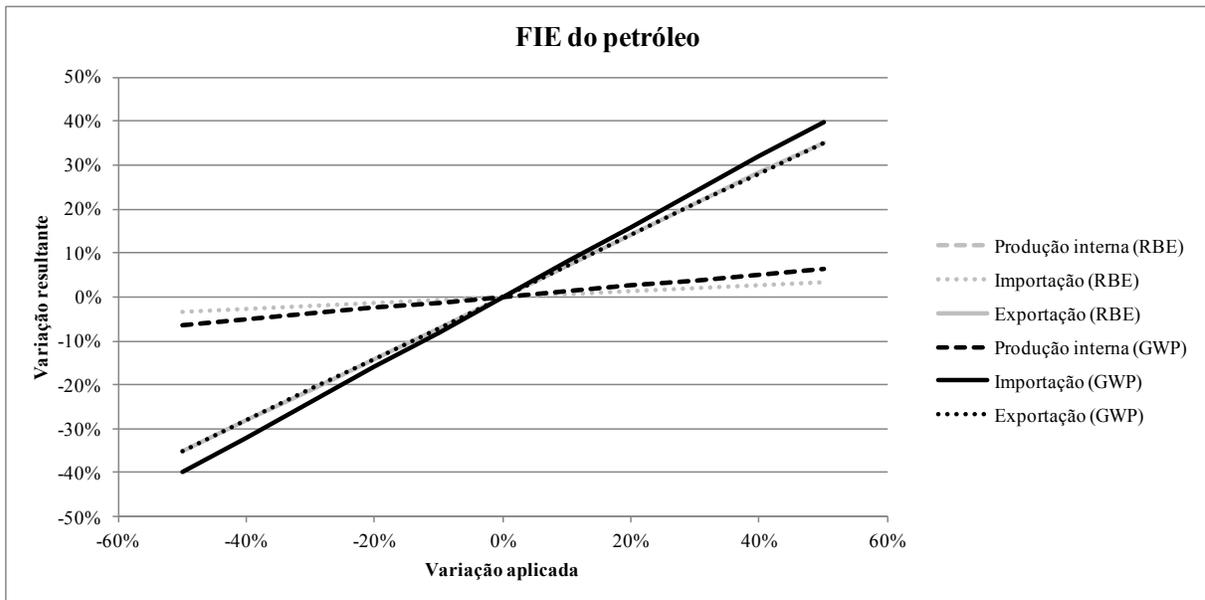


Figura 29. Variação do FIE do petróleo e sua influência no Requerimento Bruto de Energia e no Potencial de Aquecimento Global (GWP 100 anos).

As Figuras 30 e 31 mostram as variações resultantes em função de variações aplicadas na taxa de sequestro de CO<sub>2</sub> e no EQF de floresta. Em ambos os casos, a maior variação pode ser percebida no indicador Biocapacidade - Pegada, que é utilizado pela metodologia (WACKERNAGEL; REES, 1996) como o indicador final de saldo ou débito ecológico. É importante ressaltar que na Figura 30 também se percebe grande variação resultante para os indicadores Biocapacidade/Pegada e Pegada/Biocapacidade, assim como a Biocapacidade e a Pegada na Figura 31.

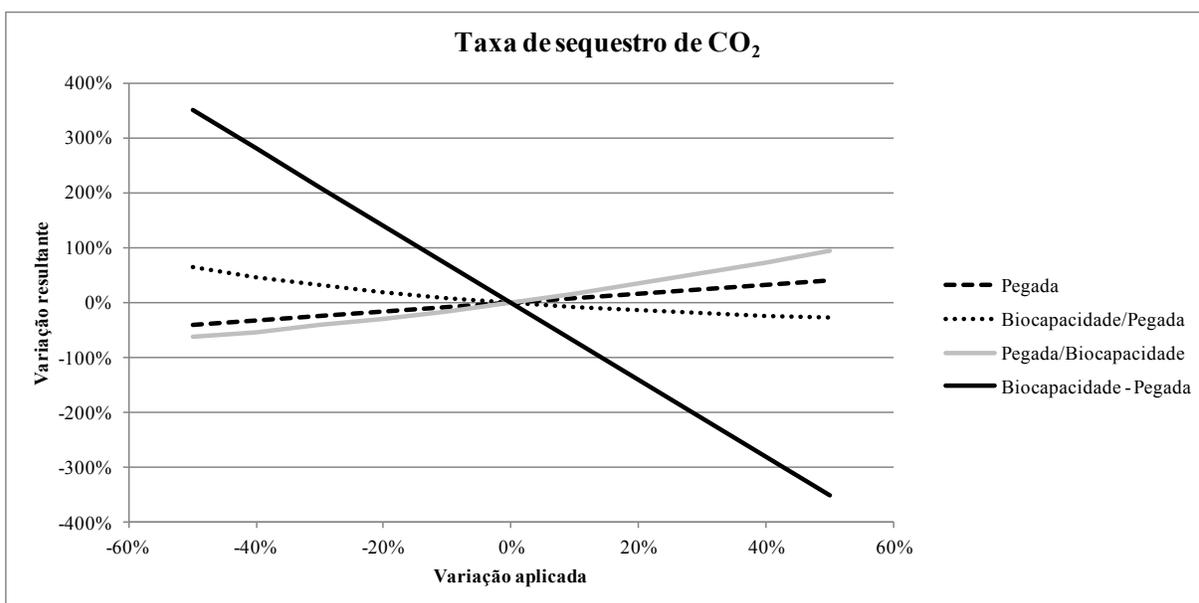


Figura 30. Variação da taxa de sequestro de CO<sub>2</sub> e sua influência nos indicadores da Pegada Ecológica.

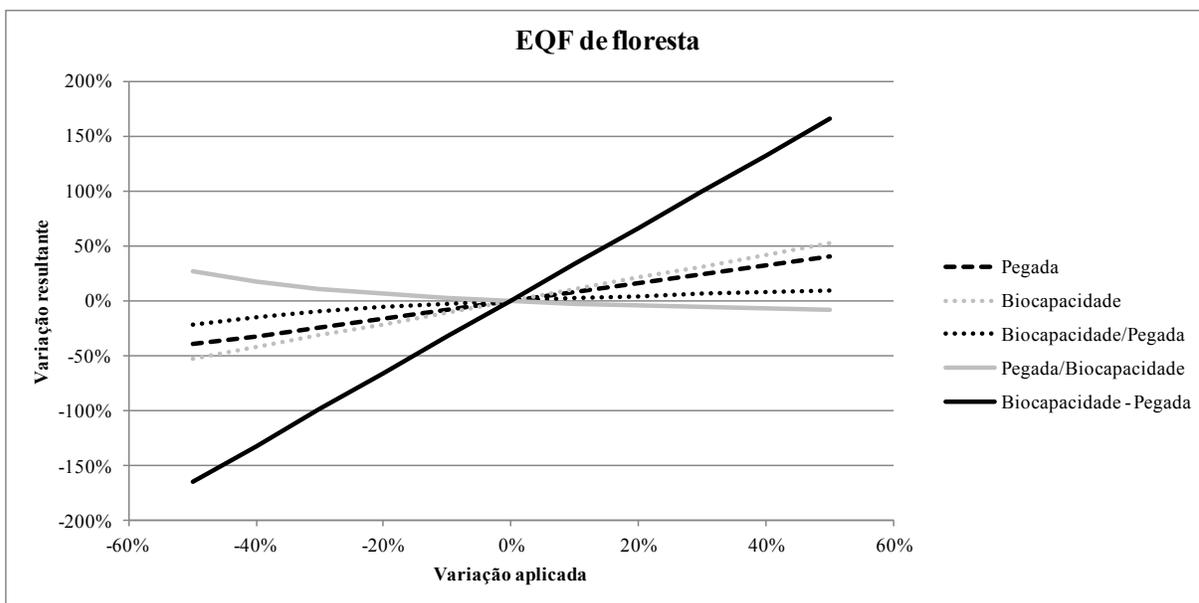


Figura 31. Variação do EQF de floresta e sua influência nos indicadores da Pegada Ecológica.

De uma maneira geral, foram observadas grandes variações resultantes em função das aplicadas aos itens avaliados para todas as metodologias. Há de se ressaltar que a seleção dos itens foi feita tendo como critério justamente sua contribuição para os indicadores finais mostradas nos cálculos realizados neste trabalho para o Brasil com dados de 2008.

No caso da Avaliação Emergética, constatou-se que variações no valor da precipitação média em terra trouxeram modificações que podem alterar de forma significativa a interpretação dos resultados (ELR, ESI, EIR, etc.). Uma alternativa de cálculo para os fluxos emergéticos associados aos recursos renováveis nesse caso poderia ser a de considerar os diversos biomas brasileiros de madeira separada com suas características próprias como proposto por Pereira e Ortega (2012). Deficiências metodológicas da Avaliação Emergética foram discutidas no item 6.1.1.4 desta tese.

Nas metodologias de Mochila Ecológica, de Análise da Energia Incorporada e de Inventário de Emissões, a conversão dos dados brutos para as unidades características é realizada de forma simples e direta. No entanto, essas metodologias utilizam como referência, na sua maioria, trabalhos de estudos de casos europeus e norte-americanos (BIONDI; PANARO; PELLIZZI, 1989; CORINAIR, 2007; WUPPERTAL INSTITUTE, 2003), que podem não ser adequados para a realidade brasileira.

A metodologia da Pegada Ecológica foi a que apresentou maiores variações em função das variações aplicadas. Apesar de o método estar em constante busca por padronização (REF 2009), os fatores de conversão (de equivalência e de rendimento) atualizados anualmente não estão disponíveis de forma gratuita, o que pode gerar conflitos metodológicos em trabalhos realizados com valores desatualizados. Além disso, ainda existem duras críticas (van den BERGH; VERBRUGGEN, 1999; VENETOULIS; TALBERTH, 2008) referentes às considerações feitas no método de Wackernagel e Rees (1996), o que fez surgir uma série de metodologias modificadas (SICHE et al., 2010; PEREIRA; ORTEGA, 2012; VENETOULIS; TALBERTH, 2008), em que os resultados não são comparáveis entre si e nem com estudos que utilizam a Pegada Ecológica convencional (KITZES et al., 2009).

É importante destacar que avaliações como a proposta neste trabalho são relevantes e úteis quando podem ser comparadas com outros estudos já realizados. Uma vez que as questões associadas a como se chegar ao desenvolvimento sustentável e à própria definição do termo sustentabilidade ainda carecem de amadurecimento, a comparação de indicadores é

sempre vantajosa, para se tentar definir qual alternativa de sistema produtivo é melhor ou mais vantajosa em termos ambientais, energéticos, sociais. Para isso, é fundamental que as metodologias aplicadas, os fatores de conversão e até mesmo os conceitos envolvidos estejam devidamente padronizados. Caso contrário, as diferenças observadas nos resultados obtidos podem residir nas próprias divergências metodológicas e não no desempenho dos sistemas avaliados.

Uma solução para as questões relacionadas à falta de padrões metodológicos, de fatores de conversão e de dados confiáveis pode residir no uso de *softwares* acoplados a banco de dados oficiais. Nesse contexto, pode-se destacar o *SimaPro* da *PRé Consultants* (Holanda) que trabalha em conjunto com o *Ecoinvent v2.2* e possui mais de quatro mil dados de inventário de ACVs nas áreas de agricultura, indústria, energia, transporte, biocombustíveis, construção, metais, eletrônicos e tratamento de resíduos. Além disso, por meio do software é possível aplicar diversas metodologias seguindo os padrões metodológicos oficiais para avaliar os impactos ambientais em diversas categorias. No entanto, o custo da licença é alto e a maior parte dos trabalhos documentados é proveniente da Europa e dos Estados Unidos; dados disponíveis para o Brasil apenas na área de eletricidade e biocombustíveis.

## 7. CONCLUSÕES

Por meio das metodologias aplicadas e das considerações realizadas neste trabalho, as seguintes conclusões foram obtidas:

### **(a) focando nos aspectos metodológicos:**

De maneira geral, a aplicação das metodologias para a análise do desempenho energético-ambiental das escalas selecionadas dependeu das características e regras individuais de cada método.

A Avaliação Emergética se mostrou o método mais completo por fornecer uma série de indicadores capazes de lidar com informações acerca dos aspectos econômicos e das contribuições da natureza para os sistemas avaliados. No entanto, foi a metodologia que exigiu a maior quantidade de dados brutos, além de ainda não possuir um banco de dados confiável de fatores de conversão, o que exigiu uma busca exaustiva em diversos trabalhos publicados na literatura científica. Além disso, é importante ressaltar que ainda não há um padrão definido para vários aspectos metodológicos, razão pela qual há uma extensa discussão neste trabalho acerca de alternativas de cálculo.

As aplicações das metodologias de Mochila Ecológica, Análise da Energia Incorporada e Inventário de Emissões ocorreram de forma simples, pois a quantidade de dados brutos necessária para os cálculos é menor do que no caso da Avaliação Emergética e os fatores de conversão estão disponíveis de maneira clara e confiável.

A Pegada Ecológica, por sua vez, demanda dados semelhantes às outras metodologias no que diz respeito à produção, importação e exportação de produtos. Por outro lado, exige também informações acerca das áreas das categorias avaliadas. Apesar de serem encontradas várias publicações sobre a metodologia na literatura, os fatores de conversão atualizados não estão disponíveis de forma gratuita, o que dificulta comparações com outros trabalhos que utilizaram a mesma metodologia.

### **(b) focando no desempenho energético-ambiental dos sistemas avaliados:**

O uso de uma seleção de metodologias possibilitou uma visão ampla do desempenho energético-ambiental dos estudos de caso analisados, uma vez que cada método lida com um enfoque distinto, e os indicadores acabam funcionando de maneira complementar.

A análise do Brasil mostrou que o país apresentou bons indicadores de desempenho ambiental em 2008. No entanto, a aplicação da metodologia emergética à série história demonstrou que esse desempenho vem piorando de 1981 a 2008: a Renovabilidade caiu de 82 % para 45 %, a ELR subiu de 0,21 para 1,12, o ESI passou de 74,17 para 5,70 e a fração importada de energia subiu de 6 % para 16 %. No entanto, no mesmo período, o PIB *per capita* teve um aumento de US\$ 3.760 para US\$ 9.355. Além disso, por meio da comparação com indicadores emergéticos da Itália, foi possível vislumbrar que as trocas comerciais entre os países são injustas para o Brasil.

Por meio da análise econômica das três escalas estudadas, verificou-se que o PIB *per capita* é maior para o município de Campinas com US\$ 14.217, seguido pelo estado de São Paulo com US\$ 13.587 e pelo Brasil com US\$ 9.355. A análise do desempenho ambiental, no entanto, mostrou resultados opostos. O estado de São Paulo e o município de Campinas apresentaram alta dependência de recursos externos (91 % e 99 %) e baixa capacidade de suporte (0,08 e 0,04). Considerando a demanda indireta de materiais e o potencial de aquecimento global *per capita*, o município de Campinas apresentou valores inferiores à média brasileira para materiais abióticos e para o GWP, e valores próximos em termos da demanda de água. O estado de São Paulo, por sua vez, apresentou valores muito superiores para esses indicadores se comparados aos casos do Brasil e de Campinas.

Portanto, pode-se concluir que, de uma maneira geral, os indicadores econômicos e ambientais caminham em direções opostas, ou seja, o crescimento econômico está associado a um aumento do consumo e da demanda por materiais e energia, e conseqüente dependência por recursos não renováveis externos.

### **(c) focando na relevância dos resultados para políticas públicas:**

No âmbito nacional, os resultados mostraram que o Brasil ainda apresenta bom desempenho ambiental segundo as metodologias aplicadas. No entanto, a Avaliação Emergética aplicada para o período entre 1981 e 2008 mostrou tendências de crescimento econômico em paralelo com queda do desempenho energético-ambiental. Esse quadro ocorre principalmente em função do aumento populacional, do aumento de consumo de combustíveis e minerais e do conseqüente aumento da dependência em recursos não renováveis locais e importados. Nesse sentido, o modelo de crescimento econômico acelerado proposto pelo

governo atual deveria ser revisto tendo como base um desenvolvimento baseado em menor consumo, maior preservação e recuperação das áreas florestais naturais, menor dependência de recursos importados e maior valorização dos produtos e dos recursos locais, para tornar as trocas comerciais com outros países mais vantajosas ao Brasil.

A análise do estado de São Paulo, por outro lado, mostrou um desempenho ambiental pior que o do caso do Brasil. Indicadores mostraram alta dependência de recursos e produtos importados, alto impacto das atividades antrópicas sobre o meio ambiente, e baixas renovabilidade e capacidade de suporte. Foi demonstrado também que as principais atividades desenvolvidas no estado como a produção de etanol de cana-de-açúcar e de metais são responsáveis por grande demanda *per capita* de materiais abióticos e de água, e alto nível de emissões gasosas indiretas *per capita*. No entanto, também ficou evidente que o estado participa de maneira fundamental na economia nacional com mais de 30 % do PIB do Brasil e é responsável por exportar grandes quantidades de produtos e energia para os outros estados. Nesse caso, assim como na análise das tendências brasileira ao longo dos anos, fica evidenciado que o crescimento econômico e os altos padrões de vida e de consumo da população estão associados a um desenvolvimento insustentável.

No que diz respeito à análise de Campinas, os resultados apontaram altíssima dependência de recursos e produtos importados (99 %), e baixas renovabilidade e capacidade de suporte. Por outro lado, o município apresentou alguns impactos *per capita* inferiores ou próximos à média brasileira, como demanda por materiais abióticos e água, e emissões de CO<sub>2</sub>. O PIB *per capita* apresentou valor superior ao estado de São Paulo, no entanto, a riqueza econômica não estaria associada a aspectos produtivos e de energia, e sim a uma economia baseada em serviços (polo de ensino e alta tecnologia), que ainda não são devidamente contabilizados pelas metodologias aplicadas. De qualquer forma, o município possui uma população predominantemente urbana, enquanto o meio rural (50 % da área total) apresenta poucas florestas naturais preservadas e baixa atividade agrícola. Pensando em termos de sustentabilidade, poderia haver incentivos por parte do governo local para que fossem desenvolvidas atividades agrícolas de baixo impacto ambiental, o que poderia atrair a população para o campo, contribuir para o abastecimento da zona urbana e recuperar as áreas degradadas.



## 8. REFERÊNCIAS

- AGOSTINHO, F. *Potencial de expansão de microdestilarias no estado de São Paulo: produção de alimentos, energia e serviços ambientais através da abordagem "Emissões Zero"*. 2012. 34 f. Relatório científico final (Programa de Pesquisador Colaborador do Departamento de Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 2012.
- AGOSTINHO, F.; ORTEGA, E. Integrated food, energy and environmental services production as an alternative for small rural properties in Brazil. *Energy*, v. 37, n. 1, p. 103-114, jan. 2012.
- AHN, C.H.; TATEISHI, R. Development of global 30 minute grid potential evapotranspiration data set. *ISPRS J Photogramm Remote Sens*, v. 33, n. 2, p. 12-21, 1994.
- ASCIONE, M. et al. Environmental driving forces of urban growth and development: an emergy-based assessment of the city of Rome, Italy. *Landscape Urban Plan*, v. 93, n. 3-4, p. 238-249, dez. 2009.
- AYRES, R.U. Life cycle analysis: a critique. *Resour Conserv Recycl*, v. 14, n. 3-4, p. 199-223, set. 1995.
- AZAPAGIC, A.; CLIFT, R. The application of life cycle assessment to process optimisation. *Comp Chem Eng*, v. 23, p. 1509-1526, dez. 1999.
- BANADOS, M.C. *Emergy balance for Latin America*. Olade document series n. 13. Quito, Ecuador: Latin America Energy Organization, 1981.
- BARGIGLI, S.; RAUGEI, M.; ULGIATI, S. Mass flow analysis and mass-based indicators. In: *Handbook of Ecological Indicators for Assessment of Ecosystem Health*. CRC Press, 2004, 439 p.
- BARGIGLI, S.; ULGIATI, S. Emergy and life-cycle assessment of steel production in Europe. In: BROWN, M.T. et al. *Emergy Synthesis: theory and applications of emergy methodology 2*. Gainesville, USA: Center for Environmental Policy, University of Florida, 2003, p. 141-155. ISBN 0-9707325-1-1.
- BASTIANONI, S. et al. The solar transformity of oil and petroleum natural gas". *Ecol Modell*, v. 186, n. 2, p. 212-220, ago. 2005.
- \_\_\_\_\_. Sustainability assessment of a farm in the Chianti area (Italy). *J Cleaner Prod*, v. 9, p. 365-373, 2001.
- BATJES, N.H.; DIJKSHOON, J.A. Carbon and nitrogen stocks in the soils of the Amazon Region. *Geoderma*, v. 89, n. 3-4, p. 273-286, maio 1999.
- BCB. Banco Central do Brasil. *Série histórica do Balanço de Pagamentos*. 2011. Disponível em: <http://www.bcb.gov.br/?SERIEBALPAG>. Acesso: 21/04/2011.
- BCB. Banco Central do Brasil. Setor externo. *Balanço de Pagamentos*: maio de 2012. 2012. Disponível em: <http://www.bcb.gov.br/?ecoimpext>. Acesso: 03/06/2012.
- BERGIER, I. River level sensitivity to SOI and NAO in Pantanal and Amazonia. In: Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 3, 2010, Cáceres. *Anais eletrônicos...Campinas e São José dos Campos*: Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p. 25-34.
- BIONDI, P.; PANARO, V.; PELLIZZI, G. *Le Richieste di Energia del Sistema Agricolo Italiano*. CNR, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Progetto Finalizzato Energetica, Sottoprogetto Biomasse ed Agricoltura, Report LB-20, Rome, Italy, 1989, 389 p.
- BOSSEL, H. *Indicators for sustainable development: theory, method, applications*. Winnipeg, Manitoba, Canada: International Institute for Sustainable Development, 1999, 124 p.
- BRANDT-WILLIAMS, S.L. *Handbook of Emergy Evaluation: a compendium of data for emergy computation - Folio 4 - Emergy of Florida Agriculture*. Gainesville, USA: Center for Environmental Policy, University of Florida, 2002.
- BROWN, M.T.; ARDING, J. *Transformities working paper*. Gainesville, USA: Center for Wetlands, University of Florida, 1991.
- BROWN, M.T.; COHEN, M.J.; SWEENEY, S. Predicting national sustainability: the convergence of energetic, economic and environmental realities. *Ecol Modell*, v. 220, n. 23, p. 3424-3438, dez. 2009.
- BROWN, M.T.; PROTANO, G.; ULGIATI, S. Assessing geobiosphere work of generating global reserves of coal, crude oil, and natural gas. *Ecol Modell*, v. 222, n. 3, p. 879-887, fev. 2011.
- BROWN, M.T.; HERENDEEN, R. Embodied energy analysis and emergy analysis: a comparative view. *Ecol Econ*, v. 19, n. 3, p. 219-236, dez. 1996.
- BROWN, M.T.; ULGIATI, S. Emergy evaluation of the biosphere and natural capital. *AMBIO*, v. 28, p. 486-493, 1999.
- \_\_\_\_\_. Emergy analysis and environmental accounting. In: CLEVELAND, C. *Emergy*. Oxford, UK: Academic Press, Elsevier, p. 329-354, 2004.
- \_\_\_\_\_. Resource quality, technological efficiency and factors of scale within the emergy framework. A response to Marco Rauegi. *Ecol Modell*, v. 227, p. 109-111, fev. 2012.

- BUENFIL, A.A. *Sustainable use of potable water in Florida: an emergy analysis of water supply and treatment alternatives*. 2001. 124 f. Ph.D. Thesis, University of Florida, Gainesville, Florida, USA, 2001.
- BURANAKARN, V. *Evaluation of recycling and reuse of building materials using the emergy analysis method*. 1998. 140 f. Ph.D. Thesis, University of Florida, Gainesville, Florida, USA, 1998.
- CALIL, L.M.; CANDELLA, R.N.; FRAGOSO, M.R. Estudo do fluxo da corrente do Brasil a partir de derivadores oceânicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OCEANOGRAFIA, 2008, Fortaleza. *Anais...Fortaleza, Ceará, Brasil*.
- CARVALHO, J.R.P.; ASSAD, E.D. Análise espacial da precipitação pluviométrica no Estado de São Paulo: Comparação de métodos de interpolação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2003, Goiânia. *Anais... Goiânia: SBEA*, p. 37-42, Goiás, Brasil.
- CEPAGRI. *Centro de pesquisas meteorológicas e climáticas aplicadas à agricultura*, 2011, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/>. Acesso: 03/03/2011.
- CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. *Inventário de GEE no estado de SP*, 2010. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/mudancas-climaticas/inventario-geesp/Consulta%20P%C3%BAblica/168-Consulta%20P%C3%BAblica%20dos%20Relat%C3%B3rios%20de%20Refer%C3%A2ncia%20para%20o%20Invent%C3%A1rio%20Estadual%20de%20Gases%20de%20Efeito%20Estufa%20do%20Estado%20de%20S%C3%A3o%20Paulo>. Acesso: 02/03/2010.
- CIA. Central Intelligence Agency. *The World Factbook – Brazil*, 2008. Disponível em: <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/br.html>. Acesso: 20/05/2010.
- \_\_\_\_\_. Central Intelligence Agency. *The World Factbook – World*, 2010. Disponível em: <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/xx.html>. Acesso: 05/07/2012.
- CIALANI, C.; RUSSI, D.; ULGIATI, S. Investigating a 20-year national economic dynamics by means of emergy-based indicators. In: BIENNIAL EMERGY RESEARCH CONFERENCE, 3, 2005, Gainesville. *Proceedings...Gainesville, USA: Center for Environmental Sciences, University of Florida*, 2005.
- COELHO, O.; ORTEGA, E.; COMAR, V. Balanço de emergia do Brasil. In: ORTEGA, E. (Ed.) *Engenharia ecológica e agricultura sustentável: exemplos de uso da metodologia energética- ecossistêmica*. Campinas, 2003. Disponível em: <http://www.fea.unicamp.br/docentes/ortega/livro/index.htm>. Acesso: 20/03/2009.
- COMAR, V. *Avaliação emergética de projetos agrícolas e agro-industriais no Alto Rio Pardo: a busca do desenvolvimento sustentável*. 1998. 197 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 1998.
- CORINAIR. *EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook 2007*, 2007. Disponível em: <http://www.eea.europa.eu/publications/EMEPCORINAIR5>. Acesso em: 20/06/2010/
- COSTANZA, R. Ecological sustainability, indicators and climate change. Paper prepared for the *IPCC Expert Meeting on Development, Equity, and Sustainability*, Colombo, Sri Lanka, 1999.
- CUADRA, C.; RYDBERG, T. Emergy evaluation on the production, processing and export of coffee in Nicaragua. *Ecol Modell*, v. 196, n. 3-4, p. 421-433, jul. 2006.
- DALY, H.E. Sustainable development: from concept and theory to operational principles. *Popul Dev Rev*, v. 16, p. 25-43, 1990.
- de GROOT, S.R.; MAZUR, P. *Non-equilibrium Thermodynamics*. Amsterdam, Netherlands: NorthHolland, 1962, 510 p.
- de OLIVEIRA, A.A.; MORI, S. A central Amazonian terra firme forest: high tree species richness on poor soils. *Conservation Biology*, v. 8, p. 1219-1244, 1999.
- EEA. European Environmental Agency. *Air pollutant emission inventory guidebook 2009*, 2009. Disponível em: <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-emission-inventory-guidebook-2009>. Acesso: 20/05/2010.
- EIA. U.S. International Energy Administration. *International Energy Annual 2002*, 2002. Disponível em: <http://www.eia.gov/iea/>. Acesso: 04/04/2010.
- \_\_\_\_\_. U.S. International Energy Administration. *Annual Energy Outlook 2012*, 2012. Disponível em: [http://www.eia.gov/forecasts/aeo/pdf/0383\(2012\).pdf](http://www.eia.gov/forecasts/aeo/pdf/0383(2012).pdf). Acesso: 05/07/2012.
- EUROSTAT. *Economy-wide material flow accounts and derived indicators: a methodological guide*. European Commission, Theme 2, Economy and Finance, 2001. Disponível em: [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY\\_OFFPUB/KS-34-00-536/EN/KS-34-00-536-EN.PDF](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-34-00-536/EN/KS-34-00-536-EN.PDF). Acesso: 10/05/2009.

- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. AQUASTAT Database, 2010. Disponível em: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/results.html>. Acesso: 12/03/2010.
- \_\_\_\_\_. Food and Agriculture Organization of the United Nations. *FAOSTAT - Exports/Imports by country*, 2008. Disponível em: <http://faostat.fao.org/site/342/default.aspx>. Acesso: 20/04/2011
- \_\_\_\_\_. Food and Agriculture Organization of the United Nations. *Review of the state of world marine fishery resources*. Fisheries Technical Paper 457. Rome, Italy: FAO, 2005.
- FEKETE, B.M. *Spatial distribution of global runoff and its storage in river channels*. 2001, 137 f. Ph.D. Thesis, University of New Hampshire, EUA, 2001.
- FMI. Fundo Monetário Internacional. *PIBs Nominais e baseados na Paridade do Poder de Compra para países selecionados*, 2008. Disponível em: <http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2006/01/data/dbginim.cfm>. Acesso: 04/04/2010.
- FRANZESE, P.P. et al. Sustainable biomass production: a comparison between gross energy requirement and emery synthesis methods. *Ecol Indic*, v. 9, n. 5, p. 959-970, set. 2009.
- GUILLÉN, H.A. Environmental and economic aspects of agro-forestry and agricultural systems in Chiapas, Mexico. In: BIENNIAL EMERGY RESEARCH CONFERENCE, 2, 2003, Gainesville, Florida. *Proceedings...*Gainesville, EUA: Center for Environmental Policy, University of Florida, 2003.
- GUINÉE, J.B. et al. *Handbook on life cycle assessment: operational guide to the ISO standards*. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2002, 692 p.
- HANEGRAAF, M.C.; BIEWINGA, E.E.; van der BIJL, G. Assessing the ecological and economic sustainability of energy crops. *Biomass Bioenergy*, v. 15, n. 4-5, p. 345-355, 1998.
- HAU, J.L.; BAKSHI, B.R. Promise and problems of emery analysis. *Ecol Modell*, v. 178, n. 1-2, p. 215-225, out. 2004.
- HAUKOSS, D.S. *Sustainable architecture and its relationship to industrialized building*. 1995. Ph.D. Thesis. University of Florida, Gainesville, Florida, USA, 1995.
- HAUWERMEIREN, S. V. *Manual de Economía Ecológica*. Santiago: Rosa Moreno, 1998. 265 p.
- HEIJUNGS, R. Identification of key issues for further investigation in improving the reliability of life-cycle assessments. *J Cleaner Prod*, v. 4, n. 3-4, p. 159-166, 1996
- HERENDEEN, R. Embodied energy, embodied everything...now what? In: ULGIATI et al. *Advances in Energy Flows in Ecology and Economy*. Rome, Italy: Musis Publisher, p. 13-48, 1998.
- HERRCHEN, M.; KELLER, D.; ARENZ, R. Refinement of impact assessment methodologies to solve the global-local controverse in product life-cycle assessment: relais type micro A as an example for a long-lived product. *Chemosphere*, v. 35, n. 1-2, p. 391-404, 1997.
- HINTERBERGER, F.; STILLER, H. Energy and material flows. In: ULGIATI et al. *Advances in Energy Flows in Ecology and Economy*. Rome, Italy: Musis Publisher, p. 275-286, 1998.
- IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. *Recursos Pesqueiros: estatística da pesca 2007 – grandes regiões e unidades da federação*, 2007. Disponível em: [http://www.ibama.gov.br/recursos-pesqueiros/wp-content/files/estatistica\\_2007.pdf](http://www.ibama.gov.br/recursos-pesqueiros/wp-content/files/estatistica_2007.pdf). Acesso: 10/05/2009
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Sistema de Contas Nacionais*, n. 34, 2011. Rio de Janeiro: IBGE
- \_\_\_\_\_. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Anuário Estatístico do Brasil*, v. 68, 2008. Rio de Janeiro: IBGE.
- \_\_\_\_\_. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Anuário Estatístico do Brasil*, v. 41, 1980. Rio de Janeiro: IBGE.
- \_\_\_\_\_. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Sistema de Recuperação Automática: banco de dados agregados*, 2006. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/>. Acesso: 03/03/2010.
- IBRAM. Instituto Brasileiro de Mineração. Estatísticas. *Informações e análises da economia mineral Brasileira*, 5a. Edição, 2010. Disponível em: <http://www.ibram.org.br>. Acesso: 23/04/2010.
- IEA. *International Energy Agency*, 2011. Disponível em: <http://www.iea.org>. Acesso: 21/10/2011.
- ISO 14040. *Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework*. The International Organization for Standardization, 2006.
- IUCN; UNEP; WWF. *The World Conservation Strategy: Living Resource Conservation for Sustainable Development*. International Union for Conservation of Nature (IUCN), United Nations Environment Programme (UNEP) and World Wide Fund for Nature (WWF), Gland, Switzerland, 1980.
- JARACH, M. Sui valori di equivalenza per l' analisi e il bilancio energetici in agricoltura. *Riv Ingegneria Agraria*, v. 2, p. 102-114, 1985.

- JORGENSEN, S.E.; ODUM, H.T.; BROWN, M.T. Emergy and exergy stored in genetic information. *Ecol Modell*, v. 178, n. 1-2, p. 11-16, out. 2004.
- KHAN, F.I.; SADIQ, R.; HUSAIN, T. GreenPro-I: a risk-based life cycle assessment and decision-making. *Environ Modell Software*, v. 17, n. 8, p. 669-692, dez. 2002.
- KITZES, J. et al. Current methods for calculating National Ecological Footprint Accounts. *Science for Environment & Sustainable Society*, v. 4, n. 1, p. 1-9, 2007. Disponível em: <http://www.footprintnetwork.org/download.php?id=4>. Acesso: 03/10/2009.
- \_\_\_\_\_. A research agenda for improving national Ecological Footprint accounts. *Ecol Econ*, v. 68, n. 7, p. 1991-2007, maio 2009.
- KITZES, J.; WACKERNAGEL, M. Answers to Common Questions in Ecological Footprint Accounting. *Ecol Indic*, v. 9, n. 4, p. 812-817, jul. 2009.
- LAPP, C.W. *Emergy analysis of the nuclear power system in the United States*. Class report EES 6916. Environmental Engineering Sciences, under Dr. H.T. Odum supervision, 1991.
- LAZZARETTO, A.; TOFFOLO, A. Evolutionary algorithms for multiobjective energetic and economic optimization in thermal system design. *Energy*, v. 27, n. 6, p. 549-567, jun. 2002.
- LEFROY, E.; RYDBERG, T. Emergy evaluation of three cropping systems in southwestern Australia. *Ecol Modell*, v. 161, n. 3, p. 195-211, mar. 2003.
- LEI, K.; WANG, Z.; TON, S. Holistic emergy analysis of Macao. *Ecol Eng*, v. 32, n. 1, p. 30-43, jan. 2008.
- LENZEN, M.; BORGSTROM, C.; BOND, S. On the bioproductivity and land-disturbance metrics of the ecological footprint. *Ecol Econ*, v. 61, n.1, p. 6-10, fev. 2007.
- LEVETT, R. Footprinting: a great step forward, but tread carefully". *Local Environ: IJJS*, v. 3, n. 1, p. 67-74, 1998.
- LOMAS, P.L.; CIALANI, C.; ULGIATI, S. Emergy Analysis of Nations: Lessons Learned from Historical Series. In: BROWN, M.T. et al. *Emergy Synthesis: theory and applications of emergy methodology 4*. Gainesville, USA: Center for Environmental Policy, University of Florida, 2007, p. 39.1-39.18.
- MACEDO, I.C., SEABRA, J.E.A., SILVA, J.E.A.R. Green house gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: the 2005/2006 averages and a prediction for 2020. *Biomass Bioenergy*, v. 32, n. 7, p. 582-595, jul. 2008.
- MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Embrapa Monitoramento por Satélite. *Mapeamento e estimativa da área urbanizada do Brasil*, 2010. Disponível em: <http://www.urbanizacao.cnpem.br/conteudo/metodos.html>. Acesso: 20/10/2010.
- MCCOOL, S.F.; STANKEY, G.H. Indicators of sustainability: challenges and opportunities at the interface of science and policy. *J Environ Manage*, v. 33, n. 3, p. 294-305, 2004.
- MCTI. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. *Inventário brasileiro de emissões antrópicas por fontes e remoções por sumidouros de gases de efeito estufa não controlados pelo Protocolo de Montreal parte 2*, 2010. Disponível em: [http://www.mct.gov.br/upd\\_blob/0214/214061.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0214/214061.pdf). Acesso: 20/02/2012.
- MDIC. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. *Importação/Exportação Brasileira – Produto por fator agregado (2007–2008)*, 2010. Disponível em: <http://www.mdic.gov.br/sitio/interna.php?area=5&menu=571>. Acesso: 05/05/2010.
- MEADOWS, D.H. et al. *Limits to growth*. Nova Iorque, EUA: Universe Books, 1972, 205 p. ISBN 0-87663-165-0.
- METZLER, P.M. et al. New and regenerated production in the South Atlantic off Brazil. *Deep Sea Res Part I*, v. 44, n. 3, p. 363-384, mar. 1997.
- MITCHELL, G. Problems and fundamentals of sustainable development indicators. *Sustain Dev*, v. 4, n. 1, p. 1-11, 1996.
- MMA. Ministério do Meio Ambiente. *Mapas da cobertura vegetal do Brasil*, 2007. [http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf\\_chm\\_rbbio/\\_arquivos/mapas\\_cobertura\\_vegetal.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf_chm_rbbio/_arquivos/mapas_cobertura_vegetal.pdf)
- MME. Ministério de Minas e Energia. *Balço Energético Nacional 2010 (ano base 2009)*, 2010. Disponível em: [http://www.mme.gov.br/mme/menu/todas\\_publicacoes.html](http://www.mme.gov.br/mme/menu/todas_publicacoes.html). Acesso: 30/05/2010.
- MUELLER, C.; TORRES, M.; MORAIS, M. *Referencial básico para a construção de um sistema de indicadores urbanos*. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 1997.
- NASA. National Aeronautics and Space Administration. Atmospheric Science Data Center. *Surface meteorology and Solar Energy: a renewable energy resource web site (release 6.0)*, 2011. Disponível em: <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>. Acesso: 03/04/2011.
- NELSON et al. Endemism centres, refugia and botanical collection density in Brazilian Amazonia. *Nature*, v. 345, p. 714-716, 1990.

- NEW, M.G.; HULME, M.; JONES, P.D. Representing twentieth century space-time climate variability - Part I: development of a 1961-1990 mean monthly terrestrial climatology. *J Climate*, v. 12, p. 829-856, 1999.
- ODUM, H.T. Self-organization, transformity and information. *Science*, v. 242, p. 1132-1139, 1988.
- \_\_\_\_\_. *Environmental accounting, emergy and decision making*. Nova Iorque, EUA: J. Wiley & Sons, 1996, 370 p.
- \_\_\_\_\_. *Handbook of Emergy Evaluation: a compendium of data for emergy computation - Folio 2: emergy of global processes*. Gainesville, Florida, EUA: Center for Environmental Policy, University of Florida, 2000.
- \_\_\_\_\_. *Environment, power and society for the twenty-first century: the hierarchy of energy*. New York, USA: Columbia University Press, 2007, 432 p.
- ODUM, H.T. et al. *Ecology and economy: emergy analysis and public policy in Texas*. Energy systems in Texas and the United States. Policy research project report n. 78. Texas, USA: The Board of Regents, Texas University, 1987a.
- \_\_\_\_\_. *Emergy analysis of environmental value*. Gainesville, USA: Center for Wetlands, Publication # 78-17, University of Florida, 1987b.
- ODUM, H.T.; ARDING, J.E. *Emergy analysis of shrimp mariculture in Ecuador*. Rhode Island, EUA: Coastal Resources Center, University of Rhode Island, 1989, 111 p.
- ODUM, H.T.; BROWN, M.T.; CHRISTIANSON, R.A. *Energy Systems Overview of the Amazon Basin*. Report to the Cousteau Society. Gainesville, USA: Center for Wetlands, Publication #86-1, University of Florida, 1986, 190 p.
- ODUM, H.T.; BROWN, M.T.; BRANDT-WILLIAMS, S. *Handbook of Emergy Evaluation: a compendium of data for emergy computation - Folio 1: Introduction and global budget*. Gainesville, USA: Center for Environmental Policy, University of Florida, 2000.
- ODUM, H.T.; ODUM, E.C. *Emergy analysis overview of nations*. Laxenburg, Austria: International Institute of Applied Systems Analysis, 1983.
- OLSON, D.B. et al. Temporal variations in the separation of Brazil and Malvinas currents. *Deep Sea Res*, v. 35, n. 12, p. 1971-1990, 1988.
- OPSCHOOR, J.B.; REIJNDERS, L. Towards sustainable development indicators. In: KUIK, O. VERBRUGGEN, H. *In Search of Indicators of Sustainable Development*. Dordrecht, Holanda: Kluwer Academic, p. 7-27, 1991.
- PANNELL, D.J. Revision from sensitivity analysis of normative economic models: theoretical framework and practical strategies. *Agr Econ*, v. 16, p. 139-152, 2009.
- PEARCE, D.W.; TURNER, R.K. *Economics of Natural Resources and the Environment*. London, England: Harvester Wheatsheaf, 1990, 378 p.
- PENMAN, J. et al. *IPCC good practice guidance for land use, land-use change and forestry*. Annex 3A.1. Biomass Default Tables for Section 3.2. Forest Land, 2003. Disponível em: [http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf\\_files/Chp3/Anx\\_3A\\_1\\_Data\\_Tables.pdf](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf_files/Chp3/Anx_3A_1_Data_Tables.pdf). Acesso: 10/02/2009.
- PEREIRA, C.L.F.; ORTEGA, E. Sustainability assessment of large-scale ethanol production from sugarcane. *J Clean Prod*, v. 18, p. 77-82, 2010.
- PEREIRA, L., ORTEGA, E. A modified footprint method: The case study of Brazil. *Ecol Indic*, v. 16, p. 113-127, maio 2012.
- PEREIRA, L. et al. Wealth, trade and environment in Brazil and Italy: an emergy-based comparison of carrying capacity, economic performance and wellbeing. In: BIENNIAL INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN ENERGY STUDIES, 7, Barcelona, 2010. *Proceedings...*Barcelona, Spain: UAB, 2010.
- PETERSON, R.G.; STRAMMA, L. Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean. *Progr Oceanogr*, v. 26, n. 1, p. 1-73, 1990.
- PRIGOGINE, I. *Study of thermodynamics of irreversible processes*. 3a ed. New York, USA: Wiley & Sons, 1947.
- PROJETO ECOAGRI. Relatório FAPESP Processo: 2002/06685-0. *Projeto Ecoagri Diagnóstico Ambiental da Agricultura em São Paulo: Bases para um desenvolvimento rural sustentável*, 2006, 131 p. Disponível em: <http://ecoagri.cnptia.embrapa.br/resultados/relatorios/IIIRelatorioEcoAgri2006Completo.pdf>. Acesso: 03/04/2009.

- REES, W. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out. *Environ Urban*, v. 4, n. 2, p. 121-130, 1992.
- RENNINGS, K.; WIGGERING, H. Steps towards indicators of sustainable development: Linking economic and ecological concepts. *Ecol Econ*, v. 20, n.1, p. 25-36, jan. 2007.
- RITTHOFF, M.; ROHN, H.; LIEDTKE, C. *Calculating MIPS: resource productivity of products and sources*. Wuppertal, Germany: Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy, Science Centre North Rhine-Westphalia. 2003, 53 p., ISBN 3-929944-56-1e.
- RODRIGUEZ, G.S et al. Sustainability assessment of slash-and-burn and fire-free agriculture in Northeastern Pará, Brazil. In: BIENNIAL EMERGY CONFERENCE, Gainesville, 2003. *Proceedings...*Gainesville, USA: Center for Environmental Policy, University of Florida, 2003.
- RUSSO, G.F.; ASCIONE, M.; FRANZESE, P.P. Analisi Emergetica della Riserva Marina di Punta Campanella. *Biologi Italiani*, v. 11, p. 63-70, 2004.
- RYDBERG, T.; HADEN, A.C. Emery evaluations of Denmark and Danish agriculture: assessing the influence of changing resource availability on the organization of agriculture and society. *Agric Ecosyst Environ*, v. 117, p. 145-158, 2006.
- SAASP. Secretaria de Agricultura e Abastecimento. *Levantamento Censitário das Unidades de Produção Agropecuária do estado de São Paulo (LUPA)*, 2008. Disponível em: <http://www.cati.sp.gov.br/projetolupa/dadosestado/DadosEstaduais.pdf>. Acesso: 20/03/2010.
- SAATCHI, S.S. et al. Distribution of Aboveground Live Biomass in the Amazon Basin. *Global Change Biology*, v. 13, n. 4, p. 816-837, abr. 2007.
- SCIUBBA, E., ULGIATI, S. Energy and exergy analyses: complementary methods or irreducible ideological options? *Energy* 30, n. 10, p. 1953-1988, dez. 2005.
- SCHMIDT-BLEEK, F. MIPS re-visited. *Fresenius Environ Bull*, v. 2, p. 407-412, 1993.
- SCLATER, J.F.; TAUPART, G.; GALSON, I.D. The heat flow through the oceanic and continental crust and the heat loss of the earth. *Rev Geophys Space Phys*, v. 18, p. 269-311, 1980.
- SEADE. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Regional. *Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados*, 2011. Disponível em: <http://www.seade.gov.sp.br>. Acesso: 10/03/2010.
- SESP. Secretaria de Energia do estado de São Paulo. *Informações energéticas do estado de São Paulo – Ano Base 2008*, 2008. Disponível em: [http://www.energia.sp.gov.br/balanco\\_2009\\_2008.pdf](http://www.energia.sp.gov.br/balanco_2009_2008.pdf). Acesso: 21/03/2010.
- SICHE, J.R. et al. Convergence of ecological footprint and emery analysis as a sustainability indicator of countries: Peru as case study. *Commun Nonlinear Sci Numer Simul*, v. 15, n. 10, p. 3182-3192, out. 2010.
- \_\_\_\_\_. Índices versus indicadores: precisões conceituais na discussão da sustentabilidade de países. *Ambiente & Sociedade*, v. X, n. 2, p. 137-148, jul.-dez. 2007.
- SLESSER, M. *Energy Analysis Workshop on Methodology and Conventions*. Estocolmo, Suécia: IFIAS, 1974, 89 p.
- SMASP. Secretaria do Meio Ambiente do estado de São Paulo. *Projeto ambiental estratégico desmatamento zero*, 2008. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/>. Acesso: 15/04/2010.
- SMEETS, E. et al. The sustainability of Brazilian ethanol: an assessment of the possibilities of certified production. *Biomass Bioenergy*, v. 32, p. 781-813, 2008.
- STRAMMA, L.; IKEDA, Y.; PETERSON, R.G. Geostrophic transport in the Brazil Current region north of 20°S. *Deep Sea Res*, v. 37, n. 12, p. 1875-1886, dez. 1990.
- SWEENEY, S. et al. *National Environmental Accounting Database (NEAD)*. Project supported by the Norwegian Government and the United Nations Environment Programme (UNEP). Center for Environmental Policy, Environmental Engineering Sciences Department, University of Florida, Florida, USA, 2007. Disponível em: [http://sahel.ees.ufl.edu/database\\_resources.php](http://sahel.ees.ufl.edu/database_resources.php). Acesso: 05/05/2011.
- TACO. *Tabela brasileira de composição de alimentos: versão 2*. Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação (NEPA – UNICAMP), 2006. Disponível em: [http://www.unicamp.br/nepa/taco/contar/taco\\_versao2.pdf](http://www.unicamp.br/nepa/taco/contar/taco_versao2.pdf). Acesso em: 04/03/2009.
- TURNER, K.R.; PEARCE, D.; BATEMAN, I. *Environmental economics: an elementary introduction*. New York, USA: Harvester Wheatsheaf, 1994, 328 p.
- ULGIATI, S. Energy, emery and embodied exergy: diverging or converging approaches? In: BIENNIAL EMERGY RESEARCH CONFERENCE, 1, 2000, Gainesville. *Proceedings...* Gainesville, USA: Center for Environmental Policy, University of Florida, 2000.
- \_\_\_\_\_. A comprehensive energy and economic assessment of biofuels: when "green" is not enough. *Crit Rev Plant Sci*, v. 20, n. 1, p. 71-106, 2001.

- ULGIATI, S. et al. Material, energy and environmental performance of technological and social systems under a Life Cycle Assessment perspective. *Ecol Modell*, v. 222, n. 1, p. 176-189, jan. 2011.
- ULGIATI, S.; BROWN, M.T. Energy and ecosystem complexity. *Commun Nonlinear Sci Numer Simul*, v. 14, n. 1, p. 310-321, jan. 2009.
- ULGIATI, S.; ODUM, H.T.; BASTIANONI, S. Energy analysis of Italian agricultural system: the role of energy quality and environmental inputs. In: BONATI, L. et al. (Eds.). *Trends in Ecological Physical Chemistry*, p. 187-215, 1993.
- ULGIATI, S.; RAUGEI, M.; BARGIGLI, S. Overcoming the inadequacy of single-criterion approaches to life cycle assessment. *Ecol Modell*, v. 190, n. 3-4, p. 432-442, jan. 2006.
- UN. United Nations. Agenda 21. Rio de Janeiro, Brasil: United Nations Conference on Environment & Development, 1992. 338 p. Disponível em: <http://www.sidsnet.org/about-sids/unced>. Acesso: 05 jul. 2012.
- \_\_\_\_\_. United Nations. *World Population Prospects, the 2010 revision*, 2010. Disponível em: <http://esa.un.org/unpd/wpp/Excel-Data/population.htm>. Acesso em: 07/05/2012.
- UN COMTRADE. *United Nations Commodity Trade Statistics Database - Statistics Division*, 2010. Disponível em: <http://comtrade.un.org/>. Acesso: 05/05/2010.
- UNICA. União da Indústria de Cana-de-Açúcar. *Dados e cotações – estatísticas*, 2011. Disponível em: <http://www.unica.com.br/dadosCotacao/estatistica/>. Acesso: 04/04/2011.
- UNICAMP. Universidade Estadual de Campinas. *Pesquisa: Líder em patentes e produção científica per capita*, 2012. Disponível em: <http://www.unicamp.br/unicamp/pesquisa>. Acesso: 05/07/2012.
- UNSD. United Nations Statistics Division. Millennium Development Goals Indicators. *Carbon dioxide emissions for Brazil*, 2008. Disponível em: <http://mdgs.un.org/unsd/mdg/Data.aspx>. Acesso: 12/03/2009.
- UNWTO. World Tourism Organization. *Yearbook of Tourism Statistics*, 2010 Disponível em: <http://statistics.unwto.org/en/publication/yearbook-tourism-statistics-2011-edition>. Acesso: 05/05/2009.
- VALERO, A. Exergy accounting: capabilities and drawbacks. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN ENERGY STUDIES, 2, 2000, Padova. *Proceedings...Padova, Italy*, p. 663-677, 2000.
- VASCONCELLOS, J.R. *Matriz do Fluxo de Comércio Interestadual de Bens e Serviços no Brasil - 1999*. Brasília: IPEA, 2001. ISSN 1415-4765.
- van den BERGH, J.C.J.M.; VERBRUGGEN, H. Spatial sustainability, trade and indicators: an evaluation of the ecological footprint. *Ecol Econ*, v. 29, n. 1, p. 61-72, abr. 1999.
- van KOOTEN, G.C.; BULTE, E.H. The ecological footprint: useful science or politics? *Ecol Econ*, v. 32, p. 385-389, 2000.
- VENETOULIS, J.; TALBERTH, J. Refining the Ecological Footprint. *Environ Dev Sustain*, v. 10, p. 441-469, 2008. DOI: 10.1007/s10668-006-9074-z.
- VICTOR, P.A.; HANNA, E.; KUBURSI, A. How strong is weak sustainability? In: International Symposium on models of sustainable development, 1994, Paris. *Proceedings...Paris*: PEARCE, D.; FAUCHEUX, S. (Eds.), p. 93-114, 1994.
- von BAHR, B.; STEEN, B. Reducing epistemological uncertainty in life cycle inventory. *J Cleaner Prod*, v. 12, n. 4, p. 369-388, maio 2004.
- von BERTALANFFY, L. *General System Theory*. New York, USA: George Braziller, 1968, 295 p.
- WACKERNAGEL, M.; REES, W. Our ecological footprint: reducing human impact on the Earth. 6th ed., Canada: New Society Publishers, 160 p., 1996.
- WACKERNAGEL, M.; REES, W. Perceptual and structural barriers to investing in natural capital: economics from an ecological footprint perspective. *Ecol Econ*, v. 20, n. 1, p. 3-24, 1997.
- WILLMOTT, C.J.; MATSUURA, K.; LEGATES, D.R. *Global air temperature and precipitation: regridded monthly and annual climatologies*, 1998. Disponível em: <http://climate.geog.udel.edu/~climate>. Acesso: 10/02/2009.
- WUPPERTAL INSTITUTE. Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy. *Material Intensity of Materials, Fuels, Transport Services, Version 2*, 2003. Disponível em: [http://www.wupperinst.org/uploads/tx\\_wibeitag/MIT\\_v2.pdf](http://www.wupperinst.org/uploads/tx_wibeitag/MIT_v2.pdf). Acesso: 12/03/2009.
- WWF. World Wide Fund for Nature. *Living Planet Report 2008*. Gland, Switzerland: Banson, 2008, 48 p. ISBN 978-2-88085-292-4.
- \_\_\_\_\_. World Wide Fund for Nature. *Living Planet Report 2010*. Gland, Switzerland: ArthurSteenHorneAdamson, 2010, 57 p. ISBN 978-2-940443-08-6.
- \_\_\_\_\_. World Wide Fund for Nature. *Living Planet Report 2012*. Gland, Switzerland: millerdesign.co.uk, 2012, 164 p. ISBN 978-2-940443-37-6.

- ZHANG, Y.; YANG, Z.; YU, X. Evaluation of urban metabolism based on emergy synthesis: a case study for Beijing (China). *Ecol Modell*, v. 220, p. 1690-1696, 2009.
- ZUCARO, A. *Assessing the performance of agricultural systems across time and spatial scales: an extended LCA approach*. 2010. Ph.D. Thesis. University of Napoli "Parthenope", Napoli, Italy, 2010, 212 p.

## 9. APÊNDICE

### 9.1. Memorial de cálculo do Brasil

#### 9.1.1. Avaliação Emergética

##### Fontes renováveis

Nesta seção são apresentados os cálculos referentes às fontes renováveis de energia do Brasil. Os valores são utilizados para todos os anos avaliados (1981, 1989, 1996, 2000 e 2008). A estrutura dos cálculos apresentados, bem como muitos dos bancos de dados utilizados foram baseados nos trabalhos de Sweeney et al. (2007), e Brown, Cohen e Sweeney (2009).

Legenda:

PC = plataforma continental

UEV = unit emery value = fatores de intensidade emergética (transformidade e emergia específica)

AET = actual evapotranspiration = evapotranspiração

RO = runoff = escoamento superficial

**1. Radiação solar.** área de terra =  $8,50E+12$  m<sup>2</sup> (CIA, 2008); área da PC =  $7,10E+11$  m<sup>2</sup> (CIA, 2008); radiação =  $130,8$  W/m<sup>2</sup> (MAIDMENT, 1997); energia = área total (m<sup>2</sup>) \* radiação (W/m<sup>2</sup>) \*  $3,15E+07$  (s/ano) =  $3,80E+22$  J/ano; UEV =  $1$  seJ/J (ODUM, 1996); emergia =  $3,80E+22$  seJ/ano.

**2. Calor interno.** área de terra =  $8,50E+12$  m<sup>2</sup> (CIA, 2008); fluxo de calor =  $1,87E+06$  J/m<sup>2</sup> (SCLATER; TAUPART; GALSON, 1980); energia = área (m<sup>2</sup>) \* fluxo de calor (J/m<sup>2</sup>) =  $1,59E+19$  J/ano; UEV =  $5,80E+04$  seJ/J (ODUM, 2000); emergia =  $9,22E+23$  seJ/ano.

**3. Marés.** área da PC =  $7,10E+11$  m<sup>2</sup> (CIA, 2008); alcance médio das marés =  $2,98$  m (SWEENEY et al., 2007); número de marés =  $1,86$  #/dia (SWEENEY ET AL., 2007); densidade da água do mar =  $1025$  kg/m<sup>3</sup>; energia = PC (m<sup>2</sup>) \*  $0,5$  \* #marés/ano \* alcance<sup>2</sup> (m<sup>2</sup>) \*  $1025$  (kg/m<sup>3</sup>) \*  $9,8$  (m/s<sup>2</sup>) \*  $0,5$  =  $1,10E+19$  J/ano; UEV =  $7,40E+04$  seJ/J (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); emergia =  $8,14E+23$  seJ/ano.

**4. Vento.** velocidade média superficial =  $2,00E+00$  m/s (NEW; HULME; JONES, 1999 - média 1961-1990); velocidade média geostrófica =  $3,30E+00$  m/s (assumindo ventos superf.  $0,6$  \* geostróficos); densidade do ar =  $1,23$  kg/m<sup>3</sup> (ODUM, 1996); coeficiente de arraste =  $0,001$ ; energia = área total (m<sup>2</sup>) \*  $1,23$  (kg/m<sup>3</sup>) \*  $0,001$  \* v geostrófica<sup>3</sup> (m<sup>3</sup>/s<sup>3</sup>) \*  $3,15E+07$  (s/ano) =  $1,20E+19$  J/ano; UEV =  $2,50E+03$  seJ/J (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); emergia =  $3,00E+22$  seJ/ano.

**5. Água.** área de terra =  $8,50E+12$  m<sup>2</sup> (CIA, 2008); área da PC =  $7,10E+11$  m<sup>2</sup> (PRUETT; CIMINO, 2000); precipitação média na terra =  $1,89$  m/ano (WILMOTT et al., 1998); precipitação média na PC =  $1,87$  m/ano (WILMOTT et al., 1998); AET =  $1,22$  m/ano (AHN; TATEISHI, 1994); RO estimado =  $0,8$  m/ano (FEKETE, 2001); elevação = variável m (SWEENEY et al., 2007); entrada de rios =  $1,20E+12$  m<sup>3</sup>/ano (Global Runoff Data Centre); saída de rios =  $4,60E+11$  m<sup>3</sup>/ano (Global Runoff Data Centre).

**Chuva.** potencial químico da chuva (terra) = área terra (m<sup>2</sup>) \* chuva na terra (m/ano) \*  $1000$  (kg/m<sup>3</sup>) \*  $4940$  (J/kg) =  $7,90E+19$  J/ano; UEV potencial quím. chuva (terra) =  $3,10E+04$  seJ/J (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); emergia pot. quím. chuva (terra) = pot. quím. chuva (terra) \* UEV =  $2,45E+24$  seJ/ano; potencia química da chuva (PC) = área da PC (m<sup>2</sup>) \* chuva na PC (m/ano) \*  $1000$  (kg/m<sup>3</sup>) \*  $4940$  (J/kg) =  $6,60E+18$  J/ano; UEV potencial quím. chuva (PC) = baseline (seJ) / chuva global na PC (J) (WILMOTT et al., 1998) =  $7,00E+03$  seJ/J; emergia pot. quím. chuva (PC) = pot. quím. chuva (PC) \* UEV =  $4,62E+22$  seJ/ano; emergia total pot. quím. da chuva = (pot. quím. chuva na terra \* UEV) + (pot. quím. chuva na PC \* UEV) =  $2,50E+24$  seJ/ano; geopotencial do RO da chuva = cálculo GIS (SWEENEY et al., 2007) \*  $1000$  (kg/m<sup>3</sup>) \*  $9,8$  (m/s<sup>2</sup>) =  $1,40E+19$  J/ano; UEV geopotencial do RO da água =  $4,70E+04$  seJ/J (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); emergia geopot. do RO da chuva = saldo total geopotencial do RO água \* UEV =  $6,90E+23$  seJ/ano; potencial químico do RO da chuva = área de terra (m<sup>2</sup>) \* RO (m<sup>3</sup>/ano) \*  $1000$  (kg/m<sup>3</sup>) \*  $4940$  (J/kg) =  $3,40E+19$  J/ano; UEV do pot. químico RO da chuva =  $3,10E+04$  seJ/J (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); emergia pot. quím. RO da chuva = (pot. quím. RO chuva \* UEV) + (pot. quím. rios \* UEV) =  $1,30E+24$  seJ/ano.

**Evapotranspiração.** potencial químico da AET = área de terra (m<sup>2</sup>) \* AET (m) \*  $1000$  (kg/m<sup>3</sup>) \*  $4940$  (J/kg) =  $5,10E+19$  J/ano; UEV do potencial químico da AET =  $3,10E+04$  seJ/J (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); emergia potencial químico da AET = potencial químico da AET \* UEV =  $1,60E+24$  seJ/ano.

**Rios.** geopotencial da entrada de rios = entrada de rios (m<sup>3</sup>) \* elevação (m) \* 1000 (kg/m<sup>3</sup>) \* 9,8 (m/s<sup>2</sup>) = 1,60E+18 J/ano; geopotencial da saída de rios = Saída de rios (m<sup>3</sup>) \* elevação (m) \* 1000 (kg/m<sup>3</sup>) \* 9,8 (m/s<sup>2</sup>) = 9,50E+17 J/ano; saldo do geopotencial de rios = entrada – saída = 6,50E+17 J/ano; UEV geopotencial RO água = 4,70E+04 seJ/J (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); energia geopotencial de rios = saldo do geopot. de rios \* UEV = 3,06E+22 seJ/ano; pot. químico da entrada de rios = entrada de rios (m<sup>3</sup>/s) \* 3,15E+07 (s/ano) \* 1000 (kg/m<sup>3</sup>) \* 4940 (J/kg) = 6,10E+18 J/ano; potencial químico da saída de rios = saída de rios (m<sup>3</sup>/s) \* 3,15E+07 (s/ano) \* 1000 (kg/m<sup>3</sup>) \* 4940 (J/kg) = 2,20E+18 J/ano; saldo do potencial químico de rios = potencial químico (entrada rios - saída rios) = 3,80E+18 J/ano; UEV do potencial químico de rios = 8,10E+04 seJ/J (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); energia saldo pot. quím. de rios = saldo do pot. quím. de rios \* UEV = 3,08E+23 seJ/ano.

**Saldos.** geopotencial do RO da água = (geopot. RO chuva) + (geopot. entrada de rios) – (geopot. saída de rios) = 7,20E+23 J/ano; potencial químico total da água = (potencial químico da chuva) + (saldo do potencial químico de rios) = 2,70E+24 seJ/ano.

**6. Ondas.** comprimento da costa = 7,50E+06 m (CIA, 2008); altura média das ondas = 1,35 m (ODUM, 1996); velocidade média das ondas = RQ (9,8 (m/s<sup>2</sup>) \* profundidade (2m)) = 4,4 m/s; ondas = costa (m) \* 1/8 \* 1025 (kg/m<sup>3</sup>) \* 9,8 (m/s<sup>2</sup>) \* altura<sup>2</sup> (m<sup>2</sup>) \* v (m/s) \* 3,15E+07 (s/ano) = 2,42E+18 J/ano; UEV = 5,10E+04 seJ/J (ODUM, 1996); energia = 1,23E+23 seJ/ano.

**7. Correntes marinhas.** 1 sV (Sverdrup) = 1,00E+06 m<sup>3</sup>/s; vazão da corrente do Brasil = 5,00 sV 20°S (PETERSON; STRAMMA, 1990; STRAMMA, IKEDA; PETERSON, 1990) = 1,60E+14 m<sup>3</sup>/ano; 18,00 sV 33°S (OLSON et al., 1988; PETERSON; STRAMMA, 1990) = 5,76E+14 m<sup>3</sup>/ano; 20,00 sV 38°S (OLSON et al., 1988; Peterson; Stramma 1990) = 6,40E+14 m<sup>3</sup>/ano; vazão média = 4,59E+14 m<sup>3</sup>/ano; massa média = 4,59E+17 kg/ano; velocidade média = 4,00E-01 m/s (CALIL; CANDELLA; FRAGOSO, 2008); energia cinética = (massa média \* velocidade média<sup>2</sup>)/2 = 3,67E+16 J/ano; UEV = 1,87E+07 seJ/J (Odum, 2000 - circulação dos oceanos); energia da energia cinética = 6,86E+23 seJ/ano; concentração de nutrientes = 3,00E-07 g/L (METZLER et al., 1997) = 3,00E-10 g/m<sup>3</sup>; volume = 4,59E+14 m<sup>3</sup>/ano; nutrientes = 1,38E+05 g/ano; energia dos nutrientes = 2,30E+09 J/ano; UEV = 1,31E+05 seJ/J (ODUM; ARDING, 1989); energia = 3,02E+14 J/ano; energia total das correntes = 6,86E+23 seJ/ano.

maior fluxo renovável = 3,51E+24 seJ/ano (maior renovável terrestre mais marés).

## **Transformações internas, extrações internas não renováveis, importações, exportações, serviços e fluxos monetários.**

Nesta seção são apresentados os cálculos referentes às transformações internas do Brasil. Os trabalhos utilizados como base são os seguintes: Odum, Brown e Christianson (1986) para o ano de 1981, Comar (1998) para o ano de 1989, Coelho, Comar e Ortega (2003) para o ano de 1996, e Sweeney et al. (2007) para o ano de 2000.

### **1981**

#### **LOCAL**

**Agricultura.** agrícolas = 4,25E+14 g/ano (IBGE, 1980); UEV = 9,87E+09 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002 (soja); energia = 4,19E+24 seJ/ano.

**Produtos animais.** produtos = 1,06E+13 g/ano (IBGE, 1980); UEV = 4,85E+10 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002 (carne)); energia = 5,14E+23 seJ/ano .

**Pesca.** peixes = 8,00E+11 g/ano (IBGE, 1980); UEV = 2,78E+11 seJ/g (ODUM, 1996); energia = 2,22E+23 seJ/ano.

**Lenha.** lenha = 1,21E+08 m<sup>3</sup>/ano (IBGE, 1980); energia = lenha (m<sup>3</sup>/ano) \* 5,00E+05 (g/m<sup>3</sup>) \* 3,6 kcal/g \* 4186 J/kcal = 9,12E+17 J/ano; UEV = 1,84E+04 seJ/J (BROWN; ULGIATI, 2004); energia = 1,68E+22 seJ/ano

**Madeira.** madeira = 1,24E+08 m<sup>3</sup>/ano (IBGE, 1980); madeira = (m<sup>3</sup>/ano) \* 5,00E+05 (g/m<sup>3</sup>) = 6,20E+13 g/ano; UEV = 4,86E+09 seJ/g (BURANAKARN, 1998 (madeira sem serviços)); energia = 3,01E+23 seJ/ano.

**Consumo de água.** consumo de água = 3,50E+10 m<sup>3</sup>/ano (FAO, 2010); energia = consumo de água (m<sup>3</sup>/ano) \* 1000 (kg/m<sup>3</sup>) \* 4940 (J/kg) = 1,73E+17 J/ano; UEV = 2,40E+05 seJ/J (BUENFIL, 2001 (água subterrânea da Flórida)); energia = 4,15E+22 seJ/ano.

**Hidroeletricidade.** hidroeletricidade = 3,41E+07 toe/ano (IBGE, 1980); hidroeletricidade = (toe/ano) \* 4,19E+10 (J/toe) (IEA, 2011) = 1,43E+18 J/ano ; UEV = 1,02E+05 seJ/J (BROWN; ULGIATI, 2004); energia = 1,46E+23 seJ/ano.

**8. Perda de Florestas.** mudança média no uso da terra = 2,30E+06 ha/ano (GRID-GENEVA GEO-3 perda de floresta); densidade da biomassa = 2,10E+02 ton/ha (PENMAN et al., 2003); uso não renovável de florestas = densidade da biomassa (ton/ha) \* mudança no uso da terra (ha) = 4,83E+08 ton/ano; energia = uso florestal (ton/ano) \* 1,80E+10 (J/ton) = 4,14E+18 J/ano; UEV = 5,86E+04 seJ/J (ODUM, 1996 (biomassa da madeira)); energia = 2,43E+23 seJ/ano.

**9. Pesca acima do limite sustentável.** perda de peixes = 6,10E+10 g/ano (FAO, 2005); UEV = 2,78E+11 seJ/g (ODUM, 1996); energia = 1,70E+22 seJ/ano.

**10. Extração não renovável de água.** extração não renovável de água = 0,00E+00 m<sup>3</sup>/ano (FAO, 2010).

**11. Perda de solo: matéria orgânica.** perda de solo = 8,50E+02 g/m<sup>2</sup>/ano; área = 8,10E+11 m<sup>2</sup>; perda total = perda de solo (g/m<sup>2</sup>/ano) \* área = 6,89E+14 g/ano; energia = perda total (g/ano) \* 0,05 (orgânico) \* 5,40E+00 (kcal/g) \* 4186

(J/kcal) = 4,32E+17 J/ano; UEV = 1,24E+05 seJ/J (BARGIGLI; ULGIATI, 2003); energia = 5,36E+22 seJ/ano.

**Etanol.** etanol = 2,47E+06 toe/ano (IBGE, 1980); energia = etanol (toe/ano) \* 4,19E+10 (J/toe) (IEA, 2011) = 1,03E+17 J/ano; UEV = 1,45E+05 seJ/J (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); energia = 1,50E+22 seJ/ano.

**12. Carvão.** carvão = 3,34E+06 toe/ano (BANADOS, 1981); energia = carvão (toe/ano) \* 4,19E+10 (J/toe) (IEA, 2011) = 1,40E+17 J/ano; UEV = 6,71E+04 seJ/J (BROWN; ULGIATI, 2004); energia = 9,38E+21 seJ/ano.

**13. Gás natural.** gás natural = 9,80E+05 toe/ano (IBGE, 1980); energia = gás natural (toe/ano) \* 4,19E+10 (J/toe) (IEA, 2011) = 4,10E+16 J/ano; UEV = 8,05E+04 seJ/J (BROWN; ULGIATI, 2004); energia = 3,30E+21 seJ/ano.

**14. Petróleo.** petróleo = 8,59E+06 toe/ano (BANADOS, 1981); energia = petróleo (toe/ano) \* 4,19E+10 (J/toe) (IEA, 2011) = 3,60E+17 J/ano; UEV = 9,06E+04 seJ/J (BROWN; ULGIATI, 2004); energia = 3,26E+22 seJ/ano.

**15. Minerais.** minerais = 5,97E+13 g/ano (IBGE, 1980); UEV = 2,22E+09 seJ/g (BURANAKARN, 1998 (minério de ferro)); energia = 1,33E+23 seJ/ano.

**16. Metais.** metais = dados não disponíveis.

## IMPORTAÇÃO

**17. Combustíveis.** petróleo = 5,09E+07 ton/ano (BANADOS, 1981); energia = petróleo (ton/ano) \* 1,00E+07 (kcal/ton) (IEA, 2011) \* 4186 (J/kcal) = 2,13E+18 J/ano; UEV = 9,06E+04 seJ/J (BROWN; ULGIATI, 2004); energia = 1,93E+23 seJ/ano.

**18. Metais.** ferro = 1,12E+12 g/ano (IBGE, 1980); UEV = 4,25E+06 seJ/g (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000 (produtos de aço e ferro)); energia = 4,75E+18 seJ/ano.

**19. Minerais.** minerais = 5,52E+12 g/ano (IBGE, 1980); UEV = 2,22E+09 seJ/g (BURANAKARN, 1998 (minério de ferro)); energia = 1,23E+22 seJ/ano.

**20. Agricultura.** agrícolas = 7,78E+12 g/ano (IBGE, 1980); UEV = 2,67E+05 seJ/g (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000 (trigo)); energia = 2,08E+18 seJ/ano.

**21. Produtos animais.** produtos = 1,50E+11 g/ano (IBGE, 1980); UEV = 4,85E+10 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002 (carne)); energia = 7,27E+21 seJ/ano.

**22. Pesca.** peixes = dados não disponíveis.

**23. Plásticos.** plásticos = 2,35E+11 g/ano (IBGE, 1980); UEV = 5,29E+09 seJ/g (BURANAKARN, 1998); energia = 1,25E+21 seJ/ano.

**24. Químicos.** químicos = 8,04E+12 g/ano (IBGE, 1980); UEV = 6,38E+09 seJ/g (ODUM, 1996 (fertilizante de N)); energia = 5,13E+22 seJ/ano.

**25. Maquinário e transporte.** maquinário, veículos, bicicletas, navios = 3,78E+11 g/ano (IBGE, 1980); UEV = 1,10E+10 seJ/g (Odum et al., 1987b); energia = 4,16E+21 seJ/ano.

**26. Bens refinados.** vidro, metais refinados, fios, têxteis = 8,17E+11 g/ano (IBGE, 1980); UEV = 2,69E+09 seJ/g (BURANAKARN, 1998 (vidro)); energia = 2,20E+21 seJ/ano.

**27. Eletricidade.** eletricidade = dados não disponíveis.

## EXPORTAÇÃO

**Combustíveis.** petróleo = 1,38E+06 ton/ano (BANADOS, 1981); energia = petróleo (ton/ano) \* 1,00E+07 (kcal/ton) (IEA, 2011) \* 4186 (J/kcal) = 5,76E+16 J/ano; UEV = 9,06E+04 seJ/J (BROWN; ULGIATI, 2004); energia = 5,22E+21 seJ/ano.

**Metais.** metais = 2,67E+12 g/ano (IBGE, 1980); UEV = 4,25E+06 seJ/g (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000 (produtos de aço e ferro)); energia = 1,13E+19 seJ/ano

**Minerais.** minerais = 1,39E+08 g/ano (IBGE, 1980); UEV = 2,22E+09 seJ/g (BURANAKARN, 1998 (minério de ferro)); energia = 3,09E+17 seJ/ano.

**Agricultura.** agrícolas = 1,36E+13 g/ano (IBGE, 1980); UEV = 9,87E+09 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002 (soja)); energia = 1,34E+23 seJ/ano.

**Produtos animais.** produtos = 2,96E+11 g/ano (IBGE, 1980); UEV = 4,85E+10 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002 (carne)); energia = 1,43E+22 seJ/ano

**Pesca.** peixes = dados não disponíveis.

**Plásticos.** plásticos = 1,41E+11 g/ano (IBGE, 1980); UEV = 5,29E+09 seJ/g (BURANAKARN, 1998); energia = 7,44E+20 seJ/ano.

**Químicos.** químicos = 4,17E+11 g/ano (IBGE, 1980); UEV = 6,38E+09 seJ/g (ODUM, 1996 (fertilizante de N)); energia = 2,66E+21 seJ/ano.

**Maquinário e transporte.** maquinário, veículos, bicicletas, navios = 7,11E+11 g/ano (IBGE, 1980); UEV = 1,10E+10 seJ/g (ODUM et al., 1987b); energia = 7,82E+21 seJ/ano.

**Bens refinados.** vidro, metais refinados, fios, têxteis = 2,79E+12 g/ano (IBGE, 1980); UEV = 2,69E+09 seJ/g (BURANAKARN, 1998 (vidro)); energia = 7,51E+21 seJ/ano.

**Eletricidade.** eletricidade = dados não disponíveis.

## SERVIÇOS

PMB PPP = 7,16E+13 US\$/ano (CIA, 2008); PIB PPP = 4,68E+11 US\$/ano (FMI, 2008); energia por dólar mundial = 2,25E+12 seJ/US\$ (SWEENEY et al., 2007 modificado); energia por dólar nacional = 9,13E+12 seJ/US\$.

**28. Importação.** importados = 4,66E+09 US\$/ano (IBGE, 1980); energia = 1,05E+22 seJ/ano (utilizando energia por dólar mundial).

**Exportação.** exportados = 5,86E+09 US\$/ano (IBGE, 1980); energia = 1,21E+23 seJ/ano (utilizando energia por dólar nacional).

#### FLUXOS MONETÁRIOS

**Importação.** valor = -2,21E+10 US\$/ano (BCB, 2011); energia = -4,97E+22 seJ/ano (utilizando energia por dólar mundial).

**Exportação.** valor = 2,33E+10 US\$/ano (BCB, 2011); energia = 4,82E+23 seJ/ano (utilizando energia por dólar nacional).

**Serviços.** valor = -2,82E+09 US\$/ano (BCB, 2011); energia = -5,84E+22 seJ/ano (utilizando energia por dólar nacional).

**Rendas.** valor = -1,03E+10 US\$/ano (BCB, 2011); energia = -2,13E+23 seJ/ano (utilizando energia por dólar nacional).

**Transferências unilaterais correntes.** valor = 1,86E+08 US\$/ano (BCB, 2011); energia = 4,17E+20 seJ/ano (utilizando energia por dólar mundial).

**Conta capital.** valor = 1,30E+07 US\$/ano (BCB, 2011); energia = 2,91E+19 seJ/ano (utilizando energia por dólar mundial).

**Conta financeira.** valor = 1,27E+10 US\$/ano (BCB, 2011); energia = 2,86E+22 seJ/ano (utilizando energia por dólar mundial).

**Erros e omissões.** valor = -4,15E+08 US\$/ano (BCB, 2011); energia = -8,59E+21 seJ/ano (utilizando energia por dólar nacional).

---

### 1989

#### LOCAL

**Agricultura.** agrícolas = 4,25E+14 g/ano (COMAR, 1998); UEV = 9,87E+09 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002 (soja)); energia = 4,19E+24 seJ/ano.

**Produtos animais.** produtos = 1,06E+13 g/ano (COMAR, 1998); UEV = 4,85E+10 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002 (carne)); energia = 5,14E+23 seJ/ano.

**Pesca.** peixes = 8,00E+11 g/ano (COMAR, 1998); UEV = 2,78E+11 seJ/g (ODUM, 1996); energia = 2,22E+23 seJ/ano.

**Lenha.** lenha = 1,21E+08 m3/ano (COMAR, 1998); energia = lenha (m3/ano) \* 5,00E+05 (g/m3) \* 3,6 (kcal/g) \* 4186 (J/kcal) = 9,12E+17 J/ano; UEV = 1,84E+04 seJ/J (BROWN; ULGIATI, 2004); energia = 1,68E+22 seJ/ano.

**Madeira.** madeira = 6,03E+07 m3/ano (COMAR, 1998); madeira = (m3/ano) \* 5,00E+05 (g/m3) = 3,01E+13 g/ano; UEV = 4,86E+09 seJ/g (BURANAKARN, 1998 (madeira sem serviços)); energia = 1,46E+23 seJ/ano.

**Consumo de água.** consumo de água = 3,50E+10 m3/ano (FAO, 2010); energia = extração (m3/ano) \* 1000 (kg/m3) \* 4940 (J/kg) = 1,73E+17 J/ano; UEV = 2,40E+05 seJ/J (BUENFIL, 2001 (água subterrânea da Flórida)); energia = 4,15E+22 seJ/ano.

**Hidroeletricidade.** hidroeletricidade = 7,36E+07 toe/ano (COMAR, 1998); hidroeletricidade = (toe/ano) \* 4,19E+10 J/toe (IEA, 2011) = 1,43E+18 J/ano; UEV = 1,02E+05 seJ/J (BROWN; ULGIATI, 2004); energia = 1,46E+23 seJ/ano.

**8. Perda de florestas.** mudança média no uso da terra = 2,30E+06 ha/ano (GRID-GENEVA GEO-3 perda de floresta); densidade da biomassa = 2,10E+02 ton/ha (PENMAN et al., 2003); uso não renovável de florestas = densidade da biomassa (ton/ha) \* mudança no uso da terra (ha) = 4,83E+08 ton/ano; energia = uso florestal (ton/ano) \* 1,80E+10 (J/ton) = 4,14E+18 J/ano; UEV = 5,86E+04 seJ/J (ODUM, 1996 (biomassa da madeira)); energia = 2,43E+23 seJ/ano.

**9. Pesca acima do limite sustentável.** perda de peixes = 6,10E+10 g/ano (FAO, 2005); UEV = 2,78E+11 seJ/g (ODUM, 1996); energia = 1,70E+22 seJ/ano.

**10. Extração não renovável de água.** extração não renovável de água = 0,00E+00 m3/ano (FAO, 2010).

**11. Perda de solo: matéria orgânica.** cultura permanente = 1,70E+07 g/ha/ano (PROJETO ECOAGRI, 2006: cultura anual 17 ton/ha/ano; cultura temporária = 9,84E+06 g/ha/ano (PROJETO ECOAGRI, 2006: cultura temporária (cana: 9,84 ton/ha/ano)); pastagem = 1,00E+07 g/ha/ano (PROJETO ECOAGRI, 2006: 10 ton/ha/ano); cultura permanente = 1,08E+07 ha (IBGE, 2006); cultura temporária = 3,68E+07 ha (IBGE, 2006); pastagem = 1,51E+08 ha (IBGE, 2006); cultura permanente = 1,84E+14 g/ano; cultura temporária = 3,62E+14 g/ano; pastagem = 1,51E+15 g/ano; mat. orgânica no solo = 5%; mat. orgânica cultura permanente = 9,18E+12 g/ano; mat. orgânica cultura temporária = 1,81E+13 g/ano; mat. orgânica pastagem = 7,53E+13 g/ano; conteúdo energético da mat. org. = 5,4 kcal/g; total de energia = mat. orgânica total (g/ano) \* cont. energético (kcal/g) \* 4186 (J/kcal) = 2,32E+18 J/ano; UEV = 1,24E+05 seJ/J (BARGILLI; ULGIATI, 2003); energia = 2,88E+23 seJ/ano.

**Etanol.** etanol = 1,15E+10 L/ano (UNICA, 2011 (safra 1990)). energia = etanol (L/ano) \* 0,80 (kg/L) \* 7,09E+03 (kcal/kg) \* 4186 (J/kcal) = 2,73E+17 J/ano; UEV = 1,45E+05 seJ/J (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); energia = 3,96E+22 seJ/ano.

**12. Carvão.** carvão = 3,34E+06 toe/ano (COMAR, 1998); energia = carvão (toe/ano) \* 4,19E+10 (J/toe) (IEA, 2011) = 1,40E+17 J/ano; UEV = 6,71E+04 seJ/J (BROWN; ULGIATI, 2004); energia = 9,38E+21 seJ/ano.

**13. Gás natural.** gás natural = 8,04E+09 m3/ano (COMAR, 1998); energia = gás natural (m3/ano) \* 3,28E+00 (ft3/m3) \* 1,03E+03 (BTU/ft3) \* 1,06E+03 (J/BTU) (IEA, 2011) = 2,87E+16 J/ano; UEV = 8,05E+04 seJ/J (BROWN; ULGIATI, 2004); energia = 2,31E+21 seJ/ano.

**14. Petróleo.** petróleo = 3,39E+07 ton/ano (COMAR, 1998); energia = petróleo (ton/ano) \* 1,00E+07 (kcal/ton) (IEA,

2011) \* 4186 (J/kcal) = 1,42E+18 J/ano; UEV = 9,06E+04 seJ/J (BROWN; ULGIATI, 2004); emergia = 1,29E+23 seJ/ano.

**15. Minerais.** minerais = 2,44E+14 g/ano (COMAR, 1998); UEV = 2,22E+09 seJ/g (BURANAKARN, 1998 (minério de ferro)); emergia = 5,42E+23 seJ/ano.

**16. Metais.** metais = dados não disponíveis.

## IMPORTAÇÃO

**17. Combustíveis.** petróleo = 4,48E+07 ton/ano (COMAR, 1998); emergia = petróleo (ton/ano) \* 1,00E+07 (kcal/ton) (IEA, 2011) \* 4186 (J/kcal) = 1,87E+18 J/ano; UEV = 9,06E+04 seJ/J (BROWN; ULGIATI, 2004); emergia = 1,70E+23 seJ/ano.

**18. Metais.** ferro = 9,47E+11 g/ano (COMAR, 1998); UEV = 4,25E+06 seJ/g (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000 (produtos de aço e ferro)); emergia = 4,02E+18 seJ/ano.

**19. Minerais.** minerais = 5,52E+12 g/ano (COMAR, 1998); UEV = 2,22E+09 seJ/g (BURANAKARN, 1998 (minério de ferro)); emergia = 1,23E+22 seJ/ano.

**20. Agricultura.** agrícolas = 4,91E+12 g/ano (COMAR, 1998); UEV = 2,67E+05 seJ/J (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000 (trigo)); emergia = 1,31E+18 seJ/ano.

**21. Produtos animais.** produtos = 4,82E+11 g/ano (COMAR, 1998); UEV = 4,85E+10 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002 (carne)); emergia = 2,34E+22 seJ/ano.

**22. Pesca.** peixes = dados não disponíveis.

**23. Plásticos.** plásticos = 2,24E+11 g/ano (COMAR, 1998); UEV = 5,29E+09 seJ/g (BURANAKARN, 1998); emergia = 1,19E+21 seJ/ano.

**24. Químicos.** químico = 6,22E+12 g/ano (COMAR, 1998); UEV = 6,38E+09 seJ/g (ODUM, 1996 (fertilizante de N)); emergia = 3,97E+22 seJ/ano.

**25. Maquinário e transporte.** maquinário, veículos, bicicletas, navios = 2,80E+11 g/ano (COMAR, 1998); UEV = 1,10E+10 seJ/g (Odum et al., 1987b); emergia = 3,08E+21 seJ/ano.

**26. Bens refinados.** vidro, metais refinados, fios, têxteis = 7,30E+11 g/ano (COMAR, 1998); UEV = 2,69E+09 seJ/g (BURANAKARN, 1998 (vidro)); emergia = 1,96E+21 seJ/ano.

**27. Eletricidade.** eletricidade = dados não disponíveis.

## EXPORTAÇÃO

**Combustíveis.** petróleo = 6,00E+06 ton/ano (COMAR, 1998); emergia = petróleo (ton/ano) \* 1,00E+07 (kcal/ton) (IEA, 2011) \* 4186 (J/kcal) = 2,51E+17 J/ano; UEV = 9,06E+04 seJ/J (BROWN; ULGIATI, 2004); emergia = 2,28E+22 seJ/ano.

**Metais.** metais = 9,59E+12 g/ano (COMAR, 1998); UEV = 4,25E+06 seJ/g (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000 (produtos de aço e ferro)); emergia = 4,07E+19 seJ/ano.

**Minerais.** minerais = 1,39E+14 g/ano (COMAR, 1998); UEV = 2,22E+09 seJ/g (BURANAKARN, 1998 (minério de ferro)); emergia = 3,09E+23 seJ/ano.

**Agricultura.** agrícolas = 1,48E+13 g/ano (COMAR, 1998); UEV = 9,87E+09 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002 (soja)); emergia = 1,46E+23 seJ/ano.

**Produtos animais.** produtos = 4,20E+11 g/ano (COMAR, 1998); UEV = 4,85E+10 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002 (carne)); emergia = 2,04E+22 seJ/ano.

**Plásticos.** plásticos = 5,13E+11 g/ano (COMAR, 1998); UEV = 5,29E+09 seJ/g (BURANAKARN, 1998); emergia = 2,72E+21 seJ/ano.

**Químicos.** químicos = 1,59E+12 g/ano (COMAR, 1998); UEV = 6,38E+09 seJ/g (ODUM, 1996 (fertilizante de N)); emergia = 1,01E+22 seJ/ano.

**Maquinário e transporte.** maquinário, veículos, bicicletas, navios = 1,04E+12 g/ano (COMAR, 1998); UEV = 1,10E+10 seJ/g (Odum et al., 1987b); emergia = 1,14E+22 seJ/ano.

**Bens refinados.** vidro, metais refinados, fios, têxteis = 2,79E+12 g/ano (COMAR, 1998); UEV = 2,69E+09 seJ/g (BURANAKARN, 1998 (vidro)); emergia = 7,51E+21 seJ/ano.

**Eletricidade.** eletricidade = dados não disponíveis.

## SERVIÇOS

PMB PPP = 7,16E+13 US\$/ano (CIA, 2008); PIB PPP = 7,91E+11 US\$/ano (FMI, 2008); emergia por dólar mundial = 2,25E+12 seJ/US\$ (SWEENEY et al., 2007 modificado); emergia por dólar nacional = 6,33E+12 seJ/US\$.

**28. Importação.** importados = 5,63E+09 US\$/ano (COMAR, 1998); emergia = 1,27E+22 seJ/ano (utilizando emergia por dólar mundial).

**Exportação.** exportados = 8,75E+09 US\$/ano (COMAR, 1998); emergia = 1,15E+23 seJ/ano (utilizando emergia por dólar nacional).

## FLUXOS MONETÁRIOS

**Importação.** valor = -1,83E+10 US\$/ano (BCB, 2011); emergia = -4,11E+22 seJ/ano (utilizando emergia por dólar mundial).

**Exportação.** valor = 3,44E+10 US\$/ano (BCB, 2011); energia = 4,53E+23 seJ/ano (utilizando energia por dólar nacional).

**Serviços.** valor = -2,67E+09 US\$/ano (BCB, 2011); energia = -3,51E+22 seJ/ano (utilizando energia por dólar nacional).

**Rendas.** valor = -1,27E+10 US\$/ano (BCB, 2011); energia = -1,67E+23 seJ/ano (utilizando energia por dólar nacional).

**Transferências unilaterais correntes.** valor = 2,46E+08 US\$/ano (BCB, 2011); energia = 5,54E+20 seJ/ano (utilizando energia por dólar mundial).

**Conta capital.** valor = -2,63E+06 US\$/ano (BCB, 2011); energia = -3,46E+19 seJ/ano (utilizando energia por dólar nacional).

**Conta financeira.** valor = 6,32E+08 US\$/ano (BCB, 2011); energia = 1,42E+21 seJ/ano (utilizando energia por dólar mundial).

**Erros e omissões.** valor = -7,75E+08 US\$/ano (BCB, 2011); energia = -1,02E+22 seJ/ano (utilizando energia por dólar nacional).

## 1996

### LOCAL

**Agricultura.** agrícolas = 4,25E+14 g/ano (COELHO; ORTEGA; COMAR, 2003); UEV = 9,87E+09 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002 (soja)); energia = 4,19E+24 seJ/ano.

**Produtos animais.** produtos = 1,06E+13 g/ano (COELHO, ORTEGA; COMAR, 2003); UEV = 4,85E+10 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002 (carne)); energia = 5,14E+23 seJ/ano.

**Pesca.** peixes = 8,00E+11 g/ano (COELHO; ORTEGA; COMAR, 2003); UEV = 2,78E+11 seJ/g (ODUM, 1996); energia = 2,22E+23 seJ/ano.

**Lenha.** lenha = 1,21E+08 m<sup>3</sup>/ano (COELHO; ORTEGA; COMAR, 2003); energia = lenha (m<sup>3</sup>/ano) \* 5,00E+05 (g/m<sup>3</sup>) \* 3,6 (kcal/g) \* 4186 (J/kcal) = 9,12E+17 J/ano; UEV = 1,84E+04 seJ/J (BROWN; ULGIATI, 2004); energia = 1,68E+22 seJ/ano.

**Madeira.** madeira = 1,24E+08 m<sup>3</sup>/ano (COELHO; ORTEGA; COMAR, 2003); madeira = (m<sup>3</sup>/ano) \* 5,00E+05 (g/m<sup>3</sup>) = 6,20E+13 g/ano; UEV = 4,86E+09 seJ/g (BURANAKARN, 1998 (madeira sem serviços)); energia = 3,01E+23 seJ/ano.

**Consumo de água.** consumo de água = 5,49E+10 m<sup>3</sup>/ano (FAO, 2010); energia = consumo de água (m<sup>3</sup>/ano) \* 1000 (kg/m<sup>3</sup>) \* 4940 (J/kg) = 2,71E+17 J/ano; UEV = 2,40E+05 seJ/J (BUENFIL, 2001 (água subterrânea da Flórida)); energia = 6,51E+22 seJ/ano.

**Hidroeletricidade.** hidroeletricidade = 7,36E+07 toe/ano (COELHO; ORTEGA; COMAR, 2003); hidroeletricidade = (toe/ano) \* 4,19E+10 (J/toe) (IEA, 2011) = 1,43E+18 J/ano; UEV = 1,02E+05 seJ/J (BROWN; ULGIATI, 2004); energia = 1,46E+23 seJ/ano.

**8. Perda de florestas.** mudança média no uso da terra = 2,30E+06 ha/ano (GRID-GENEVA GEO-3 perda de floresta); densidade da biomassa = 2,10E+02 ton/ha (Penman et al., 2003); uso não renovável de florestas = densidade da biomassa (ton/ha) \* mudança no uso da terra (ha) = 4,83E+08 ton/ano; energia = uso florestal (ton/ano) \* 1,80E+10 (J/ton) = 4,14E+18 J/ano; UEV = 5,86E+04 seJ/J (ODUM, 1996 (biomassa da madeira)); energia = 2,43E+23 seJ/ano.

**9. Pesca acima do limite sustentável.** perda de peixes = 6,10E+10 g/ano (FAO, 2005); UEV = 2,78E+11 seJ/g (ODUM, 1996); energia = 1,70E+22 seJ/ano.

**10. Extração não renovável de água.** extração não renovável de água = 0,00E+00 m<sup>3</sup>/ano (FAO, 2010).

**11. Perda de solo: matéria orgânica.** cultura permanente = 1,70E+07 g/ha/ano (PROJETO ECOAGRI, 2006: cultura anual 17 ton/ha/ano; cultura temporária = 9,84E+06 g/ha/ano (PROJETO ECOAGRI, 2006: cultura temporária (cana: 9,84 ton/ha/ano); pastagem = 1,00E+07 g/ha/ano (PROJETO ECOAGRI, 2006: 10 ton/ha/ano); cultura permanente = 1,08E+07 ha (IBGE, 2006); cultura temporária = 3,68E+07 ha (IBGE, 2006); pastagem = 1,51E+08 ha (IBGE, 2006); cultura permanente = 1,84E+14 g/ano; cultura temporária = 3,62E+14 g/ano; pastagem = 1,51E+15 g/ano; mat. orgânica no solo = 5 %; mat. orgânica cultura permanente = 9,18E+12 g/ano; mat. orgânica cultura temporária = 1,81E+13 g/ano; mat. orgânica pastagem = 7,53E+13 g/ano; conteúdo energético da mat. org. = 5,4 kcal/g; total de energia = mat. orgânica total (g/ano) \* cont. energético (kcal/g) \* 4186 (J/kcal) = 2,32E+18 J/ano; UEV = 1,24E+05 seJ/J (BARGIGLI; ULGIATI, 2003); energia = 2,88E+23 seJ/ano.

**Etanol.** etanol = 1,43E+10 L/ano (UNICA, 2011 (safra 1996)); energia = etanol (L/ano) \* 0,80 (kg/L) \* 7,09E+03 (kcal/kg) \* 4186 (J/kcal) = 3,41E+17 J/ano; UEV = 1,45E+05 seJ/J (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); energia = 4,94E+22 seJ/ano.

**12. Carvão.** carvão = dados não disponíveis.

**13. Gás natural.** gás natural = 8,04E+09 m<sup>3</sup>/ano (COELHO; ORTEGA; COMAR, 2003); energia = gás natural (m<sup>3</sup>/ano) \* 3,28E+00 (ft<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>) \* 1,03 (BTU/ft<sup>3</sup>) \* 1,06E+03 (J/BTU) (IEA, 2011) = 2,87E+16 J/ano; UEV = 8,05E+04 seJ/J (BROWN; ULGIATI, 2004); energia = 2,31E+21 seJ/ano.

**14. Petróleo.** petróleo = 3,39E+07 ton/ano (COELHO; ORTEGA; COMAR, 2003); energia = petróleo (toe/ano) \* 1,00E+07 (kcal/ton) (IEA, 2011) \* 4186 (J/kcal) = 1,42E+18 J/ano; UEV = 9,06E+04 seJ/J (BROWN; ULGIATI, 2004); energia = 1,29E+23 seJ/ano.

**15. Minerais.** minerais = 2,44E+14 g/ano (COELHO; ORTEGA; COMAR, 2003); UEV = 2,22E+09 seJ/g (BURANAKARN, 1998 (minério de ferro)); energia = 5,42E+23 seJ/ano.

**16. Metais.** metais = dados não disponíveis.

## IMPORTAÇÃO

**17. Combustíveis.** petróleo = 5,15E+07 ton/ano (COELHO; ORTEGA; COMAR, 2003); energia = petróleo (ton/ano) \* 1,00E+07 (kcal/ton) (IEA, 2011) = 2,16E+18 J/ano; UEV = 9,06E+04 seJ/J (BROWN; ULGIATI, 2004); emergia = 1,95E+23 seJ/ano.

**18. Metais.** ferro = 3,27E+11 g/ano (COELHO; ORTEGA; COMAR, 2003); UEV = 4,25E+06 seJ/g (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000 (produtos de aço e ferro)); emergia = 1,39E+18 seJ/ano.

**19. Minerais.** minerais = 5,52E+12 g/ano (COELHO; ORTEGA; COMAR, 2003); UEV = 2,22E+09 seJ/g (BURANAKARN, 1998 (minério de ferro)); emergia = 1,23E+22 seJ/ano.

**20. Agricultura.** agrícolas = 1,25E+13 g/ano (COELHO; ORTEGA; COMAR, 2003); UEV = 2,67E+05 seJ/J (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000 (trigo)); emergia = 3,34E+18 seJ/ano.

**21. Produtos animais.** produtos = 9,77E+11 g/ano (COELHO; ORTEGA; COMAR, 2003); UEV = 4,85E+10 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002 (carne)); emergia = 4,74E+22 seJ/ano.

**22. Pesca.** peixes = dados não disponíveis.

**23. Plásticos.** plásticos = 2,94E+12 g/ano COELHO; ORTEGA; COMAR, 2003); UEV = 5,29E+09 seJ/g (BURANAKARN, 1998); emergia = 1,56E+22 seJ/ano.

**24. Químicos.** químico = 1,26E+13 g/ano (COELHO; ORTEGA; COMAR, 2003); UEV = 6,38E+09 seJ/g (ODUM, 1996 (fertilizante de N)); emergia = 8,04E+22 seJ/ano.

**25. Maquinário e transporte.** maquinário, veículos, bicicletas, navios = 1,88E+12 g/ano (COELHO; ORTEGA; COMAR, 2003); UEV = 1,10E+10 seJ/g (Odum et al., 1987b); emergia = 2,07E+22 seJ/ano.

**26. Bens refinados.** vidro, metais refinados, fios, têxteis = 3,38E+12 g/ano (COELHO; ORTEGA; COMAR, 2003); UEV = 2,69E+09 seJ/g (BURANAKARN, 1998 (vidro)); emergia = 9,08E+21 seJ/ano.

**27. Eletricidade.** eletricidade = dados não disponíveis.

## EXPORTAÇÃO

**Combustíveis.** petróleo = 3,09E+06 ton/ano (COELHO; ORTEGA; COMAR, 2003); energia = petróleo (ton/ano) \* 1,00E+07 (kcal/ton) (IEA, 2011) \* 4186 (J/kcal) = 1,29E+17 J/ano; UEV = 9,06E+04 seJ/J (BROWN; ULGIATI, 2004); emergia = 1,17E+22 seJ/ano.

**Metais.** metais = 1,39E+13 g/ano (COELHO; ORTEGA; COMAR, 2003); UEV = 4,25E+06 seJ/g (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000 (produtos de aço e ferro)); emergia = 5,91E+19 seJ/ano.

**Minerais.** minerais = 1,39E+14 g/ano (COELHO; ORTEGA; COMAR, 2003); UEV = 2,22E+09 seJ/g (BURANAKARN, 1998 (minério de ferro)); emergia = 3,09E+23 seJ/ano.

**Agricultura.** agrícolas = 2,35E+13 g/ano (COELHO; ORTEGA; COMAR, 2003); UEV = 9,87E+09 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002 (soja)); emergia = 2,32E+23 seJ/ano.

**Produtos animais.** produtos = 6,19E+11 g/ano (COELHO; ORTEGA; COMAR, 2003); UEV = 4,85E+10 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002 (carne)); emergia = 3,00E+22 seJ/ano.

**Plásticos.** plásticos = 9,03E+11 g/ano (COELHO; ORTEGA; COMAR, 2003); UEV = 5,29E+09 seJ/g (BURANAKARN, 1998); emergia = 4,78E+21 seJ/ano.

**Químicos.** químicos = 2,84E+12 g/ano (COELHO; ORTEGA; COMAR, 2003); UEV = 6,38E+09 seJ/g (ODUM, 1996 (fertilizante de N)); emergia = 1,82E+22 seJ/ano.

**Maquinário e transporte.** maquinário, veículos, bicicletas, navios = 1,68E+12 g/ano (COELHO; ORTEGA; COMAR, 2003); UEV = 1,10E+10 seJ/g (Odum et al., 1987b); emergia = 1,85E+22 seJ/ano.

**Bens refinados.** vidro, metais refinados, fios, têxteis = 6,61E+12 g/ano (COELHO; ORTEGA; COMAR, 2003); UEV = 2,69E+09 seJ/g (BURANAKARN, 1998 (vidro)); emergia = 1,78E+22 seJ/ano.

**Eletricidade.** eletricidade = dados não disponíveis.

## SERVIÇOS

PMB PPP = 7,16E+13 US\$/ano (CIA, 2008); PIB PPP = 1,26E+12 US\$/ano (FMI, 2008); emergia por dólar mundial = 2,25E+12 seJ/US\$ (SWEENEY et al., 2007 modificado); emergia por dólar nacional = 4,47E+12 seJ/US\$ (esse trabalho).

**28. Importação.** valor = 5,33E+10 US\$/ano (COELHO; ORTEGA; COMAR, 2003); emergia = 1,20E+23 seJ/ano (utilizando emergia por dólar mundial).

**Exportação.** valor = 4,77E+10 US\$/ano (COELHO; ORTEGA; COMAR, 2003); emergia = 4,80E+23 seJ/ano (utilizando emergia por dólar nacional).

## FLUXOS MONETÁRIOS

**Importação.** valor = -5,33E+10 US\$/ano (BCB, 2011); emergia = -1,20E+23 seJ/ano (utilizando emergia por dólar mundial).

**Exportação.** valor = 4,77E+10 US\$/ano (BCB, 2011); emergia = 4,80E+23 seJ/ano (utilizando emergia por dólar nacional).

**Serviços.** valor = -8,68E+09 US\$/ano (BCB, 2011); emergia = -8,72E+22 seJ/ano (utilizando emergia por dólar nacional).

**Rendas.** valor = -1,17E+10 US\$/ano (BCB, 2011); emergia = -1,17E+23 seJ/ano (utilizando emergia por dólar nacional).

**Transferências unilaterais correntes.** valor = 2,45E+09 US\$/ano (BCB, 2011); emergia = 5,50E+21 seJ/ano (utilizando emergia por dólar mundial).

**Conta capital.** valor = 4,54E+08 US\$/ano (BCB, 2011); energia = 1,02E+21 seJ/ano (utilizando energia por dólar mundial).

**Conta financeira.** valor = 3,35E+10 US\$/ano (BCB, 2011); energia = 7,53E+22 seJ/ano (utilizando energia por dólar mundial).

**Erros e omissões.** valor = -1,80E+09 US\$/ano (BCB, 2011); energia = -1,81E+22 seJ/ano (utilizando energia por dólar nacional).

## 2000

### LOCAL

**Agricultura.** agrícolas = 4,90E+14 g/ano (FAO, 2008 (dados de 2000)); energia = 6,30E+18 J/ano; energia = 7,00E+23 seJ/ano (SWEENEY et al., 2007).

**Produtos animais.** produtos = 3,80E+13 g/ano (FAO, 2008 (dados de 2000)); energia = 2,10E+17 seJ/g; energia = 8,10E+23 seJ/ano (SWEENEY et al., 2007).

**Pesca.** peixes = 7,80E+11 g/ano (FAO, 2008 (dados de 2000)); UEV = 2,78E+11 seJ/g (ODUM, 1996); energia = 2,17E+23 seJ/ano.

**Lenha.** lenha = 8,40E+13 g/ano (FAO, 2008 (dados de 2000)); energia = 8,40E+17 J/ano; UEV = 1,84E+04 seJ/J (BROWN; ULGIATI, 2004); energia = 1,55E+22 seJ/ano.

**Madeira.** madeira = 6,30E+13 g/ano (FAO, 2008); UEV = 4,86E+09 seJ/g (BURANAKARN, 1998 (madeira sem serviços)); energia = 3,06E+23 seJ/ano.

**Consumo de água.** residencial = 1,20E+10 m<sup>3</sup>/ano (FAO, 2010); industrial = 1,07E+10 m<sup>3</sup>/ano (FAO, 2010); agricultura = 3,66E+10 m<sup>3</sup>/ano (FAO, 2010); total = 5,93E+10 m<sup>3</sup>/ano; energia = extração (m<sup>3</sup>/ano) \* 1000 (kg/m<sup>3</sup>) \* 4940 (J/kg) = 2,93E+17 J/ano; UEV = 2,40E+05 seJ/J (BUENFIL, 2001); energia = 7,03E+22 seJ/ano.

**Hidroeletricidade.** hidroeletricidade = 3,00E+11 kWh/ano (EIA, 2002); hidroeletricidade = (kWh/ano) \* 3,60E+06 (J/kWh) = 1,08E+18 J/ano; UEV = 1,02E+05 seJ/J (BROWN; ULGIATI, 2004); energia = 1,10E+23 seJ/ano.

**8. Perda de florestas.** mudança média do uso da terra = 2,30E+06 ha/ano (GRID-GENEVA GEO-3 perda de floresta); densidade da biomassa = 2,10E+02 ton/ha (Penman et al., 2003); uso não-renovável de florestas = densidade da biomassa (ton/ha) \* mudança no uso da terra (ha) = 4,83E+08 ton/ano; energia = uso florestal (ton/ano) \* 1,80E+10 (J/ton) = 4,14E+18 J/ano; UEV = 5,86E+04 seJ/J (ODUM, 1996 (biomassa da madeira)); energia = 2,43E+23 seJ/ano.

**9. Pesca acima do limite sustentável.** perda de peixes = 6,10E+10 g/ano (FAO, 2005); UEV = 2,78E+11 seJ/g (ODUM, 1996); energia = 1,70E+22 seJ/ano.

**10. Extração não renovável de água.** extração não-renovável de água = 0,00E+00 m<sup>3</sup>/ano (FAO, 2010)

**11. Perda de solo: matéria orgânica.** perda de solo = 3,00E+15 g/ano (SWEENEY et al., 2007); conteúdo de mat. orgânica = 5 % (SWEENEY et al., 2007); matéria orgânica = 1,50E+14 g/ano; conteúdo energético da mat. org. = 5,40 kcal/g; energia = 3,39E+18 J/ano; UEV = 1,24E+05 seJ/J (BARGIGLI; ULGIATI, 2003); energia = 4,20E+23 seJ/ano.

**Etanol.** etanol = 1,06E+10 L/ano (UNICA, 2011 (safra 2000)); energia = etanol (L/ano) \* 0,80 (kg/L) \* 7,09E+03 (kcal/kg) \* 4186 (J/kcal) = 2,52E+17 J/ano; UEV = 1,45E+05 seJ/J (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); energia = 3,65E+22 seJ/ano.

**12. Carvão.** carvão = 4,90E+12 g/ano (EIA, 2002); energia = carvão (g/ano) \* 2,45E+04 (J/g) (IEA, 2011) = 1,20E+17 J/ano; UEV = 6,71E+04 seJ/J (BROWN; ULGIATI, 2004); energia = 8,06E+21 seJ/ano

**13. Gás natural.** gás natural = 7,30E+09 m<sup>3</sup>/ano (EIA, 2002); energia = gás natural (m<sup>3</sup>/ano) \* 3,82E+07 (J/m<sup>3</sup>) (IEA, 2011) = 2,79E+17 J/ano; UEV = 8,05E+04 seJ/J (BROWN; ULGIATI, 2004); energia = 2,24E+22 seJ/ano.

**14 . Petróleo.** petróleo = 4,60E+08 bbl/ano (EIA, 2002); energia = petróleo (bbl/ano) \* 6,21E+09 (J/bbl) (IEA, 2011) = 2,80E+18 J/ano; UEV = 9,06E+04 seJ/J (BROWN; ULGIATI, 2004); energia = 2,54E+23 seJ/ano.

**15. Minerais.** minerais = 7,90E+13 g/ano (SWEENEY et al., 2007); energia = 7,20E+23 seJ/ano (SWEENEY et al., 2007).

**16. Metais.** metais = 2,30E+14 g/ano (SWEENEY et al., 2007); energia = 1,80E+23 seJ/ano (SWEENEY et al., 2007).

### IMPORTAÇÃO

#### 17. Combustíveis

**petróleo cru** = 1,50E+08 bbl/ano (EIA, 2002); energia = petróleo cru (bbl/ano) \* 5,85E+09 (J/bbl) (IEA, 2011) = 8,78E+17 J/ano; UEV = 9,40E+04 seJ/J (Bastianoni et al., 2005); energia = 8,25E+22 seJ/ano.

**gasolina** = 1,50E+08 bbl/ano (EIA, 2002); energia = gasolina (bbl/ano) \* 5,85E+09 (J/bbl) (IEA, 2011) = 8,78E+17 J/ano; UEV = 9,40E+04 seJ/J (BROWN; ULGIATI, 2004); energia = 8,25E+22 seJ/ano.

**carvão** = 1,46E+13 g/ano (EIA, 2002); energia = carvão (g/ano) \* 2,97E+04 (J/g) (IEA, 2011) = 4,34E+17 J/ano; UEV = 6,71E+04 seJ/J (BROWN; ULGIATI, 2004); energia = 2,91E+22 seJ/ano.

**gás natural** = 7,60E+10 ft<sup>3</sup>/ano (EIA, 2002); energia = (ft<sup>3</sup>/ano) \* 2,83E+02 (m<sup>3</sup>/ft<sup>3</sup>) \* 3,82E+07 (J/m<sup>3</sup>) (IEA, 2011) = 8,22E+16 J/ano; UEV = 8,05E+04 seJ/J (BROWN; ULGIATI, 2004); energia = 6,62E+21 seJ/ano.

**energia total de combustíveis** = 1,97E+23 seJ/ano.

**18. Metais.** ferro = 2,40E+12 g/ano (UN COMTRADE, 2010); UEV = 4,25E+06 seJ/g (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000 (produtos de aço e ferro)); energia = 1,02E+19 seJ/ano.

**19. Minerais.** minerais = 3,50E+12 g/ano (UN COMTRADE, 2010); UEV = 2,22E+09 seJ/g (BURANAKARN, 1998 (minério de ferro)); energia = 7,77E+21 seJ/ano.

**20. Agricultura.** agrícolas =  $2,10E+13$  g/ano (UN COMTRADE, 2010); energia =  $3,10E+22$  seJ/ano (SWEENEY et al., 2007).

**21. Produtos animais.** produtos =  $7,20E+11$  g/ano (UN COMTRADE, 2010); energia =  $1,50E+22$  seJ/ano (SWEENEY et al., 2007).

**22. Pesca.** não estimado.

**23. Plásticos.** plásticos =  $1,40E+12$  g/ano (UN COMTRADE, 2010); UEV =  $5,29E+09$  seJ/g (BURANAKARN, 1998); energia =  $7,41E+21$  seJ/ano.

**24. Químicos.** químicos =  $1,40E+13$  g/ano (UN COMTRADE, 2010); UEV =  $6,38E+09$  seJ/g (ODUM, 1996 (fertilizante de N)); energia =  $8,93E+22$  seJ/ano.

**25. Maquinário e transporte.** maquinário, veículos, bicicletas, navios =  $2,40E+10$  US\$/ano (UN COMTRADE, 2010); UEV =  $2,25E+12$  seJ/US\$ (SWEENEY et al., 2007 modificado); energia =  $6,24E+22$  seJ/ano.

**26. Bens refinados.** vidro, metais refinados, fios, têxteis =  $3,70E+09$  US\$/ano (UN COMTRADE, 2010); UEV =  $2,25E+12$  seJ/US\$ (SWEENEY et al., 2007 modificado); energia =  $9,62E+21$  seJ/ano.

**27. Eletricidade.** eletricidade =  $4,30E+10$  kWh/ano (EIA, 2002); eletricidade = (kWh/ano) \*  $3,60E+06$  (J/kWh) (IEA, 2011) =  $1,55E+17$  J/ano; UEV =  $3,36E+05$  seJ/J (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); energia =  $5,20E+22$  seJ/ano.

## EXPORTAÇÃO

### Combustíveis

**petróleo cru** =  $7,10E+06$  bbl/ano (EIA, 2002); energia = petróleo cru (bbl/ano) \*  $5,85E+09$  (J/bbl) (IEA, 2011) =  $4,15E+16$  J/ano; UEV =  $9,40E+04$  seJ/J (Bastianoni et al., 2005); energia =  $3,90E+21$  seJ/ano.

**gasolina** =  $5,40E+07$  bbl/ano (EIA, 2002); energia = gasolina (bbl/ano) \*  $6,20E+09$  (J/bbl) (IEA, 2011) =  $3,35E+17$  J/ano; UEV =  $9,06E+04$  seJ/J (BROWN; ULGIATI, 2004); energia =  $3,03E+22$  seJ/ano.

**carvão** =  $0,00E+00$  g/ano (EIA, 2002).

**gás natural** =  $0,00E+00$  ft<sup>3</sup>/ano (EIA, 2002).

**energia total dos combustíveis** =  $3,42E+22$  seJ/ano.

**Etanol.** etanol =  $2,27E+08$  L/ano (UNICA, 2011 (safra 2000)); energia = etanol (L/ano) \*  $0,80$  (kg/L) \*  $7,09E+03$  (kcal/kg) \*  $4186$  (J/kcal) =  $5,40E+15$  J/ano; UEV =  $1,30E+05$  seJ/J (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); energia =  $7,02E+20$  seJ/ano.

**Metais.** metais =  $1,80E+14$  g/ano (UN COMTRADE, 2010); energia =  $1,20E+24$  seJ/ano (SWEENEY et al., 2007).

**Minerais.** minerais =  $5,20E+12$  g/ano (UN COMTRADE, 2010); energia =  $1,20E+22$  seJ/ano (SWEENEY et al., 2007).

**Agricultura.** agrícolas =  $6,70E+08$  g/ano (UN COMTRADE, 2010); energia =  $1,20E+23$  seJ/ano (SWEENEY et al., 2007).

**Produtos animais.** produtos =  $1,30E+16$  J/ano (UN COMTRADE, 2010); energia =  $1,20E+22$  seJ/ano (SWEENEY et al., 2007).

**Plásticos.** plásticos =  $1,20E+12$  g/ano (UN COMTRADE, 2010); energia =  $1,80E+22$  seJ/ano (SWEENEY et al., 2007).

**Químicos.** químicos =  $2,80E+12$  g/ano (UN COMTRADE, 2010); UEV =  $6,38E+09$  seJ/g (ODUM, 1996 (fertilizante de N)); energia =  $1,79E+22$  seJ/ano (SWEENEY et al., 2007).

**Maquinário e transporte.** maquinário, veículos, bicicletas, navios =  $1,50E+10$  US\$/ano (UN COMTRADE, 2010); UEV =  $4,47E+12$  seJ/US\$ (esse trabalho); energia =  $2,53E+23$  seJ/ano.

**Bens refinados.** vidro, metais refinados, fios, têxteis =  $4,60E+09$  US\$/ano (UN COMTRADE, 2010); UEV =  $4,47E+12$  seJ/US\$ (esse trabalho); energia =  $7,75E+22$  seJ/ano.

**Eletricidade.** eletricidade =  $4,00E+06$  kWh/ano (EIA, 2002); eletricidade = (kWh/ano) \*  $3,60E+06$  (J/kWh) (IEA, 2011) =  $1,44E+13$  J/ano; UEV =  $3,36E+05$  seJ/J (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); energia =  $4,84E+18$  seJ/ano.

### SERVIÇOS

PMB PPP =  $7,16E+13$  US\$/ano (CIA, 2008); PIB PPP =  $1,98E+12$  US\$/ano (FMI, 2008); energia por dólar mundial =  $2,25E+12$  seJ/US\$ (SWEENEY et al., 2007 modificado); energia por dólar nacional =  $4,12E+12$  seJ/US\$ (esse trabalho).

**28. Importação.** importados =  $5,58E+10$  US\$/ano (BCB, 2011); energia =  $1,25E+23$  seJ/ano (utilizando energia por dólar mundial).

**Exportação.** exportados =  $5,51E+10$  US\$/ano (BCB, 2011); energia =  $4,45E+23$  seJ/ano (utilizando energia por dólar nacional).

**Turismo para fora.** turismo para fora =  $4,20E+09$  US\$/ano (UNWTO, 2010); energia =  $3,40E+22$  seJ/ano (utilizando energia por dólar nacional).

**29. Turismo de fora.** turismo de fora =  $1,81E+09$  US\$/ano (UNWTO, 2010); energia =  $4,07E+21$  seJ/ano (utilizando energia por dólar mundial).

### FLUXOS MONETÁRIOS

**Importação.** valor =  $-5,58E+10$  US\$/ano (BCB, 2011); energia =  $-1,25E+23$  seJ/ano (utilizando energia por dólar mundial).

**Exportação.** valor =  $5,51E+10$  US\$/ano (BCB, 2011); energia =  $4,45E+23$  seJ/ano (utilizando energia por dólar

nacional).

**Serviços.** valor = -7,16E+09 US\$/ano (BCB, 2011); energia = -5,79E+22 seJ/ano (utilizando energia por dólar nacional).

**Rendas.** valor = -1,79E+10 US\$/ano (BCB, 2011); energia = -1,45E+23 seJ/ano (utilizando energia por dólar nacional).

**Transferências unilaterais correntes.** valor = 1,52E+09 US\$/ano (BCB, 2011); energia = 3,42E+21 seJ/ano (utilizando energia por dólar mundial).

**Conta capital.** valor = 2,73E+08 US\$/ano (BCB, 2011); energia = 6,13E+20 seJ/ano (utilizando energia por dólar mundial).

**Conta financeira.** valor = 1,91E+10 US\$/ano (BCB, 2011); energia = 4,28E+22 seJ/ano (utilizando energia por dólar mundial).

**Erros e omissões.** valor = 2,64E+09 US\$/ano (BCB, 2011); energia = 5,93E+21 seJ/ano (utilizando energia por dólar mundial).

## 2008

### LOCAL

#### Agricultura

**algodão** = 2,93E+12 g/ano (IBGE, 2008); UEV = 2,10E+10 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002); energia = 6,15E+22 seJ/ano.

**amendoim** = 2,93E+11 g/ano (IBGE, 2008); UEV = 2,97E+10 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002); energia = 8,70E+21 seJ/ano.

**arroz** = 1,26E+13 g/ano (IBGE, 2008); UEV = 1,40E+09 seJ/g (BROWN; ULGIATI, 2004); energia = 1,76E+22 seJ/ano.

**aveia** = 2,39E+11 g/ano (IBGE, 2008); UEV = 4,40E+09 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002); energia = 1,05E+21 seJ/ano.

**batata** = 3,43E+12 g/ano (IBGE, 2008); UEV = 2,80E+09 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002); energia = 9,60E+21 seJ/ano.

**café** = 2,43E+12 g/ano (IBGE, 2008); energia = café (g/ano) \* 4,19 (kcal/g) (TACO, 2006) \* 80% seca \* 4186 (J/kcal) = 3,41E+16 J/ano; UEV = 1,54E+06 seJ/J (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); energia = 5,25E+22 seJ/ano.

**açúcar** = 3,11E+13 g/ano (UNICA, 2011 (safra 2008)); energia = açúcar (g/ano) \* 3,87 (kcal/g) (TACO, 2006) \* 80% seca \* 4186 (J/kcal) = 4,03E+17 J/ano; UEV = 1,51E+05 seJ/J (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); energia = 6,09E+22 seJ/ano.

**laranja** = 1,83E+13 g/ano (IBGE, 2008); UEV = 1,92E+09 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002); energia = 3,51E+22 seJ/ano.

**mandioca** = 2,60E+13 g/ano (IBGE, 2008); UEV = 1,62E+08 seJ/g (Rodriguez et al., 2003); energia = 4,21E+21 seJ/ano.

**milho** = 5,12E+13 g/ano (IBGE, 2008); UEV = 7,98E+04 seJ/g (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); energia = 4,09E+18 seJ/ano.

**soja** = 5,70E+13 g/ano (IBGE, 2008); UEV = 9,87E+09 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002); energia = 5,63E+23 seJ/ano.

**trigo** = 4,96E+12 g/ano (IBGE, 2008); energia = trigo (g/ano) \* 3,60 (kcal/g) (TACO, 2006) \* 80% seca \* 4186 (J/kcal) = 5,98E+16 J/ano; UEV = 2,67E+05 seJ/J (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); energia = 1,60E+22 seJ/ano.

**energia total da produção agrícola** = 8,30E+23 seJ/ano.

#### Produtos animais

**carne** = 1,85E+13 g/ano (IBGE, 2008); UEV = 4,85E+10 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002); energia = 8,97E+23 seJ/ano.

**leite** = 1,93E+13 g/ano (IBGE, 2008) UEV = 3,37E+10 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002); energia = 6,50E+23 seJ/ano.

**ovos** = 1,78E+13 g/ano (IBGE, 2008); UEV = 1,07E+11 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002); energia = 1,90E+24 seJ/ano.

**energia total** = 3,45E+24 seJ/ano.

**Pesca.** peixes = 1,07E+12 g/ano (IBAMA, 2007); UEV = 2,78E+11 seJ/g (ODUM, 1996); energia = 2,97E+23 seJ/ano.

**Lenha.** lenha = 2,92E+07 toe/ano (MME, 2010); energia = lenha (toe/ano) \* 4,19E+10 (J/toe) (IEA, 2011) = 1,22E+18 J/ano; UEV = 1,84E+04 seJ/J (BROWN; ULGIATI, 2004); energia = 2,25E+22 seJ/ano.

**Madeira.** madeira = 1,15E+08 m<sup>3</sup>/ano (FAO, 2008); madeira = (m<sup>3</sup>/ano) \* 500 (kg/m<sup>3</sup>) \* 1000 (g/kg) = 5,77E+13 g/ano; UEV = 4,86E+09 seJ/g (BURANAKARN, 1998); energia = 8,65E+22 seJ/ano.

**Consumo de água.** residencial = 1,20E+10 m<sup>3</sup>/ano (FAO, 2010); industrial = 1,07E+10 m<sup>3</sup>/ano (FAO, 2010); agricultura = 3,66E+10 m<sup>3</sup>/ano (FAO, 2010); total = 5,93E+10 m<sup>3</sup>/ano; energia = consumo de água (m<sup>3</sup>/ano) \* 1000 (kg/m<sup>3</sup>) \* 4940 (J/kg) = 2,93E+17 J/ano; UEV = 2,40E+05 seJ/J (Buenfil 2001 (aqüífero da Flórida)); energia = 7,03E+22 seJ/ano.

**Hidroeletricidade.** hidroeletricidade = 3,18E+07 toe/ano (MME, 2010); hidroeletricidade = (toe/ano) \* 4,19E+10 J/toe (IEA, 2011) = 1,33E+18 J/ano; UEV = 1,02E+05 seJ/J (BROWN; ULGIATI, 2004); energia = 1,36E+23 seJ/ano.

**8. Perda de florestas.** mudança média do uso da terra =  $2,30E+06$  ha/ano (GRID-GENEVA GEO-3 perda de floresta); densidade da biomassa =  $2,10E+02$  ton/ha (Penman et al., 2003); uso não renovável de florestas = densidade da biomassa (ton/ha) \* mudança no uso da terra (ha) =  $4,83E+08$  ton/ano; energia = uso florestal (ton/ano) \*  $1,80E+10$  (J/ton) =  $4,14E+18$  J/ano; UEV =  $5,86E+04$  seJ/J (ODUM, 1996 (biomassa da madeira)); energia =  $2,43E+23$  seJ/ano.

**9. Pesca acima do limite sustentável.** perda de peixes =  $6,10E+10$  g/ano (FAO, 2005); UEV =  $2,78E+11$  seJ/g (ODUM, 1996); energia =  $1,70E+22$  seJ/ano.

**10. Extração não renovável de água.** extração não-renovável de água =  $0,00E+00$  m<sup>3</sup>/ano (FAO, 2010).

**11. Perda de solo: matéria orgânica.** cultura permanente =  $1,70E+07$  g/ha/ano (PROJETO ECOAGRI, 2006: cultura anual 17 ton/ha/ano; cultura temporária =  $9,84E+06$  g/ha/ano (PROJETO ECOAGRI, 2006: cultura temporária (cana:  $9,84$  ton/ha/ano)); pastagem =  $1,00E+07$  g/ha/ano (PROJETO ECOAGRI, 2006: 10 ton/ha/ano); cultura permanente =  $1,08E+07$  ha (IBGE, 2006); cultura temporária =  $3,68E+07$  ha (IBGE, 2006); pastagem =  $1,51E+08$  ha (IBGE, 2006); cultura permanente =  $1,84E+14$  g/ano; cultura temporária =  $3,62E+14$  g/ano; pastagem =  $1,51E+15$  g/ano; mat. orgânica no solo = 5%; mat. orgânica cultura permanente =  $9,18E+12$  g/ano; mat. orgânica cultura temporária =  $1,81E+13$  g/ano; mat. orgânica pastagem =  $7,53E+13$  g/ano; conteúdo energético da mat. org. =  $5,4$  kcal/g; total de energia = mat. orgânica total (g/ano) \* cont. energético (kcal/g) \*  $4186$  (J/kcal) =  $2,32E+18$  J/ano; UEV =  $1,24E+05$  seJ/J (BARGIGLI; ULGIATI, 2003); energia =  $2,88E+23$  seJ/ano.

**Etanol.** etanol =  $4,50E+07$  toe/ano (MME, 2010); energia = etanol (toe/ano) \*  $4,19E+10$  J/toe (IEA, 2011) =  $1,88E+18$  J/ano; UEV =  $1,30E+05$  seJ/J (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); energia =  $2,45E+23$  seJ/ano.

**12. Carvão.** carvão =  $2,49E+06$  toe/ano (MME, 2010); energia = carvão (toe/ano) \*  $4,19E+10$  J/toe (IEA, 2011) =  $1,04E+17$  J/ano; UEV =  $6,71E+04$  seJ/J (BROWN; ULGIATI, 2004); energia =  $7,00E+21$  seJ/ano.

**13. Gás natural.** gás natural =  $2,14E+07$  toe/ano (MME, 2010); energia = gás natural (toe/ano) \*  $4,19E+10$  J/toe (IEA, 2011) =  $8,96E+17$  J/ano; UEV =  $8,05E+04$  seJ/J (BROWN; ULGIATI, 2004); energia =  $7,21E+22$  seJ/ano.

**14. Petróleo.** petróleo =  $9,40E+07$  toe/ano (MME, 2010); energia = petróleo (toe/ano) \*  $4,19E+10$  J/toe (IEA, 2011) =  $3,94E+18$  J/ano; UEV =  $9,06E+04$  seJ/J (BROWN; ULGIATI, 2004); energia =  $3,57E+23$  seJ/ano.

#### 15. Minerais

**fertilizante N** =  $1,47E+12$  g/ano (MDIC, 2010); UEV =  $7,07E+09$  seJ/g (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); energia =  $1,04E+22$  seJ/ano.

**fertilizante P** =  $7,67E+12$  g/ano (MDIC, 2010); UEV =  $1,10E+10$  seJ/g (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); energia =  $8,44E+22$  seJ/ano.

**fertilizante K** =  $6,71E+11$  g/ano (MDIC, 2010); UEV =  $1,85E+09$  seJ/g (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); energia =  $1,24E+21$  seJ/ano.

**minério de ferro** =  $3,51E+14$  g/ano (IBRAM, 2010); UEV =  $2,22E+09$  seJ/g (BURANAKARN, 1998); energia =  $7,79E+23$  seJ/ano.

**ouro** =  $5,40E+07$  g/ano (IBRAM, 2010); UEV =  $7,39E+14$  seJ/g (Brown; Arding, 1991); energia =  $3,99E+22$  seJ/g.

**energia total dos minerais** =  $9,16E+23$  seJ/ano.

#### 16. Metais

**ligas de ferro** =  $9,84E+14$  g/ano (MME, 2010); UEV =  $4,25E+06$  seJ/g (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000 (produtos de ferro e aço); energia =  $4,18E+21$  seJ/ano.

**ferro gusa** =  $3,49E+13$  g/ano (MME, 2010); UEV =  $5,43E+09$  seJ/g (BARGIGLI; ULGIATI, 2003); energia =  $1,90E+23$  seJ/ano.

**alumínio** =  $1,66E+12$  g/ano (MME, 2010); UEV =  $7,76E+08$  seJ/g (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); energia =  $1,29E+21$  seJ/ano.

**cobre** =  $3,84E+11$  g/ano (MME, 2010); UEV =  $3,36E+09$  seJ/g (BROWN; ULGIATI, 2004); energia =  $1,29E+21$  seJ/ano.

**zinco** =  $2,49E+05$  g/ano (MME, 2010); UEV =  $1,14E+11$  seJ/g (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); energia =  $2,84E+16$  seJ/ano.

**energia total de metais** =  $1,96E+23$  seJ/ano.

### IMPORTAÇÃO

#### 17. Combustíveis

**petróleo** =  $1,50E+08$  toe/ano (MME, 2010); energia = petróleo (toe/ano) \*  $4,19E+10$  J/toe (IEA, 2011) =  $6,28E+18$  J/ano; UEV =  $9,06E+04$  seJ/J (BROWN; ULGIATI, 2004); energia =  $5,69E+23$  seJ/ano.

**coprodutos de petróleo** =  $1,57E+07$  toe/ano (MME, 2010); energia = coprodutos do petróleo (toe/ano) \*  $4,19E+10$  J/toe (IEA, 2011) =  $6,57E+17$  J/ano; UEV =  $1,11E+05$  seJ/J (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); energia =  $7,30E+22$  seJ/ano.

**carvão** =  $1,30E+07$  toe/ano (MME, 2010); energia = carvão (toe/ano) \*  $4,19E+10$  J/toe (IEA, 2011) =  $5,44E+17$  J/ano; UEV =  $6,71E+04$  seJ/J (BROWN; ULGIATI, 2004); energia =  $3,65E+22$  seJ/ano.

**gás natural** =  $9,99E+06$  toe/ano (MME, 2010); energia = gás natural (toe/ano) \*  $4,19E+10$  J/toe (IEA, 2011) =  $4,18E+17$  J/ano; UEV =  $8,05E+04$  seJ/J (BROWN; ULGIATI, 2004); energia =  $3,37E+22$  seJ/ano.

**energia total de combustíveis** =  $7,12E+23$  seJ/ano.

#### 18. Metais

**ligas de ferro** = 9,09E+10 g/ano (MME, 2010); UEV = 4,25E+06 seJ/g (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000 (produtos de ferro e aço)); energia = 3,86E+17 seJ/ano.

**ferro gusa** = 0,00E+00 g/ano (MME, 2010).

**alumínio** = 2,12E+11 g/ano (MME, 2010); UEV = 7,76E+08 seJ/g (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); energia = 1,65E+20 seJ/ano.

**cobre** = 3,15E+11 g/ano (MME, 2010) UEV = 3,36E+09 seJ/g (BROWN; ULGIATI, 2004); energia = 1,06E+21 seJ/ano.

**zinco** = 4,06E+10 g/ano (MME, 2010); UEV = 1,14E+11 seJ/g (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); energia = 4,63E+21 seJ/ano.

**energia total de metais** = 5,85E+21 seJ/ano.

**19. Minerais.** minerais = 9,40E+13 g/ano (UN COMTRADE, 2010); UEV = 2,22E+09 seJ/g (BURANAKARN, 1998); energia = 2,09E+23 seJ/ano.

## **20. Agricultura**

**algodão** = 9,94E+10 g/ano (FAO, 2008); UEV = 2,10E+10 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002); energia = 2,09E+21 seJ/ano.

**amendoim** = 0,00E+00 g/ano (FAO, 2008).

**arroz** = 7,21E+11 g/ano (FAO, 2008); UEV = 1,40E+09 seJ/g (BROWN; ULGIATI, 2004); energia = 1,01E+21 seJ/ano.

**aveia** = 5,20E+08 g/ano (FAO, 2008); UEV = 4,40E+09 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002); energia = 2,29E+18 seJ/ano.

**batata** = 7,00E+09 g/ano (FAO, 2008); UEV = 2,80E+09 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002); energia = 1,96E+19 seJ/ano.

**café** = 2,28E+08 g/ano (FAO, 2008); energia = café (g/ano) \* 4,19 (kcal/g) (TACO, 2006) \* 80% seca \* 4186 (J/kcal) = 3,20E+12 J/ano; UEV = 1,54E+06 seJ/J (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); energia = 4,93E+18 seJ/ano.

**açúcar** = 0,00E+00 g/ano (UNICA, 2011 (safra 2008)).

**laranja** = 1,94E+09 g/ano (FAO, 2008); UEV = 1,92E+09 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002); energia = 3,72E+18 seJ/ano.

**mandioca** = 1,88E+10 g/ano (FAO, 2008); UEV = 1,62E+08 seJ/g (RODRIGUEZ et al., 2003); energia = 3,05E+18 seJ/ano.

**milho** = 1,10E+12 g/ano (FAO, 2000); UEV = 7,98E+04 seJ/g (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); energia = 8,78E+16 seJ/ano.

**soja** = 2,56E+10 g/ano (FAO, 2008); UEV = 9,87E+09 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002); energia = 2,53E+20 seJ/ano.

**trigo** = 6,64E+12 g/ano (FAO, 2008); energia = trigo (g/ano) \* 3,60 (kcal/g) (TACO, 2006) \* 80% seca \* 4186 (J/kcal) = 8,00E+16 J/ano; UEV = 2,67E+05 seJ/J (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); energia = 2,14E+22 seJ/ano.

**energia total da importação** = 2,48E+22 seJ/ano.

## **21. Produtos animais**

**carne** = 1,02E+12 g/ano (FAO, 2008); UEV = 4,85E+10 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002); energia = 4,96E+22 seJ/ano.

**leite** = 5,10E+11 g/ano (FAO, 2008); UEV = 3,37E+10 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002); energia = 1,72E+22 seJ/ano.

**ovos** = 2,85E+09 g/ano (FAO, 2008); UEV = 1,07E+11 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002); energia = 3,05E+20 seJ/ano.

**energia total da importação** = 6,71E+22 seJ/ano.

**22. Pesca.** peixe = 2,10E+11 g/ano (IBAMA, 2007); UEV = 2,78E+11 seJ/g (ODUM, 1996); energia = 5,84E+22 seJ/ano.

**23. Plásticos.** plásticos = 1,01E+11 g/ano (UN COMTRADE, 2010); UEV = 5,29E+09 seJ/g (BURANAKARN, 1998); energia = 5,34E+20 seJ/ano.

**24. Químicos.** químicos = 1,40E+13 g/ano (UN COMTRADE, 2010); UEV = 6,38E+09 seJ/g (ODUM, 1996 (fertilizante de N)); energia = 8,93E+22 seJ/ano.

**25. Maquinário e transporte.** maquinário, veículos, bicicletas, navios = 6,52E+11 g/ano (UN COMTRADE, 2010); UEV = 1,10E+10 seJ/g (Odum et al., 1987b); energia = 7,17E+21 seJ/ano.

**26. Bens refinados.** vidro, metais refinados, fios, têxteis = 8,55E+11 g/ano (UN COMTRADE, 2010); UEV = 2,69E+09 seJ/g (BURANAKARN, 1998 (vidro)); energia = 2,30E+21 seJ/ano.

**27. Eletricidade.** eletricidade = 3,60E+06 toe/ano (MME, 2010); eletricidade = (toe/ano) \* 4,19E+10 J/toe (IEA, 2011) = 1,51E+17 J/ano; UEV = 3,36E+05 seJ/J (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); energia = 5,06E+22 seJ/ano.

## **EXPORTAÇÃO**

### **28. Combustíveis**

**petróleo** = 2,24E+07 toe/ano (MME, 2010); energia = petróleo (toe/ano) \* 4,19E+10 (J/toe) (IEA, 2011) = 9,38E+17 J/ano; UEV = 9,06E+04 seJ/J (BROWN; ULGIATI, 2004); energia = 8,50E+22 seJ/ano.

**coprodutos do petróleo** = 1,42E+07 toe/ano (MME, 2010); energia = co-produtos do petróleo (toe/ano) \* 4,19E+10 (J/toe) (IEA, 2011) = 5,95E+17 J/ano; UEV = 1,11E+05 seJ/J (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); energia = 6,60E+22 seJ/ano.

**carvão** = 0,00E+00 toe/ano (MME, 2010).

**gás natural** = 0,00E+00 toe/ano (MME, 2010).

**energia total de combustíveis** = 1,51E+23 seJ/ano.

**29. Etanol.** etanol = 2,71E+06 toe/ano (MME, 2010); energia = etanol (toe/ano) \* 4,19E+10 J/toe (IEA, 2011) = 1,13E+17 J/ano; UEV = 1,45E+05 seJ/J (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); energia = 1,65E+22 seJ/ano.

### 30. Metais

**ligas de ferro** = 3,58E+11 g/ano (MME, 2010); UEV = 4,25E+06 seJ/g (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000 (produtos de ferro e aço)); energia = 1,52E+18 seJ/ano.

**ferro gusa** = 6,30E+12 g/ano (MME, 2010); UEV = 5,43E+09 seJ/g (BARGIGLI; ULGIATI, 2003); energia = 3,42E+22 seJ/ano.

**alumínio** = 9,46E+11 g/ano (MME, 2010); UEV = 7,76E+08 seJ/g (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); energia = 7,34E+20 seJ/ano.

**cobre** = 1,35E+11 g/ano (MME, 2010); UEV = 3,36E+09 seJ/g (BROWN; ULGIATI, 2004); energia = 4,54E+20 seJ/ano.

**zinco** = 4,05E+10 g/ano (MME, 2010); UEV = 1,14E+11 seJ/g (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); energia = 4,62E+21 seJ/ano.

**energia total de metais** = 4,00E+22 seJ/ano.

**31. Minerais.** ferro = 2,82E+14 g/ano (IBRAM, 2010); UEV = 2,22E+09 seJ/g (BURANAKARN, 1998); energia = 6,26E+23 seJ/ano.

### 32. Agricultura

**algodão** = 4,63E+11 g/ano (FAO, 2008); UEV = 2,10E+10 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002); energia = 9,72E+21 seJ/ano.

**amendoim** = 0,00E+00 g/ano (FAO, 2008).

**arroz** = 2,02E+11 g/ano (FAO, 2008); UEV = 1,40E+09 seJ/g (BROWN; ULGIATI, 2004); energia = 2,83E+20 seJ/ano.

**aveia** = 9,60E+08 g/ano (FAO, 2008); UEV = 4,40E+09 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002); energia = 4,22E+18 seJ/ano.

**batata** = 1,33E+10 g/ano (FAO, 2008); UEV = 2,80E+09 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002); energia = 3,72E+19 seJ/ano.

**café** = 1,57E+12 g/ano (FAO, 2008); energia = café (g/ano) \* 4,19 (kcal/g) (TACO, 2006) \* 80% seca \* 4186 (J/kcal) = 2,20E+16 J/ano; UEV = 1,54E+06 seJ/J (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); energia = 3,39E+22 seJ/ano.

**açúcar** = 1,36E+13 g/ano (UNICA, 2011 (safra 2008)); energia = açúcar (g/ano) \* 3,87 kcal/g (TACO, 2006) \* 80% seca \* 4186 (J/kcal) = 1,77E+17 J/ano; UEV = 1,51E+05 seJ/J (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); energia = 2,67E+22 seJ/ano.

**laranja** = 2,12E+12 g/ano (FAO, 2008); UEV = 1,92E+09 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002); energia = 4,07E+21 seJ/ano.

**mandioca** = 1,33E+10 g/ano (FAO, 2008); UEV = 1,62E+08 seJ/g (Rodriguez et al., 2003); energia = 2,15E+18 seJ/ano.

**milho** = 1,10E+13 g/ano (FAO, 2008); UEV = 7,98E+04 seJ/g (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); energia = 8,78E+17 seJ/ano.

**soja** = 2,61E+13 g/ano (FAO, 2008); UEV = 9,87E+09 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002); energia = 2,58E+23 seJ/ano.

**trigo** = 6,44E+11 g/ano (FAO, 2008); energia = trigo (g/ano) \* 3,60 (kcal/g) (TACO, 2006) \* 80% seca \* 4186 (J/kcal) = 7,76E+15 J/ano; UEV = 2,67E+05 seJ/J (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); energia = 2,07E+21 seJ/ano.

**energia total da exportação agrícola** = 3,34E+23 seJ/ano.

### 33. Produtos animais

**carne** = 6,51E+11 g/ano (FAO, 2008); UEV = 4,85E+10 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002); energia = 3,16E+22 seJ/ano

**leite** = 1,74E+12 g/ano (FAO, 2008); UEV = 3,37E+10 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002); energia = 5,86E+22 seJ/ano.

**ovos** = 2,41E+10 g/ano (FAO, 2008); UEV = 1,07E+11 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002); energia = 2,58E+21 seJ/ano.

**energia total da exportação** = 9,28E+22 seJ/ano.

**34. Pesca.** peixe = 5,82E+10 g/ano (IBAMA, 2007); UEV = 2,78E+11 seJ/g (ODUM, 1996); energia = 1,62E+22 seJ/ano.

**35. Plásticos.** plásticos = 3,20E+10 g/ano (UN COMTRADE, 2010); UEV = 5,29E+09 seJ/g (BURANAKARN, 1998); energia = 1,69E+20 seJ/ano.

**36. Químicos.** químicos = 9,45E+11 g/ano (UN COMTRADE, 2010); UEV = 6,38E+09 seJ/g (ODUM, 1996 (fertilizante de N)); energia = 6,03E+21 seJ/ano.

**37. Maquinário e transporte.** máquinas, veículos, navios = 9,59E+11 g/ano (UN COMTRADE, 2010); UEV = 1,10E+10 seJ/g (Odum et al., 1987b); energia = 1,05E+22 seJ/ano.

**38. Bens refinados.** vidro, metais refinados, fios, têxteis = 2,58E+11 g/ano (UN COMTRADE, 2010); UEV = 2,69E+09 seJ/g (BURANAKARN, 1998 (vidro)); energia = 6,93E+20 seJ/ano.

**39. Eletricidade.** eletricidade = 5,90E+04 toe/ano (MME, 2010); eletricidade = (toe/ano) \* 4,19E+10 J/toe (IEA, 2011) = 2,47E+15 J/ano; UEV = 3,36E+05 seJ/J (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); energia = 8,30E+20 seJ/ano.

## SERVIÇOS

PMB PPP = 7,16E+13 US\$/ano (CIA, 2008); PIB PPP = 1,98E+12 US\$/ano (FMI, 2008); energia por dólar mundial = 2,25E+12 seJ/US\$ (SWEENEY et al., 2007 modificado); energia por dólar nacional = 4,12E+12 seJ/US\$ (esse trabalho).

**40. Importação.** valor = 1,73E+11 US\$/ano (BCB, 2011); energia = 3,89E+23 seJ/ano (utilizando energia por dólar mundial).

**41. Exportação.** valor = 1,98E+11 US\$/ano (BCB, 2011); energia = 1,26E+24 seJ/ano (utilizando energia por dólar nacional).

**42. Turismo de fora.** valor = 5,80E+09 US\$/ano (UNWTO, 2010); energia = 1,30E+22 seJ/ano (utilizando energia por dólar mundial).

**43. Turismo para fora.** valor = 1,10E+10 US\$/ano (UNWTO, 2010); energia = 6,99E+22 seJ/ano (utilizando energia por dólar nacional).

## FLUXOS MONETÁRIOS

**Importação.** valor = -1,73E+11 US\$/ano (BCB, 2011); energia = -3,89E+23 seJ/ano (utilizando energia por dólar mundial).

**Exportação.** valor = 1,98E+11 US\$/ano (BCB, 2011); energia = 1,26E+24 seJ/ano (utilizando energia por dólar nacional).

**Serviços.** valor = -1,67E+10 US\$/ano (BCB, 2011); energia = -1,06E+23 seJ/ano (utilizando energia por dólar nacional).

**Rendas.** valor = -4,06E+10 US\$/ano (BCB, 2011); energia = -2,58E+23 seJ/ano (utilizando energia por dólar nacional).

**Transferências unilaterais correntes** = 4,22E+09 US\$/ano (BCB, 2011); energia = 9,50E+21 seJ/ano (utilizando energia por dólar mundial).

**Conta capital.** valor = 1,06E+09 US\$/ano (BCB, 2011); energia = 2,37E+21 seJ/ano (utilizando energia por dólar mundial).

**Conta financeira.** valor = 2,83E+10 US\$/ano (BCB, 2011); energia = 6,36E+22 seJ/ano (utilizando energia por dólar mundial).

**Erros e omissões.** valor = 1,81E+09 US\$/ano (BCB, 2011); energia = 4,07E+21 seJ/ano (utilizando energia por dólar mundial).

## IMPORTAÇÃO (cálculo alternativo)

**Básicos.** massa = 6,59E+13 g/ano (MDIC, 2010); valor = 3,18E+10 US\$/ano (MDIC, 2010); energia = 1,07E+24 seJ/ano.

**combustíveis** = 7,90E+18 J/ano (MME, 2010); energia = 7,12E+23 seJ/ano.

**agrícolas** = 8,61E+12 g/ano (FAO, 2008); energia = 2,48E+22 seJ/ano.

**pecuários** = 1,75E+12 g/ano (FAO, 2008); energia = 6,71E+22 seJ/ano.

**pesca** = 2,10E+11 g/ano (IBAMA, 2007); energia = 5,84E+22 seJ/ano.

**minerais** = 9,40E+13 g/ano (UN COMTRADE, 2010); energia = 2,09E+23 seJ/ano.

**Semimanufaturados.** massa = 8,38E+12 g/ano (MDIC, 2010); valor = 8,89E+09 US\$/ano (MDIC, 2010); UEV = 2,25E+12 seJ/US\$ (SWEENEY et al., 2007 modificado); energia = 2,00E+22 seJ/ano.

**cloreto de potássio** = 3,83E+09 US\$/ano (MDIC, 2010); energia = 8,61E+21 seJ/ano.

**catodos de cobre** = 1,93E+09 US\$/ano (MDIC, 2010); energia = 4,34E+21 seJ/ano.

**borracha sintética e artificial** = 5,55E+08 US\$/ano (MDIC, 2010); energia = 1,25E+21 seJ/ano.

**ferro-ligas** = 3,80E+08 US\$/ano (MDIC, 2010); energia = 8,54E+20 seJ/ano.

**Manufaturados.** massa = 5,02E+13 g/ano (MDIC, 2010); valor = 1,32E+11 US\$/ano (MDIC, 2010); UEV = 2,25E+12 seJ/US\$ (SWEENEY et al., 2007 modificado); energia = 2,98E+23 seJ/ano.

**automóveis de passageiros** = 5,34E+09 US\$/ano (MDIC, 2010); energia = 1,20E+22 seJ/ano.

**óleos combustíveis** = 5,24E+09 US\$/ano (MDIC, 2010); energia = 1,18E+22 seJ/ano.

**partes e peças automóveis e tratores** = 4,98E+09 US\$/ano (MDIC, 2010); energia = 1,12E+22 seJ/ano.

**remédios da medicina humana e veterinária** = 3,92E+09 US\$/ano (MDIC, 2010); energia = 8,80E+21 seJ/ano.

**circuitos integrados** = 3,54E+09 US\$/ano (MDIC, 2010); energia = 7,95E+21 seJ/ano.

**adubos ou fertilizantes NPK** = 2,36E+09 US\$/ano (MDIC, 2010); energia = 5,30E+21 seJ/ano.

aviões = 1,11E+09 US\$/ano (MDIC, 2010); emergia = 2,49E+21 seJ/ano.

### EXPORTAÇÃO (cálculo alternativo)

**Básicos.** massa = 3,73E+14 g/ano (MDIC, 2010); valor = 7,30E+10 US\$/ano (MDIC, 2010); emergia = 2,58E+24 seJ/ano.

**combustíveis** = 1,65E+18 J/ano (MME, 2010); emergia = 1,51E+24 seJ/ano.

**agrícolas** = 5,57E+13 g/ano (FAO, 2008); emergia = 3,34E+23 seJ/ano.

**pecuários** = 2,47E+12 g/ano (FAO, 2008); emergia = 9,28E+22 seJ/ano.

**pesca** = 5,82E+10 g/ano (IBAMA, 2007); emergia = 1,62E+22 seJ/ano.

**minerais** = 2,82E+14 g/ano (UN COMTRADE, 2010); emergia = 6,26E+23 seJ/ano.

**Semimanufaturados.** massa = 3,93E+13 g/ano (MDIC, 2010); valor = 2,71E+10 US\$/ano (MDIC, 2010); UEV = 4,12E+12 seJ/US\$ (esse trabalho); emergia = 1,08E+23 seJ/ano.

**produtos de ferro ou aço** = 4,00E+09 US\$/ano (MDIC, 2010); emergia = 1,59E+22 seJ/ano.

**pasta química de madeira** = 3,90E+09 US\$/ano (MDIC, 2010); emergia = 1,55E+22 seJ/ano.

**açúcar de cana** = 3,65E+09 US\$/ano (MDIC, 2010); emergia = 1,45E+22 seJ/ano.

**ferro fundido bruto** = 3,14E+09 US\$/ano (MDIC, 2010); emergia = 1,25E+22 seJ/ano.

**ferro-ligas** = 2,31E+09 US\$/ano (MDIC, 2010); emergia = 9,16E+21 seJ/ano.

**óleo de soja** = 1,98E+09 US\$/ano (MDIC, 2010); emergia = 7,88E+21 seJ/ano.

**couros e peles depilados** = 1,87E+09 US\$/ano (MDIC, 2010); emergia = 7,42E+21 seJ/ano.

**alumínio** = 1,42E+09 US\$/ano (MDIC, 2010); emergia = 5,63E+21 seJ/ano.

**Manufaturados.** massa = 5,06E+13 g/ano (MDIC, 2010); valor = 9,27E+10 US\$/ano (MDIC, 2010); emergia = 3,68E+23 seJ/ano.

**aviões** = 5,50E+09 US\$/ano (MDIC, 2010); emergia = 2,18E+22 seJ/ano.

**automóveis de passageiros** = 4,92E+09 US\$/ano (MDIC, 2010); emergia = 1,95E+22 seJ/ano.

**partes e peças automóveis e tratores** = 3,51E+09 US\$/ano (MDIC, 2010); emergia = 1,39E+22 seJ/ano.

**óleos combustíveis** = 2,96E+09 US\$/ano (MDIC, 2010); emergia = 1,18E+22 seJ/ano.

**álcool etílico** = 2,39E+09 US\$/ano (MDIC, 2010); emergia = 9,49E+21 seJ/ano.

**açúcar refinado** = 1,83E+09 US\$/ano (MDIC, 2010); emergia = 7,28E+21 seJ/ano.

## 9.1.2. Mochila Ecológica

Legenda:

MIF = material intensity factor = fator de intensidade de materiais.

MIFs fornecidos por Wuppertal Institute (2003), exceto para cana-de-açúcar fornecido por Agostinho e Ortega (2012).

Todos os dados de entrada com suas respectivas conversões para as unidades necessárias e referências podem ser encontrados no item 9.1.1. Avaliação Emergética.

## 2008

### LOCAL

**1. Madeira.** madeira = 1,15E+08 m<sup>3</sup>/ano (FAO, 2008); madeira = (m<sup>3</sup>/ano) \* 500 (kg/m<sup>3</sup>) \* 1000 (g/kg) = 5,77E+13 g/ano; MIF = 0,63 g abiótico/g; 4,37 g biótico/g; 9,20 g água/g; materiais = 3,63E+13 g abiótico/ano; 2,52E+14 g biótico/ano; 5,31E+14 g água/ano.

**2. Perda de solo: matéria orgânica.** perda total = 2,05E+15 g/ano; MIF = 0,76 g abiótico/g; 0,20 g água/g; materiais = 1,56E+15 g abiótico/ano; 4,10E+14 g água/ano.

**3. Etanol.** etanol = 6,35E+13 g/ano (MME, 2010); MIF = 4,85 g abiótico/g; 0,24 g biótico/g; 350,30 g água/g; materiais = 3,08E+14 g abiótico/ano; 1,52E+13 g biótico/ano; 2,22E+16 g água/ano.

**4. Carvão.** carvão = 4,48E+12 g/ano (MME, 2010); MIF = 5,06 g abiótico/g; 4,60 g água/g; materiais = 2,27E+13 g abiótico/ano; 2,06E+13 g água/ano.

**5. Gás natural.** gás natural = 2,19E+13 g/ano (MME, 2010); MIF = 1,22 g abiótico/g; 0,50 g água/g; materiais = 2,67E+13 g abiótico/ano; 1,09E+13 g água/ano.

**6. Petróleo.** petróleo = 9,20E+13 g/ano (MME, 2010); MIF = 1,22 g abiótico/g; 4,30 g água/g; materiais = 1,12E+14 g abiótico/ano; 3,95E+14 g água/ano.

### 7. Metais

**ligas de ferro** = 9,84E+14 g/ano (MME, 2010); MIF = 21,58 g abiótico/g; 504,90 g água/g; materiais = 2,12E+16 g abiótico/ano; 4,97E+17 g água/ano.

**ferro gusa** = 3,49E+13 g/ano (MME, 2010); MIF = 9,32 g abiótico/g; 81,90 g água/g; materiais = 3,25E+14 g abiótico/ano; 2,86E+15 g água/ano.

**alumínio** = 1,66E+12 g/ano (MME, 2010); MIF = 18,98 g abiótico/g; 539,20 g água/g; materiais = 3,15E+13 g abiótico/ano; 8,95E+14 g água/ano.

**chumbo** = 1,42E+11 g/ano (MME, 2010); MIF = 15,60 g abiótico/g; materiais = 2,22E+12 g abiótico/ano.  
**cobre** = 3,84E+11 g/ano (MME, 2010); MIF = 179,07 g abiótico/g; 236,39 g água/g; materiais = 6,88E+13 g abiótico/ano; 9,08E+13 g água/ano.  
**estanho** = 1,08E+10 g/ano (MME, 2010); MIF = 8486,00 g abiótico/g; 10958,00 g água/g; materiais = 9,16E+13 g abiótico/ano; 1,18E+14 g água/ano.  
**níquel** = 3,58E+10 g/ano (MME, 2010); MIF = 141,29 g abiótico/g; 233,30 g água/g; materiais = 5,06E+12 g abiótico/ano; 8,35E+12 g água/ano.  
**zinco** = 2,49E+11 g/ano (MME, 2010); MIF = 21,76 g abiótico/g; 305,10 g água/g; materiais = 5,42E+12 g abiótico/ano; 7,60E+13 g água/ano.  
**ouro** = 6,00E+07 g/ano (MME, 2010); MIF = 540000,00 g abiótico/g; materiais = 3,24E+13 g abiótico/ano.  
**total de materiais** = 2,18E+16 g abiótico/ano; 5,01E+17 g água/ano.

#### 8. Fertilizantes

**fertilizante N** = 1,47E+12 g/ano (IBGE, 2008); MIF = 24,98 g abiótico/g; 124,28 g água/g; materiais = 3,68E+13 g abiótico/ano; 1,83E+14 g água/ano.  
**fertilizante P** = 7,67E+12 g/ano (IBGE, 2008); MIF = 8,56 g abiótico/g; 59,52 g água/g; materiais = 6,57E+13 g abiótico/ano; 4,57E+14 g água/ano.  
**fertilizante K** = 6,71E+11 g/ano (IBGE, 2008); MIF = 18,87 g abiótico/g; 17,67 g água/g; materiais = 1,27E+13 g abiótico/ano; 1,19E+13 g água/ano.  
**total de materiais** = 1,15E+14 g abiótico/ano; 6,51E+14 g água/ano.

**9. Papel.** papel = 9,01E+12 g/ano (IBGE, 2008); MIF = 9,17 g abiótico/J; 303,00 g água/J; materiais = 8,26E+13 g abiótico/ano; 2,73E+15 g água/ano.

**10. Cimento.** cimento = 5,15E+13 g/ano (MDIC, 2010); MIF = 3,22 g abiótico/g; 16,90 g água/g; materiais = 1,66E+14 g abiótico/ano; 8,70E+14 g água/ano.

**11. Celulose.** celulose = 1,27E+13 g/ano (MDIC, 2010); MIF = 1,71 g abiótico/g; 6,70 g água/g; materiais = 2,17E+13 g abiótico/ano; 8,51E+13 g água/ano.

**12. Eletricidade.** eletricidade = 1,37E+18 J/ano (MME, 2010); MIF = 4,78E-04 g abiótico/J; 9,04E-03 g água/J; materiais = 6,56E+14 g abiótico/ano; 1,24E+16 g água/ano.

### IMPORTAÇÃO

#### 13. Combustíveis

**petróleo** = 6,28E+18 J/ano (MME, 2010); massa = petróleo (J/ano) / 4,28E+07 (J/kg) (IEA, 2011) \* 1000 (g/kg) = 1,47E+14 g/ano; MIF = 1,22 g abiótico/g; 4,30 g água/g ; 0,01 g ar/g; materiais = 1,79E+14 g abiótico/ano; 6,31E+14 g água/ano; 1,17E+12 g ar/ano.

**coprodutos do petróleo** = 6,57E+17 J/ano (MME, 2010); massa = co-produtos do petróleo (J/ano) / 4,28E+07 (J/kg) (IEA, 2011) \* 1000 (g/kg) = 1,54E+13 g/ano; MIF = 1,36 g abiótico/g; 9,70 g água/g; 0,02 g ar/g; materiais = 2,09E+13 g abiótico/ano; 1,49E+14 g água/ano; 2,92E+11 g ar/ano.

**gás natural** = 4,18E+17 J/ano (MME, 2010); massa = gás natural (J/ano) / 4,10E+07 (J/kg) (IEA, 2011) \* 1000 (g/kg) = 1,02E+13 g/ano; MIF = 1,22 g abiótico/g; 0,50 g água/g; 0,00 g ar/g; materiais = 1,24E+13 g abiótico/ano; 5,10E+12 g água/ano; 2,04E+10 g ar/ano.

**total de materiais** = 2,12E+14 g abiótico/ano; 7,85E+14 g água/ano; 1,49E+12 g ar/ano.

#### 14. Metais

**ligas de ferro** = 9,09E+10 g/ano (MME, 2010); MIF = 21,58 g abiótico/g; 504,90 g água/g; 5,08 g ar/g; materiais = 1,96E+12 g abiótico/ano; 4,59E+13 g água/ano; 4,61E+11 g ar/ano.

**ferro gusa** = 0,00E+00 g/ano (MME, 2010).

**alumínio** = 2,12E+11 g/ano (MME, 2010); MIF = 18,98 g abiótico/g; 539,20 g água/g; 5,91 g ar/g; materiais = 4,02E+12 g abiótico/ano; 1,14E+14 g água/ano; 1,25E+12 g ar/ano.

**chumbo** = 8,70E+10 g/ano (MME, 2010); MIF = 15,60 g abiótico/g; materiais = 1,36E+12 g abiótico/ano.

**cobre** = 3,15E+11 g/ano (MME, 2010); MIF = 179,07 g abiótico/g; 236,39 g água/g; 1,16 g ar/g; materiais = 5,64E+13 g abiótico/ano; 7,45E+13 g água/ano; 3,65E+11 g ar/ano.

**estanho** = 8,91E+08 g/ano (MME, 2010); MIF = 8486,00 g abiótico/g; 10958,00 g água/g; 149,00 g ar/g; materiais = 7,56E+12 g abiótico/ano; 9,76E+12 g água/ano; 1,33E+11 g ar/ano.

**níquel** = 5,32E+09 g/ano (MME, 2010); MIF = 141,29 g abiótico/g; 233,30 g água/g; 40,83 g ar/g; materiais = 7,52E+11 g abiótico/ano; 1,24E+12 g água/ano; 2,17E+11 g ar/ano.

**zinco** = 4,06E+10 g/ano (MME, 2010); MIF = 21,76 g abiótico/g; 305,10 g água/g; 8,28 g ar/g; materiais = 8,83E+11 g abiótico/ano; 1,24E+13 g água/ano; 3,36E+11 g ar/ano.

**ouro** = 0,00E+00 g/ano (MME, 2010).

**15. Fertilizantes.** fertilizantes = 1,63E+13 g/ano (MDIC, 2010); MIF = 17,47 g abiótico/g; 67,16 g água/g; 5,19 g ar/g; materiais = 2,84E+14 g abiótico/ano; 1,09E+15 g água/ano; 8,45E+13 g ar/ano.

**16. Plásticos.** plásticos = 1,01E+11 g/ano (MDIC, 2010); MIF = 2,09 g abiótico/g; 35,80 g água/g; 1,48 g ar/g; materiais = 2,11E+11 g abiótico/ano; 3,62E+12 g água/ano; 1,50E+11 g ar/ano.

**17. Papel.** papel = 1,10E+12 g/ano (IBGE, 2008); MIF = 9,17 g abiótico/g; 303,00 g água/g; 1,28 g ar/g; materiais = 1,01E+13 g abiótico/ano; 3,33E+14 g água/ano; 1,40E+12 g ar/ano.

**18. Cimento.** cimento = 5,73E+11 g/ano (MDIC, 2010); MIF = 3,22 g abiótico/g; 16,90 g água/g; 0,33 g ar/g; materiais = 1,85E+12 g abiótico/ano; 9,68E+12 g água/ano; 1,90E+11 g ar/ano.

**19. Celulose.** celulose = 5,49E+11 g/ano (MDIC, 2010); MIF = 1,71 g abiótico/g; 6,70 g água/g; 0,27 g ar/g; materiais = 9,39E+11 g abiótico/ano; 3,68E+12 g água/ano; 1,48E+11 g ar/ano.

**20. Eletricidade.** eletricidade = 1,51E+17 J/ano (MME, 2010); MIF = 4,78E-04 g abiótico/J; 9,04E-03 g água/J; 1,22E-04 g ar/J; materiais = 6,56E+14 g abiótico/ano; 1,24E+16 g água/ano; 1,68E+14 g ar/ano.

## EXPORTAÇÃO

### 21. Combustíveis

**petróleo** = 9,38E+17 J/ano (MME, 2010); massa = petróleo (J/ano) / 4,28E+07 (J/kg) (IEA, 2011) \* 1000 (g/kg) = 2,19E+13 g/ano; MIF = 1,22 g abiótico/g; 4,30 g água/g ; 0,01 g ar/g; materiais = 2,67E+13 g abiótico/ano; 9,42E+13 g água/ano; 1,75E+11 g ar/ano.

**coprodutos de petróleo** = 5,95E+17 J/ano (MME, 2010); massa = co-produtos do petróleo (J/ano) \* 4,28E+07 (J/kg) (IEA, 2011) \* 1000 (g/kg) = 1,39E+13 g/ano; MIF = 1,36 g abiótico/g; 9,70 g água/g; 0,02 g ar/g; materiais = 1,89E+13 g abiótico/ano; 1,35E+14 g água/ano; 2,64E+11 g ar/ano.

**total de materiais** = 4,56E+13 g abiótico/ano; 2,29E+14 g água/ano; 4,39E+11 g ar/ano

**22. Etanol.** etanol = 1,13E+17 J/ano (MME, 2010); massa = etanol (J/ano) / 4186 (J/kcal) / 7,09E+03 (kcal/kg) (IEA, 2011) \* 1000 (g/kg) = 3,82E+12 g/ano ; MIF = 4,85 g abiótico/g; 0,24 g biótico/g; 350,30 g água/g; materiais = 1,85E+13 g abiótico; 9,18E+11 g biótico; 1,34E+15 g água.

### 23. Metais

**ligas de ferro** = 3,58E+11 g/ano (MME, 2010); MIF = 21,58 g abiótico/g; 504,90 g água/g; 5,08 g ar/g; materiais = 7,73E+12 g abiótico/ano; 1,81E+14 g água/ano; 1,82E+12 g ar/ano.

**ferro gusa** = 6,30E+12 g/ano (MME, 2010); MIF = 9,32 g abiótico/g; 81,90 g água/g ; 0,77 g ar/g; materiais = 5,87E+13 g abiótico/ano; 5,16E+14 g água/ano; 4,86E+12 g ar/ano.

**alumínio** = 9,46E+11 g/ano (MME, 2010); MIF = 18,98 g abiótico/g; 539,20 g água/g; 5,91 g ar/g; materiais = 1,80E+13 g abiótico/ano; 5,10E+14 g água/ano; 5,59E+12 g ar/ano.

**chumbo** = 4,19E+08 g/ano (MME, 2010); MIF = 15,60 g abiótico/g; materiais = 6,54E+09 g abiótico/ano.

**cobre** = 1,35E+11 g/ano (MME, 2010); MIF = 179,07 g abiótico/g; 236,39 g água/g; 1,16 g ar/g; materiais = 5,64E+13 g abiótico/ano; 7,45E+13 g água/ano; 3,65E+11 g ar/ano.

**estanho** = 6,69E+09 g/ano (MME, 2010); MIF = 8486,00 g abiótico/g; 10958,00 g água/g; 149,00 g ar/g; materiais = 5,68E+13 g abiótico/ano; 7,33E+13 g água/ano; 9,97E+11 g ar/ano.

**níquel** = 4,05E+10 g/ano (MME, 2010); MIF = 21,76 g abiótico/g; 305,10 g água/g; 8,28 g ar/g; materiais = 8,81E+11 g abiótico/ano; 1,24E+13 g água/ano; 3,35E+11 g ar/ano.

**zinco** = 4,05E+10 g/ano (MME, 2010); MIF = 21,76 g abiótico/g; 305,10 g água/g; 8,28 g ar/g; materiais = 8,81E+11 g abiótico/ano; 1,24E+13 g água/ano; 3,35E+11 g ar/ano.

**ouro** = 0,00E+00 g/ano (MME, 2010).

**24. Fertilizantes.** fertilizantes = 1,02E+12 g/ano (MDIC, 2010); MIF = 17,47 g abiótico/g; 67,16 g água/g; 5,19 g ar/g; materiais = 1,79E+13 g abiótico/ano; 6,86E+13 g água/ano; 5,31E+12 g ar/ano.

**25. Plásticos.** plásticos = 3,20E+10 g/ano (UN COMTRADE, 2010); MIF = 2,09 g abiótico/g; 35,80 g água/g; 1,48 g ar/g; materiais = 6,69E+10 g abiótico/ano; 1,15E+12 g água/ano; 4,74E+10 g ar/ano.

**26. Papel.** papel = 2,01E+12 g/ano (IBGE, 2008); MIF = 9,17 g abiótico/g; 303,00 g água/g; 1,28 g ar/g; materiais = 1,84E+13 g abiótico/ano; 6,09E+14 g água/ano; 2,56E+12 g ar/ano.

**27. Cimento.** cimento = 2,07E+11 g/ano (IBGE, 2008); MIF = 3,22 g abiótico/g; 16,90 g água/g; materiais = 6,67E+11 g abiótico/ano; 3,50E+12 g água/ano.

**28. Celulose.** celulose = 7,83E+12 g/ano (MDIC, 2010); MIF = 1,71 g abiótico/g; 6,70 g água/g; materiais = 1,34E+13 g abiótico/ano; 5,25E+13 g água/ano.

**29. Eletricidade.** eletricidade = 2,47E+15 J/ano (MME, 2010); MIF = 4,78E-04 g abiótico/J; 9,04E-03 g água/J; materiais = 1,18E+12 g abiótico/ano; 2,23E+13 g água/ano.

## 9.1.3. Análise de Energia Incorporada

Legenda:

EIF = emergy intensity factor

EIFs fornecidos por Biondi, Panaro e Pellizzi (1989), exceto para cana-de-açúcar fornecidos por Agostinho e Ortega (2012), para peixes fornecidos por Russo, Ascione e Franzese (2004) e para eletricidade fornecidos por Odum, Brown e Brandt-Williams (2000).

Todos os dados de entrada com suas respectivas conversões para as unidades necessárias e referências podem ser encontrados no item 9.1.1. Avaliação Emergética.

2008

LOCAL

## 1. Agrícola

**algodão** = 2,93E+09 kg/ano (IBGE, 2008); EIF = 5,82 MJ/kg; demanda energética = 1,71E+10 MJ/ano.  
**amendoim** = 2,93E+08 kg/ano (IBGE, 2008); EIF = 5,82 MJ/kg; demanda energética = 1,71E+09 MJ/ano.  
**arroz** = 1,26E+10 kg/ano (IBGE, 2008); EIF = 5,82 MJ/kg; demanda energética = 7,33E+10 MJ/ano.  
**aveia** = 2,39E+08 kg/ano (IBGE, 2008); EIF = 5,82 MJ/kg; demanda energética = 1,39E+09 MJ/ano.  
**batata** = 3,43E+08 kg/ano (IBGE, 2008); EIF = 2,66 MJ/kg; demanda energética = 9,13E+09 MJ/ano.  
**café** = 2,43E+09 kg/ano (IBGE, 2008); EIF = 2,66 MJ/kg; demanda energética = 6,47E+09 MJ/ano.  
**açúcar** = 3,11E+10 kg/ano (UNICA, 2011); EIF = 2,66 MJ/kg; demanda energética = 8,27E+10 MJ/ano.  
**laranja** = 1,83E+10 kg/ano (IBGE, 2008); EIF = 2,66 MJ/kg; demanda energética = 4,87E+10 MJ/ano.  
**mandioca** = 2,60E+10 kg/ano (IBGE, 2008); EIF = 2,66 MJ/kg; demanda energética = 6,92E+10 MJ/ano.  
**milho** = 5,12E+10 kg/ano (IBGE, 2008); EIF = 5,82 MJ/kg; demanda energética = 2,98E+11 MJ/ano.  
**soja** = 5,70E+10 kg/ano (IBGE, 2008); EIF = 5,82 MJ/kg; demanda energética = 3,32E+11 MJ/ano.  
**trigo** = 4,96E+09 kg/ano (IBGE, 2008); EIF = 5,82 MJ/kg; demanda energética = 2,89E+10 MJ/ano.  
**demanda energética total** = 9,68E+11 MJ/ano.

## 2. Pecuária

**carne** = 1,85E+10 kg/ano (IBGE, 2008); EIF = 41,01 MJ/kg; demanda energética = 7,59E+11 MJ/ano.  
**leite** = 1,93E+10 kg/ano (IBGE, 2008); EIF = 9,61 MJ/kg; demanda energética = 1,86E+11 MJ/ano.  
**demanda energética total** = 9,44E+11 MJ/ano.

3. Pesca. peixe = 1,07E+09 kg/ano (IBAMA, 2007); EIF = 38,67 MJ/kg; demanda energética = 4,14E+10 MJ/ano.

4. Madeira. madeira = 5,77E+10 kg/ano (IBGE, 2008); EIF = 5,00 MJ/kg; demanda energética = 2,89E+11 MJ/ano.

5. Consumo de água. consumo de água = 5,93E+13 kg/ano; EIF = 0,01 MJ/kg; demanda energética = 3,26E+11 MJ/ano.

6. Eletricidade. eletricidade = 1,33E+18 J/ano (MME, 2010); EIF = 2,50E-06 MJ/J; demanda energética = 3,33E+12 MJ/ano.

7. Etanol. etanol = 6,35E+10 kg/ano (MME, 2010); EIF = 2,60 MJ/kg; demanda energética = 1,65E+11 MJ/ano.

8. Carvão. carvão = 3,66E+09 kg/ano (MME, 2010); EIF = 48,15 MJ/kg; demanda energética = 1,76E+11 MJ/ano.

9. Gás natural. gás natural = 1,67E+10 kg/ano (MME, 2010); EIF = 48,15 MJ/kg; demanda energética = 8,05E+11 MJ/ano.

10. Petróleo. petróleo = 8,50E+10 kg/ano (MME, 2010); EIF = 62,80 MJ/kg; demanda energética = 5,34E+12 MJ/ano.

## 11. Fertilizantes

**fertilizante N** = 1,47E+09 kg/ano (IBGE, 2008); EIF = 73,31 MJ/kg; demanda energética = 1,08E+11 MJ/ano.

**fertilizante P** = 7,67E+09 kg/ano (IBGE, 2008); EIF = 13,40 MJ/kg; demanda energética = 1,03E+11 MJ/ano.

**fertilizante K** = 6,71E+08 kg/ano (IBGE, 2008); EIF = 9,20 MJ/kg; demanda energética = 6,17E+09 MJ/ano.

**demanda energética total** = 2,17E+11 MJ/ano.

## 12. Metais

**ligas de ferro** = 9,84E+11 kg/ano (MME, 2010); EIF = 28,76 MJ/kg; demanda energética = 2,83E+13 MJ/ano.

**ferro gusa** = 3,49E+10 kg/ano (MME, 2010); EIF = 28,76 MJ/kg; demanda energética = 1,00E+12 MJ/ano.

**alumínio** = 1,66E+09 kg/ano (MME, 2010); EIF = 284,55 MJ/kg; demanda energética = 4,72E+11 MJ/ano.

**cobre** = 3,84E+08 kg/ano (MME, 2010); EIF = 92,52 MJ/kg; demanda energética = 3,55E+10 MJ/ano.

**demanda energética total** = 2,98E+13 MJ/ano.

## IMPORTAÇÃO

### 13. Combustíveis

**petróleo** = 1,36E+11 kg/ano (MME, 2010); EIF = 62,80 MJ/kg; demanda energética = 8,52E+12 MJ/ano.

**coprodutos do petróleo** = 1,42E+10 kg/ano (MME, 2010); EIF = 62,80 MJ/kg; demanda energética = 8,92E+11 MJ/ano.

**carvão** = 1,91E+10 kg/ano (MME, 2010); EIF = 48,15 MJ/kg; demanda energética = 9,20E+11 MJ/ano.

**gás natural** = 7,80E+09 kg/ano (MME, 2010); EIF = 48,15 MJ/kg; demanda energética = 3,76E+11 MJ/ano.

**demanda energética total** = 1,07E+13 MJ/ano.

### 14. Metais

**ligas de ferro** = 9,09E+07 kg/ano (MME, 2010); EIF = 28,76 MJ/kg; demanda energética = 2,61E+09 MJ/ano.

**ferro gusa** = 0,00E+00 kg/ano (MME, 2010).

**alumínio** = 2,12E+08 kg/ano (MME, 2010); EIF = 284,55 MJ/kg; demanda energética = 6,03E+10 MJ/ano.

**cobre** = 3,15E+08 kg/ano (MME, 2010); EIF = 92,52 MJ/kg; demanda energética = 2,91E+10 MJ/ano.

**demanda energética total** = 9,21E+10 MJ/ano.

15. Fertilizantes. fertilizantes = 1,63E+10 kg/ano (MDIC, 2010); EIF = 31,97 MJ/kg; demanda energética = 5,20E+11 MJ/ano.

### 16. Agrícola

**algodão** = 9,94E+07 kg/ano (FAO, 2008); EIF = 5,82 MJ/kg; demanda energética = 5,79E+08 MJ/ano.

**amendoim** = 0,00E+00 kg/ano (FAO, 2008).

**arroz** = 7,21E+08 kg/ano (FAO, 2008); EIF = 5,82 MJ/kg; demanda energética = 4,20E+09 MJ/ano.

**aveia** = 5,20E+05 kg/ano (FAO, 2008); EIF = 5,82 MJ/kg; demanda energética = 3,03E+06 MJ/ano.

**batata** = 7,00E+06 kg/ano (FAO, 2008); EIF = 2,66 MJ/kg; demanda energética = 1,86E+07 MJ/ano.

- café** = 2,28E+05 kg/ano (FAO, 2008); EIF = 2,66 MJ/kg; demanda energética = 6,07E+05 MJ/ano.  
**açúcar** = 0,00E+00 kg/ano (FAO, 2008).  
**laranja** = 1,94E+06 kg/ano (FAO, 2008); EIF = 2,66 MJ/kg; demanda energética = 5,16E+06 MJ/ano.  
**mandioca** = 1,88E+07 kg/ano (FAO, 2008); EIF = 2,66 MJ/kg; demanda energética = 5,00E+07 MJ/ano.  
**milho** = 1,1E+09 kg/ano (FAO, 2008); EIF = 5,82 MJ/kg; demanda energética = 6,40E+09 MJ/ano.  
**soja** = 1,42E+08 kg/ano (FAO, 2008); EIF = 5,82 MJ/kg; demanda energética = 8,27E+08 MJ/ano.  
**trigo** = 6,64E+09 kg/ano (FAO, 2008); EIF = 5,82 MJ/kg; demanda energética = 3,87E+10 MJ/ano.  
**demanda energética total** = 5,07E+10 MJ/ano.
- 17. Pecuária**  
**carne** = 1,58E+07 kg/ano (FAO, 2008); EIF = 41,01 MJ/kg; demanda energética = 6,48E+08 MJ/ano.  
**leite** = 5,10E+08 kg/ano (FAO, 2008); EIF = 9,61 MJ/kg; demanda energética = 4,90E+09 MJ/ano.  
**demanda energética total** = 5,55E+09 MJ/ano.
- 18. Pesca.** peixe = 2,10E+08 kg/ano (IBAMA, 2007); EIF = 38,67 MJ/kg; demanda energética = 8,12E+09 MJ/ano.
- 19. Plásticos.** plásticos = 1,01E+08 kg/ano (UN COMTRADE, 2010); EIF = 9,40E+01 MJ/kg; demanda energética = 9,50E+09 MJ/ano.
- 20. Maquinário e transporte.** maquinário = 6,52E+11 g/ano (UN COMTRADE, 2010).  
**ferro e aço** = 5,35E+08 kg/ano (82% (Jarach, 1985)); EIF = 28,76 MJ/kg; demanda energética = 1,54E+10 MJ/ano.  
**alumínio** = 9,13E+07 kg/ano (14% (Jarach, 1985)); EIF = 284,55 MJ/kg; demanda energética = 2,60E+10 MJ/ano.  
**plásticos** = 6,52E+06 kg/ano (1% (Jarach, 1985)); EIF = 94,02 MJ/kg; demanda energética = 6,13E+08 MJ/ano.  
**cobre** = 1,96E+07 kg/ano (3% (Jarach, 1985)); EIF = 92,52 MJ/kg; demanda energética = 1,81E+09 MJ/ano.  
**demanda energética total** = 4,38E+10 MJ/ano.
- 21. Eletricidade.** eletricidade = 1,51E+17 J/ano (MME, 2010); EIF = 2,50E-06 MJ/J (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); demanda energética = 3,70E+11 MJ/ano.
- 22. Combustíveis**  
**petróleo** = 2,03E+10 kg/ano (MME, 2010); EIF = 62,80 MJ/kg; demanda energética = 1,27E+12 MJ/ano.  
**co-produtos de petróleo** = 1,28E+10 kg/ano (MME, 2010); EIF = 62,80 MJ/kg; demanda energética = 8,06E+11 MJ/ano.  
**carvão** = 0,00E+00 kg/ano (MME, 2010).  
**gás natural** = 0,00E+00 kg/ano (MME, 2010).  
**demanda energética total** = 2,09E+12 MJ/ano.
- 23. Etanol.** etanol = 3,82E+09 kg/ano (MME, 2010); EIF = 2,60 MJ/kg; demanda energética = 9,94E+09 MJ/ano.
- 24. Metais**  
**ligas de ferro** = 3,58E+08 kg/ano (MME, 2010); EIF = 28,76 MJ/kg; demanda energética = 1,03E+10 MJ/ano.  
**ferro gusa** = 6,30E+09 kg/ano (MME, 2010); EIF = 28,76 MJ/kg; demanda energética = 1,81E+11 MJ/ano.  
**alumínio** = 9,46E+08 kg/ano (MME, 2010); EIF = 284,55 MJ/kg; demanda energética = 2,69E+11 MJ/ano.  
**cobre** = 1,35E+08 kg/ano (MME, 2010); EIF = 92,52 MJ/kg; demanda energética = 1,25E+10 MJ/ano.  
**demanda energética total** = 4,73E+11 MJ/ano.
- 25. Fertilizantes.** fertilizantes = 1,02E+09 kg/ano (MDIC, 2010); EIF = 31,97 MJ/kg; demanda energética = 3,27E+10 seJ/ano.
- 26. Agrícola**  
**algodão** = 4,63E+08 kg/ano (FAO, 2008); EIF = 5,82 MJ/kg; demanda energética = 2,70E+09 MJ/ano.  
**amendoim** = 0,00E+00 kg/ano (FAO, 2008).  
**arroz** = 2,02E+08 kg/ano (FAO, 2008); EIF = 5,82 MJ/kg; demanda energética = 1,18E+09 MJ/ano.  
**aveia** = 9,60E+05 kg/ano (FAO, 2008); EIF = 5,82 MJ/kg; demanda energética = 5,59E+06 MJ/ano.  
**batata** = 1,33E+07 kg/ano (FAO, 2008); EIF = 2,66 MJ/kg; demanda energética = 3,54E+07 MJ/ano.  
**café** = 1,57E+09 kg/ano (FAO, 2008); EIF = 2,66 MJ/kg; demanda energética = 4,18E+09 MJ/ano.  
**açúcar** = 6,92E+09 kg/ano (FAO, 2008); EIF = 2,66 MJ/kg; demanda energética = 1,84E+10 MJ/ano.  
**laranja** = 2,12E+09 kg/ano (FAO, 2008); EIF = 2,66 MJ/kg; demanda energética = 5,64E+09 MJ/ano.  
**mandioca** = 1,33E+07 kg/ano (FAO, 2008); EIF = 2,66 MJ/kg; demanda energética = 3,54E+07 MJ/ano.  
**milho** = 1,10E+10 kg/ano (FAO, 2008); EIF = 5,82 MJ/kg; demanda energética = 6,40E+10 MJ/ano.  
**soja** = 2,61E+10 kg/ano (FAO, 2008); EIF = 5,82 MJ/kg; demanda energética = 1,52E+11 MJ/ano.  
**demanda energética total** = 2,49E+11 MJ/ano.
- 27. Pecuária**  
**carne** = 6,51E+08 kg/ano (FAO, 2008); EIF = 41,01 MJ/kg; demanda energética = 2,67E+10 MJ/ano  
**leite** = 1,74E+09 kg/ano (FAO, 2008); EIF = 9,61 MJ/kg; demanda energética = 1,67E+10 MJ/ano.  
**demanda energética total** = 4,34E+10 MJ/ano.
- 28. Pesca.** peixe = 5,82E+07 kg/ano (IBAMA, 2007); EIF = 38,67 MJ/kg; demanda energética = 2,25E+09 MJ/ano.
- 29. Plásticos.** plásticos = 3,20E+07 kg/ano (UN COMTRADE, 2010); EIF = 94,02 MJ/kg; demanda energética = 3,01E+09 MJ/ano.
- 30. Maquinário e transporte.** maquinário = 9,59E+11 g/ano (UN COMTRADE, 2010).

**aço e ferro** = 7,86E+08 kg/ano (82% (Jarach, 1985)); EIF = 28,76 MJ/kg; demanda energética = 2,26E+10 MJ/ano.

**alumínio** = 1,34E+08 kg/ano (14% (Jarach, 1985)); EIF = 284,55 MJ/kg; demanda energética = 3,82E+10 MJ/ano

**plásticos** = 9,59E+06 kg/ano (1% (Jarach, 1985)); EIF = 94,02 MJ/kg; demanda energética = 9,02E+08 MJ/ano.

**cobre** = 2,88E+07 kg/ano (3% (Jarach, 1985)); EIF = 92,52 MJ/kg; demanda energética = 2,66E+09 MJ/ano.

**demanda energética total** = 6,44E+10 MJ/ano.

**31. Eletricidade.** eletricidade = 2,47E+15 J/ano (MME, 2010); EIF = 2,50E-06 MJ/J (ODUM; BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); demanda energética = 6,17E+09 MJ/ano.

### 9.1.4. Inventário de Emissões

Fatores de emissões gasosas da combustão de petróleo bruto em aquecedores industriais segundo o EEA (2009): CO<sub>2</sub> = 73,30 g/MJ; CO = 5,00E-03 g/MJ; NO<sub>x</sub> = 0,22 g/MJ; SO<sub>2</sub> = 0,15 g/MJ; PM<sub>10</sub> = 0,02 g/MJ; N<sub>2</sub>O = 6,00E-04 g/MJ; CH<sub>4</sub> = 3,00E-03 g/MJ.

Fatores de conversão de emissões gasosas equivalentes de acordo com o método CML 2 *baseline* 2000 (GUINEÉ et al., 2002): CO<sub>2</sub> equivalente: CO<sub>2</sub> = 1; N<sub>2</sub>O = 298; CH<sub>4</sub> = 25; 1,4-diclorobenzeno equivalente: NO<sub>x</sub> = 1,20; SO<sub>2</sub> = 0,10; Etileno equivalente: CO = 0,27; NO<sub>x</sub> = 0,03; SO<sub>2</sub> = 0,05; SO<sub>2</sub> equivalente: NO<sub>x</sub> = 0,50; SO<sub>2</sub> = 1,20; PO<sub>4</sub> equivalente: NO<sub>x</sub> = 0,13; N<sub>2</sub>O = 0,27.

Os valores detalhados por categorias assim como as referências de cada produto analisado podem ser encontrados no item 6.1.1. Avaliação Emergética.

**1. Agrícola.** quantidade total = 2,10E+14 g/ano; demanda energética = 9,68E+11 MJ/ano; CO<sub>2</sub> = 7,10E+13 g CO<sub>2</sub>/ano; CO = 4,84E+09 g CO/ano; NO<sub>x</sub> = 2,08E+11 g NO<sub>x</sub>/ano; SO<sub>2</sub> = 1,45E+11 g SO<sub>2</sub>/ano; PM<sub>10</sub> = 1,74E+10 g PM<sub>10</sub>/ano; N<sub>2</sub>O = 5,81E+08 g N<sub>2</sub>O/ano; CH<sub>4</sub> = 2,91E+09 g CH<sub>4</sub>/ano.

**2. Pecuária.** quantidade total = 3,78E+13 g/ano; demanda energética = 9,44E+11 MJ/ano; CO<sub>2</sub> = 6,92E+13 g CO<sub>2</sub>/ano; CO = 4,72E+09 g CO/ano; NO<sub>x</sub> = 2,03E+11 g NO<sub>x</sub>/ano; SO<sub>2</sub> = 1,42E+11 g SO<sub>2</sub>/ano; PM<sub>10</sub> = 1,70E+10 g PM<sub>10</sub>/ano; N<sub>2</sub>O = 5,67E+08 g N<sub>2</sub>O/ano; CH<sub>4</sub> = 2,83E+09 g CH<sub>4</sub>/ano.

**3. Pesca.** quantidade total = 1,07E+12 g/ano; demanda energética = 4,14E+10 MJ/ano; CO<sub>2</sub> = 3,03E+12 g CO<sub>2</sub>/ano; CO = 2,07E+08 g CO/ano; NO<sub>x</sub> = 8,90E+09 g NO<sub>x</sub>/ano; SO<sub>2</sub> = 6,21E+09 g SO<sub>2</sub>/ano; PM<sub>10</sub> = 7,45E+08 g PM<sub>10</sub>/ano; N<sub>2</sub>O = 2,48E+07 g N<sub>2</sub>O/ano; CH<sub>4</sub> = 1,24E+08 g CH<sub>4</sub>/ano.

**4. Madeira.** quantidade total = 5,77E+13 g/ano; demanda energética = 2,89E+11 MJ/ano; CO<sub>2</sub> = 2,11E+13 g CO<sub>2</sub>/ano; CO = 1,44E+09 g CO/ano; NO<sub>x</sub> = 6,20E+10 g NO<sub>x</sub>/ano; SO<sub>2</sub> = 4,33E+10 g SO<sub>2</sub>/ano; PM<sub>10</sub> = 5,19E+09 g PM<sub>10</sub>/ano; N<sub>2</sub>O = 1,73E+08 g N<sub>2</sub>O/ano; CH<sub>4</sub> = 8,66E+08 g CH<sub>4</sub>/ano.

**5. Consumo de água.** quantidade total = 5,93E+16 g/ano; demanda energética = 3,26E+11 MJ/ano; CO<sub>2</sub> = 2,39E+13 g CO<sub>2</sub>/ano; CO = 1,63E+09 g CO/ano; NO<sub>x</sub> = 7,01E+10 g NO<sub>x</sub>/ano; SO<sub>2</sub> = 4,89E+10 g SO<sub>2</sub>/ano; PM<sub>10</sub> = 5,87E+09 g PM<sub>10</sub>/ano; N<sub>2</sub>O = 1,96E+08 g N<sub>2</sub>O/ano; CH<sub>4</sub> = 9,79E+08 g CH<sub>4</sub>/ano.

**6. Eletricidade.** quantidade total = 1,33E+18 J/ano; demanda energética = 3,33E+12 MJ/ano; CO<sub>2</sub> = 2,44E+14 g CO<sub>2</sub>/ano; CO = 1,67E+10 g CO/ano; NO<sub>x</sub> = 7,16E+11 g NO<sub>x</sub>/ano; SO<sub>2</sub> = 5,00E+11 g SO<sub>2</sub>/ano; PM<sub>10</sub> = 5,99E+10 g PM<sub>10</sub>/ano; N<sub>2</sub>O = 2,00E+09 g N<sub>2</sub>O/ano; CH<sub>4</sub> = 9,99E+09 g CH<sub>4</sub>/ano.

**7. Etanol.** quantidade total = 6,35E+13 g/ano; demanda energética = 1,65E+11 MJ/ano; CO<sub>2</sub> = 1,21E+13 g CO<sub>2</sub>/ano; CO = 8,25E+08 g CO/ano; NO<sub>x</sub> = 3,55E+10 g NO<sub>x</sub>/ano; SO<sub>2</sub> = 2,48E+10 g SO<sub>2</sub>/ano; PM<sub>10</sub> = 2,97E+09 g PM<sub>10</sub>/ano; N<sub>2</sub>O = 9,90E+07 g N<sub>2</sub>O/ano; CH<sub>4</sub> = 9,45E+08 g CH<sub>4</sub>/ano.

**8. Carvão.** quantidade total = 3,66E+12 g/ano; demanda energética = 1,76E+11 MJ/ano; CO<sub>2</sub> = 1,29E+13 g CO<sub>2</sub>/ano; CO = 8,82E+08 g CO/ano; NO<sub>x</sub> = 3,79E+10 g NO<sub>x</sub>/ano; SO<sub>2</sub> = 2,64E+10 g SO<sub>2</sub>/ano; PM<sub>10</sub> = 3,17E+09 g PM<sub>10</sub>/ano; N<sub>2</sub>O = 1,06E+08 g N<sub>2</sub>O/ano; CH<sub>4</sub> = 5,29E+08 g CH<sub>4</sub>/ano.

**9. Gás natural.** quantidade total = 1,67E+13 g/ano; demanda energética = 8,05E+11 MJ/ano; CO<sub>2</sub> = 5,90E+13 g CO<sub>2</sub>/ano; CO = 4,02E+09 g CO/ano; NO<sub>x</sub> = 1,73E+11 g NO<sub>x</sub>/ano; SO<sub>2</sub> = 1,21E+11 g SO<sub>2</sub>/ano; PM<sub>10</sub> = 1,45E+10 g PM<sub>10</sub>/ano; N<sub>2</sub>O = 4,83E+08 g N<sub>2</sub>O/ano; CH<sub>4</sub> = 2,41E+09 g CH<sub>4</sub>/ano.

**10. Petróleo.** quantidade total = 8,50E+13 g/ano; demanda energética = 5,34E+12 MJ/ano; CO<sub>2</sub> = 3,91E+14 g CO<sub>2</sub>/ano; CO = 2,67E+10 g CO/ano; NO<sub>x</sub> = 1,15E+12 g NO<sub>x</sub>/ano; SO<sub>2</sub> = 8,01E+11 g SO<sub>2</sub>/ano; PM<sub>10</sub> = 9,61E+10 g PM<sub>10</sub>/ano; N<sub>2</sub>O = 3,20E+09 g N<sub>2</sub>O/ano; CH<sub>4</sub> = 1,60E+10 g CH<sub>4</sub>/ano.

**11. Fertilizantes.** quantidade total = 9,82E+09 g/ano; demanda energética = 2,17E+11 MJ/ano; CO<sub>2</sub> = 1,59E+13 g CO<sub>2</sub>/ano; CO = 1,08E+09 g CO/ano; NO<sub>x</sub> = 4,66E+10 g NO<sub>x</sub>/ano; SO<sub>2</sub> = 3,25E+10 g SO<sub>2</sub>/ano; PM<sub>10</sub> = 3,90E+09 g PM<sub>10</sub>/ano; N<sub>2</sub>O = 1,30E+08 g N<sub>2</sub>O/ano; CH<sub>4</sub> = 6,51E+08 g CH<sub>4</sub>/ano.

**12. Metais.** quantidade total = 1,02E+15 g/ano; demanda energética = 2,98E+13 MJ/ano; CO<sub>2</sub> = 2,18E+15 g CO<sub>2</sub>/ano; CO = 1,49E+11 g CO/ano; NO<sub>x</sub> = 6,41E+12 g NO<sub>x</sub>/ano; SO<sub>2</sub> = 4,47E+12 g SO<sub>2</sub>/ano; PM<sub>10</sub> = 5,37E+11 g PM<sub>10</sub>/ano; N<sub>2</sub>O = 1,79E+10 g N<sub>2</sub>O/ano; CH<sub>4</sub> = 8,94E+10 g CH<sub>4</sub>/ano.

## IMPORTAÇÃO

**13. Combustíveis.** quantidade total = 1,77E+14 g/ano; demanda energética = 1,07E+13 MJ/ano; CO<sub>2</sub> = 7,85E+14 g CO<sub>2</sub>/ano; CO = 5,35E+10 g CO/ano; NO<sub>x</sub> = 2,30E+12 g NO<sub>x</sub>/ano; SO<sub>2</sub> = 1,61E+12 g SO<sub>2</sub>/ano; PM<sub>10</sub> = 1,93E+11 g PM<sub>10</sub>/ano; N<sub>2</sub>O = 6,42E+09 g N<sub>2</sub>O/ano; CH<sub>4</sub> = 3,21E+10 g CH<sub>4</sub>/ano.

**14. Metais.** quantidade total = 6,18E+11 g/ano; demanda energética = 9,21E+10 MJ/ano; CO<sub>2</sub> = 6,75E+12 g CO<sub>2</sub>/ano; CO = 4,60E+08 g CO/ano; NO<sub>x</sub> = 1,98E+10 g NO<sub>x</sub>/ano; SO<sub>2</sub> = 1,38E+10 g SO<sub>2</sub>/ano; PM<sub>10</sub> = 1,66E+09 g PM<sub>10</sub>/ano; N<sub>2</sub>O = 5,52E+07 g N<sub>2</sub>O/ano; CH<sub>4</sub> = 2,76E+08 g CH<sub>4</sub>/ano.

**15. Fertilizantes.** quantidade total = 1,63E+13 g/ano; demanda energética = 5,20E+11 MJ/ano; CO<sub>2</sub> = 4,08E+13 g CO<sub>2</sub>/ano; CO = 7,80E+09 g CO/ano; NO<sub>x</sub> = 2,65E+10 g NO<sub>x</sub>/ano; SO<sub>2</sub> = 7,80E+10 g SO<sub>2</sub>/ano; PM<sub>10</sub> = 9,36E+09 g PM<sub>10</sub>/ano; N<sub>2</sub>O = 3,12E+08 g N<sub>2</sub>O/ano; CH<sub>4</sub> = 1,56E+09 g CH<sub>4</sub>/ano.

**16. Agrícola.** quantidade total = 8,73E+12 g/ano; demanda energética = 5,07E+10 MJ/ano; CO<sub>2</sub> = 3,72E+12 g CO<sub>2</sub>/ano; CO = 2,54E+08 g CO/ano; NO<sub>x</sub> = 1,09E+10 g NO<sub>x</sub>/ano; SO<sub>2</sub> = 7,61E+09 g SO<sub>2</sub>/ano; PM<sub>10</sub> = 9,13E+08 g PM<sub>10</sub>/ano; N<sub>2</sub>O = 3,04E+07 g N<sub>2</sub>O/ano; CH<sub>4</sub> = 1,52E+08 g CH<sub>4</sub>/ano.

**17. Pecuária.** quantidade total = 5,26E+11 g/ano; demanda energética = 5,55E+09 MJ/ano; CO<sub>2</sub> = 4,07E+11 g CO<sub>2</sub>/ano; CO = 2,78E+07 g CO/ano; NO<sub>x</sub> = 1,19E+09 g NO<sub>x</sub>/ano; SO<sub>2</sub> = 8,33E+08 g SO<sub>2</sub>/ano; PM<sub>10</sub> = 9,99E+07 g PM<sub>10</sub>/ano; N<sub>2</sub>O = 3,33E+06 g N<sub>2</sub>O/ano; CH<sub>4</sub> = 1,67E+07 g CH<sub>4</sub>/ano.

**18. Pesca.** quantidade total = 2,10E+11 g/ano; demanda energética = 8,12E+09 MJ/ano; CO<sub>2</sub> = 5,95E+11 g CO<sub>2</sub>/ano; CO = 4,06E+07 g CO/ano; NO<sub>x</sub> = 1,75E+09 g NO<sub>x</sub>/ano; SO<sub>2</sub> = 1,22E+09 g SO<sub>2</sub>/ano; PM<sub>10</sub> = 1,46E+08 g PM<sub>10</sub>/ano; N<sub>2</sub>O = 4,87E+06 g N<sub>2</sub>O/ano; CH<sub>4</sub> = 2,44E+07 g CH<sub>4</sub>/ano.

**19. Plásticos.** quantidade total = 1,01E+11 g/ano; demanda energética = 9,50E+09 MJ/ano; CO<sub>2</sub> = 6,96E+11 g CO<sub>2</sub>/ano; CO = 4,75E+07 g CO/ano; NO<sub>x</sub> = 2,04E+09 g NO<sub>x</sub>/ano; SO<sub>2</sub> = 1,42E+09 g SO<sub>2</sub>/ano; PM<sub>10</sub> = 1,71E+08 g PM<sub>10</sub>/ano; N<sub>2</sub>O = 5,70E+06 g N<sub>2</sub>O/ano; CH<sub>4</sub> = 2,85E+07 g CH<sub>4</sub>/ano.

**20. Maquinário e transporte.** quantidade total = 6,52E+11 g/ano; demanda energética = 4,38E+10 MJ/ano; CO<sub>2</sub> = 3,21E+12 g CO<sub>2</sub>/ano; CO = 2,19E+08 g CO/ano; NO<sub>x</sub> = 9,41E+09 g NO<sub>x</sub>/ano; SO<sub>2</sub> = 6,57E+09 g SO<sub>2</sub>/ano; PM<sub>10</sub> = 7,88E+08 g PM<sub>10</sub>/ano; N<sub>2</sub>O = 2,63E+07 g N<sub>2</sub>O/ano; CH<sub>4</sub> = 1,31E+08 g CH<sub>4</sub>/ano.

**21. Eletricidade.** quantidade total = 1,51E+17 J/ano; demanda energética = 3,77E+11 MJ/ano; CO<sub>2</sub> = 2,76E+13 g CO<sub>2</sub>/ano; CO = 1,88E+09 g CO/ano; NO<sub>x</sub> = 8,10E+10 g NO<sub>x</sub>/ano; SO<sub>2</sub> = 5,65E+10 g SO<sub>2</sub>/ano; PM<sub>10</sub> = 6,78E+09 g PM<sub>10</sub>/ano; N<sub>2</sub>O = 2,26E+08 g N<sub>2</sub>O/ano; CH<sub>4</sub> = 1,13E+09 g CH<sub>4</sub>/ano.

## EXPORTAÇÃO

**22. Combustíveis.** quantidade total = 3,31E+13 g/ano; demanda energética = 2,08E+12 MJ/ano; CO<sub>2</sub> = 1,53E+14 g CO<sub>2</sub>/ano; CO = 1,04E+10 g CO/ano; NO<sub>x</sub> = 4,49E+11 g NO<sub>x</sub>/ano; SO<sub>2</sub> = 3,13E+11 g SO<sub>2</sub>/ano; PM<sub>10</sub> = 3,76E+10 g PM<sub>10</sub>/ano; N<sub>2</sub>O = 1,25E+09 g N<sub>2</sub>O/ano; CH<sub>4</sub> = 6,27E+09 g CH<sub>4</sub>/ano.

**23. Etanol.** etanol = 3,82E+12 g/ano; demanda energética = 9,94E+09 MJ/ano; CO<sub>2</sub> = 7,29E+11 g CO<sub>2</sub>/ano; CO = 4,97E+07 g CO/ano; NO<sub>x</sub> = 2,14E+09 g NO<sub>x</sub>/ano; SO<sub>2</sub> = 1,49E+09 g SO<sub>2</sub>/ano; PM<sub>10</sub> = 1,79E+08 g PM<sub>10</sub>/ano; N<sub>2</sub>O = 5,96E+06 g N<sub>2</sub>O/ano; CH<sub>4</sub> = 2,98E+07 g CH<sub>4</sub>/ano.

**24. Metais.** quantidade total = 7,74E+15 g/ano; demanda energética = 4,73E+11 MJ/ano; CO<sub>2</sub> = 3,47E+13 g CO<sub>2</sub>/ano; CO = 2,37E+09 g CO/ano; NO<sub>x</sub> = 1,02E+11 g NO<sub>x</sub>/ano; SO<sub>2</sub> = 7,10E+10 g SO<sub>2</sub>/ano; PM<sub>10</sub> = 8,52E+09 g PM<sub>10</sub>/ano; N<sub>2</sub>O = 2,84E+08 g N<sub>2</sub>O/ano; CH<sub>4</sub> = 1,42E+09 g CH<sub>4</sub>/ano.

**25. Fertilizantes.** quantidade total = 1,02E+12 g/ano; demanda energética = 3,27E+10 MJ/ano; CO<sub>2</sub> = 2,40E+12 g CO<sub>2</sub>/ano; CO = 1,63E+08 g CO/ano; NO<sub>x</sub> = 7,03E+09 g NO<sub>x</sub>/ano; SO<sub>2</sub> = 4,90E+09 g SO<sub>2</sub>/ano; PM<sub>10</sub> = 5,88E+08 g PM<sub>10</sub>/ano; N<sub>2</sub>O = 1,96E+07 g N<sub>2</sub>O/ano; CH<sub>4</sub> = 9,80E+07 g CH<sub>4</sub>/ano.

**26. Agrícola.** quantidade total = 4,85E+13 g/ano; demanda energética = 2,49E+11 MJ/ano; CO<sub>2</sub> = 1,82E+13 g CO<sub>2</sub>/ano; CO = 1,24E+09 g CO/ano; NO<sub>x</sub> = 5,35E+10 g NO<sub>x</sub>/ano; SO<sub>2</sub> = 3,73E+10 g SO<sub>2</sub>/ano; PM<sub>10</sub> = 4,48E+09 g PM<sub>10</sub>/ano; N<sub>2</sub>O = 1,49E+08 g N<sub>2</sub>O/ano; CH<sub>4</sub> = 7,46E+08 g CH<sub>4</sub>/ano.

**27. Pecuária.** quantidade total = 2,39E+12 g/ano; demanda energética = 4,34E+10 MJ/ano; CO<sub>2</sub> = 3,18E+12 g CO<sub>2</sub>/ano; CO = 2,17E+08 g CO/ano; NO<sub>x</sub> = 9,34E+09 g NO<sub>x</sub>/ano; SO<sub>2</sub> = 6,51E+09 g SO<sub>2</sub>/ano; PM<sub>10</sub> = 7,82E+08 g PM<sub>10</sub>/ano; N<sub>2</sub>O = 2,61E+07 g N<sub>2</sub>O/ano; CH<sub>4</sub> = 1,30E+08 g CH<sub>4</sub>/ano.

**28. Pesca.** quantidade total = 5,82E+10 g/ano; demanda energética = 2,25E+09 MJ/ano; CO<sub>2</sub> = 1,65E+11 g CO<sub>2</sub>/ano; CO = 1,13E+07 g CO/ano; NO<sub>x</sub> = 4,84E+08 g NO<sub>x</sub>/ano; SO<sub>2</sub> = 3,38E+08 g SO<sub>2</sub>/ano; PM<sub>10</sub> = 4,05E+07 g PM<sub>10</sub>/ano; N<sub>2</sub>O = 1,35E+06 g N<sub>2</sub>O/ano; CH<sub>4</sub> = 6,57E+06 g CH<sub>4</sub>/ano.

**29. Plásticos.** quantidade total = 3,20E+10 g/ano; demanda energética = 3,01E+09 MJ/ano; CO<sub>2</sub> = 2,21E+11 g CO<sub>2</sub>/ano; CO = 1,50E+07 g CO/ano; NO<sub>x</sub> = 6,47E+08 g NO<sub>x</sub>/ano; SO<sub>2</sub> = 4,51E+08 g SO<sub>2</sub>/ano; PM<sub>10</sub> = 5,42E+07 g PM<sub>10</sub>/ano; N<sub>2</sub>O = 1,81E+06 g N<sub>2</sub>O/ano; CH<sub>4</sub> = 9,03E+06 g CH<sub>4</sub>/ano.

**30. Maquinário e transporte.** quantidade total = 9,59E+11 g/ano; demanda energética = 6,44E+10 MJ/ano; CO<sub>2</sub> = 4,72E+12 g CO<sub>2</sub>/ano; CO = 3,22E+08 g CO/ano; NO<sub>x</sub> = 1,38E+10 g NO<sub>x</sub>/ano; SO<sub>2</sub> = 9,66E+09 g SO<sub>2</sub>/ano; PM<sub>10</sub> = 1,16E+09 g PM<sub>10</sub>/ano; N<sub>2</sub>O = 3,86E+07 g N<sub>2</sub>O/ano; CH<sub>4</sub> = 1,93E+08 g CH<sub>4</sub>/ano.

**31. Eletricidade.** quantidade total = 2,47E+15 J/ano; demanda energética = 6,17E+09 MJ/ano; CO<sub>2</sub> = 4,53E+11 g CO<sub>2</sub>/ano; CO = 3,09E+07 g CO/ano; NO<sub>x</sub> = 1,33E+09 g NO<sub>x</sub>/ano; SO<sub>2</sub> = 9,26E+08 g SO<sub>2</sub>/ano; PM<sub>10</sub> = 1,11E+08 g PM<sub>10</sub>/ano; N<sub>2</sub>O = 3,70E+06 g N<sub>2</sub>O/ano; CH<sub>4</sub> = 1,85E+07 g CH<sub>4</sub>/ano.

## 9.1.5. Pegada Ecológica

População do Brasil em 2008 = 189.610.000 (IBGE, 2008).

### BIOCAPACIDADE

1. **cultivo** = 6,10E+07 ha (IBGE, 2008); fator de equivalência = 2,21 ha/ha (Kitzes et al., 2007); biocapacidade = 1,35E+08 ha; biocapacidade por pessoa = 0,71 ha/pessoa.

2. **pastagem** = 7,80E+07 ha (IBGE, 2008); fator de equivalência = 0,49 ha/ha (Kitzes et al., 2007); biocapacidade = 3,82E+07 ha; biocapacidade por pessoa = 0,20 ha/pessoa.

3. **urbana** = 2,13E+06 ha (MAPA, 2010); fator de equivalência = 2,21 ha/ha (Kitzes et al., 2007); biocapacidade = 4,70E+06 ha; biocapacidade por pessoa = 0,02 ha/pessoa.

4. **pesca** = 7,10E+07 ha (CIA, 2008); fator de equivalência = 0,36 ha/ha (Kitzes et al., 2007); biocapacidade = 2,56E+07 ha; biocapacidade por pessoa = 0,13 ha/pessoa.

5. **floresta natural** = 5,74E+08 ha (MMA, 2007): amazônia = 3,58E+08 ha; pantanal = 1,30E+07 ha; cerrado = 1,20E+08 ha; caatinga = 5,00E+07 ha; mata atlântica = 2,70E+07 ha; pampas = 6,00E+06 ha; fator de equivalência = 1,34 ha/ha (Kitzes et al., 2007); biocapacidade = 7,69E+08 ha; biocapacidade por pessoa = 4,06 ha/pessoa.

### PEGADA

1. **cultivo** = 2,10E+11 kg/ano (IBGE, 2008); importação = 8,73E+09 kg/ano (FAO, 2008); exportação = 4,85E+10 kg/ano (FAO, 2008); consumo = 1,71E+11 kg/ano (produção + importação - exportação); área real = 6,10E+07 ha (IBGE, 2008); produtividade = 3,45E+03 kg/ha (produção / área); área do consumo = 4,95E+07 ha (consumo / produtividade); fator de equivalência = 2,21 ha/ha (Kitzes et al., 2007); pegada = 1,09E+08 ha; pegada por pessoa = 0,58 ha/pessoa.

2. **pecuária** = 3,78E+13 kg/ano (IBGE, 2008); importação = 5,26E+11 kg/ano (FAO, 2008); exportação = 2,39E+12 kg/ano (FAO, 2008); consumo = 3,59E+13 kg/ano (produção + importação - exportação); área real = 7,80E+07 ha (IBGE, 2008); produtividade = 4,84E+05 kg/ha (produção / área); área do consumo = 7,42E+07 ha (consumo / produtividade); fator de equivalência = 0,49 ha/ha (Kitzes et al., 2007); pegada = 3,64E+07 ha; pegada por pessoa = 0,19 ha/pessoa.

3. **urbana** = 2,13E+06 ha (IBGE, 2008); fator de equivalência = 2,21 ha/ha (Kitzes et al., 2007); pegada = 4,70E+06 ha; pegada por pessoa = 0,02 ha/pessoa.

4. **pesca** = 1,07E+09 kg/ano (IBAMA, 2007); importação = 2,10E+08 kg/ano (FAO, 2008); exportação = 5,82E+07 kg/ano (FAO, 2008); consumo = 1,22E+09 kg/ano (produção + importação - exportação); área real = 7,10E+07 ha (CIA, 2008); produtividade = 1,72E+01 kg/ha (produção / área); área do consumo = 7,10E+07 ha (consumo / produtividade); fator de equivalência = 0,36 ha/ha (Kitzes et al., 2007); pegada = 2,56E+07 ha; pegada por pessoa = 0,13 ha/pessoa.

5. **madeira** = 5,77E+10 kg/ano (IBGE, 2008); importação = 0,00E+00 kg/ano (FAO, 2008); exportação = 0,00E+00 kg/ano (FAO, 2008); consumo = 5,77E+10 kg/ano (produção + importação - exportação); produtividade = 1,00E+04 kg/ha (FAO, 2008); área do consumo = 5,77E+06 ha (consumo / produtividade); fator de equivalência = 1,34 ha/ha (Kitzes et al., 2007); pegada = 7,73E+06 ha; pegada por pessoa = 0,04 ha/pessoa.

6. **emissões de CO<sub>2</sub> eq.** capacidade de sequestro do planeta = 3,0 Gton C/ano (Penman et al., 2003) = 11,0 Gton CO<sub>2</sub>/ano (mm CO<sub>2</sub> = 44g / C = 12g / O = 16g); capacidade de sequestro de CO<sub>2</sub> de oceanos = 8,43 Gton CO<sub>2</sub>/ano (Penman et al., 2003) (76,67%); área dos oceanos = 3,67E+10 ha; taxa de sequestro de CO<sub>2</sub> por oceanos = 2,30E-10 Gton CO<sub>2</sub>/ha/ano; capacidade de sequestro de CO<sub>2</sub> da terra firme = 2,57 Gton CO<sub>2</sub>/ano (Penman et al., 2003) (23,33%); área da terra firme = 1,44E+10 ha; taxa de sequestro de CO<sub>2</sub> por terra firme = 1,78E-10 Gton CO<sub>2</sub>/ha/ano; área de sequestro de CO<sub>2</sub> = emissões de CO<sub>2</sub> \* (1 - fração absorvida por oceanos) / taxa de sequestro.

(1) **UNSD (2008)** = 3,93E-01 Gton CO<sub>2</sub> eq/ano (incluem emissões da indústria de energia, transporte, combustão, serviços e moradia, não incluem emissões de mudanças no uso da terra, pois ainda não existe uma metodologia consensual); emissões de CO<sub>2</sub> eq em terra firme = **0,09 Gton CO<sub>2</sub> eq/ano**; emissões de CO<sub>2</sub> eq nos oceanos = 0,30 Gton CO<sub>2</sub> eq/ano; área de sequestro de CO<sub>2</sub> = 5,15E+08 ha; fator de equivalência = 1,34 ha/ha (Kitzes et al., 2007); pegada por pessoa = 3,64 ha/pessoa.

(2) **MCTI (2010)** = CO<sub>2</sub> = 1,64E+00 Gton CO<sub>2</sub> eq/ano; CH<sub>4</sub> = 1,81E+04 Gg CH<sub>4</sub>/ano = 4,53E+05 Gg CO<sub>2</sub> eq/ano (GWP 100 anos do CH<sub>4</sub> = 25) = 4,53E-01 Gton CO<sub>2</sub> eq/ano; N<sub>2</sub>O = 5,46E+02 Gg N<sub>2</sub>O/ano; 1,63E+05 Gg CO<sub>2</sub> eq/ano (GWP 100 anos do N<sub>2</sub>O = 298) = 1,63E-01 Gton CO<sub>2</sub> eq/ano; total = 2,25E+00 Gton CO<sub>2</sub> eq/ano; emissões de CO<sub>2</sub> eq em terra firme = **0,53 Gton CO<sub>2</sub> eq/ano**; emissões de CO<sub>2</sub> eq nos oceanos = 1,73 Gton CO<sub>2</sub> eq/ano; pegada = 2,95E+09 ha; fator de equivalência = 1,34 ha/ha (Kitzes et al., 2007); pegada por pessoa = 20,85 ha/pessoa.

## 9.2. Memorial de cálculo para o estado de São Paulo

### 9.2.1. Avaliação Emergética

Fontes Renováveis

Legenda:

PC = plataforma continental

UEV = unit emery value = fatores de intensidade emergética (transformidade e emergia específica)

AET = actual evapotranspiration = evapotranspiração  
RO = runoff = escoamento superficial

## 2008

**1. Radiação solar.** área de terra =  $2,48E+11$  m<sup>2</sup> (SEADE, 2011); comprimento da costa =  $8,60E+05$  m (SEADE, 2011); comprimento da PC =  $3,20E+02$  m (200 milhas); área da PC = comprimento da costa \* comprimento da PC =  $2,75E+08$  m<sup>2</sup>; radiação =  $5,11E+00$  kWh/m<sup>2</sup>/dia (NASA, 2011); energia = radiação (kWh/m<sup>2</sup>/dia) \*  $3,60E+06$  (J/kWh) \* área total (m<sup>2</sup>) / 365 (dias/ano) \* (1 - 0,20 albedo) =  $1,33E+21$  J/ano; UEV = 1 seJ/J (ODUM, 1996); emergia =  $1,33E+21$  seJ/ano.

**2. Calor interno.** área de terra =  $2,48E+11$  m<sup>2</sup> (SEADE, 2011); fluxo de calor =  $1,87E+06$  J/m<sup>2</sup>/ano (Sclater; Taupart; Galson, 1980); energia = área de terra (m<sup>2</sup>) \* fluxo de calor (J/m<sup>2</sup>/ano) =  $4,64E+17$  J/ano; UEV =  $5,80E+04$  seJ/J (Odum, 2000); emergia =  $2,69E+22$  seJ/ano.

**3. Marés.** área da PC =  $2,75E+08$  m<sup>2</sup> (SEADE, 2011); alcance médio das marés = 2,98 m (SWEENEY et al., 2007); número de marés = 1,86 #/dia (SWEENEY et al., 2007); densidade da água do mar = 1025 kg/m<sup>3</sup>; energia = área da PC (m<sup>2</sup>) \* 0,5 \* #marés/dia \* 365 dias/ano \* alcance médio das marés<sup>2</sup> (m<sup>2</sup>) \* densidade da água do mar (kg/m<sup>3</sup>) \* 9,8 (m/s<sup>2</sup>) \* 0,5 =  $4,17E+15$  J/ano; UEV =  $7,40E+04$  seJ/J (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); emergia =  $3,08E+20$  seJ/ano.

**4. Vento.** velocidade média superficial = 2,437 m/s (NASA, 2011); velocidade média geostrófica = 4,062 m/s (assumindo ventos superficiais 0,6 \* geostróficos); densidade do ar = 1,23 kg/m<sup>3</sup> (ODUM, 1996); coeficiente de arraste = 0,001; energia = área total (m<sup>2</sup>) \* densidade do ar (kg/m<sup>3</sup>) \* coeficiente de arraste \* velocidade geostrófica<sup>3</sup> (m<sup>3</sup>/s<sup>3</sup>) \*  $3,15E+07$  (s/ano) =  $6,45E+17$  J/ano; UEV =  $2,50E+03$  seJ/J (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); emergia =  $1,61E+21$  seJ/ano.

**5. Água.** área de terra =  $2,48E+11$  m<sup>2</sup> (SEADE, 2011); área da PC =  $2,75E+08$  m<sup>2</sup>; precipitação média na terra = 1,49 m/ano (Carvalho; Assad, 2003); precipitação média na PC = 1,25 m/ano (NASA, 2011); AET = 1,22 m/ano (Ahn; Tateishi, 1994 (média 1920-1980)); RO estimado = 0,8 m/ano (Fekete, 2001); elevação = 600 m (CEPAGRI, 2011); entrada de rios = dados não disponíveis; saída de rios = dados não disponíveis.

**Chuva.** potencial químico da chuva (terra) = área (m<sup>2</sup>) \* precipitação (m) \* 1000 (kg/m<sup>3</sup>) \* 4940 (J/kg) =  $1,83E+18$  J/ano; UEV potencial químico da chuva (terra) =  $3,10E+04$  seJ/J (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); energia potencial químico da chuva (terra) =  $5,66E+22$  seJ/ano; potencial químico da chuva (PC) = área da PC (m<sup>2</sup>) \* precipitação na PC (m) \* 1000 (kg/m<sup>3</sup>) \* 4940 (J/kg) =  $1,70E+15$  J/ano; UEV potencial químico da chuva (PC) =  $7,00E+03$  seJ/J (baseline (seJ) / chuva global na PC (J) (Wilmott et al., 1998)); energia potencial químico da chuva (PC) =  $1,19E+19$  seJ/ano; emergia total potencial químico da chuva =  $5,66E+22$  seJ/ano; geopotencial do RO da chuva = área (m<sup>2</sup>) \* precipitação (m) \* elevação (m) \* 1000 (kg/m<sup>3</sup>) \* 9,8 (m/s<sup>2</sup>) =  $2,17E+18$  J/ano; UEV geopotencial do RO da água =  $4,70E+04$  seJ/J (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); emergia geopotencial do RO da chuva =  $1,02E+23$  seJ/ano; potencial químico do RO da chuva = área de terra (m<sup>2</sup>) \* RO (m<sup>3</sup>) \* 1000 (kg/m<sup>3</sup>) \* 4940 (J/kg) =  $9,80E+17$  J/ano; UEV do pot. químico RO da chuva =  $3,10E+04$  seJ/J (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); emergia potencial químico RO da chuva =  $3,04E+22$  seJ/ano.

### Evapotranspiração

potencial químico da AET = área de terra (m<sup>2</sup>) \* AET (m) \* 1000 (kg/m<sup>3</sup>) \* 4940 (J/kg) =  $1,49E+18$  J/ano; UEV do potencial químico da AET =  $3,10E+04$  seJ/J (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); emergia potencial químico da AET =  $4,63E+22$  seJ/ano.

**6. Ondas.** comprimento da costa =  $8,60E+05$  m (SEADE, 2011); altura média das ondas = 1,35 m (ODUM, 1996); velocidade média das ondas = 4,4 m/s (RQ (9,8 (m/s<sup>2</sup>) \* profundidade) = 4,4 se 2m; energia = costa (m) \* 1/8 \* 1025 (kg/m<sup>3</sup>) \* 9,8 (m/s<sup>2</sup>) \* altura<sup>2</sup> (m<sup>2</sup>) \* v (m/s) \*  $3,15E+07$  (s/ano) =  $2,77E+17$  J/ano; UEV =  $5,10E+04$  seJ/J (ODUM, 1996); emergia =  $1,41E+22$  seJ/ano.

**maior fluxo renovável** =  $1,02E+23$  seJ/ano.

## Transformações internas, extrações internas não-renováveis, importações, exportações, serviços e fluxos monetários

Fator SP/Brasil: o fator é utilizado para estimativas sobre consumo de produtos não disponível na literatura acerca do estado de São Paulo. O fator SP/Brasil relaciona tamanho da população e PIB.

Fator SP/Brasil = (PIB per capita SP/PIB per capita Brasil) \* (população de SP/população do Brasil) = 0,38.

Por exemplo: se o Brasil consome o produto X em A g/ano, o consumo estimado de São Paulo será de  $0,38*A$  g/ano. Sabendo-se o valor de produção do estado, é possível estimar se há importação ou exportação, subtraindo-se a produção de X pelo consumo  $0,38*A$ . Caso o valor obtido seja negativo, considera-se que houve importação. Se o valor for positivo, significa que nem toda a produção é consumida internamente e que, portanto, o excedente é exportado seja para o Brasil, seja para fora do país.

**LOCAL****Agricultura**

**algodão** = 5,55E+10 g/ano (IBGE, 2008); UEV = 2,10E+10 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002); energia = 1,17E+21 seJ/ano.

**amendoim** = 2,36E+11 g/ano (IBGE, 2008); UEV = 2,97E+10 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002); energia = 7,02E+21 seJ/ano.

**arroz** = 8,19E+10 g/ano (IBGE, 2008); UEV = 1,40E+09 seJ/g (BROWN; ULGIATI, 2004); energia = 1,15E+20 seJ/ano.

**aveia** = 0,00E+00 g/ano (IBGE, 2008).

**batata** = 7,56E+11 g/ano (IBGE, 2008); UEV = 2,80E+09 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002); energia = 2,12E+21 seJ/ano.

**café** = 2,77E+11 g/ano (IBGE, 2008); energia = café (g/ano) \* 4,19 (kcal/g) (TACO, 2006) \* 80% \* 4186 (J/kcal) = 3,89E+15 J/ano; UEV = 1,54E+06 seJ/J (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); energia = 5,99E+21 seJ/ano.

**açúcar** = 1,97E+13 g/ano (UNICA, 2011 (safra 2008)); energia = açúcar (g/ano) \* 3,87 (kcal/g) (TACO, 2006) \* 80% \* 4186 (J/kcal) = 2,55E+17 J/ano; UEV = 1,51E+05 seJ/J (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); energia = 3,85E+22 seJ/ano.

**laranja** = 1,47E+13 g/ano (IBGE, 2008); UEV = 1,92E+09 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002); energia = 2,82E+22 seJ/ano.

**mandioca** = 9,91E+11 g/ano (IBGE, 2008); UEV = 1,62E+08 seJ/g (Rodriguez et al., 2003); energia = 1,61E+20 seJ/ano.

**milho** = 4,67E+12 g/ano (IBGE, 2008); UEV = 7,98E+04 seJ/g (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); energia = 3,73E+17 seJ/ano.

**soja** = 1,45E+12 g/ano (IBGE, 2008); UEV = 9,87E+09 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002); energia = 1,43E+22 seJ/ano.

**trigo** = 1,70E+11 g/ano (IBGE, 2008); energia = trigo (g/ano) \* 3,60 (kcal/g) (TACO, 2006) \* 80% \* 4186 (J/kcal) = 2,04E+15 J/ano; UEV = 2,67E+05 seJ/J (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); energia = 5,46E+20 seJ/ano.

**energia total da prod. agrícola** = 9,81E+22 seJ/ano.

**Produtos animais**

**carne** = 4,32E+10 g/ano (IBGE, 2008 (6% do total do Brasil)); UEV = 4,85E+10 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002); energia = 2,10E+21 seJ/ano.

**leite** = 1,74E+12 g/ano (IBGE, 2008); UEV = 3,37E+10 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002); energia = 5,86E+22 seJ/ano.

**ovos** = 2,40E+12 g/ano (IBGE, 2008); UEV = 1,07E+11 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002); energia = 2,57E+23 seJ/ano.

**energia total** = 3,17E+23 seJ/ano.

**Pesca.** peixes = 5,51E+10 g/ano (IBAMA, 2007); UEV = 2,78E+11 seJ/g (ODUM, 1996); energia = 1,53E+22 seJ/ano.

**Lenha.** lenha = 5,84E+06 toe/ano (IBGE, 2008 (20% do total do Brasil)); energia = lenha (toe/ano) \* 4,19E+10 (J/toe) (IEA, 2011) = 2,45E+17 J/ano; UEV = 1,84E+04 seJ/J (BROWN; ULGIATI, 2004); energia = 4,50E+21 seJ/ano.

**Madeira.** madeira = 2,46E+07 m<sup>3</sup>/ano (IBGE, 2008 (21,35 % do total do Brasil)); madeira = (m<sup>3</sup>/ano) \* 5,00E+05 (g/m<sup>3</sup>) = 1,23E+13 g/ano; UEV = 4,86E+09 seJ/g (BURANAKARN, 1998); energia = 1,17E+22 seJ/ano.

**Consumo de água.** total do Brasil = 5,93E+10 m<sup>3</sup>/ano (FAO, 2010); total de SP = 2,26E+10 m<sup>3</sup>/ano (estimado pelo fator SP); energia = consumo de água (m<sup>3</sup>/ano) \* 1000 (kg/m<sup>3</sup>) \* 4940 (J/kg) = 1,12E+17 J/ano; UEV = 2,40E+05 seJ/J (BUENFIL, 2001 (aquífero da Flórida)); energia = 2,68E+22 seJ/ano.

**Hidroeletricidade.** hidroeletricidade = 6,98E+06 toe/ano (SESP, 2008); hidroeletricidade = (toe/ano) \* 4,19E+10 J/toe (IEA, 2011) = 2,92E+17 J/ano; UEV = 1,02E+05 seJ/J (BROWN; ULGIATI, 2004); energia = 2,68E+22 seJ/ano.

**Outro uso de eletricidade.** uso total de eletricidade = 1,19E+11 kWh/ano (SESP, 2008); uso total de eletricidade = (kWh/ano) \* 3,60E+06 (J/kWh) = 4,28E+17 J/ano; sabendo que hidroeletricidade = 2,92E+17 J/ano; logo outro uso = 1,36E+17 J/ano; UEV = 3,36E+05 seJ/J (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); energia = 4,57E+22 seJ/ano.

**7. Perda de florestas.** densidade da biomassa = 2,10E+02 ton/ha (Penman et al., 2003); mudança média do uso da terra = 4,17E+03 ha/ano (SMASP, 2008); uso não renovável de florestas = densidade da biomassa (ton/ha) \* mudança no uso da terra (ha) = 8,75E+05 ton/ano; energia = uso não renovável de florestas (ton/ano) \* 1,80E+10 (J/ton) = 1,58E+16 J/ano; UEV = 5,86E+04 seJ/J (ODUM, 1996 (biomassa da madeira)); energia = 9,23E+20 seJ/ano.

**8. Pesca acima do limite sustentável.** perda de peixes = 2,32E+10 g/ano (FAO, 2005 (estimado pelo fator SP)); UEV = 2,78E+11 seJ/g (ODUM, 1996); energia = 6,46E+21 seJ/ano.

**9. Extração não renovável de água** = 0,00E+00 m<sup>3</sup>/ano (FAO, 2010).

**10. Perda de solo: matéria orgânica.** cultura permanente = 1,70E+07 g/ha/ano (PROJETO ECOAGRI, 2006: cultura anual 17 ton/ha/ano); cultura temporária = 9,84E+06 g/ha/ano (PROJETO ECOAGRI, 2006: cultura temporária: cana 9,84

ton/ha/ano); pastagem = 1,00E+07 g/ha/ano (PROJETO ECOAGRI, 2006: 10 ton/ha/ano); cultura permanente = 1,22E+06 ha (SAASP, 2008); cultura temporária = 6,74E+06 ha (SAASP, 2008); pastagem = 8,07E+06 ha (SAASP, 2008); cultura permanente = 2,08E+13 g/ano; cultura temporária = 6,63E+13 g/ano; pastagem = 8,07E+13 g/ano; matéria orgânica no solo = 5%; matéria orgânica cultura permanente = 1,04E+12 g/ano; matéria orgânica cultura temporária = 3,31E+12 g/ano; matéria orgânica pastagem = 4,04E+12 g/ano; conteúdo energético da matéria orgânica = 5,4 kcal/g ; total de energia = matéria orgânica total (g/ano) \* 5,4 (kcal/g) \* 4186 (J/kcal) = 1,90E+17 J/ano; UEV = 1,24E+05 seJ/J (BARGIGLI; ULGIATI, 2003); energia = 2,35E+22 seJ/ano.

**Etanol.** etanol = 2,58E+07 toe/ano (SESP, 2008); energia = etanol (toe/ano) \* 4,19E+10 J/toe (IEA, 2011) = 1,08E+18 J/ano; UEV = 1,30E+05 seJ/J (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); energia = 1,40E+23 seJ/ano.

**11. Carvão.** carvão = 0,00E+00 toe/ano (SESP, 2008).

**12. Gás natural.** gás natural = 1,96E+05 toe/ano (SESP, 2008); energia = gás natural (toe/ano) \* 4,19E+10 J/toe (IEA, 2011) = 8,21E+15 J/ano; UEV = 8,05E+04 seJ/J (BROWN; ULGIATI, 2004); energia = 6,61E+20 seJ/ano.

**13. Petróleo.** petróleo = 0,00E+00 toe/ano (SESP, 2008).

#### 14. Minerais.

**minério de ferro** = 0,00E+00 g/ano (IBRAM, 2010 (MG: 67%, PA: 29,3%)).

**cobre** = 0,00E+00 g/ano (IBRAM, 2010 (PA: 51%, GO: 38%, BA: 11%)).

**ouro** = 0,00E+00 g/ano (IBRAM, 2010 (MG: 64%, GO: 11%, BA: 11%, PA: 3%)).

**energia total dos minerais** = 0,00E+00 seJ/ano.

#### 15. Metais

**ligas de ferro** = 4,12E+12 g/ano (IBGE, 2008); UEV = 4,25E+06 seJ/g (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000 (produtos de ferro e aço)); energia = 1,75E+19 seJ/ano.

**ferro gusa** = 6,71E+12 g/ano (MME, 2010); UEV = 5,43E+09 seJ/g (BARGIGLI; ULGIATI, 2003); energia = 3,64E+22 seJ/ano.

**energia total dos metais** = 3,64E+22 seJ/ano.

### IMPORTAÇÃO

#### 16. Combustíveis

**petróleo** = 2,44E+07 toe/ano (SESP, 2008); energia = petróleo (toe/ano) \* 4,19E+10 J/toe (IEA, 2011) = 1,02E+18 J/ano; UEV = 9,06E+04 seJ/J (BROWN; ULGIATI, 2004); energia = 9,26E+22 seJ/ano.

**carvão** = 1,58E+06 toe/ano (SESP, 2008); energia = carvão (toe/ano) \* 4,19E+10 J/toe (IEA, 2011) = 6,63E+16 J/ano; UEV = 6,71E+04 seJ/J (BROWN; ULGIATI, 2004); energia = 4,45E+21 seJ/ano.

**gás natural** = 4,70E+06 toe/ano (SESP, 2008); energia = gás natural (toe/ano) \* 4,19E+10 J/toe (IEA, 2011) = 1,97E+17 J/ano; UEV = 8,05E+04 seJ/J (BROWN; ULGIATI, 2004); energia = 1,59E+22 seJ/ano.

**energia total de combustíveis** = 1,13E+23 seJ/ano.

#### 17. Metais

**ligas de ferro** = 3,70E+14 g/ano (IBGE, 2008 (estimado pelo fator SP)); UEV = 4,25E+06 seJ/g (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000 (produtos de ferro e aço)); energia = 1,57E+21 seJ/ano.

**ferro gusa** = 4,17E+12 g/ano (IBGE, 2008 (estimado pelo fator SP)); UEV = 5,43E+09 seJ/g (BARGIGLI; ULGIATI, 2003); energia = 2,26E+22 seJ/ano.

**alumínio** = 3,53E+11 g/ano (IBGE, 2008 (estimado pelo fator SP)); UEV = 7,76E+08 seJ/g (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); energia = 2,74E+20 seJ/ano.

**cobre** = 2,15E+11 g/ano (IBGE, 2008 (estimado pelo fator SP)); UEV = 3,36E+09 seJ/g (BROWN; ULGIATI, 2004); energia = 7,21E+20 seJ/ano.

**zinco** = 9,48E+10 g/ano (IBGE, 2008 (estimado pelo fator SP)); UEV = 1,14E+11 seJ/g (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); energia = 1,08E+22 seJ/ano.

**energia total de metais** = 3,60E+22 seJ/ano.

#### 18. Minerais

**minerais** = 3,11E+14 g/ano (IBGE, 2008 (estimado pelo fator SP)); UEV = 2,22E+09 seJ/g (BURANAKARN, 1998); energia = 6,90E+23 seJ/ano.

#### 19. Agricultura

**algodão** = 9,21E+11 g/ano (IBGE, 2008 (estimado pelo fator SP)); UEV = 2,10E+10 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002); energia = 1,93E+22 seJ/ano.

**amendoim** = 0,00E+00 g/ano (IBGE, 2008 (produção maior que consumo)).

**arroz** = 4,91E+12 g/ano (IBGE, 2008 (estimado pelo fator SP)); UEV = 1,40E+09 seJ/g (BROWN; ULGIATI, 2004); energia = 6,88E+21 seJ/ano.

**aveia** = 9,04E+10 g/ano (IBGE, 2008 (estimado pelo fator SP)); UEV = 4,40E+09 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002); energia = 3,98E+20 seJ/ano.

**batata** = 5,49E+11 g/ano (IBGE, 2008 (estimado pelo fator SP)); UEV = 2,80E+09 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002); energia = 1,54E+21 seJ/ano.

**café** = 4,97E+10 g/ano (IBGE, 2008 (estimado pelo fator SP)); energia = café (g/ano) \* 4,19 (kcal/g) (TACO, 2006) \* 80% \* 4186 (J/kcal) = 6,97E+14 J/ano; UEV = 1,54E+06 seJ/J (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); energia = 1,07E+21 seJ/ano.

**açúcar** = 0,00E+00 g/ano (IBGE, 2008 (produção maior que consumo)).  
**laranja** = 0,00E+00 g/ano (IBGE, 2008 (produção maior que consumo)).  
**mandioca** = 8,92E+12 g/ano (IBGE, 2008 (estimado pelo fator SP)); UEV = 1,62E+08 seJ/g (Rodriguez et al., 2003); energia = 1,45E+21 seJ/ano.  
**milho** = 1,11E+13 g/ano (IBGE, 2008 (estimado pelo fator SP)); UEV = 7,98E+04 seJ/g (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); energia = 8,84E+17 seJ/ano.  
**soja** = 1,04E+13 g/ano (IBGE, 2008 (estimado pelo fator SP)); UEV = 9,87E+09 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002); energia = 1,02E+23 seJ/ano.  
**trigo** = 4,21E+12 g/ano (IBGE, 2008 (estimado pelo fator SP)); energia = trigo (g/ano) \* 3,60 (kcal/g) (TACO, 2006) \* 80% \* 4186 (J/kcal) = 5,07E+16 J/ano; UEV = 2,67E+05 seJ/J (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); energia = 1,35E+22 seJ/ano.  
**energia total da importação agrícola** = 1,47E+23 seJ/ano.

## 20. Produtos animais

**carne** = 6,76E+12 g/ano (IBGE, 2008 (estimado pelo fator SP)); UEV = 4,85E+10 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002); energia = 3,28E+23 seJ/ano.  
**leite** = 5,13E+12 g/ano (IBGE, 2008 (estimado pelo fator SP)); UEV = 3,37E+10 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002); energia = 1,73E+23 seJ/ano.  
**ovos** = 0,00E+00 g/ano (IBGE, 2008 (produção maior que consumo)).  
**energia total da importação** = 5,01E+23 seJ/ano.

**21. Pesca.** peixe = 4,11E+11 g/ano (IBAMA, 2007 (estimado pelo fator SP)); UEV = 2,78E+11 seJ/g (ODUM, 1996); energia = 1,14E+23 seJ/ano.

**22. Maquinário e transporte** (importação do exterior). partes de helicópteros ou aviões = 1,67E+09 g/ano (MDIC, 2010); carros = 2,76E+10 g/ano (MDIC, 2010); partes de tratores e veículos = 4,02E+10 g/ano (MDIC, 2010); caixa de marcha = 3,72E+10 g/ano (MDIC, 2010); total = 1,07E+11 g/ano; UEV = 1,10E+10 seJ/g (Odum et al., 1987b); energia = 1,17E+21 seJ/ano.

**23. Eletricidade.** eletricidade = 1,43E+10 kWh/ano (SESP, 2008 (SP produz 20% e consome 32% da energia do país)); eletricidade (kWh/ano) \* 3,60E+06 (J/kWh) = 5,14E+16 J/ano; UEV = 3,36E+05 seJ/J (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); energia = 1,73E+22 seJ/ano.

## EXPORTAÇÃO

**24. Combustíveis.** combustíveis = 0,00E+00 toe/ano (SESP, 2008 (consumo maior que produção)).

**25. Etanol.** etanol = 3,68E+06 toe/ano (SESP, 2008); energia = etanol (toe/ano) \* 4,19E+10 (J/toe) (IEA, 2011) = 1,54E+17 J/ano; UEV = 1,45E+05 seJ/J (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); energia = 2,23E+22 seJ/ano.

**26. Metais.** metais = 0,00E+00 g/ano (IBGE, 2008 (consumo maior que produção)).

**27. Minerais.** minerais = 0,00E+00 g/ano (IBRAM, 2010 (consumo maior que produção)).

## 28. Agricultura

**algodão** = 0,00E+00 g/ano (IBGE, 2008 (consumo maior que produção)).  
**amendoim** = 1,25E+11 g/ano (IBGE, 2008 (estimado pelo fator SP)); UEV = 2,97E+10 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002); energia = 3,71E+21 seJ/ano.  
**arroz** = 0,00E+00 g/ano (IBGE, 2008 (consumo maior que produção)).  
**aveia** = 0,00E+00 g/ano (IBGE, 2008 (consumo maior que produção)).  
**batata** = 0,00E+00 g/ano (IBGE, 2008 (consumo maior que produção)).  
**café** = 0,00E+00 g/ano (IBGE, 2008 (consumo maior que produção)).  
**açúcar** = 1,05E+13 g/ano (UNICA, 2011 (estimado pelo fator SP)); energia = açúcar (g/ano) \* 3,87 (kcal/g) (TACO, 2006) \* 80% \* 4186 (J/kcal) = 1,36E+17 J/ano; UEV = 1,51E+05 seJ/J (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); energia = 2,05E+22 seJ/ano.  
**laranja** = 8,51E+12 g/ano (IBGE, 2008 (estimado pelo fator SP)); UEV = 1,92E+09 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002); energia = 1,63E+22 seJ/ano.  
**mandioca** = 0,00E+00 g/ano (IBGE, 2008 (consumo maior que produção)).  
**milho** = 0,00E+00 g/ano (IBGE, 2008 (consumo maior que produção)).  
**soja** = 0,00E+00 g/ano (IBGE, 2008 (consumo maior que produção)).  
**trigo** = 0,00E+00 g/ano (IBGE, 2008 (consumo maior que produção)).  
**energia total da produção agrícola** = 4,05E+22 seJ/ano.

## 29. Produtos animais

**carne** = 0,00E+00 g/ano (IBGE, 2008 (consumo maior que produção)).  
**leite** = 1,74E+12 g/ano (IBGE, 2008 (consumo maior que produção)); UEV = 3,37E+10 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002); energia = 5,86E+22 seJ/ano.  
**ovos** = 1,73E+12 g/ano (IBGE, 2008 (estimado pelo fator SP)); UEV = 1,07E+11 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002); energia = 1,85E+23 seJ/ano.  
**energia total** = 1,85E+23 seJ/ano.

**30. Pesca.** peixe = 0,00E+00 g/ano (IBAMA, 2007 (consumo maior que produção)).

**31. Maquinário e transporte** (exportação para o exterior). aviões = 2,77E+09 g/ano (MDIC, 2010); carros = 2,22E+11 g/ano (MDIC, 2010); partes de motores = 4,90E+10 g/ano (MDIC, 2010); chassis = 3,07E+11 g/ano (MDIC, 2010); total = 3,07E+11 g/ano (MDIC, 2010); UEV = 1,10E+10 seJ/g (Odum et al., 1987b); emergia = 3,38E+21 seJ/ano.

**32. Eletricidade.** eletricidade = 0,00E+00 toe/ano (SESP, 2008 (consumo maior que produção)).

### SERVIÇOS

PMB PPP = 7,16E+13 US\$/ano (CIA, 2008 (para o ano de 2008)); PIB PPP Brasil = 1,98E+12 US\$/ano (FMI, 2008); PIB SP = 7,14E+12 US\$/ano (SEADE, 2011); emergia por dinheiro mundial = 2,25E+12 seJ/US\$ (SWEENEY et al., 2007); emergia por dinheiro nacional = 4,12E+12 seJ/US\$ (esse trabalho); emergia por dinheiro estadual = 6,16E+12 seJ/US\$ (esse trabalho).

**33. Importação do Brasil.** valor = 3,56E+11 US\$/ano (Vasconcellos, 2001 (1999: R\$ 1,17E+11 – PIB 2008/PIB 1999: 1,68 – 2008: US\$ 3,56E+11)); emergia = 1,47E+24 seJ/ano (utilizando emergia por dólar nacional).

**34. Importação do exterior.** valor = 6,64E+10 US\$/ano (MDIC, 2010); emergia = 1,49E+23 seJ/ano (utilizando emergia por dólar mundial).

**35. Exportação para o Brasil.** valor = 5,10E+11 US\$/ano (Vasconcellos, 2001 (1999: R\$ 1,68E+11 – PIB 2008/PIB 1999: 1,68 – 2008: US\$ 5,10E+11)); emergia = 1,72E+24 seJ/ano (utilizando emergia por dólar estadual).

**36. Exportação para o exterior.** valor = 5,74E+10 US\$/ano (MDIC, 2010); emergia = 1,93E+23 seJ/ano (utilizando emergia por dólar estadual).

## 9.2.2. Mochila Ecológica

Legenda:

MIF = material intensity factor = fator de intensidade de materiais.

MIFs fornecidos por Wuppertal Institute (2003), exceto para cana-de-açúcar fornecido por Agostinho e Ortega (2012).

Todos os dados de entrada com suas respectivas conversões para as unidades necessárias e referências podem ser encontrados no item 9.2.1. Avaliação Emergética.

### 2008

#### LOCAL

**1. Madeira.** madeira = 1,23E+13 g/ano (IBGE, 2008 (21,35% do total do Brasil)); MIF = 0,63 g abiótico/g; 4,37 g biótico/g; 9,20 g água/g; materiais = 7,76E+12 g abiótico/ano; 5,38E+13 g biótico/ano; 1,13E+14 g água/ano.

**2. Perda de solo: matéria orgânica.** perda total = 1,68E+14 g/ano; MIF = 0,76 g abiótico/g; 0,20 g água/g; materiais = 1,28E+14 g abiótico/ano; 3,36E+13 g água/ano.

**3. Etanol.** etanol = 3,64E+13 g/ano; MIF = 4,85 g abiótico/g; 0,24 g biótico/g; 350,30 g água/g; materiais = 1,76E+14 g abiótico/ano; 8,72E+12 g biótico/ano; 1,27E+16 g água/ano.

**4. Carvão.** carvão = 0,00E+00 toe/ano (SESP, 2008)

**5. Gás natural.** gás natural = 2,00E+11 g/ano (SESP, 2008); MIF = 1,22 g abiótico/g; 0,50 g água/g; materiais = 2,44E+11 g abiótico/ano; 1,00E+11 g água/ano.

**6. Petróleo.** petróleo = 0,00E+00 toe/ano (SESP, 2008).

#### 7. Metais

**ligas de ferro** = 4,12E+12 g/ano (IBGE, 2008 (estimado pelo fator SP)); MIF = 21,58 g abiótico/g; 504,90 g água/g; materiais = 8,89E+13 g abiótico/ano; 2,08E+15 g água/ano.

**ferro gusa** = 6,71E+12 g/ano (IBGE, 2008 (estimado pelo fator SP)); MIF = 9,32 g abiótico/g; 81,90 g água/g; materiais = 6,26E+13 g abiótico/ano; 5,50E+14 g água/ano.

**total de materiais** = 1,51E+14 g abiótico/ano; 2,63E+15 g água/ano.

**8. Fertilizantes.** fertilizantes = dados não disponíveis.

**9. Papel.** papel = 4,06E+12 g/ano (IBGE, 2008 (estimado pelo fator SP)); MIF = 9,17 g abiótico/J; 303,00 g água/J; 1,28 g ar/J; materiais = 3,72E+13 g abiótico/ano; 1,23E+15 g água/ano; 5,17E+12 g ar/ano

**10. Cimento.** cimento = 0,00E+00 g/ano (IBGE, 2008 (consumo maior que produção))

**11. Celulose.** celulose = 3,70E+12 g/ano (IBGE, 2008); MIF = 1,71 g abiótico/J; 6,70 g água/J; materiais = 6,33E+12 g abiótico/ano; 2,48E+13 g água/ano.

**12. Eletricidade.** eletricidade = 4,28E+17 J/ano (SESP, 2008); MIF = 4,78E-04 g abiótico/J; 9,04E-03 g água/J; materiais = 2,05E+14 g abiótico/ano; 3,87E+15 g água/ano.

#### IMPORTAÇÃO

##### 14. Combustíveis

**petróleo** = 2,39E+13 g/ano (SESP, 2008 (consumo – produção)); MIF = 1,22 g abiótico/g; 4,30 g água/g; materiais = 2,91E+13 g abiótico/ano; 1,03E+14 g água/ano.

**carvão** = 2,33E+12 g/ano (SESP, 2008 (consumo – produção)); MIF = 5,06 g abiótico/g; 4,60 g água/g; materiais = 1,21E+14 g abiótico/ano; 1,10E+14 g água/ano.

**gás natural** = 4,80E+12 g/ano (SESP, 2008 (consumo – produção)); MIF = 1,22 g abiótico/g; 0,50 g água/g; materiais = 5,86E+12 g abiótico/ano; 2,40E+12 g água/ano.

**total de materiais** = 1,56E+14 g abiótico/ano; 2,15E+14 g água/ano.

### 15. Metais

**ligas de ferro** = 3,70E+14 g/ano (IBGE, 2008 (consumo – produção)); MIF = 21,58 g abiótico/g; 504,90 g água/g; materiais = 7,99E+15 g abiótico/ano; 1,87E+17 g água/ano.

**ferro gusa** = 4,17E+12 g/ano (IBGE, 2008 (consumo – produção)); MIF = 9,32 g abiótico/g; 81,90 g água/g; 0,77 g ar/g; materiais = 3,88E+13 g abiótico/ano; 3,41E+14 g água/ano; 3,22E+12 g ar/ano

**alumínio** = 3,53E+11 g/ano (MME, 2010 (consumo – produção)); MIF = 18,98 g abiótico/g; 539,20 g água/g; 5,91 g ar/g; materiais = 6,70E+12 g abiótico/ano; 1,90E+14 g água/ano.

**cobre** = 2,15E+11 g/ano (MME, 2010 (consumo – produção)); MIF = 179,07 g abiótico/g; 236,39 g água/g; 1,16 g ar/g; materiais = 3,84E+13 g abiótico/ano; 5,07E+13 g água/ano.

**zinco** = 9,48E+10 g/ano (MME, 2010 (consumo – produção)); MIF = 21,76 g abiótico/g; 305,10 g água/g; 8,28 g ar/g; materiais = 2,06E+12 g abiótico/ano; 2,89E+13 g água/ano.

**total de materiais** = 8,08E+15 g abiótico/ano; 1,88E+17 g água/ano.

**16. Fertilizantes.** fertilizantes = 9,54E+12 g/ano (MDIC, 2010); MIF = 17,47 g abiótico/g; 67,16 g água/g; materiais = 1,67E+14 g abiótico/ano; 6,41E+14 g água/ano.

**17. Papel.** papel = 0,00E+00 g/ano (IBGE, 2008 (produção maior que consumo)).

**18. Cimento.** cimento = 1,97E+13 g/ano (IBGE, 2008 (consumo – produção)); MIF = 3,22 g abiótico/g; 16,90 g água/g; materiais = 6,36E+13 g abiótico/ano; 3,34E+14 g água/ano.

**19. Celulose.** celulose = 0,00E+00 g/ano (IBGE, 2008 (produção maior que consumo))

**20. Eletricidade.** eletricidade = 5,14E+16 J/ano (SESP, 2008); MIF = 4,78E-04 g abiótico/J; 9,04E-03 g água/J; materiais = 2,05E+14 g abiótico/ano; 3,87E+15 g água/ano.

### EXPORTAÇÃO

**21. Etanol.** etanol = 5,19E+12 g/ano (SESP, 2008 (produção - consumo)); MIF = 4,85 g abiótico/g; 0,24 g biótico/g; 350,30 g água/g ; materiais = 2,52E+13 g abiótico/ano; 1,24E+12 g biótico/ano; 1,82E+15 g água/ano.

**22. Metais.** metais = 0,00E+00 g/ano (MME, 2010 (consumo maior que produção)).

**23. Fertilizantes.** fertilizantes = dados não disponíveis.

**24. Papel.** papel = 9,73E+11 g/ano (IBGE, 2008 (produção – consumo)); MIF = 9,17 g abiótico/g; 303,00 g água/g; materiais = 8,92E+12 g abiótico/ano; 2,95E+14 g água/ano.

**25. Cimento.** cimento = 0,00E+00 g/ano (IBGE, 2008 (consumo maior que produção)).

**26. Celulose.** celulose = 1,64E+12 g/ano (IBGE, 2008 (produção – consumo)); MIF = 1,71 g abiótico/g; 6,70 g água/g; materiais = 2,81E+12 g abiótico/ano; 1,10E+13 g água/ano.

**27. Eletricidade.** eletricidade = 0,00E+00 J/ano (SESP, 2008 (consumo maior que produção)).

## 9.2.3. Análise de Energia Incorporada

Legenda:

EIF = energy intensity factor

EIFs fornecidos por Biondi, Panaro e Pellizzi (1989), exceto para cana-de-açúcar fornecidos por Agostinho e Ortega (2012), para peixes fornecidos por Russo, Ascione e Franzese (2004) e para eletricidade fornecidos por Odum, Brown e Brandt-Williams (2000).

Todos os dados de entrada com suas respectivas conversões para as unidades necessárias e referências podem ser encontrados no item 9.1.1. Avaliação Emergética.

## 2008

### LOCAL

#### 1. Agrícola

**algodão** = 5,55E+07 kg/ano (IBGE, 2008); EIF = 5,82 MJ/kg; demanda energética = 3,23E+08 MJ/ano.

**amendoim** = 2,36E+08 kg/ano (IBGE, 2008); EIF = 5,82 MJ/kg; demanda energética = 1,38E+09 MJ/ano.

**arroz** = 8,19E+07 kg/ano (IBGE, 2008); EIF = 5,82 MJ/kg; demanda energética = 4,77E+08 MJ/ano.

**aveia** = 0,00E+00 kg/ano (IBGE, 2008).

**batata** = 7,56E+08 kg/ano (IBGE, 2008); EIF = 2,66 MJ/kg; demanda energética = 2,01E+09 MJ/ano.

**café** = 2,77E+11 g/ano (IBGE, 2008); EIF = 2,66 MJ/kg; demanda energética = 7,38E+08 MJ/ano.  
**açúcar** = 1,97E+13 g/ano (UNICA, 2011); EIF = 2,66 MJ/kg; demanda energética = 5,23E+10 MJ/ano.  
**laranja** = 1,47E+13 g/ano (IBGE, 2008); EIF = 2,66 MJ/kg; demanda energética = 3,91E+10 MJ/ano.  
**mandioca** = 9,91E+11 g/ano (IBGE, 2008); EIF = 2,66 MJ/kg; demanda energética = 2,64E+09 MJ/ano.  
**milho** = 4,67E+12 g/ano (IBGE, 2008); EIF = 5,82 MJ/kg; demanda energética = 2,72E+10 MJ/ano.  
**soja** = 1,45E+12 g/ano (IBGE, 2008); EIF = 5,82 MJ/kg; demanda energética = 8,42E+09 MJ/ano.  
**trigo** = 1,70E+11 g/ano (IBGE, 2008); EIF = 5,82 MJ/kg; demanda energética = 9,87E+08 MJ/ano.  
**demanda energética total** = 1,36E+11 MJ/ano.

## 2. Pecuária

**carne** = 4,32E+10 g/ano (IBGE, 2008 (6% do total do Brasil)); EIF = 41,01 MJ/kg; demanda energética = 1,77E+09 MJ/ano.

**leite** = 1,74E+12 g/ano (IBGE, 2008); EIF = 9,61 MJ/kg; demanda energética = 1,67E+10 MJ/ano

**demanda energética total** = 1,85E+10 MJ/ano.

**3. Pesca.** peixe = 5,51E+10 g/ano (IBAMA, 2007); EIF = 38,67 MJ/kg; demanda energética = 2,13E+09 MJ/ano.

**4. Madeira.** madeira = 1,23E+10 kg/ano (IBGE, 2008 (21,35% do total do Brasil)); EIF = 5,00 MJ/kg; demanda energética = 6,16E+10 MJ/ano.

**5. Consumo de água.** consumo de água = 2,26E+13 kg/ano (FAO, 2010 (estimado pelo fator SP)); EIF = 0,01 MJ/kg; demanda energética = 1,24E+11 MJ/ano.

**6. Eletricidade.** eletricidade = 4,28E+17 J/ano (SESP, 2008); EIF = 2,50E-06 MJ/J; demanda energética = 6,32E+06 MJ/ano.

**7. Etanol.** etanol = 3,64E+10 kg/ano (SESP, 2008); EIF = 2,60 MJ/kg; demanda energética = 9,45E+11 MJ/ano.

**8. Carvão.** carvão = 0,00E+00 kg/ano (SESP, 2008).

**9. Gás natural.** gás natural = 1,53E+08 kg/ano (SESP, 2008); 1,53E+08 kg/ano; EIF = 48,15 MJ/kg; demanda energética = 7,37E+09 MJ/ano.

**10. Petróleo.** petróleo = 0,00E+00 kg/ano (SESP, 2008).

**11. Fertilizantes.** fertilizantes = dados não disponíveis.

## 12. Metais

**ligas de ferro** = 4,12E+09 kg/ano (MME, 2010); EIF = 28,76 MJ/kg; demanda energética = 1,18E+11 MJ/ano.

**ferro gusa** = 6,71E+09 kg/ano (MME, 2010); EIF = 28,76 MJ/kg; demanda energética = 1,93E+11 MJ/ano.

**demanda energética total** = 3,11E+11 MJ/ano.

## IMPORTAÇÃO

### 13. Combustíveis

**petróleo** = 2,21E+10 kg/ano (SESP, 2008 (consumo – produção)); EIF = 62,80 MJ/kg; demanda energética = 1,39E+12 MJ/ano.

**carvão** = 2,33E+09 kg/ano (SESP, 2008 (consumo – produção)); EIF = 48,15 MJ/kg; demanda energética = 1,12E+11 MJ/ano.

**gás natural** = 3,67E+09 kg/ano (SESP, 2008 (consumo – produção)); EIF = 48,15 MJ/kg; demanda energética = 1,77E+11 MJ/ano.

**demanda energética total** = 1,68E+12 MJ/ano.

### 14. Metais

**ligas de ferro** = 3,70E+11 kg/ano (IBGE, 2008 (consumo – produção)); EIF = 28,76 MJ/kg; demanda energética = 1,06E+13 MJ/ano.

**ferro gusa** = 4,17E+09 kg/ano (IBGE, 2008 (consumo – produção)); EIF = 28,76 MJ/kg; demanda energética = 1,20E+11 MJ/ano.

**alumínio** = 3,53E+08 kg/ano (MME, 2010 (consumo – produção)); EIF = 284,55 MJ/kg; demanda energética = 1,00E+11 MJ/ano.

**cobre** = 2,15E+08 kg/ano (MME, 2010 (consumo – produção)); EIF = 92,52 MJ/kg; demanda energética = 1,99E+10 MJ/ano; demanda energética total = 1,09E+13 MJ/ano.

**15. Fertilizantes.** fertilizantes = 9,54E+09 kg/ano (MDIC, 2010); EIF = 31,97 MJ/kg; demanda energética = 3,05E+11 MJ/ano.

### 16. Agrícola

**algodão** = 9,21E+08 kg/ano (IBGE, 2008 (consumo – produção)); EIF = 5,82 MJ/kg; demanda energética = 5,36E+09 MJ/ano.

**amendoim** = 0,00E+00 kg/ano (IBGE, 2008 (produção maior que consumo)).

**arroz** = 4,91E+09 kg/ano (IBGE, 2008 (consumo – produção)); EIF = 5,82 MJ/kg; demanda energética = 2,86E+10 MJ/ano.

**aveia** = 9,04E+07 kg/ano (IBGE, 2008 (consumo – produção)); EIF = 5,82 MJ/kg; demanda energética = 5,26E+08 MJ/ano.

**batata** = 5,49E+08 kg/ano (IBGE, 2008 (consumo – produção)); EIF = 2,66 MJ/kg; demanda energética = 1,46E+09 MJ/ano.

**café** = 4,97E+07 kg/ano (IBGE, 2008 (consumo – produção)); EIF = 2,66 MJ/kg; demanda energética = 1,32E+08 MJ/ano.

**açúcar** = 0,00E+00 kg/ano (IBGE, 2008 (produção maior que consumo)).

**laranja** = 0,00E+00 kg/ano (IBGE, 2008 (produção maior que consumo)).

**mandioca** = 8,92E+09 kg/ano (IBGE, 2008 (consumo – produção)); EIF = 2,66 MJ/kg; demanda energética = 2,37E+10 MJ/ano.

**milho** = 1,11E+10 kg/ano (IBGE, 2008 (consumo – produção)); EIF = 5,82 MJ/kg; demanda energética = 6,45E+10 MJ/ano.

**soja** = 1,04E+10 kg/ano (IBGE, 2008 (consumo – produção)); EIF = 5,82 MJ/kg; demanda energética = 6,03E+10 MJ/ano.

**trigo** = 4,21E+09 kg/ano (IBGE, 2008 (consumo – produção)); EIF = 5,82 MJ/kg; demanda energética = 2,45E+10 MJ/ano.

**demanda energética total** = 2,09E+11 MJ/ano.

#### 17. Pecuária

**carne** = 6,76E+09 kg/ano (IBGE, 2008 (consumo – produção)); EIF = 41,01 MJ/kg; demanda energética = 2,77E+11 MJ/ano.

**leite** = 5,13E+09 kg/ano (IBGE, 2008 (consumo – produção)); EIF = 9,61 MJ/kg; demanda energética = 4,94E+10 MJ/ano.

**demanda energética total** = 3,27E+11 MJ/ano.

**18. Pesca.** peixe = 4,11E+11 g/ano (IBAMA, 2007 (consumo – produção)); EIF = 38,67 MJ/kg; demanda energética = 1,59E+10 MJ/ano.

**19. Maquinário e transporte.** maquinário = 1,07E+11 g/ano (MDIC, 2010 (importação do exterior)).

**ferro e aço** = 8,75E+07 kg/ano (82% (Jarach, 1985)); EIF = 28,76 MJ/kg; demanda energética = 2,52E+09 MJ/ano.

**alumínio** = 1,49E+07 kg/ano (14% (Jarach, 1985)); EIF = 284,55 MJ/kg; demanda energética = 4,25E+09 MJ/ano.

**plásticos** = 1,07E+06 kg/ano (1% (Jarach, 1985)); EIF = 94,02 MJ/kg; demanda energética = 1,00E+08 MJ/ano.

**cobre** = 3,20E+06 kg/ano (3% (Jarach, 1985)); EIF = 92,52 MJ/kg; demanda energética = 2,96E+08 MJ/ano.

**demanda energética total** = 7,16E+09 MJ/ano.

**20. Eletricidade.** eletricidade = 2,16E+17 J/ano (SESP, 2008 (consumo – produção)); EIF = 2,50E-06 MJ/J; demanda energética = 5,40E+11 MJ/ano.

### EXPORTAÇÃO

**21. Combustíveis.** petróleo = 0,00E+00 kg/ano (SESP, 2008 (consumo maior que produção)).

**22. Etanol.** etanol = 5,19E+09 kg/ano (SESP, 2008 (produção – consumo)); EIF = 2,60 MJ/kg; demanda energética = 1,35E+10 MJ/ano.

**23. Metais.** metais = 0,00E+00 kg/ano (IBGE, 2008 (consumo maior que produção)).

**24. Fertilizantes.** fertilizantes = dado não disponível.

#### 25. Agrícola

**algodão** = 0,00E+00 kg/ano (IBGE, 2008 (consumo maior que produção)).

**amendoim** = 1,25E+08 kg/ano (IBGE, 2008 (produção maior que consumo)); EIF = 5,82 MJ/kg; demanda energética = 7,27E+08 MJ/ano.

**arroz** = 0,00E+00 kg/ano (IBGE, 2008 (consumo maior que produção)).

**aveia** = 0,00E+00 kg/ano (IBGE, 2008 (consumo maior que produção)).

**batata** = 0,00E+00 kg/ano (IBGE, 2008 (consumo maior que produção)).

**café** = 0,00E+00 kg/ano (IBGE, 2008 (consumo maior que produção)).

**açúcar** = 1,05E+10 kg/ano (UNICA, 2011 (produção – consumo)); EIF = 2,66 MJ/kg; demanda energética = 2,79E+10 MJ/ano.

**laranja** = 8,51E+09 kg/ano (IBGE, 2008 (produção – consumo)); EIF = 2,66 MJ/kg; demanda energética = 2,26E+10 MJ/ano.

**mandioca** = 0,00E+00 kg/ano (IBGE, 2008 (consumo maior que produção)).

**milho** = 0,00E+00 kg/ano (IBGE, 2008 (consumo maior que produção)).

**soja** = 0,00E+00 kg/ano (IBGE, 2008 (consumo maior que produção)).

**aveia** = 0,00E+00 kg/ano (IBGE, 2008 (consumo maior que produção)).

**demanda energética total** = 5,12E+10 MJ/ano.

**26. Produtos animais.** produtos = 0,00E+00 kg/ano (IBGE, 2008 (consumo maior que produção)).

**27. Pesca.** peixe = 0,00E+00 kg/ano (IBAMA, 2007 (consumo maior que produção)).

**28. Maquinário e transporte.** maquinário = 3,07E+08 kg/ano (MDIC, 2010 (exportação para o exterior)).

**aço e ferro** = 2,52E+08 kg/ano (82% (Jarach, 1985)); EIF = 28,76 MJ/kg; demanda energética = 7,25E+09 MJ/ano.

**alumínio** = 4,30E+07 kg/ano (14% (Jarach, 1985)); EIF = 284,55 MJ/kg; demanda energética = 1,22E+10 MJ/ano.

**plásticos** = 3,07E+06 kg/ano (1% (Jarach, 1985)); EIF = 94,02 MJ/kg; demanda energética = 2,89E+08 MJ/ano.  
**cobre** = 9,22E+06 kg/ano (3% (Jarach, 1985)); EIF = 92,52 MJ/kg; demanda energética = 8,53E+08 MJ/ano.  
**demanda energética total** = 2,06E+10 MJ/ano .

**29. Eletricidade** . eletricidade = 0,00E+00 J/ano (SESP, 2008 (consumo maior que produção)).

## 9.2.4. Inventário de Emissões

Fatores de emissões gasosas da combustão de petróleo bruto em aquecedores industriais segundo EEA (2009): CO<sub>2</sub> = 73,30 g/MJ; CO = 5,00E-03 g/MJ; NO<sub>x</sub> = 0,22 g/MJ; SO<sub>2</sub> = 0,15 g/MJ; PM<sub>10</sub> = 0,02 g/MJ; N<sub>2</sub>O = 6,00E-04 g/MJ; CH<sub>4</sub> = 3,00E-03 g/MJ

Fatores de conversão de emissões gasosas equivalentes de acordo com o método CML 2 *baseline* 2000 (GUINEÉ et al., 2002): CO<sub>2</sub> equivalente: CO<sub>2</sub> = 1; N<sub>2</sub>O = 298; CH<sub>4</sub> = 25; 1,4-diclorobenzeno equivalente: NO<sub>x</sub> = 1,20; SO<sub>2</sub> = 0,10; Etileno equivalente: CO = 0,27; NO<sub>x</sub> = 0,03; SO<sub>2</sub> = 0,05; SO<sub>2</sub> equivalente: NO<sub>x</sub> = 0,50; SO<sub>2</sub> = 1,20; PO<sub>4</sub> equivalente: NO<sub>x</sub> = 0,13; N<sub>2</sub>O = 0,27

Os valores detalhados por categorias assim como as referências de cada produto analisado podem ser encontrados no item 6.2.1. Avaliação Emergética.

## 2008

### LOCAL

**1. Agrícola.** quantidade total = 4,30E+13 g/ano; demanda energética = 1,36E+11 MJ/ano; CO<sub>2</sub> = 9,94E+12 g CO<sub>2</sub>/ano; CO = 6,78E+08 g CO/ano; NO<sub>x</sub> = 2,91E+10 g NO<sub>x</sub>/ano; SO<sub>2</sub> = 2,03E+10 g SO<sub>2</sub>/ano; PM<sub>10</sub> = 2,44E+09 g PM<sub>10</sub>/ano; N<sub>2</sub>O = 8,13E+07 g N<sub>2</sub>O/ano; CH<sub>4</sub> = 4,07E+08 g CH<sub>4</sub>/ano.

**2. Pecuária.** quantidade total = 1,78E+12 g/ano; demanda energética = 1,85E+10 MJ/ano; CO<sub>2</sub> = 1,36E+12 g CO<sub>2</sub>/ano; CO = 9,25E+07 g CO/ano; NO<sub>x</sub> = 3,98E+09 g NO<sub>x</sub>/ano; SO<sub>2</sub> = 2,78E+09 g SO<sub>2</sub>/ano; PM<sub>10</sub> = 3,33E+08 g PM<sub>10</sub>/ano; N<sub>2</sub>O = 1,11E+07 g N<sub>2</sub>O/ano; CH<sub>4</sub> = 5,55E+07 g CH<sub>4</sub>/ano.

**3. Pesca.** quantidade total = 5,51E+10 g/ano; demanda energética = 2,13E+09 MJ/ano; CO<sub>2</sub> = 1,56E+11 g CO<sub>2</sub>/ano; CO = 1,06E+07 g CO/ano; NO<sub>x</sub> = 4,58E+08 g NO<sub>x</sub>/ano; SO<sub>2</sub> = 3,19E+08 g SO<sub>2</sub>/ano; PM<sub>10</sub> = 3,83E+07 g PM<sub>10</sub>/ano; N<sub>2</sub>O = 1,28E+06 g N<sub>2</sub>O/ano; CH<sub>4</sub> = 6,39E+06 g CH<sub>4</sub>/ano.

**4. Madeira.** quantidade total = 1,23E+13 g/ano; demanda energética = 6,16E+10 MJ/ano; CO<sub>2</sub> = 4,52E+12 g CO<sub>2</sub>/ano; CO = 3,08E+08 g CO/ano; NO<sub>x</sub> = 1,32E+10 g NO<sub>x</sub>/ano; SO<sub>2</sub> = 9,24E+09 g SO<sub>2</sub>/ano; PM<sub>10</sub> = 1,11E+09 g PM<sub>10</sub>/ano; N<sub>2</sub>O = 3,70E+07 g N<sub>2</sub>O/ano; CH<sub>4</sub> = 1,85E+08 g CH<sub>4</sub>/ano.

**5. Consumo de água.** quantidade total = 2,26E+16 g/ano; demanda energética = 1,24E+11 MJ/ano; CO<sub>2</sub> = 9,10E+12 g CO<sub>2</sub>/ano; CO = 6,21E+08 g CO/ano; NO<sub>x</sub> = 2,67E+10 g NO<sub>x</sub>/ano; SO<sub>2</sub> = 1,86E+10 g SO<sub>2</sub>/ano; PM<sub>10</sub> = 2,24E+09 g PM<sub>10</sub>/ano; N<sub>2</sub>O = 7,45E+07 g N<sub>2</sub>O/ano; CH<sub>4</sub> = 3,73E+08 g CH<sub>4</sub>/ano.

**6. Eletricidade.** quantidade total = 4,28E+17 J/ano; demanda energética = 1,07E+12 MJ/ano; CO<sub>2</sub> = 7,84E+13 g CO<sub>2</sub>/ano; CO = 5,35E+09 g CO/ano; NO<sub>x</sub> = 2,30E+11 g NO<sub>x</sub>/ano; SO<sub>2</sub> = 1,61E+11 g SO<sub>2</sub>/ano; PM<sub>10</sub> = 1,93E+10 g PM<sub>10</sub>/ano; N<sub>2</sub>O = 6,48E+08 g N<sub>2</sub>O/ano; CH<sub>4</sub> = 3,21E+09 g CH<sub>4</sub>/ano.

**7. Etanol.** quantidade total = 3,64E+13 g/ano; demanda energética = 9,45E+10 MJ/ano; CO<sub>2</sub> = 1,05E+13 g CO<sub>2</sub>/ano; CO = 2,34E+09 g CO/ano; NO<sub>x</sub> = 2,76E+09 g NO<sub>x</sub>/ano; SO<sub>2</sub> = 8,95E+08 g SO<sub>2</sub>/ano; PM<sub>10</sub> = 4,54E+08 g PM<sub>10</sub>/ano; N<sub>2</sub>O = 5,09E+07 g N<sub>2</sub>O/ano; CH<sub>4</sub> = 1,13E+07 g CH<sub>4</sub>/ano.

**8. Carvão.** quantidade total = 0,00E+00 g/ano.

**9. Gás natural.** quantidade total = 1,53E+11 g/ano; demanda energética = 7,37E+09 MJ/ano; CO<sub>2</sub> = 5,40E+11 g CO<sub>2</sub>/ano; CO = 3,69E+07 g CO/ano; NO<sub>x</sub> = 1,58E+09 g NO<sub>x</sub>/ano; SO<sub>2</sub> = 1,11E+09 g SO<sub>2</sub>/ano; PM<sub>10</sub> = 1,33E+08 g PM<sub>10</sub>/ano; N<sub>2</sub>O = 4,42E+06 g N<sub>2</sub>O/ano; CH<sub>4</sub> = 2,21E+07 g CH<sub>4</sub>/ano.

**10. Petróleo.** quantidade total = 0,00E+00 g/ano.

**11. Fertilizantes.** quantidade total = dado não disponível.

**12. Metais.** quantidade total = 1,08E+16 g/ano; demanda energética = 3,11E+11 MJ/ano; CO<sub>2</sub> = 2,28E+13 g CO<sub>2</sub>/ano; CO = 1,56E+09 g CO/ano; NO<sub>x</sub> = 6,70E+10 g NO<sub>x</sub>/ano; SO<sub>2</sub> = 4,67E+10 g SO<sub>2</sub>/ano; PM<sub>10</sub> = 5,61E+09 g PM<sub>10</sub>/ano; N<sub>2</sub>O = 1,87E+08 g N<sub>2</sub>O/ano; CH<sub>4</sub> = 9,34E+08 g CH<sub>4</sub>/ano.

### IMPORTAÇÃO

**13. Combustíveis.** quantidade total = 2,81E+13 g/ano; demanda energética = 1,68E+12 MJ/ano; CO<sub>2</sub> = 1,29E+14 g CO<sub>2</sub>/ano; CO = 1,59E+11 g CO/ano; NO<sub>x</sub> = 3,55E+11 g NO<sub>x</sub>/ano; SO<sub>2</sub> = 4,53E+11 g SO<sub>2</sub>/ano; PM<sub>10</sub> = 4,20E+10 g PM<sub>10</sub>/ano; N<sub>2</sub>O = 1,75E+09 g N<sub>2</sub>O/ano; CH<sub>4</sub> = 1,34E+10 g CH<sub>4</sub>/ano.

**14. Metais.** quantidade total = 3,71E+14 g/ano; demanda energética = 1,09E+13 MJ/ano; CO<sub>2</sub> = 7,98E+14 g CO<sub>2</sub>/ano; CO = 5,44E+10 g CO/ano; NO<sub>x</sub> = 2,34E+12 g NO<sub>x</sub>/ano; SO<sub>2</sub> = 1,63E+12 g SO<sub>2</sub>/ano; PM<sub>10</sub> = 1,96E+11 g PM<sub>10</sub>/ano; N<sub>2</sub>O = 6,53E+09 g N<sub>2</sub>O/ano; CH<sub>4</sub> = 3,27E+10 g CH<sub>4</sub>/ano.

**15. Fertilizantes.** quantidade total = 9,54E+12 g/ano; demanda energética = 3,05E+11 MJ/ano; CO<sub>2</sub> = 2,24E+13 g CO<sub>2</sub>/ano; CO = 1,53E+09 g CO/ano; NO<sub>x</sub> = 6,56E+10 g NO<sub>x</sub>/ano; SO<sub>2</sub> = 4,58E+10 g SO<sub>2</sub>/ano; PM<sub>10</sub> = 5,49E+09 g PM<sub>10</sub>/ano; N<sub>2</sub>O = 1,83E+08 g N<sub>2</sub>O/ano; CH<sub>4</sub> = 9,15E+08 g CH<sub>4</sub>/ano.

**16. Agrícola.** quantidade total = 4,11E+13 g/ano; demanda energética = 2,09E+11 MJ/ano; CO<sub>2</sub> = 1,53E+13 g CO<sub>2</sub>/ano; CO = 1,05E+09 g CO/ano; NO<sub>x</sub> = 4,50E+10 g NO<sub>x</sub>/ano; SO<sub>2</sub> = 3,14E+10 g SO<sub>2</sub>/ano; PM<sub>10</sub> = 3,76E+09 g PM<sub>10</sub>/ano; N<sub>2</sub>O = 1,25E+08 g N<sub>2</sub>O/ano; CH<sub>4</sub> = 6,27E+08 g CH<sub>4</sub>/ano.

**17. Pecuária.** quantidade total = 1,19E+13 g/ano; demanda energética = 3,27E+11 MJ/ano; CO<sub>2</sub> = 2,40E+13 g CO<sub>2</sub>/ano; CO = 1,63E+09 g CO/ano; NO<sub>x</sub> = 7,03E+10 g NO<sub>x</sub>/ano; SO<sub>2</sub> = 4,90E+10 g SO<sub>2</sub>/ano; PM<sub>10</sub> = 5,88E+09 g PM<sub>10</sub>/ano; N<sub>2</sub>O = 1,96E+08 g N<sub>2</sub>O/ano; CH<sub>4</sub> = 9,80E+08 g CH<sub>4</sub>/ano.

**18. Pesca.** quantidade total = 4,11E+11 g/ano; demanda energética = 1,59E+10 MJ/ano; CO<sub>2</sub> = 1,16E+12 g CO<sub>2</sub>/ano; CO = 7,94E+07 g CO/ano; NO<sub>x</sub> = 3,42E+09 g NO<sub>x</sub>/ano; SO<sub>2</sub> = 2,38E+09 g SO<sub>2</sub>/ano; PM<sub>10</sub> = 2,86E+08 g PM<sub>10</sub>/ano; N<sub>2</sub>O = 9,53E+06 g N<sub>2</sub>O/ano; CH<sub>4</sub> = 4,77E+07 g CH<sub>4</sub>/ano.

**19. Maquinário e transporte.** quantidade total = 1,07E+11 g/ano; demanda energética = 7,19E+09 MJ/ano; CO<sub>2</sub> = 5,25E+11 g CO<sub>2</sub>/ano; CO = 3,58E+07 g CO/ano; NO<sub>x</sub> = 1,54E+09 g NO<sub>x</sub>/ano; SO<sub>2</sub> = 1,07E+09 g SO<sub>2</sub>/ano; PM<sub>10</sub> = 1,29E+08 g PM<sub>10</sub>/ano; N<sub>2</sub>O = 4,30E+06 g N<sub>2</sub>O/ano; CH<sub>4</sub> = 2,15E+07 g CH<sub>4</sub>/ano.

**20. Eletricidade.** quantidade total = 2,16E+17 J/ano; demanda energética = 5,40E+11 MJ/ano; CO<sub>2</sub> = 3,96E+13 g CO<sub>2</sub>/ano; CO = 2,70E+09 g CO/ano; NO<sub>x</sub> = 1,16E+11 g NO<sub>x</sub>/ano; SO<sub>2</sub> = 8,10E+10 g SO<sub>2</sub>/ano; PM<sub>10</sub> = 9,73E+09 g PM<sub>10</sub>/ano; N<sub>2</sub>O = 3,24E+08 g N<sub>2</sub>O/ano; CH<sub>4</sub> = 1,62E+09 g CH<sub>4</sub>/ano.

## EXPORTAÇÃO

**21. Etanol.** quantidade total = 5,19E+12 g/ano; demanda energética = 1,35E+10 MJ/ano; CO<sub>2</sub> = 1,50E+12 g CO<sub>2</sub>/ano; CO = 3,34E+08 g CO/ano; NO<sub>x</sub> = 3,93E+08 g NO<sub>x</sub>/ano; SO<sub>2</sub> = 1,28E+08 g SO<sub>2</sub>/ano; PM<sub>10</sub> = 6,48E+07 g PM<sub>10</sub>/ano; N<sub>2</sub>O = 7,26E+06 g N<sub>2</sub>O/ano; CH<sub>4</sub> = 1,61E+06 g CH<sub>4</sub>/ano.

**22. Metais.** quantidade total = 0,00E+00 g/ano.

**23. Fertilizantes.** quantidade total = dado não disponível.

**24. Agrícola.** quantidade total = 1,91E+13 g/ano; demanda energética = 5,12E+10 MJ/ano; CO<sub>2</sub> = 3,76E+12 g CO<sub>2</sub>/ano; CO = 2,56E+08 g CO/ano; NO<sub>x</sub> = 1,10E+10 g NO<sub>x</sub>/ano; SO<sub>2</sub> = 7,69E+09 g SO<sub>2</sub>/ano; PM<sub>10</sub> = 9,22E+08 g PM<sub>10</sub>/ano; N<sub>2</sub>O = 3,07E+07 g N<sub>2</sub>O/ano; CH<sub>4</sub> = 1,54E+08 g CH<sub>4</sub>/ano.

**25. Pecuária.** quantidade total = 0,00E+00 g/ano.

**26. Pesca.** quantidade total = 0,00E+00 g/ano.

**27. Maquinário e transporte.** quantidade total = 3,07E+11 g/ano; demanda energética = 2,06E+10 MJ/ano; CO<sub>2</sub> = 1,51E+12 g CO<sub>2</sub>/ano; CO = 1,03E+08 g CO/ano; NO<sub>x</sub> = 4,44E+09 g NO<sub>x</sub>/ano; SO<sub>2</sub> = 3,10E+09 g SO<sub>2</sub>/ano; PM<sub>10</sub> = 3,72E+08 g PM<sub>10</sub>/ano; N<sub>2</sub>O = 1,24E+07 g N<sub>2</sub>O/ano; CH<sub>4</sub> = 6,19E+07 g CH<sub>4</sub>/ano.

**28. Eletricidade.** quantidade total = 0,00E+00 J/ano.

## 9.2.5. Pegada Ecológica

População do estado de São Paulo em 2008 = 41.460.866 (SEADE, 2011).

2008

### Biocapacidade

**1. cultivo** = 7,96E+06 ha (SAASP, 2008); fator de equivalência = 2,21 ha/ha (Kitzes et al., 2007); biocapacidade = 1,76E+07 ha; biocapacidade por pessoa = 0,42 ha/pessoa.

**2. pastagem** = 8,07E+06 ha (SAASP, 2008); fator de equivalência = 0,49 ha/ha (Kitzes et al., 2007); biocapacidade = 3,96E+06 ha; biocapacidade por pessoa = 0,10 ha/pessoa.

**3. urbana** = 3,70E+05 ha (SAASP, 2008); fator de equivalência = 2,21 ha/ha (Kitzes et al., 2007); biocapacidade = 8,17E+05 ha; biocapacidade por pessoa = 0,02 ha/pessoa.

**4. pesca** = 2,75E+04 ha (CIA, 2008) = 0,36 ha/ha (Kitzes et al., 2007); biocapacidade = 9,90E+03 ha; biocapacidade por pessoa = 0,00 ha/pessoa.

**5. floresta natural** = 2,43E+06 ha (SAASP, 2008); fator de equivalência = 1,34 ha/ha (Kitzes et al., 2007); biocapacidade = 3,26E+06 ha; biocapacidade por pessoa = 0,08 ha/pessoa.

### Pegada

**1. cultivo** = 4,30E+10 kg/ano (IBGE, 2008); importação = 4,11E+10 kg/ano (IBGE, 2008); exportação = 1,91E+10 kg/ano (IBGE, 2008); consumo = 6,50E+10 kg/ano (produção + importação - exportação); área real = 7,96E+06 ha (SAASP, 2008); produtividade = 5,41E+03 kg/ha (produção / área); área do consumo = 1,20E+07 ha (consumo / produtividade); fator de equivalência = 2,21 ha/ha (Kitzes et al., 2007); pegada = 2,66E+07 ha; pegada por pessoa = 0,64 ha/pessoa.

**2. cana-de-açúcar** = 3,64E+10 kg/ano (UNICA, 2011); importação = 0,00E+00 kg/ano (UNICA, 2011); exportação = 5,19E+09 kg/ano (SESP, 2008); consumo = 3,12E+10 (produção + importação - exportação); produtividade = 7,4E+03 kg/ha (MCTI, 2010); área do consumo = 4,22E+06 ha (consumo/ produtividade); fator de equivalência = 2,21 ha/ha (Kitzes et al., 2007); pegada = 9,32E+06; pegada por pessoa = 0,22 ha/pessoa.

**3. pecuária** = 1,78E+12 kg/ano (IBGE, 2008); importação = 1,19E+13 kg/ano (consumo maior que produção); exportação = 0,00E+00 kg/ano; consumo = 1,37E+13 kg/ano; (produção + importação – exportação); área real = 8,07E+06 ha (SAASP, 2008); produtividade = 2,21E+05 kg/ha (produção / área); área do consumo = 6,19E+07 ha (consumo / produtividade); fator de equivalência = 0,49 ha/ha (Kitzes et al., 2007); pegada = 3,04E+07 ha; pegada por pessoa = 0,73 ha/pessoa.

**4. urbana** = 3,70E+05 ha (SAASP, 2008); fator de equivalência = 2,21 ha/ha (Kitzes et al., 2007); pegada = 8,17E+05 ha; pegada por pessoa = 0,02 ha/pessoa.

**5. pesca** = 5,51E+07 kg/ano (IBAMA, 2007); importação = 4,11E+08 kg/ano (consumo maior que produção); exportação = 0,00E+00 kg/ano; consumo = 4,66E+08 kg/ano (produção + importação – exportação); área real = 2,75E+04 ha (CIA, 2008); produtividade = 1,69E+04 kg/ha (produção / área); área do consumo = 2,75E+04 ha (consumo / produtividade); fator de equivalência = 0,36 ha/ha (Kitzes et al., 2007); pegada = 9,90E+03 ha; pegada por pessoa = 0,00 ha/pessoa.

**6. floresta (madeira)** = 1,23E+10 kg/ano (IBGE, 2008); importação = 0,00E+00 kg/ano; exportação = 0,00E+00 kg/ano; consumo = 1,23E+10 kg/ano (produção + importação – exportação); produtividade = 1,00E+04 kg/ha (IBGE, 2008); área do consumo = 1,23E+06 ha (consumo / produtividade); fator de equivalência = 1,34 ha/ha (Kitzes et al., 2007); pegada = 1,65E+06 ha; pegada por pessoa = 0,04 ha/pessoa.

**7. emissões de CO<sub>2</sub> eq** = 0,14 Gton CO<sub>2</sub> eq/ano (CETESB, 2010); emissões de CO<sub>2</sub> eq em terra firme = 0,03 Gton CO<sub>2</sub> eq/ano; emissões de CO<sub>2</sub> eq nos oceanos = 0,11 Gton CO<sub>2</sub> eq/ano; capacidade de seqüestro de CO<sub>2</sub> do planeta = 3,0 Gton C/ano (Penman et al., 2003) = 11,0 Gton CO<sub>2</sub>/ano (mm CO<sub>2</sub> = 44g / C = 12g / O = 16g); capacidade de seqüestro de CO<sub>2</sub> de oceanos = 8,43 Gton CO<sub>2</sub>/ano (Penman et al., 2003 (76,67%)); área dos oceanos = 3,67E+10 ha; taxa de seqüestro de CO<sub>2</sub> por oceanos = 2,30E-10 Gton CO<sub>2</sub>/ha/ano; capacidade de seqüestro de CO<sub>2</sub> da terra firme = 2,57 Gton CO<sub>2</sub>/ano (Penman et al., 2003 (23,33%)); área da terra firme = 1,44E+10 ha; taxa de seqüestro de CO<sub>2</sub> por terra firme = 1,78E-10 Gton CO<sub>2</sub>/ha/ano; área de seqüestro de CO<sub>2</sub> = emissões de CO<sub>2</sub> \* (1 – fração absorvida por oceanos) / taxa de seqüestro; área de seqüestro de CO<sub>2</sub> = 1,88E+08 ha; fator de equivalência = 1,34 ha/ha (Kitzes et al., 2007); pegada por pessoa = 6,09 ha/pessoa.

## 9.3. Memorial de cálculo para o município de Campinas

### 9.3.1. Avaliação Emergética

Fontes Renováveis

Nesta seção são apresentados os cálculos referentes às fontes renováveis de energia do município de Campinas.

Legenda:

UEV = unit emery value = fatores de intensidade emergética (transformidade e emergia específica)

AET = actual evapotranspiration = evapotranspiração

RO = runoff = escoamento superficial

2008

**1. Radiação solar.** área de terra = 7,96E+08 m<sup>2</sup> (SEADE, 2011); radiação = 4,31E+00 kWh/m<sup>2</sup>/dia (NASA, 2011); energia = radiação (kWh/m<sup>2</sup>/dia) \* 3,60E+06 (J/kWh) \* 365 dias/ano \* área (m<sup>2</sup>) \* (1 – 0,20 albedo) = 3,61E+18 J/ano; UEV = 1 seJ/J (ODUM, 1996); emergia = 3,61E+18 seJ/ano.

**2. Calor interno.** área de terra = 7,96E+08 m<sup>2</sup> (SEADE, 2011); fluxo de calor = 1,87E+06 J/m<sup>2</sup>/ano (SCLATER; TAUPART; GALSON, 1980); energia = área (m<sup>2</sup>) \* fluxo (J/m<sup>2</sup>/ano) = 1,49E+15 J/ano; UEV = 5,80E+04 seJ/J (Odum, 2000); emergia = 8,63E+19 seJ/ano.

**3. Vento.** velocidade média superficial = 2,437 m/s (NASA, 2011); velocidade média geostrófica = 4,062 m/s (assumindo ventos superficiais 0,6 \* geostróficos); densidade do ar = 1,23 kg/m<sup>3</sup> (ODUM, 1996); coeficiente de arraste = 0,001; energia = área (m<sup>2</sup>) \* 1,23 (kg/m<sup>3</sup>) \* 0,001 \* velocidade geostrófica<sup>3</sup> (m<sup>3</sup>/s<sup>3</sup>) \* 3,15E+07 (s/ano) = 1,98E+15 J/ano; UEV = 2,50E+03 seJ/J (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); emergia = 4,94E+18 seJ/ano.

**4. Água.** área de terra = 2,48E+11 m<sup>2</sup> (SEADE, 2011); precipitação média na terra = 1,49 m/ano (Carvalho; Assad, 2003); AET = 1,22 m/ano (Ahn; Tateishi, 1994 (média 1920-1980)); RO estimado = 0,8 m/ano (Fekete, 2001); elevação = 680 m (CEPAGRI, 2011).

**Chuva.** potencial químico da chuva (terra) = área (m<sup>2</sup>) \* precipitação (m/ano) \* 1000 (kg/m<sup>3</sup>) \* 4940 (J/kg) = 5,86E+15 J/ano; UEV potencial quím. chuva (terra) = 3,10E+04 seJ/J (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); emergia potencial químico da chuva (terra) = 1,82E+20 seJ/ano; geopotencial do RO da chuva = área (m<sup>2</sup>) \* precipitação (m) \* elevação (m) \* 1000 (kg/m<sup>3</sup>) \* 9,8 (m/s<sup>2</sup>) = 7,90E+15 J/ano; UEV geopotencial do RO da água = 4,70E+04 seJ/J (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); emergia do geopotencial do RO da chuva = 3,71E+20 seJ/ano; potencial químico do RO da chuva = área (m<sup>2</sup>) \* RO (m<sup>3</sup>) \* 1000 (kg/m<sup>3</sup>) \* 4940 (J/kg) = 3,14E+15 J/ano; UEV do pot.

químico RO da chuva =  $3,10E+04$  seJ/J (ODUM; BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); energia pot. quím. RO da chuva =  $9,75E+19$  seJ/ano.

**Evapotranspiração.** potencial químico da AET = área (m<sup>2</sup>) \* AET (m) \* 1000 (kg/m<sup>3</sup>) \* 4940 (J/kg) =  $4,80E+15$  J/ano; UEV do potencial químico da AET =  $3,10E+04$  seJ/J (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); energia potencial químico da AET =  $1,49E+20$  seJ/ano.

**maior fluxo renovável** =  $3,71E+20$  seJ/ano (maior renovável entre todos).

### **Transformações internas, extrações internas não renováveis, importações, exportações, serviços e fluxos monetários**

Fator Campinas/SP: o fator é utilizado para estimativas sobre consumo de produtos não disponível na literatura acerca do município de Campinas. O fator Campinas/SP relaciona tamanho da população e PIB.

Fator Campinas/SP = (PIB per capita Campinas/PIB per capita SP) \* (população de Campinas/população de SP) = 0,03.

Por exemplo: se SP consome o produto X em A g/ano, o consumo estimado de Campinas será de  $0,03*A$  g/ano. Sabendo-se o valor de produção do estado, é possível estimar se há importação ou exportação, subtraindo-se a produção de X pelo consumo  $0,03*A$ . Caso o valor obtido seja negativo, considera-se que houve importação. Se o valor for positivo, significa que nem toda a produção é consumida internamente e que, portanto, o excedente é exportado seja para dentro do estado ou do país, seja para fora do país.

---

## 2008

### **LOCAL**

**Agricultura.** agricultura = dados não disponíveis.

**Pecuária.** pecuária = dados não disponíveis.

**Pesca.** peixes = dados não disponíveis.

**Lenha.** lenha = dados não disponíveis.

**Madeira.** madeira = dados não disponíveis.

**Consumo de água.** total do Brasil =  $5,93E+10$  m<sup>3</sup>/ano (FAO, 2010); total SP =  $2,25E+10$  m<sup>3</sup>/ano (estimado pelo fator SP); total Campinas =  $6,04E+08$  m<sup>3</sup>/ano (estimado pelo fator Campinas); energia = consumo de água (m<sup>3</sup>/ano) \* 1000 (kg/m<sup>3</sup>) \* 4940 (J/kg) =  $2,98E+15$  J/ano; UEV =  $2,40E+05$  seJ/J (BUENFIL, 2001 (aquífero da Flórida)); energia =  $7,16E+20$  seJ/ano.

**Hidroeletricidade.** hidroeletricidade = dados não disponíveis.

**Uso total de eletricidade.** uso total de eletricidade =  $2,66E+09$  kWh/ano (SEADE, 2011); eletricidade = eletricidade (kWh/ano) \*  $3,60E+06$  (J/kWh) =  $9,58E+15$  J/ano; UEV =  $3,36E+05$  seJ/J (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); energia =  $3,22E+21$  seJ/ano.

**5. Perda de florestas.** densidade da biomassa =  $2,10E+02$  ton/ha (Penman et al., 2003); mudança média do uso da terra em SP =  $4,17E+03$  ha/ano (SMASP, 2008); mudança do uso da terra em Campinas =  $1,33E+01$ ha/ano (estimado pela área de Campinas/SP (0,32%)); uso não renovável de florestas = densidade da biomassa (ton/ha) \* mudança no uso da terra (ha) =  $2,80E+03$  ton/ano; energia = uso florestal (ton/ano) \*  $1,80E+10$  (J/ton) =  $5,04E+13$  J/ano; UEV =  $5,86E+04$  seJ/J (ODUM, 1996 (biomassa da madeira)); energia =  $2,95E+18$  seJ/ano.

**6. Pesca acima do limite sustentável.** perda de peixes = dados não disponíveis.

**7. Extração não renovável de água.** extração não renovável de água =  $0,00E+00$  m<sup>3</sup>/ano (FAO, 2010).

**8. Perda de solo: matéria orgânica.** cultura permanente =  $1,70E+07$  g/ha/ano (PROJETO ECOAGRI, 2006: cultura anual 17 ton/ha/ano); cultura temporária =  $9,84E+06$  g/ha/ano (PROJETO ECOAGRI, 2006: cultura temporária cana: 9,84 ton/ha/ano); pastagem =  $1,00E+07$  g/ha/ano (PROJETO ECOAGRI, 2006: 10 ton/ha/ano); cultura permanente =  $1,86E+03$  ha (SAASP, 2008); cultura temporária =  $4,64E+03$  ha (SAASP, 2008); pastagem =  $2,44E+04$  ha (SAASP, 2008); cultura permanente =  $3,16E+10$  g/ano; cultura temporária =  $4,57E+10$  g/ano; pastagem =  $2,44E+11$  g/ano; matéria orgânica no solo = 5%; matéria orgânica cultura permanente =  $1,58E+09$  g/ano; matéria orgânica cultura temporária =  $2,28E+09$  g/ano; matéria orgânica pastagem =  $1,22E+10$  g/ano; conteúdo energético da matéria orgânica = 5,4 kcal/g; total de energia = matéria orgânica total (g/ano) \* 5,4 (kcal/g) \* 4186 (J/kcal) =  $3,63E+14$  J/ano; UEV =  $1,24E+05$  seJ/J (BARGIGLI; ULGIATI, 2003); energia =  $4,51E+19$  seJ/ano.

**Etanol.** etanol = dados não disponíveis.

**9. Carvão.** carvão = dados não disponíveis.

**10. Gás natural.** gás natural = dados não disponíveis.

**11. Petróleo.** petróleo = dados não disponíveis.

**12. Minerais.** minerais = dados não disponíveis.

**13. Metais.** metais = dados não disponíveis.

### **IMPORTAÇÃO**

#### 14. Combustíveis

**petróleo** = 6,57E+08 L/ano (SEADE, 2011 (consumo – produção)); energia = petróleo (L/ano) \* 3,50E+07 (J/L) (IEA, 2011) = 2,30E+16 J/ano; UEV = 9,06E+04 seJ/J (BROWN; ULGIATI, 2004); emergia = 2,08E+21 seJ/ano.

**carvão** = 0,00E+00 toe/ano (SEADE, 2011).

**gás natural** = 4,59E+07 m<sup>3</sup>/ano (SEADE, 2011); energia = gás natural (m<sup>3</sup>/ano) \* 3,83E+07 (J/m<sup>3</sup>) (IEA, 2011) = 1,76E+15 J/ano; UEV = 8,05E+04 seJ/J (BROWN; ULGIATI, 2004); emergia = 1,42E+20 seJ/ano.

**emergia total da importação de combustíveis** = 2,22E+21 seJ/ano.

**15. Etanol.** etanol = 3,07E+08 L/ano (SEADE, 2011 (consumo – produção)); energia = etanol (L/ano) \* 0,08 (kg/L) \* 7,09E+03 (kcal/kg) (IEA, 2011) \* 4186 (J/kcal) = 7,29E+15 J/ano; UEV = 1,30E+05 seJ/J (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); emergia = 9,48E+20 seJ/ano.

#### 16. Metais

**ligas de ferro** = 7,06E+11 g/ano (IBGE, 2008 (estimado pelo fator Campinas)); UEV = 4,25E+06 seJ/g (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000 (produtos de ferro e aço)); emergia = 3,00E+18 seJ/ano .

**ferro gusa** = 2,05E+10 g/ano (IBGE, 2008 (estimado pelo fator Campinas)); UEV = 5,43E+09 seJ/g (BARGIGLI; ULGIATI, 2003); emergia = 1,11E+20 seJ/ano.

**alumínio** = 6,65E+18 g/ano (IBGE, 2008 (estimado pelo fator Campinas)); UEV = 7,76E+08 seJ/g (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); emergia = 5,16E+17 seJ/ano.

**cobre** = 4,04E+08 g/ano (IBGE, 2008 (estimado pelo fator Campinas)); UEV = 3,36E+09 seJ/g (BROWN; ULGIATI, 2004); emergia = 1,36E+18 seJ/ano.

**zinco** = 1,79E+08 g/ano (IBGE, 2008 (estimado pelo fator Campinas)); UEV = 1,14E+11 seJ/g (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); emergia = 2,04E+19 seJ/ano.

**emergia total da importação de metais** = 1,37E+20 seJ/ano.

**17. Minerais.** minerais = 8,31E+12 g/ano (IBGE, 2008 (estimado pelo fator Campinas)); UEV = 2,22E+09 seJ/g (BURANAKARN, 1998); emergia = 1,84E+22 seJ/ano.

#### 18. Agricultura

**algodão** = 1,84E+09 g/ano (IBGE, 2008 (estimado pelo fator Campinas)); UEV = 2,10E+10 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002); emergia = 3,86E+19 seJ/ano.

**amendoim** = 2,10E+08 g/ano (IBGE, 2008 (estimado pelo fator Campinas)); UEV = 2,97E+10 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002); emergia = 6,24E+18 seJ/ano.

**arroz** = 9,42E+09 g/ano (IBGE, 2008 (estimado pelo fator Campinas)); UEV = 1,40E+09 seJ/g (BROWN; ULGIATI, 2004); emergia = 1,32E+19 seJ/ano.

**aveia** = 1,70E+08 g/ano (IBGE, 2008 (estimado pelo fator Campinas)); UEV = 4,40E+09 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002); emergia = 7,49E+17 seJ/ano.

**batata** = 2,46E+09 g/ano (IBGE, 2008 (estimado pelo fator Campinas)); UEV = 2,80E+09 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002); emergia = 6,89E+18 seJ/ano.

**café** = 6,16E+08 g/ano (IBGE, 2008 (estimado pelo fator Campinas)); energia = café (g/ano) \* 4,19 (kcal/g) (TACO, 2006) \* 80% \* 4186 (J/kcal) = 8,65E+12 J/ano; UEV = 1,54E+06 seJ/J (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); emergia = 1,33E+19 seJ/ano.

**açúcar** = 1,73E+10 g/ano (UNICA, 2011 (estimado pelo fator Campinas)); energia = açúcar (g/ano) \* 3,87 (kcal/g) (TACO, 2006) \* 80% \* 4186 (J/kcal) = 2,24E+14 J/ano; UEV = 1,51E+05 seJ/J (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); emergia = 3,39E+19 seJ/ano.

**laranja** = 1,16E+10 g/ano (IBGE, 2008 (estimado pelo fator Campinas)); UEV = 1,92E+09 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002); emergia = 2,24E+19 seJ/ano.

**mandioca** = 1,87E+10 g/ano (IBGE, 2008 (estimado pelo fator Campinas)); UEV = 1,62E+08 seJ/g (Rodriguez et al., 2003); emergia = 3,03E+18 seJ/ano.

**milho** = 2,97E+10 g/ano (IBGE, 2008 (estimado pelo fator Campinas)); UEV = 7,98E+04 seJ/g (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); emergia = 2,37E+15 seJ/ano.

**soja** = 2,23E+10 g/ano (IBGE, 2008 (estimado pelo fator Campinas)); UEV = 9,87E+09 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002); emergia = 2,20E+20 seJ/ano.

**trigo** = 8,25E+09 g/ano (IBGE, 2008 (estimado pelo fator Campinas)); energia = trigo (g/ano) \* 3,60 (kcal/g) (TACO, 2006) \* 80% \* 4186 (J/kcal) = 9,94E+13 J/ano; UEV = 2,67E+05 seJ/J (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); emergia = 2,66E+19 seJ/ano.

**emergia total da produção agrícola** = 3,85E+20 seJ/ano.

#### 19. Produtos animais

**carne** = 1,28E+10 g/ano (IBGE, 2008 (estimado pelo fator Campinas)); UEV = 4,85E+10 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002); emergia = 6,22E+20 seJ/ano.

**leite** = 1,30E+10 g/ano (IBGE, 2008 (estimado pelo fator Campinas)); UEV = 3,37E+10 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002); emergia = 4,37E+20 seJ/ano.

**ovos** = 1,27E+09 g/ano (IBGE, 2008 (estimado pelo fator Campinas)); UEV = 1,07E+11 seJ/g (BRANDT-WILLIAMS, 2002); emergia = 1,35E+20 seJ/ano.

**emergia total de importação** = 1,19E+21 seJ/ano.

**20. Pesca.** peixe = 8,78E+08 g/ano (IBAMA, 2007 (estimado pelo fator Campinas)); UEV = 2,78E+11 seJ/g (ODUM,

1996); emergia = 2,44E+20 seJ/ano.

**21. Maquinário e transporte.** partes de motores = 1,54E+10 g/ano (MDIC, 2010 (importação do exterior)); UEV = 1,10E+10 seJ/g (Odum et al., 1987b); emergia = 1,10E+20 seJ/ano.

**22. Eletricidade.** eletricidade = 2,66E+09 kWh/ano (SEADE, 2011); eletricidade = (kWh/ano) \* 3,60E+06 (J/kWh) = 9,58E+15 J/ano; UEV = 3,36E+05 seJ/J (ODUM, BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000); emergia = 3,22E+21 seJ/ano.

## EXPORTAÇÃO

**Combustíveis.** petróleo = 0,00E+00 toe/ano (SEADE, 2011 (consumo maior que produção)).

**Metais.** metais = 0,00E+00 g/ano (IBGE, 2008 (consumo maior que produção)).

**Minerais.** minerais = 0,00E+00 g/ano (IBRAM, 2010 (consumo maior que produção)).

**Agricultura.** agricultura = 0,00E+00 g/ano (IBGE, 2008 (consumo maior que produção)).

**Produtos pecuários.** produtos = 0,00E+00 g/ano (IBGE, 2008 (consumo maior que produção)).

**Pesca.** peixe = 0,00E+00 g/ano (IBAMA, 2007 (consumo maior que produção)).

**23. Maquinário e transporte.** partes de veículos e motores = 1,27E+10 g/ano (MDIC, 2010 (exportados para o exterior)); UEV = 1,10E+10 seJ/g (ODUM et al., 1987b); emergia = 1,39E+20 seJ/ano.

**Eletricidade.** eletricidade = 0,00E+00 toe/ano (SESP, 2008 (consumo maior que produção)).

## SERVIÇOS

emergia por dólar mundial = 2,25E+12 seJ/US\$ (SWEENEY et al., 2007 modificado); emergia por dólar nacional = 4,12E+12 seJ/US\$ (esse trabalho); emergia por dólar municipal = 1,31E+13 seJ/US\$ (esse trabalho).

**24. Importação do Brasil.** valor = 9,64E+09 US\$/ano (Vasconcellos, 2001 (estimado pelo fator Campinas)); emergia = 6,13E+22 seJ/ano (utilizando emergia por dólar nacional).

**25. Importação do exterior.** valor = 2,47E+09 US\$/ano (MDIC, 2010); emergia = 5,55E+22 seJ/ano (utilizando emergia por dólar mundial).

**26. Exportação para o Brasil.** valor = 0,00E+00 US\$/ano (dados não disponíveis ou nenhum produto relevante); emergia = 0,00E+00 seJ/ano (utilizando emergia por dólar municipal).

**27. Exportação para o exterior.** valor = 1,24E+09 US\$/ano (MDIC, 2010); emergia = 1,62E+22 seJ/ano (utilizando emergia por dólar municipal).

## 9.3.2. Mochila Ecológica

Legenda:

MIF = material intensity factor = fator de intensidade de materiais.

MIFs fornecidos por Wuppertal Institute (2003), exceto para cana-de-açúcar fornecido por Agostinho e Ortega (2012).

Todos os dados de entrada com suas respectivas conversões para as unidades necessárias e referências podem ser encontrados no item 9.3.1. Avaliação Emergética.

---

### 2008

#### LOCAL

**1. Perda de solo: matéria orgânica.** perda total = 3,21E+11 g/ano; MIF = 0,76 g abiótico/g; 0,20 g água/g; materiais = 2,44E+11 g abiótico/ano; 6,43E+10 g água/ano.

#### IMPORTAÇÃO

**2. Petróleo** = 5,37E+11 g/ano (SEADE, 2011 (consumo – produção)); MIF = 1,22 g abiótico/g; 4,30 g água/g; materiais = 6,55E+11 g abiótico/ano; 2,31E+12 g água/ano.

**3. Gás natural** = 4,29E+10 g/ano (SEADE, 2011 (consumo – produção)); MIF = 1,22 g abiótico/g; 0,50 g água/g; materiais = 5,23E+10 g abiótico/ano; 2,14E+10 g água/ano.

**4. Etanol.** etanol = 9,21E+12 g/ano (SEADE, 2011 (consumo – produção)); MIF = 4,85 g abiótico/g; 0,24 g biótico/g; 350,30 g água/g; materiais = 4,47E+13 g abiótico; 2,21E+12 g biótico; 3,23E+15 g água.

#### 5. Metais

**ligas de ferro** = 7,06E+11 g/ano (IBGE, 2008 (consumo – produção)); MIF = 21,58 g abiótico/g; 504,90 g água/g; materiais = 1,52E+13 g abiótico/ano; 3,56E+14 g água/ano.

**ferro gusa** = 2,05E+10 g/ano (IBGE, 2008 (consumo – produção)); MIF = 9,32 g abiótico/g; 81,90 g água/g; materiais = 1,91E+11 g abiótico/ano; 1,68E+12 g água/ano.

**alumínio** = 6,65E+08 g/ano (MME, 2010 (consumo – produção)); MIF = 18,98 g abiótico/g; 539,20 g água/g; materiais = 1,26E+10 g abiótico/ano; 3,59E+11 g água/ano.

**cobre** = 4,04E+08 g/ano (MME, 2010 (consumo – produção)); MIF = 179,07 g abiótico/g; 236,39 g água/g; materiais = 7,24E+10 g abiótico/ano; 9,56E+10 g água/ano.

**zinco** = 1,79E+08 g/ano (MME, 2010 (consumo – produção)); MIF = 21,76 g abiótico/g; 305,10 g água/g ; materiais = 3,89E+09 g abiótico/ano; 5,45E+10 g água/ano.

total de materiais = 1,55E+13 g abiótico/ano; 5,45E+14 g água/ano.

**6. Fertilizantes.** fertilizantes = 2,56E+11 g/ano (IBGE, 2008 (consumo – produção)); MIF = 17,47 g abiótico/g; 67,16 g água/g; materiais = 4,46E+12 g abiótico/ano; 1,72E+13 g água/ano.

**7. Papel.** papel = 8,25E+10 g/ano (IBGE, 2008 (consumo – produção)); MIF = 9,17 g abiótico/g; 303,00 g água/g; materiais = 7,56E+11 g abiótico/ano; 2,50E+13 g água/ano.

**8. Cimento.** cimento = 5,28E+11 g/ano (IBGE, 2008 (consumo – produção)); MIF = 3,22 g abiótico/g; 16,90 g água/g; materiais = 1,70E+12 g abiótico/ano; 8,92E+12 g água/ano.

**9. Celulose.** celulose = 5,52E+10 g/ano (IBGE, 2008 (consumo – produção)); MIF = 1,71 g abiótico/g; 6,70 g água/g; materiais = 9,44E+10 g abiótico/ano; 3,70E+11 g água/ano.

**10. Eletricidade.** eletricidade = 9,58E+15 J/ano (SEADE, 2011 (consumo – produção)); MIF = 4,78E-04 g abiótico/J; 9,04E-03 g água/J; materiais = 4,58E+12 g abiótico/ano; 8,66E+13 g água/ano.

## EXPORTAÇÃO

**21. Etanol.** etanol = 0,00E+00 g/ano (SEADE, 2011 (consumo maior que produção)).

**22. Metais.** metais = 0,00E+00 g/ano (IBGE, 2008 e MME, 2010 (consumo maior que produção)).

**23 Fertilizantes.** fertilizantes = 0,00E+00 g/ano (IBGE, 2008 (consumo maior que produção)).

**24. Papel.** papel = 0,00E+00 g/ano (IBGE, 2008 (consumo maior que produção)).

**25. Cimento.** cimento = 0,00E+00 g/ano (IBGE, 2008 (consumo maior que produção)).

**26. Celulose.** celulose = 0,00E+00 g/ano (IBGE, 2008 (consumo maior que produção)).

**27. Eletricidade.** eletricidade = 0,00E+00 J/ano (SEADE, 2011 (consumo maior que produção)).

## 9.3.3. Análise de Energia Incorporada

Legenda:

EIF = emergy intensity factor

EIFs fornecidos por Biondi, Panaro e Pellizzi (1989), exceto para cana-de-açúcar fornecidos por Agostinho e Ortega (2012), para peixes fornecidos por Russo, Ascione e Franzese (2004) e para eletricidade fornecidos por Odum, Brown e Brandt-Williams (2000).

Todos os dados de entrada com suas respectivas conversões para as unidades necessárias e referências podem ser encontrados no item 9.1.1. Avaliação Emergética.

---

## 2008

### LOCAL

**1. Agrícola.** agricultura = dados não disponíveis.

**2. Pecuária.** pecuária = dados não disponíveis.

**3. Pesca.** peixe = dados não disponíveis.

**4. Madeira.** madeira = dados não disponíveis.

**5. Consumo de água.** consumo de água = 6,04E+11 kg/ano (FAO, 2010 (estimado pelo fator CPS); EIF = 0,01 MJ/kg; demanda energética = 3,32E+09 MJ/ano.

**6. Eletricidade.** eletricidade = 9,58E+15 J/ano (SEADE, 2011); EIF = 2,50E-06 MJ/J; demanda energética = 2,40E+10 MJ/ano.

**7. Etanol.** etanol = dados não disponíveis.

**8. Carvão.** carvão = 0,00E+00 kg/ano.

**9. Gás natural.** gás natural = dados não disponíveis.

**10. Petróleo.** petróleo = 0,00E+00 kg/ano.

**11. Fertilizantes.** fertilizantes = dados não disponíveis.

**12. Metais.** metais = dados não disponíveis.

### IMPORTAÇÃO

#### 13. Combustíveis

**petróleo** = 4,97E+08 kg/ano (SEADE, 2011 (consumo – produção)); EIF = 62,80 MJ/kg; demanda energética = 3,12E+10 MJ/ano.

**carvão** = 0,00E+00 kg/ano (SEADE, 2011).

**gás natural** = 3,28E+07 kg/ano (SEADE, 2011 (consumo – produção)); EIF = 48,15 MJ/kg; demanda energética = 1,58E+09 MJ/ano.

**demanda energética total** = 3,28E+10 MJ/ano.

**14. Etanol.** etanol = 2,46E+08 kg/ano (SEADE, 2011 (consumo – produção)); EIF = 2,60 MJ/kg; demanda energética = 6,38E+08 MJ/ano.

#### **15. Metais**

**ligas de ferro** = 7,06E+11 g/ano (IBGE, 2008 (consumo – produção)); EIF = 28,76 MJ/kg; demanda energética = 2,03E+10 MJ/ano.

**ferro gusa** = 2,05E+10 g/ano (IBGE, 2008 (consumo – produção)); EIF = 28,76 MJ/kg; demanda energética = 5,89E+08 MJ/ano.

**alumínio** = 6,65E+08 g/ano (MME, 2010 (consumo – produção)); EIF = 284,55 MJ/kg; demanda energética = 1,89E+08 MJ/ano.

**cobre** = 4,04E+08 g/ano (MME, 2010 (consumo – produção)); EIF = 92,52 MJ/kg; demanda energética = 3,74E+07 MJ/ano.

**demanda energética total** = 2,11E+10 MJ/ano.

**16. Fertilizantes.** fertilizantes = 2,56E+11 g/ano (IBGE, 2008 (consumo – produção)); EIF = 31,97 MJ/kg; demanda energética = 8,17E+09 MJ/ano.

#### **17. Agrícola**

**algodão** = 1,84E+09 g/ano (IBGE, 2008 (consumo – produção)); EIF = 5,82 MJ/kg; demanda energética = 1,07E+07 MJ/ano.

**amendoim** = 2,10E+08 g/ano (IBGE, 2008 (consumo – produção)); EIF = 5,82 MJ/kg; demanda energética = 1,22E+06 MJ/ano.

**arroz** = 9,42E+09 g/ano (IBGE, 2008 (consumo – produção)); EIF = 5,82 MJ/kg; demanda energética = 5,48E+07 MJ/ano.

**aveia** = 1,70E+08 g/ano (IBGE, 2008 (consumo – produção)); EIF = 5,82 MJ/kg; demanda energética = 9,91E+05 MJ/ano.

**batata** = 2,46E+09 g/ano (IBGE, 2008 (consumo – produção)); EIF = 2,66 MJ/kg; demanda energética = 6,54E+06 MJ/ano.

**café** = 6,16E+08 g/ano (IBGE, 2008 (consumo – produção)); EIF = 2,66 MJ/kg; demanda energética = 1,64E+06 MJ/ano.

**açúcar** = 1,73E+10 g/ano (IBGE, 2008 (consumo – produção)); EIF = 2,66 MJ/kg; demanda energética = 4,61E+07 MJ/ano.

**laranja** = 1,16E+10 g/ano (IBGE, 2008 (consumo – produção)); EIF = 2,66 MJ/kg; demanda energética = 3,10E+07 MJ/ano.

**mandioca** = 1,87E+10 g/ano (IBGE, 2008 (consumo – produção)); EIF = 2,66 MJ/kg; demanda energética = 4,97E+07 MJ/ano.

**milho** = 2,97E+10 g/ano (IBGE, 2008 (consumo – produção)); EIF = 5,82 MJ/kg; demanda energética = 1,73E+08 MJ/ano.

**soja** = 2,23E+10 g/ano (IBGE, 2008 (consumo – produção)); EIF = 5,82 MJ/kg; demanda energética = 1,30E+08 MJ/ano.

**trigo** = 8,25E+09 g/ano (IBGE, 2008 (consumo – produção)); EIF = 5,82 MJ/kg; demanda energética = 4,80E+07 MJ/ano.

**demanda energética total** = 5,53E+08 MJ/ano.

#### **18. Pecuária**

**carne** = 1,28E+10 g/ano (IBGE, 2008 (consumo – produção)); EIF = 41,01 MJ/kg; demanda energética = 5,26E+08 MJ/ano.

**leite** = 1,30E+10 g/ano (IBGE, 2008 (consumo – produção)); EIF = 9,61 MJ/kg; demanda energética = 1,25E+08 MJ/ano.

**demanda energética total** = 6,51E+08 MJ/ano.

**19. Pesca.** peixe = 8,78E+08 g/ano (IBAMA, 2007 (consumo – produção)); EIF = 38,67 MJ/kg; demanda energética = 3,40E+07 MJ/ano.

**20. Maquinário e transporte.** maquinário = 1,54E+10 g/ano (MDIC, 2010 (importação do exterior)).

**ferro e aço** = 1,27E+10 g/ano (82% (Jarach, 1985)); EIF = 28,76 MJ/kg; demanda energética = 3,64E+08 MJ/ano.

**alumínio** = 2,16E+09 g/ano (14% (Jarach, 1985)); EIF = 284,55 MJ/kg; demanda energética = 6,15E+08 MJ/ano.

**plásticos** = 1,54E+08 g/ano (1% (Jarach, 1985)); EIF = 94,02 MJ/kg; demanda energética = 1,45E+07 MJ/ano.

**cobre** = 4,63E+08 g/ano (3% (Jarach, 1985)); EIF = 92,52 MJ/kg; demanda energética = 4,28E+07 MJ/ano.

**demanda energética total** = 1,04E+09 MJ/ano.

#### **21. Eletricidade**

**eletricidade** = 9,58E+15 J/ano (SEADE, 2011 (consumo – produção)); EIF = 2,50E-06 MJ/J; demanda energética = 2,40E+10 MJ/ano.

#### **EXPORTAÇÃO**

**22. Combustíveis.** combustíveis = 0,00E+00 toe/ano (SEADE, 2011 (consumo maior que produção)).

- 23. Metais.** metais = 0,00E+00 g/ano (IBGE, 2008 (consumo maior que produção)).
- 24. Fertilizantes.** fertilizantes = 0,00E+00 g/ano (IBGE, 2008 (consumo maior que produção)).
- 25. Agrícola.** agrícola = 0,00E+00 g/ano (IBGE, 2008 (consumo maior que produção)).
- 26. Pecuária.** pecuária = 0,00E+00 g/ano (IBGE, 2008 (consumo maior que produção)).
- 27. Pesca.** peixe = 0,00E+00 g/ano (IBAMA, 2007 (consumo maior que produção)).
- 28. Maquinário e transporte.** maquinário = 1,27E+10 g/ano (MDIC, 2010 (exportação para o exterior)).  
**aço e ferro** = 1,04E+10 g/ano (82% (Jarach, 1985)); EIF = 28,76 MJ/kg; demanda energética = 2,99E+08 MJ/ano.  
**alumínio** = 1,77E+09 g/ano (14% (Jarach, 1985)); EIF = 284,55 MJ/kg; demanda energética = 5,05E+08 MJ/ano.  
**plásticos** = 1,27E+08 g/ano (1% (Jarach, 1985)); EIF = 94,02 MJ/kg; demanda energética = 1,19E+07 MJ/ano.  
**cobre** = 3,80E+08 g/ano (3% (Jarach, 1985)); EIF = 92,52 MJ/kg; demanda energética = 3,52E+07 MJ/ano.  
**demanda energética total** = 8,51E+08 MJ/ano.
- 29. Eletricidade.** eletricidade = 0,00E+00 toe/ano (SEADE, 2011 (consumo maior que produção)).

### 9.3.4. Inventário de Emissões

Fatores de emissões gasosas da combustão de petróleo bruto em aquecedores industriais segundo EEA (2009): CO<sub>2</sub> = 73,30 g/MJ; CO = 5,00E-03 g/MJ; NO<sub>x</sub> = 0,22 g/MJ; SO<sub>2</sub> = 0,15 g/MJ; PM<sub>10</sub> = 0,02 g/MJ; N<sub>2</sub>O = 6,00E-04 g/MJ; CH<sub>4</sub> = 3,00E-03 g/MJ.

Fatores de conversão de emissões gasosas equivalentes de acordo com o método CML 2 *baseline* 2000 (GUINEÉ et al., 2002): CO<sub>2</sub> equivalente: CO<sub>2</sub> = 1; N<sub>2</sub>O = 298; CH<sub>4</sub> = 25; 1,4-diclorobenzeno equivalente: NO<sub>x</sub> = 1,20; SO<sub>2</sub> = 0,10; Etileno equivalente: CO = 0,27; NO<sub>x</sub> = 0,03; SO<sub>2</sub> = 0,05; SO<sub>2</sub> equivalente: NO<sub>x</sub> = 0,50; SO<sub>2</sub> = 1,20; PO<sub>4</sub> equivalente: NO<sub>x</sub> = 0,13; N<sub>2</sub>O = 0,27.

#### 2008

1. **Agrícola.** quantidade total = dados não disponíveis.
2. **Pecuária.** quantidade total = dados não disponíveis.
3. **Pesca.** quantidade total = dados não disponíveis.
4. **Madeira.** quantidade total = dados não disponíveis.
5. **Consumo de água.** quantidade total = 5,93E+16 g/ano; demanda energética = 3,32E+09 MJ/ano; CO<sub>2</sub> = 2,43E+11 g CO<sub>2</sub>/ano; CO = 1,66E+07 g CO/ano; NO<sub>x</sub> = 7,14E+08 g NO<sub>x</sub>/ano; SO<sub>2</sub> = 4,98E+08 g SO<sub>2</sub>/ano; PM<sub>10</sub> = 5,98E+07 g PM<sub>10</sub>/ano; N<sub>2</sub>O = 1,99E+06 g N<sub>2</sub>O/ano; CH<sub>4</sub> = 9,96E+06 g CH<sub>4</sub>/ano.
6. **Eletricidade.** quantidade total = 9,58E+15 J/ano; demanda energética = 2,40E+10 MJ/ano; CO<sub>2</sub> = 1,76E+12 g CO<sub>2</sub>/ano; CO = 1,20E+08 g CO/ano; NO<sub>x</sub> = 5,15E+09 g NO<sub>x</sub>/ano; SO<sub>2</sub> = 3,59E+09 g SO<sub>2</sub>/ano; PM<sub>10</sub> = 4,31E+08 g PM<sub>10</sub>/ano; N<sub>2</sub>O = 1,44E+07 g N<sub>2</sub>O/ano; CH<sub>4</sub> = 7,19E+07 g CH<sub>4</sub>/ano.
7. **Etanol.** quantidade total = 0,00E+00 g/ano.
8. **Carvão.** quantidade total = 0,00E+00 g/ano.
9. **Gás natural.** quantidade total = 0,00E+00 g/ano.
10. **Petróleo.** quantidade total = 0,00E+00 g/ano.
11. **Fertilizantes.** quantidade total = dados não disponíveis.
12. **Metais.** quantidade total = 0,00E+00 g/ano.

#### IMPORTAÇÃO

13. **Combustíveis.** quantidade total = 5,29E+11 g/ano; demanda energética = 3,28E+10 MJ/ano; CO<sub>2</sub> = 3,37E+12 g CO<sub>2</sub>/ano; CO = 5,28E+08 g CO/ano; NO<sub>x</sub> = 8,31E+09 g NO<sub>x</sub>/ano; SO<sub>2</sub> = 4,63E+09 g SO<sub>2</sub>/ano; PM<sub>10</sub> = 5,82E+08 g PM<sub>10</sub>/ano; N<sub>2</sub>O = 2,24E+07 g N<sub>2</sub>O/ano; CH<sub>4</sub> = 9,50E+07 g CH<sub>4</sub>/ano.
14. **Etanol.** etanol = 2,46E+11 g/ano; demanda energética = 6,38E+08 MJ/ano; CO<sub>2</sub> = 4,68E+10 g CO<sub>2</sub>/ano; CO = 3,19E+06 g CO/ano; NO<sub>x</sub> = 1,37E+08 g NO<sub>x</sub>/ano; SO<sub>2</sub> = 9,58E+07 g SO<sub>2</sub>/ano; PM<sub>10</sub> = 1,15E+07 g PM<sub>10</sub>/ano; N<sub>2</sub>O = 3,83E+05 g N<sub>2</sub>O/ano; CH<sub>4</sub> = 1,92E+06 g CH<sub>4</sub>/ano.
15. **Metais.** quantidade total = 7,07E+11 g/ano; demanda energética = 2,11E+10 MJ/ano; CO<sub>2</sub> = 1,55E+12 g CO<sub>2</sub>/ano; CO = 1,06E+08 g CO/ano; NO<sub>x</sub> = 4,54E+09 g NO<sub>x</sub>/ano; SO<sub>2</sub> = 3,17E+09 g SO<sub>2</sub>/ano; PM<sub>10</sub> = 3,80E+08 g PM<sub>10</sub>/ano; N<sub>2</sub>O = 1,27E+07 g N<sub>2</sub>O/ano; CH<sub>4</sub> = 6,33E+07 g CH<sub>4</sub>/ano.
16. **Fertilizantes.** quantidade total = 2,56E+08 g/ano; demanda energética = 8,17E+09 MJ/ano; CO<sub>2</sub> = 5,99E+11 g CO<sub>2</sub>/ano; CO = 4,08E+07 g CO/ano; NO<sub>x</sub> = 1,76E+09 g NO<sub>x</sub>/ano; SO<sub>2</sub> = 1,23E+09 g SO<sub>2</sub>/ano; PM<sub>10</sub> = 1,47E+08 g PM<sub>10</sub>/ano; N<sub>2</sub>O = 4,90E+06 g N<sub>2</sub>O/ano; CH<sub>4</sub> = 2,45E+07 g CH<sub>4</sub>/ano.
17. **Agrícola.** quantidade total = 1,23E+11 g/ano; demanda energética = 5,53E+08 MJ/ano; CO<sub>2</sub> = 4,05E+10 g CO<sub>2</sub>/ano; CO = 2,76E+06 g CO/ano; NO<sub>x</sub> = 1,19E+08 g NO<sub>x</sub>/ano; SO<sub>2</sub> = 8,29E+07 g SO<sub>2</sub>/ano; PM<sub>10</sub> = 9,95E+06 g PM<sub>10</sub>/ano; N<sub>2</sub>O = 3,32E+05 g N<sub>2</sub>O/ano; CH<sub>4</sub> = 1,66E+06 g CH<sub>4</sub>/ano.

**18. Pecuária.** quantidade total = 2,58E+10 g/ano; demanda energética = 6,51E+08 MJ/ano; CO<sub>2</sub> = 4,77E+10 g CO<sub>2</sub>/ano; CO = 3,25E+06 g CO/ano; NO<sub>x</sub> = 1,40E+08 g NO<sub>x</sub>/ano; SO<sub>2</sub> = 9,76E+07 g SO<sub>2</sub>/ano; PM<sub>10</sub> = 1,17E+07 g PM<sub>10</sub>/ano; N<sub>2</sub>O = 3,90E+05 g N<sub>2</sub>O/ano; CH<sub>4</sub> = 1,95E+06 g CH<sub>4</sub>/ano.

**19. Pesca.** quantidade total = 2,58E+10 g/ano; demanda energética = 6,51E+08 MJ/ano; CO<sub>2</sub> = 4,77E+10 g CO<sub>2</sub>/ano; CO = 3,25E+06 g CO/ano; NO<sub>x</sub> = 1,40E+08 g NO<sub>x</sub>/ano; SO<sub>2</sub> = 9,76E+07 g SO<sub>2</sub>/ano; PM<sub>10</sub> = 1,17E+07 g PM<sub>10</sub>/ano; N<sub>2</sub>O = 3,90E+05 g N<sub>2</sub>O/ano; CH<sub>4</sub> = 1,95E+06 g CH<sub>4</sub>/ano.

**20. Maquinário e transporte.** quantidade total = 1,54E+10 g/ano; demanda energética = 1,04E+09 MJ/ano; CO<sub>2</sub> = 7,59E+10 g CO<sub>2</sub>/ano; CO = 5,18E+06 g CO/ano; NO<sub>x</sub> = 2,23E+08 g NO<sub>x</sub>/ano; SO<sub>2</sub> = 1,55E+08 g SO<sub>2</sub>/ano; PM<sub>10</sub> = 1,87E+07 g PM<sub>10</sub>/ano; N<sub>2</sub>O = 6,22E+05 g N<sub>2</sub>O/ano; CH<sub>4</sub> = 3,11E+06 g CH<sub>4</sub>/ano.

**21. Eletricidade.** quantidade total = 9,58E+15 J/ano; demanda energética = 2,40E+10 MJ/ano; CO<sub>2</sub> = 1,76E+12 g CO<sub>2</sub>/ano; CO = 1,20E+08 g CO/ano; NO<sub>x</sub> = 5,15E+09 g NO<sub>x</sub>/ano; SO<sub>2</sub> = 3,59E+09 g SO<sub>2</sub>/ano; PM<sub>10</sub> = 4,31E+08 g PM<sub>10</sub>/ano; N<sub>2</sub>O = 1,44E+07 g N<sub>2</sub>O/ano; CH<sub>4</sub> = 7,19E+07 g CH<sub>4</sub>/ano.

## EXPORTAÇÃO

**22. Etanol.** quantidade total = 0,00E+00 g/ano.

**23. Metais.** quantidade total = 0,00E+00 g/ano.

**24. Fertilizantes.** quantidade total = 0,00E+00 g/ano.

**25. Agrícola.** quantidade total = 0,00E+00 g/ano.

**26. Pecuária.** quantidade total = 0,00E+00 g/ano.

**27. Pesca.** quantidade total = 0,00E+00 g/ano.

**28. Maquinário e transporte.** quantidade total = 1,27E+10 g/ano; demanda energética = 8,51E+08 MJ/ano; CO<sub>2</sub> = 6,67E+10 g CO<sub>2</sub>/ano; CO = 1,28E+07 g CO/ano; NO<sub>x</sub> = 4,34E+07 g NO<sub>x</sub>/ano; SO<sub>2</sub> = 1,28E+08 g SO<sub>2</sub>/ano; PM<sub>10</sub> = 4,94E+06 g PM<sub>10</sub>/ano; N<sub>2</sub>O = 2,89E+05 g N<sub>2</sub>O/ano; CH<sub>4</sub> = 2,64E+06 g CH<sub>4</sub>/ano.

**29. Eletricidade.** quantidade total = 0,00E+00 J/ano.

## 9.3.5. Pegada Ecológica

População de Campinas em 2008 = 1.061.290 (SEADE, 2011).

### 2008

#### BIOCAPACIDADE

**1. cultivo** = 6,50E+03 ha (SAASP, 2008); fator de equivalência = 2,21 ha/ha (Kitzes et al., 2007); biocapacidade = 1,44E+04 ha; biocapacidade por pessoa = 0,01 ha/pessoa.

**2. pastagem** = 2,44E+04 ha (SAASP, 2008); fator de equivalência = 0,49 ha/ha (Kitzes et al., 2007); biocapacidade = 1,20E+04 ha; biocapacidade por pessoa = 0,01 ha/pessoa.

**3. urbana** = 3,90E+04 ha (SAASP, 2008); fator de equivalência = 2,21 ha/ha (Kitzes et al., 2007); biocapacidade = 8,62E+04 ha; biocapacidade por pessoa = 0,08 ha/pessoa.

**4. pesca** = 0,00E+00 ha (SAASP, 2008); fator de equivalência = 0,36 ha/ha (Kitzes et al., 2007); biocapacidade = 0,00E+00 ha = biocapacidade por pessoa = 0,00 ha/pessoa.

**5. floresta natural** = 2,73E+03 ha (SAASP, 2008); fator de equivalência = 1,34 ha/ha (Kitzes et al., 2007); biocapacidade = 3,66E+03 ha; biocapacidade por pessoa = 0,00 ha/pessoa.

#### PEGADA

**1. cultivo** = 0,00E+10 kg/ano; importação = 1,23E+08 kg/ano (consumo maior que produção); exportação = 0,00E+00 kg/ano; consumo = 1,23E+08 kg/ano (estimado pelo fator CPS); área real = 6,50E+03 ha (SAASP, 2008); produtividade = 5,41E+03 kg/ha (produtividade de SP); área do consumo = 2,27E+04 ha (consumo / produtividade); fator de equivalência = 2,21 ha/ha (Kitzes et al., 2007); pegada = 5,01E+04 ha; pegada por pessoa = 0,05 ha/pessoa.

**2. pecuária** = 0,00E+00 kg/ano; importação = 1,19E+13 kg/ano (consumo maior que produção); exportação = 0,00E+00 kg/ano; consumo = 2,58E+10 kg/ano (estimado pelo fator CPS); área real = 2,44E+04 ha (SAASP, 2008); produtividade = 2,21E+05 kg/ha; produtividade de SP; área do consumo = 1,17E+05 ha (consumo / produtividade); fator de equivalência = 0,49 ha/ha (Kitzes et al., 2007); pegada = 5,72E+04 ha; pegada por pessoa = 0,05 ha/pessoa.

**3. urbana** = 3,90E+04 ha (SAASP, 2008); fator de equivalência = 2,21 ha/ha (Kitzes et al., 2007); pegada = 8,62E+04 ha; pegada por pessoa = 0,08 ha/pessoa.

**4. pesca** = 0,00E+00 kg/ano; importação = 8,78E+05 kg/ano (consumo maior que produção); exportação = 0,00E+00 kg/ano; consumo = 8,78E+05 kg/ano (estimado pelo fator CPS); área real = 0,00E+00 ha (SAASP, 2008); produtividade = 1,69E+04 kg/ha (produtividade de SP); área do consumo = 5,18E+01 ha (consumo / produtividade); fator de equivalência = 0,36 ha/ha (Kitzes et al., 2007); pegada = 1,87E+01 ha; pegada por pessoa = 0,00 ha/pessoa.

**5. floresta (madeira)** = 1,23E+10 kg/ano (IBGE, 2008); importação = 0,00E+00 kg/ano; exportação = 0,00E+00 kg/ano; consumo = 1,23E+10 kg/ano (produção + importação - exportação); produtividade = 1,00E+04 kg/ha (IBGE, 2008); área do consumo = 1,23E+06 ha (consumo / produtividade); fator de equivalência = 1,34 ha/ha (Kitzes et al., 2007); pegada = 1,65E+06 ha; pegada por pessoa = 0,04 ha/pessoa.

**6. emissões de CO<sub>2</sub> eq** = 0,0017204 Gton CO<sub>2</sub> eq/ano (CETESB, 2010); emissões de CO<sub>2</sub> eq em terra firme = 0,0004014 Gton CO<sub>2</sub> eq/ano; emissões de CO<sub>2</sub> eq nos oceanos = 0,0013190 Gton CO<sub>2</sub> eq/ano; capacidade de sequestro de CO<sub>2</sub> do planeta = 3,0 Gton C/ano (Penman et al., 2003); 11,0 Gton CO<sub>2</sub>/ano (mm CO<sub>2</sub> = 44g / C = 12g / O = 16g); capacidade de sequestro de CO<sub>2</sub> de oceanos = 8,43 Gton CO<sub>2</sub>/ano (Penman et a., 2003 (76,67%)); área dos oceanos = 3,67E+10 ha; taxa de sequestro de CO<sub>2</sub> por oceanos = 2,30E-10 Gton CO<sub>2</sub>/ha/ano; capacidade de sequestro de CO<sub>2</sub> da terra firme = 2,57 Gton CO<sub>2</sub>/ano (Penman et al., 2003 (23, 33%)); área da terra firme = 1,44E+10 ha; taxa de seq. de CO<sub>2</sub> por terra firme = 1,78E-10 Gton CO<sub>2</sub>/ha/ano; área de sequestro de CO<sub>2</sub> = emissões de CO<sub>2</sub> \* (1 – fração absorvida por oceanos) / taxa de sequestro; área de sequestro de CO<sub>2</sub> = 2,25E+06 ha; fator de equivalência = 1,34 ha/ha (Kitzes et al., 2007); pegada por pessoa = 2,84 ha/pessoa.