



**UNICAMP**

Laboratório de Engenharia Ecológica e Informática Aplicada - LEIA  
Departamento de Engenharia de Alimentos - DEA  
Faculdade de Engenharia de Alimentos - FEA

**ESTUDO DA SUSTENTABILIDADE DOS SISTEMAS DE  
PRODUÇÃO AGROPECUÁRIOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DOS  
RIOS MOGI-GUAÇÚ E PARDO ATRAVÉS DA ANÁLISE  
EMERGÉTICA**

FENI DALANO ROOSEVELT AGOSTINHO

Prof. Dr. Enrique Ortega Rodrigues  
*Orientador*

Campinas – Junho de 2009

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA FEA – UNICAMP

Ag75e Agostinho, Feni Dalano Roosevelt  
Estudo da sustentabilidade dos sistemas de produção agropecuários da bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçu e Pardo através da análise emergética / Feni Dalano Roosevelt Agostinho. -- Campinas, SP: [s.n.], 2009.

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

1. Emergia. 2. Energia. 3. Indicadores de sustentabilidade. 4. Bacia hidrográfica. I. Ortega Rodrigues, Enrique. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos. III. Título.

(cars/fea)

Titulo em inglês: Sustainability study of agricultural systems on Mogi-Guaçu and Pardo watershed through emergy analysis

Palavras-chave em inglês (Keywords): Emergy, Energy, Sustainability indicators, Watershed

Titulação: Doutor em Engenharia de Alimentos

Banca examinadora: Enrique Ortega Rodrigues

Luis Alberto Ambrósio

Ademar Ribeiro Romeiro

Marlei Roling Scariot

Mario Vito Comar

Programa de Pós Graduação: Programa em Engenharia de Alimentos



**UNICAMP**

Laboratório de Engenharia Ecológica e Informática Aplicada - LEIA  
Departamento de Engenharia de Alimentos - DEA  
Faculdade de Engenharia de Alimentos - FEA

**ESTUDO DA SUSTENTABILIDADE DOS SISTEMAS DE  
PRODUÇÃO AGROPECUÁRIOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DOS  
RIOS MOGI-GUAÇÚ E PARDO ATRAVÉS DA ANÁLISE  
EMERGÉTICA**

Tese do autor apresentada à  
banca examinadora para obtenção  
do título de Doutor em Engenharia  
de Alimentos.

FENI DALANO ROOSEVELT AGOSTINHO  
Engenheiro Agrícola - 2001  
Mestre em Engenharia de Alimentos - 2005

Prof. Dr. Enrique Ortega Rodrigues  
*Orientador*

Campinas – Junho de 2009



## BANCA EXAMINADORA

---

---

**Prof. Dr. Enrique Ortega**

Orientador – FEA/UNICAMP

---

**Dr. Luis Alberto Ambrósio**

Membro – Instituto de Zootecnia

---

**Dr. Ademar Ribeiro Romeiro**

Membro – IE/UNICAMP

---

**Dra. Marlei Roling Scariot**

Membro – Secretaria do Meio  
Ambiente do Estado de São Paulo

---

**Dr. Mario Vito Comar**

Membro – Instituto de Meio  
Ambiente e Desenvolvimento

---

**Dr. Miguel Juan Basic**

Suplente – IE/UNICAMP

---

**Dr. José Teixeira Filho**

Suplente – FEAGRI/UNICAMP

---

**Dr. José Maria Gusman Ferraz**

Suplente – EMBRAPA/CNPMA



*Dedico esta tese aos meus pais Benedito (in memoriam) e Veraluci,  
e aos meus irmãos Fernanda, Francklin, Fabiana e Frans.*



## AGRADECIMENTOS

---

A minha família, pela confiança e todo suporte oferecido durante meus estudos.

Ao Prof. Dr. Enrique Ortega, por me ensinar a pensar sistematicamente, por me apresentar a Análise Emergética e pela orientação em todos esses anos.

A todos os membros da banca, que usaram de seu precioso tempo para corrigir essa tese e sugerir mudanças para melhorar o trabalho.

A toda a equipe de trabalho do Projeto ECOAGRI, pelo fornecimento de dados primários que foram essenciais no desenvolvimento da presente tese.

Ao Professores da Università degli Study di Napoli “Parthenope”, Dr. Sérgio Ulgiati e Pier Paolo Franzese, pelos conselhos científicos sobre Análise Emergética e Análise do Ciclo de Vida.

A amada Érika, pelo companherismo e carinho durante todos esses anos.

Aos amigos do Laboratório de Engenharia Ecológica (LEIA/UNICAMP), Alexandre, Otávio, Consuelo, Lucas, Watanabe, Fábio, Raul, John, Ari, Teldes e Juliana, pelos conselhos científicos e pelas horas de descontração.

Aos amigos do grupo de pesquisa da Università degli Study di Napoli “Parthenope”, Amália, Pan Zhang, Silvio, Gabriela e Anna, pela ajuda fornecida durante meu estágio na Itália.

Aos amigos Gustavo, Japa e Doca, pelas horas de descontração.

Ao CNPq pela bolsa de Doutorado.



**“Seja a mudança que você deseja ver no mundo”**

**Mahatma Gandhi**



# ÍNDICE

<b>ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES</b> .....	<b>XV</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS</b> .....	<b>XIX</b>
<b>GLOSSÁRIO</b> .....	<b>XXI</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>XXIII</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>XXV</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>3</b>
2.1. OBJETIVO GERAL .....	3
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>5</b>
3.1. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL .....	5
3.2. ÍNDICES E INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE .....	11
3.3. ENERGIA E EMERGIA.....	17
3.3.1. <i>Diagrama sistêmico</i> .....	25
3.3.2. <i>Princípio da máxima potência emergética</i> .....	27
3.3.3. <i>Intensidade Emergética</i> .....	29
3.4. <i>PROSPEROUS WAY DOWN</i> .....	33
3.5. ELABORAÇÃO DE CENÁRIOS .....	39
3.5.1. <i>Estrutura governamental da Avaliação Ecossistêmica do Milênio</i> .....	43
3.5.2. <i>Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas</i> .....	47
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>53</b>
4.1. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	53
4.2. USO DA ANÁLISE EMERGÉTICA COM AUXÍLIO DO SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS .....	56
4.2.1. <i>Abordagem econômica-ecológica através da emergia</i> .....	66
4.3. CÁLCULO DA ÁREA DE SUPORTE (AS) .....	67
4.3.1. <i>Cálculo da área de suporte através da abordagem emergética</i> .....	68
4.3.2. <i>Cálculo da área de suporte através da abordagem da energia incorporada</i> .....	69
4.4. ESTIMATIVA DOS GASES POLUENTES EMITIDOS PELO USO DIRETO E INDIRETO DE PETRÓLEO .....	70
4.5. CÁLCULO DO ÍNDICE DA INTENSIDADE DO DESENVOLVIMENTO DA PAISAGEM (LDI).....	73
4.6. DINÂMICA DOS ÍNDICES EMERGÉTICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA.....	76
4.6.1. <i>Elaboração dos cenários específicos da bacia hidrográfica em 2050</i> .....	76
4.6.2. <i>Fluxo de emergia não-renovável para o período entre 1962 e 2050</i> .....	77
4.6.3. <i>Uso e ocupação da terra na bacia para o período entre 1962 a 2050</i> .....	78
4.6.4. <i>Algoritmo para cálculo dos índices emergéticos da bacia entre 1962 e 2050</i> .....	80
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>83</b>
5.1. DIAGNÓSTICO DOS SISTEMAS AGROPECUÁRIOS DA BACIA HIDROGRÁFICA ATRAVÉS DE INDICADORES DE DESEMPENHO EMERGÉTICO .....	86
5.1.1. <i>Abordagem econômica ecológica através da emergia</i> .....	124
5.1.2. <i>Recomendações para melhorar a sustentabilidade da bacia</i> .....	128
5.2. ÁREA DE SUPORTE .....	131
5.2.1. <i>Cálculo da área de suporte através da abordagem emergética</i> .....	131
5.2.2. <i>Cálculo da área de suporte através da abordagem da energia incorporada</i> .....	135
5.3. ESTIMATIVA DA EMISSÃO DE GASES POLUENTES .....	137
5.4. ÍNDICE DA INTENSIDADE DO DESENVOLVIMENTO DA PAISAGEM (LDI) .....	139

5.5. DINÂMICA DOS ÍNDICES EMERGÉTICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA .....	141
5.5.1. Cenários específicos da bacia hidrográfica em 2050 .....	141
5.5.2. Fluxo de energia não-renovável para o período entre 1962 e 2050 no Brasil .....	142
5.5.3. Fatores limitantes do uso e ocupação da terra para os cenários em 2050 para a bacia hidrográfica.....	145
5.5.4. Uso e ocupação da terra para o período entre 1962 e 2050 para a bacia hidrográfica .....	147
5.5.5. Dinâmica dos índices emergéticos da bacia hidrográfica.....	153
5.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	159
<b>6. CONCLUSÕES.....</b>	<b>165</b>
6.1. CONCLUSÃO DO OBJETIVO PRIMÁRIO.....	165
6.2. CONCLUSÕES DOS OBJETIVOS SECUNDÁRIOS.....	166
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>169</b>
<b>8. ADENDOS .....</b>	<b>179</b>
APÊNDICE A. DADOS BRUTOS UTILIZADOS NA ANÁLISE EMERGÉTICA.....	180
APÊNDICE B. USO DOS DADOS BRUTOS PARA OBTER OS FLUXOS DE ENERGIA, MASSA OU MONETÁRIO .....	184
APÊNDICE C. VALORES DE INTENSIDADE EMERGÉTICA (SEM MÃO-DE-OBRA E SERVIÇOS) UTILIZADAS NESTE TRABALHO.....	188
APÊNDICE D. DADOS BRUTOS DE PRODUTIVIDADE, PREÇO DE VENDA E ENERGIA DOS PRODUTOS AGROPECUÁRIOS E FLORESTAIS CONSIDERADOS NESTA TESE.....	189
APÊNDICE E. VALORES DE INTENSIDADE EMERGÉTICA UTILIZADOS NESSE TRABALHO.....	190
APÊNDICE F. USO DA TERRA DA BACIA HIDROGRÁFICA DOS RIOS MOGI-GUAÇÚ E PARDO RELACIONADA À CAPACIDADE DE USO .....	191
APÊNDICE G. INFORMAÇÕES SOBRE O USO DA TERRA NO ESTADO DE SÃO PAULO EM 1962 .....	192
ANEXO A. DEFINIÇÃO DE CAPACIDADE DE USO DA TERRA.....	193
ANEXO B. PUBLICAÇÕES.....	194

# ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Métodos de valoração ambiental.....	13
Figura 2. Diagrama simplificado mostrando o fluxo de combustíveis primários e secundários.....	18
Figura 3. Comparação entre os limites do sistema considerado na Análise Emergética e na Análise de Energia Incorporada de um produto genérico .....	22
Figura 4. Diagrama sistêmico que mostra a relação autocatalítica entre o estoque e o processo de transformação de energia.....	27
Figura 5. Diagrama da organização de um sistema mostrando a convergência de energia e matéria de baixos a altos níveis hierárquicos através de processos paralelos.....	30
Figura 6. Propriedades de uma hierarquia de transformação de energia.....	31
Figura 7. Rede de transformação de energia da biosfera.....	32
Figura 8. Visão clássica do clímax e sustentabilidade em que o crescimento alcança um regime permanente .....	34
Figura 9. Modelo sistêmico do pulso de produção e consumo com alternância entre o tempo em que as reservas de recursos são restabelecidas e o tempo que o uso das reservas para uma onda de consumo se desenvolve .....	35
Figura 10. Esboço mostrando o pulso de produção e consumo para três escalas de tempo e espaço.....	36
Figura 11. Modelo que representa os pulsos da civilização humana baseado em recursos renováveis e não-renováveis .....	38
Figura 12. Tendência dos bens, serviços e informação de acordo com os cenários propostos por diferentes autores .....	39
Figura 13. Classificação dos cenários estudados por Busch (2006) .....	40
Figura 14. Cenários estabelecidos pela Avaliação Ecosistêmica do Milênio .....	46
Figura 15. Ilustração esquemática dos cenários publicados no Relatório Especial dos Cenários sobre as Emissões.....	50
Figura 16. Relação entre a emissão de gases de efeito estufa e o aumento de temperatura.....	51
Figura 17. Localização da bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçu e Pardo no estado de São Paulo.....	53
Figura 18. Municípios inseridos na bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçu e Pardo .....	54
Figura 19. Diagrama genérico que representa os fluxos de energia que entram, saem e se interagem dentro de um sistema .....	57
Figura 20. Fluxograma utilizado para calcular os índices emergéticos.....	62
Figura 21. Modelo de um diagrama ternário emergético.....	64
Figura 22. Fluxograma para o cálculo do LDI.....	75
Figura 23. Relação entre as duas abordagens do LDI.....	75
Figura 24. Modelos lineares entre os anos com informações .....	79
Figura 25. Fluxograma utilizado para calcular os índices emergéticos da bacia hidrográfica no período entre 1962 a 2050. ....	80

Figura 26. Mapa de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçu e Pardo.	84
Figura 27. Diagrama sistêmico da bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçu e Pardo .....	88
Figura 28. Diagrama sistêmico padrão para os sistemas agropecuários na bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçu e Pardo .....	89
Figura 29. Distribuição espacial do índice Transformidade (em $seJ.J^{-1}$ ) na bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçu e Pardo. ....	108
Figura 30. Distribuição espacial do índice Renovabilidade (em %) na bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçu e Pardo. ....	109
Figura 31. Distribuição espacial do índice Razão de Rendimento Emergético na bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçu e Pardo. ....	111
Figura 32. Distribuição espacial do índice Razão de Investimento Emergético na bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçu e Pardo. ....	112
Figura 33. Distribuição espacial do índice Razão de Carga Ambiental na bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçu e Pardo. ....	113
Figura 34. Distribuição espacial do Índice de Sustentabilidade Emergética na bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçu e Pardo. ....	114
Figura 35. Distribuição espacial da Razão de Intercâmbio Emergético na bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçu e Pardo. ....	115
Figura 36. Representação do desempenho emergético dos sistemas estudados em um diagrama ternário. ....	116
Figura 37. Índice de Renovabilidade para os municípios inseridos na bacia dos rios Mogi-Guaçu e Pardo. ....	117
Figura 38. Regiões da bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçu e Pardo que demandam políticas públicas específicas. ....	129
Figura 39. Relação entre a porcentagem de redução da energia total não-renovável utilizada pela bacia hidrográfica em relação à área de suporte necessária para alcançar a sustentabilidade....	133
Figura 40. Diagrama sistêmico que mostra a área de suporte renovável de um sistema de produção genérico .....	135
Figura 41. Comparação entre as porcentagens de energia e energia utilizada pelos sistemas agropecuários em relação ao total utilizado pela bacia. ....	136
Figura 42. Distribuição espacial do LDI na bacia hidrográfica. ....	140
Figura 43. Dinâmica do uso da terra para a bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçu e Pardo no período entre 2002 e 2050 para os cenários específicos A1', A2', B1' e B2' .....	152
Figura 44. Dinâmica do Índice Transformidade ( $Tr$ em $10^4 seJ/J$ ) para a bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçu e Pardo. ....	153
Figura 45. Dinâmica do uso da terra na bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçu e Pardo para o período entre 1962 e 2002. ....	154
Figura 46. Dinâmica do Índice Renovabilidade (%R) para a bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçu e Pardo. ....	155
Figura 47. Dinâmica do Índice Rendimento Emergético (EYR) para a bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçu e Pardo. ....	156
Figura 48. Dinâmica do Índice Investimento Emergético (EIR) para a bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçu e Pardo. ....	157

Figura 49. Dinâmica do Índice Carga Ambiental (ELR) para a bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçú e Pardo.....	158
Figura 50. Dinâmica do Índice Sustentabilidade Emergética (ESI) para a bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçú e Pardo.....	159
Figura 51. Abordagem para calcular a intensidade emergética “com” e “sem” serviços e mão-de-obra.....	163



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Vantagens e limitações da Pegada Ecológica (EF), do Índice de Sustentabilidade Ambiental (ESI) e dos Índices de Desempenho Emergético (EMPIs). .....	16
Tabela 2. Valores típicos para a energia total associada aos combustíveis.....	20
Tabela 3. Relação entre energia produzida pela energia consumida de diferentes produtos agrícolas e de biocombustível. ....	22
Tabela 4. Similaridades e diferenças entre análise energética e emergética .....	24
Tabela 5. Símbolos utilizados na elaboração de diagramas sistêmicos .....	26
Tabela 6. Transformidade solar típica para alguns itens.....	33
Tabela 7. Diferenças e similaridades entre as estruturas do IPCC e do MEA.....	42
Tabela 8. Municípios que estão inseridos na bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçu e Pardo.....	55
Tabela 9. Uso da terra na bacia dos rios Mogi-Guaçu e Pardo em 2002. ....	56
Tabela 10. Classificação dos fluxos emergéticos.....	57
Tabela 11. Exemplo de uma tabela de avaliação emergética.....	58
Tabela 12. Índices emergéticos tradicionais e modificados .....	58
Tabela 13. Exemplo de tabela de uma análise de energia incorporada. ....	69
Tabela 14. Fatores de emissão para a combustão de diesel em uma caldeira industrial. ....	71
Tabela 15. Fatores de emissão para a combustão de diesel em um trator agrícola. ....	71
Tabela 16. Uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica para os anos de 1962 a 2050.....	79
Tabela 17. Tabela de avaliação emergética para produção de cana-de-açúcar .....	91
Tabela 18. Tabela de avaliação emergética para produção de cana-de-açúcar e amendoim .....	92
Tabela 19. Tabela de avaliação emergética para produção de cana-de-açúcar e soja .....	93
Tabela 20. Tabela de avaliação emergética para produção de cana-de-açúcar, amendoim e soja.....	94
Tabela 21. Tabela de avaliação emergética para produção de café do grupo 1 .....	95
Tabela 22. Tabela de avaliação emergética para produção de café do grupo 2 .....	96
Tabela 23. Tabela de avaliação emergética para produção de café do grupo 3 .....	97
Tabela 24. Tabela de avaliação emergética para produção de café do grupo 4 .....	98
Tabela 25. Tabela de avaliação emergética para cultura anual irrigada.....	99
Tabela 26. Tabela de avaliação emergética para cultura anual.....	100
Tabela 27. Tabela de avaliação emergética para produção frutas .....	101
Tabela 28. Tabela de avaliação emergética para pasto.....	102
Tabela 29. Tabela de avaliação emergética para plantação de eucalipto e pinus.....	103
Tabela 30. Tabela de avaliação emergética para plantação de seringueira.....	104
Tabela 31. Tabela de avaliação emergética para áreas de floresta e/ou vegetação ripária.....	105
Tabela 32. Tabela de avaliação emergética para áreas de cerrado .....	105
Tabela 33. Indicadores emergéticos de referência dos sistemas agropecuários na bacia.....	106
Tabela 34. Energia produzida e valor monetário dos produtos.....	107
Tabela 35. Índices emergéticos dos sistemas agropecuários e florestais na bacia.....	107
Tabela 36. Índices emergéticos para os municípios inseridos na bacia dos rios Mogi-Guaçu e Pardo.....	119

Tabela 37. Uso da terra na bacia hidrográfica por sistemas agropecuários e naturais. ....	122
Tabela 38. Indicadores emergéticos para a bacia hidrográfica.....	122
Tabela 39. Índices emergéticos para a bacia hidrográfica.....	122
Tabela 40. Preço de venda real e equilibrado de alguns produtos da bacia hidrográfica .....	125
Tabela 41. Despesa e receita bruta de alguns produtos da bacia hidrográfica .....	125
Tabela 42. Receita líquida e rentabilidade (convencional e sistêmica) de alguns produtos da bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçú e Pardo. ....	125
Tabela 43. Comparação entre as áreas de suporte para cada uso da terra na bacia hidrográfica calculados através de duas abordagens. ....	132
Tabela 44. Energia indireta e direta utilizada pelos sistemas agropecuários na bacia.....	136
Tabela 45. Principais emissões de gases poluentes dos sistemas agropecuários da bacia.....	138
Tabela 46. Índice da Intensidade do Desenvolvimento da Paisagem (LDI) para cada uso da terra na bacia hidrográfica.....	140
Tabela 47. Principais entradas utilizadas pela agricultura Brasileira para os anos de 1962, 1988 e 2002. ....	143
Tabela 48. Relação entre os fluxos emergéticos não-renováveis da natureza (N) e da economia (Mn+Sn) para diferentes sistemas de produção agropecuários.....	144
Tabela 49. Relação (em %) entre os fluxos emergéticos não-renováveis da natureza (N) e da economia (Mn+Sn) considerando a conversão do manejo convencional para ecológico .....	144
Tabela 50. Áreas na bacia em 2002 ocupando classes de terra de capacidade I, II, III e IV. ....	146
Tabela 51. Área inapta para a produção de café pelo o aumento da temperatura média global. .	146
Tabela 52. Áreas de cada uso da terra na bacia em 2002 ocupando classes de capacidade V, VI e VII.....	146
Tabela 53. Redução da energia não-renovável do uso e ocupação da terra para os quatro cenários específicos .....	148
Tabela 54. Áreas de Preservação Permanente (APP) ilegalmente ocupadas na bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçú e Pardo em 2002. ....	148
Tabela 55. Uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçú e Pardo para os anos de 1962, 1988, 2002 e 2050. ....	151
Tabela 56. Índices emergéticos obtidos para os quatro cenários específicos. ....	159

# GLOSSÁRIO

---

AS	Área de Suporte
EER	Índice de Intercâmbio Emergético
EIR	Índice de Investimento Emergético
ELR	Razão de Carga Ambiental
ESI	Índice de Sustentabilidade Emergético
EYR	Índice de Rendimento Emergético
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
LCA	Análise do Ciclo de Vida
LDI	Índice da Intensidade do Desenvolvimento da Paisagem
MEA	Avaliação Ecosistêmica do Milênio
NPP	Produtividade Líquida Primária
RBE	Requerimento Bruto de Energia
seJ	Emjoule solar (unidade de medida utilizada pela Metodologia <u>e</u> mergética)
SIG	Sistema de Informações Geográficas
Tr	Transformidade
%R	Renovabilidade



## RESUMO

O futuro da humanidade depende da preservação do meio ambiente que fornece todos os serviços ecológicos e recursos naturais necessários à sua sobrevivência. Atualmente, na produção agropecuária prevalecem os sistemas de produção baseado no modelo industrial, que dependem de produtos obtidos na indústria química a partir do petróleo e causam grandes impactos sobre o ambiente. Para que esses impactos não superem a capacidade biológica de regeneração do ambiente em que estão inseridos, são necessárias políticas públicas eficientes que visem ao desenvolvimento sustentável. Uma nova ferramenta científica - a análise emergética - vem sendo aplicada no diagnóstico dos impactos causados pelos diferentes sistemas agropecuários em forma isolada ou em bacias hidrográficas; neste último caso a pesquisa é dificultada pela carência de dados brutos e georeferenciados. Dessa forma, esse trabalho tem como objetivo principal o diagnóstico ambiental dos sistemas agropecuários da bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçu e Pardo, utilizando de forma combinada a Análise Emergética e o Sistema de Informações Geográficas. Foram elaborados mapas temáticos da bacia considerados essenciais ao estudo, como por exemplo, o uso e ocupação da terra. Os fluxos emergéticos em  $\text{seJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$  para os diversos usos da terra foram expandidos para toda a bacia hidrográfica e os índices emergéticos revelaram o desempenho da bacia: baixa sustentabilidade ( $\%R=29\%$ ), moderado impacto ambiental ( $\text{ELR}=2,47$ ), baixo rendimento líquido ( $\text{EYR}=1,57$ ) e baixa relação custo/benefício ( $\text{ESI}=0,63$ ). Mapas com os índices emergéticos espacializados sobre a bacia hidrográfica mostram que as áreas localizadas a sudeste e a noroeste possuem baixo desempenho comparado à região central. De acordo com os cenários propostos e avaliados, o respeito à legislação ambiental não é suficiente para tornar a bacia hidrográfica sustentável, sendo necessário, além disso, reduzir a dependência de energia não-renovável em níveis próximos a 70% dos valores de 2002. A área de suporte mostrou uma necessidade de 16 milhões de hectares adicionais de floresta para balancear toda a energia não-renovável utilizada pela bacia, enquanto que para converter o  $\text{CO}_2$  emitido pela energia incorporada seriam necessários 355 mil hectares adicionais de floresta. O potencial de efeito estufa da bacia é de  $5,64\cdot 10^6 \text{ MgCO}_2\text{-EQUIVALENTE}$  por ano, enquanto o potencial de acidificação atingiu o valor de  $1,8\cdot 10^3 \text{ MgSO}_2\text{-EQUIVALENTE}$  por ano. Em relação aos indicadores econômicos, os resultados mostram prejuízo quando contabilizamos as externalidades negativas, os serviços ambientais e toda a energia provinda da natureza, levantando a questão sobre se a teoria econômica convencional exprime a riqueza real do produto.

**Palavras chave:** Energia; Energia; Indicadores de Sustentabilidade; Bacia hidrográfica.



# ABSTRACT

The future of society depends on ecological services and natural resources supplied by preserved natural environments. Nowadays, most of the agricultural production uses conventional management that depends on chemical industry's products. Those industries are strongly dependent on fossil fuels in their processes and cause several negative impacts on the natural environment. To avoid that these impacts are larger than the biological capacity of the environmental regeneration, it is urgent to elaborate efficient public policies that aim the sustainable development. A new scientific tool – Emergy Analysis – has been applied in the diagnosis of the impacts caused by numerous agricultural systems, in an isolated way or considering the whole watershed where they are located. In the last one, diagnose is negatively affected by the lack of geo-referenced raw data. Thus, the main objective of this work is to make an environmental diagnose of the agricultural systems located on the Mogi-Guaçú and Pardo watershed. For this, Emergy Analysis was used in a combined way with Geographical Information Systems (GIS) tool. Essential thematic maps of watershed (i.e. land use) were elaborated. The Emergy flows in seJ/ha/year for all agricultural land use were spatialized in the whole watershed, and the final Emergy indices showed the watersheds' environmental performance: low sustainability (%R=29%), moderate environmental loading ratio (ELR=2.47), low yield ratio (EYR=1.57) and low cost/benefit relation (ESI=0.63). The distribution of the Emergy Indices on the the watershed in a map form showed that the regions located at southeast and northwest have worst environmental performances compared to central region. Considering the scenarios proposed and assessed in this work, the Brazilian environmental legislation applied in the watershed is not sufficient to improve the watershed's sustainability; to reach this objective, it will be necessary to reduce the dependency of non-renewable Emergy close to 70% of the values used in 2002. The Support Area approach showed that 16 millions of additional hectares of natural Forest would be necessary to provide all non-renewable Emergy used on the watershed; also, 355 thousands of additional hectares would be necessary to convert all CO<sub>2</sub> emitted by embodied energy on the watershed. The Potential of Climate Change obtained for the watershed is  $5.64 \cdot 10^6$  MgCO<sub>2-EQUIVALENT</sub> by year, while the Potential of Acidification reached the value of  $1.8 \cdot 10^3$  MgSO<sub>2-EQUIVALENT</sub> by year. The economic indicators showed disadvantages when in its calculation was accounted for negative externalities, environmental services and all energy provided by nature. That could be interpreted as a weakness of the conventional economic theory, because it doesn't show the real wealth of a product.

**Key-words:** Emergy; Energy; Sustainability indicators; Watershed.



# 1. INTRODUÇÃO

---

O aumento da produtividade agrícola ao longo das últimas décadas é resultado da adoção de métodos altamente especializados, caracterizados pelo uso intenso de insumos industriais derivados de energia fóssil, como fertilizantes químicos, agrotóxicos, assim como máquinas agrícolas que dependem de motores de combustão e da adoção de variedades de plantas altamente produtivas. Esses sistemas agropecuários resultam em elevada produtividade, mas ao mesmo tempo, causam uma série de problemas sociais e ambientais, como por exemplo: avanço sobre as áreas de floresta e diminuição de sua biodiversidade; erosão e compactação dos solos; contaminação dos recursos naturais e alimentos (PIMENTEL; PIMENTEL, 1996), fato que causa dúvidas sobre os limites do planeta em fornecer alimentos e outros serviços ambientais à humanidade (MEADOW et al., 1978; WCED, 1987; WACKERNAGEL et al., 1999; ODUM; ODUM, 2001; MEA, 2005). No Brasil, além desses problemas citados, aumentou também a concentração de terras, o que causa intenso êxodo rural aos centros industrializados, intensificando os problemas sociais (EHLERS, 1996).

Na perspectiva de um futuro sem o subsídio energético do petróleo, a produção de alimentos deverá estar subordinada à disponibilidade de recursos renováveis. Globalmente existe uma pressão social para a adoção de políticas públicas que assegurem a sustentabilidade dos recursos naturais, entretanto, o conhecimento sobre o impacto que as atividades agropecuárias causam sobre o meio ambiente é ainda insatisfatório. Os tomadores de decisão têm dificuldades em considerar os impactos ambientais na administração pública devido à baixa quantidade e qualidade de informações que dispõem. Ferramentas capazes de realizar o diagnóstico ambiental de maneira rápida e precisa são necessárias, mas elas devem contabilizar, além da energia provinda dos recursos da economia, toda a energia que provém da natureza para produzir bens e serviços.

Visando solucionar esse problema, a Análise Emergética foi proposta por Howard T. Odum na década de noventa como um novo método de avaliação integral e sistêmica. Ela considera a energia fornecida pela economia bem como aquela fornecida pela natureza. Além disso, toda a contribuição do sistema de produção é expressa na mesma unidade de medida: Joules de energia solar equivalente (BROWN; ULGIATI, 2004). Essa metodologia é baseada no princípio da Análise de Energia de Sistemas Biológicos

(LOTKA, 1922), na Teoria Geral de Sistemas (von BERTALANFFY, 1968) e na Ecologia de Sistemas (ODUM, 1983a). Para sua aplicação é necessário conhecer o sistema em estudo, suas relações internas e quantificar os fluxos de energia e massa que entram e saem do sistema. Mas como obter indicadores de desempenho emergético quando o sistema é uma grande bacia hidrográfica que não possui uma base de dados estatísticos disponível? Nesse sentido, a Análise Emergética poderia ser combinada com o Sistema de Informações Geográficas (SIG) para reduzir o custo e o tempo do diagnóstico de grandes sistemas (AGOSTINHO et al., 2008) com as características citadas acima.

A hipótese desse trabalho é a de que o uso combinado dos índices emergéticos e de dados espacialmente digitalizados possibilite o diagnóstico de grandes bacias hidrográficas e, complementarmente, propor cenários alternativos que auxiliem aos tomadores de decisão a nível local, regional e estadual, visando o desenvolvimento sustentável de acordo com os preceitos da Agenda 21.

## 2. OBJETIVOS

---

### 2.1. Objetivo geral

O objetivo do presente trabalho é o de realizar o diagnóstico ambiental da bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçu e Pardo através do uso combinado da Análise Emergética e do Sistema de Informações Geográficas, auxiliando na compreensão do sistema atual e fornecendo subsídios potenciais aos tomadores de decisão.

### 2.2. Objetivos específicos

- (a) Elaborar mapas temáticos da bacia através da distribuição espacial dos índices de desempenho emergético para mostrar regiões que potencialmente necessitam de políticas públicas diferenciadas;
- (b) Estimar o preço “equilibrado” (que corresponde a toda energia empregada na produção) de alguns produtos agropecuários através do índice de Razão de Intercâmbio Emergético (EER);
- (c) Estimar a Área de Suporte (AS) para a bacia hidrográfica através da análise emergética e energética;
- (d) Estimar a Emissão de Gases Poluentes da bacia hidrográfica pelo uso direto e indireto de energia;
- (e) Calcular o Índice de Intensidade de Desenvolvimento da Paisagem (LDI) para a bacia hidrográfica;
- (f) Estudar a dinâmica dos índices emergéticos da bacia hidrográfica considerando como base teórica os cenários publicados pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC).



## 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

---

### 3.1. Desenvolvimento Sustentável

Mesmo sabendo que os problemas ambientais foram iniciados antes da década de 70 do século XX, a preocupação com o meio ambiente começa a ter âmbito mundial somente neste período. Isso ocorreu devido à alguns desastres ambientais que fizeram com que a população exigisse respostas e medidas políticas (FAGNANI, 1997).

Na década de 1960, o livro intitulado “Primavera Silenciosa” de Carson (1962) tornou-se emblemático e contribuiu decisivamente para uma mudança de perspectiva do movimento ambientalista, mudando do conservacionismo para o ativismo ecológico.

Através da publicação do livro *The Limits to Growth* (MEADOW et al., 1978) que continha um modelo matemático conhecido como Modelo do MIT (*Massachusetts Institute of Technology*), houve grande repercussão internacional, pois o modelo relacionava as principais variáveis concernentes às inter-relações do meio ambiente, mostrando que “se deveria deter o crescimento global do mundo ao nível de 1975” (FAGNANI, 1997). Mesmo sendo questionado sobre os reais motivos políticos e sociais que levaram à esse estudo e suas conclusões (Modelo Bariloche; IDRC, 2009), o trabalho de Meadows e colaboradores foi um dos primeiros trabalhos que mostrava que os recursos naturais da Terra são finitos.

Em relação aos recursos naturais não renováveis, mais precisamente o petróleo, Meadow et al. (1978 pág. 63) já questionavam se “existem reservas suficientes para permitir o desenvolvimento econômico e um padrão de vida razoavelmente alto para a população mundial”, concluindo que, para garantir a disponibilidade de recursos adequados no futuro, seria necessário adotar planos de ação que façam decrescer o atual uso de recursos fósseis. As conclusões dos autores foram as seguintes: (a) Se as atuais tendências de crescimento da população mundial – industrialização, poluição, produção de alimentos e diminuição de recursos naturais – continuarem imutáveis, os limites de crescimento neste planeta serão alcançados dia dentro dos próximos cem anos. O resultado mais provável “será um declínio súbito e incontrolável, tanto da população quanto da capacidade industrial”; (b) É possível modificar estas tendências de crescimento e formar uma condição de estabilidade ecológica e econômica que se possa

manter até um futuro remoto. O estado de equilíbrio global poderá ser planejado de tal modo que as “necessidades materiais básicas de cada pessoa na terra sejam satisfeitas, e que cada pessoa tenha igual oportunidade de realizar seu potencial humano individual”; (c) Se a população do mundo decidir empenhar-se em obter este segundo resultado, em vez de lutar pelo primeiro, quanto mais cedo ela começar a trabalhar para alcançá-lo, maiores serão suas possibilidades de êxito.

Esses acontecimentos e publicações foram importantes para que acontecesse a 1ª Conferência Mundial Sobre Meio Ambiente, realizada em Estocolmo em 1972 e organizada pelas Nações Unidas. Desde então, começaram a surgir as mais variadas definições e explicações sobre o conceito de “Desenvolvimento Sustentável” e, aos poucos, a expressão foi se tornando uma espécie de slogan, cujo significado pode variar de acordo com o contexto em que ela está sendo empregada. Essa elasticidade permitiu abrigar as mais diferentes visões acerca do crescimento econômico e da utilização dos recursos naturais, gerando uma série de dúvidas, não apenas conceituais, mas principalmente, relativas às implicações práticas dessa noção (EHLERS, 1996).

Oficialmente, o conceito de sustentabilidade foi introduzido no encontro internacional em *The World Conservation Strategy* (1980). A partir desta data, esse conceito passou a ser empregado com maior frequência, assumindo dimensões econômicas, sociais e ambientais, buscando embasar uma nova forma de desenvolvimento.

Em 1983 foi criada a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, que teve o trabalho de visitar inúmeros países para realizar um diagnóstico dos problemas ambientais. Esse trabalho resultou em um relatório em 1987, conhecido como Relatório Brundtland (FAGNANI, 1997).

Segundo esse relatório (WCED, 1987 pág.43), Desenvolvimento Sustentável “é o desenvolvimento que satisfaz as necessidades atuais sem comprometer a habilidade das futuras gerações em satisfazer suas necessidades”. Essa definição clássica contém dois conceitos chave: (a) o conceito de “necessidade”, em particular as necessidades essenciais dos países pobres para que os mesmos possam ter condições mínimas de vida; (b) a idéia de “limitação” sobre a capacidade ambiental em satisfazer as necessidades atuais e futuras.

Sustentabilidade vem do latim “*sustentare*” que significa susten, sustentar, suportar, conservar em bom estado, manter, resistir. Dessa forma, sustentável é tudo aquilo que é capaz de ser suportado, mantido.

A sustentabilidade, de acordo com Sachs (1990), constitui-se num conceito dinâmico que leva em conta as necessidades crescentes das populações num contexto internacional em constante expansão. Para o autor, a sustentabilidade tem como base cinco dimensões principais, que são a sustentabilidade social, a econômica, a ecológica, a geográfica e a cultural. A sustentabilidade social está vinculada a uma melhor distribuição de renda com redução das diferenças sociais. A sustentabilidade econômica está vinculada ao fluxo constante de inversões públicas e privadas, além da destinação e administração correta dos recursos naturais. A sustentabilidade ecológica está vinculada ao uso efetivo dos recursos existentes nos diversos ecossistemas e, como um dos resultados, mínima deterioração ambiental. A sustentabilidade geográfica está ligada a uma espacialização rural-urbana mais equilibrada. A sustentabilidade cultural procura a realização de mudanças em harmonia com a continuidade cultural vigente.

Em 2002, este mesmo autor acrescentou mais quatro dimensões de sustentabilidade: ambiental, territorial (em lugar de geográfica), política nacional e política internacional. A sustentabilidade ambiental permitiria que ecossistemas naturais realizassem autodepuração. A territorial visa a eliminação de disparidades inter-regionais, a destinação igualitária de investimentos públicos e a conservação da biodiversidade pelo eco desenvolvimento. A sustentabilidade, no âmbito das políticas nacionais, estaria relacionada a um nível razoável de coesão social, democracia e capacidade institucional do Estado em implantar um projeto nacional. Em relação às políticas internacionais, a sustentabilidade passaria pela garantia de paz assegurada pelo fortalecimento da Organização das Nações Unidas (ONU), controle do sistema financeiro internacional, verdadeira cooperação científica e diminuição das disparidades sociais entre os hemisférios norte-sul (SACHS, 2002).

Outros autores apresentam diferentes formas de analisar a sustentabilidade. Segundo Chambers e Conway (1992), a sustentabilidade dos meios de subsistência deve ser analisada sob dois prismas: ambiental e social. Do ponto de vista ambiental, a sustentabilidade implica na capacidade sistêmica de lidar com o estresse e os choques, possuindo a habilidade de continuar e melhorar. Já a dimensão positiva da sustentabilidade social está na capacidade de previsão, adaptação e aproveitamento de mudanças no ambiente físico, social e econômico. Os autores apontam que a sustentabilidade depende de como os recursos e as potencialidades são utilizadas, mantidas e realçadas para preservar meios de subsistência. De acordo com Karr (1993), o foco da sustentabilidade deve estar na sociedade e não no desenvolvimento. Apesar de

tudo, a realização de uma sociedade sustentável requer a atenção da dimensão econômica, além da dimensão social, biológica, ecológica e ambiental.

Para o *Global Footprint Network* (GFN, 2006), sustentabilidade é uma idéia simples, baseada na quantificação das taxas de produção e consumo de recursos naturais. Em um mundo sustentável, a pressão da sociedade sobre a natureza deve estar dentro dos limites desta em responder de modo equilibrado a esta pressão. Quando as demandas da humanidade de recursos ecológicos excedem a capacidade da natureza em fornecê-los, surge o denominado excesso ecológico.

Em termos emergéticos, a sustentabilidade de uma economia é uma função da dependência dessa economia de emergia renovável local, do grau de dependência de emergia importada, e a carga total da atividade econômica no ambiente (BROWN; ULGIATI, 1997).

O conceito de Desenvolvimento Sustentável tem ganhado ampla simpatia porque possui uma interpretação simples e satisfatória. Nesse ponto pode ser um pouco divergente do objetivo “desenvolvimento que permanece”, mas, na tentativa de encontrar uma definição mais substantiva, é necessário discriminar entre um grande número de diferentes abordagens. Considerando uma abordagem econômica ao problema, a escolha chave é se uns acreditam que o capital natural – as muitas funções que o meio ambiente fornece à humanidade e para ela mesma – deveria receber uma proteção especial ou poderia ser substituído por outras formas de capital, especialmente capital produzido pelo homem (DIETZ; NEUMAYER, 2007).

Para Ortega (2002), o Desenvolvimento Sustentável é um desafio conceitual, teórico e político, novo e relevante, assumido pelos governos das nações do mundo na Conferência Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento e Meio Ambiente, realizado no Rio de Janeiro em 1992. Procura-se um sistema econômico baseado em recursos renováveis onde, de acordo com Odum (1996), deverá haver ciclos lentos de produção e pulsos de consumo.

Sustentabilidade é uma questão de valores humanos, mas na arena pública o conceito é vulnerável a uma proliferação de usos e de degradação de seu significado. Considerando esse problema, podemos manter o rigor nas discussões de sustentabilidade perguntando quatro simples questões: Sustentar o que? Sustentar para quem? Sustentar para quanto tempo? Sustentar a que custo? Essas quatro questões levam à raiz do significado de sustentabilidade, de suas relações com energia e outros recursos (Joseph A. Tainter. *Values, Energy, and the Semantics of Sustainability*.

Department of Environment and Society, Utah State University, USA. Artigo não publicado).

Para o setor agrícola, o termo “sustentável” passou a atrair a atenção de grande número de produtores e, principalmente, de pesquisadores do sistema oficial de pesquisa norte-americano, como o Departamento de Agricultura (USDA) e o Conselho Nacional de Pesquisa (NRC). Rapidamente estabeleceu-se a noção internacionalmente conhecida por “agricultura sustentável”. Dessa forma, surgiram inúmeras definições para explicar o que se entende por agricultura sustentável, onde a grande maioria procura expressar a “necessidade do estabelecimento de um novo padrão produtivo que não agrida o ambiente e que mantenha as características dos agro-ecossistemas por longos períodos” (EHLERS, 1996, p.131).

Algumas características básicas deste novo padrão de agricultura são: (a) a recuperação e preservação dos recursos naturais, como solo, a água e a biodiversidade; (b) a diversificação de culturas; (c) a rotação de culturas e a integração da produção animal e vegetal; (d) o aproveitamento dos processos biológicos; (e) a economia dos insumos; (f) o cuidado com a saúde dos agricultores e a produção de alimentos com elevada qualidade nutritiva e em quantidades suficientes para atender à demanda global. Vários sistemas que possuem essas características conseguem equilibrar uma alta produtividade com a conservação ambiental, mas seria precipitado julgar que esses sistemas poderiam substituir, em curto prazo, o papel da agricultura convencional, principalmente quanto ao volume de produção. Além disso, seria ingênuo achar que, repentinamente, grandes levas de produtores substituiriam sistemas rentáveis no curto prazo por sistemas mais complexos do ponto de vista administrativo e que só trariam resultados em longo prazo (EHLERS, 1996).

Com o aumento da produção agrícola devido às tecnologias, o meio ambiente foi prejudicado. Segundo a *Food and Agriculture Organization* (FAO) citado por Pretty et al. (2000), a agricultura produz muito mais do que somente alimento, fibra ou óleo, ela resulta em grandes impactos nos ecossistemas e economias locais, nacionais e mundiais. Os impactos, chamados de externalidades, são definidos como os custos da utilização do ambiente para a produção de determinado produto, que atualmente não estão incluídos em seu preço final, ou seja, os recursos naturais são utilizados gratuitamente, e degradados sem que haja recuperação.

Para Pretty et al. (2000, 2001), as externalidades podem ser positivas ou negativas. Para as positivas, que também são chamadas de Serviços Ambientais, pode-se citar o

valor estético da paisagem, acumulação de água nos reservatórios naturais, reciclagem e fixação de nutrientes, formação do solo, bem-estar (animais e organismos), biodiversidade, proteção de chuvas intensas e controle de cheias através da vegetação, carbono retirado da atmosfera através da vegetação e do solo. As externalidades negativas podem ser listadas como os prejuízos causados à água, ao ar, ao solo, à biodiversidade e paisagem e à saúde humana.

Na avaliação do custo das externalidades negativas do Reino Unido, Pretty et al. (2000) as dividiu em sete categorias: (a) prejuízo à água; (b) prejuízo ao ar; (c) prejuízo ao solo; (d) prejuízo à biodiversidade e paisagem; (e) prejuízo à saúde humana – pesticidas; (f) prejuízo à saúde humana – nitrato; (g) prejuízo à saúde humana – microorganismos e outros agentes causadores de doenças. Segundo os pesquisadores, o custo total destas externalidades em 1996 alcançou o total de 208 libras/ha.ano (aproximadamente 360 US\$/ha.ano).

Costanza et al. (1997, 1998) mostraram que os Serviços Ambientais (regulação do clima; regulação da água; controle de erosão; manutenção dos recursos genéticos; polinização; formação do solo; etc.) são extremamente importantes para a humanidade. A humanidade rotineiramente ignora esses serviços porque não paga por eles (pelo menos diretamente). Os autores utilizaram ferramentas da economia ecológica (análise contingente) para estimar o valor dos serviços ambientais; para o mundo inteiro, foi obtido o valor total de USD 33 trilhões por ano.

Com o quadro apresentado, as práticas de produção conservadoras de recursos podem concorrer economicamente com as convencionais. Quando é apresentado um quadro mais nítido da produtividade agrícola, incluindo os custos e benefícios dos recursos, “as práticas que conservam ou aumentam os bens naturais são economicamente tão boas ou melhores do que as práticas predominantes” (ALTIERI, 2000, p. 93).

O processo de “desenvolvimento do mundo atual” enfrenta limites físicos que devem ser previstos e acomodados. Tanto a capacidade do ambiente de absorver a poluição como a capacidade de fornecer recursos esgotáveis, como energia e minerais, são finitas. Os ecossistemas só podem tolerar certa quantidade de agressão sem que sofram mudanças, muitas vezes de maneira dramática e inesperada (MAY; SERÔA DA MOTTA, 1994). De acordo com dados do *World Wide Fund for Nature* (WWF), a humanidade já superou em 25% a capacidade de suporte do planeta, e isto aumenta em 2,5% ao ano.

Para Altieri (2002, p.115), a intensificação da agricultura é um teste crucial da resiliência da natureza. “Não sabemos por quanto tempo os homens poderão continuar aumentando o uso dos recursos naturais sem esgotá-los e sem causar uma degradação irreparável do ambiente”. Antes que a descoberta seja forçada pelas circunstâncias desfavoráveis do futuro, deveríamos “nos esforçar no planejamento dos agro-ecossistemas que se comparem em estabilidade e produtividade aos sistemas naturais”.

Segundo Ortega (1998), a sustentabilidade somente será possível se os marcos de referência para a atividade humana (paradigmas culturais) forem mudados. É necessário criar novas propostas para a Ciência, a Tecnologia, a Administração, a Organização Social e a Ideologia para configurar os paradigmas do Desenvolvimento Sustentável.

“Somente quando a depreciação dos bens naturais for tratada com a mesma seriedade que a depreciação dos bens humanos, os políticos e a população conhecerão a realidade. Enquanto isso não acontecer, a sustentabilidade continuará um castelo no ar” (ALTIERI, 2000, p.102).

Devido à falta de pesquisas, às dúvidas, à experiência em larga escala em relação à agricultura sustentável, fica evidente que a produção agrícola está muito distante da situação desejável. Assim, a noção de agricultura sustentável se dará em longo prazo, cujas formas de realização são ainda um grande desafio para a sociedade moderna e para a comunidade científica.

Um dos grandes problemas que precisam ser enfrentados está no estabelecimento de índices ou indicadores eficientes que meçam quantitativamente a sustentabilidade de um sistema qualquer (país, estado, município, bacia hidrográfica, um povoado, etc.). No item a seguir, um breve levantamento bibliográfico foi realizado para mostrar as ferramentas mais utilizadas pela comunidade científica e por outros órgãos.

## **3.2. Índices e Indicadores de Sustentabilidade**

As duas abordagens econômicas mais discutidas que tratam de questões ambientais são a Economia Neoclássica e a Economia Ecológica.

A economia neoclássica pressupõe que o “capital natural pode ser substituído infinitamente pelo capital material (feito pelo homem)”. Nessa hipótese está inclusa a idéia de que o progresso tecnológico sempre superará os limites do crescimento impostos pelas reservas de recursos naturais. A economia neoclássica também não traz embutido em seu custo a energia e o tempo necessários para a formação e

restabelecimento dos recursos naturais, e não “trata adequadamente as questões associadas à impossibilidade de sua reposição, como por exemplo, os recursos não renováveis ou a perda de biodiversidade” (MARQUES; SKORUPA; FERRAZ, 2003, p.23). O conjunto dessas características também é conhecido através do termo “sustentabilidade fraca”.

Turner (1993 apud EKINS et al., 2003, p.168) definiu sustentabilidade forte e fraca como: (a) Sustentabilidade ambiental fraca deriva da percepção de que o bem estar não é normalmente dependente de uma forma de capital específica e pode, com algumas exceções, ser mantida pela substituição do capital natural pelo capital humano; (b) Sustentabilidade ambiental forte deriva de uma percepção diferente, de que a substituição do capital natural pelo capital humano é fortemente limitada por algumas características ambientais, como irreversibilidade, incerteza e existência de serviços indispensáveis ao bem estar da biosfera.

Segundo Victor (2005), que criticou a abordagem da sustentabilidade fraca, as possibilidades de substituição de recursos dependem de um elevado grau de fornecimento contínuo e crescente de energia barata, cuja hipótese está sendo desconsiderada por pesquisadores (CAMPBELL; LAHERRÈRE, 1998; CAMPBELL, 2006) que acreditam que a humanidade alcançou o fim do petróleo barato de fontes convencionais.

Segundo Brown (2006 pág. 15), “a mudança central, a chave para construir uma nova economia, é obrigar o mercado a mostrar a verdade ecológica. A economia global disfuncional de hoje é formada por preços de um mercado distorcido que não incorpora os custos ambientais”. Com esse objetivo a Economia Ecológica estuda a aplicação de metodologias que contabilizem as contribuições da energia do meio ambiente para os sistemas econômicos, mas poucas comparam as contribuições ambientais e econômicas numa mesma base de análise. Usualmente, questões de desenvolvimento, planejamento de políticas públicas e uso de recursos envolvem a avaliação dos impactos ambientais em relação aos ganhos econômicos, onde os impactos e benefícios são quantificados em diferentes unidades, gerando uma paralisia no processo de tomada de decisões porque nenhuma unidade comum foi utilizada para avaliar as transações entre o meio ambiente e a economia (HABERKORN, 2003).

Segundo Romeiro (2004), para a economia ecológica é fundamental a elaboração de indicadores de sustentabilidade e de sistemas de contas ambientais que fundamentem o processo de tomada de decisão em face da incerteza que caracteriza o enfrentamento

dos grandes problemas ambientais. Os primeiros, além de contribuir para o processo de conscientização ecológica, fornecem subsídios científicos para a decisão sobre a escala aceitável de uso de um recurso natural, de modo a minimizar o risco de perdas irreversíveis. Os segundos são fundamentais como fator de conscientização ecológica e para justificar a adoção de políticas ambientais, na medida em que propiciam visibilidade econômica à magnitude do passivo ambiental, na escala de uma região ou país.

As duas abordagens discutidas a seguir, mostram dois caminhos que atualmente estão sendo considerados por pesquisadores que objetivam valorar os recursos naturais e/ou obter índices que expressem a sustentabilidade de um sistema.

## Abordagem monetária

Segundo Maia, Romeiro e Reydon (2004), não há um padrão universalmente aceito para classificação dos métodos de valoração existentes. Alguns procuram obter o valor do recurso diretamente sobre as preferências das pessoas, utilizando-se de mercados hipotéticos ou de bens complementares para obter a disposição a pagar (DAP) dos indivíduos, e podem ser classificados como métodos diretos (avaliação contingente, preços hedônicos e custo de viagem; ver Figura 1). Por sua vez, os denominados métodos indiretos procuram obter o valor do recurso através de uma função de produção relacionando o impacto das alterações ambientais aos produtos com preços no mercado (produtividade marginal, custos evitados, de controle, de reposição e de oportunidade).

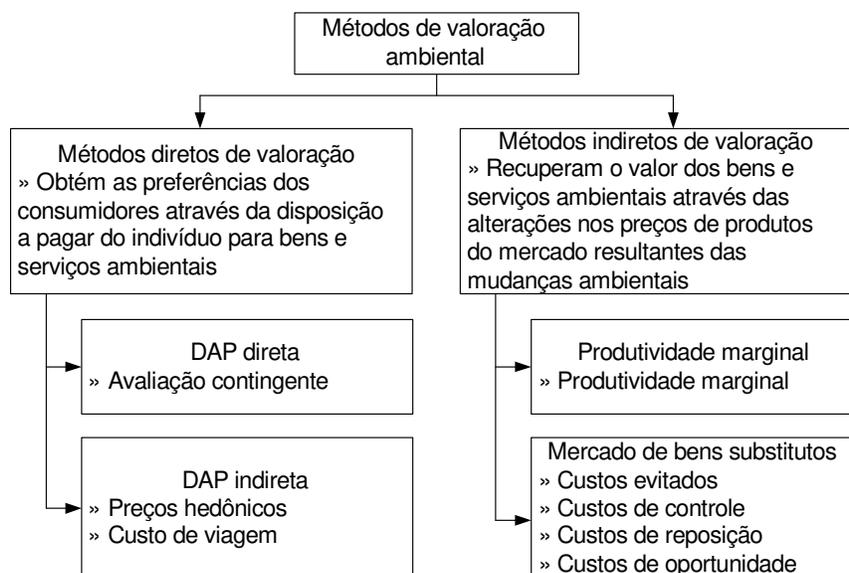


Figura 1. Métodos de valoração ambiental. Fonte: Adaptado de Maia, Romeiro e Reydon (2004).

Cada método apresenta uma eficiência específica para determinado caso, mas a maior dificuldade de todos encontra-se na estimativa de valores não relacionados ao uso, sem utilidade atual ou futura. O método de avaliação contingente é atualmente o único capaz de obter alguma estimativa destes valores de não uso dos atributos ambientais – valores de existência, usualmente relacionados ao comportamento ético, cultural ou altruísta dos indivíduos –, baseando suas estimativas na disposição a pagar da população. Simula um mercado hipotético onde fosse possível pagar pela provisão do recurso ambiental. Alguns estudos reconhecem a validade do método para casos específicos, mas ainda há muita dúvida quanto sua real eficiência, e sua utilização continua sendo muito polêmica (MAIA; ROMEIRO; REYDON, 2004).

Embora estes métodos de valoração apresentem resultados muitas vezes divergentes, todos partem do mesmo princípio da racionalidade econômica: consideram apenas o ponto de vista do consumidor e desprezam o lado produtor, ou seja, os próprios recursos naturais e seus processos. As pessoas realizam suas escolhas a partir do que observam procurando maximizar o bem-estar, mas limitadas pelas restrições orçamentárias. Não se trata de transformar um bem ambiental num produto com preço de mercado, mas sim mensurar as preferências dos indivíduos sobre as alterações em seu ambiente (PEARCE, 1993 apud MAIA; ROMEIRO; REYDON, 2004, p.3).

## **Abordagem física**

Um índice de sustentabilidade deve inicialmente referir-se aos elementos relativos da sustentabilidade de um sistema e a explicitação de seus objetivos, sua base conceitual e seu público usuário (ROMEIRO, 2004).

Um dos aspectos críticos de um índice de sustentabilidade é a metodologia adotada, tanto para sua determinação, quanto para sua leitura e interpretação. Independente da escolha, esta deve ser clara e transparente, não deixando dúvidas sobre quais os princípios que estão na base do processo. Outro aspecto determinante em uma avaliação ambiental de um sistema, é que não existe a possibilidade de determinar sua sustentabilidade considerando apenas um indicador ou indicadores que se refiram a apenas um aspecto do sistema. A sustentabilidade é determinada por um conjunto de fatores (econômicos, sociais e ambientais), e todos devem ser contemplados no cálculo do índice de sustentabilidade através dos correspondentes indicadores (BOUNI, 1996 apud SICHE et al., 2007).

Existem diversos índices de sustentabilidade, entre eles podemos citar: Índice de degradação ambiental (JHA; BAHNU MURTHY, 2003); Barômetro da sustentabilidade (PRESCOTT-ALLEN, 1995, 1997); Pegada ecológica (WACKERNEGAL; REES, 1996); Índices de desempenho emergético (BROWN; ULGIATI, 1997); Índice de sustentabilidade ambiental (SAMUEL-JOHNSON; ESTY, 2000); Índice de desempenho Ambiental (ESTY et al., 2006). Todos esses índices são utilizados em maior ou menor escala, sendo definido pelo fato de que indicadores elaborados e utilizados apenas por alguns indivíduos sejam pesquisadores ou consultores, não podem ser equiparados àqueles que já foram assumidos por organizações internacionais de grande prestígio em assuntos ambientais. Na prática, os únicos índices de sustentabilidade que adquiriram grande visibilidade internacional são os divulgados pelo WWF (*World Wide Fund for Nature*) e pelo WEF (*World Economic Forum*): Pegada Ecológica, Índice de Desempenho Ambiental e Índice de Sustentabilidade Ambiental.

A metodologia emergética, que é utilizada na presente tese, estima os valores das energias naturais incorporadas em produtos, processos e serviços, que geralmente não são contabilizadas. Ela parte do ponto de vista do produtor, ou seja, quanto custa à própria natureza produzir um bem. Por meio de indicadores, esta abordagem desenvolve uma imagem dinâmica dos fluxos anuais dos recursos naturais e dos serviços ambientais providenciados pela natureza na geração de riqueza e o impacto das atividades antrópicas nos ecossistemas (COMAR, 1998). Os Índices de Desempenho Emergético não possuem, ainda, grande destaque nas organizações citadas acima, mas trata-se de uma ferramenta importante que consegue superar grandes limitações que os outros índices não conseguem.

Siche et al. (2008) compararam em seu trabalho três índices de sustentabilidade (ver Tabela 1): Pegada Ecológica (EF); Índice de Sustentabilidade Ambiental (ESI); Índices de Desempenho Emergético (EMPIs). Para os autores, esses índices têm sido utilizados em avaliações ambientais de diferentes escalas, por exemplo, a situação global da terra tem sido avaliada através da Pegada Ecológica (WWF, 2006) e dos índices de desempenho emergético (BROWN; ULGIATI, 1999). Estas duas ferramentas também estão sendo utilizadas para avaliar sistemas menores como países, regiões e também pequenos negócios e produtos. Por outro lado, o ESI vem sendo utilizado apenas na avaliação da sustentabilidade de países. O ESI é um índice robusto e muito laborioso de calcular, podemos até dizer que é quase impossível reproduzir seus resultados. Já a EF é mais simples, mas atrás da simplicidade aparente deste índice, existem cálculos

relativamente complexos, como por exemplo, mensurar o consumo da sociedade sob avaliação. Os autores concluem em seu trabalho que é possível dizer que os três métodos são importantes alternativas para calcular a sustentabilidade de países, mas precisam ser refinados para obter, em um contexto geral, melhores indicadores.

No Brasil existem interessantes índices de desenvolvimento elaborados através do sistema de indicadores (“dashboards”), entre eles os Indicadores de Desenvolvimento Sustentável (IBGE, 2004) e o GeoBrasil (2002). Para Veiga (2006), por mais importante que seja a construção de sistemas de indicadores, isoladamente eles terão pequena influência na governança ambiental, porque ferem pelo menos três dos princípios de Bellagio<sup>1</sup>: (a) Não garantem comunicação eficiente; (b) Dificultam ampla participação; (c) Dificilmente podem orientar visão e metas. Ainda segundo o autor, esses indicadores devem ser valorizados mas, sobretudo, como base de dados primários para a elaboração de indicadores com algum nível de agregação ou de síntese.

Tabela 1. Vantagens e limitações da Pegada Ecológica (EF), do Índice de Sustentabilidade Ambiental (ESI) e dos Índices de Desempenho Emergético (EMPIs).

Vantagens	Limitações
(a) Avaliação dos níveis de sustentabilidade (ESI, EMPIs, EF);	(a) Subestima informação associada à sustentabilidade (EF);
(b) Capacidade de sintetizar a informação de caráter técnico/científico (ESI, EMSI, EF);	(b) Dificuldades na definição de expressões matemáticas que melhor traduzem os parâmetros selecionados (ESI);
(c) Identificação das variáveis-chave do sistema (EMSI, EF);	(c) Perda de informação nos processos de junção dos dados (ESI);
(d) Facilidade de transmitir a informação (EF);	(d) Diferentes critérios na definição dos limites de variação (EMPIs, ESI);
(e) Bom instrumento de apoio à decisão e aos processos de gestão ambiental (EF, EMPIs, ESI);	(e) Complexidade nos cálculos para chegar ao índice final (ESI);
(f) Sublinha a existência de tendências pressagadoras (EMPIs, EF);	(f) Dificuldades na aplicação em determinadas áreas como o ordenamento do território e a paisagem (ESI).

Fonte: Adaptado de Gomes et al. (2000 apud SICHE et al., 2007).

Veiga (2006, p.14) conclui em seu trabalho que é impossível vislumbrar alguma forma de mensurar o desenvolvimento sustentável que tenha ampla aceitação, devido, principalmente, à incipiência dos bancos de dados primários sobre o meio ambiente e, à incipiência conceitual sobre o que realmente pode ser a sustentabilidade ambiental.

<sup>1</sup> Em 1996, o Instituto Internacional para o Desenvolvimento Sustentável reuniu especialistas no Centro de Conferência da Fundação Rockefeller, em Bellagio, Itália, com o objetivo de estabelecer princípios destinados a orientar a avaliação do progresso rumo ao desenvolvimento sustentável. Os princípios de Bellagio podem ser lidos em <<http://iisd1.iisd.ca/measure/bellagio1.htm>>.

Todavia, esclarece o autor, “estão surgindo algumas iniciativas que parecem se aproximar de tão ambicioso propósito”.

Finalmente, índices ou indicadores de sustentabilidade constituem alternativas válidas e importantes para descrever a sustentabilidade de sistemas, mas que precisam considerar seu verdadeiro significado e alcance. O mais importante é que tanto índices como indicadores de sustentabilidade já são vistos como padrões utilizados nas decisões políticas, estratégicas e empresariais dos países, sob a premissa ambiental (SICHE et al., 2007).

### **3.3. Energia e Emergia**

Energia pode ser definida como a habilidade de realizar trabalho, enquanto a análise energética é a técnica utilizada para avaliar o caminho em que fontes de energia são utilizadas para realizar funções úteis. De acordo com o *International Federation of Institutes for Advanced Study* (IFIAS, 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 de energia 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.

Antes de aprofundar sobre o que é e como é realizada a análise de energia, a definição de combustíveis primários e secundários deve ser fornecida.

Dois distintos grupos de combustíveis comerciais são conhecidos e usualmente referidos como primário e secundário. Para entender a diferença entre eles, a Figura 2 mostra um diagrama simplificado da produção de diferentes tipos de combustíveis. À esquerda têm-se as três maiores entradas de matéria bruta extraída da natureza que são capazes de serem queimadas com o ar atmosférico (que é composto de aproximadamente 21% de Oxigênio, 78% de Nitrogênio e 1% de outros gases) para produzir energia útil na forma de calor. Esses são os combustíveis primários. Podemos, assim, definir um combustível primário como um material bruto que ocorre na natureza e que pode ser utilizado como fonte útil de energia sem modificar sua estrutura química antes da reação que libera a energia. O exemplo mais óbvio dessa definição é o carvão. Desconsiderando as etapas de lavagem, remoção de pedras e possivelmente o esmagamento e classificação por tamanhos, o carvão é utilizado exatamente com a

mesma forma química que é encontrado na natureza. Gás natural, por outro lado, precisa passar por alguns processos para a remoção de impurezas corrosivas antes de ser utilizado. Em contraste, petróleo cru é usualmente submetido a extensivos tratamentos antes de ser utilizado, mesmo assim ele pode ainda ser considerado como um combustível primário porque o tratamento dado na refinaria de petróleo é essencialmente uma separação física de componentes de diferentes massas moleculares. Existe uma pequena ou nenhuma mudança na estrutura química desses componentes e esta é a razão para incluir as palavras “sem modificação de sua estrutura química” na definição de combustível primário (BOUSTEAD; HANCOCK, 1979).

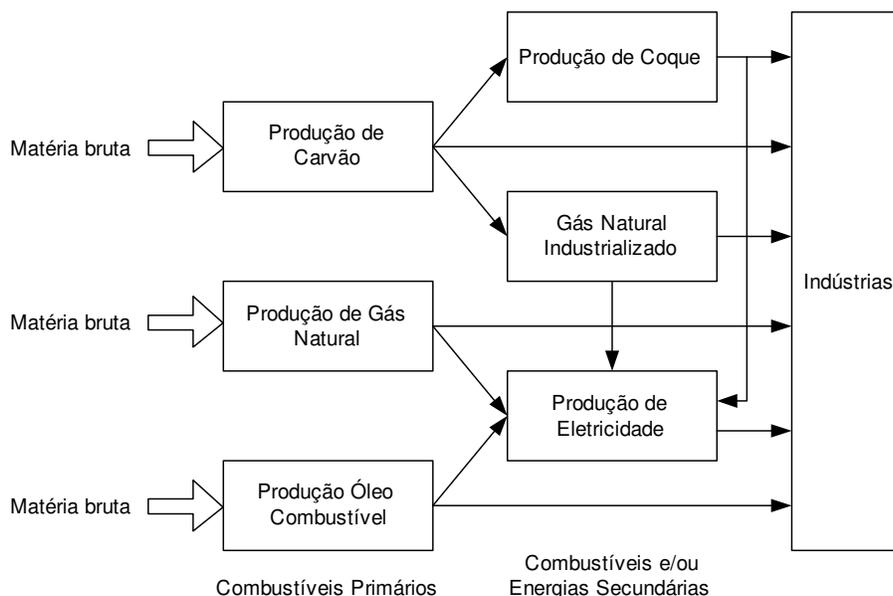


Figura 2. Diagrama simplificado mostrando o fluxo de combustíveis primários e secundários. Fonte: Boustead e Hancock (1979, p.111).

A definição de combustível primário permite também incluir outros materiais de origem natural, como madeira, excremento de animais (esterco) e palha, que são utilizados como fontes de energia em diversas partes do mundo. É também importante reconhecer que em todos os exemplos de combustíveis primários mencionados anteriormente, energia é extraída deles através de combustão em ar atmosférico.

Combustível secundário pode ser definido como uma fonte de energia que é derivada de um combustível primário. Novamente, como evidenciado na Figura 2, as saídas dos combustíveis secundários também alimentam as indústrias. Um aspecto muito importante, mas que não pode ser visto na Figura 2, é o fato de que alguns combustíveis e/ou energias secundárias são utilizados na produção de alguns combustíveis primários.

Minas de carvão, por exemplo, utilizam energia elétrica para iluminação e máquinas. Combustíveis primários também consomem outros combustíveis primários em sua produção; vagões e outras máquinas são utilizados na produção de carvão. Assim, os combustíveis primários e secundários apresentam uma rede interconectada (BOUSTEAD; HANCOCK, 1979).

Desde a década de 60, 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 com o 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 através da seqüência 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 somado à sua energia interna é chamado de Requerimento Bruto de Energia (RBE) do combustível. A Tabela 2 mostra valores de RBE para alguns combustíveis.

Dentro das regulações da IFIAS (1974), 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, 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 idéia 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).

Tabela 2. Valores típicos para a energia total associada aos combustíveis.

Combustível	Quantidade	Energia gasta na produção e entrega (MJ)	Energia Direta do combustível (MJ)	RBE do combustível (MJ)	Eficiência da produção de energia (%)
Fonte: Boustead e Hancock (1979, p.146)					
Carvão	1 kg	1,39	28,01	29,40	95,0
Coque	1 kg	3,93	25,42	29,50	86,6
Eletricidade	1 kWh	11,40	3,6	15,00	24,0
Gás natural	1 therm <sup>a</sup>	15,06	105,44	120,50	87,5
Gás indust.	1 therm	41,21	105,44	146,65	71,9
Óleo pesado	1 kg	8,89	42,60	51,49	82,7
	1 L	8,57	40,98	49,55	82,7
Óleo médio	1 kg	8,89	42,85	51,74	82,8
	1 L	8,50	40,92	49,42	82,8
Óleo leve	1 kg	8,89	43,20	52,09	82,9
	1 L	8,29	40,18	48,47	82,9
Querosene	1 kg	8,89	46,53	55,42	84,0
	1 L	6,96	36,53	43,49	84,0
Diesel	1 kg	8,89	44,84	53,73	83,5
	1 L	7,45	37,71	45,16	83,5
Gasolina	1 L	6,85	35,97	42,82	84,0
Propano	1 kg	8,89	50,00	58,89	84,9
Butano	1 kg	8,89	49,30	58,19	84,7
Fonte: Sérgio Ulgiati <sup>b</sup>					
Lenha	1 kg	5,0	18,4	23,4	79
Metano	1 kg	13,9	55,5	69,4	80
Benzina	1 kg	8,9	46,7	55,6	84

RBE = Requerimento Bruto de Energia

<sup>a</sup> 1 therm = 105.506.000 J

<sup>b</sup> Ulgiati, S., 2008. L'analyse énergétique, un'arte complessa: il caso delle agro-energie. Artigo não publicado.

Além de considerar apenas a energia comercial, o RBE não considera a qualidade de energia, pois enquanto é verdade que toda energia pode ser convertida em calor, não é verdade que um tipo de energia é substituível por outra em todas as situações. Por exemplo, as plantas não podem substituir a radiação solar pelos combustíveis fósseis para realizar fotossíntese, nem os humanos podem substituir os alimentos ou água pela radiação solar. Deveria ser óbvio que a qualidade que torna um fluxo de energia útil para alguns processos de transformação, torna essa energia inutilizável para outros processos. Assim, qualidade está relacionada à forma de energia e sua concentração, onde alta qualidade pode ser considerada um sinônimo de alta concentração de energia e resulta em grande flexibilidade, por exemplo, madeira é mais concentrada que radiação solar, carvão é mais concentrado que madeira e eletricidade gerada a partir de carvão é mais concentrada que carvão. Como conseqüência, a qualidade da energia que entra em um sistema a torna capaz de dirigir diferentes formas de complexidade nos sistemas

destinatários (ULGIATI; BROWN, 2009). Essa afirmação está totalmente inserida nas definições das duas primeiras leis da termodinâmica:

- (a) A primeira, conhecida como Lei da Conservação de Energia, diz que energia não pode ser criada e nem destruída, somente pode ser transformada de uma forma em outra. Entretanto, existem algumas propriedades que promovem ou inibem a conversão de certa quantidade de energia em outras formas de energia. Essa propriedade dá a idéia de Concentração de Energia, e pode ser considerada como a quantidade máxima de energia que pode ser extraída de certa quantidade de material em um específico estado.
- (b) Enquanto a primeira lei da Termodinâmica está interessada na energia “como ela é”, a segunda lei está preocupada com as mudanças de energia e as restrições que existem durante essas mudanças, sendo considerada uma das mais fundamentais leis das ciências físicas. Basicamente, essa lei diz que na conversão de energia de uma forma em outra, parte da energia original é liberada na forma de calor, portanto nenhum processo consegue utilizar toda a energia que um combustível possui.

Energia é usualmente referida como a habilidade de realizar trabalho, baseado no princípio físico que trabalho requer entrada de energia. Energia é medida em unidades de calor ou movimentação molecular (graus de movimento que resultam em expansão que são quantificados em graus de temperatura). Energia do calor é uma boa medida da habilidade de aumentar a temperatura da água, entretanto, não é uma boa medida do trabalho de processos mais complexos. A contribuição da energia para os processos que estão fora do sistema definido pelos processos tecnológicos da engenharia do calor, mesmo que importantíssimas para a transferência de calor termodinâmico, não é contabilizada. Todos os fluxos de energia, matéria e informação não são os mesmos, e seu calor equivalente não é uma boa medida de sua qualidade (ULGIATI; BARGIGLI; RAUGEI, 2007).

Para esclarecer essa idéia, considera-se com exemplo os valores da Tabela 3. A maioria dos valores de eficiência desrespeitam a 1ª Lei da Termodinâmica, pois mostram que energia é criada (valores maiores que 1). Mesmo com uma eficiência de 100% na conversão de energia (fato que é impossível de acordo com a 2ª Lei da Termodinâmica), o valor máximo da relação na Tabela 3 seria 1. Isso acontece porque na metodologia da análise de energia incorporada, a energia utilizada pela natureza para produzir a matéria

bruta não é contabilizada (Figura 3). Com o objetivo de superar esse problema e mostrar a importância da qualidade da energia, matéria e informação, Odum (1988) introduziu o conceito de energia (EMERGY = EMBodied enERGY) na década de 1980. A definição clássica de energia fornecida por Odum (1996, p.7) é a seguinte:

*“Energia é a energia disponível de um tipo que foi previamente utilizada diretamente e indiretamente para fazer um serviço ou produto”.*

Tabela 3. Relação entre energia produzida pela energia consumida de diferentes produtos agrícolas e de biocombustível.

Processo	Eficiência	Ref.	Processo	Eficiência	Ref.
Cana-de-açúcar	3,3 - 89,9	[a]	Beterraba	1,60 - 3,0	[a]
Milho	0,78 - 1,36	[a]	Celulose	0,63	[a]
Trigo	1,92 - 3,0	[a]	Soja	0,96 - 7,24	[b]
Biodiesel de soja	0,7 - 3,2	[b]	Girassol	0,76	[b]
Biodiesel de girassol	0,46 - 1,21	[b]	Etanol de cana	1,23 - 4,35	[b]
Etanol de milho	1,1	[b]	Etanol de uva	0,31	[b]

Fonte: Diferentes trabalhos citados em [a] Pereira (2008, p.142) e [b] Cavalett (2008, p.55)

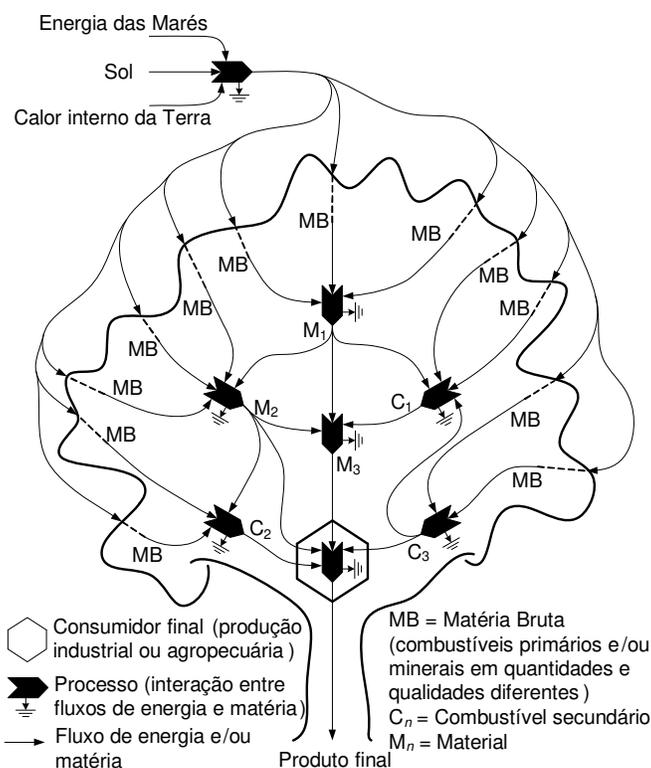


Figura 3. Comparação entre os limites do sistema considerado na Análise Emergética e na Análise de Energia Incorporada de um produto genérico. A primeira contabiliza toda a energia de um produto, incluindo a energia necessária para formar a matéria bruta (fora da árvore), enquanto a segunda inicia a contabilidade a partir da energia gasta para extrair a matéria bruta da natureza (dentro da árvore).

A contabilidade emergética utiliza as bases da termodinâmica de todas as formas de energia e materiais, e as converte em formas equivalentes de um mesmo tipo de energia, usualmente a radiação solar. Emergia é a “memória energética” que foi degradada em um processo de transformação onde energia de uma forma foi transformada em energia de outra forma (por exemplo, a transformação dos raios solares em matéria orgânica, ou dos combustíveis fósseis em energia elétrica). A unidade de emergia é o *emjoule*, para distingui-la da unidade *Joule*. A emergia dos combustíveis, materiais, serviços e outras fontes de energia são expressas em emjoules solares (abreviado por *seJ*). Assim, a emergia é uma medida dos processos globais requeridos para produzir algo, expresso em unidades de energia do mesmo tipo. Quanto mais trabalho é feito para produzir algo, isto é, quanto mais energia é transformada, maior é a emergia utilizada para produzi-lo (BROWN; VIVAS, 2005).

A qualidade de um recurso depende de suas características físico-químicas, que por sua vez são dependentes do trabalho realizado pela natureza para produzi-lo através de seu complexo processo natural. O trabalho adicional fornecido pelas atividades humanas para refinar o recurso bruto, é adicionado a sua qualidade para torná-lo mais adequado ao usuário final. Dessa forma, fica claro que para tornar um recurso valioso, é necessário o trabalho da natureza e do homem (FRANZESE et al., 2009).

Existem muitas críticas sobre a Análise Emergética, mas também sobre a Análise Energética. Essas críticas são principalmente de economistas sobre a aplicação das metodologias. Idealizadores das duas metodologias também criticam (positivamente e negativamente) um ao outro, freqüentemente sobre detalhes da contabilidade, ou seja, como calcular e usar os resultados quantitativos. Os trabalhos de Brown e Herendeen (1996) e Herendeen (2004), que são considerados importantes pesquisadores nessas áreas de conhecimento, discutem profundamente as diferenças entre a Análise Emergética e a Análise de Energia. Enquanto Mark Brown é um analista emergético, Robert Herendeen é um analista energético. As similaridades e diferenças entre as duas metodologias são discutidas (Tabela 4), mas os argumentos dados pelos dois autores não resultam em nenhuma conclusão sobre qual metodologia representa de maneira precisa o sistema em estudo.

Segundo Hau e Bakshi (2004), críticas relacionadas às incertezas, sensibilidade e quantificação não se aplicam somente à Análise Emergética, mas também para todos os outros métodos que estão focados sobre uma visão holística da atividade industrial. Entre outros, se incluem a Análise do Ciclo de Vida, a Análise do Fluxo de Materiais e Análise

Exergética. Para os mesmos autores, estabelecendo a ligação entre Análise Emergética e outros conceitos termodinâmicos é essencial para expandir seu uso e remover a resistência que muitos engenheiros, físicos e economistas possuem sobre a emergia.

Tabela 4. Similaridades e diferenças entre análise energética e emergética discutidas em Brown e Herendeen (1996).

---

(a) Intensidade de Energia (da análise de energia incorporada) e Intensidade Emergética (da análise emergética) são conceitos análogos.

---

(b) Emergia é definida como a energia disponível de um tipo que é requerida para produzir alguma coisa. Diferentes tipos de energia (solar, potencial químico da chuva, combustíveis, eletricidade, etc.) são expressos em energia solar equivalente que é necessária para produzi-los. Energia Incorporada utiliza estritamente a energia do calor de combustíveis e não inclui a energia provinda do meio ambiente. Isso sugere que esse tipo de energia poderia ser incluída, mas não existe um método formal para incluí-los, pois nenhuma intensidade de energia foi calculada para esse tipo de energia. Além disso, a biosfera é um sistema onde ocorrem diferentes processos com múltiplas saídas, o que impede o uso do processo da matriz de inversão para os cálculos da energia provinda do meio ambiente.

---

(c) A análise emergética inclui a mão-de-obra em todas as avaliações, pois considera que emergia é necessária para a realização do trabalho humano (alimento, estrutura, informação, etc.). A análise da energia incorporada rotineiramente não inclui o trabalho humano como uma entrada ao processo, mas pode fazê-lo. Quando essa entrada é considerada na análise de energia incorporada, seu resultado exprime somente uma pequena porcentagem do total de energia utilizado pelo sistema.

---

(d) Na análise emergética, processos que possuem mais do que uma saída e que não podem ser decompostos em processos separados, requerem todos os mesmos fluxos emergéticos que entraram no sistema para a produção de cada saída. A análise de energia incorporada é realizada de uma maneira que é impossível contabilizar múltiplas saídas de um mesmo processo sem considerações adicionais. Assim, em processos com múltiplas saídas, cada um deles é decomposto em processos separados ou todas as saídas são consideradas como uma única saída. Outras maneiras seriam desconsiderar múltiplas saídas em favor de apenas uma ou utilizar critérios de alocação.

---

(e) A análise energética não possui um princípio de otimização. O objetivo implícito dessa abordagem, freqüentemente explícito na prática, é minimizar a entrada de energia convencional (fóssil) por unidade de produto, onde todas as outras partes do sistema permanecem inalteradas. A análise emergética é mais definida: a diretriz é consistente com o Princípio da Máxima Emergia. Para os analistas energéticos, a atração intuitiva desse princípio é admirável, mas existem algumas dúvidas: (1) A afirmação é ainda ambígua, e poderia ser melhorada através da substituição do termo a ser definido (máxima emergia) por outro (trabalho útil)<sup>a</sup>; (2) Parece haver ambigüidade sobre a escala de tempo aplicável.

---

(f) Mark Brown e Robert Herendeen acreditam que a análise emergética visa uma audaciosa e mais compreensiva síntese de interdependências que dirigem os sistemas ecológicos e econômicos do que a análise energética. A questão levantada pelos especialistas em energia é se as considerações da análise emergética, especialmente considerando a contabilidade de fluxos e cálculos de interdependência, são úteis e justificáveis.

---

<sup>a</sup> O termo "princípio da máxima emergia" já foi alterado e vem sendo usado como "princípio da máxima potência emergética". No sub-item 3.3.2., a explicação detalhada desse princípio é fornecida.

O presente trabalho utiliza a Análise Emergética como ferramenta principal. Para entendê-la mais profundamente, nos dois itens a seguir são fornecidas as definições de dois importantes conceitos da Metodologia Emergética, Princípio da Máxima Potência

Energética e Intensidade Energética, além de uma breve explicação dos símbolos utilizados nos diagramas sistêmicos.

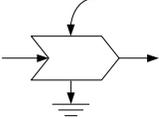
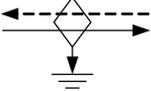
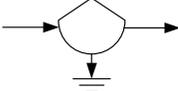
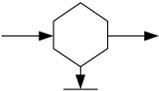
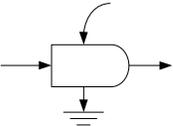
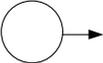
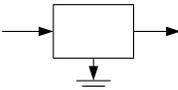
### **3.3.1. Diagrama sistêmico**

Para Odum (1977 apud BROWN, 2004, p.99), tudo e qualquer coisa que está na Terra envolvem um fluxo de energia fornecido inicialmente pelo sol. O caminho do fluxo é formado por uma hierarquia de forças que evoluíram sobre as leis da natureza, com estoques (reservas) de energia em forma de matéria que inclui todos os elementos da biosfera, desde os mais primitivos até os mais civilizados ou espirituais elementos dos sentimentos humanos, pensamentos, comportamentos nas artes, ciências e religiões.

De acordo com Brown (2004), H.T. Odum estava convencido de que o papel dos humanos era entender claramente a totalidade universal e o lugar do homem dentro dela... “homem de alta qualidade como uma culminação de difusas partes do sistema [a totalidade universal] é o meio pelo qual o sistema visualiza uma imagem dele mesmo” (ODUM, 1977 apud BROWN, 2004, p.99). Desde que nenhum sistema pode entender ele mesmo, o caminho que ele pode abordar para esse entendimento é desenvolver modelos simplificados que possuam características suficientes do sistema original e que o represente com semelhança, mas que ao mesmo tempo, são suficientemente simples para serem entendidos. Nesse sentido, a linguagem do circuito energético de H.T. Odum é um método extremamente poderoso.

Com tudo isso, o primeiro passo para a aplicação da análise energética é conhecer detalhadamente o sistema em estudo. Essa tarefa parece inicialmente fácil, mas quando mal realizada, os resultados não representam com fidelidade a realidade. Para auxiliar nessa tarefa, Odum (1996) desenvolveu símbolos com diferentes significados para serem utilizados na elaboração de diagramas sistêmicos (Tabela 5). Esses símbolos vêm sendo utilizados por todos os analistas energéticos que publicaram artigos científicos e também é considerado na presente tese.

Tabela 5. Símbolos utilizados na elaboração de diagramas sistêmicos.

Símbolo	Significado
	Fluxo de Energia: Um fluxo cuja vazão é proporcional ao volume do estoque ou à qualidade da fonte que o produz.
	Interação: Intersecção de dois fluxos para produzir uma saída em proporção a uma função de ambos ou controle de ação de um fluxo sobre outro.
	Transação: Uma unidade que indica a venda de bens ou serviços (linha contínua) em troca de um pagamento em dinheiro (linha tracejada).
	Depósito: Uma reserva energética dentro do sistema, que guarda uma quantidade de energia de acordo com o balanço de entrada e saída.
	Consumidor: Unidade que transforma a qualidade da energia, armazena e retro-alimenta energia à etapa anterior (sistema autocatalítico) para melhorar o fluxo de energia que recebe.
	Produtor: Unidade que coleta e transforma energia de baixa qualidade (baixa intensidade) em energia com qualidade superior.
	Fonte: Fonte de energia externa.
	Sumidouro de energia: Dispersão de energia potencial empregada no sistema. A energia potencial é utilizada para produzir trabalho e o custo dessa transformação é a degradação da energia, a qual deixa o sistema como energia de baixa intensidade (2ª Lei da Termodinâmica).
	Caixa: Símbolo de uso múltiplo que pode ser usado para representar uma unidade de consumo e produção dentro de um sistema maior, representando assim, um subsistema.

Fonte: Adaptado de Odum (1996).

### 3.3.2. Princípio da máxima potência emergética

Como sugerido por Lotka (1922) como sendo a 4ª lei da termodinâmica, a estrutura da retro-alimentação autocatalítica desenvolve-se para maximizar a potência (Figura 4). Estruturas que processam mais energia útil irão prevalecer em comparação com as estruturas alternativas porque mais energia disponível fornece condições necessárias e melhor adaptação às condições das vizinhanças. Desde que toda transformação de energia possui menos energia na saída, para prevalecer, a menor energia produzida e estocada deve ser capaz de retro-alimentar e reforçar a energia de entrada, que é somente possível se o processo for amplificado. Assim, os sistemas de transformação de energia que não desenvolverem uma estrutura de retro-alimentação não serão reforçados e não terão longa duração (ODUM, 1996). Por exemplo, a extração de petróleo e sua simples combustão poderá utilizar maior quantidade de óleo e mais rápido (em curtos períodos) do que se o mesmo fosse refinado e utilizado para movimentar máquinas, mas ele não poderá competir em longos períodos de tempo, com um sistema que utiliza o petróleo extraído para desenvolver e movimentar máquinas que aumentam a capacidade de extração de petróleo.

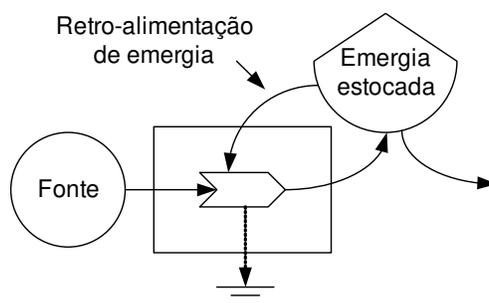


Figura 4. Diagrama sistêmico que mostra a relação autocatalítica entre o estoque e o processo de transformação de energia.

O Princípio da Máxima Potência sugerido por Lotka (1922), diz que a estrutura de um sistema é reforçada de maneira a maximizar a produção de energia através do recurso disponível. Sistemas de sucesso desenvolvem estruturas que maximizam o consumo do recurso disponível e a produção de energia, que também utilizam retro-alimentação de matéria e informação. Com o objetivo de contabilizar a qualidade destes fluxos, Odum (1983b, 1988) utilizou o princípio de Lotka para elaborar o Princípio da Máxima Potência Emergética (*“empower”*), cuja definição revisada, extraída de Ulgiati, Bargigli e Raugei (2007, p.1362), é a seguinte:

*“Sistemas que desenvolvem a maioria do trabalho útil com recursos de fluxos emergéticos pelo reforço do processo produtivo e superam limitações através da organização dos sistemas, irão prevalecer em competições com outros”*

ou em outras palavras,

*“em padrões auto-organizados, sistemas desenvolvem aquelas partes, processos e relações que maximizam a potência emergética útil”*

Segundo Hau e Bakshi (2004), o Princípio da Máxima Potência Emergética diz que todos os ecossistemas da Terra, sistemas astronômicos e, possivelmente todos os sistemas do universo são organizados em hierarquias porque este formato maximiza o processamento de energia útil. Assim, este princípio pode determinar que espécies, ecossistemas ou qualquer outro sistema irá sobreviver.

Dentro de uma relação de Máxima Potência Emergética e seleção natural, a máxima eficiência, como definida pela termodinâmica clássica, já não é a condução do pré-requisito. Primeiramente, sistemas complexos se adaptam às condições do meio ambiente pela OTIMIZAÇÃO, e não necessariamente pela MAXIMIZAÇÃO de sua eficiência, de forma que a máxima potência produzida pode ser alcançada e mantida. A maximização da produção global é o objetivo, que é alcançado pela escolha da eficiência mais apropriada para cada um dos subprodutos. Como uma consequência, a entrada de recursos também é maximizada consistentemente com a disponibilidade do recurso. Assim, os sistemas sintonizam seu desempenho termodinâmico de acordo com o ambiente da vizinhança. Em geral, quando os recursos são abundantes, a vantagem vai para o sistema que é capaz de se estruturar mais rapidamente do que os outros, apesar de sua eficiência. Quando os recursos declinam, a eficiência do sistema deve crescer com o objetivo de gerar a produção máxima dependendo de pequenas entradas de energia, mesmo que uma eficiência aumente é geralmente relacionado ao custo da velocidade do processo (ODUM; PINKERTON, 1955 apud ULGIATI; BARGIGLI; RAUGEI, 2007, p.1362).

A sociedade reduziu grandemente os estoques de recursos conhecidos e acessíveis, como por exemplo, os não-renováveis como óleo, minerais, solo fértil, e os recursos renováveis como ar e água limpa. Os recursos estão cada vez mais escassos devido ao aumento do uso per capita e aumento da população mundial. Entretanto, de acordo com o Princípio da Máxima Potência Emergética, o consumo rápido não é a longos períodos de tempo uma estratégia vencedora para a sobrevivência e deve ser trocada pelo aumento da eficiência global, ou seja, produzir mais com os recursos disponíveis (ULGIATI; BARGIGLI; RAUGEI, 2007).

### 3.3.3. Intensidade Emergética

As estruturas dos processos vivos e não vivos de um ambiente e como eles operam juntos são chamados de ecossistema. Exemplos são florestas, brejos, lagos, cerrado e coral de recifes. Todas as partes do ecossistema estão interconectadas, cada uma recebendo energia e materiais dos outros, interagindo através de mecanismos de “*retro-alimentação*” para se auto-organizarem no espaço, tempo e conectividade. Os ecossistemas circulam materiais, transformam energia, suportam populações, juntam componentes em uma rede de interações, organizam hierarquias, evoluem e replicam informações, além de manter a estrutura em pulsos de oscilação (ULGIATI; BROWN, 2009). Os ecossistemas e os sistemas antrópicos são partes de uma hierarquia de energia universal e estão imersos em uma rede de transformação de energia que une os sistemas pequenos aos grandes sistemas e estes aos sistemas maiores ainda.

Uma hierarquia é uma forma de organização que lembra uma pirâmide, onde cada nível é subordinado a outro nível acima dele. Dependendo do ponto de vista sobre o que significa hierarquia, ela pode ser considerada uma organização cujos componentes são arrumados em níveis, do topo (pequeno em número, mas grande em influência) até a parte mais baixa (maioria em número, mas pequeno em influência). Por outro lado, quando esse desenho de hierarquia é visualizado de baixo, observa-se uma estrutura parcialmente ordenada de entidades, onde cada uma é sucessora de pelo menos outra entidade; e cada entidade, exceto a mais alta, é um predecessor de pelo menos outra. Em geral, a definição de hierarquia, ou estrutura, em ecologia é considerada como um grupo de processos estruturados com o objetivo de ranquear ou classificar a natureza de sua função, para que cada nível hierárquico superior torna-se mais abrangente do que os níveis hierárquicos inferiores. Assim, freqüentemente representa-se cadeia de alimentos como uma organização hierárquica (ULGIATI; BROWN, 2009).

Todos, se não a maioria dos sistemas, formam séries hierárquicas de transformação de energia, onde a escala do espaço e tempo aumenta ao longo das séries de transformações (Figura 5). Muitos processos de pequena escala contribuem para formar poucos processos de larga escala. Energia é convertida de baixas para altas ordens de processos, e a cada transformação, mais energia disponível é perdida (como consequência da segunda lei da termodinâmica), enquanto somente uma pequena quantidade é utilizada pelo próximo processo. Adicionalmente, alguma energia é retro-alimentada, reforçando a potência dos fluxos de energia para as entidades localizadas na parte de cima da hierarquia (ULGIATI; BROWN, 2009).

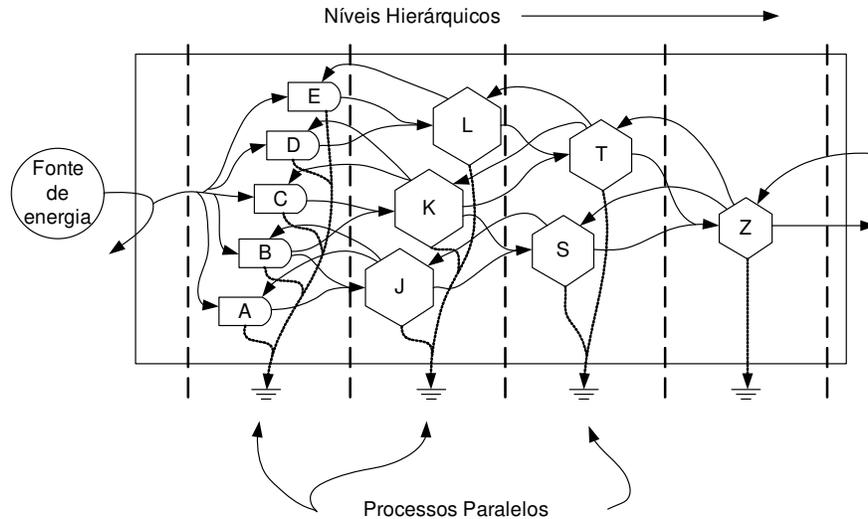


Figura 5. Diagrama da organização de um sistema mostrando a convergência de energia e matéria de baixos a altos níveis hierárquicos através de processos paralelos. Extraído de Ulgiati e Brown (2009, p.315).

O valor real do produto, ou seja, que representa toda a energia utilizada em sua produção é dado pela Intensidade Emergética (coeficiente similar à Intensidade Energética, mas que vai além do gasto energético comercial). Existem três principais tipos de Intensidade Emergética: Transformidade (em seJ/J), Energia Específica (em seJ/g) e Energia por Unidade Monetária (em seJ/\$).

O quociente da energia de um produto (em seJ) dividido pela sua energia (em J) é chamado de Transformidade. Em outras palavras, a Transformidade é obtida através da divisão entre toda a energia necessária para fazer um produto ou serviço, pela energia contida nesse produto ou serviço. É uma medida de eficiência, uma relação entrada/saída, mas considerando a eEnergia total na entrada e a eEnergia total na saída. A clássica definição de Transformidade dada por Odum (1996, p.10) é a seguinte:

*“Transformidade é a energia solar requerida para fazer um joule de um serviço ou produto. Sua unidade é emjoule solar por joule (seJ/J). A Transformidade solar de um produto é sua energia solar dividida pela sua energia”.*

O número de fluxos de energia da Figura 5 diminui através das sucessivas transformações dentro do sistema. Se os componentes do mesmo processo forem agregados, eles podem ser representados pelo diagrama em cadeia mostrado na Figura 6a. Se as sucessivas transformações de energia são similares, essa energia pode diminuir a uma porcentagem constante para cada estágio na cadeia. A diminuição sucessiva de energia é ilustrada pelo gráfico de decaimento de energia da Figura 6b. Se

a fonte de energia é a radiação solar, a Transformidade Solar aumenta através de uma porcentagem constante para cada estágio da cadeia (Figura 6c), pois a energia diminui e a energia solar é constante durante toda a cadeia. Assim, a Transformidade representa a posição dos fluxos e estoques de energia em uma hierarquia universal de energia (ODUM, 1996). Quanto mais transformações um produto sofre, maior o requerimento de energia e maior é a sua Transformidade.

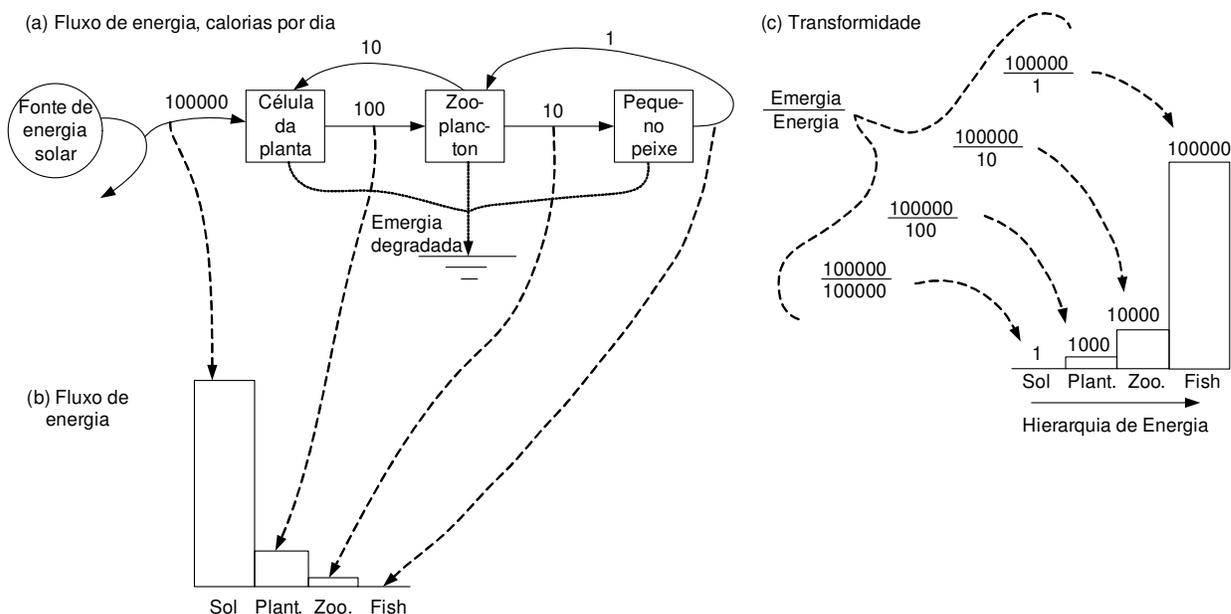


Figura 6. Propriedades de uma hierarquia de transformação de energia (ODUM; ODUM, 2001, p.66). (a) Diagrama de energia da cadeia de alimento de um ecossistema aquático; os números são médias dos fluxos de energia; (b) Gráfico mostrando o decréscimo da energia disponível devido às sucessivas transformações; (c) Gráfico mostrando o aumento da Transformidade para cada etapa na cadeia.

A cada transformação de energia mostrado na Figura 6a, energia é perdida devido à 2ª lei da termodinâmica, mas a qualidade da energia remanescente aumenta em relação à energia da etapa anterior. Transformidades são considerados indicadores de qualidade, porque quantificam a convergência de energia nos produtos e contabilizam a quantidade total de energia requerida para fazer alguma coisa. Qualidade é uma propriedade do sistema. Isso significa que uma escala absoluta de qualidade não pode ser feita, nem uma medida de qualidade ser utilizada sem inicialmente definir a estrutura e fronteiras do sistema. Por exemplo, qualidade como sinônimo de utilidade à economia humana é somente uma possível definição de qualidade, a “qualidade baseada no usuário”. Uma segunda possibilidade de definir qualidade é através da consideração de que a qualidade aumenta com o aumento dos *inputs*: quanto mais energia investida em

um produto, maior é sua qualidade, a “qualidade baseada no doador” (ULGIATI; BROWN, 2009).

Os mesmos autores concluem que a Transformidade mede a convergência do trabalho da biosfera em processos e produtos dos ecossistemas, assim como oferece a oportunidade de escalonar o ecossistema e suas partes baseado sobre a energia requerida para desenvolvê-lo e mantê-lo.

A Figura 7 mostra um diagrama sistêmico agregado da rede de transformações de energia da biosfera. Todos os componentes internos interagem e são requeridos por outros. Como resultado, a energia total que dirige a biosfera (a soma da radiação solar, marés e calor interno da terra) é requerida por todos os processos dentro da biosfera, e assim a energia associada a cada um deles é a mesma. Depois de milhões de anos de auto-organização, as transformações das energias que dirigem a atmosfera, oceano e terra estão organizados simultaneamente para interagir e contribuir mutuamente. Entretanto, o fluxo de energia necessário para cada processo interno à biosfera é a soma da energia das três fontes e equivale a  $15,83E24$  seJ/ano e é chamado de *baseline*. Esse cálculo pode ser visto detalhadamente em Brown e Ulgiati (2004, p.335).

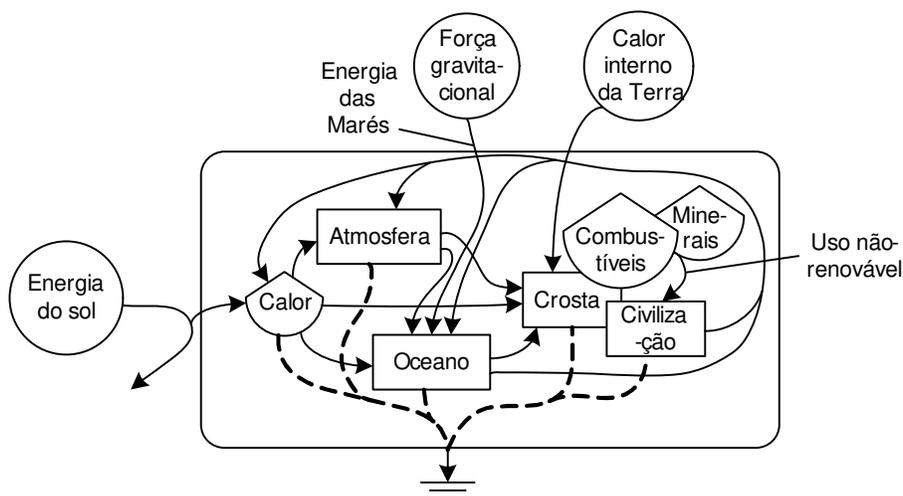


Figura 7. Rede de transformação de energia da biosfera. Fonte: Brown e Ulgiati (2004, p.335).

A Tabela 6 mostra alguns valores gerais típicos de Transformidade publicados por Odum (1987) no trabalho que ganhou o prêmio “*Crafoord Prize in the Biosciences*” concedido pela “*Royal Swedish Academy of Sciences*”. Outros valores de Transformidade

para diversos produtos e serviços podem ser encontrados em Odum (1996), Brown e Ulgiati (2004) e Ulgiati e Brown (2009), assim como nos Fólios Emergéticos<sup>2</sup>.

Tabela 6. Transformidade solar típica para alguns itens.

Item	seJ/J
Sol	1
Energia cinética do vento	623
Matéria orgânica	4.420
Energia geopotencial em chuva dispersa	8.888
Energia química em chuva dispersa	15.423
Energia geopotencial em rios	23.564
Energia química em rios	41.000
Energia mecânica, ondas e marés	17.000 – 29.000
Combustíveis	18.000 – 40.000
Alimentos (verduras e grãos)	24.000 – 200.000
Alimentos protéicos	1.000.000 – 4.000.000
Serviços humanos	80.000.000 – 5.000.000
Informação	10.000 – 10.000.000.000.000+

Fonte: Odum (1987)

### 3.4. *Prosperous Way Down*

Toda a discussão da presente tese objetiva esclarecer a necessidade da alteração do manejo dos sistemas de produção atuais para aumentar sua sustentabilidade através da diminuição da carga sobre o meio ambiente. Isso é muito importante devido aos inúmeros problemas ambientais existentes hoje na biosfera. Na tentativa de esclarecer através de uma visão macro o estágio de desenvolvimento atual da biosfera e seu próximo estágio, Odum e Odum (2001) publicaram o livro intitulado “A Prosperous Way Down”, que é utilizado como base nesse item.

A visão tradicional em ecologia e o mais popular conceito para a economia futura é o crescimento seguido por um nivelamento em regime permanente onde se perdem o equilíbrio dos fluxos (Figura 8a). O processo em que os sistemas ecológicos como o crescimento das florestas enquanto estiverem adicionando espécies, complexidade, e diversidade é chamado de sucessão. Este modelo é utilizado por muitos em nossa sociedade que buscam a sustentabilidade para nossa civilização. Entretanto, os princípios de pulso aparentemente se aplicam não somente aos sistemas econômicos e ambientais, mas também ao surgimento global de nossa civilização. Uma alternância entre tempos de produção gradual e estoques de reservas é seguida por um curto período de intenso consumo e reciclagem. Em outras palavras, sistemas que produzem,

<sup>2</sup> Publicados na internet no endereço <http://www.emergysystems.org/folios.php>.

consomem, e reciclam geralmente pulsam através de caminhos parecidos aos da Figura 8b.

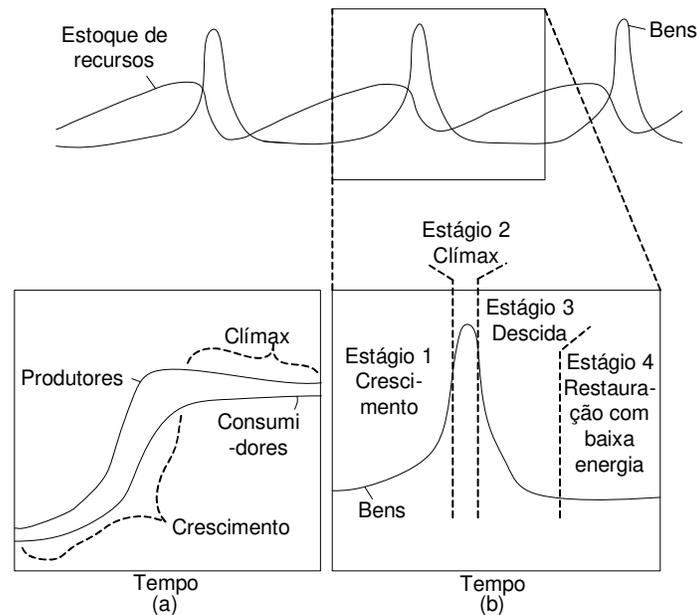


Figura 8. (a) Visão clássica do clímax e sustentabilidade em que o crescimento alcança um regime permanente; (b) Caso típico em que o pulso dos bens consumidos se alterna com a restauração dos recursos produtivos (ODUM; ODUM, 2001, p.78).

Os pulsos prevalecem porque a operação que pulsar transforma mais energia do que aquela em regime permanente. Aparentemente, uma alternância de produção e consumo fornece uma melhor conexão a longos períodos de tempo de energia utilizada para máxima potência emergética do que o regime permanente pode fornecer. Os caminhos de pulso resultam de sistemas auto-organizados. O sistema que pulsa aparece ser estável em longos períodos de tempo, repetindo os períodos de estocagem e consumo. Existe uma frequência ótima para um desempenho máximo (ODUM; ODUM, 2001).

As curvas de pulso mostradas na Figura 8b foram geradas por uma simulação computacional do modelo de produção, consumo e reciclagem mostrada na Figura 9 (ODUM; ODUM, 2001, p.79). Os pontos essenciais para um sistema de pulso são a fonte de energia, produção e estocagem do produto, e um sistema que consome os bens produzidos e geram uma onda de crescimento e declínio. A onda acelera o uso de reservas, construção de bens, uso dos bens para consumir mais e retro-alimentação dos resíduos para a produção. Em princípio, esse modelo e seu pulso se aplicam a sistemas de muitos tamanhos, desde pequenas escalas da química até a escala das estrelas.

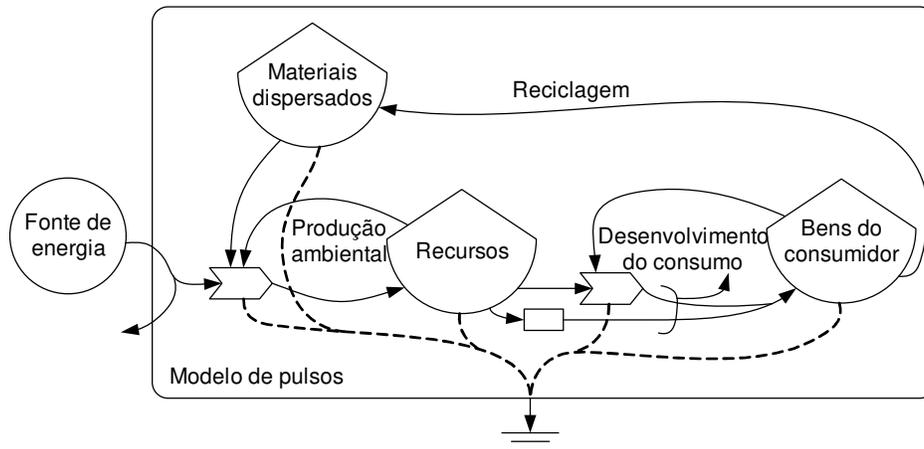


Figura 9. Modelo sistêmico do pulso de produção e consumo com alternância entre o tempo em que as reservas de recursos são restabelecidas e o tempo que o uso das reservas para uma onda de consumo se desenvolve (ODUM; ODUM, 2001, p. 79).

Assim como aplicado à biosfera, a produção lenta representa processos ambientais acumulando reservas em estoques de mineral, combustível e biomassa, seguido de perto por uma onda de consumo estimulado pelos bens produzidos, que representa nossa civilização urbana. Nosso sistema global contém sistemas de muitas escalas diferentes. Cada escala possui pulsos com diferentes períodos de tempo (Figura 10). Cada um desses sistemas está conectado a sistemas grandes e pequenos, fazendo com que o pulso de um sistema afete o outro. Algumas vezes, os pulsos dos sistemas de pequena escala quando vistos de uma janela de larga escala, são considerados apenas como ruídos aleatórios e irrelevantes. Por outro lado, os pulsos de um sistema de grande escala de alta Transformidade podem ser catastróficos ao sistema de pequena escala. Por exemplo, fenômenos globais de grande escala como furacões, enchentes e terremotos causam grandes prejuízos à economia e ecossistemas de pequena escala (Odum; Odum, 2001).

Odum e Odum (2001) sugeriram políticas públicas diferenciadas para os quatro estágios mostrados na Figura 8, com o objetivo de um desenvolvimento sustentável e maior capacidade de sobrevivência em um mundo com escassez de energia. Abaixo se encontra o resumo das políticas para os estágios de “descida” e “restauração com baixa energia”:

- (a) **Descida:** Através dos sinais que a história e os ecossistemas deram à humanidade, realmente não se conhece qual deveriam ser as políticas para o período de descida de nossa complexa e intensiva civilização urbana. Os bens

diminuem, seja porque o pulso de crescimento utilizou os estoques de recursos disponíveis ou porque existe uma onda de destruição do pulso de grande escala. Com menos energia, sistemas podem somente ser sustentados se forem reduzidos. Seja por um meio ou de outro, os sistemas desenvolvidos tem que se adaptar a essa descida, que pode ser gradual ou catastrófica. Uma questão ainda não resolvida é quando existe uma boa política para uma descida gradual, mas que deveria ter sido elaborada para uma descida catastrófica. Em alguns sistemas, o estágio maduro é finalizado abruptamente pela remoção catastrófica devido aos pulsos sobre uma escala grande. Os mecanismos incluem fogo, tempestades, terremotos, erupções vulcânicas, furacões e epidemias de doenças e insetos. A sociedade humana pode adaptar-se à redução da dependência de recursos como os ecossistemas o fazem. Para sustentar padrões de vida, a população mundial deverá ser reduzida. Pessoas irão se adaptar devido às previsões ou serão forçadas devido ao declínio dos recursos. Para maximizar o desempenho através de longos períodos de tempo, as necessidades para os objetivos de longo prazo devem ser prioridade, entretanto, atividades de pequena escala podem continuar com ondas de produção e consumo dentro do comportamento de descida do sistema de grande escala.

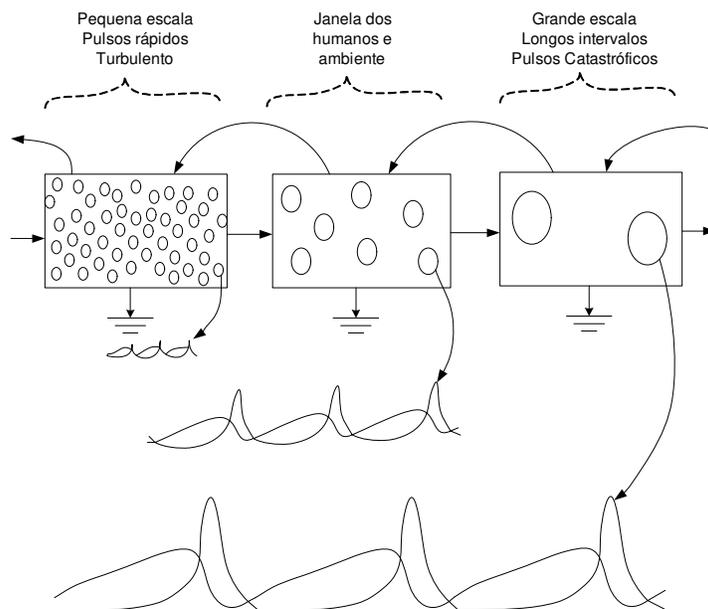


Figura 10. Esboço mostrando o pulso de produção e consumo para três escalas de tempo e espaço (ODUM; ODUM, 2001, p. 82).

(b) **Restauração com baixa energia:** Depois da descida e antes do próximo pulso de crescimento, encontra-se um período em que as reservas de recursos como combustíveis e minerais são reconstruídas. Processos da economia humana declinam, processos ambientais de produção podem iniciar para fazer estoques líquidos de recursos novamente. Para isso acontecer, a população mundial deve ser reduzida e adotar atitudes de baixo crescimento. Isso será benéfico para as sociedades desenvolverem mecanismos que inibam as iniciativas de crescimento em larga escala. Iniciativas de crescimento podem ser limitadas pela reprogramação de opinião cultural sobre crescimento. Políticas sobre população e desenvolvimento apropriados para restauração com baixa energia podem ser parecidas com aquelas antigamente encontradas em culturas (povos) de baixa energia. Durante o tempo em que a economia global estará passando por uma fase com baixa população mundial, pequenas áreas da biosfera podem passar por curtos pulsos de crescimento e descida baseados sobre solos e florestas localmente restaurados. Em áreas onde a produção ambiental poderia acumular recursos como madeira, solo e turfa, o crescimento local poderia ocorrer até que a exploração utilizasse todas as reservas. Assim, ter-se-á condições para um novo ciclo de acumulação de recursos, pulso de crescimento e consumo. Para um mundo futuro que utiliza baixa quantidade de energia, podem-se esperar comunidades com pequenas populações dispersas vivendo inicialmente sobre energia renovável como madeira, peixe e energia elétrica, com pouco uso de recursos como combustíveis e minerais.

Para uma simulação computacional, um modelo simples baseado sobre recursos renováveis e não-renováveis é fornecido na Figura 11. Esse modelo não possui caminhos para encher o estoque e, assim, não possui oscilações repetitivas como mostrado na Figura 9. A Figura 11b é uma simulação típica de crescimento e descida do modelo simples. Primeiro, os bens da civilização crescem vagarosamente através de uma economia baseada na produção agrícola que utiliza radiação solar, chuva e solo de maneira sustentável. Eventualmente, a onda de bens no crescimento sustentável cresce quando tecnologia é encontrada para um rápido uso dos recursos não-renováveis. Depois de uma onda de crescimento, os bens retornam para um baixo nível baseado novamente sobre recursos renováveis. O modelo não-renovável representa um período de tempo dentro de um longo regime de pulsos repetitivos produzidos por um modelo mais complexo (Figura 9). Esse modelo mostra de maneira simples os conceitos dos

“limites do crescimento” que já fora discutido por muitos autores, como por exemplo, por Meadows e Meadows (1978).

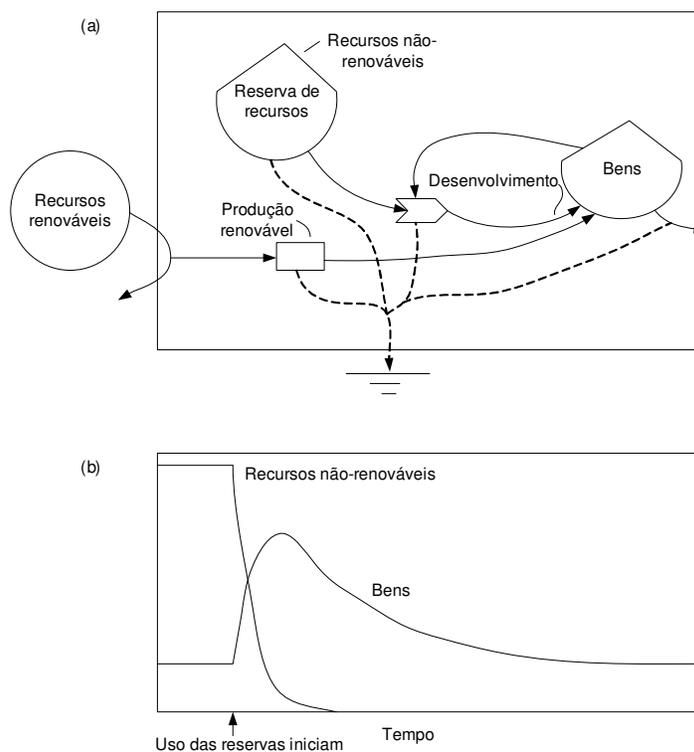


Figura 11. Modelo que representa os pulsos da civilização humana baseado em recursos renováveis e não-renováveis. (a) Diagrama sistêmico; (b) Resultado típico de uma simulação computacional do modelo anterior (ODUM; ODUM, 2001, p. 88).

No Capítulo 3 do livro “A Prosperous Way Down” (Odum; Odum, 2001) chamado de “Visões Intelectuais do Futuro”, os autores elaboram um gráfico (Figura 12) que mostra diferentes visões sobre o futuro da civilização global. As curvas mostram os resultados de diferentes estudos, com diversas abordagens que utilizaram diferentes fontes de dados. Verifica-se que a maioria das curvas mostra que a civilização está no clímax da produção de bens, e que em pouco tempo iniciará a fase de descida. Dessa forma, a civilização precisa se preparar para essa nova fase que é iminente.

Brown (2006) define essa fase como “depois do pico do petróleo”. Segundo o autor, poucos países estão planejando a redução de sua dependência do petróleo, pelo contrário, as projeções de uso de petróleo pela *International Energy Agency* e pelo *U.S. Department of Energy* mostram que o consumo de petróleo mundial atual, de aproximadamente 84 milhões de barris por dia, alcançará 120 milhões de barris por dia em 2030. O setor de produção de alimentos será afetado de duas maneiras: (i) o preço do alimento aumentará de acordo com o aumento do petróleo; (ii) devido ao aumento do

preço do petróleo, a dieta humana será alterada através do consumo de alimentos que estão mais abaixo da cadeia alimentar (redução do consumo de carnes e derivados do leite), assim como o consumo de produtos locais e sazonais. Em relação ao setor energético, aproxima-se cada vez mais um futuro que depende de recursos renováveis de energia, incluindo energia eólica, células solares, energia geotérmica, hidrelétrica, potência das ondas do mar e biocombustíveis. No processo de transição de energia que se aproxima, haverá ganhadores e perdedores, pois países que falharem em planejar a médios e longos prazos, que deixarem de investir em tecnologias mais eficientes e novas fontes de energia, poderão experimentar um declínio nos padrões de vida.

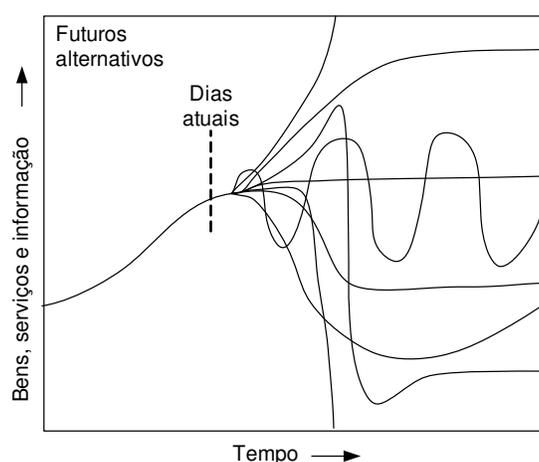


Figura 12. Tendência dos bens, serviços e informação de acordo com os cenários propostos por diferentes autores (ODUM; ODUM, 2001).

### 3.5. Elaboração de Cenários

A cooperação internacional é importante para estabelecer as políticas sobre mudanças climáticas, onde um dos principais alvos é a dinâmica do uso e ocupação da terra (*Land Use and Land Cover Change – LUCC*), que é atualmente reconhecida pela comunidade científica como papel de destaque sobre as alterações climáticas. Ela informa de interações entre terra e atmosfera que afetam os ciclos biogeoquímicos e a concentração dos gases de efeito estufa.

As mudanças no uso da terra afetarão e serão afetadas pelas mudanças na atmosfera (FRESCO; LEEMANS; van ZEIJL-ROZEMA, 1996). As áreas agrícolas e de urbanização avançam rapidamente sobre as reservas naturais no mundo inteiro. A LUCC, dentro e ao redor de reservas naturais, indica o estado das funções ecossistêmicas e o estado dos fluxos de massa, energia e organismos nesses espaços. Para entender e

avaliar o uso da terra são utilizados modelos matemáticos que combinam conhecimentos e ferramentas das ciências biofísicas e sócio-econômicas. Mesmo assim, estudar sistemas complexos em múltiplas escalas é uma tarefa difícil. Deve-se considerar o contexto geográfico e sócio-econômico do sistema; a influência da escala espacial sobre a modelagem; o equilíbrio dinâmico do modelo; possibilidade de surpresas (mudanças rápidas de comportamento) (EWERT; HANSEN; GREENWOOD, 2008).

A identificação e quantificação das forças que atuam no Lucc deve considerar opiniões de especialistas e dos atores do processo sócio-econômico. Como a quantificação das forças biofísicas e sócio-econômicas é difícil, geralmente se considera a elaboração de cenários para explorar opções do Lucc (EWERT; HANSEN; GREENWOOD, 2008). Como exemplo da grande quantidade de forças agindo no Lucc, Busch (2006; Figura 13) considerou a demanda de alimentos, população, ingestão de calorias, uso de fertilizante, produtividade, produção de gramíneas e forrageiras, demanda de matérias primas agrícolas e demanda de produtos de origem animal.

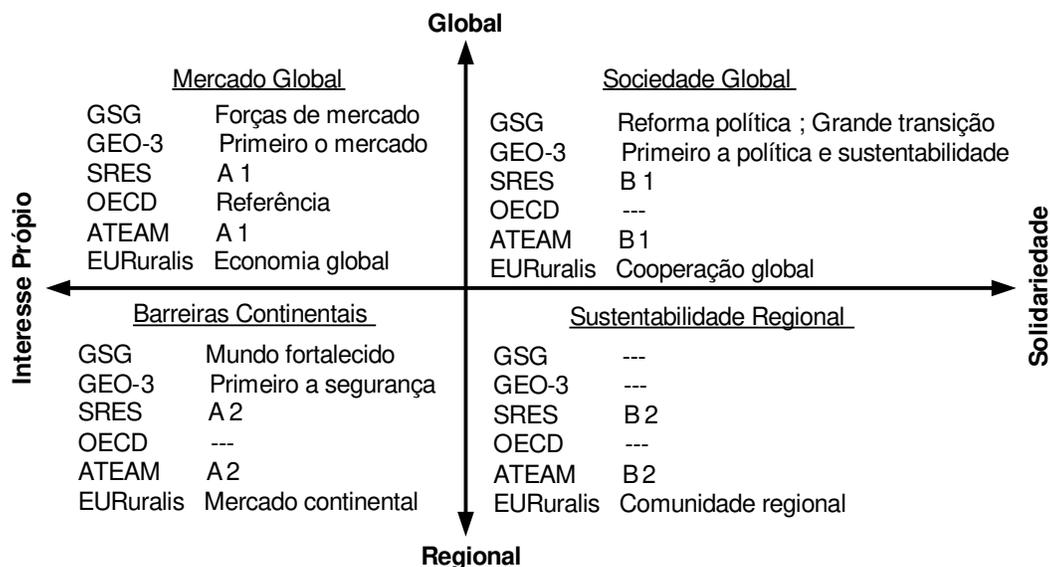


Figura 13. Classificação dos cenários estudados por Busch (2006). Legenda: GSG: Global Scenarios Group Futures/Stockholm Environment Institute Boston; GEO-3: Global Environmental Outlook 3/National Institute for Public Health and the Environment; SRES: Special Report on Emission Scenarios. National Institute for Public Health and Environment; OECD: Environmental Outlook/OECD; ATEAM: Advanced Terrestrial Ecosystem Analysis and Modeling/University of Louvain-la-Neuve; EURuralis: Wageningen University-National Institute for Public Health and the Environment; A1, A2, B1 e B2: cenários do SRES/IPCC

A redução da emissão de gases de efeito estufa no futuro depende de vários fatores, como a adoção de controles mais rígidos por parte dos governos, o grau de redução do uso de hidrocarbonetos por parte da indústria, a organização de um consumo

consciente, entre outros. De acordo com Dow e Downing (2007), quando a nossa visão do futuro é incerta, usamos o termo cenário para descrever uma alternativa possível, com base em um conjunto de pressupostos sobre as forças causais e suas interações. Os cenários não são nem previsões nem prognósticos, e às vezes se baseiam em roteiros narrativos.

A construção de um cenário utiliza múltiplas perspectivas para explorar um problema específico. Os cenários são histórias coerentes sobre alternativas futuras. A técnica de cenários é muito utilizada na Física, na Econômica e nas Ciências Sociais (EWERT; HANSEN; GREENWOOD, 2008). Para Shearer (2005), os cenários ajudam a gerenciar as incertezas das decisões baseadas em suposições, ao invés de fatos, analisando como o futuro poderia se desdobrar e comparando as conseqüências potenciais de diferentes contextos.

Segundo ANA (2005, p.1), para a elaboração de “cenários deve-se procurar descrever futuros alternativos, como ferramenta do planejamento numa realidade carregada de riscos. Deveriam lidar com eventos e processos incertos, sem eliminar as incertezas e sem fazer predições de futuro.”

De acordo com Verburg, Veldkamp e Rounsevell (2006), o desenvolvimento de cenários é uma ferramenta útil na avaliação da mudança de uso e ocupação da terra e estão sendo publicados muitos trabalhos sobre essa aplicação (DE NIJS; NIET; CROMMENTUIJN, 2004; SOLECKI; OLIVERI, 2004; SHEARER, 2005). O estudo de cenários possui limitações e incertezas e envolve julgamentos subjetivos onde podem-se ter julgamentos totalmente diferentes para o mesmo cenário. Como exemplo, Rounsevell et al. (2006) citam que o julgamento do que pode ser “regional” varia em função da extensão geográfica e dos objetivos de um estudo particular. No mesmo sentido, Verburg, Veldkamp e Rounsevell (2006) acreditam que o entendimento das histórias narradas nos cenários é subjetivo e depende dos objetivos de quem interpreta a realidade.

Nas últimas décadas, estão sendo realizados importantes estudos científicos regionais e globais sobre avaliações críticas de sistemas complexos com o propósito de guiar decisões políticas. Os estudos consideram o contexto internacional, são escritos por equipes de especialistas de várias disciplinas, possuem base na literatura científica, e são melhorados através da revisão de pares antes de serem divulgados aos tomadores de decisão e, às vezes, a um público mais amplo. Esses estudos avaliam o impacto das atividades humanas sobre os recursos naturais e o clima. Entre os mais conhecidos

estão a avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2000), o Estudo Global Ambiental (UNEP, 2002) e a Avaliação Ecológica do Milênio (MEA, 2005).

Dentre todos os estudos existentes, os que receberam maior aceitação pela comunidade científica, pelos governantes e pela sociedade, são os do IPCC e do MEA. Eles possuem credibilidade, legitimidade e relevância para a comunidade de usuários, mas possuem objetivos diferentes.

A Tabela 7 resume as principais diferenças entre os estudos do IPCC e do MEA. O estudo do IPCC estuda as mudanças climáticas e avalia suas causas, seus impactos sobre os ecossistemas e regiões, e possíveis formas de adaptação e mitigação. Nesse estudo se mostra uma cadeia causal e conta com modelos e cenários. O estudo do MEA está baseado em mudanças da biodiversidade, serviços ecossistêmicos e bem-estar da humanidade, avaliando seu impacto sobre a sociedade e sobre regiões específicas. O MEA aprofunda no estudo do número de forças atuantes (“*drivers*”) e as interações que causam as mudanças. A abordagem do MEA é qualitativa, distinta da abordagem fortemente quantitativa aplicada pelo IPCC (LEEMANS, 2008).

Tabela 7. Diferenças e similaridades entre as estruturas do IPCC e do MEA.

Item	IPCC	MEA
1	Global (com capítulos regionais).	Global e estudos em múltiplas escalas.
2	Intergovernamental.	Independente.
3	Única convenção relevante (UNFCCC) <sup>a</sup> .	Múltiplas convenções e outros usuários.
4	Gerenciado pelo Plenário Intergovernamental com delegados nacionais.	Gerenciado por uma equipe com representatividade das convenções, governos, organizações científicas e o setor privado, um painel de estudos e um diretor.
5	Rígida estrutura definida pela equipe que gerencia o IPCC na sessão plenária.	Processo interativo de estrutura com envolvimento dos usuários.
6	Capacidade de construção limitada.	Forte esforço na capacidade de construção.
7	Pouca interação entre os grupos de trabalho.	Muitas interações freqüentes entre os grupos de trabalho.
8	Recursos através do IPCC e governos nacionais.	Banco mundial, GEF, fundações privadas e alguns governos.
9	Modelo de cenários fortemente alicerçados e quantitativos.	Cenários altamente qualitativos.
10	Divulgação através de relatórios e governos.	Atividades fortes de divulgação para o público em geral e governos.
11	Todos os autores líderes e autores secundários participam das reuniões.	Somente os autores líderes participam das reuniões.

Fonte: Leemans (2008).

<sup>a</sup> UNFCCC = Grupo das Nações Unidas sobre mudanças climáticas.

O estudo do IPCC é menos flexível na incorporação de novos tópicos políticos e científicos. Já o MEA, devido a sua postura pró-ativa, consegue incorporar novos temas. O sucesso do estudo do IPCC se deve ao fato da equipe de trabalho convidar todos os autores (autores líderes e contribuintes) para as reuniões de trabalho, onde puderam ser discutidos e definidos todos os pontos que apresentavam alguma dúvida. Já o MEA desapontou nesse aspecto, pois apenas os autores líderes participavam das reuniões.

Desde a publicação do 4º Relatório sobre mudanças climáticas, o IPCC vem fortalecendo a divulgação de seus resultados. Ambos estão publicando resumos de seus trabalhos para públicos diferentes. O conteúdo das publicações está recebendo a atenção devida e se transforma em notícias de jornal, artigos científicos e discussões públicas. Dessa forma os estudos realizados se tornam efetivos e tem grande sucesso, e farão parte das futuras políticas sobre clima, ecossistemas e biodiversidade.

A seguir, para entender melhor a organização e estrutura das duas abordagens, são descritas algumas das suas características principais.

### **3.5.1. Estrutura governamental da Avaliação Ecossistêmica do Milênio (Texto baseado no trabalho de Leemans, 2008)**

Na segunda metade da década de 90, o secretário geral da Organização das Nações Unidas (ONU), Kofi Annan, deu início a Avaliação Ecossistêmica do Milênio (MEA), um estudo internacional para fornecer dados científicos sobre a biodiversidade, serviços ecossistêmicos e bem-estar humano a diversas convenções da ONU, tais como a Convenção sobre Diversidade Biológica (CBD), a Convenção para o Combate à Desertificação (CCD), a Convenção Ramsar sobre *Wetlands*, a Convenção sobre as Espécies Migratórias (CMS) e muitas outras organizações incluindo o setor privado e a sociedade civil.

Kofi Annan convidou especialistas independentes de diferentes convenções e organizações para formar a equipe do MEA, que começou oficialmente no ano de 2000 através da primeira reunião da equipe, em Trondheim, Noruega. Nessa reunião, ficou estabelecido um painel de estudos, com quatro grupos de trabalho (condições e tendências; cenários; responsabilidade; e estudos regionais) e uma equipe de revisores que supervisionaria a qualidade dos estudos. Além disso, ficou estabelecido que o painel de estudos devesse incluir todos os diretores dos grupos de trabalho e três especialistas independentes. Cada grupo de trabalho seria co-dirigido por um economista e um ecologista (um de um país desenvolvido e outro de um país em desenvolvimento), e

possuiria o apoio de um pequeno grupo técnico. Os diretores dos grupos de trabalho seriam responsáveis em desenvolver um esboço do estudo, em selecionar os autores principais e autores contribuintes, em escrever os relatórios e os resumos para os legisladores. Os objetivos do MEA foram definidos como:

- (a) Estimular e guiar ações para conservar ecossistemas e enriquecer sua contribuição ao bem-estar humano;
- (b) Potencializar as avaliações de ecossistemas integrados e agir sobre suas informações.

O painel de estudos tem que fornecer direções para alcançar esses objetivos. Para evitar conflitos sobre as terminologias utilizadas, foi desenvolvido um glossário a ser utilizado em todos os estudos. As relações de trabalho (“*framework*”) foram elaboradas e discutidas por especialistas e usuários e publicadas rapidamente. As normas de trabalho permitiram abordagens mais uniformes e úteis para todos os usuários. O grupo de trabalho que trata de questões regionais foi uma inovação importante que ajudou a mostrar as conseqüências do desenvolvimento humano nos ecossistemas. O MEA possui mais de 20 estudos aplicados em escala local e regional.

As reuniões do MEA aproveitam os esboços dos grupos de trabalho após terem sido discutidos no painel de estudos (com participação de um grande número de usuários, em discussões, entrevistas e questionários). Muitos desses esboços enfatizaram as diferentes regiões do globo com seus ecossistemas e seus maiores serviços ecossistêmicos. A equipe do MEA aprovou, em 2003, os esboços, abordagem dos estudos e equipe de autores. Foi dada ênfase à participação de autores líderes de países em desenvolvimento, pois aproximadamente 40% deles participaram principalmente de estudos regionais.

Os participantes do painel de estudos reúnem-se duas vezes por ano. O propósito das reuniões anuais é o de apresentar e discutir procedimentos, mostrar resultados dos capítulos e mostrar progresso nos pontos discutidos e destacados em reuniões anteriores. Essas reuniões provaram ser um mecanismo apropriado em harmonizar os estudos entre os grupos de trabalho, mesmo assim, nem sempre todo o time de autores está disponível e participa das reuniões, o que resulta em pouco progresso em responder os comentários realizados anteriormente. Essa comunicação com todo o time é realizada após as reuniões, por meio de tele-conferências e e-mail. Depois que todos os capítulos são finalizados, o painel de estudos coordena a elaboração dos resumos para os legisladores. Após ter finalizado o relatório e os resumos (inclusive gráficos, tabelas e

desenhos), o MEA foi lançado oficialmente em Março 2005 com apresentação em muitas capitais mundiais.

As questões chave relacionadas aos cenários do MEA são:

- (a) Quais seriam as conseqüências de mudanças plausíveis nos caminhos do desenvolvimento dos ecossistemas e seus serviços nos próximos 50 anos?
- (b) Quais seriam as conseqüências dessas mudanças para o bem-estar da humanidade?

Outras quatro questões mais específicas também foram consideradas (MEA, 2005):

- (a) Quais são as conseqüências para os serviços ecossistêmicos e o bem-estar da humanidade se forem utilizadas estratégias que enfatizem a reforma da política econômica (reduzindo subsídios e internalizando as externalidades) como o principal meio de gestão?
- (b) Quais são as conseqüências para os serviços ecossistêmicos e o bem-estar da humanidade se forem utilizadas estratégias que enfatizem a segurança e proteção local e regional, e que dê menos ênfase às questões em maiores escalas como globais?
- (c) Quais são as conseqüências para os serviços ecossistêmicos e o bem-estar da humanidade se forem utilizadas estratégias que enfatizem o desenvolvimento e uso de tecnologias que permitem grande eco-eficiência e controle adaptativo?
- (d) Quais são as conseqüências para os serviços ecossistêmicos e o bem-estar da humanidade se forem utilizadas estratégias que enfatizem a gestão adaptativa e o aprendizado local sobre as conseqüências da intervenção gerencial para os serviços ecossistêmicos?

Através dessas questões específicas, os quatro cenários abaixo foram estabelecidos pelo relatório do MEA (2005; Figura 14):

- (a) **Governança Global (*Global Orchestration*)**: Acredita-se que existe grande habilidade dos humanos em encontrar abordagens tecnológicas para reparar ou substituir funções ecossistêmicas perdidas. Baseia-se na crença de grande resiliência: os ecossistemas se recuperam dos impactos antrópicos mais do que geralmente se considera possível. Existe a confiança de que as políticas de direito global irão favorecer a equidade econômica em todos os

países, e os impactos sobre o meio serão auto-recuperados, assim como o crescimento da prosperidade.

- (b) **Ordem de Resistência (*Order from Strength*)**: O foco é a segurança nacional, o crescimento econômico dos países ricos, a crença de que os ecossistemas são altamente resistentes e que a preservação de ecossistemas representativos é suficiente para manter opções abertas no futuro, significa que os ecossistemas são considerados somente depois de haver maior pressão econômica e social. Em países pobres, a luta de pessoas para sobreviver economicamente e fisicamente, combinado com o desconhecimento das relações entre bem-estar humano e saúde do ecossistema, torna a conservação dos ecossistemas uma baixa prioridade e a exploração (exportação ou destruição) uma necessidade.
- (c) **Adaptando o Mosaico (*Adapting Mosaic*)**: Nesse cenário, políticas públicas pró-ativas locais e regionais surgem após o reconhecimento da importância que os serviços ecossistêmicos possuem em sustentar a vida e o bem-estar humano.
- (d) **Jardim Tecnológico (*Techno-Garden*)**: Nesse cenário, políticas públicas pró-ativas surgem devido ao reconhecimento do valor econômico dos serviços ecossistêmicos. Existe o desenvolvimento de tecnologias que causam menos impacto sobre o meio ambiente e que são adotadas por companhias globais, sendo divididas através das fronteiras internacionais.

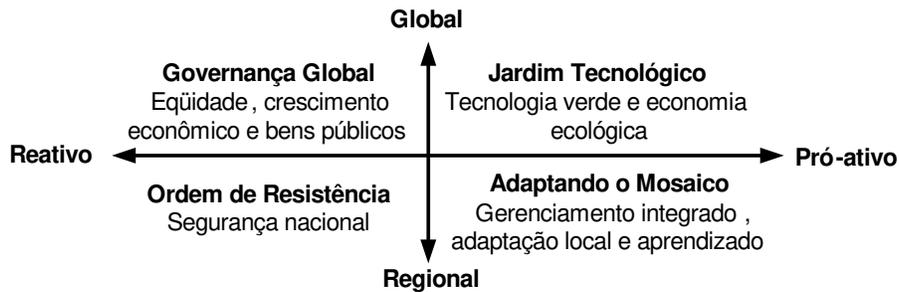


Figura 14. Cenários estabelecidos pela Avaliação Ecossistêmica do Milênio (MEA, 2005).

### **3.5.2. Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (Texto baseado no trabalho de Leemans, 2008)**

O IPCC foi estabelecido em 1988 pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP) e pela Organização Meteorológica Mundial (WMO) como um corpo intergovernamental para fornecer informações do estado da arte sobre o clima, mudanças climáticas e suas conseqüências. O IPCC é aberto para todos os países membros da UNEP e WMO. Os delegados nacionais do painel reúnem-se anualmente em um plenário que discute e decide sobre estrutura, princípios, procedimentos e programa de trabalho, e elegem os diretores do IPCC. Além disso, no painel é estabelecido o escopo dos relatórios do IPCC e sua aprovação. O IPCC possui uma força tarefa sobre inventários nacionais de gases de efeito estufa e três grupos de trabalho:

Grupo I: Aspectos científicos dos sistemas climáticos e das mudanças climáticas.

Grupo II: Impactos, opções de adaptação e vulnerabilidade dos sistemas naturais e sócio-econômicos em relação às mudanças climáticas.

Grupo III: Opções para limitar e mitigar as emissões de gases de efeito estufa.

Cada grupo de trabalho e a força tarefa possuem dois co-diretores, um dos países desenvolvidos e outro dos países em desenvolvimento, além de uma pequena unidade técnica de suporte. As atividades do IPCC e a participação de especialistas de países em desenvolvimento são financiadas através de contribuições voluntárias dos governos e um suporte adicional da WMO, UNEP e da UNFCCC (Grupo das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas). Os especialistas dos países desenvolvidos são financiados pelos próprios governos.

O painel inicia um estudo nomeando o diretor do grupo de trabalho e estabelecendo o escopo. Delegados do UNFCCC, pessoas do governo e outros são consultados para identificar questões chave. Depois disso, um esboço é elaborado por especialistas. O Painel precisa aprovar esse esboço antes da seleção do grupo de autores líderes para cada capítulo do futuro relatório. A equipe de capítulo incluiu um coordenador, alguns autores líderes e muitos autores contribuintes com diferentes conhecimentos científicos. Embora, idealmente, a equipe de autores devesse mostrar balanço geográfico equilibrado do mundo, as equipes de autores ainda são dominadas por especialistas de países desenvolvidos.

Para assegurar crédito, transparência e objetividade, cada relatório passa por um rigoroso processo de três estágios. A primeira revisão é realizada informalmente por um pequeno grupo de pesquisadores. Nesse estágio, a compreensão é especialmente avaliada. Na segunda revisão, a versão parcial dos capítulos é revisada por muitos especialistas, e em seguida, o time de autores considera os comentários e uma segunda versão do documento é elaborada. Essa nova versão é distribuída aos governos e aos autores para realizar a terceira e última versão. Todo o processo de revisão é supervisionado por editores, que são responsáveis por cada capítulo e que garantem que os comentários e as críticas sejam adequadamente respondidos. Após a aceitação das mudanças pelos revisores, a versão final é avaliada pelo painel em uma sessão do plenário. Adicionalmente, resumos para os legisladores são preparados por um pequeno time de autores e levados a plenário para aprovação.

As reuniões dos grupos de trabalho são organizadas separadamente e envolvem todos os autores líderes de todos os capítulos do relatório. Isso estimula fortemente a discussão dentro do grupo de trabalho, mas, infelizmente, não entre grupos de trabalho. Essas relações formais entre os diferentes grupos de trabalho influenciam negativamente a consistência e a qualidade do estudo. Os grupos trabalham independentemente e o processo de revisão parece ser o único caminho para identificar discrepâncias entre eles. Isso poderia ser resolvido através de melhor interação entre os grupos de trabalho.

Em 1996, o IPCC publicou o Relatório Especial dos Cenários das Emissões (SRES), onde descreve os principais cenários possíveis. Ele é usado para esclarecer os pressupostos que orientam as políticas sobre emissões e suas conseqüências para as mudanças climáticas. Recentemente, um sumário desse relatório (IPCC, 2000), foi publicado para servir de guia aos tomadores de decisão. A Figura 15 mostra os cenários considerados no último relatório do IPCC, cuja descrição é a seguinte:

- (a) O **Cenário A1** descreve um mundo futuro com crescimento econômico muito rápido, com pico de sua população na metade do século e em seguida sua redução e um avanço rápido das tecnologias atuais. O foco desse cenário é a convergência entre as regiões, a capacitação e aumento das interações culturais e sociais, com uma redução substancial das diferenças regionais da renda per capita. Esse cenário se desenvolve em três grupos que apontam direções alternativas da mudança tecnológica em relação ao sistema energético. Esses três grupos são: uso intensivo de combustíveis fósseis

(**A1F1**); sem uso de combustíveis fósseis (**A1T**); equilíbrio entre todas as fontes (**A1B**).

- (b) O **Cenário A2** descreve um mundo heterogêneo, onde o foco é o fortalecimento e a preservação das identidades locais. O padrão de fertilidade nas regiões converge lentamente o que resulta em um contínuo aumento da população mundial. O desenvolvimento econômico é orientado regionalmente, o crescimento econômico per capita é mais fragmentado e vagaroso do que nos outros cenários.
- (c) O **Cenário B1** descreve um mundo convergente e com as mesmas características populacionais do **Cenário A1**, ou seja, tem seu pico populacional na metade do século e em seguida sua redução, mas diferencia-se devido às rápidas mudanças nas estruturas econômicas voltadas ao serviço e à informação, com reduções na intensidade do uso de materiais e uso de tecnologias limpas e eficientes. O foco desse cenário está voltado globalmente para a sustentabilidade econômica, social e ambiental, incluindo mais equidade, mas sem iniciativas climáticas adicionais.
- (d) O **Cenário B2** descreve um mundo cujo foco está nas soluções locais para a sustentabilidade econômica, social e ambiental. A população aumenta com uma taxa menor que no **Cenário A2**, existem níveis intermediários de desenvolvimento econômico. Em relação às mudanças tecnológicas, é mais diverso quando comparado aos cenários **B1** e **A1**. Esse cenário está orientado à proteção ambiental e equidade social, focado aos níveis locais e regionais.

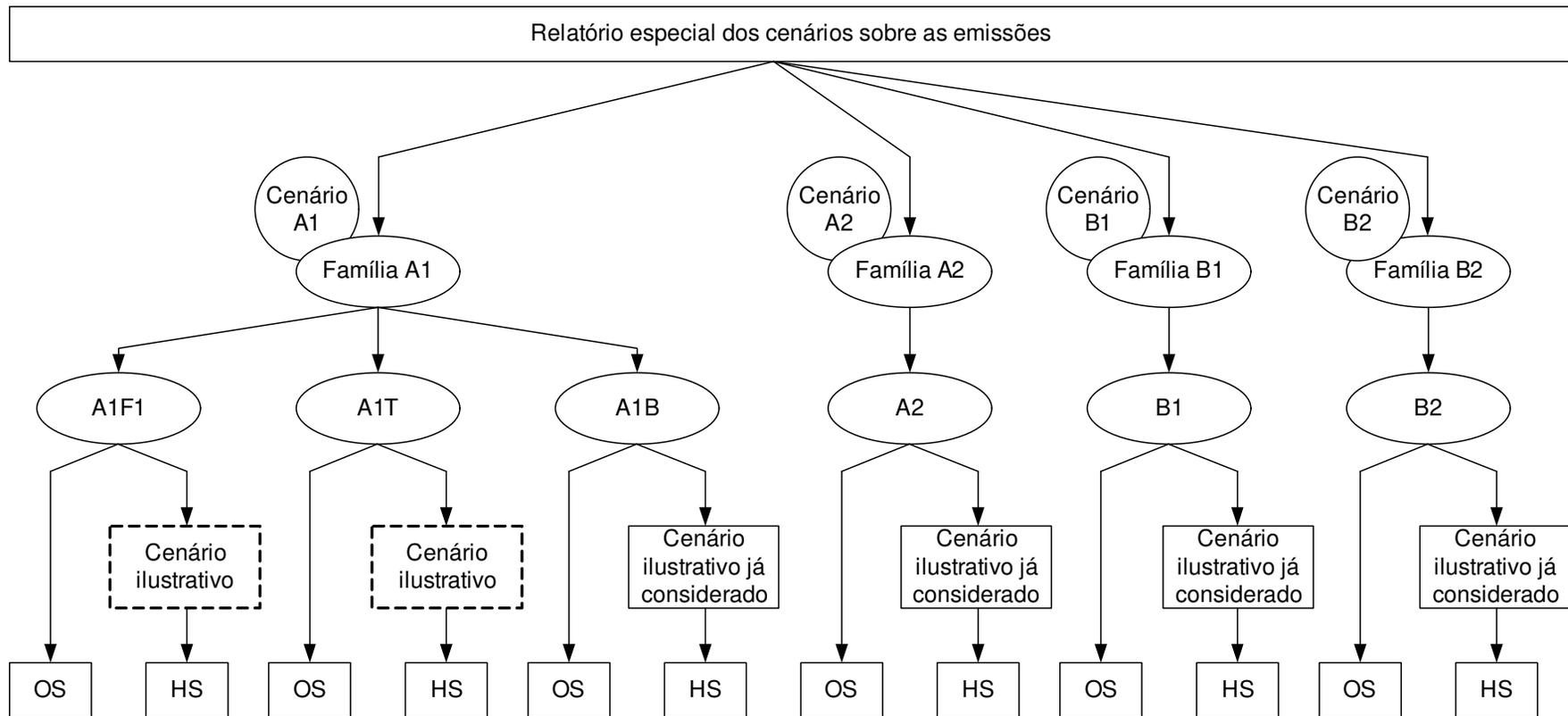


Figura 15. Ilustração esquemática dos cenários publicados no Relatório Especial dos Cenários sobre as Emissões (IPCC, 2000). A1F1=intenso uso de combustível fóssil; A1T=predominantemente sem uso de combustível fóssil; A1B=uso equilibrado de combustível fóssil; HS=cenários com uso e crescimento harmonizado entre população global, produto bruto mundial e energia; OS=cenários que exploram incertezas sobre as forças impulsionadoras descritas no cenário HS. As caixas descritas com “cenário ilustrativo já considerado” foram sugeridas pela primeira vez em 1996 e agora estão incluídas de maneira revisada; enquanto as descritas com “cenário ilustrativo” estão sendo consideradas pela primeira vez no relatório do IPCC. Os outros cenários estão descritos no texto principal.

A Figura 16 mostra a variação da emissão de gases de efeito estufa e a variação da temperatura de acordo com os cenários do IPCC. De maneira geral, a temperatura média do ar poderá aumentar de 2°C a 4°C até o final do século XXI.

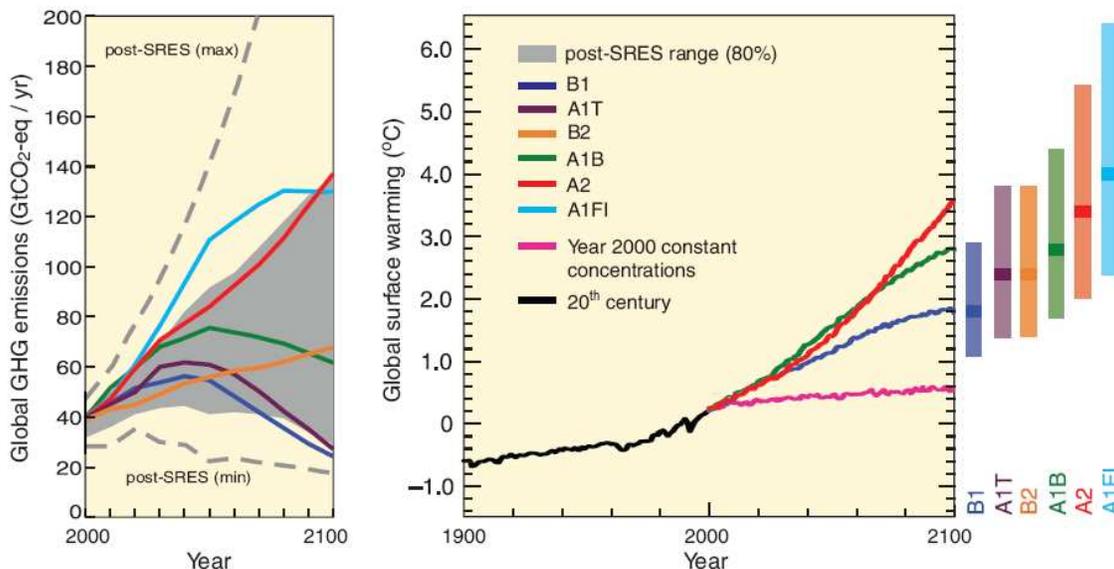


Figura 16. Painel da esquerda: emissões globais de gases de efeito estufa (inclui CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O e gases-F, todos em GtCO<sub>2</sub>-equivalente) na falta de políticas públicas mitigadoras; as linhas tracejadas mostram a máxima variação dos cenários pós IPCC (2000); Painel da direita: simulação da variação da temperatura global de acordo com os cenários; a linha rosa representa a manutenção da concentração dos gases presentes na biosfera no ano de 2000; as barras à direita representam a melhor estimativa (linha sólida dentro da barra) e a variação susceptível de cada cenário para média da temperatura global. Fonte: IPCC (2007).



## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1. Descrição da área de estudo

A área de estudo escolhida para o projeto foi a bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçu e Pardo, localizada no estado de São Paulo (Figura 17). A área total da bacia é 3.165.207 ha e engloba 94 municípios (Figura 18 e Tabela 8). O uso da terra é ocupado basicamente com cana-de-açúcar para produção de açúcar e etanol (Tabela 9).

Essa área foi escolhida devido à sua importância econômica e também porque existem muitos dados disponíveis pelo projeto Ecoagri (2006). A bacia contempla uma grande variabilidade de tipos de solo, topografia, vegetação e condições sócio-econômicas do estado de São Paulo. Além disso, essa região apresenta uma boa diversidade de sistemas de agricultura com diferentes usos da terra. Assim, essa área torna-se ideal para o diagnóstico da agricultura do estado de São Paulo, como para propostas de novos modelos de agricultura que objetivem ao desenvolvimento sustentável, porque seria possível expandir os resultados a outras regiões do estado.

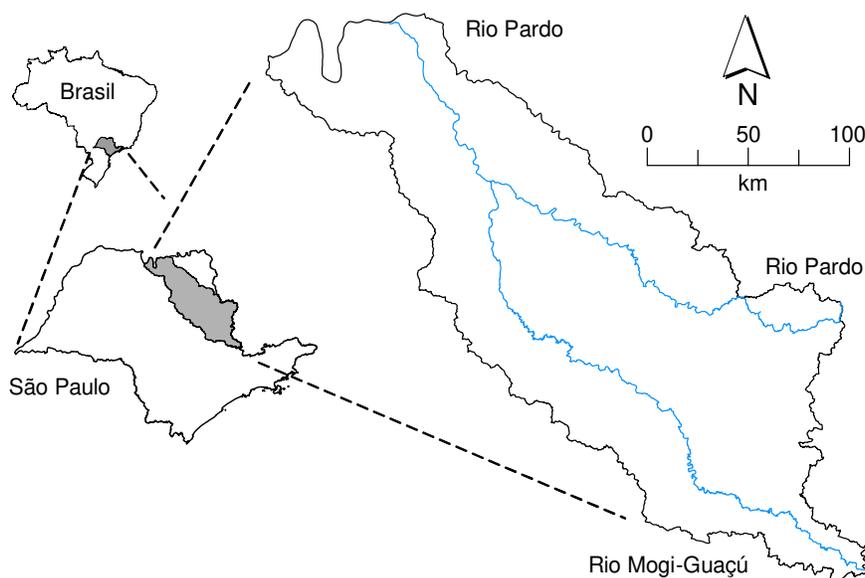


Figura 17. Localização da bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçu e Pardo no estado de São Paulo.

De acordo com a FAO (2005), o Brasil é responsável pela produção mundial de 32,7% da cana-de-açúcar; 8,6% do gado; 29,4% da laranja; 29,4% do café em grãos; e 24,8% da soja. Além disso, o Brasil é um dos maiores exportadores de etanol, couro e frango. Segundo dados do IBGE (2005), o estado de São Paulo é responsável por 60% da cana-de-açúcar produzida no Brasil, 7% de cabeças de gado, 80% de laranjas, 9% de café e 3% de soja.

De Janeiro a Dezembro de 2006, o estado de São Paulo exportou 46,93 bilhões de dólares (33,4% das exportações Brasileiras) e importou 37,07 bilhões de dólares (40,6% das importações Brasileiras), o que representou um superávit de 8,86 bilhões de dólares (IEA, 2006). Em 2004, seis dos dez maiores municípios produtores agrícolas do estado de São Paulo estavam localizados na bacia dos rios Mogi-Guaçú e Pardo (SEADE, 2004). Esses dados mostram a grande importância que essa área de estudo possui para a economia brasileira e mundial.

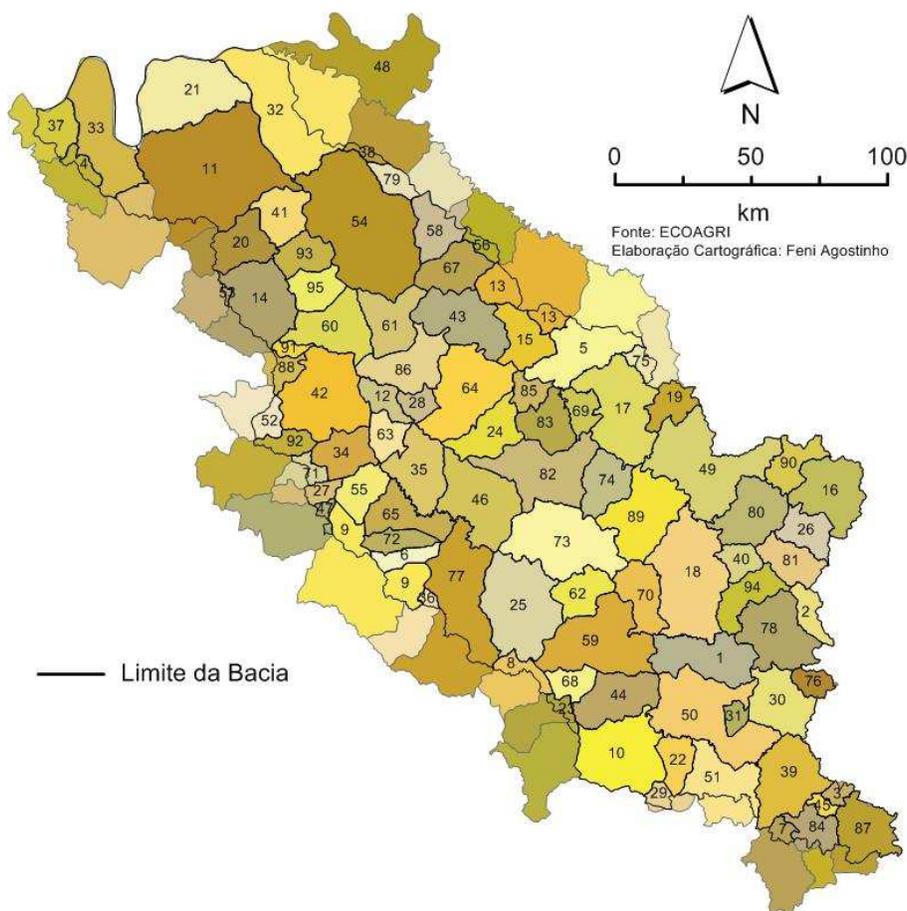


Figura 18. Municípios inseridos na bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçú e Pardo. O nome dos municípios e seus códigos podem ser visualizados na Tabela 8. A área destacada identifica o limite da bacia. Fonte: Ecoagri (2006).

A maioria dos sistemas agropecuários presentes na bacia hidrográfica adotam o modelo convencional de produção baseado em recursos industriais, ou seja, utilizam quantidades excessivas de bens e serviços provindos da economia industrial e poucos recursos renováveis provindos do meio ambiente local. Assim, é muito importante realizar estudos nessa região para diagnosticar os problemas ambientais e propor opções aos tomadores de decisão.

Tabela 8. Municípios que estão inseridos na bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçu e Pardo.

Nº	Município	Nº	Município	Nº	Município
1	Aguai	33	Guaraci	65	Rincão
2	Águas da Prata	34	Guariba	66	Rio Claro <sup>C</sup>
3	Águas de Lindóia	35	Guatapara	67	Sales Oliveira
4	Altair <sup>A</sup>	36	Ibaté <sup>A</sup>	68	Santa Cruz da Conceição
5	Altinópolis <sup>A</sup>	37	Icem <sup>A</sup>	69	Santa Cruz da Esperança
6	Américo Brasiliense	38	Ipuá <sup>A</sup>	70	Santa Cruz das Palmeiras
7	Amparo <sup>A</sup>	39	Itapira	71	Santa Ernestina <sup>A</sup>
8	Analândia <sup>A</sup>	40	Itobi	72	Santa Lucia
9	Araraquara <sup>A</sup>	41	Jaborandi	73	Sta. Rita do Passa Quatro
10	Araras	42	Jaboticabal	74	Santa Rosa de Viterbo
11	Barretos <sup>A</sup>	43	Jardinópolis	75	Santo Antônio da Alegria <sup>A</sup>
12	Barrinha	44	Leme	76	Santo Antônio do Jardim
13	Batatais <sup>A</sup>	45	Lindóia	77	São Carlos <sup>A</sup>
14	Bebedouro <sup>A</sup>	46	Luis Antônio	78	São João da Boa Vista
15	Brodowski	47	Matão <sup>A</sup>	79	São Joaquim da Barra <sup>A</sup>
16	Caconde	48	Miguelópolis <sup>B</sup>	80	São José do Rio Pardo
17	Cajuru	49	Mococa <sup>A</sup>	81	São Sebastião da Grama
18	Casa Branca	50	Mogi-Guaçu	82	São Simão
19	Cássia dos Coqueiros	51	Mogi-Mirim <sup>A</sup>	83	Serra Azul
20	Colina <sup>A</sup>	52	Monte Alto <sup>A</sup>	84	Serra Negra <sup>A</sup>
21	Colômbia	53	Monte Azul Paulista <sup>A</sup>	85	Serrana
22	Conchal	54	Morro Agudo	86	Sertãozinho
23	Corumbataí <sup>A</sup>	55	Motuca	87	Socorro <sup>A</sup>
24	Cravinhos	56	Nuporanga <sup>A</sup>	88	Taiúva <sup>A</sup>
25	Descalvado	57	Olímpia <sup>C</sup>	89	Tambaú
26	Divinolândia	58	Orlândia <sup>A</sup>	90	Tapiratiba
27	Dobrada <sup>A</sup>	59	Pirassununga	91	Taquaral
28	Dumont	60	Pitangueiras	92	Taquaritinga <sup>A</sup>
29	Engenheiro Coelho <sup>A</sup>	61	Pontal	93	Terra Roxa
30	Espírito Santo do Pinhal	62	Porto Ferreira	94	Vargem Grande do Sul
31	Estiva Gerbi	63	Pradópolis	95	Viradouro
32	Guaira <sup>A</sup>	64	Ribeirão Preto		

<sup>A</sup> Apenas parte desse município está inserido na bacia hidrográfica.

<sup>B</sup> O município de Miguelópolis não integra a área de estudo.

<sup>C</sup> Para os municípios Olímpia e Rio Claro, por possuírem pequena área dentro da bacia hidrográfica, foram consideradas como áreas pertencentes aos municípios de Barretos e Corumbataí respectivamente.

Tabela 9. Uso da terra na bacia dos rios Mogi-Guaçu e Pardo em 2002.

Uso da terra	Área (ha)	Representação na bacia (%)
Cana-de-açúcar	1.629.027,76	51,5
Floresta e vegetação ripária	464.160,55	14,7
Pastagem	392.621,72	12,4
Fruticultura	236.288,75	7,5
Silvicultura	109.710,43	3,5
Cultura anual	80.862,36	2,6
Áreas urbanas	75.502,06	2,4
Cerrado	62.778,07	2,0
Corpos d'água	49.773,10	1,6
Cultura anual-irrigação (pivô)	33.354,87	1,1
Cafeicultura	22.588,20	0,7
Seringueira	3.401,43	0,1
Outros	4.481,99	0,1
Área de mineração	655,76	0,0
Total	3.165.207,04	100,0

Fonte: Ecoagri (2006).

## 4.2. Uso da análise emergética com auxílio do sistema de informações geográficas

Nessa tese, a análise emergética é aplicada baseando-se nos trabalhos de Odum (1996), Ulgiati e Brown (1998), Brown e Ulgiati (2004) e Ortega, Anami e Diniz (2002). Como já descrito anteriormente, essa ferramenta converte cada fluxo de massa e energia em uma mesma unidade (solar emjoules), além de contabilizar as contribuições dos recursos da natureza e da economia humana para entender a importância relativa de cada recurso e para estudar o impacto da atividade humana sobre o meio ambiente. Todos os fluxos de energia que entram e saem do sistema em estudo são classificados em renováveis e não-renováveis, tornando possível calcular índices que podem ser úteis aos tomadores de decisão, especialmente quando comparados com diferentes alternativas.

Neste trabalho, para a aplicação da Análise Emergética foram consideradas três etapas:

- (a) Elaboração do diagrama sistêmico para o sistema em estudo, identificando todos os componentes e fluxos de energia. A Figura 19 mostra um diagrama genérico de fluxos agregados que utilizam a linguagem simbólica da Tabela 5. A Tabela 10 descreve os fluxos emergéticos.
- (b) Elaboração da tabela de avaliação emergética (Tabela 11), colocando os valores numéricos e suas unidades como simbolizados no diagrama sistêmico.

Na tabela de avaliação emergética todos os fluxos de energia, massa e monetário são convertidos em emjoules solares (seJ) através das Intensidades Emergéticas.

- (c) Calcular os índices emergéticos (Tabela 12) com o objetivo de avaliar o desempenho do sistema em estudo.

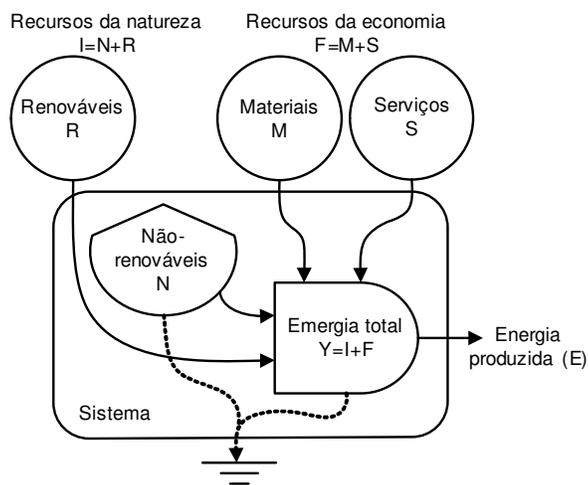


Figura 19. Diagrama genérico que representa os fluxos de energia que entram, saem e se interagem dentro de um sistema. Adaptado de Ortega, Anami e Diniz (2002).

Tabela 10. Classificação dos fluxos emergéticos.

Fluxos emergéticos	Descrição
I: Contribuição da natureza	$R + N$
R: Recursos naturais renováveis	Chuva, materiais e serviços de áreas preservadas, nutrientes do solo.
N: Recursos naturais não-renováveis	Solo.
F: Recursos da economia	$F = M + S$
M: Materiais	$M = M_R + M_N$
$M_R$ : Materiais renováveis	Materiais renováveis de origem natural.
$M_N$ : Materiais não-renováveis	Minerais, derivados químicos, aço, combustível.
S: Serviços	$S = S_R + S_N$
$S_R$ : Serviços renováveis	Mão-de-obra suportada por fontes renováveis.
$S_N$ : Serviços não-renováveis	Outros (externos) serviços, taxas, seguros, etc.
Y: Energia total	$Y = I + F$

Fonte: Ortega, Anami e Diniz (2002), baseado em Odum (1996).

Tabela 11. Exemplo de uma tabela de avaliação emergética.

Nota	Fluxo energético	Fração renovável <sup>A</sup>	Unidade	Intensidade Emergética	Fluxo energético
R:	Recursos renováveis da natureza				
N:	Recursos não-renováveis da natureza				
M:	Materiais				
S:	Serviços				
				Y: Emergia total =	

<sup>A</sup> Porcentagem do fluxo energético que é considerado renovável. Os valores da fração renovável foram extraídos de Ortega, Anami e Diniz (2002) e Cavalett, Queiroz e Ortega (2006).

Tabela 12. Índices emergéticos tradicionais (ODUM, 1996; BROWN; ULGIATI, 2004) e modificados<sup>A</sup> (ORTEGA; ANAMI; DINIZ, 2002).

Índices Tradicionais	Expressão	
Transformidade solar (Tr)	$Y/E$	Razão entre a emergia total que dirige o sistema pela emergia total produzida.
Renovabilidade (%R)	$100x(R/Y)$	Razão entre os recursos renováveis da natureza pela emergia total que dirige o sistema.
Razão de rendimento emergético (EYR)	$Y/F$	Razão da emergia total que dirige o sistema pela emergia da economia.
Razão de investimento emergético (EIR)	$F/(R+N)$	Razão entre os recursos da economia pela emergia da natureza.
Razão de carga ambiental (ELR)	$(F+N)/R$	Razão da emergia da economia e não-renovável da natureza pela emergia renovável da natureza.
Índice de sustentabilidade emergético (ESI)	$EYR/ELR$	Indica a relação custo/benefício do sistema.
Razão de intercâmbio emergético (EER)	$Y/[(\$)x(seJ/\$)]$	Razão entre a emergia total que dirige o sistema pela emergia recebida na venda dos produtos.
Índices Modificados	Expressão	
Renovabilidade (%R)	$100x(R+M_R+S_R)/Y$	Razão entre os recursos renováveis da natureza e economia pela emergia total que dirige o sistema.
Razão de carga ambiental (ELR)	$(N+M_N+S_N)/(R+M_R+S_R)$	Razão entre os recursos não renováveis pelos renováveis.

<sup>A</sup> Índices emergéticos modificados incluem o conceito de renovabilidade parcial de cada entrada no sistema.

A variável \$ do índice EER pode ser qualquer moeda (Real, Dólar, Euro, etc.).

Na presente tese, os índices mostrados na Tabela 12 serão calculados, porém, os dois índices emergéticos modificados (%R e ELR) serão utilizados no lugar de seus respectivos índices tradicionais. Para Ortega, Anami e Diniz (2002, p.231), a

consideração das renovabilidades parciais “avaliam a Sustentabilidade mais apropriadamente”, pois considera o grau de renovabilidade dos recursos renováveis comprados na economia local ou regional, que possui maior renovabilidade comparada com recursos comprados, processados e transportados a grandes distâncias. Nos itens abaixo, a descrição dos índices emergéticos mostrados na Tabela 12 é fornecida:

- (a) A Transformidade (Tr) é um índice emergético que avalia a eficiência do sistema em estudo, pois é resultado da divisão da energia total utilizada pela energia produzida. Transformidade é medida em emjoules solares por joule ( $\text{seJ}\cdot\text{J}^{-1}$ ) e é utilizada para converter diferentes tipos de energia na mesma unidade de energia (BROWN; ULGIATI, 2004). Quando comparamos diferentes sistemas, valores baixos de transformidade indicam melhor eficiência. A transformidade indica, também, a posição do sistema em estudo em uma escala hierárquica de energia na biosfera. Assim, quanto maior for seu valor, mais energia agregada ele possuirá. Para clarear essa idéia, tomemos como exemplo a energia solar e o carvão: o primeiro possui baixa transformidade, logo sua energia é mais abundante na biosfera, porém dispersa, já o carvão possui elevada transformidade, é menos abundante na biosfera e sua energia está mais compactada. Além de indicar eficiência e hierarquia, a transformidade também indica o custo real de um produto.
- (b) A Renovabilidade (%R), ou grau de sustentabilidade, é a porcentagem da energia renovável utilizada pelo sistema. Em longos períodos de tempo, somente sistemas de produção com uma alta porcentagem de energia renovável prevalecerão ao stress do mercado atual, enquanto aqueles que utilizam alta porcentagem de recursos não-renováveis, certamente entrarão em declínio (BROWN; ULGIATI, 2004; LEFROY; RYDBERG, 2003).
- (c) A Razão de Rendimento Emergético (EYR) é obtida pela razão entre a energia total pela energia dos recursos provindos da economia. O valor obtido é uma medida da habilidade do sistema em explorar e tornar disponíveis (na forma de produtos) recursos locais através do investimento em recursos externos (BROWN; ULGIATI, 2004). Esse índice é muito importante, pois as atuais tendências de dependência mundial de energia fóssil e minerais indicam que o uso de menos energia provida dessas fontes será mais vantajoso no futuro devido à sua escassez.

- (d) A Razão de Investimento Emergético (EIR) avalia se o sistema utiliza a energia investida de maneira eficiente quando comparado a alternativas que utilizam os mesmos recursos (BROWN; ULGIATI, 2004). O melhor desempenho é obtido para baixos valores de EIR, e resulta do uso de grande quantidade de energia obtida da natureza. Esta condição diminui os custos de produção e propicia um bom desempenho no mercado. As tendências globais indicam que cada vez menos energia a baixo custo estará disponível no futuro (CAMPBELL; LAHERRÈRE, 1998; CAMPBELL, 2006), assim, sistemas de produção baseados em recursos da economia (que na maioria são derivados do petróleo) não serão capazes de competir com aqueles caracterizados por baixo investimento econômico e elevada contribuição de recursos renováveis da natureza.
- (e) A Razão de Carga Ambiental (ELR) é obtida pela razão da energia não-renovável total pela energia renovável total. É um indicador da pressão que o sistema exerce sobre o meio ambiente e pode ser considerado como uma medida do stress do ecossistema. Valores de ELR menores que 2 indicam baixa pressão sobre o meio ambiente (ou sistemas que utilizam grandes áreas do meio ambiente local para “diluir” seus impactos); entre 2 e 10 indicam que os sistemas causam uma pressão moderada; maiores que 10 indicam que os sistemas causam grandes pressões (BROWN; ULGIATI, 2004).
- (f) O índice de Sustentabilidade Emergético (ESI) é um índice secundário obtido através da razão do rendimento emergético (EYR) pela carga ambiental (ELR). Este índice mede a contribuição potencial de um recurso para a economia por unidade de carga ambiental (BROWN; ULGIATI, 2004). O desempenho do sistema é melhor quanto maior for esse índice. Para Brown e Ulgiati (2004), quando o ESI for menor que 1, produtos e processos não são sustentáveis em um longo período, enquanto que para valores acima de 1, o sistema se caracteriza por ser mais sustentável. Para Enrique Ortega (comunicação pessoal), o ESI indica uma relação benefício/custo, ou seja, o benefício proporcionado à sociedade através de relações comerciais relacionado ao seu custo ambiental.
- (g) A Razão de Intercâmbio Emergético (EER) é calculada através da divisão da energia total utilizada para fazer o produto pela energia recebida como recurso monetário em sua venda. Este índice é sempre expresso em relação a um dos

parceiros do comércio, ou seja, é uma medida da vantagem relativa que um parceiro possui sobre o outro, indicando quem ganha e quem perde nesse comércio (BROWN; ULGIATI, 2004). Quando o  $EER < 1$ , o produtor possui vantagem sobre o comprador;  $EER = 1$  implica que toda a energia utilizada na produção está sendo recebida na venda;  $EER > 1$  significa que o comprador possui vantagem sobre o produtor.

Outro índice emergético é a Energia *per capita*, que é definido pela razão entre a energia total utilizada pelo sistema pela população. Geralmente ele é calculado para países, estados e cidades. Esse índice pode ser interpretado como uma medida potencial da média do padrão de vida da população. Na presente tese, esse índice será calculado apenas para a bacia hidrográfica como um todo (não para os sistemas agropecuários) para ser comparado com dados obtidos por outros trabalhos que avaliaram o desempenho emergético de países.

Trabalhos científicos que utilizaram a análise emergética para diagnosticar bacias hidrográficas são raramente encontrados na literatura, principalmente com o mesmo foco abordado na presente tese. Como exemplo de trabalhos paralelos pode-se citar Tilley e Brown (2006) que estudaram um modelo eco-hidrológico de terras alagadas (*wetland*), Tilley e Swank (2003) que analisaram a relação entre natureza e humanidade em uma pequena bacia hidrográfica despovoada, e Huang et al., (2007) que investigaram a relação entre a energia de um rio e a hierarquia de energia do uso da terra.

Para a aplicação da análise emergética em países, estados e municípios, geralmente são utilizados dados de consumo e produção oriundos de uma base de dados já existente ou até mesmo informações obtidas de trabalho de campo (para pequenas áreas). A bacia hidrográfica considerada como área de estudo nesse trabalho possui grandes dimensões (3.165.207 ha) e, além disso, seus limites físicos não são os mesmos que os dos municípios ou os estados, que teoricamente possuem uma base de dados estatísticos. Isso gera um grande problema no levantamento dos dados brutos, pois seria necessário muito tempo e dinheiro nos trabalhos de campo com equipe especializada.

Na tentativa de contornar esse problema, Agostinho et al. (2008) sugeriram que um mapa de uso e ocupação da terra fosse utilizado como ferramenta auxiliar no diagnóstico emergético de grandes bacias hidrográficas. Os autores sugeriram que fossem realizadas análises emergéticas para cada uso da terra separadamente e, em seguida, os fluxos emergéticos obtidos (chamados de “fluxos emergéticos de referência”, em  $seJ \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ ) podem ser expandidos para toda a área da bacia, através de sua multiplicação com a

respectiva área de cada uso da terra. Depois disso, os fluxos emergéticos obtidos (em  $\text{seJ}\cdot\text{ano}^{-1}$ ) podem ser utilizados para calcular os Índices Emergéticos, que mostram o desempenho ambiental do sistema.

Na presente tese, o procedimento descrito acima foi considerado. Os fluxos emergéticos de referência em  $\text{seJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$  de cada uso da terra é multiplicado pela respectiva área para obter o fluxo emergético total para esse uso da terra na bacia hidrográfica em  $\text{seJ}\cdot\text{ano}^{-1}$ . No passo seguinte, os fluxos emergéticos de cada uso da terra são somados para obter os fluxos emergéticos totais da bacia e, finalmente, esses dados são utilizados para calcular os índices emergéticos da bacia. A Figura 20 mostra o fluxograma para esses cálculos. O uso da terra considerado neste trabalho são aqueles listados na Tabela 9, excluindo as áreas de mineração, áreas urbanas, rios e lagos.

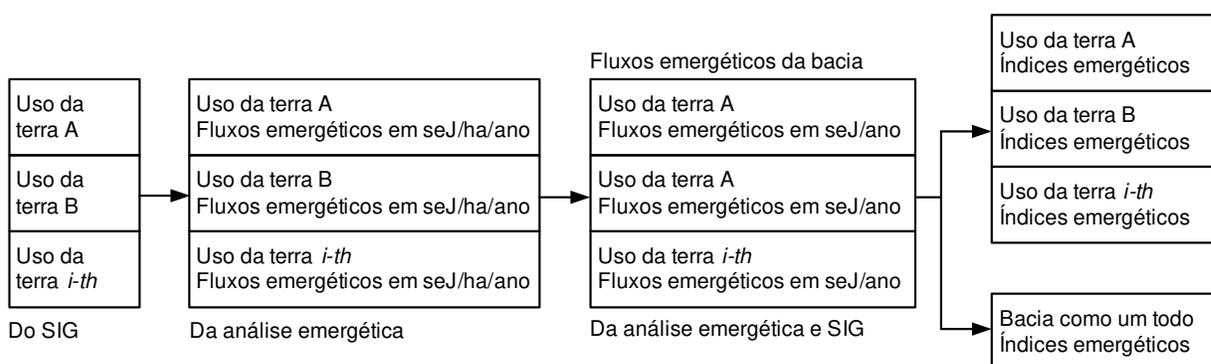


Figura 20. Fluxograma utilizado para calcular os índices emergéticos.

O uso do Sistema de Informações Geográficas (SIG), software ArcGIS 9.0, é muito importante para caracterizar fisicamente e obter dados essenciais sobre o sistema, além de mostrar os resultados de maneira espacializada. As seguintes informações SIG foram utilizadas na presente tese:

- (a) Estimativa da perda de solo. Esse fator importante na contabilidade dos recursos não-renováveis da natureza foi realizado pela equipe de pesquisadores do Projeto Ecoagri (2006). Para tal propósito, foi utilizada a Equação Universal de Perda de Solo (USLE) proposta por Wischmeier e Smith (1978).
- (b) Mapa de uso da terra com suas respectivas áreas, além do mapa com a divisão política da bacia e dos municípios inseridos nela. Esses mapas também foram realizados pela equipe de pesquisadores do Projeto Ecoagri (2006).
- (c) Através do mapa de uso da terra e dos índices emergéticos obtidos na presente tese, é possível elaborar mapas da bacia hidrográfica mostrando a distribuição

especial dos índices emergéticos e fornecendo importantes subsídios aos tomadores de decisão. Para isso, o banco de dados relacionado ao mapa de uso da terra (item “b” anterior) foi utilizado e acrescido dos índices emergéticos obtidos na presente tese. Para essa tarefa, o software Excel® foi utilizado.

Todos os mapas obtidos pela Equipe do Projeto Ecoagri (2006) e aqueles confeccionados na presente tese possuem Projeção Universal Transversa de Mercator e Datum Horizontal SAD/69.

Algumas alterações na metodologia emergética tradicional foram realizadas nesse trabalho com o objetivo de expressar com maior fidelidade os sistemas analisados. As considerações, já utilizadas por Agostinho et al. (2008), são as seguintes:

- (a) Foram consideradas as renovabilidades parciais de cada item, assim como proposto por Ortega, Anami e Diniz (2002) e utilizado por Ortega e Polidoro (2002), Ortega et al. (2005), Ulgiati, Bargigli e Raugei (2005), Cavalett, Queiroz e Ortega (2006), Cavalett (2008), Pereira (2008) e Agostinho et al. (2008). A incorporação das renovabilidades parciais é válida quando o sistema utiliza materiais e serviços comprados da economia local ou regional, que não são considerados recursos totalmente não-renováveis (como trabalho, eletricidade, esterco e outros serviços). Assim, a incorporação das renovabilidades parciais deveria ser adicionada à metodologia emergética para melhorar seus resultados (ORTEGA; ANAMI; DINIZ, 2002).
- (b) Costanza et al. (1997) estimaram o valor marginal dos serviços ambientais para o planeta em 33 trilhões de dólares por ano. Os autores utilizaram ferramentas da economia ecológica nesse trabalho, mais especificamente, o método da disposição a pagar (avaliação contingente). Costanza et al. (1997) receberam muitas críticas em relação aos procedimentos científicos adotados (MASOOD; GARWIN, 1998; NASA, 1998; SEIDL; MORAES, 2000; NUNES; van den BERGH, 2001), mas na falta de outros dados econômicos ou de energia sobre a produção de serviços ambientais, os valores monetários estimados por esses autores foram considerados na presente tese para calcular o índice Razão de Intercâmbio Emergético (EER). Para isso, os serviços ambientais foram considerados como produto do sistema. Os valores utilizados foram: 24.252 USD/ha/ano para Floresta e Vegetação Ripária, 534 USD/ha/ano para Cerrado,

302 USD/ha/ano para Silvicultura e Seringueira e 92 USD/ha/ano para os outros usos antrópicos.

- (c) O modelo de produção agrícola convencional, que é baseado em insumos químicos, gera subprodutos e resíduos que podem causar problemas sociais e ambientais. Esses problemas são conhecidos como externalidades negativas e incluem prejuízos causados ao solo, à água, ao ar, à biodiversidade, à paisagem e à saúde humana. Pretty et al. (2000) estimaram que 360 dólares por hectare por ano deveriam ser pagos por esses modelos de produção para compensar as externalidades negativas derivadas de suas atividades. Esse valor varia de acordo com a escala do sistema e do tipo de manejo adotado, mas na ausência de dados para o Brasil, o montante de 360 dólares por hectare por ano foi considerado para todos os sistemas agropecuários estudados nesta tese (contabilizados como serviços adicionais).
- (d) Com o objetivo de auxiliar aos tomadores de decisão, foi elaborado neste trabalho um Diagrama Ternário Emergético (como proposto por Giannetti, Barrella e Almeida, 2006) com os índices emergéticos obtidos para cada uso da terra. Esse diagrama possui três componentes: R, N e F (Figura 21). Cada vértice do triângulo representa um componente e cada lado um sistema binário. A composição de um ponto *plotado* no diagrama pode ser determinada lendo da linha basal (considerado como zero) até o vértice oposto (considerado como 100%). Com o uso desse diagrama, o desempenho dos sistemas pode ser melhor visualizado.

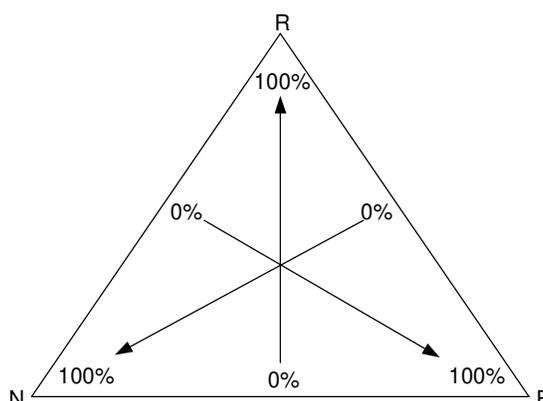


Figura 21. Modelo de um diagrama ternário emergético.

Neste trabalho, todos os dados brutos utilizados no diagnóstico emergético foram obtidos basicamente de duas fontes: Ecoagri (2006) e LUPA (2006). Outras referências (AGRIANUAL, 2004; IEA, 2006) foram utilizadas para verificar alguns dados. Dentro da bacia hidrográfica existem 94 municípios e um total de 54.545 propriedades agrícolas de diferentes áreas. Para obter alguns dados brutos, 120 propriedades foram visitadas pela equipe técnica do Projeto Ecoagri (2006). Para cada cultura, um mínimo de três propriedades (localizadas nos municípios com maior produtividade na bacia) foram visitadas.

### **Índices emergéticos dos municípios inseridos na bacia hidrográfica**

Para o cálculo dos índices emergéticos para os municípios inseridos na bacia, foi utilizado o seguinte procedimento:

- (a) Cálculo da área de cada uso da terra para todos os municípios;
- (b) Para cada uso da terra, foi utilizado seu respectivo indicador emergético de referência (em  $\text{seJ.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ) e multiplicado por sua respectiva área no município;
- (c) Em seguida, indicadores semelhantes (em  $\text{seJ.ano}^{-1}$ ) para cada uso da terra foram somados para obter o indicador do município;
- (d) Com todos os indicadores emergéticos para cada município, finalmente os índices emergéticos podem ser calculados.

### **Índices emergéticos da bacia hidrográfica**

No cálculo dos índices emergéticos para a bacia hidrográfica como um todo, foi considerado um procedimento semelhante ao utilizado no cálculo dos índices emergéticos para os municípios:

- (a) Cálculo da área de cada uso da terra;
- (b) Para cada uso da terra, foi utilizado seu respectivo indicador de referência (em  $\text{seJ.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ) e multiplicado pela respectiva área total na bacia;
- (c) Em seguida, indicadores semelhantes (em  $\text{seJ.ano}^{-1}$ ) para cada uso da terra foram somados para obter o indicador da bacia;
- (d) Com todos os indicadores emergéticos para a bacia, finalmente os índices emergéticos podem ser calculados.

#### 4.2.1. Abordagem econômica-ecológica através da emergia

O dinheiro circula por meio das pessoas que o usam para adquirir riqueza. Dinheiro mede o que as pessoas estão dispostas a pagar pelos produtos e serviços enquanto emergia mede a riqueza real (ODUM; ODUM, 2001). Riqueza real ou potencial de riqueza são alimentos, minerais, combustíveis, informações, arte, biodiversidade, etc., e pode ser cientificamente medida através da emergia (ODUM, 1996).

Com o objetivo de estudar a inadequação em termos de preço pago para os produtos dos sistemas agropecuários estudados, o que poderia ser chamado de “preço de equilíbrio” recebido pelo sistema foi calculado nesse trabalho. O preço de equilíbrio dos diferentes sistemas foi calculado como o produto da Razão de Intercâmbio Emergético (EER) pelo preço de venda real, assim como já abordado no trabalho de Cuadra e Rydberg (2000, 2006) para a exportação de café da Nicarágua.

De forma complementar, foram calculados os seguintes índices econômicos de alguns produtos presentes na bacia: Receita Líquida e Rentabilidade. A receita líquida representa a quantidade de dinheiro recebida pelo sistema (proprietário) depois de todas as despesas terem sido descontadas. A rentabilidade é o benefício econômico recebido pelo sistema (proprietário) e expressa como uma porcentagem das despesas.

A análise econômica convencional (neoclássica) pode avaliar apenas aspectos econômicos para um curto período de sustentabilidade. Entretanto, essa análise poderia ser ampliada para incluir aspectos ambientais e fornecer valores econômicos para a erosão do solo, poluição do ar, conservação da biodiversidade, valores para os serviços ambientais, etc.

Com o objetivo de mostrar a importância que os recursos naturais, externalidades negativas e serviços ambientais possuem em uma análise econômica (mesmo que superficial), nesse trabalho foram calculadas a receita líquida e a rentabilidade de duas maneiras: contabilizando (economia ecológica com abordagem emergética) e não contabilizando (economia neoclássica) os recursos da natureza, externalidades negativas e os serviços ambientais. As duas equações utilizadas podem ser observadas abaixo:

$$\text{Receita Líquida (USD.ha-1.ano-1)} = \text{Receita Bruta} - \text{Despesas} \quad \text{Equação 1}$$

$$\text{Rentabilidade (\%)} = (\text{Receita Líquida} / \text{Despesas}) * 100 \quad \text{Equação 2}$$

Sabe-se que as externalidades negativas variam de acordo com a intensidade de uso de agroquímicos, do manejo adotado e da escala do sistema. Mesmo assim, pela

falta de informações mais precisas para o Brasil e devido ao nível de agregação dos dados primários utilizados nesse estudo, foi considerado o valor de 360 USD.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (PRETTY et al., 2000) para todos os produtos.

Em relação aos serviços ambientais, foram utilizados dados do trabalho de Costanza et al. (1997). Cabe ressaltar que para as áreas com Cana-de-açúcar, Café (todos os grupos), Cultura anual (irrigada ou não irrigada) e Fruticultura, foi considerado valor de 92 USD/ha/ano, que corresponde aos benefícios de polinização, controle biológico e produção de alimentos. Para as áreas de Eucalipto, Pinus e Seringueira, foi considerado o valor de 302 USD/ha/ano, que corresponde às áreas de floresta temperada ou boreal.

Despesa Convencional contabiliza apenas os serviços e materiais utilizados pelo sistema através de seu preço de mercado, enquanto a Despesa Sistêmica contabiliza os materiais e serviços provindos da economia, a energia provinda da natureza e as externalidades negativas, todos em base emergética. Receita Bruta Convencional é o valor de todos os produtos obtidos com seu preço de mercado, enquanto a Receita Bruta Sistêmica é a receita bruta convencional somada aos serviços ambientais produzidos.

### **4.3. Cálculo da Área de Suporte (AS)**

Ecologistas definem Capacidade de Carga como o tamanho máximo da população de uma espécie que uma determinada área pode suportar sem reduzir sua habilidade de manter essa espécie para um período indeterminado de tempo (DAILY; EHRLICH, 1992). Capacidade de Carga (ou Área de Suporte) pode ser determinada baseada no requerimento emergético de uma população ou da intensidade emergética para uma economia. A capacidade de carga de um ambiente é determinada pela habilidade do ambiente em suprir a energia requerida, por exemplo, um ambiente rico pode suportar grandes populações ou economias mais intensas (BROWN; ULGIATI, 2001).

Com o objetivo de obter indicadores complementares aos fornecidos pela análise emergética, nesse trabalho foi realizado o cálculo da área de suporte para cada uso agropecuário da bacia hidrográfica e, também, para a bacia como um todo. Esses indicadores possuem o mesmo propósito que aqueles que podem ser obtidos através da metodologia Pegada Ecológica (WACKERNAGEL; REES, 1996). Para este cálculo, nessa tese foram utilizadas três abordagens diferentes que exprimem como resultado

final a área em hectares necessária para sustentar o atual uso da terra. A descrição detalhada de cada metodologia é discutida nos subitens a seguir.

#### 4.3.1. Cálculo da área de suporte através da abordagem emergética

Para o cálculo da área de suporte através da análise emergética, foram consideradas duas diferentes abordagens: (a) Usando a Produtividade Líquida Primária (AGOSTINHO; CAVALETT; ORTEGA, 2007); (b) Usando a Potência Emergética Renovável (BROWN; ULGIATI, 2001).

Agostinho, Cavalett e Ortega (2007) sugeriram converter a energia não-renovável utilizada pelo sistema em área de floresta equivalente, através da Produtividade Líquida Primária (NPP). Considerando as renovabilidades parciais de cada input, a Equação 3 obtida para calcular a área de suporte através do NPP, fornece uma medida quantitativa sobre a área de floresta que corresponde a energia não-renovável utilizada pelo sistema.

$$SA_{NPP} = (Mn_s + Sn_s + N_s) / (NPP * BE * Tr) \quad \text{Equação 3}$$

Onde:  $SA_{NPP}$  = Área de suporte renovável calculada através do NPP (ha);  
 $Mn_s$  = Materiais não-renováveis utilizados pelo sistema (seJ/yr);  
 $Sn_s$  = Serviços não-renováveis utilizados pelo sistema (seJ/yr);  
 $N_s$  = Recursos naturais não-renováveis utilizados pelo sistema (seJ/yr);  
NPP = NPP para uma floresta tropical (13500 kg<sub>biomassa</sub>/ha/ano; Aber e Melilo, 2001);  
BE = Energia da biomassa (1.51E+07 J/kg<sub>biomassa</sub>; Prado-Jatar e Brown, 1997);  
Tr = Transformidade da biomassa de uma floresta na bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçu e Pardo (10000 seJ/J; valor obtido nos resultados da presente tese).

Existem algumas controvérsias entre os pesquisadores sobre o que pode ser considerado sustentabilidade fraca, forte e seus indicadores (SICHE et al., 2007). De acordo com Brown e Ulgiati (1997), a sustentabilidade de uma economia é uma função de sua dependência sobre a energia local renovável, do grau de dependência de energia não-renovável, e da carga total sobre o meio ambiente. A abordagem  $SA_{NPP}$  é uma medida da conversão da energia não-renovável em energia renovável (área de floresta virtual), portanto, essa abordagem poderia ser considerada um indicador da sustentabilidade forte do sistema.

Brown e Ulgiati (2001) sugeriram que capacidade de carga poderia ser expressa como uma área da paisagem requerida para suportar uma atividade econômica somente sobre uma base renovável. Esse valor é calculado pela divisão do total de energia não-renovável que entra no sistema pela potência emergética da região em que ele está localizado (Equação 4).

$$SA_R = (Mn_s + Sn_s + N_s) / Remp_r \quad \text{Equação 4}$$

Onde:  $SA_R$  = Área de suporte renovável calculada através da potência emergética renovável (ha);

$Mn_s$  = Materiais não-renováveis utilizados pelo sistema (seJ/ano);

$Sn_s$  = Serviços não-renováveis utilizados pelo sistema (seJ/ano);

$N_s$  = Recursos naturais não-renováveis utilizados pelo sistema (seJ/ano);

$Remp_r$  = Potência emergética renovável (seJ/ha/ano).

O resultado da Equação 4 é “a área da região que seria requerida se a atividade econômica utilizasse somente energia renovável como input” (BROWN; ULGIATI, 2001, p.479). Calculada dessa maneira, o indicador resultante poderia ser considerado como de sustentabilidade forte, pois a área de floresta não utiliza energia não-renovável.

Um ponto importante na abordagem  $SA_R$  que afeta significativamente os resultados está na escolha da região de referência. Em alguns casos, ela pode ser uma bacia hidrográfica, uma cidade, um estado e até mesmo um país, mas de acordo com os autores, “não existem critérios fixados para estabelecer uma região de referência” (BROWN; ULGIATI, 2001, p.481). Assim, no presente trabalho foi considerada uma área de Floresta como região de referência, com uma potência emergética de  $219E+13$  seJ/ha/yr (valor obtido nos resultados da presente tese).

#### 4.3.2. Cálculo da área de suporte através da abordagem da energia incorporada

O método da contabilidade de energia incorporada considera o requerimento bruto (direto e indireto) de energia comercial que o sistema utiliza. Essa ferramenta fornece informações úteis sobre a eficiência energética do sistema em escala global, contabilizando todo o suprimento de energia comercial empregada. Para calcular a área de suporte considerando essa abordagem, inicialmente todos os inputs utilizados pela agropecuária na bacia hidrográfica são quantificados em massa, volume ou energia e multiplicados pelos respectivos valores de intensidade energética obtidos de literatura (como aqueles exemplos citados na Tabela 2). A Tabela 13 fornece um exemplo da tabela utilizada para esse cálculo.

Tabela 13. Exemplo de tabela de uma análise de energia incorporada.

Item	Valor	Unidade <sup>a</sup>	Intensidade energética (MJ/unidade)	Referência para MJ/unidade	Energia comercial total incorporada (MJ)
Item <i>i</i>					
Item <i>n</i>					
Energia total:					

<sup>a</sup> Unidade pode ser em Massa, Volume ou Energia.

Em seguida, como sugerido por Agostinho, Cavalett e Ortega (2007), a Equação 5 é utilizada para converter a energia comercial total incorporada no sistema em área de floresta a ser plantada. A área de floresta calculada é equivalente às emissões indiretas de CO<sub>2</sub> convertidas em biomassa vegetal, dessa forma, esse valor pode ser considerado como um indicador do impacto que o sistema causa sobre o meio ambiente.

$$\text{Área de floresta} = \text{Energia} * \text{FE} * \text{RE} / \text{NPP} \quad \text{Equação 5}$$

Onde: Área de floresta em ha;  
Energia = energia total em MJ/ano;  
FE = Fator de emissão (0,075kgCO<sub>2</sub>/MJ; EPA, 2008);  
RE = Relação estequiométrica (0,273 kgC/kgCO<sub>2</sub>);  
NPP = Produtividade líquida primária de uma Floresta Tropical (6750 kgC/ha/ano; Aber e Melilo, 2001);

#### 4.4. Estimativa dos gases poluentes emitidos pelo uso direto e indireto de petróleo

Para uma completa avaliação de todos os gases poluentes emitidos diretamente e indiretamente pela agropecuária presente na bacia hidrográfica, seria necessário realizar uma Análise do Ciclo de Vida<sup>3</sup> (*LCA, Life Cycle Assessment*) de cada uso da terra (produto) presente na bacia, mas aqui, o objetivo é verificar a emissão de gases poluentes devido ao uso direto e indireto de combustível fóssil. Para isso, Fatores de Emissão publicados pelo *Environmental Protection Agency* (EPA, 2008) foram utilizados.

Fatores de Emissão são considerados como uma ferramenta fundamental no desenvolvimento de inventários de emissões regionais, estaduais e locais para auxiliar nas decisões de gerenciamento da qualidade do ar e desenvolvimento de estratégias do controle de emissões. Um Fator de Emissão é um valor representativo que busca relatar a quantidade de um poluente liberado na atmosfera com a atividade (processo) que o liberou. Esses fatores são usualmente expressos como o peso do poluente dividido por uma unidade de peso, volume, distância, ou duração da atividade que emite o poluente (por exemplo, quilogramas de partículas emitidas por tonelada de carvão queimado). Esses fatores permitem a estimativa de emissões de várias fontes de poluição do ar.

---

<sup>3</sup> Segundo a LCA (1997, p.7), “Análise do Ciclo de Vida envolve a avaliação de alguns aspectos (freqüentemente aspectos ambientais) de um sistema de produção em todos os estágios de seu ciclo. Algumas vezes também chamado de Análise do Ciclo de Vida, Abordagem do Ciclo de Vida, Análise do Berço ao Túmulo ou Balanço Ecológico, ela representa uma família de ferramentas e técnicas que estão em crescimento, feitas para ajudar no gerenciamento ambiental e, em longos períodos de tempo, no desenvolvimento sustentável”.

A energia total incorporada (em MJ) nos materiais para cada uso da terra foi multiplicada por seu respectivo Fator de Emissão (Tabela 14) para obter os gases poluentes emitidos por esse uso da terra. O consumo de combustível direto (utilizado pelos tratores e outras máquinas agrícolas) foi considerado de maneira separada, utilizando os Fatores de Emissão da Tabela 15. Depois disso, as emissões dos dois itens foram somadas para obter as emissões finais daquele uso da terra na bacia hidrográfica.

Paralelamente, as emissões gasosas para todos os usos da terra foram somados para obter a emissão do uso agropecuário da bacia hidrográfica.

Tabela 14. Fatores de emissão para a combustão de diesel em uma caldeira industrial.

Fatores de emissão (g/MJ de diesel queimado)							
Hidrocarbonetos	CO	NO <sub>x</sub>	PM10	SO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>
6,7E-4	0,017	0,020	0,0033	0,0065	8,3E-5	3,7E-4	76,2

Fonte: Environmental Protection Agency (EPA, 2008).

Tabela 15. Fatores de emissão para a combustão de diesel em um trator agrícola.

Fatores de emissão (g/MJ de diesel queimado)							
Hidrocarbonetos	CO	NO <sub>x</sub>	PM10	SO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>
0,085	0,32	0,89	0,041	0,12	0,0042	0,0019	75,5

Fonte: Environmental Protection Agency (EPA, 2008).

Os valores de emissão são importantes quando fazemos comparações com outros sistemas, mas a ausência desse tipo de informação torna essa tarefa difícil. Na tentativa de fornecer indicadores mais importantes, duas categorias de impacto<sup>4</sup> foram consideradas: Potencial de Aquecimento Global e o Potencial de Acidificação. Para o potencial de aquecimento global, os gases CO, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> e os Hidrocarbonetos foram contabilizados, enquanto para o potencial de acidificação, os gases NO<sub>x</sub> e SO<sub>2</sub> foram contabilizados. O PM10 é um tipo de emissão que potencialmente causa Ecotoxicidade, mas essa categoria não foi avaliada nesse estudo.

## Potencial de aquecimento global

Aquecimento Global é o efeito do aumento da temperatura em baixa atmosfera, que é normalmente aquecida pela entrada de radiação da atmosfera exterior (a partir do sol).

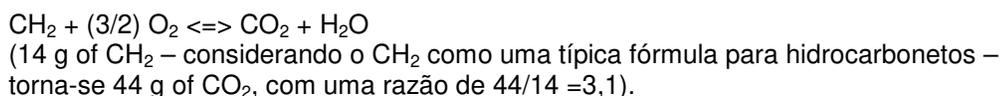
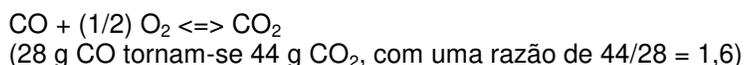
<sup>4</sup> De acordo com o LCA (1997), onze categorias de impacto são mais utilizadas em estudos de análise do Ciclo de Vida: Recursos Abióticos; Recursos Bióticos; Uso da Terra; Aquecimento Global; Impacto sobre a Camada de Ozônio; Impactos Ecotoxicológicos; Impactos Toxicológicos nos Humanos; Formação de Óxidos Fotoquímicos; Acidificação; Eutrofização; Ambiente de Trabalho.

Uma parte dessa radiação é normalmente refletida pela superfície do solo, mas o conteúdo de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e outros gases chamados de “efeito estufa” (como o metano, CH<sub>4</sub>, dióxido de nitrogênio, NO<sub>2</sub>, clorofluorcarbonos, etc.) na atmosfera retêm a radiação infravermelha, o que resulta no efeito estufa, isto é, um aumento da temperatura na atmosfera inferior à níveis acima do normal. As conseqüências possíveis do efeito estufa incluem um aumento do nível de temperatura principalmente na expansão das moléculas de água, no derretimento das calotas polares, resultando na elevação do nível do oceano. Além disso, esse aquecimento resulta em mudanças de clima regionais.

De acordo com LCA (1997), o potencial de aquecimento global ou efeito estufa é normalmente quantificado com o uso dos Potenciais de Aquecimento Global (GWP) para substâncias, obtendo o mesmo efeito que o CO<sub>2</sub> na reflexão da radiação de calor. GWP são expressos como CO<sub>2</sub>-equivalentes, isto é, seus efeitos são expressos relativamente ao efeito do CO<sub>2</sub>. Os GWP foram desenvolvidos pelo IPCC para um grande número de substâncias, são normalmente baseados sobre modelagem e são quantificados para horizontes de tempo de 20, 100 ou 500 anos para certo número de gases causadores de efeito estufa (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, CFCs, HCFCs, HFCs, etc). O potencial de efeito estufa de um processo pode ser estimado através do cálculo do produto de uma quantidade de gases emitidos por quilograma de material produzido e o GWP dado em CO<sub>2</sub>-equivalente por kg de gás. Finalmente, a contribuição potencial de causar efeito estufa de cada gás pode ser somada. Esse procedimento pode ser expresso matematicamente como:

$$\text{Efeito estufa potencial (kgCO}_2\text{-equivalente)} = \sum \text{GWP}_i \times m_i \quad \text{Equação 6}$$

O potencial de efeito estufa para um horizonte de tempo de 20 anos é estimado nesta tese considerando os seguintes coeficientes publicados em LCA (1997): CO<sub>2</sub> = 1; CH<sub>4</sub> = 62; N<sub>2</sub>O = 290. Para a liberação de CO e Hidrocarbonetos na atmosfera, a conversão de CO<sub>2</sub> ocorre em pouco tempo (dias ou até menos). As seguintes equações resultam nos coeficientes utilizados para ambos (CO = 1,6; Hidrocarbonetos = 3,1):



## Potencial de acidificação

Acidificação é causada pela liberação de prótons nos ecossistemas aquáticos ou terrestres. Nos ecossistemas terrestres, são observados em florestas de madeiras “leves” e resultam em ineficiente crescimento e até mesmo a morte das árvores. Esses efeitos são observados principalmente Escandinávia e no meio/leste da Europa. Nos ecossistemas aquáticos os efeitos são vistos mais claramente através da acidificação de lagos que resultam na morte da vida aquática. Prédios, construções e outras construções também são prejudicadas pela chuva ácida. Substâncias são consideradas em ter um efeito de acidificação se eles resultam, principalmente, em fornecer ou liberar íons de hidrogênio ( $H^+$ ) no meio ambiente. As seguintes substâncias devem ser consideradas como impactantes:  $SO_2$ ,  $NO_x$ ,  $NH_3$  e  $HCL$ , mas outras substâncias que possuem um efeito de liberar prótons devem ser consideradas (por exemplo outros componentes derivados de enxofre e ácidos). O Potencial de Acidificação (AP) pode ser estimado como  $SO_2$ -equivalente ou moles de  $H^+$  (LCA, 1997). O AP de um processo pode ser estimado pela soma dos potenciais de acidificação da substância em estudo através da simples equação:

$$\text{Potencial de acidificação (SO}_2\text{-equivalente)} = \sum AP_i \times m_i \quad \text{Equação 7}$$

Para a estimativa do potencial de acidificação serão considerados os seguintes coeficientes publicados em LCA (1997):  $SO_2 = 1$ ;  $NO_x = 0,88$  (média entre  $NO_2$  e  $NO$ ).

## 4.5. Cálculo do Índice da Intensidade do Desenvolvimento da Paisagem (LDI)

A intensidade do uso da terra pelo homem afeta os processos ecológicos de comunidades naturais. Quanto mais intensa é a atividade humana, maior é o efeito sobre esses processos. Considere, por exemplo, os dois extremos: de um lado uma área totalmente urbanizada altamente dependente de recursos não-renováveis, e de outro lado a ocupação da terra por uma vegetação natural. Uma paisagem totalmente desenvolvida, dominada pelo uso de altos níveis de energia, pode possuir poucos sistemas ecológicos naturais. Por outro lado, uma paisagem natural sem agricultura ou desenvolvimento urbano, poderia provavelmente possuir sistemas e processos ecológicos intactos. Paisagens em muitas regiões do planeta estão em algum lugar situado entre esses dois extremos, em um gradiente de completamente natural até

altamente urbanizado. Essas paisagens são compostas de algumas áreas urbanizadas, mas também possuem algumas comunidades ecológicas intactas. A intensidade do uso da terra pelo homem pode ser uma medida desejável para avaliar o distúrbio que resulta do aumento do uso humano sobre a paisagem (BROWN; VIVAS, 2005). Considerando essa necessidade, esses mesmos autores desenvolveram um método para avaliar quantitativamente o impacto humano sobre o meio ambiente. Esse método recebeu o nome de Índice da Intensidade do Desenvolvimento da Paisagem (LDI), e pode ser aplicado às paisagens de diferentes escalas, desde grandes bacias hidrográficas até pequenos brejos (“*wetland*”).

Para sua aplicação, o LDI precisa do mapa de uso e ocupação da área de estudo como dado essencial. Quando a área de estudo é pequena, um simples esboço pode ser utilizado, mas quando a área de estudo é grande, o uso do SIG é necessário. De acordo com os criadores do LDI, uma área de influência (chamado de “*buffer*”) de 100m a partir das bordas do sistema pode ser suficiente quando a área de estudo é pequena, mas quando se tem grandes bacias hidrográficas, seu próprio limite físico é utilizado como referência.

No cálculo do LDI são contabilizados somente os fluxos emergéticos não-renováveis, seja da natureza ou da economia, porque o LDI é um índice que mostra a atividade humana que é caracterizada pelo uso de recursos não-renováveis. A unidade das variáveis utilizadas em seu cálculo é energia por unidade de área em um determinado tempo (chamado de potência emergética ou “*Empower*”): Joules solares por hectare por ano (seJ/ha/yr). Recentemente, o índice LDI foi melhorado por Brown e Vivas (2007) e considerado mais robusto. O LDI é calculado através da seguinte equação:

$$LDI_{\text{bacia}} = 10 * \log \left[ \frac{(R+Mr+Sr)_{\text{região}} + \sum (\%LU_{\text{usoi}} * (N+Mn+Sn)_{\text{usoi}})}{(R+Mr+Sr)_{\text{região}}} \right] \text{ Equação 8}$$

Onde: LDI<sub>bacia</sub> = Índice LDI;  
 A definição de N, Mn, Sn, R, Mr e Sr podem ser observadas na Tabela 10;  
 %LU<sub>usoi</sub> = Porcentagem da área de influência total no uso da terra “i”;  
 Região é a região de referência = Bacia hidrográfica Mogi-Pardo com R+Mr+Sr de 4,62E+15 seJ/ha/ano (valor obtido nos resultados da presente tese).

Brown e Vivas (2005) argumentam que o uso do método da porcentagem da área de influência total (%LU) é menos preciso do que o método da distância, mas a diferença não é muito significativa. Assim, devido ao tempo necessário para utilizar a segunda abordagem, a primeira pode ser utilizado.

Para calcular o LDI foi utilizado o seguinte procedimento (Figura 22): (a) Foi utilizado o mapa de uso e ocupação da terra da bacia obtido através de imagens do

satélite Landsat e confeccionados por Ecoagri (2006); (b) Foi considerado somente os fluxos energéticos não-renováveis em seJ/ha/ano para cada uso da terra; (c) A Equação 8 foi utilizada para calcular o LDI de cada uso da terra; (d) A distribuição espacial do LDI sobre a bacia hidrográfica foi realizada para identificar áreas com diferentes intensidades de impacto humano sobre o meio ambiente; (e) Paralelamente, o LDI da bacia hidrográfica foi calculado através da Equação 8.

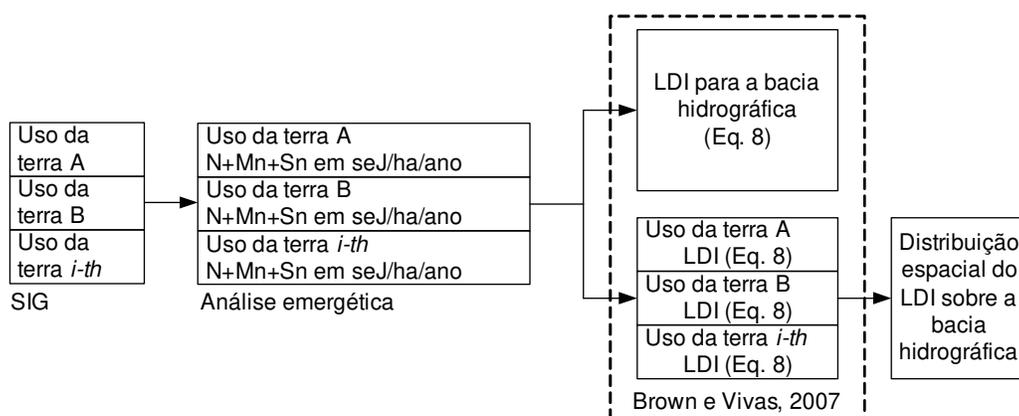


Figura 22. Fluxograma para o cálculo do LDI.

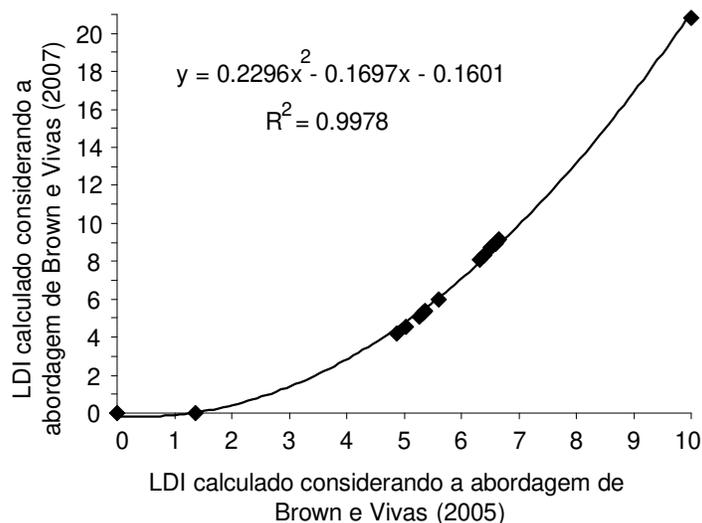


Figura 23. Relação entre as duas abordagens do LDI.

De acordo com Brown e Vivas (2005), valores de LDI entre 1,0 a 2,0 correspondem a bacias hidrográficas que estão ocupadas em sua maioria com vegetação natural; entre 2,0 a 5,0 são consideradas agrícolas, enquanto superiores a 5,0 são dominadas por áreas urbanizadas. Considerando a nova abordagem para calcular o LDI sugerida por Brown e Vivas (2007), as faixas de valores e seus significados foram modificados. Para sua padronização, foi utilizada a regressão polinomial (Figura 23) entre a faixa de valores

da abordagem antiga e da nova. Assim, a faixa de valores do LDI obtidos pela nova abordagem (que é utilizada no presente trabalho) pode ser interpretada como: entre 0,0 a 0,4 correspondem a bacias hidrográficas que estão ocupadas em sua maioria com vegetação natural; entre 0,4 a 4,7 são consideradas bacias essencialmente agrícolas, enquanto superiores a 4,7 são dominadas por áreas urbanizadas.

## **4.6. Dinâmica dos índices emergéticos da bacia hidrográfica**

Para este trabalho foram utilizados dados do uso e ocupação da terra da bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçú e Pardo, de 1962, 1988 e 2002 do projeto temático Ecoagri (2006). Para complementar o diagnóstico dessa bacia, este trabalho faz a análise da dinâmica dos índices emergéticos da bacia para o período de 1962 a 2002, e também para um período suplementar (2002-2050) através da elaboração de cenários. Para os cenários foram consideradas como variáveis: o uso da terra e a dependência em energia não-renovável.

O trabalho contemplou as seguintes etapas:

- (a) Elaboração dos cenários específicos com auxílio de uma base teórica existente;
- (b) Estimativa do uso de energia não-renovável pelos sistemas agropecuários para todo o período analisado;
- (c) Estimativa da dinâmica do uso e ocupação da terra para todo o período analisado;
- (d) Cálculo dos índices emergéticos para todo o período e análise de sua dinâmica.

Os itens a seguir descrevem detalhadamente o procedimento utilizado.

### **4.6.1. Elaboração dos cenários específicos da bacia hidrográfica em 2050**

Para elaborar os cenários específicos da bacia em 2050, no presente trabalho foi adotada a abordagem do IPCC (2007) como referencial teórico, pois exige menor quantidade de informações relacionadas às forças atuantes na bacia e porque está sendo muito discutido pela comunidade científica.

Obter informações sobre todas as forças que atuam sobre a mudança do uso e cobertura das terras na bacia é uma tarefa difícil, por não dizer impossível. Dessa forma busca-se obter as informações mais importantes e que representem o sistema. Assim,

para construir os cenários consideraram-se as tendências atuais em política agropecuária, demanda de alimentos, demanda de agro-combustíveis e tecnologia para a produção agropecuária no marco dos cenários globais do IPCC, que foram adaptados para as especificidades da bacia hidrográfica em estudo. Esse procedimento resultou em quatro cenários específicos para a bacia hidrográfica, denominados de A1', A2', B1'e B2'.

De forma semelhante aos cenários do IPCC, o objetivo dos cenários específicos do presente trabalho é ser coerente sobre alternativas futuras. Porém na sua elaboração, não foram utilizadas metodologias participativas, apenas a interpretação do autor (e da literatura consultada) sobre as tendências citadas acima. É evidente que essa é uma fonte de erro, mas devido ao limitado tempo e a falta de uma equipe especializada nessa abordagem, a aplicação de uma metodologia participativa configurou-se uma tarefa inviável.

#### **4.6.2. Fluxo de energia não-renovável para o período entre 1962 e 2050**

##### **Energia não-renovável para os anos de 1962 a 2002**

Sabe-se que a caracterização dos fluxos energéticos da produção agropecuária na bacia hidrográfica nos anos de 1988, 1962 e 2002 são diferentes. Usar os fluxos energéticos obtidos para o ano de 2002 (obtidos na etapa de diagnóstico do presente trabalho) e considerá-los para todos os outros anos resultaria em erros. A obtenção dos fluxos energéticos para cada ano separadamente é o procedimento correto para obter resultados precisos, no entanto não há dados detalhados sobre o manejo agropecuário para esses anos.

Para minimizar esse problema, foram levantadas informações sobre consumo dos mais importantes insumos da agropecuária brasileira (combustível, fertilizante, água de irrigação, máquinas e mão-de-obra) para os anos de 2002, 1988 e 1962, e foi calculada a seguinte relação entre eles: valor do insumo "*i-th*" para 2002 dividido pelo valor do insumo "*i-th*" para 1962; valor do insumo "*i-th*" para 2002 dividido pelo valor do insumo "*i-th*" para 1988. Esses insumos foram escolhidos porque são indicadores da energia não-renovável usada na agricultura (Sérgio Ulgiati, comunicação pessoal).

Através dessa relação, que pode ser considerada uma média representativa da energia não-renovável utilizada pela agropecuária brasileira, pode-se estimar a dependência desse tipo de energia para os anos de 1962 e 1988 a partir dos fluxos

emergéticos de 2002. Para os períodos compreendidos entre os anos de 1962 e 1988, e entre 1988 e 2002, foi considerada uma relação linear, ou seja, a cada ano é acrescida a mesma porcentagem de dependência de energia não-renovável.

### **Energia não-renovável para os cenários específicos de 2003 a 2050**

Devido à dependência dos sistemas agrícolas convencionais em recursos não-renováveis  $((N+Mn+Sn)/Y)$ , a qual origina perda da renovabilidade, esta variável foi considerada no trabalho de simulação.

Cada cenário específico obtido para a bacia hidrográfica possui diferentes características de manejo agropecuário (convencional, orgânico ou agroecológico), assim, dados de alguns trabalhos científicos são utilizados para obter essa dependência de fluxos de energia não-renovável da natureza (N) e da economia (Mn+Sn) para os três manejos. Consideraram-se dados dos seguintes estudos que usaram as mesmas bases metodológicas, para evitar o uso de dados obtidos com considerações e hipóteses diferentes: Agostinho et al., 2008; Ortega et al., 2005; Cavalett, 2008; Abdallah, 2005; Albuquerque, 2006; La Rosa, Siracusa e Cavallaro, 2008; Pizzigallo, Granai e Borsa, 2008.

Para cada trabalho identificam-se os fluxos não-renováveis da natureza (N) e da economia (Mn+Sn) para sistemas de produção convencionais e ecológicos. Depois disso, calcula-se a média aritmética simples entre eles.

#### **4.6.3. Uso e ocupação da terra na bacia para o período entre 1962 a 2050**

Foram utilizados dados de uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica para três anos distintos: 1962, 1988 e 2002. Esses anos foram escolhidos devido à disponibilidade de informações pelo Projeto Ecoagri (2006). Para o ano de 1962, algumas referências adicionais (DIAS, 1963; 1967; ETTORI, 1964; MELO, 1983) foram necessárias, porque enquanto os dados para 1988 e 2002 estavam detalhados, para o ano de 1962 estavam muito agregados. O valor estabelecido de 50 anos para os cenários (que iniciam em 2002 e terminam em 2050) foi escolhido porque é o período considerado pela abordagem do MEA que considera mais preciso trabalhar em médio prazo do que em longo prazo, como é o caso do IPCC que considerada 100 anos na simulação de cenários.

Foram considerados dois fatores limitantes para o uso e ocupação da terra: classe de capacidade de uso do solo<sup>5</sup> e o número de habitantes. O primeiro fator limitou a área máxima que a agropecuária poderia expandir, enquanto o segundo fator limitou o tamanho da área urbana. Além desses dois fatores, a força de mercado influenciou fortemente na tomada de decisão sobre o uso da terra para os quatro cenários.

Com dados de uso e ocupação da terra para os quatro anos (1962, 1988, 2002 e 2050), foram considerados modelos lineares entre eles que resultaram em dados de área para todo o período estudado (Figura 24 e

Tabela 16). O uso dos modelos lineares pode ser considerado uma fonte de erro, pois o ideal seria obter dados reais de uso e ocupação da terra para todos os anos entre 1962 até 2002 e verificar seu ajuste de dados, que poderia ser linear, ou uma parábola ou outro comportamento. Como o intervalo de anos entre os pontos conhecidos é moderado considerando um estudo da agropecuária (1962 a 1988 = 26 anos; 1988 a 2002 = 14 anos), consideramos que o possível erro é desprezível.

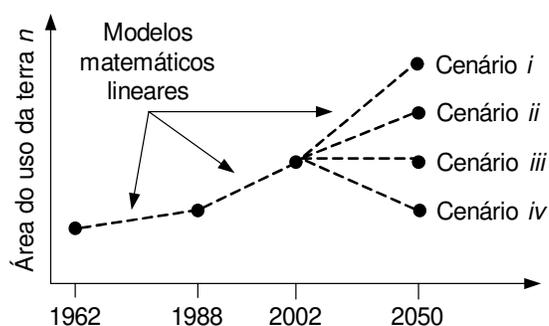


Figura 24. Modelos lineares (linha tracejada) entre os anos com informações (pontos cheios).

Tabela 16. Uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica para os anos de 1962 a 2050.

Uso da terra	Fonte de dados de área para cada uso da terra <sup>a</sup>							
	1962	...	1988	...	2002	...	2050	
<i>i</i>	real	...	modelo	...	real	...	modelo	cenário
...	...	...	...	...	...	...	...	...
<i>i-ésimo</i>	real	...	modelo	...	real	...	modelo	cenário

<sup>a</sup> real: dados reais; modelo: dados obtidos através do modelo linear; cenário: dados estimados para cada cenário específico.

<sup>5</sup> A classificação da capacidade de uso do solo visa estabelecer bases para o seu melhor aproveitamento e envolve a avaliação das necessidades para os vários usos que possam ser dados a determinadas áreas (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1999). Ver detalhes no Anexo A.

#### 4.6.4. Algoritmo para cálculo dos índices emergéticos da bacia entre 1962 e 2050

As informações sobre o uso e ocupação da terra, além da dependência de energia não-renovável entre os diferentes anos, foram as duas variáveis consideradas para estimar os índices emergéticos da bacia hidrográfica no período entre 1962 a 2050. O fluxograma utilizado no cálculo pode ser visto na Figura 25.

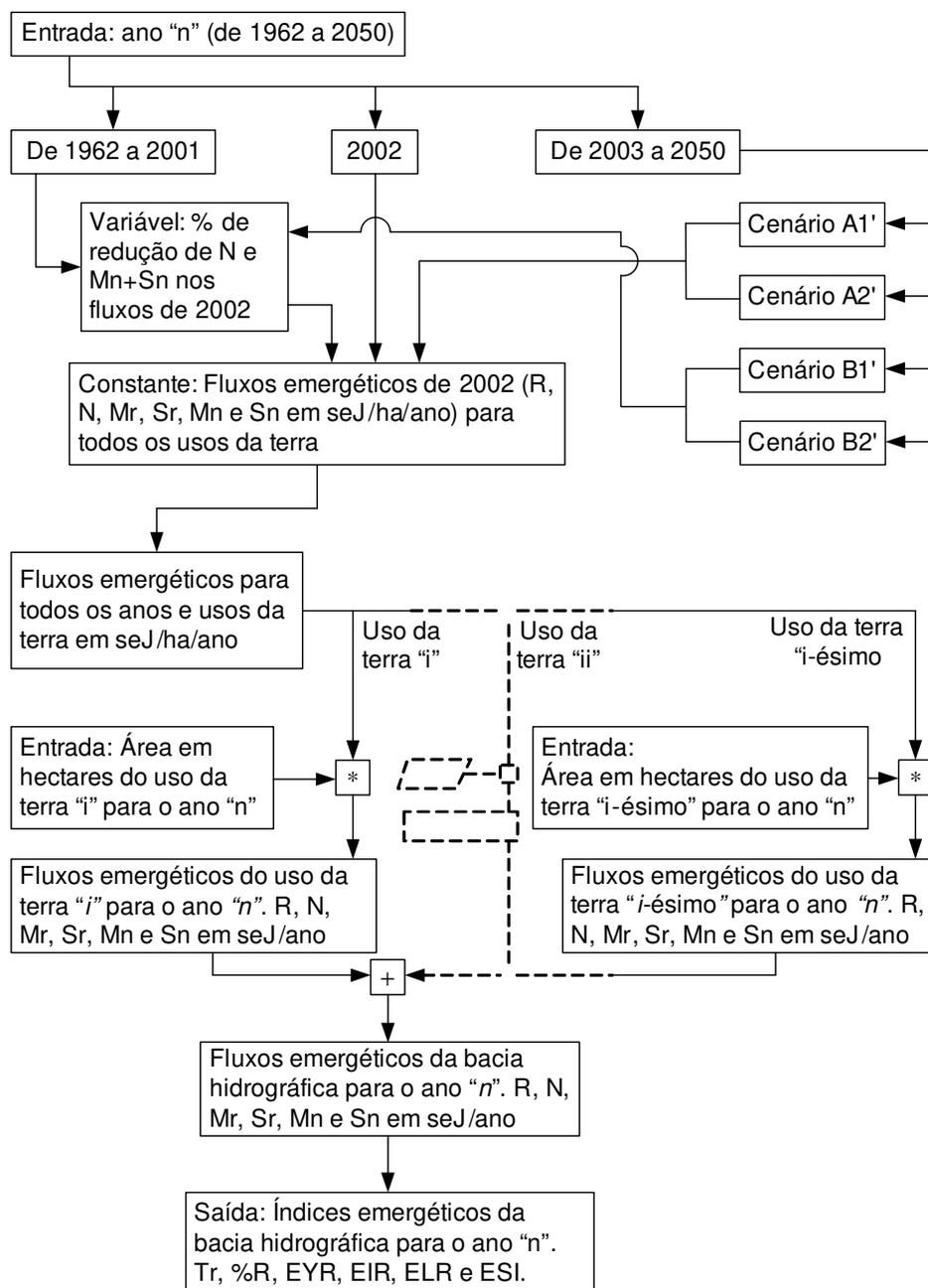


Figura 25. Fluxograma utilizado para calcular os índices emergéticos da bacia hidrográfica no período entre 1962 a 2050. O algoritmo deve ser realizado para cada ano separadamente.

Após o cálculo dos índices emergéticos da bacia, foram elaborados os gráficos que mostram sua dinâmica. Os cálculos e gráficos foram realizados através do software Microsoft Excel<sup>®</sup>.

É importante ressaltar aqui, que este trabalho de simulação, mesmo que simplificado, está fortemente relacionado ao cenários do IPCC e pode ser o ponto de partida para trabalhos de simulação mais complexos. Um trabalho seguindo essa linha já foi realizado por Ambrosio, Ortega e Agostinho (2008) e pode ser visualizado no Anexo B.



## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Antes da aplicação das ferramentas para diagnosticar a bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçú e Pardo, a identificação do uso da terra na bacia foi realizada. Essa etapa é considerada básica e essencial para esse trabalho. O mapa de uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica pode ser visto na Figura 26.

Os sistemas agropecuários e naturais presentes na bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçú e Pardo são aqueles listados na Tabela 9: cana-de-açúcar, café, cultura anual (irrigada ou não irrigada por pivô central), fruticultura, pasto, silvicultura, seringueira, floresta, vegetação ripária e cerrado. Essa classificação foi obtida pelo projeto Ecoagri (2006), que utilizou o software ArcGIS 9.0 e imagens do satélite Landsat.

Com o objetivo de diminuir a variabilidade entre as amostras para tornar o resultado final mais preciso, foi realizada na presente tese uma estratificação do manejo adotado para as culturas de cana-de-açúcar e café, pois elas são diferentes em muitos municípios. Os itens a seguir mostram como a estratificação foi realizada e descreve algumas características dos outros usos da terra.

- (a) A cultura da cana-de-açúcar ocupa 51,5% da área total da bacia hidrográfica em estudo. No estado de São Paulo ela é caracterizada, em algumas áreas, pela produção simultânea de amendoim e/ou soja. Esse manejo ocorre somente na reforma do canavial, onde, o talhão que necessita ser reformado, é utilizado para a produção dessas culturas secundárias na forma de *arrendamento* ou *meeiro*. Para aplicar a ferramenta emergética nessas áreas, foram considerados quatro diferentes tipos de manejo: somente cana; cana com amendoim; cana com soja; cana com amendoim e soja. A área correspondente para a produção de amendoim e/ou soja varia de 0,5 a 10% da área total de cana-de-açúcar, dependendo do município. Essa fração é muito pequena, mas esses subprodutos devem ser considerados, porque influenciam nos fluxos de energia e, também, porque o amendoim produzido dessa forma representa a maior parte da produção do estado.

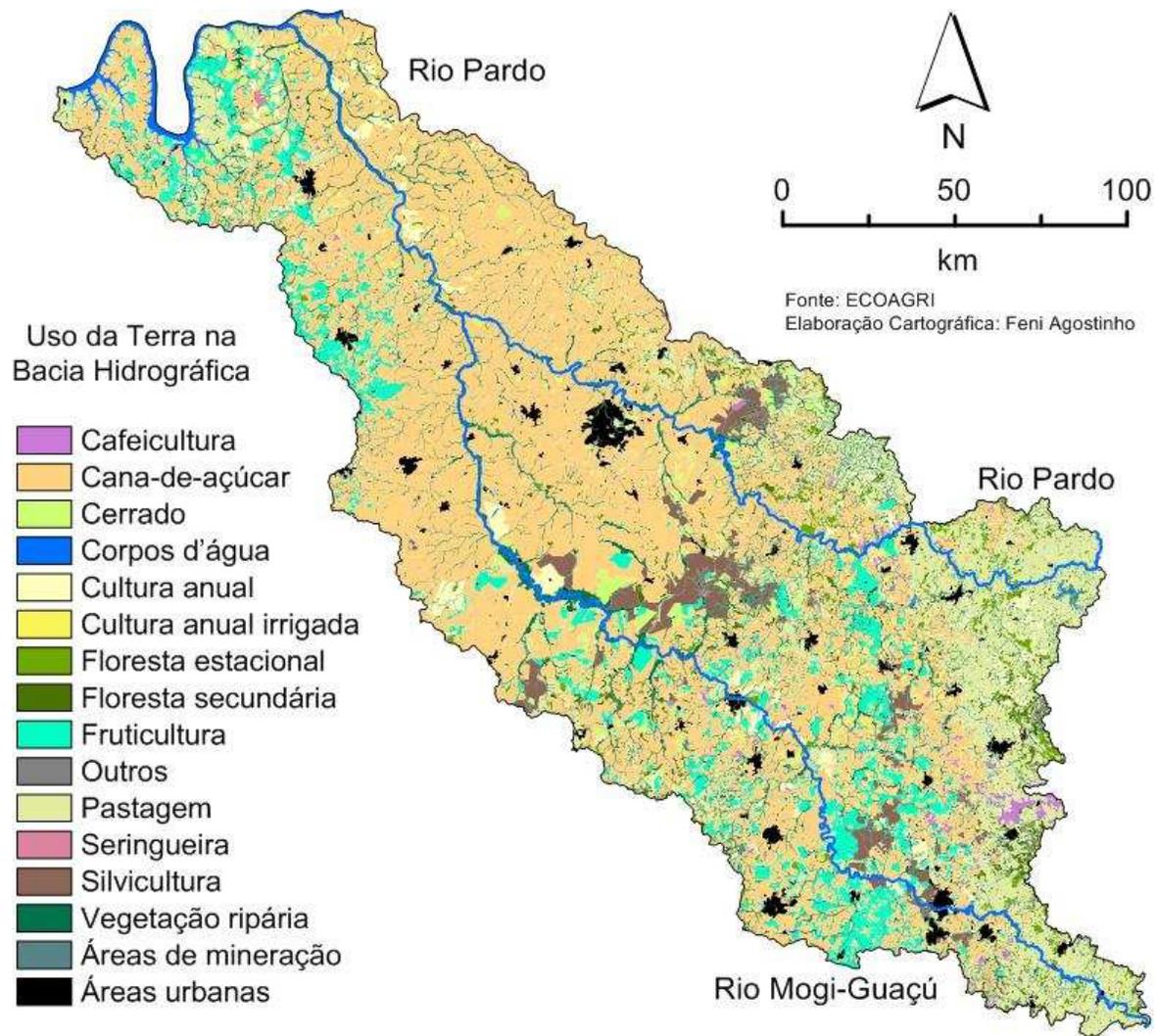


Figura 26. Mapa de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçu e Pardo.

- (b) As áreas ocupadas com café na bacia hidrográfica (0,7%) foram divididas em quatro grupos de acordo com o manejo adotado, pois existem diferenças na quantidade dos insumos utilizados: (a) Grupo 1, café plantado em áreas com elevada declividade, utiliza muita mão-de-obra simples em suas atividades, colheita selecionada, resultando em grãos com elevada qualidade; (b) Grupo 2, densidade moderada de plantas e em solo com moderada fertilidade, estrutura familiar em fazendas de café especializadas; (c) Grupo 3, elevada densidade de plantas, intensivo uso de agroquímicos e mecanização, elevada produtividade; (d) Grupo 4, baixa densidade de plantas, baixa fertilização e mecanização, emprego elevado de mão-de-obra simples nos trabalhos operacionais, produz subprodutos (em pequena quantidade) além do café.
- (c) As áreas ocupadas por cultura anual inicialmente foram separadas em áreas irrigadas (1,1% da área da bacia) e áreas não irrigadas por pivô central (2,6% da área da bacia). Essa distinção foi realizada devido à imagem bruta da bacia obtida pelo satélite Landsat fornecer polígonos (círculos) que identificavam o uso do pivô. Para as áreas não irrigadas, foram consideradas as seguintes culturas anuais devido à sua representatividade na área total da bacia: soja (40,27%); milho (27,21%); milho safrinha (17,19%); sorgo (7,45%); algodão (3,36%); feijão (2,28%); amendoim (1,23%); arroz (0,90%); girassol (0,11%). Dessa forma, para cada hectare de cultura anual não irrigada considerou-se essas porcentagens de ocupação. Para as áreas irrigadas, foi considerada uma safra por ano, na mesma área, das seguintes culturas: algodão, feijão e milho.
- (d) Para as áreas ocupadas com fruticultura (7,5% da área da bacia), foram consideradas apenas as frutas que tinham maior representatividade em área na bacia: laranja (91,65%); tangerina (2,76%); limão (incluindo limão e lima – 2,25%); manga (1,67%); goiaba (0,71%); abacate (0,49%); banana (0,26%); coco da baía (0,07%); pêssigo (0,06%); maracujá (0,05%); uva (0,03%). Dessa forma, para cada hectare de fruticultura considerou-se essas porcentagens de ocupação.
- (e) Nas áreas identificadas como pastagem (12,4% da área da bacia), são produzidos gados para corte e para leite, dividindo-se em bovinocultura de

corde, bovinocultura de leite, bovinocultura mista e bubalinocultura (principalmente leite). Outros animais como Assininos, Muares, Avestruzes, Ema, Caprinos, Eqüinos e Ovinos não foram considerados por representarem pequena porcentagem em relação à quantidade total de cabeças existente. Os coeficientes técnicos para essas áreas foram agregados de acordo com o tipo de pasto (variedade da planta) e de acordo com sua representatividade na bacia: Braquiária (*Brachiaria ssp* - 94,89%); Capim gordura (*Melinis minutiflora* P. Beauv - 2,29%); Capim napier (*Pennisetum purpureum* Schum - 1,88%); Capim jaraguá (*Hyparrhenia rufa* Nees Stapf - 0,93%); Alfafa (*Medicago sativa* L. - 0,01%).

- (f) As áreas de silvicultura (3,5% da área da bacia) são direcionadas, em sua maioria, à produção de madeira para abastecer as indústrias de papel, de móveis e carvão vegetal. Nesse trabalho, somente as árvores de Eucalipto (*Eucalyptus spp*) e Pinus (*Pinus spp*) foram contabilizadas porque correspondem a quase totalidade das árvores plantadas para esse fim. Outras espécies, como o Pinheiro do Paraná (*Araucaria angustifolia* Bert.) são produzidas em pequenas áreas e não foram contabilizadas.
- (g) As árvores de seringueira (*Hevea brasiliensis* Müll. Arg.), que ocupam 0,1% da área da bacia, são cultivadas para extrair látex para ser transformado em borracha bruta. O manejo das seringueiras foi considerado o mesmo para toda a bacia hidrográfica.
- (h) Por possuírem as mesmas necessidades de recursos para seu desenvolvimento e manutenção, as áreas de florestas e vegetação ripária foram contabilizadas ao mesmo tempo. Essas áreas são representadas pelo bioma Mata Atlântica e ocupam 14,7% da área total da bacia.
- (i) As áreas de cerrado (2,0% da área da bacia) possuem fluxos de energia parecidos com as áreas de floresta e/ou vegetação ripária, diferenciando-se basicamente em perda de solo e valor dos serviços ambientais.

## **5.1. Diagnóstico dos sistemas agropecuários da bacia hidrográfica através de indicadores de desempenho emergético**

O diagrama sistêmico da bacia hidrográfica pode ser visto na Figura 27. Existem três subsistemas principais no diagrama, representados pelas Áreas Naturais (Capital

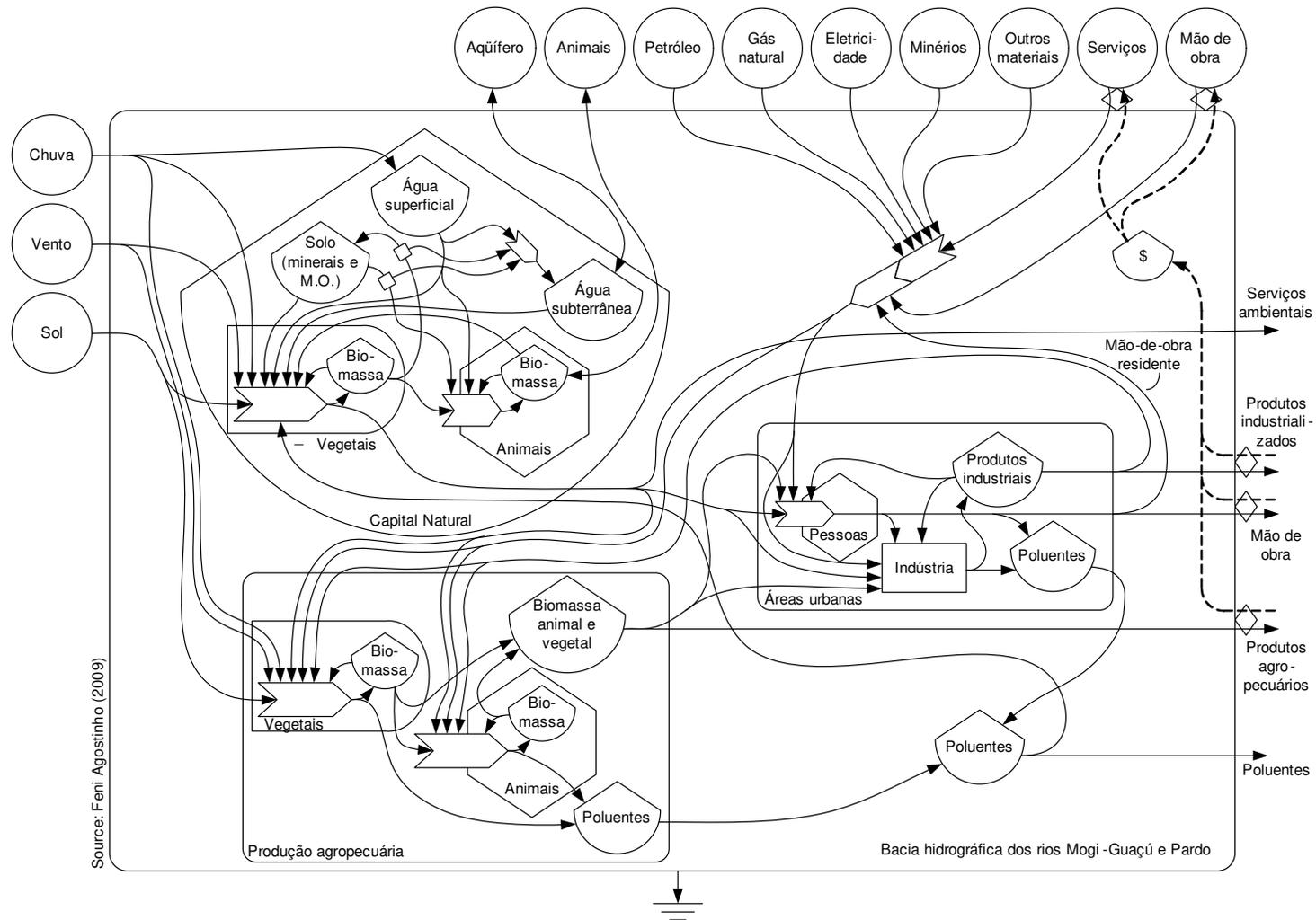
Natural), pela Áreas Rurais (Produção Agropecuária) e pelas Áreas Urbanas. Observa-se uma forte relação entre eles, onde fluxos de energia e matéria fluem de um sistema para outro.

Nas Áreas Naturais observa-se a interação de diversos fluxos de energia e massa para a produção de biomassa vegetal e sua estocagem, que por sua vez está totalmente relacionada à produção de água, solo e biomassa animal que interagem entre si para manter seu equilíbrio. Todos esses fluxos são dirigidos basicamente por recursos naturais renováveis (Sol, Chuva, Vento e fluxo de água entre Aquíferos). Toda essa interação produz um estoque de Capital Natural, que por sua vez produz Serviços Ambientais essenciais à vida do ser humano. Esse importante fluxo interage diretamente nas pessoas das Áreas Urbanas e na Produção Agropecuária. Um fator importante está relacionado ao estoque de poluentes produzidos pelas áreas antropizadas que podem causar sérios prejuízos ao capital natural e, conseqüentemente, na produção de serviços ambientais. Esse capital natural, agora prejudicado, afetará diretamente os sistemas antropizados, reduzindo a capacidade de carga da bacia hidrográfica.

No subsistema de Produção Agropecuária, observa-se a dependência de recursos externos da natureza (Sol, Chuva, Vento e Serviços Ambientais) e da economia (Gás, Eletricidade, Fertilizantes, Mão-de-obra, etc). Esse sistema produz biomassa vegetal e animal para serem consumidos internamente na bacia hidrográfica nas Áreas Urbanas e no exterior. Além disso, observa-se a produção de poluentes que aumentam o estoque de poluentes interno na bacia hidrográfica e/ou podem atingir outros sistemas externos.

No subsistema das Áreas Urbanas observa-se que a necessidade de energia e matéria provém principalmente da economia (Petróleo, Gás, Eletricidade, Minérios, Mão-de-obra, etc), mas os serviços ambientais também possuem um papel de destaque. Esse subsistema, que possui a maioria da população da bacia hidrográfica, produz produtos industrializados para serem usados internamente na bacia e no exterior. Além disso, esse subsistema é responsável por grande parte da carga de poluentes presentes na bacia, que somada aos poluentes da Área Agropecuária, afetam diretamente o estoque de Capital Natural.

Outro ponto importante no diagrama, é que dinheiro (fluxos simbolizados pelas linhas tracejadas) paga apenas os produtos industrializados, agropecuários e mão-de-obra, enquanto os serviços ambientais produzidos pela natureza são considerados gratuitos pela economia convencional. Além disso, os poluentes produzidos e todos os prejuízos diretos e indiretos causados por eles também não entram nessa contabilidade.



Source: Feni Agostinho (2009)

Figura 27. Diagrama sistêmico da bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçu e Pardo. Observação: As linhas que representam os fluxos de energia degradada não foram desenhados para evitar excesso de linhas que dificultariam o entendimento do diagrama. Deve-se ter em mente que para todos os símbolos de Interação, Estoque e Pessoas, há perda de energia (2ª Lei da Termodinâmica) que flui para fora do sistema e é considerada degradada.

Segundo a metodologia emergética, os produtos externos derivados da economia que entram na bacia hidrográfica não são pagos adequadamente. Somente a mão-de-obra e os serviços são pagos e de acordo com a regras de demanda e procura da economia convencional. O dinheiro gasto com a energia e matéria que entram no sistema representa apenas ao dinheiro gasto para extrair esses produtos da natureza, subestimando sua riqueza real.

Focando nos sistemas agropecuários presentes na bacia hidrográfica, o diagrama padrão da Figura 28 pode ser considerado para todos os sistemas estudados neste trabalho. Observa-se um fluxo de entrada de energia e matéria oriunda da natureza e da economia, além das saídas que são os produtos agropecuários, poluentes e serviços ambientais. Observa-se também, que a Informação é um importante fluxo de energia (apesar de não ser considerado nesse trabalho) que gerencia todo o sistema, como o que produzir, de que maneira e sua dependência de recursos da economia e da natureza. Informações sobre a influência desse fluxo de energia pode ser encontrado em Odum (1996) e Ortega (2006).

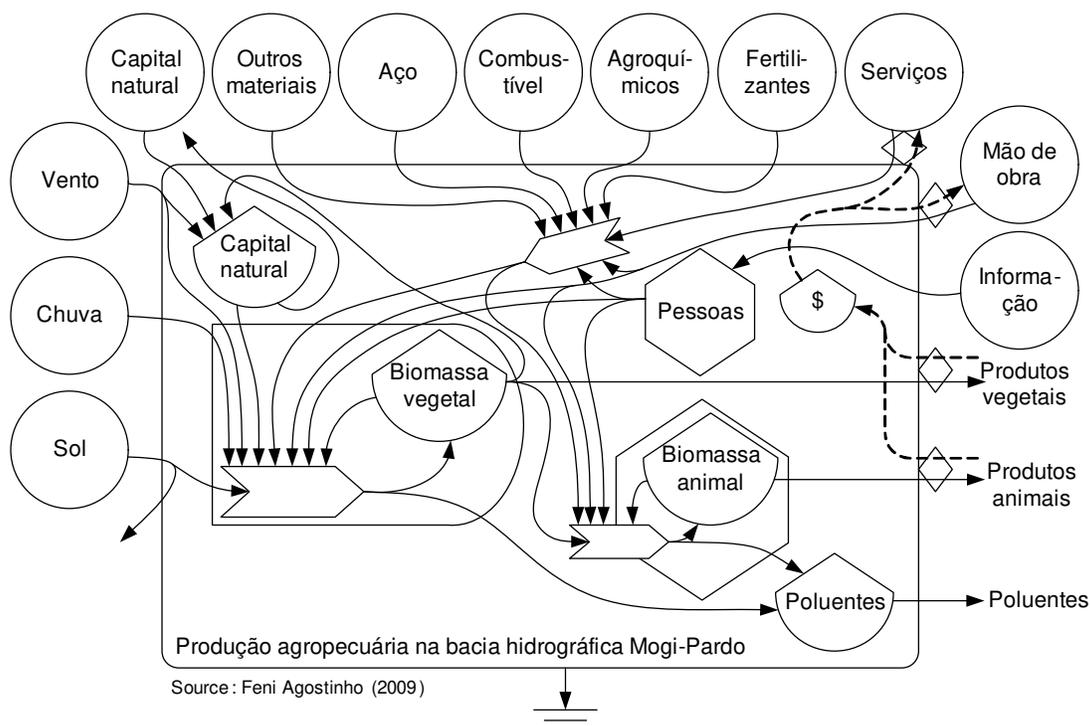


Figura 28. Diagrama sistêmico padrão para os sistemas agropecuários na bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçú e Pardo. Capital natural engloba solo (matéria orgânica e nutrientes), água e animais (incluindo microorganismos), enquanto o estoque de biomassa animal (em baixo à direita) representa a produção pecuária da bacia. Observação: Pelos mesmos motivos escritos na legenda da figura anterior, as linhas que representam a perda de energia não foram desenhadas.

Após a interpretação do sistema agropecuário através de seu diagrama sistêmico, a segunda etapa da análise emergética pôde ser aplicada (da Tabela 17 a Tabela 32). Os dados brutos utilizados nos cálculos podem ser vistos no Apêndice A e os cálculos primários para converter os fluxos em energia, massa ou dinheiro podem ser visualizados no Apêndice B. As intensidades emergéticas para cada fluxo podem ser visualizadas no Apêndice C.

Tabela 17. Tabela de avaliação emergética para produção de cana-de-açúcar para o ano de 2002 (fluxos emergéticos em 10E+13 sej/ha/ano).

Nota	Item	Fração renovável	Unid.	Unid./ha/ano	SeJ/unid.	Referência para SeJ/unid.	Fluxo emergético renovável	Fluxo emergético não-renovável	Fluxo emergético total	Valor monetário USD/ha/ano
Recursos renováveis (R)										
1	sol	1,00	J	1,44E+11	1,00E+00	Odum, 1996	0,00	0,00	0,00	0,00
2	chuva	1,00	J	7,00E+10	3,10E+04	Odum et al., 2000	217,00	0,00	217,00	657,58
3	vento	1,00	J	9,15E+09	2,45E+03	Odum et al., 2000	2,24	0,00	2,24	6,80
Recursos não-renováveis (N)										
4	perda de solo	0,00	J	1,08E+10	1,24E+05	Brandt-Williams, 2002	0,00	133,42	133,42	404,30
Materiais (M)										
5	combustível fóssil	0,01	J	2,29E+09	9,21E+04	Bastianoni et al., 2005	0,21	20,84	21,05	63,78
6	aço	0,01	kg	1,86E+00	1,13E+13	Brown e Ulgiati, 2004	0,02	2,08	2,10	6,36
7	calcário dolomítico	0,01	kg	3,43E+02	1,00E+12	Brandt-Williams, 2002	0,34	33,98	34,32	104,00
8	nitrogênio	0,01	kg	5,49E+01	6,38E+12	Brown e Ulgiati, 2004	0,35	34,64	34,99	106,04
9	fósforo	0,01	kg	1,20E+02	6,55E+12	Brown e Ulgiati, 2004	0,79	77,81	78,60	238,18
10	potássio	0,01	kg	1,20E+02	2,92E+12	Odum, 1996	0,35	34,69	35,04	106,18
11	controle de pragas	0,01	kg	4,45E+01	2,49E+13	Brown e Ulgiati, 2004	1,11	109,75	110,85	335,92
Serviços (S)										
12	mão-de-obra simples	0,60	J	1,57E+09	2,80E+06	Brown, 2003	263,34	175,56	438,90	1330,01
13	assist. técnica	0,60	US\$	9,40E+00	3,30E+12	Coelho et al., 2003	1,86	1,24	3,10	9,40
14	mão-de-obra adminis.	0,60	US\$	4,46E+01	3,30E+12	Coelho et al., 2003	8,82	5,88	14,70	44,56
15	contabilidade/escritór.	0,60	US\$	2,70E+00	3,30E+12	Coelho et al., 2003	0,53	0,36	0,89	2,70
16	luz/telefone	0,00	US\$	1,12E+01	3,30E+12	Coelho et al., 2003	0,00	3,68	3,68	11,16
17	depreciação instala.	0,00	US\$	9,30E-01	3,30E+12	Coelho et al., 2003	0,00	0,31	0,31	0,93
18	impostos	0,00	US\$	2,79E+01	3,30E+12	Coelho et al., 2003	0,00	9,21	9,21	27,91
19	serviços materiais	0,00	US\$	6,29E+02	3,30E+12	Coelho et al., 2003	0,00	207,44	207,44	628,59
Energia total (Y)			seJ	1,35E+16						
Energia total produzida (Ep)			J	2,04E+11						
Tr com serviços e mão-de-obra			J	6,60E+04						
Tr sem serviços e mão-de-obra			J	3,28E+04						

(a) As intensidades emergéticas para os materiais (M) não incluem mão-de-obra e serviços. Esses valores foram incluídos separadamente no item serviços materiais.

(b) O baseline utilizado é de 15,83E+24 seJ/ano.

(c) O item "sol" não é contabilizado para evitar dupla contagem.

Tabela 18. Tabela de avaliação emergética para produção de cana-de-açúcar e amendoim (na reforma) para o ano de 2002 (fluxos emergéticos em 10E+13 sej/ha/ano).

Nota	Item	Fração renovável	Unid.	Unid./ha/ano	seJ/unid.	Referência para seJ/unid.	Fluxo emergético renovável	Fluxo emergético não-renovável	Fluxo emergético total	Valor monetário USD/ha/ano
Recursos renováveis (R)										
1	sol	1,00	J	1,44E+11	1,00E+00	Odum, 1996	0,00	0,00	0,00	0,00
2	chuva	1,00	J	7,00E+10	3,10E+04	Odum et al., 2000	217,00	0,00	217,00	657,58
3	vento	1,00	J	9,15E+09	2,45E+03	Odum et al., 2000	2,24	0,00	2,24	6,80
Recursos não-renováveis (N)										
4	perda de solo	0,00	J	6,33E+09	1,24E+05	Brandt-Williams, 2002	0,00	78,48	78,48	237,83
materials (M)										
5	combustível fóssil	0,01	J	2,40E+09	9,21E+04	Bastianoni et al., 2005	0,22	21,86	22,08	66,91
6	aço	0,01	kg	1,93E+00	1,13E+13	Brown e Ulgiati, 2004	0,02	2,15	2,18	6,60
7	calcário dolomítico	0,01	kg	4,12E+02	1,00E+12	Brandt-Williams, 2002	0,41	40,80	41,21	124,88
8	nitrogênio	0,01	kg	5,46E+01	6,38E+12	Brown e Ulgiati, 2004	0,35	34,50	34,85	105,60
9	fósforo	0,01	kg	1,32E+02	6,55E+12	Brown e Ulgiati, 2004	0,87	85,67	86,54	262,24
10	potássio	0,01	kg	1,24E+02	2,92E+12	Odum, 1996	0,36	35,86	36,22	109,76
11	controle de pragas	0,01	kg	4,36E+01	2,49E+13	Brown e Ulgiati, 2004	1,08	107,37	108,46	328,66
Serviços (S)										
12	mão-de-obra simples	0,60	J	1,52E+09	2,80E+06	Brown, 2003	254,60	169,73	424,33	1285,85
13	assist. técnica	0,60	US\$	9,12E+00	3,30E+12	Coelho et al., 2003	1,81	1,20	3,01	9,12
14	mão-de-obra adminis.	0,60	US\$	4,33E+01	3,30E+12	Coelho et al., 2003	8,58	5,72	14,29	43,31
15	contabilidade/escritór.	0,60	US\$	2,65E+00	3,30E+12	Coelho et al., 2003	0,53	0,35	0,88	2,65
16	luz/telefone	0,00	US\$	1,09E+01	3,30E+12	Coelho et al., 2003	0,00	3,59	3,59	10,88
17	depreciação instala.	0,00	US\$	5,91E-01	3,30E+12	Coelho et al., 2003	0,00	0,20	0,20	0,59
18	impostos	0,00	US\$	2,34E+01	3,30E+12	Coelho et al., 2003	0,00	7,71	7,71	23,37
19	serviços materiais	0,00	US\$	6,29E+02	3,30E+12	Coelho et al., 2003	0,00	207,52	207,52	628,84
Energia total (Y)			seJ	1,29E+16						
Energia total produzida (Ep)			J	2,63E+11						
Tr com serviços e mão-de-obra			J	4,91E+04						
Tr sem serviços e mão-de-obra			J	2,39E+04						

(a) As intensidades emergéticas para os materiais (M) não incluem mão-de-obra e serviços. Esses valores foram incluídos separadamente no item serviços materiais.

(b) O baseline utilizado é de 15,83E+24 seJ/ano.

(c) O item "sol" não é contabilizado para evitar dupla contagem.

Tabela 19. Tabela de avaliação emergética para produção de cana-de-açúcar e soja (na reforma) para o ano de 2002 (fluxos emergéticos em 10E+13 sej/ha/ano).

nota	item	fração renovável	unid.	unid./ha/ano	sej/unid.	referência para sej/unid.	fluxo emergético renovável	fluxo emergético não-renovável	fluxo emergético total	USD/ha/ano
renewable inputs (R)										
1	sol	1,00	J	1,44E+11	1,00E+00	Odum, 1996	0,00	0,00	0,00	0,00
2	chuva	1,00	J	7,00E+10	3,10E+04	Odum et al., 2000	217,00	0,00	217,00	657,58
3	vento	1,00	J	9,15E+09	2,45E+03	Odum et al., 2000	2,24	0,00	2,24	6,80
nonrenewable inputs (N)										
4	perda de solo	0,00	J	6,78E+09	1,24E+05	Brandt-Williams, 2002	0,00	84,09	84,09	254,81
materials (M)										
5	combustível fóssil	0,01	J	2,02E+09	9,21E+04	Bastianoni et al., 2005	0,19	18,44	18,63	56,46
6	aço	0,01	kg	1,67E+00	1,13E+13	Brown e Ulgiati, 2004	0,02	1,87	1,89	5,73
7	calcário dolomítico	0,01	kg	3,93E+02	1,00E+12	Brandt-Williams, 2002	0,39	38,94	39,33	119,18
8	nitrogênio	0,01	kg	5,11E+01	6,38E+12	Brown e Ulgiati, 2004	0,33	32,27	32,60	98,78
9	fósforo	0,01	kg	1,18E+02	6,55E+12	Brown e Ulgiati, 2004	0,77	76,52	77,30	234,23
10	potássio	0,01	kg	1,18E+02	2,92E+12	Odum, 1996	0,34	34,11	34,46	104,42
11	controle de pragas	0,01	kg	4,16E+01	2,49E+13	Brown e Ulgiati, 2004	1,04	102,50	103,54	313,74
services (S)										
12	mão-de-obra simples	0,60	J	1,46E+09	2,80E+06	Brown, 2003	244,96	163,31	408,26	1237,16
13	assist. técnica	0,60	US\$	8,78E+00	3,30E+12	Coelho et al., 2003	1,74	1,16	2,90	8,78
14	mão-de-obra adminis.	0,60	US\$	4,17E+01	3,30E+12	Coelho et al., 2003	8,26	5,51	13,76	41,71
15	contabilidade/escritór.	0,60	US\$	2,61E+00	3,30E+12	Coelho et al., 2003	0,52	0,34	0,86	2,61
16	luz/telefone	0,00	US\$	1,05E+01	3,30E+12	Coelho et al., 2003	0,00	3,45	3,45	10,47
17	depreciação instala.	0,00	US\$	5,58E-01	3,30E+12	Coelho et al., 2003	0,00	0,18	0,18	0,56
18	impostos	0,00	US\$	2,27E+01	3,30E+12	Coelho et al., 2003	0,00	7,50	7,50	22,74
19	serviços materiais	0,00	US\$	6,16E+02	3,30E+12	Coelho et al., 2003	0,00	203,27	203,27	615,97
Total energy (Y)			seJ	1,25E+16						
Total Outputs (O)			J	1,91E+11						
Tr com serviços e mão-de-obra			J	6,55E+04						
Tr sem serviços e mão-de-obra			J	3,20E+04						

(a) As intensidades emergéticas para os materiais (M) não incluem mão-de-obra e serviços. Esses valores foram incluídos separadamente no item serviços materiais.

(b) O baseline utilizado é de 15,83E+24 seJ/ano.

(c) O item "sol" não é contabilizado para evitar dupla contagem.

Tabela 20. Tabela de avaliação emergética para produção de cana-de-açúcar, amendoim e soja para o ano de 2002 (fluxos emergéticos em 10E+13 sej/ha/ano).

Nota	Item	Fração renovável	Unid.	Unid./ha/ano	seJ/unid.	Referência para seJ/unid.	Fluxo emergético renovável	Fluxo emergético não-renovável	Fluxo emergético total	Valor monetário USD/ha/ano
Recursos renováveis (R)										
1	sol	1,00	J	1,44E+11	1,00E+00	Odum, 1996	0,00	0,00	0,00	0,00
2	chuva	1,00	J	7,00E+10	3,10E+04	Odum et al., 2000	217,00	0,00	217,00	657,58
3	vento	1,00	J	9,15E+09	2,45E+03	Odum et al., 2000	2,24	0,00	2,24	6,80
Recursos não-renováveis (N)										
4	perda de solo	0,00	J	8,14E+09	1,24E+05	Brandt-Williams, 2002	0,00	100,91	100,91	305,78
Materiais (M)										
5	combustível fóssil	0,01	J	2,31E+09	9,21E+04	Bastianoni et al., 2005	0,21	21,05	21,27	64,44
6	aço	0,01	kg	1,89E+00	1,13E+13	Brown e Ulgiati, 2004	0,02	2,12	2,14	6,48
7	calcário dolomítico	0,01	kg	3,32E+02	1,00E+12	Brandt-Williams, 2002	0,33	32,89	33,23	100,68
8	nitrogênio	0,01	kg	5,34E+01	6,38E+12	Brown e Ulgiati, 2004	0,34	33,73	34,07	103,23
9	fósforo	0,01	kg	1,28E+02	6,55E+12	Brown e Ulgiati, 2004	0,84	82,98	83,82	253,99
10	potássio	0,01	kg	1,22E+02	2,92E+12	Odum, 1996	0,36	35,32	35,68	108,13
11	controle de pragas	0,01	kg	4,28E+01	2,49E+13	Brown e Ulgiati, 2004	1,07	105,55	106,62	323,09
Serviços (S)										
12	mão-de-obra simples	0,60	J	1,49E+09	2,80E+06	Brown, 2003	250,77	167,18	417,96	1266,53
13	assist. técnica	0,60	US\$	8,99E+00	3,30E+12	Coelho et al., 2003	1,78	1,19	2,97	8,99
14	mão-de-obra adminis.	0,60	US\$	4,27E+01	3,30E+12	Coelho et al., 2003	8,45	5,63	14,09	42,68
15	contabilidade/escritór.	0,60	US\$	2,64E+00	3,30E+12	Coelho et al., 2003	0,52	0,35	0,87	2,64
16	luz/telefone	0,00	US\$	1,07E+01	3,30E+12	Coelho et al., 2003	0,00	3,54	3,54	10,72
17	depreciação instala.	0,00	US\$	5,82E-01	3,30E+12	Coelho et al., 2003	0,00	0,19	0,19	0,58
18	impostos	0,00	US\$	2,32E+01	3,30E+12	Coelho et al., 2003	0,00	7,64	7,64	23,16
19	serviços materiais	0,00	US\$	6,24E+02	3,30E+12	Coelho et al., 2003	0,00	206,06	206,06	624,42
Energia total (Y)			seJ	1,29E+16						
Energia total produzida (Ep)			J	1,96E+11						
Tr com serviços e mão-de-obra			J	6,58E+04						
Tr sem serviços e mão-de-obra			J	3,25E+04						

(a) As intensidades emergéticas para os materiais (M) não incluem mão-de-obra e serviços. Esses valores foram incluídos separadamente no item serviços materiais.

(b) O baseline utilizado é de 15,83E+24 seJ/ano.

(c) O item "sol" não é contabilizado para evitar dupla contagem.

Tabela 21. Tabela de avaliação emergética para produção de café do grupo 1 para o ano de 2002 (fluxos emergéticos em 10E+13 seJ/ha/ano).

Nota	Item	Fração renovável	Unid.	Unid./ha/ano	SeJ/unid.	Referência para SeJ/unid.	Fluxo emergético renovável	Fluxo emergético não-renovável	Fluxo emergético total	Valor monetário USD/ha/ano
renewable inputs (R)										
1	sol	1,00	J	1,44E+11	1,00E+00	Odum, 1996	0,00	0,00	0,00	0,00
2	chuva	1,00	J	7,00E+10	3,10E+04	Odum et al., 2000	217,00	0,00	217,00	657,58
3	vento	1,00	J	9,15E+09	2,45E+03	Odum et al., 2000	2,24	0,00	2,24	6,80
nonrenewable inputs (N)										
4	perda de solo	0,00	J	2,20E+10	1,24E+05	Brandt-Williams, 2002	0,00	272,45	272,45	825,59
materials (M)										
5	combustível fóssil	0,01	J	9,67E+09	9,21E+04	Bastianoni et al., 2005	0,89	88,19	89,09	269,96
6	aço	0,01	kg	8,24E+00	1,13E+13	Brown e Ulgiati, 2004	0,09	9,22	9,31	28,21
7	calcário dolomítico	0,01	kg	1,79E+03	1,00E+12	Brandt-Williams, 2002	1,79	177,01	178,80	541,82
8	superfosfato simples	0,00	kg	3,12E+02	3,32E+12	Brandt-Williams, 2002	0,00	103,58	103,58	313,89
9	cloreto de potássio	0,00	kg	7,30E+00	2,92E+12	Odum, 1996	0,00	2,13	2,13	6,46
10	nitrato de amônia	0,00	kg	3,44E+01	6,38E+12	Bargli e Ulgiati, 2003	0,00	21,95	21,95	66,51
11	ácido bórico	0,00	kg	1,22E+00	3,80E+11	Cuadra e Rydberg, 2000	0,00	0,05	0,05	0,14
12	nitrogênio	0,01	kg	3,79E+02	6,38E+12	Brown e Ulgiati, 2004	2,42	239,41	241,83	732,81
13	fósforo	0,01	kg	6,00E+01	6,55E+12	Brown e Ulgiati, 2004	0,39	38,91	39,30	119,09
14	potássio	0,01	kg	4,27E+02	2,92E+12	Odum, 1996	1,25	123,45	124,70	377,87
15	controle de pragas	0,01	kg	2,57E+01	2,49E+13	Brown e Ulgiati, 2004	0,64	63,40	64,04	194,07
services (S)										
16	mão-de-obra simples	0,60	J	4,78E+09	2,80E+06	Brown, 2003	803,33	535,55	1338,89	4057,23
17	assist. técnica	0,60	US\$	1,86E+01	3,30E+12	Coelho et al., 2003	3,68	2,46	6,14	18,60
18	mão-de-obra adminis.	0,60	US\$	9,30E+01	3,30E+12	Coelho et al., 2003	18,42	12,28	30,70	93,02
19	contabilidade/escritór.	0,60	US\$	1,86E+01	3,30E+12	Coelho et al., 2003	3,68	2,46	6,14	18,60
20	luz/telefone	0,00	US\$	2,79E+01	3,30E+12	Coelho et al., 2003	0,00	9,21	9,21	27,91
21	depreciação instala.	0,00	US\$	2,70E+00	3,30E+12	Coelho et al., 2003	0,00	0,89	0,89	2,70
22	impostos	0,00	US\$	6,98E+01	3,30E+12	Coelho et al., 2003	0,00	23,02	23,02	69,77
23	serviços materiais	0,00	US\$	1,25E+03	3,30E+12	Coelho et al., 2003	0,00	410,90	410,90	1245,14
Total emery (Y)			seJ	3,19E+16						
Total Outputs (O)			J	3,02E+10						
Tr com serviços e mão-de-obra			J		1,06E+06					
Tr sem serviços e mão-de-obra			J		4,52E+05					

(a) As intensidades emergéticas para os materiais (M) não incluem mão-de-obra e serviços. Esses valores foram incluídos separadamente no item serviços materiais.

(b) O baseline utilizado é de 15,83E+24 seJ/ano.

(c) O item "sol" não é contabilizado para evitar dupla contagem.

Tabela 22. Tabela de avaliação emergética para produção de café do grupo 2 para o ano de 2002 (fluxos emergéticos em 10E+13 sej/ha/ano).

Nota	Item	Fração renovável	Unid.	Unid./ha/ano	SeJ/unid.	Referência para Sej/unid.	Fluxo emergético renovável	Fluxo emergético não-renovável	Fluxo emergético total	Valor monetário USD/ha/ano
renewable inputs (R)										
1	sol	1,00	J	1,44E+11	1,00E+00	Odum, 1996	0,00	0,00	0,00	0,00
2	chuva	1,00	J	7,00E+10	3,10E+04	Odum et al., 2000	217,00	0,00	217,00	657,58
3	vento	1,00	J	9,15E+09	2,45E+03	Odum et al., 2000	2,24	0,00	2,24	6,80
nonrenewable inputs (N)										
4	perda de solo	0,00	J	1,01E+10	1,24E+05	Brandt-Williams, 2002	0,00	125,24	125,24	379,50
materials (M)										
5	combustível fóssil	0,01	J	1,25E+10	9,21E+04	Bastianoni et al., 2005	1,15	113,66	114,81	347,91
6	aço	0,01	kg	1,06E+01	1,13E+13	Brown e Ulgiati, 2004	0,12	11,85	11,97	36,27
7	calcário dolomítico	0,01	kg	1,92E+03	1,00E+12	Brandt-Williams, 2002	1,92	190,08	192,00	581,82
8	superfosfato simples	0,00	kg	3,00E+02	3,32E+12	Brandt-Williams, 2002	0,00	99,60	99,60	301,82
9	cloreto de potássio	0,00	kg	2,00E+02	2,92E+12	Odum, 1996	0,00	58,40	58,40	176,97
10	sulfato de zinco	0,00	kg	2,02E-01	7,20E+13	Cohen et al., 2007	0,00	1,45	1,45	4,41
11	ácido bórico	0,00	kg	1,50E+00	3,80E+11	Cuadra e Rydberg, 2000	0,00	0,06	0,06	0,17
12	nitrogênio	0,01	kg	4,20E+02	6,38E+12	Brown e Ulgiati, 2004	2,68	265,28	267,96	812,00
13	fósforo	0,01	kg	6,00E+01	6,55E+12	Brown e Ulgiati, 2004	0,39	38,91	39,30	119,09
14	potássio	0,01	kg	4,20E+02	2,92E+12	Odum, 1996	1,23	121,41	122,64	371,64
15	controle de pragas	0,01	kg	2,14E+01	2,49E+13	Brown e Ulgiati, 2004	0,53	52,75	53,29	161,47
services (S)										
16	mão-de-obra simples	0,60	J	3,86E+09	2,80E+06	Brown, 2003	649,27	432,84	1082,11	3279,12
17	assist. técnica	0,60	US\$	1,86E+01	3,30E+12	Coelho et al., 2003	3,68	2,46	6,14	18,60
18	mão-de-obra adminis.	0,60	US\$	9,30E+01	3,30E+12	Coelho et al., 2003	18,42	12,28	30,70	93,02
19	contabilidade/escritór.	0,60	US\$	1,86E+01	3,30E+12	Coelho et al., 2003	3,68	2,46	6,14	18,60
20	luz/telefone	0,00	US\$	2,79E+01	3,30E+12	Coelho et al., 2003	0,00	9,21	9,21	27,91
21	depreciação instala.	0,00	US\$	2,70E+00	3,30E+12	Coelho et al., 2003	0,00	0,89	0,89	2,70
22	impostos	0,00	US\$	6,98E+01	3,30E+12	Coelho et al., 2003	0,00	23,02	23,02	69,77
23	serviços materiais	0,00	US\$	1,49E+03	3,30E+12	Coelho et al., 2003	0,00	491,93	491,93	1490,70
Total emery (Y)			seJ	2,96E+16						
Total Outputs (O)			J	3,86E+10						
Tr com serviços e mão-de-obra			J	7,66E+05						
Tr sem serviços e mão-de-obra			J	3,38E+05						

(a) As intensidades emergéticas para os materiais (M) não incluem mão-de-obra e serviços. Esses valores foram incluídos separadamente no item serviços materiais.

(b) O baseline utilizado é de 15,83E+24 sej/ano.

(c) O item "sol" não é contabilizado para evitar dupla contagem.

Tabela 23. Tabela de avaliação emergética para produção de café do grupo 3 para o ano de 2002 (fluxos emergéticos em 10E+13 seJ/ha/ano).

Nota	Item	Fração renovável	Unid.	Unid./ha/ano	SeJ/unid.	Referência para SeJ/unid.	Fluxo emergético renovável	Fluxo emergético não-renovável	Fluxo emergético total	Valor monetário USD/ha/ano
renewable inputs (R)										
1	sol	1,00	J	1,44E+11	1,00E+00	Odum, 1996	0,00	0,00	0,00	0,00
2	chuva	1,00	J	7,00E+10	3,10E+04	Odum et al., 2000	217,00	0,00	217,00	657,58
3	vento	1,00	J	9,15E+09	2,45E+03	Odum et al., 2000	2,24	0,00	2,24	6,80
nonrenewable inputs (N)										
4	perda de solo	0,00	J	7,35E+09	1,24E+05	Brandt-Williams, 2002	0,00	91,15	91,15	276,22
materials (M)										
5	combustível fóssil	0,01	J	1,09E+10	9,21E+04	Bastianoni et al., 2005	1,00	99,39	100,39	304,22
6	aço	0,01	kg	8,75E+00	1,13E+13	Brown e Ulgiati, 2004	0,10	9,78	9,88	29,95
7	calcário dolomítico	0,01	kg	1,80E+03	1,00E+12	Brandt-Williams, 2002	1,80	178,20	180,00	545,45
8	superfosfato simples	0,00	kg	7,50E+02	3,32E+12	Brandt-Williams, 2002	0,00	249,00	249,00	754,55
9	cloreto de potássio	0,00	kg	2,00E+02	2,92E+12	Odum, 1996	0,00	58,40	58,40	176,97
10	uréia	0,00	kg	1,40E-01	6,38E+12	Cuadra e Rydberg, 2006	0,00	0,09	0,09	0,27
11	sulfato de zinco	0,00	kg	1,62E-01	7,20E+13	Cohen et al., 2007	0,00	1,16	1,16	3,53
12	sulfato de amônio	0,00	kg	1,00E-01	3,80E+11	Cuadra e Rydberg, 2000	0,00	0,00	0,00	0,01
13	ácido bórico	0,00	kg	4,00E-01	3,80E+11	Cuadra e Rydberg, 2000	0,00	0,02	0,02	0,05
14	nitrogênio	0,01	kg	2,40E+02	6,38E+12	Brown e Ulgiati, 2004	1,53	151,59	153,12	464,00
15	fósforo	0,01	kg	6,00E+01	6,55E+12	Brown e Ulgiati, 2004	0,39	38,91	39,30	119,09
16	potássio	0,01	kg	2,40E+02	2,92E+12	Odum, 1996	0,70	69,38	70,08	212,36
17	controle de pragas	0,01	kg	3,34E+01	2,49E+13	Brown e Ulgiati, 2004	0,83	82,33	83,17	252,02
services (S)										
18	mão-de-obra simples	0,60	J	5,03E+09	2,80E+06	Brown, 2003	845,63	563,75	1409,38	4270,86
19	assist. técnica	0,60	US\$	1,86E+01	3,30E+12	Coelho et al., 2003	3,68	2,46	6,14	18,60
20	mão-de-obra adminis.	0,60	US\$	9,30E+01	3,30E+12	Coelho et al., 2003	18,42	12,28	30,70	93,02
21	contabilidade/escritór.	0,60	US\$	1,86E+01	3,30E+12	Coelho et al., 2003	3,68	2,46	6,14	18,60
22	luz/telefone	0,00	US\$	2,79E+01	3,30E+12	Coelho et al., 2003	0,00	9,21	9,21	27,91
23	depreciação instala.	0,00	US\$	2,70E+00	3,30E+12	Coelho et al., 2003	0,00	0,89	0,89	2,70
24	impostos	0,00	US\$	6,98E+01	3,30E+12	Coelho et al., 2003	0,00	23,02	23,02	69,77
25	serviços materiais	0,00	US\$	1,59E+03	3,30E+12	Coelho et al., 2003	0,00	525,85	525,85	1593,49
Total energy (Y)			seJ	3,27E+16						
Total Outputs (O)			J	4,21E+10						
Tr com serviços e mão-de-obra			J	7,76E+05						
Tr sem serviços e mão-de-obra			J	2,98E+05						

(a) As intensidades emergéticas para os materiais (M) não incluem mão-de-obra e serviços. Esses valores foram incluídos separadamente no item serviços materiais.

(b) O baseline utilizado é de 15,83E+24 seJ/ano.

(c) O item "sol" não é contabilizado para evitar dupla contagem.

Tabela 24. Tabela de avaliação emergética para produção de café do grupo 4 para o ano de 2002 (fluxos emergéticos em 10E+13 seJ/ha/ano).

Nota	Item	Fração renovável	Unid.	Unid./ha/ano	SeJ/unid.	Referência para SeJ/unid.	Fluxo emergético renovável	Fluxo emergético não-renovável	Fluxo emergético total	Valor monetário USD/ha/ano
renewable inputs (R)										
1	sol	1,00	J	1,44E+11	1,00E+00	Odum, 1996	0,00	0,00	0,00	0,00
2	chuva	1,00	J	7,00E+10	3,10E+04	Odum et al., 2000	217,00	0,00	217,00	657,58
3	vento	1,00	J	9,15E+09	2,45E+03	Odum et al., 2000	2,24	0,00	2,24	6,80
nonrenewable inputs (N)										
4	perda de solo	0,00	J	5,20E+09	1,24E+05	Brandt-Williams, 2002	0,00	64,47	64,47	195,36
materials (M)										
5	combustível fóssil	0,01	J	7,76E+09	9,21E+04	Bastianoni et al., 2005	0,71	70,72	71,44	216,48
6	aço	0,01	kg	6,60E+00	1,13E+13	Brown e Ulgiati, 2004	0,07	7,38	7,46	22,60
7	calcário dolomítico	0,01	kg	3,60E+03	1,00E+12	Brandt-Williams, 2002	3,60	356,40	360,00	1090,91
8	superfosfato simples	0,00	kg	7,50E+02	3,32E+12	Brandt-Williams, 2002	0,00	249,00	249,00	754,55
9	cloreto de potássio	0,00	kg	2,00E+02	2,92E+12	Odum, 1996	0,00	58,40	58,40	176,97
10	nitrato de amônia	0,00	kg	1,70E+02	6,38E+12	Bargli e Ulgiati, 2003	0,00	108,46	108,46	328,67
11	sulfato de zinco	0,00	kg	1,94E+00	7,20E+13	Cohen et al., 2007	0,00	13,96	13,96	42,31
12	ácido bórico	0,00	kg	1,00E+01	3,80E+11	Cuadra e Rydberg, 2000	0,00	0,38	0,38	1,15
13	nitrogênio	0,01	kg	4,20E+02	6,38E+12	Brown e Ulgiati, 2004	2,68	265,28	267,96	812,00
14	fósforo	0,01	kg	6,00E+01	6,55E+12	Brown e Ulgiati, 2004	0,39	38,91	39,30	119,09
15	potássio	0,01	kg	4,20E+02	2,92E+12	Odum, 1996	1,23	121,41	122,64	371,64
16	controle de pragas	0,01	kg	2,14E+01	2,49E+13	Brown e Ulgiati, 2004	0,53	52,75	53,29	161,47
services (S)										
17	mão-de-obra simples	0,60	J	4,28E+09	2,80E+06	Brown, 2003	718,58	479,05	1197,64	3629,20
18	assist. técnica	0,60	US\$	1,86E+01	3,30E+12	Coelho et al., 2003	3,68	2,46	6,14	18,60
19	mão-de-obra adminis.	0,60	US\$	9,30E+01	3,30E+12	Coelho et al., 2003	18,42	12,28	30,70	93,02
20	contabilidade/escritór.	0,60	US\$	1,86E+01	3,30E+12	Coelho et al., 2003	3,68	2,46	6,14	18,60
21	luz/telefone	0,00	US\$	2,79E+01	3,30E+12	Coelho et al., 2003	0,00	9,21	9,21	27,91
22	depreciação instala.	0,00	US\$	2,70E+00	3,30E+12	Coelho et al., 2003	0,00	0,89	0,89	2,70
23	impostos	0,00	US\$	6,98E+01	3,30E+12	Coelho et al., 2003	0,00	23,02	23,02	69,77
24	serviços materiais	0,00	US\$	1,49E+03	3,30E+12	Coelho et al., 2003	0,00	491,93	491,93	1490,70
Total energy (Y)			seJ	3,40E+16						
Total Outputs (O)			J	3,86E+10						
Tr com serviços e mão-de-obra			J	8,82E+05						
Tr sem serviços e mão-de-obra			J	4,24E+05						

(a) As intensidades emergéticas para os materiais (M) não incluem mão-de-obra e serviços. Esses valores foram incluídos separadamente no item serviços materiais.

(b) O baseline utilizado é de 15,83E+24 seJ/ano.

(c) O item "sol" não é contabilizado para evitar dupla contagem.

Tabela 25. Tabela de avaliação emergética para cultura anual irrigada para o ano de 2002 (fluxos emergéticos em 10E+13 seJ/ha/ano).

Nota	Item	Fração renovável	Unid.	Unid./ha/ano	SeJ/unid.	Referência para SeJ/unid.	Fluxo emergético renovável	Fluxo emergético não-renovável	Fluxo emergético total	Valor monetário USD/ha/ano
renewable inputs (R)										
1	sol	1,00	J	1,44E+11	1,00E+00	Odum, 1996	0,00	0,00	0,00	0,00
2	chuva	1,00	J	7,00E+10	3,10E+04	Odum et al., 2000	217,00	0,00	217,00	657,58
3	vento	1,00	J	9,15E+09	2,45E+03	Odum et al., 2000	2,24	0,00	2,24	6,80
nonrenewable inputs (N)										
4	perda de solo	0,00	J	1,38E+10	1,24E+05	Brandt-Williams, 2002	0,00	171,54	171,54	519,82
materials (M)										
5	água para pivô	0,50	J	2,41E+10	6,89E+04	Brown e Ulgiati, 2004	83,02	83,02	166,05	503,18
6	eletricidade	0,70	J	4,32E+09	2,52E+05	Brown e Ulgiati, 2004	76,20	32,66	108,86	329,89
7	combustível fóssil	0,01	J	8,13E+09	9,21E+04	Bastianoni et al., 2005	0,75	74,14	74,89	226,94
8	aço	0,01	kg	7,56E+00	1,13E+13	Brown e Ulgiati, 2004	0,09	8,46	8,54	25,89
9	calcário dolomítico	0,01	kg	2,00E+03	1,00E+12	Brandt-Williams, 2002	2,00	198,00	200,00	606,06
10	cloreto de potássio	0,00	kg	1,00E+02	2,92E+12	Odum, 1996	0,00	29,20	29,20	88,48
11	nitrato de potássio	0,00	kg	1,00E+01	2,92E+12	Odum, 1996	0,00	2,92	2,92	8,85
12	uréia	0,00	kg	1,40E+01	6,38E+12	Cuadra e Rydberg, 2006	0,00	8,94	8,94	27,09
13	sulfato de amônio	0,00	kg	2,00E+02	3,80E+11	Cuadra e Rydberg, 2000	0,00	7,60	7,60	23,03
14	sulfato de zinco	0,00	kg	1,55E+01	7,20E+13	Cohen et al., 2007	0,00	111,70	111,70	338,48
15	ácido bórico	0,00	kg	1,50E+00	3,80E+11	Cuadra e Rydberg, 2000	0,00	0,06	0,06	0,17
16	manganês	0,00	kg	2,00E+00	3,80E+11	Cuadra e Rydberg, 2000	0,00	0,08	0,08	0,23
17	fosfato monoâmico	0,00	kg	5,00E+00	6,55E+12	Brown e Ulgiati, 2004	0,00	3,28	3,28	9,92
18	nitrogênio	0,01	kg	3,31E+02	6,38E+12	Brown e Ulgiati, 2004	2,11	209,34	211,46	640,78
19	fósforo	0,01	kg	3,50E+02	6,55E+12	Brown e Ulgiati, 2004	2,30	227,22	229,51	695,49
20	potássio	0,01	kg	2,38E+02	2,92E+12	Odum, 1996	0,69	68,69	69,38	210,24
21	controle de pragas	0,01	kg	5,84E+01	2,49E+13	Brown e Ulgiai, 2004	1,45	143,99	145,44	440,73
services (S)										
22	mão-de-obra simples	0,60	J	2,20E+09	2,80E+06	Brown, 2003	369,37	246,25	615,62	1865,53
23	assist. técnica	0,60	US\$	8,74E+00	3,30E+12	Coelho et al., 2003	1,73	1,15	2,88	8,74
24	mão-de-obra adminis.	0,60	US\$	1,70E+01	3,30E+12	Coelho et al., 2003	3,36	2,24	5,60	16,96
25	contabilidade/escritór.	0,60	US\$	3,00E+00	3,30E+12	Coelho et al., 2003	0,59	0,40	0,99	3,00
26	luz/telefone	0,00	US\$	6,02E+00	3,30E+12	Coelho et al., 2003	0,00	1,99	1,99	6,02
27	depreciação instala.	0,00	US\$	1,60E+00	3,30E+12	Coelho et al., 2003	0,00	0,53	0,53	1,60
28	impostos	0,00	US\$	3,00E+01	3,30E+12	Coelho et al., 2003	0,00	9,90	9,90	30,00
29	serviços materiais	0,00	US\$	1,75E+03	3,30E+12	Coelho et al., 2003	0,00	577,83	577,83	1750,99
Total emery (Y)			seJ	2,98E+16						
Total Outputs (O)			J	1,09E+11						
Tr com serviços e mão-de-obra			J	2,74E+05						
Tr sem serviços e mão-de-obra			J	1,62E+05						

(a) As intensidades emergéticas para os materiais (M) não incluem mão-de-obra e serviços. Esses valores foram incluídos separadamente no item serviços materiais.

(b) O baseline utilizado é de 15,83E+24 seJ/ano.

(c) O item "sol" não é contabilizado para evitar dupla contagem.

Tabela 26. Tabela de avaliação emergética para cultura anual para o ano de 2002 (fluxos emergéticos em 10E+13 seJ/ha/ano).

Nota	Item	Fração renovável	Unid.	Unid./ha/ano	SeJ/unid.	Referência para SeJ/unid.	Fluxo emergético renovável	Fluxo emergético não-renovável	Fluxo emergético total	Valor monetário USD/ha/ano
renewable inputs (R)										
1	sol	1,00	J	1,44E+11	1,00E+00	Odum, 1996	0,00	0,00	0,00	0,00
2	chuva	1,00	J	7,00E+10	3,10E+04	Odum et al., 2000	217,00	0,00	217,00	657,58
3	vento	1,00	J	9,15E+09	2,45E+03	Odum et al., 2000	2,24	0,00	2,24	6,80
nonrenewable inputs (N)										
4	perda de solo	0,00	J	1,89E+10	1,24E+05	Brandt-Williams, 2002	0,00	234,33	234,33	710,08
materials (M)										
5	combustível fóssil	0,01	J	1,64E+09	9,21E+04	Bastianoni et al., 2005	0,15	14,96	15,11	45,79
6	aço	0,01	kg	1,56E+00	1,13E+13	Brown e Ulgiati, 2004	0,02	1,75	1,77	5,35
7	calcário dolomítico	0,01	kg	7,97E+02	1,00E+12	Brandt-Williams, 2002	0,80	78,87	79,66	241,40
8	cloreto de potássio	0,00	kg	1,82E+00	2,92E+12	Odum, 1996	0,00	0,53	0,53	1,61
9	uréia	0,00	kg	6,48E-03	6,38E+12	Cuadra e Rydberg, 2006	0,00	0,00	0,00	0,01
10	sulfato de amônio	0,00	kg	5,44E-02	3,80E+11	Cuadra e Rydberg, 2000	0,00	0,00	0,00	0,01
11	sulfato de zinco	0,00	kg	3,65E-01	7,20E+13	Cohen et al., 2007	0,00	2,63	2,63	7,96
12	ácido bórico	0,00	kg	2,71E-02	3,80E+11	Cuadra e Rydberg, 2000	0,00	0,00	0,00	0,00
13	manganês	0,00	kg	2,71E-02	3,80E+11	Cuadra e Rydberg, 2000	0,00	0,00	0,00	0,00
14	nitrogênio	0,01	kg	2,63E+01	6,38E+12	Brown e Ulgiati, 2004	0,17	16,59	16,76	50,78
15	fósforo	0,01	kg	9,20E+01	6,55E+12	Brown e Ulgiati, 2004	0,60	59,67	60,27	182,64
16	potássio	0,01	kg	8,24E+01	2,92E+12	Odum, 1996	0,24	23,82	24,06	72,92
17	controle de pragas	0,01	kg	8,15E+00	2,49E+13	Brown e Ulgiati, 2004	0,20	20,10	20,30	61,52
services (S)										
18	mão-de-obra simples	0,60	J	2,02E+08	2,80E+06	Brown, 2003	34,00	22,66	56,66	171,69
19	assist. técnica	0,60	US\$	2,85E+00	3,30E+12	Coelho et al., 2003	0,57	0,38	0,94	2,85
20	mão-de-obra adminis.	0,60	US\$	9,98E+00	3,30E+12	Coelho et al., 2003	1,98	1,32	3,29	9,98
21	contabilidade/escritór.	0,60	US\$	1,70E+00	3,30E+12	Coelho et al., 2003	0,34	0,22	0,56	1,70
22	luz/telefone	0,00	US\$	3,10E+00	3,30E+12	Coelho et al., 2003	0,00	1,02	1,02	3,10
23	depreciação instala.	0,00	US\$	8,10E-01	3,30E+12	Coelho et al., 2003	0,00	0,27	0,27	0,81
24	impostos	0,00	US\$	1,82E+01	3,30E+12	Coelho et al., 2003	0,00	6,01	6,01	18,21
25	serviços materiais	0,00	US\$	8,77E+02	3,30E+12	Coelho et al., 2003	0,00	289,45	289,45	877,13
Total emery (Y)			seJ	1,03E+16						
Total Outputs (O)			J	3,65E+10						
Tr com serviços e mão-de-obra			J	2,83E+05						
Tr sem serviços e mão-de-obra			J	1,85E+05						

(a) As intensidades emergéticas para os materiais (M) não incluem mão-de-obra e serviços. Esses valores foram incluídos separadamente no item serviços materiais.

(b) O baseline utilizado é de 15,83E+24 seJ/ano.

(c) O item "sol" não é contabilizado para evitar dupla contagem.

Tabela 27. Tabela de avaliação emergética para produção frutas para o ano de 2002 (fluxos emergéticos em 10E+13 seJ/ha/ano).

Nota	Item	Fração renovável	Unid.	Unid./ha/ano	SeJ/unid.	Referência para SeJ/unid.	Fluxo emergético renovável	Fluxo emergético não-renovável	Fluxo emergético total	Valor monetário USD/ha/ano
renewable inputs (R)										
1	sol	1,00	J	1,44E+11	1,00E+00	Odum, 1996	0,00	0,00	0,00	0,00
2	chuva	1,00	J	7,00E+10	3,10E+04	Odum et al., 2000	217,00	0,00	217,00	657,58
3	vento	1,00	J	9,15E+09	2,45E+03	Odum et al., 2000	2,24	0,00	2,24	6,80
nonrenewable inputs (N)										
4	perda de solo	0,00	J	1,01E+10	1,24E+05	Brandt-Williams, 2002	0,00	125,57	125,57	380,52
materials (M)										
5	combustível fóssil	0,01	J	1,35E+10	9,21E+04	Bastianoni et al., 2005	1,25	123,40	124,64	377,71
6	açó	0,01	kg	1,14E+01	1,13E+13	Brown e Ulgiati, 2004	0,13	12,77	12,89	39,07
7	calcário dolomítico	0,01	kg	1,33E+03	1,00E+12	Brandt-Williams, 2002	1,33	131,18	132,50	401,52
8	superfosfato simples	0,00	kg	2,93E+02	3,32E+12	Brandt-Williams, 2002	0,00	97,26	97,26	294,72
9	cloreto de potássio	0,00	kg	1,64E+02	2,92E+12	Odum, 1996	0,00	48,03	48,03	145,56
10	uréia	0,00	kg	7,63E-03	6,38E+12	Cuadra e Rydberg, 2006	0,00	0,00	0,00	0,01
11	nitrato de amônia	0,00	kg	4,18E-03	6,38E+12	Bargli e Ulgiati, 2003	0,00	0,00	0,00	0,01
12	sulfato de amônio	0,00	kg	7,80E+02	3,80E+11	Cuadra e Rydberg, 2000	0,00	29,64	29,64	89,82
13	sulfato de zinco	0,00	kg	2,72E+00	7,20E+13	Cohen et al., 2007	0,00	19,60	19,60	59,38
14	ácido bórico	0,00	kg	2,25E+00	3,80E+11	Cuadra e Rydberg, 2000	0,00	0,09	0,09	0,26
15	manganês	0,00	kg	4,25E+00	3,80E+11	Cuadra e Rydberg, 2000	0,00	0,16	0,16	0,49
16	nitrogênio	0,01	kg	3,38E+00	6,38E+12	Brown e Ulgiati, 2004	0,02	2,14	2,16	6,54
17	fósforo	0,01	kg	7,64E-01	6,55E+12	Brown e Ulgiati, 2004	0,01	0,50	0,50	1,52
18	potássio	0,01	kg	2,78E+00	2,92E+12	Odum, 1996	0,01	0,80	0,81	2,46
19	esterco de curral	0,70	kg	3,42E+01	1,27E+11	Bastianoni et al., 2001	0,30	0,13	0,43	1,32
20	esterco de galinha	0,70	kg	6,44E+01	2,96E+12	Castellini et al., 2006	13,35	5,72	19,07	57,78
21	controle de pragas	0,01	kg	1,12E+02	2,49E+13	Brown e Ulgiati, 2004	2,80	277,08	279,88	848,11
services (S)										
22	mão-de-obra simples	0,60	J	4,08E+09	2,80E+06	Brown, 2003	685,59	457,06	1142,65	3462,57
23	assist. técnica	0,60	US\$	2,86E+01	3,30E+12	Coelho et al., 2003	5,66	3,77	9,43	28,59
24	mão-de-obra adminis.	0,60	US\$	1,09E+02	3,30E+12	Coelho et al., 2003	21,52	14,35	35,87	108,69
25	contabilidade/escritór.	0,60	US\$	2,79E+01	3,30E+12	Coelho et al., 2003	5,53	3,68	9,21	27,91
26	luz/telefone	0,00	US\$	5,49E+01	3,30E+12	Coelho et al., 2003	0,00	18,10	18,10	54,85
27	depreciação instala.	0,00	US\$	2,71E+00	3,30E+12	Coelho et al., 2003	0,00	0,89	0,89	2,71
28	impostos	0,00	US\$	5,85E+01	3,30E+12	Coelho et al., 2003	0,00	19,30	19,30	58,49
29	serviços materiais	0,00	US\$	1,17E+03	3,30E+12	Coelho et al., 2003	0,00	386,43	386,43	1170,99
Total emery (Y)			seJ	2,73E+16						
Total Outputs (O)			J	5,76E+10						
Tr com serviços e mão-de-obra			J	4,75E+05						
Tr sem serviços e mão-de-obra			J	1,93E+05						

(a) As intensidades emergéticas para os materiais (M) não incluem mão-de-obra e serviços. Esses valores foram incluídos separadamente no item serviços materiais.

(b) O baseline utilizado é de 15,83E+24 seJ/ano.

(c) O item "sol" não é contabilizado para evitar dupla contagem.

Tabela 28. Tabela de avaliação emergética para pasto para o ano de 2002 (fluxos emergéticos em 10E+13 seJ/ha/ano).

Nota	Item	Fração renovável	Unid.	Unid./ha/ano	SeJ/unid.	Referência para SeJ/unid.	Fluxo emergético renovável	Fluxo emergético não-renovável	Fluxo emergético total	Valor monetário USD/ha/ano
renewable inputs (R)										
1	sol	1,00	J	1,44E+11	1,00E+00	Odum, 1996	0,00	0,00	0,00	0,00
2	chuva	1,00	J	7,00E+10	3,10E+04	Odum et al., 2000	217,00	0,00	217,00	657,58
3	vento	1,00	J	9,15E+09	2,45E+03	Odum et al., 2000	2,24	0,00	2,24	6,80
nonrenewable inputs (N)										
4	perda de solo	0,00	J	8,68E+09	1,24E+05	Brandt-Williams, 2002	0,00	107,63	107,63	326,16
materials (M)										
5	combustível fóssil	0,01	J	1,86E+09	9,21E+04	Bastianoni et al., 2005	0,17	16,99	17,16	52,01
6	aço	0,01	kg	1,39E+00	1,13E+13	Brown e Ulgiati, 2004	0,02	1,56	1,57	4,77
7	calcário dolomítico	0,01	kg	6,92E+02	1,00E+12	Brandt-Williams, 2002	0,69	68,49	69,18	209,63
8	termofosfato	0,01	kg	7,57E-03	6,55E+12	Brown e Ulgiati, 2004	0,00	0,00	0,00	0,02
9	superfosfato simples	0,01	kg	2,91E+02	3,32E+12	Brandt-Williams, 2002	0,97	95,72	96,69	293,00
10	cloreto de potássio	0,00	kg	1,72E-02	2,92E+12	Odum, 1996	0,00	0,01	0,01	0,02
11	nitrogênio	0,01	kg	6,02E+01	6,38E+12	Brown e Ulgiati, 2004	0,38	38,00	38,39	116,33
12	fósforo	0,01	kg	9,67E-01	6,55E+12	Brown e Ulgiati, 2004	0,01	0,63	0,63	1,92
13	potássio	0,01	kg	3,72E+01	2,92E+12	Odum, 1996	0,11	10,76	10,87	32,93
14	esterco de galinha	0,70	kg	1,15E+00	2,96E+12	Castellini et al., 2006	0,24	0,10	0,34	1,03
15	vacinas	0,01	US\$	2,55E+01	3,30E+12	Coelho et al., 2003	0,08	8,33	8,42	25,50
16	ração	0,10	US\$	1,89E+03	3,30E+12	Coelho et al., 2003	62,37	561,33	623,70	1890,00
17	eletricidade	0,70	J	1,50E+09	2,52E+05	Brown e Ulgiati, 2004	26,46	11,34	37,80	114,55
18	controle de pragas	0,01	kg	9,73E-01	2,49E+13	Brown e Ulgiati, 2004	0,02	2,40	2,42	7,34
services (S)										
19	mão-de-obra simples	0,60	J	7,71E+07	2,80E+06	Brown, 2003	12,95	8,63	21,58	65,40
20	assist. técnica	0,60	US\$	6,00E+00	3,30E+12	Coelho et al., 2003	1,19	0,79	1,98	6,00
21	mão-de-obra adminis.	0,60	US\$	9,30E+01	3,30E+12	Coelho et al., 2003	18,41	12,28	30,69	93,00
22	contabilidade/escritór.	0,60	US\$	3,00E+01	3,30E+12	Coelho et al., 2003	5,94	3,96	9,90	30,00
23	luz/telefone	0,00	US\$	2,80E+01	3,30E+12	Coelho et al., 2003	0,00	9,24	9,24	28,00
24	depreciação instala.	0,00	US\$	2,96E+02	3,30E+12	Coelho et al., 2003	0,00	97,68	97,68	296,00
25	impostos	0,00	US\$	3,10E+01	3,30E+12	Coelho et al., 2003	0,00	10,23	10,23	31,00
26	serviços materiais	0,00	US\$	8,32E+02	3,30E+12	Coelho et al., 2003	0,00	274,63	274,63	832,22
Total emergy (Y)			seJ	1,69E+16						
Total Outputs (O)			J	5,11E+09						
Tr com serviços e mão-de-obra			J	3,31E+06						
Tr sem serviços e mão-de-obra			J	2,42E+06						

(a) As intensidades emergéticas para os materiais (M) não incluem mão-de-obra e serviços. Esses valores foram incluídos separadamente no item serviços materiais.

(b) O baseline utilizado é de 15,83E+24 seJ/ano.

(c) O item "sol" não é contabilizado para evitar dupla contagem.

Tabela 29. Tabela de avaliação emergética para plantação de eucalipto e pinus para o ano de 2002 (fluxos emergéticos em 10E+13 seJ/ha/ano).

Nota	Item	Fração renovável	Unid.	Unid./ha/ano	SeJ/unid.	Referência para SeJ/unid.	Fluxo emergético renovável	Fluxo emergético não-renovável	Fluxo emergético total	Valor monetário USD/ha/ano
renewable inputs (R)										
1	sol	1,00	J	1,44E+11	1,00E+00	Odum, 1996	0,00	0,00	0,00	0,00
2	chuva	1,00	J	7,00E+10	3,10E+04	Odum et al., 2000	217,00	0,00	217,00	657,58
3	vento	1,00	J	9,15E+09	2,45E+03	Odum et al., 2000	2,24	0,00	2,24	6,80
nonrenewable inputs (N)										
4	perda de solo	0,00	J	1,97E+10	1,24E+05	Brandt-Williams, 2002	0,00	244,08	244,08	739,64
materials (M)										
5	combustível fóssil	0,01	J	1,67E+09	9,21E+04	Bastianoni et al., 2005	0,15	15,21	15,36	46,56
6	aço	0,01	kg	1,31E+00	1,13E+13	Brown e Ulgiati, 2004	0,01	1,46	1,48	4,48
7	calcário dolomítico	0,01	kg	2,50E+02	1,00E+12	Brandt-Williams, 2002	0,25	24,75	25,00	75,76
8	nitrogênio	0,01	kg	9,60E+00	6,38E+12	Brown e Ulgiati, 2004	0,06	6,06	6,12	18,56
9	fósforo	0,01	kg	7,20E+01	6,55E+12	Brown e Ulgiati, 2004	0,47	46,69	47,16	142,91
10	potássio	0,01	kg	2,40E+01	2,92E+12	Odum, 1996	0,07	6,94	7,01	21,24
11	controle de pragas	0,01	kg	4,64E+00	2,49E+13	Brown e Ulgiati, 2004	0,12	11,44	11,55	35,01
services (S)										
12	mão-de-obra simples	0,60	J	4,32E+08	2,80E+06	Brown, 2003	72,51	48,34	120,85	366,21
13	assist. técnica	0,60	US\$	1,34E+01	3,30E+12	Coelho et al., 2003	2,65	1,77	4,42	13,40
14	mão-de-obra adminis.	0,60	US\$	5,36E+01	3,30E+12	Coelho et al., 2003	10,61	7,07	17,68	53,58
15	contabilidade/escritór.	0,60	US\$	1,34E+01	3,30E+12	Coelho et al., 2003	2,65	1,77	4,42	13,40
16	depreciação instala.	0,00	US\$	1,06E+01	3,30E+12	Coelho et al., 2003	0,00	3,49	3,49	10,58
17	impostos	0,00	US\$	1,86E+01	3,30E+12	Coelho et al., 2003	0,00	6,12	6,12	18,56
18	serviços materiais	0,00	US\$	6,18E+02	3,30E+12	Coelho et al., 2003	0,00	204,03	204,03	618,27
Total emery (Y)			seJ	9,38E+15						
Total Outputs (O)			J	4,45E+11						
Tr com serviços e mão-de-obra			J		2,11E+04					
Tr sem serviços e mão-de-obra			J		1,30E+04					

(a) As intensidades emergéticas para os materiais (M) não incluem mão-de-obra e serviços. Esses valores foram incluídos separadamente no item serviços materiais.

(b) O baseline utilizado é de 15,83E+24 seJ/ano.

(c) O item "sol" não é contabilizado para evitar dupla contagem.

Tabela 30. Tabela de avaliação emergética para plantação de seringueira para o ano de 2002 (fluxos emergéticos em 10E+13 seJ/ha/ano).

Nota	Item	Fração renovável	Unid.	Unid./ha/ano	SeJ/unid.	Referência para SeJ/unid.	Fluxo emergético renovável	Fluxo emergético não-renovável	Fluxo emergético total	Valor monetário USD/ha/ano
renewable inputs (R)										
1	sol	1,00	J	1,44E+11	1,00E+00	Odum, 1996	0,00	0,00	0,00	0,00
2	chuva	1,00	J	7,00E+10	3,10E+04	Odum et al., 2000	217,00	0,00	217,00	657,58
3	vento	1,00	J	9,15E+09	2,45E+03	Odum et al., 2000	2,24	0,00	2,24	6,80
nonrenewable inputs (N)										
4	perda de solo	0,00	J	5,99E+09	1,24E+05	Brandt-Williams, 2002	0,00	74,33	74,33	225,25
materials (M)										
5	combustível fóssil	0,01	J	5,64E+09	9,21E+04	Bastianoni et al., 2005	0,52	51,39	51,91	157,31
6	aço	0,01	kg	5,27E+00	1,13E+13	Brown e Ulgiati, 2004	0,06	5,89	5,95	18,04
7	calcário dolomítico	0,01	kg	2,50E+02	1,00E+12	Brandt-Williams, 2002	0,25	24,75	25,00	75,76
8	superfosfato simples	0,00	kg	1,05E+02	3,32E+12	Brandt-Williams, 2002	0,00	34,86	34,86	105,64
9	cloreto de potássio	0,00	kg	2,22E+01	2,92E+12	Odum, 1996	0,00	6,48	6,48	19,63
10	sulfato de amônio	0,00	kg	4,08E+01	3,80E+11	Cuadra e Rydberg, 2000	0,00	1,55	1,55	4,70
11	hormônio vegetal	0,00	kg	1,47E+00	1,00E+12	Estimado	0,00	0,15	0,15	0,45
12	controle de pragas	0,01	kg	1,37E+01	2,49E+13	Brown e Ulgiati, 2004	0,34	33,67	34,01	103,07
services (S)										
13	mão-de-obra simples	0,60	J	6,20E+09	7,56E+06	Brandt-Williams, 2002	2814,59	1876,39	4690,98	14215,09
14	assist. técnica	0,60	US\$	1,34E+01	3,30E+12	Coelho et al., 2003	2,65	1,77	4,42	13,40
15	mão-de-obra adminis.	0,60	US\$	5,36E+01	3,30E+12	Coelho et al., 2003	10,61	7,07	17,68	53,58
16	contabilidade/escritór.	0,60	US\$	1,34E+01	3,30E+12	Coelho et al., 2003	2,65	1,77	4,42	13,40
17	depreciação instala.	0,00	US\$	1,06E+01	3,30E+12	Coelho et al., 2003	0,00	3,49	3,49	10,58
18	impostos	0,00	US\$	1,86E+01	3,30E+12	Coelho et al., 2003	0,00	6,12	6,12	18,56
19	serviços materiais	0,00	US\$	6,40E+02	3,30E+12	Coelho et al., 2003	0,00	211,21	211,21	640,03
Total emergy (Y)			seJ	5,39E+16						
Total Outputs (O)			J	3,24E+10						
Tr com serviços e mão-de-obra			J	1,66E+06						
Tr sem serviços e mão-de-obra			J	1,40E+05						

(a) As intensidades emergéticas para os materiais (M) não incluem mão-de-obra e serviços. Esses valores foram incluídos separadamente no item serviços materiais.

(b) O baseline utilizado é de 15,83E+24 seJ/ano.

(c) O item "sol" não é contabilizado para evitar dupla contagem.

Tabela 31. Tabela de avaliação emergética para áreas de floresta e/ou vegetação ripária para o ano de 2002 (fluxos emergéticos em 10E+13 seJ/ha/ano).

Nota	Item	Fração renovável	Unid.	Unid./ha/ano	SeJ/unid.	Referência para SeJ/unid.	Fluxo emergético renovável	Fluxo emergético não-renovável	Fluxo emergético total	Valor monetário USD/ha/ano
renewable inputs (R)										
1	sol	1,00	J	1,44E+11	1,00E+00	Odum, 1996	0,00	0,00	0,00	0,00
2	chuva	1,00	J	7,00E+10	3,10E+04	Odum et al., 2000	217,00	0,00	217,00	657,58
3	vento	1,00	J	9,15E+09	2,45E+03	Odum et al., 2000	2,24	0,00	2,24	6,80
nonrenewable inputs (N)										
4	perda de solo	0,00	J	3,14E+09	1,24E+05	Brandt-Williams, 2002	0,00	38,90	38,90	117,89
materials (M)										
Total emergy (Y)			seJ	2,58E+15						
Total Outputs (O)			J	2,52E+11						
Tr sem serviços e mão-de-obra			J	1,02E+04						

(a) O baseline utilizado é de 15,83E+24 seJ/ano.

(b) O item "sol" não é contabilizado para evitar dupla contagem.

Tabela 32. Tabela de avaliação emergética para áreas de cerrado para o ano de 2002 (fluxos emergéticos em 10E+13 seJ/ha/ano).

Nota	Item	Fração renovável	Unid.	Unid./ha/ano	SeJ/unid.	Referência para SeJ/unid.	Fluxo emergético renovável	Fluxo emergético não-renovável	Fluxo emergético total	Valor monetário USD/ha/ano
renewable inputs (R)										
1	sol	1,00	J	1,44E+11	1,00E+00	Odum, 1996	0,00	0,00	0,00	0,00
2	chuva	1,00	J	7,00E+10	3,10E+04	Odum et al., 2000	217,00	0,00	217,00	657,58
3	vento	1,00	J	9,15E+09	2,45E+03	Odum et al., 2000	2,24	0,00	2,24	6,80
nonrenewable inputs (N)										
4	perda de solo	0,00	J	1,00E+09	1,24E+05	Brandt-Williams, 2002	0,00	12,45	12,45	37,71
materials (M)										
Total emergy (Y)			seJ	2,32E+15						
Total Outputs (O)			J	2,52E+11						
Tr sem serviços e mão-de-obra			J	9,19E+03						

(a) O baseline utilizado é de 15,83E+24 seJ/ano.

(b) O item "sol" não é contabilizado para evitar dupla contagem.

Através dos fluxos emergéticos de cada uso da terra, os indicadores emergéticos de referência puderam ser calculados (Tabela 33). A energia produzida e dinheiro recebido pelas vendas podem ser vistos na Tabela 34, enquanto os índices emergéticos estão na Tabela 35.

Tabela 33. Indicadores emergéticos de referência dos sistemas agropecuários na bacia.

Uso da terra	Fluxos emergéticos em $10^{13}$ seJ.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
	Y	I	R	N	F
Cana	1347,87	352,68	219,26	133,42	995,19
Cana+amendoim	1290,79	297,74	219,26	78,48	993,06
Cana+soja	1251,28	303,35	219,26	84,09	947,93
Cana+amendoim+soja	1290,29	320,16	219,26	100,91	970,12
Café grupo 1	3192,35	491,70	219,26	272,45	2700,65
Café grupo 2	2956,11	344,49	219,26	125,24	2611,62
Café grupo 3	3266,35	310,41	219,26	91,15	2955,94
Café grupo 4	3401,68	283,72	219,26	64,47	3117,95
Cultura anual irrigada	2984,04	390,80	219,26	171,54	2593,24
Cultura anual	1032,89	453,58	219,26	234,33	579,31
Fruticultura	2734,38	344,83	219,26	125,57	2389,55
Pastagem	1690,01	326,89	219,26	107,63	1363,12
Eucalipto e pinus	938,04	463,34	219,26	244,08	474,71
Seringueira	5391,83	293,59	219,26	74,33	5098,24
Floresta e veg. ripária	258,16	258,16	219,26	38,90	0,00
Cerrado	231,70	231,70	219,26	12,45	0,00

Tabela 33. Indicadores emergéticos de referência dos sistemas agropecuários na bacia. Continuação.

Uso da terra	Fluxos emergéticos em $10^{13}$ seJ.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>					
	M	Mr	Mn	S	Sr	Sn
Cana	316,96	3,17	313,79	678,24	274,56	403,68
Cana+amendoim	331,53	3,32	328,22	661,52	265,51	396,02
Cana+soja	307,74	3,08	304,66	640,20	255,47	384,73
Cana+amendoim+soja	316,82	3,17	313,65	653,31	261,53	391,78
Café grupo 1	874,77	7,47	867,30	1825,88	829,12	996,76
Café grupo 2	961,48	8,02	953,46	1650,14	675,05	975,09
Café grupo 3	944,61	6,36	938,25	2011,33	871,42	1139,92
Café grupo 4	1352,29	9,22	1343,06	1765,67	744,37	1021,30
Cultura anual irrigada	1377,90	168,62	1209,28	1215,34	375,06	840,28
Cultura anual	221,10	2,18	218,92	358,21	36,87	321,33
Fruticultura	767,67	19,18	748,49	1621,88	718,30	903,59
Pastagem	907,18	91,52	815,66	455,93	38,49	417,44
Eucalipto e pinus	113,69	1,14	112,55	361,02	88,42	272,59
Seringueira	159,91	1,17	158,74	4938,33	2830,50	2107,83
Floresta e veg. ripária	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cerrado	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela 34. Energia produzida e valor monetário dos produtos.

Uso da terra	Energia produzida	Vendas	Serviços Ambientais <sup>A</sup>
	10 <sup>10</sup> J.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	USD.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	USD.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>
Cana	20,44	1074,38	92
Cana+amendoim	26,31	1075,35	92
Cana+soja	19,09	1023,89	92
Cana+amendoim+soja	19,62	1057,66	92
Café grupo 1	3,02	3540,56	92
Café grupo 2	3,86	4522,79	92
Café grupo 3	4,21	4933,95	92
Café grupo 4	3,86	4522,79	92
Cultura anual irrigada	10,90	5563,95	92
Cultura anual	3,65	2068,52	92
Fruticultura	5,76	3243,96	92
Pastagem	0,51	1888,89	92
Eucalipto e Pinus	44,50	1064,15	302
Seringueira	3,24	1120,13	302
Floresta e Veg. Ripária	25,20	0,00	24.252
Cerrado	25,20	0,00	534

<sup>A</sup> Costanza et al., 1997.

Tabela 35. Índices emergéticos dos sistemas agropecuários e florestais na bacia.

Uso da terra	Tr	%R	EYR	EIR	ELR	ESI	EER <sup>A</sup>	EER <sup>B</sup>
	10 <sup>4</sup> seJ/J	%						
Cana	6,60	36	1,35	2,82	1,71	0,79	3,80	3,50
Cana+amendoim	4,91	37	1,30	3,34	1,64	0,79	3,64	3,35
Cana+soja	6,55	38	1,32	3,12	1,62	0,82	3,70	3,40
Cana+amendoim+soja	6,58	37	1,33	3,03	1,67	0,80	3,70	3,40
Café grupo 1	106,00	33	1,18	5,49	2,02	0,58	2,73	2,66
Café grupo 2	76,60	30	1,13	7,58	2,28	0,50	1,98	1,94
Café grupo 3	77,60	33	1,11	9,52	1,98	0,56	2,01	1,97
Café grupo 4	88,20	28	1,09	10,99	2,50	0,44	2,28	2,23
Cultura anual irrigada	27,40	25	1,15	6,64	2,91	0,40	1,63	1,60
Cultura anual	28,30	25	1,78	1,28	3,00	0,59	1,51	1,45
Fruticultura	47,50	34	1,14	6,93	1,86	0,62	2,55	2,48
Pastagem	331,00	20	1,24	4,17	3,84	0,32	3,15	2,76
Eucalipto e Pinus	2,11	32	1,98	1,02	2,04	0,97	2,67	2,46
Seringueira	166,00	56	1,06	17,37	0,77	1,38	14,59	13,48
Floresta e Veg. Rip. <sup>C</sup>	1,02	84	-	0,00	0,18	-	-	0,03
Cerrado <sup>C</sup>	0,92	94	-	0,00	0,06	-	-	1,31

<sup>A</sup> Sem contabilizar Serviços Ambientais.

<sup>B</sup> Contabilizando os Serviços Ambientais.

<sup>C</sup> As áreas de floresta e vegetação ripária assim como as de cerrado, não possuem os índices EYR e ESI, pois não há entrada de recursos provindos da economia para esses sistemas. Como essa fonte tende a zero, os dois índices tendem ao infinito positivo, indicando excelente desempenho.

Nos itens a seguir cada índice emergético é discutido, mostrando seu desempenho para os sistemas analisados através de comparações entre eles e entre valores obtidos de literatura.

## Transformidade

Pode ser observado na Tabela 35 uma escala de eficiência para o uso da terra, de menor eficiência (maior transformidade) para maior eficiência (menor transformidade). Considerando as áreas Naturais (10.000 seJ/J) como referencial para ótima conversão de energia, temos a seguinte relação: Silvicultura é duas vezes menos eficiente (23.000 seJ/J); Cana-de-açúcar é 6 vezes menos eficiente (60.000 seJ/J); enquanto as outras culturas são de 27 a 330 vezes menos eficiente (de 273.000 a 3.300.000 seJ/J). Esses valores estão dentro da faixa de transformidade típica fornecido por Odum (1987; Tabela 6). A Cana-de-açúcar não mostrou grande diferença entre os manejos considerados, talvez porque a área designada ao amendoim e a soja sejam mínimas (de 0,5 a 10%). Para as áreas de Pastagem a eficiência obtida foi a pior (3.300.000 seJ/J), indicando que para produzir uma unidade de energia na forma de carne e/ou leite, são necessários aproximadamente 3,3 milhões de unidades de energia.

A Figura 29 mostra a distribuição espacial da Transformidade na bacia hidrográfica. Percebe-se que as áreas a montante e a jusante da bacia possuem pior desempenho comparado à região central.

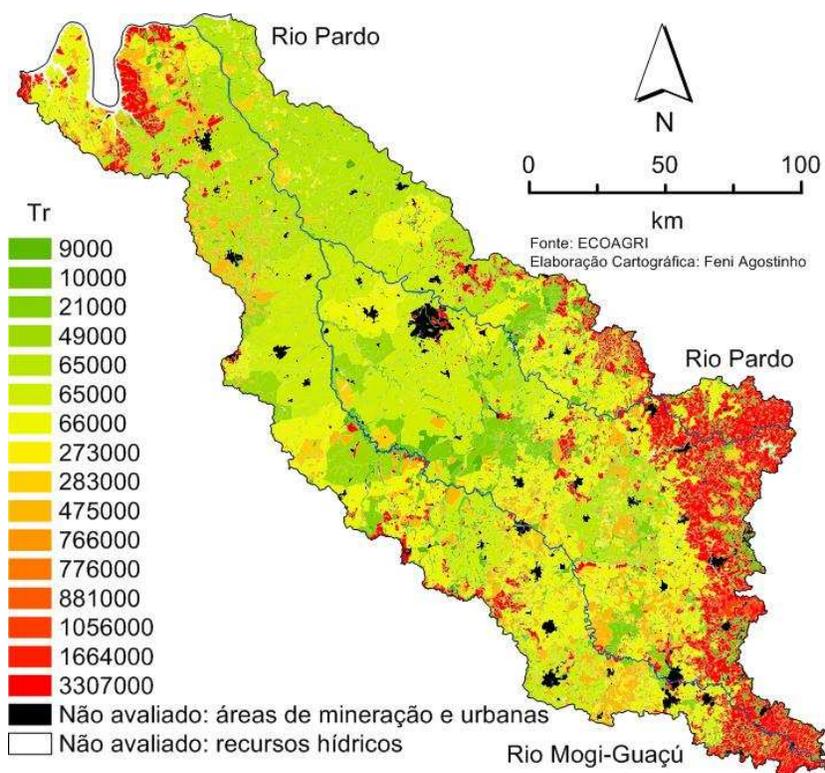


Figura 29. Distribuição espacial do índice Transformidade (em seJ.J<sup>-1</sup>) na bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçu e Pardo.

## Renovabilidade

A Tabela 35 indica uma seqüência da razão de renovabilidade para os sistemas estudados, onde temos as áreas naturais e a de seringueira com excelentes valores (Cerrado com 94%, Floresta com 84% e Seringueira com 56%). Todos os outros sistemas possuem renovabilidade parecida aos valores encontrados em literatura para produção agropecuária de maneira convencional no Brasil, variando de 20% a 30% (24%, CAVALETT; QUEIROZ; ORTEGA, 2006; 30%, AGOSTINHO et al., 2008; 25%, ORTEGA et al., 2005).

A Figura 30 mostra a distribuição espacial desse índice na bacia. Percebe-se que as regiões localizadas a montante e a jusante possuem, ao mesmo tempo, áreas com melhor e o pior desempenho. Isso se justifica porque nessas áreas existem vegetação natural e seringueira com índice de renovabilidade de 90% e 56% respectivamente, além de pastagens, fruticultura, cultura anual e café com renovabilidade variando de 20% a 34%. A região central, que não obteve bom desempenho, é caracterizada pela monocultura de cana-de-açúcar e possui baixa renovabilidade (37%).

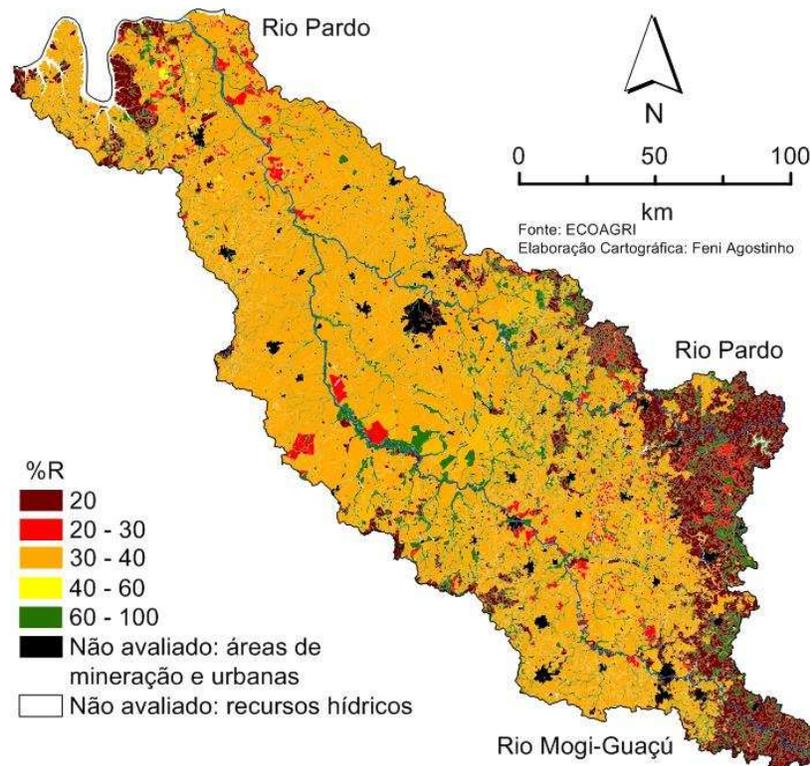


Figura 30. Distribuição espacial do índice Renovabilidade (em %) na bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçu e Pardo.

A carência de combustíveis fósseis será um grande problema a ser enfrentado nas próximas décadas, pois esse recurso não-renovável é a base da maioria dos sistemas de produção agropecuária atuais. Dessa forma, sistemas com baixo índice de renovabilidade enfrentarão sérios problemas futuros. A diversificação na produção, a reciclagem interna de nutrientes, a cobertura vegetal favorecendo a produção de água, a conservação do solo e o controle biológico de pragas, leva a uma diminuição de recursos obtidos da economia, contribuindo fortemente para o aumento da renovabilidade do sistema (AGOSTINHO et al., 2008).

### **Razão de rendimento emergético (EYR)**

A Tabela 35 mostra as áreas naturais como os sistemas de melhor desempenho, enquanto que a maioria das outras áreas possui baixo desempenho (variaram de 1,06 a 1,35). Cultura anual e Silvicultura mostram um bom desempenho (1,78 e 1,98), mostrando um equilíbrio no uso de energia da economia e da natureza. Considerando o aumento do mercado global de etanol, a cana-de-açúcar merece atenção especial porque ocupa aproximadamente 51% da área total da bacia e utiliza grande quantidade (75%) de recursos da economia, o que resultou em um EYR de 1,33. Sistemas de produção agrícola intensivos possuem valores de EYR menores do que 2 (ORTEGA; ANAMI; DINIZ, 2002; PANZIERI; MARCHETTINI; HALLAM, 2000; ODUM, 1996; ULGIATI; ODUM; BASTIANONI, 1994; CAVALETTI; QUEIROZ; ORTEGA, 2006), indicando que os sistemas estudados possuem características do modelo convencional de produção agrícola. Esses modelos são monoculturas que dependem do uso excessivo de materiais derivados do petróleo. Um aumento do EYR é importante porque o uso de recursos renováveis será vantajoso num futuro com menos petróleo disponível. Isso é possível porque sistemas ecológicos de produção agrícola possuem valores de 3,21 a 3,69 (ORTEGA et al., 2005; FRANCESCOTTO et al., 2008).

A Figura 31 mostra a distribuição espacial do EYR na bacia. Percebe-se melhor desempenho na região central, além de outras pequenas áreas dispersas e localizadas a montante e a jusante da bacia.

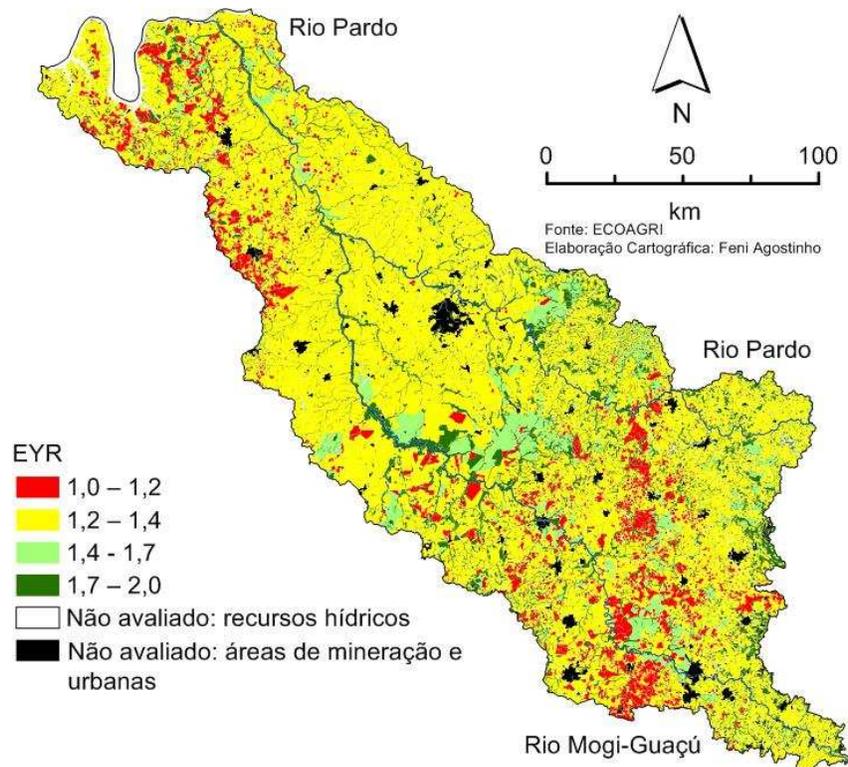


Figura 31. Distribuição espacial do índice Razão de Rendimento Emergético na bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçu e Pardo.

### Razão de investimento emergético (EIR)

O EIR obtido pelo uso agropecuário na bacia indica que apenas a Silvicultura e a Cultura anual possuem EIR menores que 2 (1,02 e 1,28 respectivamente), reforçando os resultados obtidos pelo índice EYR. Os outros sistemas variaram de 2,82 até 17,37. Odum (1996, p.70) obteve a mesma faixa de variação para diversos produtos em diferentes partes do mundo. Esses números indicam baixo desempenho pois são necessários de 2,82 a 17,37 unidades de economia para cada unidade de energia provinda da natureza. Como referência, os sistemas naturais possuem um EIR igual a zero. Assim, é urgente a adoção de métodos ecológicos para aumentar a habilidade desses sistemas de produção agropecuária em utilizar recursos renováveis com baixo investimento externo, objetivando alcançar os valores de EIR para agricultura ecológica Brasileira que varia de 0,37 a 0,45 (ORTEGA et al., 2005; FRANCESCATTO et al., 2008).

A Figura 32, com o EIR espacializado na bacia, mostra que a região central obteve melhor desempenho comparado às regiões de montante e jusante. Isso se explica pelo fato de que a região central é basicamente ocupada pela cultura da cana-de-açúcar, que obteve melhor desempenho para o EIR comparado aos outros usos da terra.

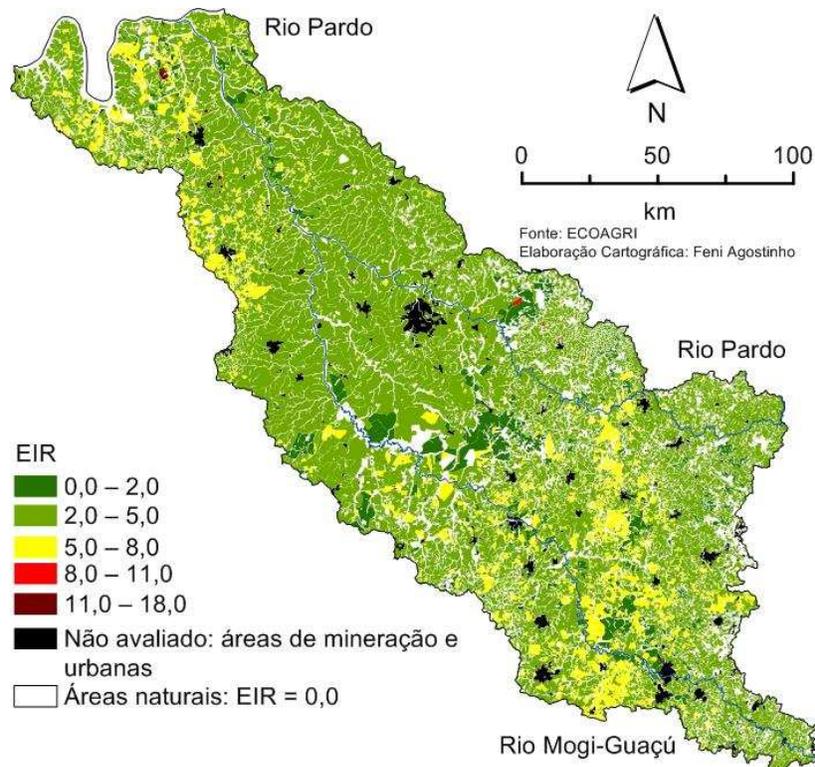


Figura 32. Distribuição espacial do índice Razão de Investimento Emergético na bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçu e Pardo.

### Razão de carga ambiental (ELR)

A Tabela 35 indica que as áreas naturais e de seringueira causam menor pressão sobre o meio ambiente comparado com os outros usos da terra, pois possuem ELR variando de 0,06 a 0,77. Isso significa que para cada unidade de energia renovável utilizada pelo sistema, são necessários de 0,06 a 0,77 unidades de energia não-renovável. Os outros sistemas causam moderada pressão sobre o meio ambiente, variando de 1,62 a 3,84. Esses valores são parecidos com os reportados pela literatura para produção agropecuária convencional (de 1,2 a 5,6: BASTIANONI et al., 2001; LEFROY; RYDBERG, 2003; ORTEGA, ANAMI; DINIZ, 2002; PANZIERI; MARCHETTINI; HALLAM, 2000; CAVALETT; QUEIROZ; ORTEGA, 2006; ULGIATI; ODUM; BASTIANONI, 1994).

Cabe reforçar que o ELR não é um indicador da “poluição” sobre o meio ambiente, mas sim sobre a “pressão” que o mesmo está sofrendo por fornecer grandes quantidades de recursos não-renováveis para a sociedade.

A Figura 33 mostra que bacia possui um impacto moderado com a maioria dos valores entre 1 a 2, onde, novamente, identifica-se que as áreas a montante e a jusante possuem o pior desempenho.

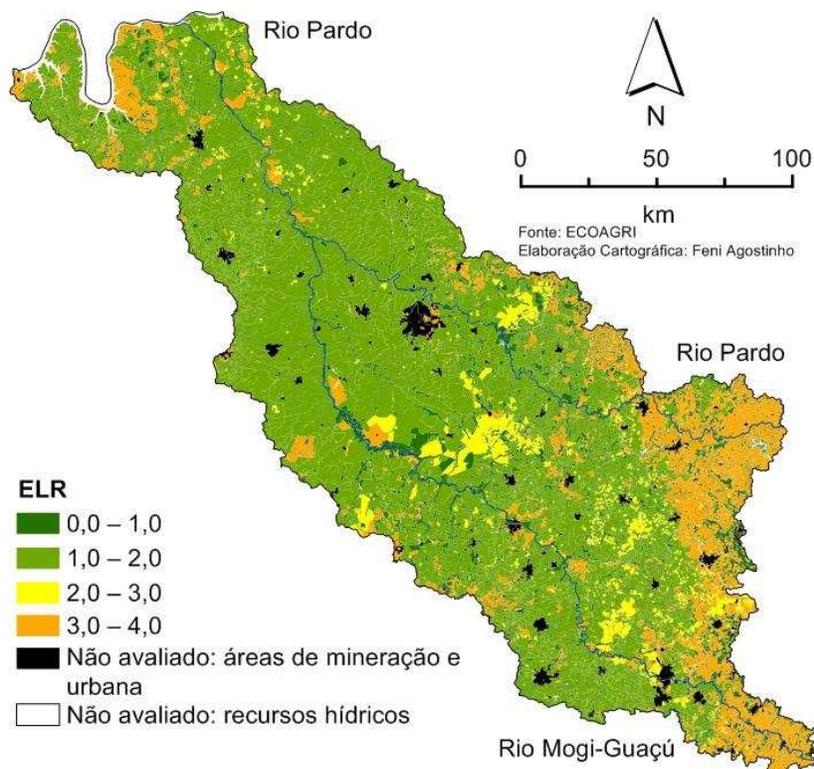


Figura 33. Distribuição espacial do índice Razão de Carga Ambiental na bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçu e Pardo.

### Índice de sustentabilidade emergético (ESI)

A Tabela 35 mostra que as áreas naturais e com seringueira são os únicos sistemas que possuem ESI maior que 1 (indicando boa relação benefício/custo), enquanto as outras variam de 0,32 a 0,97. Esses últimos valores estão dentro da faixa daqueles encontrados pela produção agropecuária convencional Brasileira (de 0,33 a 1,17). Para a agricultura ecológica, os valores de ESI encontram-se na faixa de 4,04 a 9,97 (ORTEGA et al., 2005; FRANCESCATTO et al., 2008), indicando que os sistemas convencionais poderiam ser melhorados até atingirem esses níveis.

As recomendações para adoção de mais sistemas de agricultura sustentáveis, sugeridas pela Agenda 21, a níveis globais e nacionais, poderiam servir de guia para serem feitos ajustes progressivos nas propriedades que produzem de maneira convencional, reduzindo os impactos ambientais e sociais (AGOSTINHO et al., 2008).

A Figura 34 mostra o Índice de Sustentabilidade Emergético distribuído espacialmente na bacia hidrográfica. As áreas com baixo desempenho estão localizadas a sudeste (montante) e a noroeste (jusante) da bacia. As áreas à montante englobam a produção de café e pastagem em áreas com elevada declividade (ESI de 0,32 a 0,58). As áreas à jusante são ocupadas com café (grupo 4), pastagem, fruticultura e cultura anual (ESI de 0,32 a 0,62). A área central da bacia, com menor declividade, é ocupada com cana-de-açúcar e mostrou melhor desempenho (ESI de 0,79 a 0,82).

Grande parte da bacia possui desempenho para o ESI de aproximadamente 0,79, pois a cana-de-açúcar, que está nessa faixa de valores, ocupa aproximadamente 51% da área. Se forem feitos ajustes progressivos com o objetivo de melhorar o desempenho emergético para essa cultura, os indicadores emergéticos para a bacia total teria uma melhora significativa.

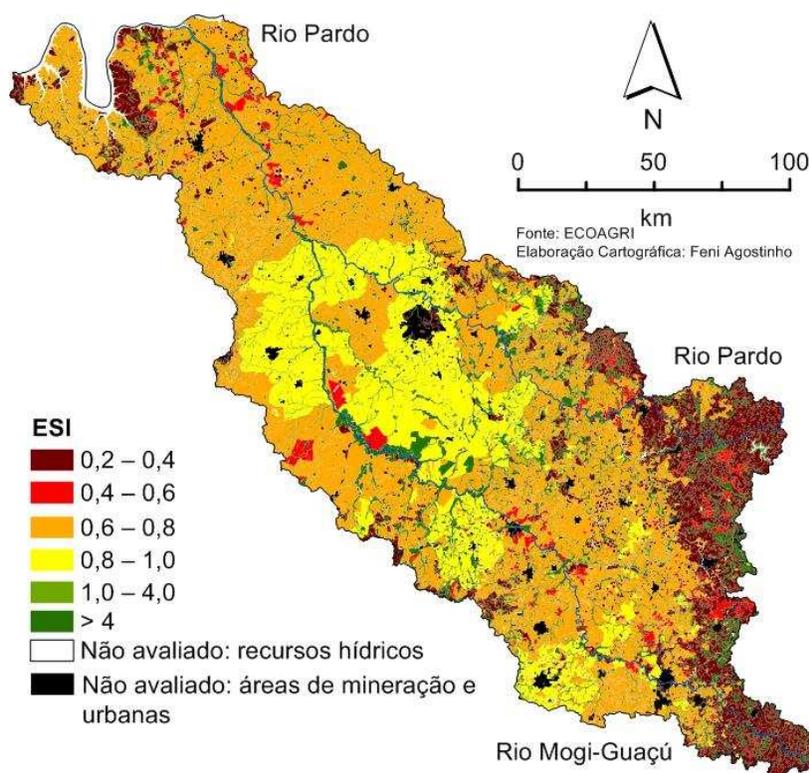


Figura 34. Distribuição espacial do Índice de Sustentabilidade Emergética na bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçú e Pardo.

### Razão de intercâmbio emergético (EER)

A Tabela 35 mostra que todos os sistemas agropecuários possuem EER maior que 1, indicando que todos eles fornecem mais energia agregada aos produtos do que

recebem na venda dos mesmos. Mesmo contabilizando os serviços ambientais (92 USD/ha/ano), que representa um valor potencial ou virtual porque ele não é pago, o resultado final do EER não é considerado bom. As áreas com seringueira tiveram o pior desempenho quando comparados com outros sistemas, fornecendo 14,59 vezes mais unidades de energia agregada ao produto do que recebe na forma de dinheiro na venda do mesmo. Os outros sistemas possuem valores variando de 1,51 a 3,80. O EER poderia ser utilizado para estimar o “preço de equilíbrio” do produto agrícola, como já fora discutido por Cuadra e Rydberg (2000, 2006). Assim, o preço de mercado atual do produto deveria ser multiplicado pelo seu respectivo EER para obter em sua venda, toda a energia utilizada para produzi-lo. Por exemplo, o preço da borracha deveria ser 13,48 vezes mais caro que seu preço de mercado atual, enquanto a cana-de-açúcar deveria ser 3,50 vezes maior que seu preço atual (contabilizando os serviços ambientais - Tabela 35).

A Figura 35 mostra que a região central obteve o pior desempenho comparado às áreas localizadas à montante e jusante. Mesmo assim, poucas áreas possuem valores considerados bons, ou seja, menores ou iguais a um.

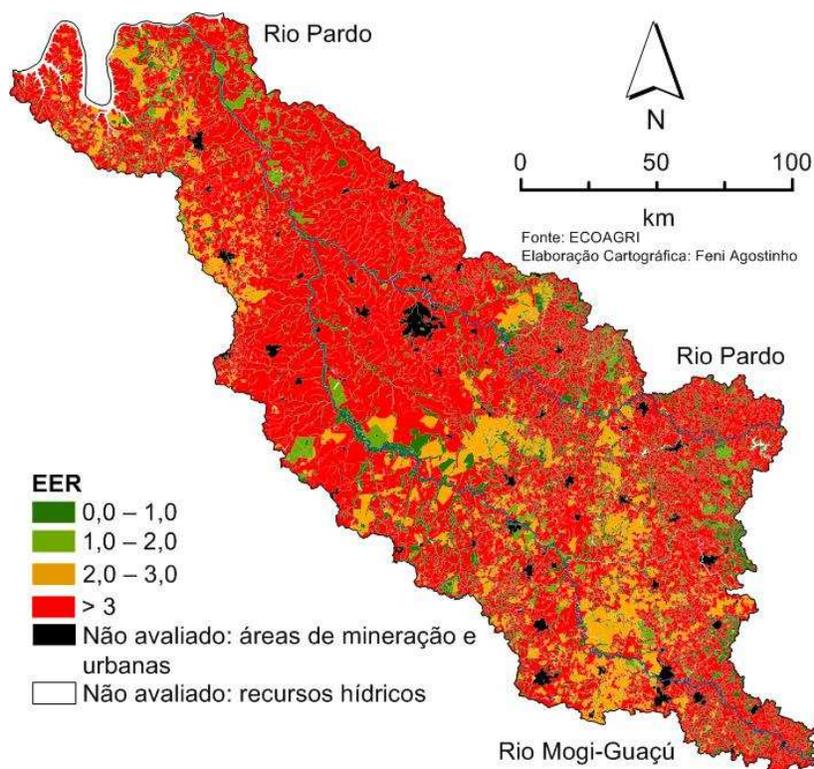


Figura 35. Distribuição espacial da Razão de Intercâmbio Emergético na bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçú e Pardo.

## Diagrama Ternário Emergético

Para melhorar o entendimento do desempenho ambiental obtido pelos índices emergéticos, nesse trabalho foi utilizado um diagrama ternário (Figura 36) como proposto por Giannetti, Barrella e Almeida (2006).

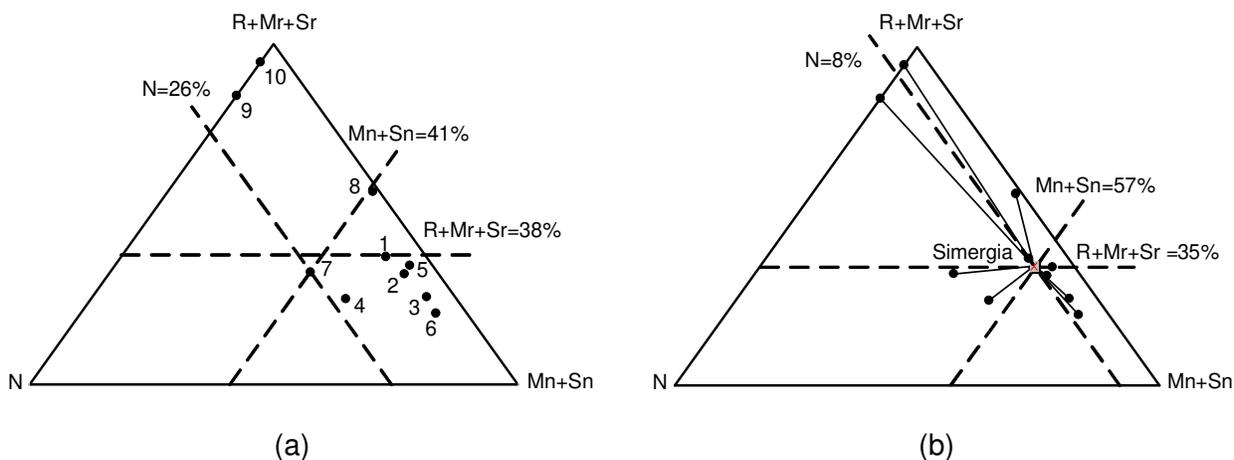


Figura 36. Representação do desempenho emergético dos sistemas estudados em um diagrama ternário. Legenda: (1) cana; (2) café; (3) cultura anual irrigada; (4) cultura anual; (5) fruticultura; (6) pastagem; (7) silvicultura; (8) seringueira; (9) floresta e vegetação ripária; (10) cerrado; (R+Mr+Sr) recursos renováveis da natureza e da economia; (N) recursos não-renováveis da natureza; (Mn+Sn) recursos não renováveis da economia; (ESI) índice de sustentabilidade emergética.

A Figura 36a mostra que a maioria dos sistemas estudados (pontos 1 a 7) estão localizados próximo ao vértice dos Materiais e Serviços não renováveis (região do vértice direito inferior), indicando que utilizam grande quantidade de energia provinda dessas fontes, resultando em baixa sustentabilidade. As linhas tracejadas mostram a quantidade de energia utilizada por eles: máximo de 38% de recursos renováveis, máximo de 26% de energia não-renovável da natureza e um mínimo de 41% de energia não-renovável da economia. Essas são características de sistemas agropecuários que produzem de maneira convencional, ou seja, utilizam grande quantidade de materiais e serviços, e baixa de recursos renováveis provindos da natureza.

As áreas de seringueira (ponto 8) possuem moderado desempenho. Utilizam pouca quantidade de recursos da economia e possuem moderado índice de sustentabilidade emergético (1,38). As áreas de vegetação natural (pontos 9 e 10) tiveram o melhor desempenho quando comparados aos outros sistemas. Nessas áreas não há nenhuma contribuição da economia, resultando em uma excelente sustentabilidade emergética.

A Figura 36b mostra a “simergia” entre todos os usos da terra. Essa simergia representa o desempenho obtido para a bacia como um todo e foi calculada

considerando a ponderação das áreas dos usos da terra. Percebe-se que o desempenho da bacia hidrográfica também está próximo ao vértice dos Materiais e Serviços não-renováveis, utilizando 57% da energia total oriunda dessa fonte, enquanto que utiliza 8% deriva de recursos não-renováveis da natureza e somente 35% de renováveis.

### Índices emergéticos dos municípios inseridos na bacia hidrográfica

A Tabela 36 mostra os índices para todos os municípios na bacia. A Figura 37 mostra que os municípios localizados na parte central da bacia receberam os melhores valores para o índice de Renovabilidade, destacando-se Serra Azul (41%) com o melhor desempenho. Isso se deve a grande quantidade de áreas ocupadas com vegetação natural, seringueira, eucalipto e pinus e cana-de-açúcar.

Os piores valores de renovabilidade foram encontrados à montante da bacia, que se caracteriza pela produção de café, cultura anual e principalmente pastagem. Os cinco municípios que tiveram baixo desempenho foram Lindóia (23%), Águas de Lindóia (24%), Caconde (24%), Socorro (24%) e Divinolândia (24%).

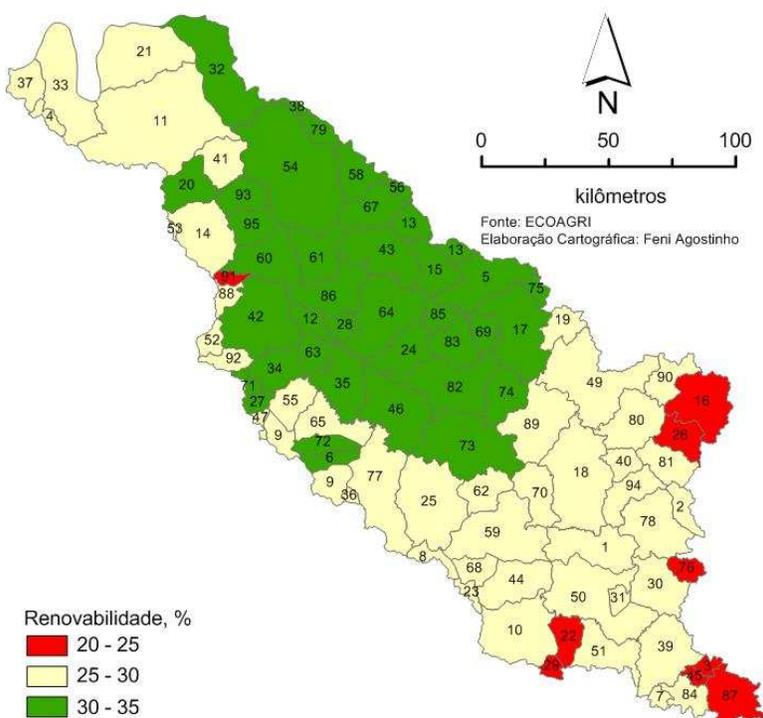


Figura 37. Índice de Renovabilidade para os municípios inseridos na bacia dos rios Mogi-Guaçu e Pardo. Os números correspondem aos municípios da Tabela 8.

Cabe ressaltar que, mesmo existindo uma hierarquia de desempenho para o índice de renovabilidade emergética, todos os municípios possuem valores próximos e baixos (variando de 23% a 41%), indicando baixa sustentabilidade. Além disso, é importante lembrar que foram estudados apenas os sistemas agropecuários e florestais presentes nos municípios, ignorando as áreas urbanizadas que, na maioria dos casos, possuem baixo desempenho emergético.

Tabela 36. Índices emergéticos para os municípios inseridos na bacia dos rios Mogi-Guaçu e Pardo.

Municípios	Tr (seJ.J <sup>-1</sup> )	%R (%)	EYR	EIR	ELR	ESI	EER <sup>A</sup>
Aguai	94556	35,2	1,75	1,33	1,84	0,95	2,87
Águas da Prata	66654	30,3	1,65	1,54	2,30	0,72	2,95
Águas de Lindóia	197881	23,8	1,44	2,27	3,21	0,45	2,85
Altair	88466	36,4	1,79	1,27	1,75	1,02	3,18
Altinópolis	38589	36,8	2,01	0,99	1,72	1,17	3,22
Américo Brasiliense	59261	38,1	1,92	1,09	1,63	1,18	3,84
Amparo	92415	30,5	1,65	1,54	2,28	0,73	3,07
Analândia	99840	31,3	1,66	1,52	2,20	0,75	2,81
Araraquara	53424	35,2	1,93	1,08	1,84	1,05	3,00
Araras	86803	37,3	1,78	1,28	1,68	1,06	3,16
Barretos	96811	35,4	1,72	1,39	1,83	0,94	3,08
Barrinha	57002	38,7	1,88	1,14	1,58	1,19	3,71
Batatais	61019	36,9	1,79	1,26	1,71	1,05	3,59
Bebedouro	113304	36,9	1,74	1,35	1,71	1,02	2,96
Brodowski	75377	34,0	1,70	1,43	1,94	0,87	3,36
Caconde	204820	23,8	1,45	2,24	3,20	0,45	2,81
Cajuru	52514	37,1	1,89	1,12	1,69	1,12	3,66
Casa Branca	86252	35,4	1,73	1,37	1,82	0,95	2,64
Cássia dos Coqueiros	122523	27,0	1,59	1,68	2,70	0,59	2,57
Colina	97143	38,7	1,81	1,24	1,59	1,14	3,36
Colômbia	126162	34,1	1,71	1,41	1,93	0,88	2,95
Conchal	73419	35,0	1,81	1,24	1,86	0,97	2,72
Corumbataí	87589	37,2	1,82	1,22	1,69	1,08	3,03
Cravinhos	58716	38,0	1,86	1,17	1,63	1,14	3,65
Descalvado	66767	38,1	1,85	1,18	1,63	1,13	3,22
Divinolândia	184090	24,4	1,51	1,95	3,10	0,49	2,50
Dobrada	62397	37,4	1,90	1,11	1,68	1,13	3,84
Dumont	46470	38,5	1,81	1,24	1,60	1,13	3,69
Engenheiro Coelho	172702	35,7	1,71	1,41	1,80	0,95	2,77
Espírito Sto. do Pinhal	100421	30,2	1,63	1,58	2,32	0,70	3,00
Estiva Gerbi	99949	32,5	1,69	1,45	2,08	0,81	2,91
Guaíra	69563	35,9	1,79	1,26	1,78	1,01	2,75
Guaraci	87451	35,8	1,78	1,29	1,79	0,99	3,22
Guariba	60817	38,2	1,86	1,17	1,62	1,15	3,75
Guatapara	51304	37,1	1,95	1,05	1,70	1,15	3,09
Ibaté	78908	32,5	1,70	1,42	2,08	0,82	3,40
Icem	84410	32,5	1,69	1,44	2,07	0,82	3,34
Ipuá	63208	37,5	1,84	1,19	1,67	1,10	3,29
Itapira	97001	29,8	1,61	1,64	2,35	0,68	3,14
Itobi	107013	28,8	1,58	1,73	2,47	0,64	2,84
Jaborandi	73224	36,3	1,83	1,21	1,75	1,04	3,31
Jaboticabal	60723	38,2	1,86	1,17	1,62	1,15	3,72
Jardinópolis	56324	38,5	1,87	1,15	1,59	1,17	3,78
Leme	78899	36,5	1,83	1,21	1,74	1,05	3,21
Lindóia	280247	22,8	1,42	2,39	3,38	0,42	2,81
Luis Antônio	45190	39,4	1,97	1,04	1,54	1,28	3,48
Matão	72910	36,9	1,86	1,16	1,71	1,09	3,37
Mococa	101862	30,9	1,65	1,54	2,23	0,74	2,96

Tabela 36. Índices emergéticos para os municípios inseridos na bacia dos rios Mogi-Guaçu e Pardo (Continuação).

Municípios	Tr (seJ.J <sup>1</sup> )	%R (%)	EYR	EIR	ELR	ESI	EER
Mogi-Guaçu	77923	33,7	1,76	1,32	1,96	0,90	2,76
Mogi-Mirim	81131	36,0	1,81	1,23	1,78	1,02	3,04
Monte Alto	77012	35,3	1,79	1,26	1,83	0,98	3,36
Monte Azul Paulista	294294	37,4	1,73	1,37	1,67	1,03	2,88
Morro Agudo	62050	38,1	1,83	1,20	1,62	1,13	3,34
Motuca	69378	36,7	1,89	1,12	1,72	1,10	3,21
Nuporanga	63545	37,7	1,80	1,25	1,66	1,09	3,22
Olímpia <sup>B</sup>	-	-	-	-	-	-	-
Orlândia	57987	39,3	1,86	1,16	1,54	1,20	3,79
Pirassununga	79046	35,9	1,81	1,23	1,79	1,02	3,09
Pitangueiras	61586	38,2	1,85	1,17	1,62	1,15	3,62
Pontal	57237	38,8	1,88	1,14	1,58	1,19	3,80
Porto Ferreira	100122	34,6	1,79	1,26	1,89	0,95	2,65
Pradópolis	50991	37,0	1,84	1,19	1,70	1,08	3,08
Ribeirão Preto	59831	37,8	1,84	1,19	1,65	1,12	3,67
Rincão	57247	37,4	1,77	1,30	1,67	1,06	3,34
Rio Claro <sup>B</sup>	-	-	-	-	-	-	-
Sales Oliveira	57042	38,0	1,92	1,09	1,63	1,18	3,86
St. Cruz da Conceição	100507	33,6	1,71	1,41	1,98	0,86	3,04
St. Cruz da Esperança	49167	38,8	1,94	1,07	1,58	1,23	3,90
St. Cruz das Palmeir.	72353	37,4	1,78	1,28	1,67	1,07	3,14
Santa Ernestina	46303	38,0	1,81	1,23	1,63	1,11	3,59
Santa Lucia	48392	38,8	1,82	1,23	1,58	1,15	3,58
St. Rita do Pás Quat.	50197	37,8	1,95	1,06	1,64	1,18	3,30
Santa Rosa de Viterbo	51122	36,6	1,90	1,11	1,73	1,10	3,50
Sto. Antônio da Alegg.	65955	31,2	1,63	1,58	2,20	0,74	3,19
Sto. Antônio do Jardim	384233	28,4	1,57	1,76	2,52	0,62	2,77
São Carlos	73599	35,7	1,79	1,26	1,80	1,00	3,29
São João da B. Vista	127175	28,7	1,58	1,73	2,49	0,63	2,95
São Joaquim da Barra	57362	39,2	1,86	1,17	1,55	1,20	3,65
São José do Rio Pard.	128431	26,8	1,53	1,89	2,73	0,56	2,88
São Seb. da Grama	118389	26,3	1,54	1,86	2,81	0,55	2,71
São Simão	40262	37,9	1,99	1,01	1,64	1,21	3,45
Serra Azul	46678	40,8	1,94	1,06	1,45	1,34	3,86
Serra Negra	132358	25,7	1,50	2,00	2,89	0,52	2,85
Serrana	57542	38,0	1,92	1,09	1,63	1,18	3,84
Sertãozinho	58899	37,8	1,92	1,09	1,64	1,17	3,80
Socorro	171730	24,3	1,45	2,20	3,11	0,47	2,87
Taiúva	71816	37,3	1,75	1,33	1,68	1,04	3,13
Tambaú	78328	35,8	1,78	1,28	1,79	0,99	3,15
Tapiratiba	97399	29,1	1,59	1,70	2,44	0,65	3,10
Taquaral	191384	35,8	1,68	1,46	1,79	0,94	2,68
Taquaritinga	53759	37,8	1,78	1,28	1,64	1,08	3,47
Terra Roxa	69340	38,1	1,81	1,24	1,62	1,11	3,35
Vargem Gran. do Sul	104740	29,8	1,62	1,61	2,36	0,69	2,77
Viradouro	71964	38,3	1,81	1,23	1,61	1,12	3,42

<sup>A</sup> O EER não contempla os Serviços Ambientais.

<sup>B</sup> Para os municípios Olímpia e Rio Claro, por possuírem pequena área dentro da bacia hidrográfica, foram contabilizados como áreas pertencentes aos municípios de Barretos e Corumbataí respectivamente.

## Índices emergéticos da bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçu e Pardo

Os índices emergéticos são utilizados, na maioria dos casos, para comparações entre sistemas e para identificar aquele que possui melhor desempenho. Neste trabalho, foi estudado como sistema principal, a bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçu e Pardo, não havendo, portanto, outro sistema para comparação. Assim, foram utilizados índices emergéticos obtidos para países (BROWN, 2002) para ajudar na compreensão do desempenho emergético da bacia estudada.

Segundo Brown (2002), três princípios são utilizados para discutir a sustentabilidade de países, considerado mais sustentável quando preenche esses três requisitos: (a) Sua energia per capita é maior ou igual a  $8,5 \cdot 10^{15}$  seJ.capita<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (média global); (b) Grande porcentagem de sua energia total provém de recursos renováveis; (c) O sistema maximiza o uso de energia renovável enquanto minimiza sua carga ambiental.

A Tabela 37 e a Tabela 38 mostram os resultados brutos para a bacia, enquanto a Tabela 39 mostra os índices emergéticos. Através dessa última observamos que:

- (1) De acordo com Brown (2002), elevados valores de energia per capita caracterizam países desenvolvidos economicamente, onde a economia é dominada por serviços. Baixos valores caracterizam países subdesenvolvidos, onde são utilizados baixos fluxos de energia para manter populações relativamente grandes. Esse índice pode fornecer informações sobre o bem estar da população e sobre seu padrão de vida. A média global para esse índice ( $8,5 \cdot 10^{15}$  seJ.capita<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>) poderia servir como parâmetro, ou seja, países com energia per capita menores do que esse valor podem não estar fornecendo recursos necessários à sua população. Não entrando no mérito do significado das palavras “manter” e “padrão de vida” utilizadas por Mark Brown, percebe-se através da Tabela 39 que a bacia hidrográfica possui uma energia per capita considerada baixa ( $9,85E+15$  seJ.capita<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>) comparada aos países considerados desenvolvidos. A Austrália, Inglaterra e EUA caracterizam-se por ser países desenvolvidos, enquanto China, Brasil e Colômbia caracterizam-se por ser subdesenvolvidos. Cabe salientar que na análise emergética da bacia hidrográfica foram contabilizados apenas a energia utilizada pelos sistemas agropecuários e florestais, não contabilizando a energia utilizada na zona urbana. Como a energia nessa área é geralmente grande, o indicador de densidade emergética calculado necessariamente é maior.

Tabela 37. Uso da terra na bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçu e Pardo por sistemas agropecuários e naturais.

Uso da terra	Área (ha)	%
Cana	629634,41	20,7
Cana+soja	471078,01	15,5
Floresta e vegetação ripária	464160,55	15,3
Cana+amendoim+soja	448590,51	14,8
Pastagem	392621,72	12,9
Fruticultura	236288,75	7,8
Eucalipto e pinus	109710,43	3,6
Cultura anual	80862,36	2,7
Cana+amendoim	79724,83	2,6
Cerrado	62778,07	2,1
Cultura anual irrigada	33354,87	1,1
Café grupo 1	14247,64	0,5
Café grupo 2	7221,09	0,2
Seringueira	3401,43	0,1
Café grupo 3	1061,33	0,0
Café grupo 4	58,14	0,0

Tabela 38. Indicadores emergéticos para a bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçu e Pardo.

Indicador	Fluxos em $10^{13}$ seJ.ano <sup>-1</sup>	%
I: recursos da natureza	987898202	25
R: recursos renováveis da natureza	665400400	17
N: recursos não renováveis da natureza	322497803	8
F: recursos da economia	2950748287	75
M: materiais	1147999492	29
Mr: materiais renováveis	51698101	1
Mn: materiais não renováveis	1096301391	28
S: serviços	1802748794	46
Sr: serviços renováveis	669018386	17
Sn: serviços não renováveis	1133730408	29
Y: energia total utilizada	3938646489	100

Tabela 39. Índices emergéticos para a bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçu e Pardo e para alguns países.

Sistema	Energia <i>per capita</i> <sup>A</sup>	Tr (seJ.J <sup>-1</sup> )	%R (%)	EYR	EIR	ELR	ESI	EER <sup>B</sup>
Bacia	9,85	73993	35	1,77	1,31	1,84	0,96	3,15
Brasil <sup>C</sup>	10,71	-	38	2,03	-	2,61	0,78	-
EUA <sup>C</sup>	33,76	-	9	1,10	-	10,74	0,10	-
Austrália <sup>C</sup>	48,09	-	60	2,50	-	1,67	1,50	-
Inglaterra <sup>C</sup>	47,89	-	3	1,03	-	34,05	0,03	-
Alemanha <sup>C</sup>	18,43	-	1	1,01	-	69,55	0,01	-
China <sup>C</sup>	5,17	-	34	2,40	-	2,95	0,81	-
Colômbia <sup>C</sup>	15,16	-	71	3,40	-	1,42	2,40	-
Economia global <sup>C</sup>	8,52	-	33	1,46	-	2,17	0,7	-

População da bacia = 3.996.923 habitantes (IBGE, 2006).

<sup>A</sup> Energia *per capita* em  $10^{15}$  seJ.cap.<sup>-1</sup>.ano.<sup>-1</sup>.

<sup>B</sup> EER sem considerar os serviços ambientais.

<sup>C</sup> Fonte: Brown (2002). Dados de 1997.

- (2) A eficiência na transformação de energia, medida pela transformidade, é considerada muito boa, pois resultou em 80.000 joules solares por joule. Esse resultado é fortemente influenciado pelas áreas de cana-de-açúcar que ocupam 51% da área da bacia e possuem transformidade de aproximadamente 65.000 seJ/J. Valores acima de 200.000 seJ.J<sup>-1</sup> para sistemas agropecuários, são facilmente encontrados em literatura (223.000 seJ.J<sup>-1</sup> para produção de soja no Brasil pelo modelo convencional (ORTEGA et al., 2005); 950.000 seJ.J<sup>-1</sup> para produção integrada de grãos, porcos e peixe (CAVALETT; QUEIROZ; ORTEGA, 2006).
- (3) A renovabilidade obtida (35%) é considerada baixa. Isso indica que o sistema usa muitos recursos não-renováveis e possui baixa sustentabilidade. O valor encontrado para a bacia hidrográfica está próximo ao calculado para o Brasil (38%). A Colômbia, considerado um país em desenvolvimento, e a Austrália, considerado um país desenvolvido, possuem excelente desempenho (71 e 60%). Alemanha, Inglaterra e EUA, cuja economia é totalmente baseada no uso do petróleo, possuem péssimo desempenho (1, 3 e 9%). Para Brown (2002), países com moderado uso de energia não-renovável (%R entre 30-40%) possuem melhor posição competitiva a curtos e médios períodos de tempo. Países com elevada renovabilidade (maior que 40%) não estariam fornecendo adequadamente à sua população bens e serviços necessários ao seu bem estar e, portanto, não são sustentáveis em um curto período de tempo. Países com renovabilidade baixa (menor do que 15%) são mais competitivos e sustentáveis num curto período de tempo, mas terão sérios problemas a médios e longos períodos.
- (4) O índice de rendimento emergético obtido (EYR=1,77) mostra que a bacia utiliza muitos recursos externos da economia (56%). Tem-se um ótimo desempenho da Colômbia (3,4) e um péssimo desempenho dos EUA (1,1), da Inglaterra (1,03) e da Alemanha (1,01). O Brasil encontra-se em uma posição mediana (2,03), próximo da Austrália (2,5) e da China (2,4).
- (5) O desempenho do índice de investimento emergético obtido (EIR=1,31) é considerado moderado, pois para cada unidade de energia provinda da natureza, são necessárias 1,31 unidades de energia da economia. Isso indica a dependência dos recursos da economia que a bacia possui. A soja no Brasil

produzida com o uso de herbicida (plantio direto) possui um EIR de 2,72 (Ortega et al., 2005). A produção integrada de grãos, porcos e peixes no Brasil possui EIR de 2,28 (CAVALETT; QUEIROZ; ORTEGA, 2006).

- (6) A razão de carga ambiental obtida ( $ELR=1,84$ ) indica que a bacia causa moderada pressão sobre o meio ambiente, já a Alemanha, Inglaterra e os EUA, causam grande pressão sobre o meio ambiente, apresentando valores de 69, 34 e 11 respectivamente. O Brasil (2,6) também causa moderada pressão, sendo pouco maior que a Colômbia e a Austrália, que possuem baixos valores de 1,4 e 1,5 respectivamente.
- (7) O índice de sustentabilidade emergética para a bacia ( $ESI=0,96$ ) é considerado de baixo desempenho, principalmente quando comparado à Colômbia (2,4) e à Austrália (1,5). Isso indica que a bacia contribui à economia através de grande pressão sobre o meio ambiente. Situação pior está a Alemanha (0,01), os EUA (0,1) e a Inglaterra (0,03). O desempenho do Brasil (0,78) está próximo ao obtido para a bacia hidrográfica.
- (8) A razão de intercâmbio emergético ( $EER=3,15$ ) mostra que a bacia não consegue obter na venda de seus produtos toda a energia empregada para produzi-lo. Cavalett, Queiroz e Ortega (2006) obtiveram o valor de 6,8 para esse índice na produção integrada de grãos, porcos e peixe no Brasil. Ortega et al. (2005) conclui que nenhum dos sistemas de produção de soja estudados (biológicos e industriais) possuem bom desempenho para o EER, pois variaram de 3,71 a 6,69. Para países não foram encontrados dados de EER disponíveis, mas seria uma abordagem muito interessante para estudar o “Fair Trade” entre o comércio mundial.

### **5.1.1. Abordagem econômica ecológica através da energia**

O “preço de equilíbrio” calculado para alguns produtos agrícolas presentes na bacia pode ser observado na Tabela 40. Ele é obtido através da multiplicação do EER pelo preço de mercado atual do produto.

Como discutido anteriormente, o EER é um índice emergético que avalia se toda a energia empregada na produção de determinado bem ou serviço está retornando ao produtor na forma de dinheiro durante a venda. Nesse índice, como em todos os outros índices emergéticos, está contabilizada toda a energia incorporada pelo sistema (da

natureza e da economia), podendo ser considerado, portanto, uma medida real da energia utilizada e, logo, uma ferramenta essencial na atribuição de valor (ou valoração) de um produto ou processo produtivo.

Tabela 40. Preço de venda real e equilibrado de alguns produtos da bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçu e Pardo.

Produto	Preço de venda real <sup>A</sup> (R\$.unidade <sup>-1</sup> )	Unidade	EER <sup>B</sup>	Preço de venda equilibrado (R\$.unidade <sup>-1</sup> )
Cana	0,03	kg	3,80	0,11
Café	4,42	kg	2,73	12,07
Cultura anual irrigada	2,89	kg	1,63	4,71
Cultura anual	0,36	kg	1,51	0,54
Fruticultura	0,19	kg	2,55	0,48
Eucalipto e Pinus	50,00	m <sup>3</sup>	2,67	133,50
Seringueira	2,49	kg	14,59	36,33

<sup>A</sup> Apêndice D.

<sup>B</sup> Tabela 35. Sem considerar os Serviços Ambientais.

Tabela 41. Despesa e receita bruta (convencional e sistêmico) de alguns produtos da bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçu e Pardo.

Produto	Despesa convencional <sup>A</sup> (USD.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	Despesa sistêmica <sup>B</sup> (USD.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	Receita bruta convencional <sup>C</sup> (USD.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	Receita bruta sistêmica <sup>D</sup> (USD.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )
Cana	723,23	4084,45	1064,44	1156,44
Café grupo	2002,58	9673,80	3540,56	3632,56
Cultura anual irrigada	5108,13	9042,53	5556,97	5648,97
Cultura anual	250,12	3129,98	690,89	782,89
Fruticultura	487,88	8286,01	3319,99	3411,99
Eucalipto e Pinus	188,21	2842,56	1059,30	1361,30
Seringueira	184,43	16338,89	1120,13	1422,13

<sup>A</sup> Despesa convencional contabiliza apenas os serviços e materiais utilizados pelo sistema através de seu preço de mercado. Dados obtidos do Agrianual (2004);

<sup>B</sup> Despesa sistêmica contabiliza os materiais e serviços provindos da economia, a energia provinda da natureza e as externalidades negativas (PRETTY et al., 2000; 360 USD.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>), todos em base emergética (ODUM, 1996);

<sup>C</sup> Receita bruta convencional é o valor de todos os produtos obtidos com seu preço de mercado (Apêndice D);

<sup>D</sup> Receita bruta sistêmica é a receita bruta convencional somada aos serviços ambientais produzidos (Costanza et al., 1997; 302 USD.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> para Eucalipto e Pinus e Seringueira; 92 USD.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> para os produtos).

Pela Tabela 40 observamos que nenhum sistema recebe na forma de dinheiro toda a energia empregada nos produtos, pois o EER de todos é maior que a unidade. Sendo assim, o preço de equilíbrio (que iguala a energia total utilizada pelo sistema) na venda dos produtos é maior que o de venda real. A última coluna da Tabela 40 mostra os valores do preço de venda equilibrado, ou seja, quando a energia investida na produção retorna ao produtor na forma de dinheiro.

A Tabela 41 e a Tabela 42 mostram os resultados obtidos para a despesa bruta, receita bruta, receita líquida e rentabilidade de alguns produtos calculados através da abordagem convencional e sistêmica.

Tabela 42. Receita líquida e rentabilidade (convencional e sistêmica) de alguns produtos da bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçu e Pardo.

Produto	Economia convencional		Economia ecológica - emergia	
	Receita líquida <sup>A</sup> (USD/ha/ano/)	Rentabilidade <sup>B</sup> %	Receita líquida <sup>A</sup> (USD/ha/ano/)	Rentabilidade <sup>B</sup> %
Cana	341,21	47	-2928,01	-72
Café	1537,98	77	-6041,24	-62
Anual irrigada	448,84	9	-3393,56	-38
Anual	440,77	176	-2347,09	-75
Fruticultura	2832,11	580	-4874,02	-59
Eucalipto e Pinus	871,09	463	-1481,26	-52
Seringueira	935,70	507	-14916,76	-91

<sup>A</sup> Obtido através da Equação 1 e dados da Tabela 41.

<sup>B</sup> Obtido através da Equação 2 e dados da Tabela 41.

Os valores obtidos para a Despesa Convencional e Sistêmica (Tabela 41) são muito diferentes, pois enquanto a primeira foi calculada através da abordagem da economia convencional, a segunda foi calculada através da abordagem emergética, que inclui os materiais e serviços provindos da economia, os recursos da natureza e as externalidades negativas, todas em base emergética. Os valores obtidos para Receita Bruta Convencional e Sistêmica são próximos, pois ambas foram calculadas através da abordagem da economia convencional, mas para segunda, foi considerado os serviços ambientais.

Através da Tabela 42 observa-se que a economia convencional fornece uma receita líquida e uma rentabilidade considerada boa para todos os produtos. Já pela economia ecológica (abordagem emergética), quando contabilizamos toda a energia da natureza, as externalidades negativas e os serviços ambientais, a receita líquida e a rentabilidade passam a ser negativos, ou seja, o sistema de produção passa a dar prejuízo.

No cálculo das Despesas e Receita Bruta foram considerados valores de Externalidades Negativas e Serviços Ambientais obtidos por outros autores por meio de ferramentas da economia neoclássica. O uso dessa abordagem simultaneamente com a metodologia emergética pode ser questionável, porém, o importante é mostrar que quando contabilizamos esses impactos negativos e positivos sobre o meio ambiente e a sociedade, os indicadores passam a mostrar valores não mais atrativos economicamente.

Considerando o cenário da economia ecológica (abordagem emergética), podem ser sugeridas algumas práticas com o objetivo de obter receita líquida positiva e melhorar

o EER: (a) Produzir poucas externalidades negativas; (b) Utilizar maior quantidade de recursos renováveis provindos da natureza; (c) Aumentar o preço de venda dos produtos.

A primeira prática é um dos grandes problemas que a sociedade atual enfrenta. Os custos das externalidades negativas (prejuízos causados ao solo, ao ar, à água, à saúde humana e à paisagem) produzidos pelos sistemas convencionais são pagos indiretamente (e diretamente em alguns casos) pela sociedade. Para a redução desses custos, conceitos ecológicos poderiam ser inseridos no manejo da produção.

A segunda prática está diretamente ligada à primeira, pois com o uso de recursos renováveis da natureza através de manejo ecológico, o impacto sobre o meio ambiente seria reduzido. Além disso, os custos associados ao uso de materiais e serviços da economia também seriam reduzido, aumentando a receita.

A terceira prática é mais difícil de ser alcançada por depender de inúmeros fatores. No mercado atual, que segue a regra da “oferta e demanda”, se o produtor aumentar o preço de seus produtos até o preço de equilíbrio (ou compensatório em emergência), os compradores irão buscar outros vendedores que ofereçam preços mais baixos. O sistema sozinho não possui força de alterar o modo como o mercado atua através dos conceitos da economia neoclássica. Por isso, uma mudança na economia mundial é importante, para que sejam pagos os preços reais dos produtos e contabilizada toda a energia gasta em sua produção. Através do preço de equilíbrio e das duas práticas acima, a receita líquida do produtor poderia ser maior.

Situação similar existe com a gasolina. Nos Estados Unidos, o preço da gasolina na bomba era aproximadamente 2 USD por galão no meio de 2005. Mas esse preço reflete apenas os custos de bombear o petróleo, refiná-lo e levá-lo até os postos distribuidores. Esse valor não inclui as taxas de subsídios das indústrias petrolíferas, como uma permissão para esgotamento do óleo; subsídios para a extração e uso do petróleo; custos militares para “proteger” o acesso ao petróleo; os custos com saúde devido a tratamento de doenças respiratórias; e, mais importante, os custos das mudanças climáticas (BROWN, 2006).

Brown (2002, p.145), estudando o comércio entre países do mundo através do uso da análise emergética, concluiu que “o balanço comercial entre nações considerando recursos monetários não conduz a um comércio equilibrado, por outro lado, ele causa disparidades onde uma economia com grande valor da razão entre a emergência por produto interno bruto perde nas relações comerciais com países que possuem baixos valores para a mesma razão”. No mesmo trabalho (com dados de 1997), o autor conclui que o

Brasil possui vantagem quando realiza comércio com Rússia, Cuba, Canadá, Austrália, Chile, Paraguai e outros países, enquanto possui desvantagem com Alemanha, Japão, EUA, Áustria, Inglaterra, Uruguai e outros países. Trabalhos similares e interessantes foram realizados por Ulgiati e Cialani (2008) e Bargigli et al. (2004).

Para Brown (2006, p.253), o mundo precisa de líderes que entendam as relações entre a economia e seu sistema natural de suporte. Precisa-se de economistas que pensem como ecologistas, mas infelizmente eles são raros. “Nós continuamos a ensinar aos estudantes de economia a confiar na “mão invisível” do mercado, mesmo que ela encubra as externalidades e massivos subsídios”.

### **5.1.2. Recomendações para melhorar a sustentabilidade da bacia**

Considerando valores médios do Índice de Sustentabilidade Emergético (ESI da Figura 34), é possível elaborar outro mapa (Figura 38) que identifica quatro regiões na bacia hidrográfica que demandam políticas públicas específicas para melhorar sua sustentabilidade. De acordo com Ulgiati, Bargigli e Raugéi (2007), através do aumento da complexidade do sistema, assim como através do uso de co-produtos, seria possível utilizar de maneira mais eficiente os recursos disponíveis. A produção de mais de um produto, as retro-alimentações internas de massa e energia e a preservação de vegetação natural são algumas técnicas importantes de gerenciamento ecológico que melhoram a sustentabilidade do sistema. As recomendações listadas abaixo estão relacionadas a essas técnicas de gerenciamento.

- (1) Serra da Mantiqueira: As áreas localizadas no Sudeste (montante) possuem elevadas declividades. Considerando uma abordagem agrônômica para uso sustentável da terra, elas estão sendo incorretamente utilizadas como pastagem e para plantar café através do modelo convencional de produção, resultando em grande perda de solo. A produção agropecuária presente nessas áreas utiliza grandes quantidades de recursos não-renováveis e deveriam ser alterados, pois resultaram em baixo desempenho na transformação de energia, grande dependência de recursos da economia, grande impacto sobre o meio ambiente e baixa sustentabilidade. É necessário utilizar conceitos agroecológicos (plantação sobre sombras de árvores nativas; diversificação na produção; uso de esterco orgânico; controle biológico de pragas; cobertura morta; etc.) no manejo das plantações de café para reduzir o uso de recursos não-renováveis e aumentar o uso de recursos da natureza. As pastagens deveriam adotar modelo

agrosilvopastoril para produzir carne, leite, produtos agrícolas e madeira sem utilizar recursos não-renováveis. As áreas com elevada declividade devem ser reflorestadas para fornecer produtos extrativos (por exemplo, mel e madeira) e produzir serviços ambientais (fornecimento de água, seqüestro de carbono e regulação climática).

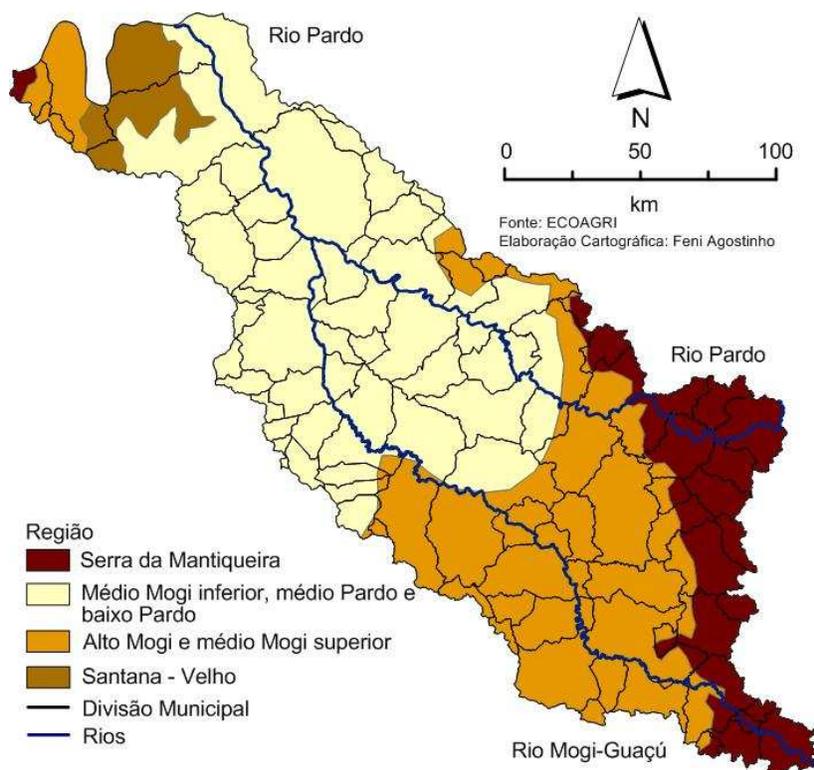


Figura 38. Regiões da bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçú e Pardo que demandam políticas públicas específicas.

- (2) Médio Mogi Inferior, Médio Pardo e Baixo Pardo: Essa região produz basicamente cana-de-açúcar em sua maioria e silvicultura (eucalipto e pinus) em pequenas áreas. Os problemas encontrados aqui são aqueles relacionados à monocultura: perda de biodiversidade; perda da diversidade genética de algumas culturas agrícolas; problemas sociais como perda da produção agrícola familiar; expulsão de pessoas do campo para os centros urbanizados; prejuízos ambientais causados pelo uso de agroquímicos (no solo, na água e no ar); pelas queimadas na colheita da cana. A cana-de-açúcar produzida com o manejo de rotação com amendoim e/ou soja mostrou melhor desempenho emergético (mesmo que pequeno) do que sem esse manejo. Assim, é necessário aumentar os piquetes com esse manejo (hoje é realizado em apenas uma pequena

porcentagem da área total: de 2 a 10%) e, também, verificar a possibilidade de adotar o consorciamento com amendoim e/ou soja nas linhas de cana-de-açúcar, que variam de 1,0 a 1,5 metros. Leguminosas e oleaginosas poderiam ser cultivadas dessa forma para proteger o solo contra erosão, para mobilizar os nutrientes do solo e promover controle biológico de pragas. Além disso, práticas de arrendamento e meeiro devem ser incentivadas; novas técnicas (produção de álcool em micro-destilarias; agrofloresta; certificação) deveriam ser expandidas.

(3) Alto Mogi e Médio Mogi Superior: Essa região é ocupada principalmente com cana-de-açúcar e fruticultura, mas possui também silvicultura, pasto e culturas anuais em pequenas áreas. As recomendações dadas para as regiões acima também se aplicam para essa região. É muito importante introduzir o consorciamento e a rotação de culturas, principalmente para as culturas anuais. Conceitos ecológicos devem ser introduzidos na produção para todos os sistemas com o objetivo de reduzir a dependência de recursos externos, aumentar a quantidade de recursos obtidos da natureza e, como resultado, diminuir as externalidades negativas e aumentar as positivas. Esse é um trabalho muito difícil, mas necessário.

(4) Santana - Velho: Essa região plana é ocupada com pastagem, cana-de-açúcar e fruticultura. As recomendações são basicamente as mesmas que as outras regiões.

Basicamente, a agricultura sustentável deve possuir uma perspectiva sistêmica para integrar mais fortemente princípios de engenharia ecológica nas práticas agrícolas (JØRGENSEN; NIELSEN, 1996). Para isso, atividades de engenharia ecológica poderiam ajudar porque investimentos apropriados em projetos ecologicamente corretos poderiam resultar em sistemas sustentáveis que fornecem uma contribuição líquida à sociedade.

Outro aspecto muito importante são as leis ambientais brasileiras que visam disciplinar a interferência do homem sobre o meio ambiente, mas é muito difícil segui-las e fiscalizá-las devido a problemas de ordem técnica. Resultados positivos estão sendo alcançados através da utilização de técnicas SIG (RIBEIRO et al., 2005).

Algumas externalidades positivas poderiam ser obtidas seguindo as leis ambientais e as recomendações dadas acima: percolação de água (maior quantidade de água da chuva infiltrada no solo); melhora da qualidade do solo; controle da erosão do solo

(diminuição do uso de fertilizantes e melhora da qualidade das águas dos rios e lagos); controle biológico (diminuição do uso de pesticidas sintéticos e, como consequência, redução da poluição dos recursos hídricos); aumento da flora e da fauna, melhorando os valores estéticos da paisagem e fornecendo equilíbrio ambiental; corredores ecológicos entre fragmentos de remanescentes florestais para reforçar a genética animal e vegetal; benefícios às pesquisas relacionadas à biodiversidade; etc.

Essas recomendações objetivam mudanças gerais e em grande escala para melhorar o desempenho dos índices emergéticos da bacia. É importante enfatizar que cada sistema deve ser estudado detalhadamente e separadamente para verificar suas necessidades. As mudanças nos sistemas devem proporcionar uma complexa otimização, considerando os múltiplos objetivos do produtor agrícola, englobando eficiências econômicas, sociais e ambientais. Além disso, é necessário criar um equilíbrio entre o capital financeiro, físico, humano, social e natural para encontrar a sustentabilidade.

## **5.2. Área de Suporte**

### **5.2.1. Cálculo da área de suporte através da abordagem emergética**

A Tabela 43 mostra a área de suporte para a bacia hidrográfica calculada através das abordagens da Produção Líquida Primária (NPP) e da Potência Emergética Renovável (R).

De acordo com os valores obtidos, tem-se que as áreas ocupadas com cana-de-açúcar, pastagem, fruticultura, cana-de-açúcar+soja e cana-de-açúcar+amendoim+soja são as que precisam de maior quantidade de área de suporte (de 1,8 a 2,6 milhões de hectares). Isto ocorre devido às grandes áreas ocupadas com essas culturas na bacia (principalmente cana-de-açúcar com 51% da área total) e/ou devido ao uso de grandes quantidades de recursos não-renováveis (pastagem usa 79% de sua energia total derivada de recursos não-renováveis).

Considerando todos os usos da terra na bacia, a área adicional de floresta necessária para alcançar a sustentabilidade forte, calculada através da abordagem  $SA_{NPP}$ , é 12,0 milhões de hectares. Este valor é equivalente a 3,97 vezes a área total da bacia.

Tabela 43. Comparação entre as áreas de suporte para cada uso da terra na bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçu e Pardo calculados através de duas abordagens.

Uso da terra	Área de floresta como região de referência	
	SA <sub>NPP</sub> (ha) <sup>A</sup>	SA <sub>R</sub> (ha) <sup>B</sup>
Floresta <sup>C</sup>	0,00	0,00
Cerrado <sup>C</sup>	0,00	0,00
Café (grupo 4)	693	645
Café (grupo 3)	11294	10513
Seringueira	39060	36358
Café (grupo 2)	72752	67719
Café (grupo 1)	149327	138996
Cultura anual	307259	286004
Cana-de-açúcar+Amendoim	313939	292221
Eucalipto e Pinus	338644	315218
Cultura anual irrigada	363426	338285
Cana-de-açúcar+Soja+Ame.	1774412	1651661
Cana-de-açúcar+Soja	1787425	1663774
Fruticultura	2060521	1917978
Pasto	2582305	2403666
Cana-de-açúcar	2628132	2446323
Área total <sup>D</sup> :	12057447	11191225
Área total / Área atual <sup>E</sup> :	3.97	3.69

<sup>A</sup> Obtida através da Equação 3;

<sup>B</sup> Obtida através da Equação 4;

<sup>C</sup> Vegetação natural não utiliza recursos da economia e sua área de suporte é igual a zero;

<sup>D</sup> A área de floresta atual na bacia foi subtraída, assim, a área total revela a área de floresta adicional que a bacia precisa;

<sup>E</sup> Área atual da Tabela 37.

A abordagem SA<sub>R</sub> indica uma área adicional da região necessária para alcançar uma sustentabilidade forte na bacia. A maior eficiência no uso de recursos renováveis (alta potência emergética renovável) pela área considerada como referência, menor é a área de suporte necessária porque essa região tem a capacidade de fornecer alta quantidade de recursos renováveis por hectare. A área de suporte obtida através da abordagem SA<sub>R</sub> é útil somente para indicar o grau do impacto produzido pelo sistema, mas ele possui pouco uso prático. Se nós pensarmos que o sistema precisa de determinada área da região como área de suporte para sua emergência não-renovável utilizada, precisaríamos também contabilizar a necessidade de suporte da área da região. Assim, em termos práticos, seriam necessárias infinitas áreas de suporte adicionais. Para evitar esse problema, áreas de floresta natural podem ser utilizadas como região de referência, porque ela não utiliza recursos não-renováveis e mostra quanta área de floresta adicional seria necessária como área de suporte. Por exemplo, pela abordagem SA<sub>R</sub> tem-se que quando a região de referência é uma floresta natural, seria necessário

3,69 vezes a área atual total da bacia hidrográfica ocupada com floresta (11,2 milhões de hectares).

As duas abordagens mostram uma situação crítica de insustentabilidade da bacia, porque são necessárias áreas adicionais de floresta para balancear o uso de recursos não-renováveis. É importante salientar que a área de suporte calculada aqui é apenas uma conversão da energia não-renovável em área de floresta que possui a mesma quantidade de energia, porém considerada renovável. Essa área de suporte não significa que as áreas de floresta irão fornecer todos os materiais, serviços e energia que os outros sistemas usam de fontes não-renováveis.

Considerando a mudança no uso de energia não-renovável e a mudança do uso da terra na bacia hidrográfica, uma simples simulação pôde ser realizada para estudar a dinâmica da área de suporte. Existem muitas combinações entre essas duas variáveis, mas aqui considerou-se a seguinte: conversão de 30% das áreas de cana-de-açúcar em áreas de floresta; redução de 50% da energia não-renovável utilizada pela cana-de-açúcar, fruticultura e pasto. Através desse novo cenário, a sustentabilidade da bacia poderia ser alcançada se a energia não-renovável total fosse reduzida em 84% (Figura 39), ou se fossem adicionadas de 4,6 a 5,0 milhões de hectares ocupados com floresta. Esses valores são muito altos!

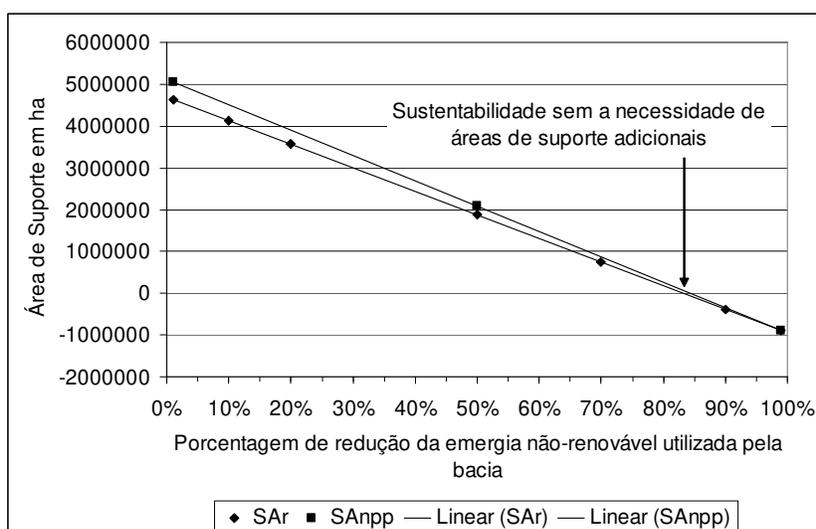


Figura 39. Relação entre a porcentagem de redução da energia total não-renovável utilizada pela bacia hidrográfica em relação à área de suporte necessária para alcançar a sustentabilidade. Dados obtidos pela simulação do cenário descrito no texto principal.

A redução de 30% das áreas de cana-de-açúcar e de 50% de sua energia não-renovável como considerado pelo cenário acima, é um objetivo muito difícil de ser

alcançado devido ao crescimento do mercado de etanol. Por outro lado, existem outras variáveis que poderiam ser alteradas para alcançar o mesmo objetivo, que é aumentar a sustentabilidade da bacia.

### **Área de suporte renovável necessária para diluir os sub-protudos**

O método da área de suporte, inicialmente proposto por Brown e Ulgiati (2001), é muito importante para mostrar a dependência que os sistemas têm sobre os recursos não-renováveis em uma linguagem de fácil entendimento: hectares de floresta.

A Figura 40a mostra a substituição dos recursos não-renováveis da economia por áreas de vegetação natural, ou seja, sua área de suporte.

As duas abordagens utilizadas nesse trabalho ( $SA_{NPP}$  e  $SA_R$ ) consideram somente os recursos não-renováveis utilizados pelo sistema para calcular a área de suporte, mas e os resíduos? Os resíduos produzidos e não diluídos (que podem causar externalidades negativas) são um grande problema para a sociedade e para o meio ambiente. Os resíduos devem ser considerados quando uma visão sistêmica é utilizada.

O cálculo da área de suporte através de energia foi aperfeiçoado no trabalho de Ulgiati e Brown (2002) que estimaram a área de suporte necessária para diluir a concentração de gases na atmosfera resultantes da produção de energia elétrica na Itália. Assim, a área de suporte total deve considerar a área necessária para diluir os resíduos (Figura 40b). Neste ponto surge uma questão: A área de suporte calculada anteriormente pelas abordagens  $SA_R$  ou  $SA_{NPP}$  não são suficientes para diluir os subprodutos? Não seria dupla contagem?

A energia renovável produzida pela área de suporte calculada anteriormente será totalmente utilizada para converter a energia não-renovável utilizada pelo sistema. Assim, esta área não possui mais energia renovável para ser utilizada na diluição dos resíduos, sendo necessárias áreas adicionais.

Cada sistema produz diferentes externalidades negativas e todos eles precisam de estudos individuais e específicos. Para ser considerado como um completo indicador de sustentabilidade forte, o indicador da área de suporte deveria considerar também a área de floresta equivalente e a energia utilizada para diluir os resíduos.

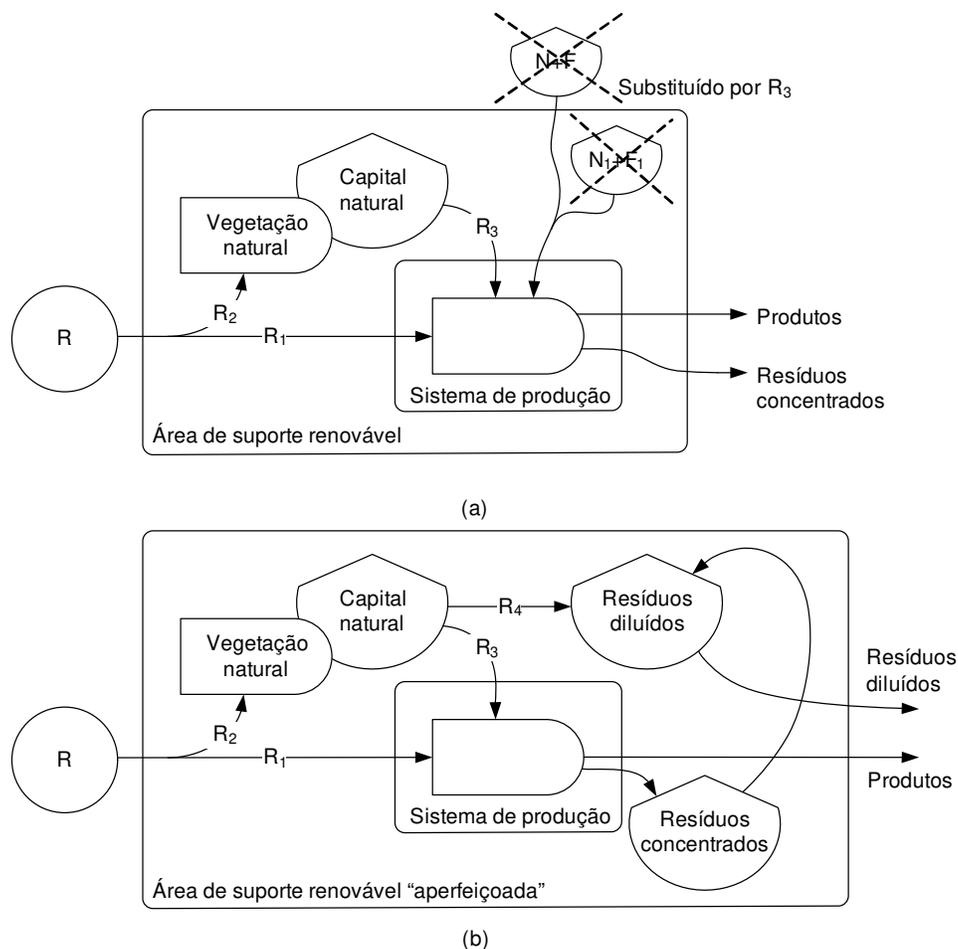


Figura 40. (a) Diagrama sistêmico que mostra a área de suporte renovável de um sistema de produção genérico de acordo com o método original proposto por Brown e Ulgiati (2001); (b) Área de suporte renovável aperfeiçoada para o mesmo sistema de produção que em (a), mas considerando a diluição dos sub-produtos através de energia renovável. Adaptado de Ulgiati e Brown (2002).

### 5.2.2. Cálculo da área de suporte através da abordagem da energia incorporada

Através das informações sobre as entradas em matéria e energia dos sistemas agropecuários na bacia, e dos valores de intensidade energética para cada entrada, é possível calcular a energia total utilizada pelos sistemas estudados (Tabela 44).

Observa-se através dessa tabela que a produção de cana-de-açúcar (soma de todos os manejos) consome aproximadamente 37E+9 MJ/ano de energia, que corresponde a 31% do total consumido pelos sistemas agropecuários na bacia, valor próximo ao obtido para a fruticultura (24%). Dessa forma, todos os outros sistemas consomem juntos 45% do total. Essas porcentagens diferem significativamente aos

valores encontrados pela análise emergética (Figura 41), pois nessa última, todos os recursos naturais e a mão-de-obra são contabilizados.

Tabela 44 .Energia indireta e direta utilizada pelos sistemas agropecuários na bacia<sup>a</sup>.

Uso da terra	Total 10 <sup>4</sup> MJ/ha/ano	Indireta 10 <sup>9</sup> MJ/ano	Direta 10 <sup>9</sup> MJ/ano	Total 10 <sup>9</sup> MJ/ano	%
Cana	2,03	11,31	1,44	12,75	10,9
Cana+Amendoim	4,82	3,65	1,51	5,16	4,4
Cana+Soja	1,99	8,43	1,27	9,70	8,3
Cana+Amend.+Soja	1,99	7,90	1,45	9,35	8,0
Café 1	7,42	0,92	6,09	7,01	6,0
Café 2	8,17	0,50	7,87	8,37	7,1
Café 3	6,50	0,06	6,86	6,92	5,9
Café 4	10,46	0,01	4,89	4,89	4,2
Anual Irrigada	9,61	2,93	5,12	8,05	6,9
Anual Não Irrigada	1,78	1,31	1,03	2,34	2,0
Fruticultura	9,79	19,95	8,50	28,45	24,3
Pastagem	2,19	7,85	1,17	9,02	7,7
Silvicultura	0,78	0,67	1,05	1,72	1,5
Seringueira	1,23	0,02	3,55	3,57	3,0
<b>Total:</b>		<b>65,50</b>	<b>51,81</b>	<b>117,31</b>	<b>100,0</b>

<sup>a</sup> Energia indireta significa toda a energia em equivalente de petróleo que foi utilizada para produzir os materiais utilizados pelo sistema; Energia direta significa a energia utilizada diretamente pela queima de combustível. O consumo de matéria e energia dos sistemas está no Apêndice D. Os valores de intensidade energética utilizados estão no Apêndice C.

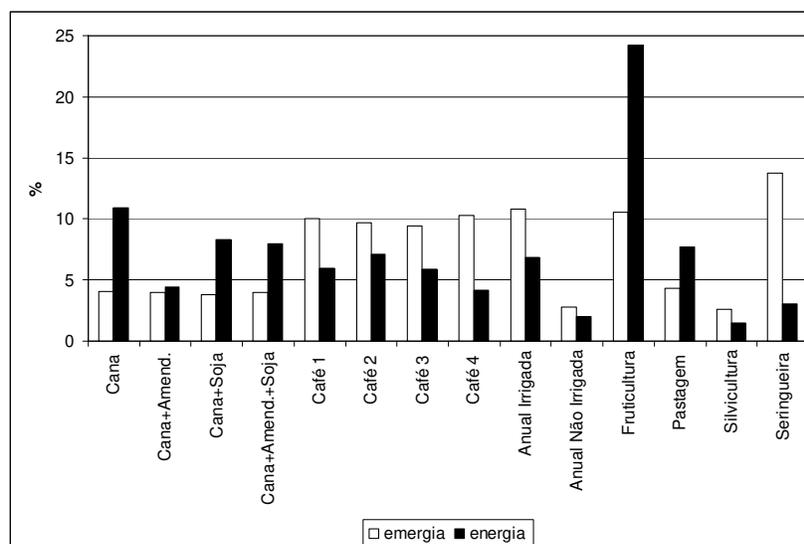


Figura 41. Comparação entre as porcentagens de energia e emergência utilizadas pelos sistemas agropecuários em relação ao total utilizado pela bacia.

O objetivo dessa tese não é comparar as duas metodologias, mesmo porque esse trabalho já foi realizado por diferentes pesquisadores, entre eles Brown e Herendeen (1996) e Franzese et al. (2009). Para esses autores, as duas metodologias fornecem

respostas diferentes e deveriam ser utilizadas de maneira complementar e não concorrentes. Se deseja-se conhecer em que ponto tem-se maior gasto de energia no sistema para melhorar sua eficiência, a aplicação da análise energética é satisfatória, mas se o objetivo é conhecer a sustentabilidade do sistema, a análise emergética é mais adequada. Ulgiati, Raugeri e Bargigli (2006) realizaram uma discussão sobre esse tópico e propuseram uma abordagem chamada de SUMMA (*Sustainability Multicriteria Multiscale Assessment*), que utiliza diferentes ferramentas com regras próprias para obter uma gama maior de indicadores que respondem a diferentes perguntas sobre o desempenho do sistema em estudo considerando a abordagem do Ciclo de Vida.

A área de suporte calculada através da abordagem de energia incorporada (Equação 5) resulta no valor de 355.840ha de área de floresta, que descontando as áreas de florestas atuais, resulta em -108.320ha. Isso indica que as áreas de floresta existentes na bacia são suficientes para absorver o CO<sub>2</sub> emitido diretamente e indiretamente pelos sistemas agropecuários (sem considerar diferentes taxas de absorção de CO<sub>2</sub> que variam com a idade da vegetação natural). Novamente, esse valor difere grandemente dos valores obtidos pela abordagem emergética que obteve em média 11,6 milhões de hectares de floresta adicionais.

A abordagem energética mostra a área de suporte necessária apenas para absorver o CO<sub>2</sub> emitido de maneira direta e indireta. Assim, fica evidente o porquê dos valores calculados pela abordagem emergética diferirem grandemente do valor calculado pela abordagem de energia, pois a primeira mostra a área de floresta que corresponde a energia não-renovável utilizada pela bacia. Isso indica que as duas metodologias são diferentes e mostram resultados com significados diferentes, portanto, devem ser utilizadas de maneira complementar para atingir objetivos diferentes.

### **5.3. Estimativa da emissão de gases poluentes**

Considerando a energia total direta e indireta consumida pelos sistemas agropecuários na bacia (Tabela 44), a emissão de gases poluentes pôde ser calculada de acordo com os fatores de emissão fornecidos pelo *Environmental Protection Agency* (EPA).

A Tabela 45 mostra que os gases CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e CO são, quantitativamente, os mais liberados para a atmosfera. As emissões da bacia representam aproximadamente 0,8% das emissões totais do Brasil (lembrando que o valor de diesel equivalente do Brasil certamente deve estar subestimado – ver nota de rodapé na Tabela 45).

Tabela 45. Principais emissões de gases poluentes dos sistemas agropecuários da bacia<sup>a</sup>.

Uso da terra	Hidrocar- bonetos	CO	NO <sub>x</sub>	PM10	SO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>
	Mg/ano	Mg/ano	Mg/ano	Mg/ano	Mg/ano	Mg/ano	Mg/ano	Mg/ano
Cana	8,54	216,78	255,03	42,08	82,89	1,06	4,72	971673
Cana+Amendoim	2,57	65,33	76,85	12,68	24,98	0,32	1,42	292811
Cana+Soja	6,28	159,44	187,57	30,95	60,96	0,78	3,47	714656
Cana+Amend.+Soja	5,99	151,90	178,71	29,49	58,08	0,74	3,31	680879
Café 1	0,71	17,96	21,13	3,49	6,87	0,09	0,39	80508
Café 2	0,40	10,03	11,79	1,95	3,83	0,05	0,22	44936
Café 3	0,05	1,17	1,38	0,23	0,45	0,01	0,03	5260
Café 4	0,00	0,10	0,12	0,02	0,04	0,00	0,00	463
Anual Irrigada	2,15	54,48	64,09	10,58	20,83	0,27	1,19	244199
Anual Não Irrigada	0,96	24,47	28,79	4,75	9,36	0,12	0,53	109671
Fruticultura	15,50	393,36	462,78	76,36	150,40	1,92	8,56	1763195
Pastagem	5,75	145,89	171,63	28,32	55,78	0,71	3,18	653925
Silvicultura	0,57	14,47	17,03	2,81	5,53	0,07	0,32	64879
Seringueira	0,03	0,71	0,84	0,14	0,27	0,00	0,02	3186
Total para a bacia:	49	1256	1477	243	480	6	27	5630241
Total para o Brasil:	5989	151980	178800	29502	58110	742	3307	681228000

<sup>a</sup> Consumo do Brasil em 2002 = 198737E+3 tep (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2009). Considerando a relação de 45MJ/kg (de diesel equivalente), tem-se o seguinte valor de energia consumida pelo Brasil: 8,94E+12 MJ. É importante ressaltar que os estoques de materiais presentes no país e seu fluxo anual não são contabilizados, apenas os fluxos de energia primária e secundária. Dessa forma, esses valores devem estar subestimados, mas devido a dificuldade de encontrar dados mais precisos, o valor de 198737E+3 tep foi utilizado.

## Potencial de Efeito Estufa

O potencial de efeito estufa da bacia calculado através da Equação 6, atingiu o valor de  $5,63 \cdot 10^6$  MgCO<sub>2</sub>-equiv./ano, onde somente o CO<sub>2</sub> é responsável por 99,8% desse total. Cabe salientar que apenas as emissões indiretas na produção de materiais e diretas pelo uso de combustível foram contabilizadas, no entanto, as emissões resultantes de práticas como queimadas (principalmente na colheita de cana-de-açúcar) não foram contabilizadas. Maiores detalhes sobre as emissões de CO<sub>2</sub> decorrentes da produção de cana-de-açúcar e etanol podem ser encontradas em Pereira (2008).

Não existem padrões ou métodos para estimar qual seria a consequência para o aquecimento global devido à emissão dessa quantidade de gases, por exemplo, quantas toneladas de CO<sub>2</sub> são necessárias para elevar a temperatura global em 1° Celsius. Uma boa alternativa para discutir esse dado seria avaliar os balanços anuais para verificar a dinâmica dessas emissões e buscar meios de reduzi-lo, além de comparações com outros sistemas. Como não existem dados disponíveis sobre emissões da bacia para outros anos e também não há dados para outras bacias semelhantes, uma comparação aqui fica impossível.

Um resultado muito importante dessa abordagem está relacionado à emissão indireta de gases poluentes, pois esses representam mais de 50% das emissões totais (sem considerar as queimadas). Dessa forma, políticas relacionadas à redução de emissões de gases deveriam contabilizar também as emissões indiretas, pois mesmo que elas não ocorram diretamente na bacia hidrográfica, elas estão ocorrendo em alguma outra parte do mundo. A redução do uso de agroquímicos e maquinaria agrícola resultaria na redução das emissões.

### **Potencial de Acidificação**

O potencial de acidificação da bacia calculado através da Equação 7, atingiu o valor de  $1,8 \cdot 10^3$  MgSO<sub>2</sub>-equiv./ano, onde somente o NO<sub>x</sub> é responsável por 73% desse total. Novamente, uma análise mais profunda sobre esse resultado não foi possível devido às mesmas razões descritas anteriormente para o potencial de efeito estufa.

## **5.4. Índice da Intensidade do Desenvolvimento da Paisagem (LDI)**

Através dos fluxos emergéticos não-renováveis e do mapa de uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica, foi possível calcular o índice LDI para cada uso da terra (Tabela 46) usando a Equação 8.

Essa tabela mostra que a maioria dos sistemas agropecuários analisados possui um LDI maior que 4,7. Isso é um forte indicador de que esses sistemas utilizam grandes quantidades de recursos não-renováveis (basicamente derivados do petróleo), parecidos aos dos centros urbanizados. Utilizando ainda a , o LDI da bacia hidrográfica (incluindo as áreas urbanas) atingiu o valor final de 7,6 indicando novamente a dependência de recursos não-renováveis.

O LDI de cada uso da terra foi espacializado através de um mapa (Figura 42) para mostrar as regiões onde o impacto humano sobre o meio ambiente é mais intenso. A região sudeste e noroeste causam mais impactos porque elas possuem um LDI variando de 4,3 a 8,0, mas ao mesmo tempo, essas regiões possuem muitas áreas de sistemas naturais de maneira dispersa, que possui LDI variando de 0,0 a 4,3. A área central é predominantemente ocupada com cana-de-açúcar e obteve um desempenho intermediário, atingindo o valor de 4,4, mas essa região não possui vegetação natural (somente pequenos fragmentos), pois foram substituídas pela cultura de cana-de-açúcar.

Tabela 46. Índice da Intensidade do Desenvolvimento da Paisagem (LDI) para cada uso da terra na bacia hidrográfica.

Uso da terra	Fluxo de energia não-renovável <sup>A</sup> (10 <sup>13</sup> seJ/ha/ano)	LDI
Floresta e vegetação ripária <sup>B</sup>	0,00	0,0
Cerrado <sup>B</sup>	0,00	0,0
Eucalipto e Pinus	629,23	3,8
Cana-de-açúcar com soja	773,47	4,3
Cultura anual	774,58	4,3
Cana-de-açúcar com amendoim	802,72	4,4
Cana-de-açúcar com soja e amendoim	806,33	4,4
Cana-de-açúcar	850,88	4,6
Pastagem	1340,74	5,9
Fruticultura	1777,64	6,9
Café (grupo 2)	2053,78	7,4
Café (grupo 1)	2136,51	7,5
Café (grupo 3)	2169,32	7,6
Cultura anual irrigada por pivô central	2221,10	7,7
Seringueira	2340,91	7,9
Café (grupo 4)	2428,83	8,0
Áreas urbanas	55300,00	20,9

<sup>A</sup> Tabela 33;

<sup>B</sup> Vegetação natural não utiliza energia não-renovável;

<sup>C</sup> Para as áreas urbanas foram considerados os fluxos emergéticos não-renováveis calculados por Brown e Vivas (2005; 5530E+14 seJ/ha/ano).

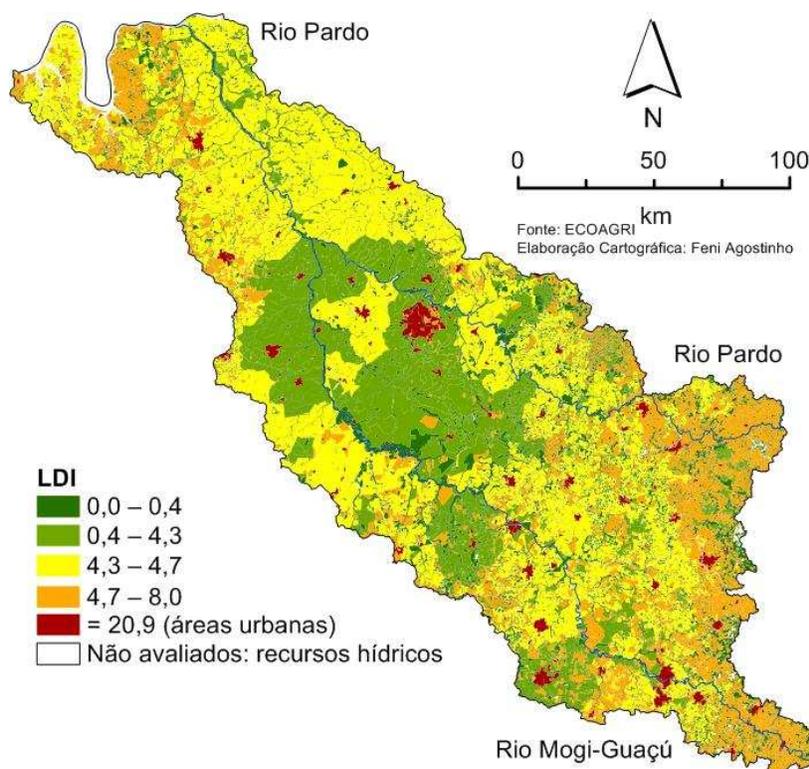


Figura 42. Distribuição espacial do LDI na bacia hidrográfica.

Esses resultados indicam que mais áreas de floresta precisam ser preservadas (o Código Florestal<sup>6</sup> precisa ser respeitado) e o manejo ecológico deve ser utilizado em todos os sistemas presentes na bacia hidrográfica, com o objetivo de reduzir o consumo de energia não-renovável porque, de acordo com Odum e Odum (2001, p.284):

“... a produtividade das terras deve ser maximizada pelo desenvolvimento de um mosaico de diferentes usos da terra, cada um manejado através de apropriados ciclos. O mosaico deveria incluir áreas com agricultura de baixa intensidade, faixas de ecossistemas complexos capazes de realizar a rotação eficiente de culturas enquanto conserva uma elevada diversidade de genes, áreas destinadas à plantação de florestas, áreas para a produção de alimentos e jardins, e brejos para o gerenciamento de águas. Ajuda deve ser fornecida para a substituição gradual de máquinas que utilizam petróleo, pesticidas, e fertilizante por trabalho humano e práticas orgânicas nas áreas que produzem alimentos, fibras e madeira”.

## 5.5. Dinâmica dos Índices Emergéticos da Bacia Hidrográfica

### 5.5.1. Cenários específicos da bacia hidrográfica em 2050

Os cenários do IPCC (2007) foram adaptados à bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçu e Pardo, chegando aos seguintes cenários específicos:

- (a) **Cenário A1'**: As tendências atuais continuam: produção de *commodities*; produção agropecuária altamente dependente da extração de petróleo e minerais; expansão da área ocupada com cana-de-açúcar (elevada receita) sobre as áreas de pastagens (baixa receita); redução das pequenas propriedades e aumento dos latifúndios; desrespeito às leis ambientais. O foco desse cenário é somente o crescimento econômico sem limitações.
- (b) **Cenário A2'**: Respeito à legislação ambiental em vigor (Código Florestal) em relação às áreas de Preservação Permanente e Reserva Legal. A produção agropecuária continuaria com o mesmo padrão do Cenário A1', sem alterar o uso agropecuário da terra na bacia hidrográfica e com sua dependência de recursos não-renováveis. Apesar disso, em algumas regiões a produção orgânica começa a ganhar força devido à imposição do mercado consumidor. O foco desse cenário também é o crescimento econômico obedecendo às leis ambientais.

---

<sup>6</sup> O Código Florestal Brasileiro (Lei Federal nº 4.771/65; CÓDIGO FLORESTAL, 1965), define e estabelece a proteção integral das Áreas de Preservação Permanente (APP) e das Áreas de Reserva Legal (RL).

- (c) **Cenário B1'**: Respeito à legislação ambiental em vigor (Código Florestal) em relação às áreas de Preservação Permanente e Reserva Legal. A produção agropecuária reduziria moderadamente o uso de recursos não-renováveis através da inserção de conceitos ecológicos em seu manejo. A área de cana-de-açúcar permaneceria inalterada, mas a área de pastagem seria reduzida e em seu lugar seriam produzidos cultivos anuais e frutas através de manejo menos dependente de derivados de petróleo que os Cenários A1' e A2'. O manejo orgânico já é utilizado pela maioria dos sistemas de produção. O foco é um maior equilíbrio entre o econômico, o social e o ambiental em escala nacional e global, mesmo assim o fator econômico ainda é o que prevalece nas decisões.
- (d) **Cenário B2'**: Respeito à legislação ambiental em vigor (Código Florestal) em relação às áreas de Preservação Permanente e Reserva Legal. A produção agropecuária reduziria fortemente seu uso de recursos não-renováveis. As áreas ocupadas com cana-de-açúcar e pastagem seriam reduzidas e convertidas para a produção de alimentos de maneira agroecológica. Maior número de pequenas propriedades agroecológicas passaria a ocupar, de maneira bem distribuída, a área total da bacia. Sistemas integrados de produção de alimento, energia e serviços ambientais seria o principal objetivo do uso da terra, e também estariam bem distribuídos pela bacia. O foco é o equilíbrio econômico, social e ambiental em escala local e regional, onde a qualidade de vida e o respeito ao ser humano e ao meio ambiente são extremamente valiosos.

### **5.5.2. Fluxo de energia não-renovável para o período entre 1962 e 2050 no Brasil**

#### **Estimativa da energia não-renovável para os anos de 1962 e 1988 no Brasil**

Considerando o combustível, o fertilizante, a água de irrigação, a quantidade de máquinas agrícolas e a mão-de-obra como indicadores da energia não-renovável utilizada pela agricultura brasileira, a Tabela 47 mostra que a maior energia em 2002 é derivada da mão-de-obra. Na maioria dos casos, a mão-de-obra possui um grau de renovabilidade e não poderia ser considerada totalmente não-renovável. A mesma suposição poderia ser feita para a água de irrigação. Dessa forma, as outras entradas

que representam a dependência de energia não-renovável seriam os combustíveis, fertilizantes e máquinas agrícolas. Todos eles possuem a mesma ordem de grandeza em energia para o ano 2002 e qualquer um poderia ser utilizado para representar o uso de energia não-renovável. Por se tratar de uma entrada que dirige qualquer sistema, os combustíveis foram adotados como representativos.

A relação de 1,46 entre 2002/1962 e 1,21 entre 2002/1988 foi considerada para representar a proporção de energia não-renovável (N, Mn e Sn) usada nesses anos. Em outras palavras, tem-se que os fluxos emergéticos não-renováveis para o ano de 2002 são 1,46 vezes maiores que os valores de 1962, e 1,21 vezes maiores que os valores de 1988. Para os anos intermediários, um modelo linear foi considerado.

Tabela 47. Principais entradas utilizadas pela agricultura Brasileira para os anos de 1962, 1988 e 2002.

	Combustível <sup>a</sup>	Fertilizante	Área irrigada	Máquinas <sup>b</sup>	Mão-de-obra
1962	5,34E6 tpe <sup>c</sup>	1,62E5 ton	4,32E5 ha	1,00E5 unid.	15,63E6 pes.
1988	6,46E6 tpe <sup>c</sup>	37,50E5 ton	22,16E5 ha	7,44E5 unid.	23,39E6 pes.
2002	7,81E6 tpe <sup>c</sup>	78,12E5 ton	31,49E5 ha	8,48E5 unid.	17,17E6 pes.
2002/1962	1,46	48,22	7,28	8,48	1,10
2002/1988	1,21	2,26	1,42	1,14	0,73
Tr <sup>d</sup>	9,21E+4seJ/J	5,28+E12seJ/kg	6,89+E4seJ/j	1,13+E13seJ/kg	2,80+E6seJ/J
Emer.2002	3,01E22 seJ <sup>e</sup>	4,12E22 seJ	3,25E21 seJ <sup>f</sup>	2,87E22 seJ <sup>g</sup>	1,63E23 seJ <sup>h</sup>

Fonte dos dados de consumo da agricultura Brasileira: Gonçalves, Ferreira e Souza, 2008; Christofidis, 2001; Balanço Energético Nacional, 2006; FAO, 2005.

<sup>a</sup> Inclui Madeira, diesel, gás, gasolina, eletricidade e carvão.

<sup>b</sup> Inclui tratores e colheitadeiras. Unid. = unidade.

<sup>c</sup> tpe = toneladas de petróleo equivalente.

<sup>d</sup> Os valores de Intensidade Emergética e referências podem ser vistos no Apêndice C. Combustível em seJ/J, Fertilizante em seJ/kg, Água em seJ/J, Aço em seJ/kg e Mão-de-obra em seJ/J.

<sup>e</sup> 1,0E-6 ton combustível = 41860 J

<sup>f</sup> 1 ha de área irrigada corresponde a em média a 3 milhões de litros de água por ano, ou 15,0E+9 J/ha.

<sup>g</sup> 1 máquina agrícola possui em média 3 ton de aço.

<sup>h</sup> 270 dias de trabalho por ano com gasto de 3000 kcal/pessoa/dia (12560400 J/pessoa/dia); pes. = pessoas.

## Estimativa da energia não-renovável para cenários específicos em 2050 no Brasil

A Tabela 48 mostra os valores dos fluxos de energia não-renovável da natureza (N) e da economia (Mn+Sn) encontrados em literatura.

Tabela 48. Relação entre os fluxos emergéticos não-renováveis da natureza (N) e da economia (Mn+Sn) para diferentes sistemas de produção agropecuários.

Processo	Convencional		Orgânico		Agroecológico		Ref. <sup>c</sup>
	N	Mn+Sn	N	Mn+Sn	N	Mn+Sn	
Policultura Brasil <sup>a</sup>	9,94E+15	1,93E+15	-	-	3,70E+15	6,93E+14	[1]
Soja Brasil <sup>a</sup>	1,68E+15	4,64E+15	0,00E+00	3,39E+15	0,00E+00	3,00E+15	[2]
Soja Brasil <sup>a</sup>	5,72E+14	3,29E+15	2,86E+14	7,75E+14	-	-	[3]
Leite Brasil <sup>a, d</sup>	5,08E+15	1,33E+16	-	-	3,57E+14	4,74E+15	[4]
Laranja Itália <sup>a, e</sup>	7,70E+15	1,50E+16	5,02E+15	6,12E+15	-	-	[5]
Vinho Itália <sup>b</sup>	2,03E+13	4,39E+15	1,69E+13	2,79E+15	-	-	[6]

<sup>a</sup> Fluxos emergéticos em seJ/ha/ano.

<sup>b</sup> Fluxos emergéticos em seJ/ton/ano.

<sup>c</sup> Referência: [1] Agostinho et al., 2008; [2] Ortega et al., 2005; [3] Cavalett, 2008; [4] Abdallah, 2005; Albuquerque, 2006; [5] La Rosa, Siracusa, Cavallaro, 2008; [6] Pizzigallo, Granai e Borsa, 2008.

<sup>d</sup> Média entre 9 propriedades convencionais e entre 4 propriedades agroecológicas.

<sup>e</sup> Orgânico: média entre 3 propriedades orgânicas.

Com esses dados foi obtida a relação em porcentagem entre o manejo convencional e o ecológico (Tabela 49), o que levou às seguintes considerações na construção dos cenários específicos:

- (a) O valor de N no sistema orgânico corresponde a 50% do valor de N do sistema convencional.
- (b) O valor de Mn+Sn para o sistema orgânico corresponde a 50% do valor de Mn+Sn do sistema convencional.
- (c) O valor de N para o sistema agroecológico corresponde a 15% do valor de N do sistema convencional.
- (d) O valor de Mn+Sn para o sistema agroecológico corresponde a 45% do valor de Mn+Sn do sistema convencional.

Tabela 49. Relação (em %) entre os fluxos emergéticos não-renováveis da natureza (N) e da economia (Mn+Sn) considerando a conversão do manejo convencional para ecológico<sup>a</sup>.

Processo	Convencional para Orgânico		Convencional para Agroecológico	
	N	Mn+Sn	N	Mn+Sn
Policultura Brasil	-	-	37	36
Soja Brasil	0	73	0	65
Soja Brasil	50	24	-	-
Leite Brasil	-	-	7	36
Laranja Itália	65	41	-	-
Vinho Itália	83	64	-	-
Média:	50	50	15	45

<sup>a</sup> Valores calculados através dos dados da Tabela 48.

### **5.5.3. Fatores limitantes do uso e ocupação da terra para os cenários em 2050 para a bacia hidrográfica**

A relação entre a população e a área urbana e as classes de capacidade de uso do solo foram as duas variáveis consideradas para limitar (valor máximo) o uso e ocupação da terra nos cenários. Os subitens a seguir mostram os resultados obtidos.

#### **Limitação da área urbana para a bacia hidrográfica**

O valor estimado da máxima área urbana em 2050 é a seguinte:

- (a) População da bacia em 2002 = 3.466.476 habitantes (ECOAGRI, 2006).
- (b) Área urbana na bacia em 2002 = 75.502 ha (ECOAGRI, 2006).
- (c) População do estado de São Paulo em 2005 = 40.442.795 habitantes (IBGE, 2006).
- (d) População do estado de São Paulo em 2050 (projeção) = 49.200.000 habitantes (WALDVOGEL et al., 2003).
- (e) Aumento da população do estado de São Paulo entre 2005 e 2050 = 21,6%.
- (f) Considerando essa porcentagem, a bacia terá 4.215.234 habitantes em 2050. Para uma relação linear da população com a área urbana, em 2050 a bacia terá 91.810 ha de área urbana.

#### **Limitação do uso da terra para fins agropecuários para a bacia hidrográfica**

A área total na bacia com classe de capacidade I, II, III e IV é de 2.887.510 ha (Tabela 50). Essa é a área máxima que as culturas de cana-de-açúcar, café ou anuais podem ocupar na bacia, pois, teoricamente, elas somente poderiam avançar sobre as culturas que se encontram nas classes de uso I, II, III e IV. A dinâmica entre os usos depende das forças externas, principalmente do mercado e do aumento da temperatura global. De acordo com os graus de aumento de temperatura estabelecidos pelos cenários do IPCC (2007), as áreas de café poderão ser reduzidas (Tabela 51).

Área total na bacia com classe de capacidade V, VI e VII é de 166.433 ha (Tabela 52). Essa é a área máxima que a produção de frutas, seringueira, silvicultura ou pastagem poderiam ocupar na bacia hidrográfica, pois, teoricamente, somente poderiam avançar sobre as culturas que se encontram nas classes de uso V, VI e VII. Novamente, a força de mercado é a principal força que dirige a dinâmica do uso da terra, ou seja, que direciona qual cultura prevalece sobre a outra.

Tabela 50. Áreas na bacia em 2002 ocupando classes de terra de capacidade I, II, III e IV.

Uso da terra	Área (ha)
Área de Mineração	566,38
Área urbana	51657,08
Café	21994,94
Cana-de-açúcar	1536278,82
Cerrado	57170,29
Corpos d'água	27849,39
Cultura anual	72938,55
Cultura anual irrigada	32110,02
Floresta e veg. ripária	407322,42
Fruticultura	222933,31
Outros	3236,57
Pastagem	355642,02
Seringueira	3140,89
Silvicultura	94669,14
Total:	2887509,82

Fonte: Apêndice F.

Tabela 51. Área inapta para a produção de café pelo o aumento da temperatura média global.

Aumento de temperatura em relação à média da década de 90	Área inapta do estado de São Paulo para produção de café
+1,0°C	41,5%
+3,0°C	69,6%
+5,8°C	96,6%

Fonte: Assad et al., 2004.

Tabela 52. Áreas de cada uso da terra na bacia em 2002 ocupando classes de capacidade V, VI e VII.

Uso da terra	Área (ha)
Área de Mineração	89,38
Área urbana	1657,49
Café	483,39
Cana-de-açúcar	60914,99
Cerrado	4012,41
Corpos d'água	3315,41
Cultura anual	4167,05
Cultura anual irrigada	980,99
Floresta e veg. ripária	49053,64
Fruticultura	8000,34
Outros	1220,82
Pastagem	26718,74
Seringueira	0,00
Silvicultura	5818,73
Total:	166433,40

Fonte: Apêndice F.

#### 5.5.4. Uso e ocupação da terra para o período entre 1962 e 2050 para a bacia hidrográfica

A dinâmica do uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica para os quatro cenários são descritas abaixo.

##### **Cenário A1'**

- (a) **Dinâmica do uso e ocupação da terra:** Devido ao mercado de agro-combustível, todas as áreas de Pastagens que em 2002 ocupavam terra com classe de capacidade I, II, III e IV (355642ha, Tabela 50) são convertidas em áreas com Cana-de-açúcar. O crescimento populacional e a expulsão de pequenos agricultores para as cidades causam um crescimento das Zonas Urbanas de 75.502 ha em 2002 para 91810 ha em 2050, onde metade desse crescimento ocorre sobre área de Mata Atlântica e a outra metade sobre área de Cerrado. As áreas de Café atuais, que em sua maioria ocupam áreas de relevo mais ondulado na bacia, são reduzidas em 70% devido ao aquecimento global (+2,0°C; IPCC, 2007; Tabela 51) e convertidas em áreas de Fruticultura, Culturas Anuais (irrigadas e não irrigadas) e Pastagem. Todos os outros usos da terra permanecem inalterados.
- (b) **Redução de energia não-renovável:** Não há redução da quantidade de energia não-renovável utilizada pelos sistemas agropecuários, pois seu manejo não é alterado (Tabela 53).

##### **Cenário A2'**

- (a) **Dinâmica do uso e ocupação da terra:** Para esse Cenário, em 2050 o uso e ocupação da terra é muito parecido ao do Cenário A1', o grande diferencial é o respeito ao Código Florestal<sup>7</sup>. Devido ao mercado de agro-combustível, todas as áreas de Pastagens que em 2002 ocupavam terra com classe de capacidade I, II, III e IV (355642 ha, Tabela 50) são convertidas em áreas com Cana-de-açúcar. O crescimento populacional e a expulsão de pequenos agricultores para as cidades causam um crescimento das Zonas Urbanas de 75.502 ha em 2002 para 91810 ha em 2050, onde metade desse crescimento ocorre sobre as áreas de Mata Atlântica e a outra metade sobre as áreas de Cerrado. As áreas de Café atuais, que em sua maioria ocupam áreas de relevo mais ondulado na

---

<sup>7</sup> Ressalta-se aqui que nesta análise não se aplicam as modificações adivindas da Lei de Reserva Legal do Estado de São Paulo (Lei nº 12.927 de 23 de abril de 2008).

bacia, são reduzidas em 40% devido ao aquecimento global (+1,7°C; IPCC, 2007; Tabela 51) e convertidas igualmente em áreas de Fruticultura, Culturas Anuais (irrigadas e não irrigadas) e Pastagem. Para respeitar o código Florestal Brasileiro em relação à Reserva Legal, excluindo as áreas ocupadas com Floresta e Vegetação Ripária, Cerrado, Corpos d'água, Zona Urbana e Mineração, todos os outros usos da terra perdem 20%<sup>8</sup> (CÓDIGO FLORESTAL, 1965) de sua área que serão convertidos em Floresta e Vegetação Ripária. Em relação à Área de Preservação Permanente, as áreas ocupadas ilegalmente (Tabela 54) serão convertidas em áreas de Floresta e Vegetação Ripária (exceto as Zonas Urbanas que possuem importância social).

Tabela 53. Redução da emergência não-renovável do uso e ocupação da terra para os quatro cenários específicos – Ano base: 2002.

Uso da terra	Redução de emergência não-renovável em porcentagem <sup>a</sup>							
	Cenário A1'		Cenário A2'		Cenário B1'		Cenário B2'	
	N	Mn+Sn	N	Mn+Sn	N	Mn+Sn	N	Mn+Sn
Cana-de-açúcar	0	0	0	0	50	0	15	45
Café	0	0	0	0	50	50	15	45
Cultura anual	0	0	0	0	50	50	15	45
Cultura anual irrigada	0	0	0	0	50	50	15	45
Fruticultura	0	0	0	0	50	50	15	45
Pastagem	0	0	0	0	50	50	15	45
Eucalipto e pinus	0	0	0	0	50	50	15	45
Seringueira	0	0	0	0	50	50	15	45
Floresta e veg. ripária	0	0	0	0	0	0	0	0
Cerrado	0	0	0	0	0	0	0	0

<sup>a</sup> Valores estimados de acordo com os cenários específicos considerados neste trabalho e literatura científica (Os valores indicam a porcentagem em relação ao total utilizado no ano de 2002. N = emergência não-renovável da natureza; Mn = material não-renovável da economia; Sn = serviços não-renováveis da economia).

Tabela 54. Áreas de Preservação Permanente (APP) ilegalmente ocupadas na bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçu e Pardo em 2002.

Uso da terra	Área em APP (ha)	Uso da terra	Área em APP (ha)
Café	100,38	Pastagem	4532,44
Cana-de-açúcar	133,60	Seringueira	20,92
Cultura anual	682,55	Silvicultura	416,08
Cultura anual irrigada	58,35	Zonas urbanas	8772,34
Fruticultura	1568,18		

Fonte: Ecoagri, 2006.

<sup>8</sup> Segundo o Código Florestal (1965), toda propriedade no Estado de São Paulo é obrigada a preservar 20% de sua área (já descontada as Áreas de Preservação Permanente - APP) como Área de Reserva Legal (RL). Na presente tese, a escala de trabalho impossibilita que sejam realizados estudos em pequenas escalas (propriedades agrícolas), para calcular as áreas de RL e APP já existentes, ou ainda, verificar se algumas dessas propriedades averbaram áreas em outras propriedades localizadas em regiões fora da bacia em estudo. Dessa forma, os 20% de perda de área considerados no presente estudo, provavelmente estão superestimados.

- (b) **Redução de energia não-renovável:** Não há redução da quantidade de energia não-renovável utilizada pelos sistemas agropecuários, pois seu manejo não é alterado (Tabela 53).

#### **Cenário B1'**

- (b) (a) **Dinâmica do uso e ocupação da terra:** Em 2050 o uso e ocupação da terra é parecido ao do Cenário A2', o grande diferencial é o manejo. Devido ao mercado de agro-combustível, todas as áreas de Pastagens que em 2002 ocupavam terra com classe de capacidade I, II, III e IV (355642 ha, Tabela 50) são convertidas em áreas com Cana-de-açúcar. O crescimento populacional e a expulsão de pequenos agricultores para as cidades causam um crescimento das Zonas Urbanas de 75.502 ha em 2002 para 91.810 ha em 2050, a metade desse crescimento ocorre nas áreas de Floresta e Vegetação Ripária e a outra metade nas áreas de Cerrado. As áreas de café de 2002, que em sua maioria ocupam áreas de relevo mais ondulado na bacia, são reduzidas em 40% devido ao aquecimento global (+0,9°C; IPCC, 2007; Tabela 51) e convertidas em áreas de Fruticultura e Culturas Anuais não irrigadas. Para atender as disposições sobre Reserva Legal, excluindo as áreas ocupadas com Floresta, Cerrado, Corpos d'água, Zona Urbana, Mineração, todos os outros usos da terra perdem 20% (CÓDIGO FLORESTAL, 1965), essa área será convertida em Floresta e Vegetação Ripária. Além disso, 10% das áreas de Cultura Anual não irrigada e Fruticultura de 2002 são convertidas em Floresta e Vegetação Ripária devido ao manejo ecológico que depende dos serviços ambientais florestais. Em relação à Área de Preservação Permanente, as áreas que ilegalmente ocupadas atualmente (Tabela 54) serão convertidas em área de Floresta e Vegetação Ripária (exceto as Zonas Urbanas que possuem importância social).
- (b) **Redução de energia não-renovável:** Devido ao melhor manejo do solo pela adoção de conceitos ecológicos, a energia não-renovável da natureza se reduz em 50% (Tabela 53). O manejo ecológico (orgânico) reduz a energia não-renovável de materiais e serviços da economia em 50% (Tabela 53) para todas as culturas em relação ao ano de 2002, exceto para a cana-de-açúcar que permanece com a mesma dependência de recursos não-renováveis.

## **Cenário B2'**

- (a) **Dinâmica do uso e ocupação da terra:** As pastagens que em 2002 ocupavam terra com classe de capacidade I, II, III e IV (355642 ha, Tabela 50) são convertidas igualmente em Culturas Anuais não irrigadas e Fruticultura. O crescimento populacional e a expulsão de pequenos agricultores para as cidades causam um crescimento das Zonas Urbanas de 75.502 ha em 2002 para 91810 ha em 2050, metade desse crescimento ocorre nas áreas de Floresta e Vegetação Ripária e metade no Cerrado. As áreas de café de 2002, que ocupam áreas de relevo ondulado são reduzidas em 40% devido ao aquecimento global (+1,2°C; IPCC, 2007; Tabela 51) e ocupada por Fruticultura e Culturas Anuais não irrigadas. Para atender as disposições sobre Reserva Legal, fora as áreas ocupadas com Floresta, Cerrado, Corpos d'água, Zona Urbana, Mineração, todos os outros usos da terra perdem 20% (CÓDIGO FLORESTAL, 1965) para serem ocupadas com Floresta e Vegetação Ripária. Além disso, mais 20% das áreas de Culturas Anuais não irrigadas e Fruticultura em 2002 passam a ser florestas devido ao manejo agroecológico, que depende dos serviços ambientais. As Áreas de Preservação Permanente, ilegalmente ocupadas (Tabela 54) serão convertidas em floresta e vegetação ripária (exceto as Zonas Urbanas que possuem importância social). As outras áreas permanecem inalteradas em relação ao cenário A2'.
- (b) **Redução de energia não-renovável:** Devido ao melhor manejo do solo agrícola pelo uso de conceitos ecológicos, a energia não-renovável da natureza se reduz à 15% (Tabela 53) sobre os valores de 2002. O manejo agroecológico reduz a energia não-renovável de materiais e serviços da economia em 45% (Tabela 53) para todas as culturas em relação a 2002.

Considerando a dinâmica no uso e ocupação da terra dos cenários específicos descritos acima, foram elaboradas a Tabela 55 e a Figura 43.

Tabela 55. Uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçu e Pardo para os anos de 1962, 1988, 2002 e 2050 (quatro cenários específicos).

Uso da terra	Área em hectares							
	1962 <sup>a</sup>	1988	2002	Cenário A1'	Cenário A2'	Cenário B1'	Cenário B2'	
				2050	2050	2050	2050	
Área de Mineração	600	643	655	655	655	655	655	
Área urbana	30000	55966	75502	91810	91810	91810	91810	
Café	320000	26321	22588	6776	10741	10741	10741	
Cana-de-açúcar	200000	796543	1629027	1984669	1587602	1587602	1303088	
Cerrado	450216	58018	62778	54624	54624	54624	54624	
Corpos d'água	50000	48980	49773	49773	49773	49773	49773	
Cultura anual	586500	538237	80862	84815	65814	59083	157238	
Cultura anual irrigada	5000	16446	33354	37307	28432	26625	26625	
Floresta e veg. Ripária	119740	498771	464160	456006	965090	997708	1101455	
Fruticultura	20000	230585	236288	240241	189269	166996	249608	
Outros	2166	2940	4481	4481	4481	4481	4481	
Pastagem	1380982	786763	392621	40932	26858	25051	25051	
Seringueira	0	175	3401	3401	2700	2700	2700	
Silvicultura	0	104812	109710	109710	87352	87352	87352	
Total:	3165207	3165207	3165207	3165207	3165207	3165207	3165207	

<sup>a</sup> Para o ano de 1962, as informações sobre uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica extraídos de Ecoagri (2006) não são compatíveis com os dados para os outros anos por estarem muito agregados. Assim, outras referências (DIAS, 1963; 1967; ETTORI, 1964; MELO, 1983) adicionais foram utilizadas.

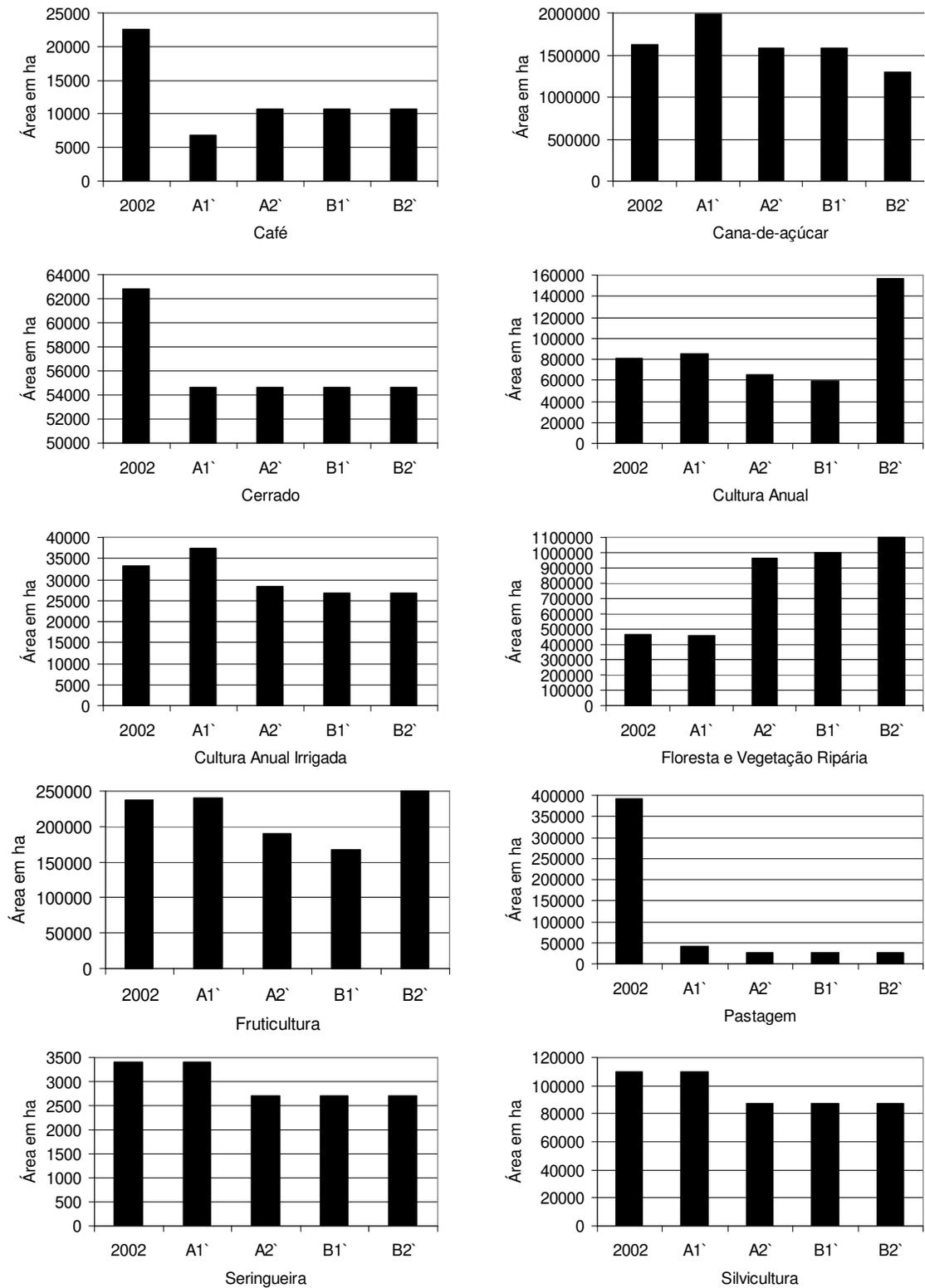


Figura 43. Dinâmica do uso da terra para a bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçu e Pardo no período entre 2002 e 2050 para os cenários específicos A1', A2', B1' e B2'.

### 5.5.5. Dinâmica dos índices emergéticos da bacia hidrográfica

A Figura 44 mostra a variação da Transformidade na bacia hidrográfica no período de 1962 a 2050, considerando os quatro cenários específicos (A1', A2', B1', e B2').

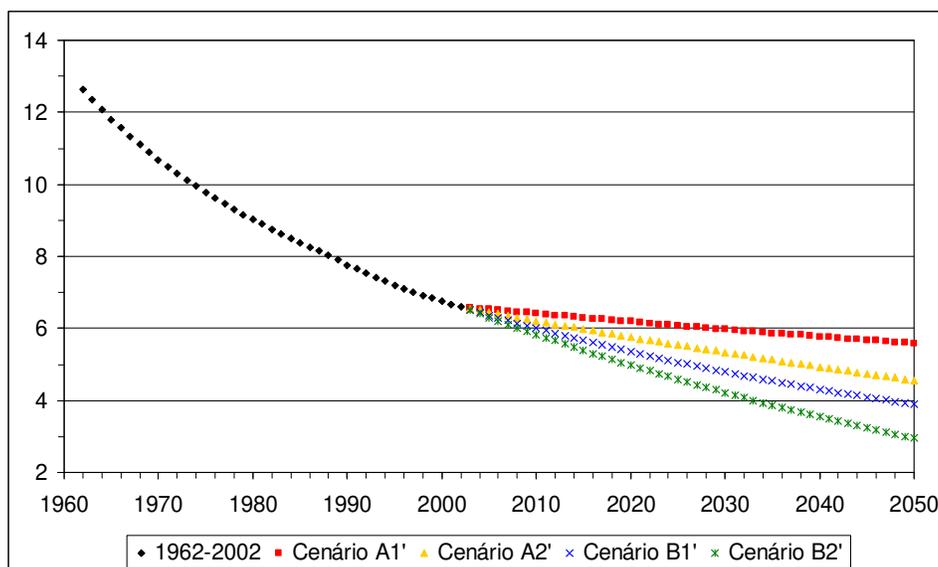


Figura 44. Dinâmica do Índice Transformidade ( $Tr$  em  $10^4 \text{ seJ/J}$ ) para a bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçu e Pardo.

No período de 1962 até 2002 percebe-se uma redução no valor desse índice emergético (de  $13 \cdot 10^4$  para  $6,5 \cdot 10^4 \text{ seJ/J}$ ), o que significa que a eficiência emergética aumentou, mas é preciso destacar que nos cálculos foi considerada a produtividade agrícola (em  $\text{kg/ha/ano}$ ) do ano de 2002 para todo o período estudado, o que pode subestimar a  $Tr$ . Nesse período, os sistemas agropecuários com menor Transformidade (como cana-de-açúcar com  $6,5 \cdot 10^4 \text{ seJ/J}$ ) se expandiram sobre sistemas com maior Transformidade (como áreas de pastagem  $300 \cdot 10^4 \text{ seJ/J}$ ) (Figura 45).

Considerando os cenários para 2050 pode-se dizer que:

**A1'**: as tendências atuais continuam, resultando em uma redução do índice de Transformidade de  $6,5 \cdot 10^4 \text{ seJ/J}$  para  $5,5 \cdot 10^4 \text{ seJ/J}$  (1,2 vezes menor que em 2002).

**A2'**: o respeito às leis ambientais permite aumentar a eficiência ecossistêmica o que leva a uma redução da Transformidade ( $4,5 \cdot 10^4 \text{ seJ/J}$ ; 1,4 vezes menor que em 2002).

**B1' e B2'**: o respeito à legislação ambiental e a redução do uso de energia não-renovável resultou em melhor desempenho: B1' com  $4 \cdot 10^4$  seJ/J é 1,6 vezes menor que 2002; B2' com  $3 \cdot 10^4$  seJ/J é 2,2 vezes menor que 2002.

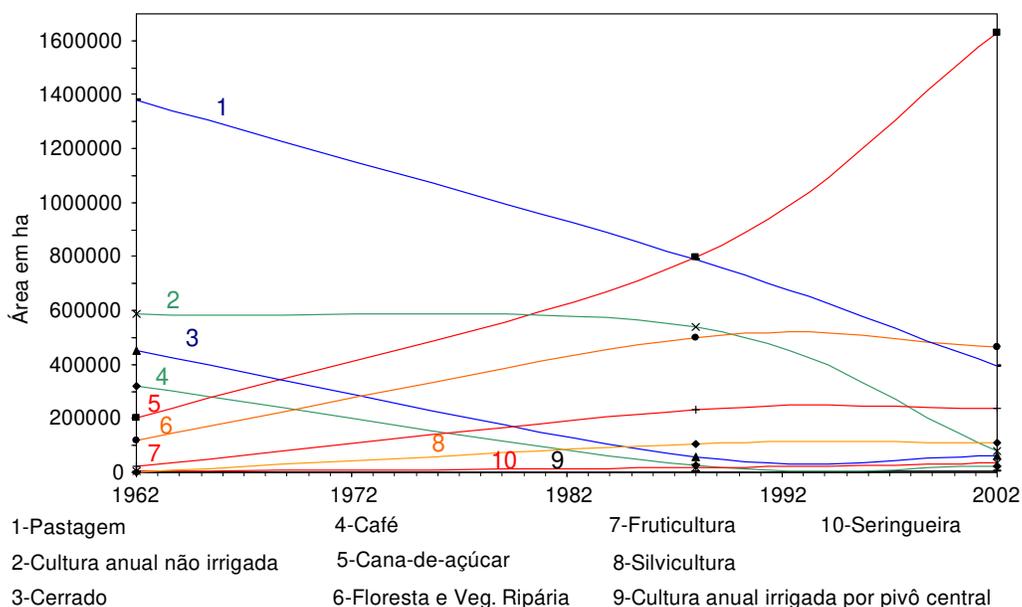


Figura 45. Dinâmica do uso da terra na bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçu e Pardo para o período entre 1962 e 2002.

De maneira geral, pode-se dizer que o respeito às leis ambientais e a redução de energia não-renovável leva a uma redução máxima de 6,5 para  $3 \cdot 10^4$  seJ/J. Para uma melhora ainda maior sobre a Transformidade da bacia, deveria haver um aumento da energia produzida e uma diminuição de energia utilizada, principalmente de recursos não-renováveis.

O gráfico do Índice de Renovabilidade (Figura 46) indica que, no período de 1962 a 2002, a sustentabilidade da bacia caiu de 41% para 35%. Considerando os cenários em 2050 tem-se:

**A1'**: O uso da terra na bacia hidrográfica para esse cenário resulta em uma Renovabilidade até 38%, que indica baixa sustentabilidade.

**A2'**: O respeito às leis ambientais aumentou a Renovabilidade até 40%, um pouco maior que o valor do cenário A1', mas com uma diferença pequena.

**B1' e B2'**: O respeito às leis ambientais e a redução na dependência de energia não-renovável conduz a melhor desempenho em relação aos cenários anteriores, alcançando 46% e 63% respectivamente.

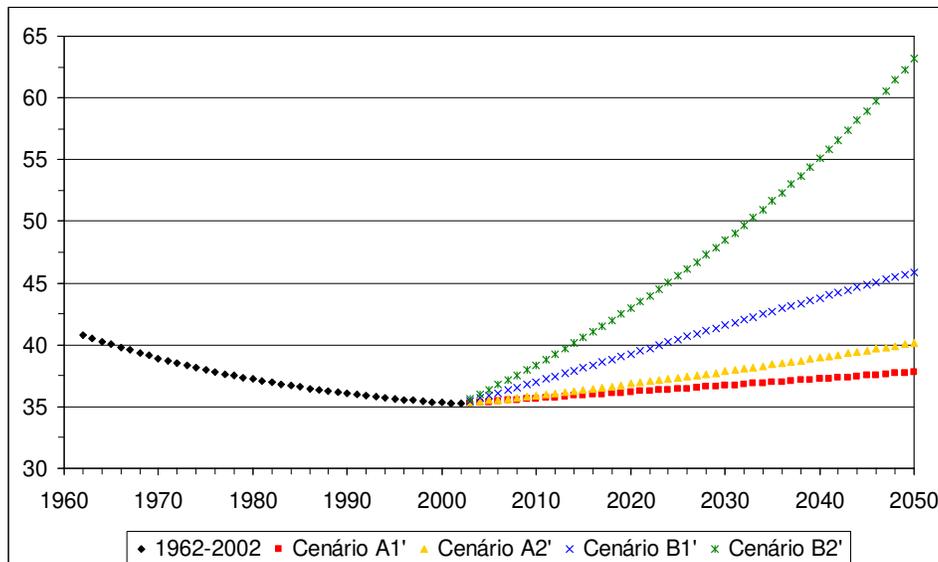


Figura 46. Dinâmica do Índice Renovabilidade (%R) para a bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçu e Pardo.

A diferença entre a Renovabilidade dos cenários A1'e B2' (25% em valores absolutos) refere-se basicamente à diminuição de energia não-renovável, pois se considerarmos apenas o respeito à legislação ambiental, essa diferença não é muito significativa (2% em valores absolutos entre A1'e A2'). Além disso, a adoção de sistemas agropecuários integrados mais renováveis permite um melhor desempenho. Somente para o cenário B2', a redução de energia não-renovável permitiu elevar a Renovabilidade acima de 50%, valor que caracteriza um sistema sustentável em médio prazo.

A dinâmica do índice Rendimento Emergético (EYR) para a bacia hidrográfica pode ser observada na Figura 47.

Observa-se uma tendência de queda do rendimento líquido no período de 1962 a 2002, pois o índice EYR diminuiu de 1,42 a 1,33. Esses valores indicam que a energia oriunda da economia utilizada pela bacia hidrográfica aumentou de 70% a 75% em relação a energia total, evidenciando sua grande dependência sobre esses recursos.

A dinâmica da bacia está fortemente relacionada com as características do cultivo da cana-de-açúcar (com EYR de 1,33) que passou a ocupar aproximadamente metade da área da bacia em 2002 (Figura 45). Mesmo com essa dinâmica, a variação não foi grande (diferença de 0,09 unidades entre o maior e o menor valor).

Considerando agora os cenários para 2050 tem-se:

**A1'**: O EYR variou muito pouco em relação ao ano de 2002 (de 1,33 para 1,35).

**A2'**: O respeito à legislação ambiental e a dinâmica do uso da terra resultam em um maior rendimento (EYR=1,41), mas que ainda indica grande dependência de recursos da economia (71% da energia total).

**B1' e B2'**: O cenário B1' (EYR=1,41) mostra um desempenho similar ao cenário A2'. O cenário B2' reduziu o uso de energia não-renovável da economia em relação a 2002 e obteve EYR de 1,55. Mesmo com o melhor desempenho entre todos os cenários, a dependência de energia da economia para esse cenário ainda é grande (64% da energia total).

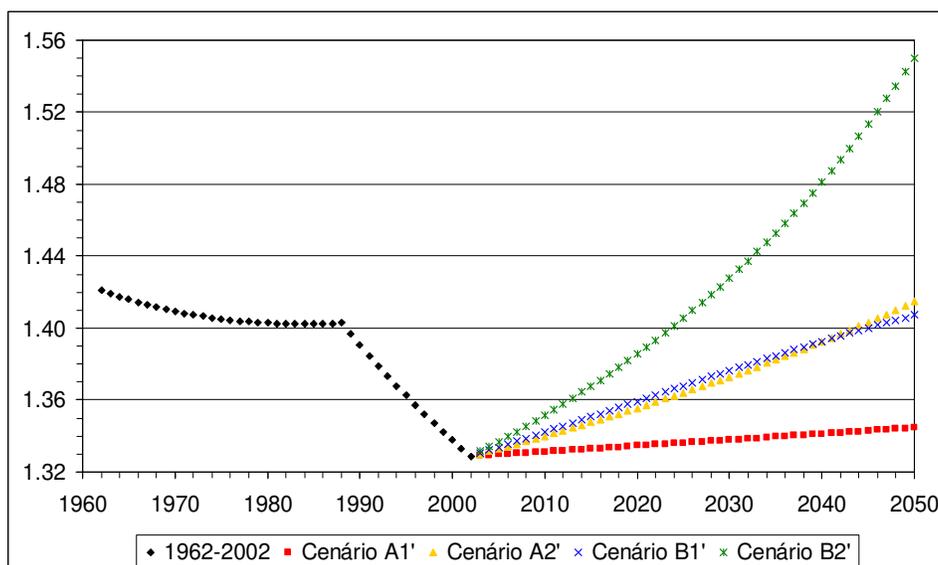


Figura 47. Dinâmica do Índice Rendimento Emergético (EYR) para a bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçu e Pardo.

De maneira geral, o respeito à legislação ambiental e a redução de energia não-renovável da economia até 45% em relação a 2002 (mostrado pelo cenário B2'; Tabela 53), resultaram em melhor desempenho entre os cenários considerados. Mesmo assim, o EYR indica que a bacia precisa aumentar o uso de recursos da natureza e reduzir o uso de recursos da economia para atingir valores de EYR considerados de bom desempenho (por exemplo, um EYR mínimo de 2 que indica que 50% da energia total provém da economia).

A Figura 48 mostra a dinâmica do Índice de Investimento Emergético (EIR) para a bacia hidrográfica. Observa-se uma tendência de aumento da razão de investimento no período de 1962 a 2002 (de 2,38 para 3,05). Esse aumento de EIR está vinculado ao aumento do investimento tecnológico e do uso de insumos industriais. Isso significa,

considerando o período de 1962 a 2002, que para cada unidade de energia provida gratuitamente da natureza, são necessárias de 2,38 a 3,05 unidades de energia providas da economia. A relação entre a energia da economia e da natureza é muito alta, reforçando os resultados obtidos pelo EYR que caracteriza os sistemas como potencialmente insustentáveis.

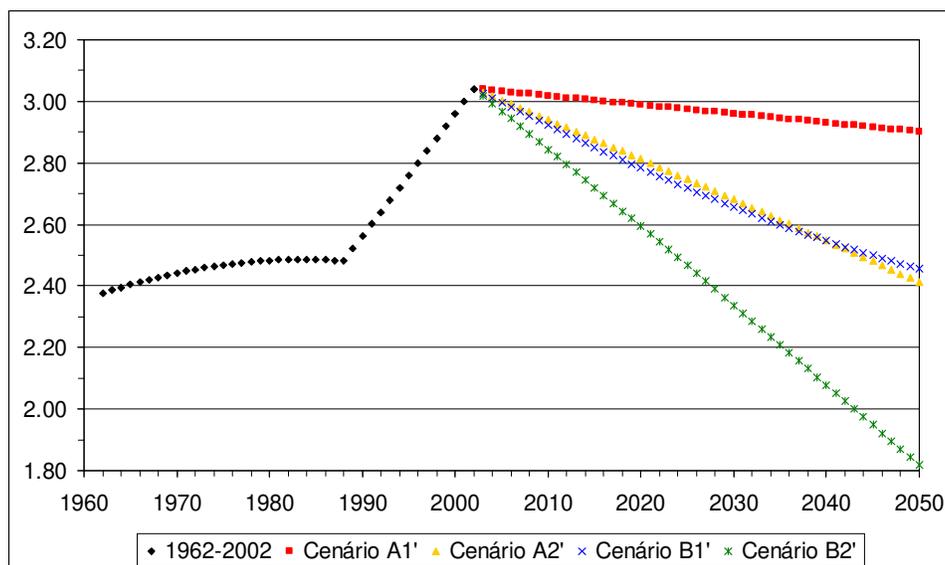


Figura 48. Dinâmica do Índice Investimento Emergético (EIR) para a bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçu e Pardo.

Considerando agora os cenários para 2050 tem-se:

**A1'**: A variação no uso da terra na bacia alterou muito pouco o EIR em relação ao ano de 2002 (de 3,05 para 2,90).

**A2'**: A obediência à legislação ambiental resulta em moderada diferença em relação ao ano de 2002 (de 3,05 para 2,40), com desempenho melhor que o cenário A1', mas ainda a diferença é pequena.

**B1'**: Para esse cenário, além da obediência à legislação ambiental também houve uma redução de 50% de energia não-renovável em relação a 2002, mas isso não refletiu em grande diferença em relação ao cenário A2', pois o EIR obtido foi de 2,45.

**B2'**: Teve o melhor desempenho entre todos os cenários com um EIR de 1,80. O respeito à legislação ambiental, a redução de energia não-renovável da economia em 55% e não-renovável da natureza em 85% em relação a 2002 são responsáveis por esse desempenho. Cabe salientar que esse cenário, mesmo

obtendo o melhor EIR dos cenários, ainda não atingiu valores em torno de 1 que correspondem ao uso equilibrado entre recursos da economia e da natureza.

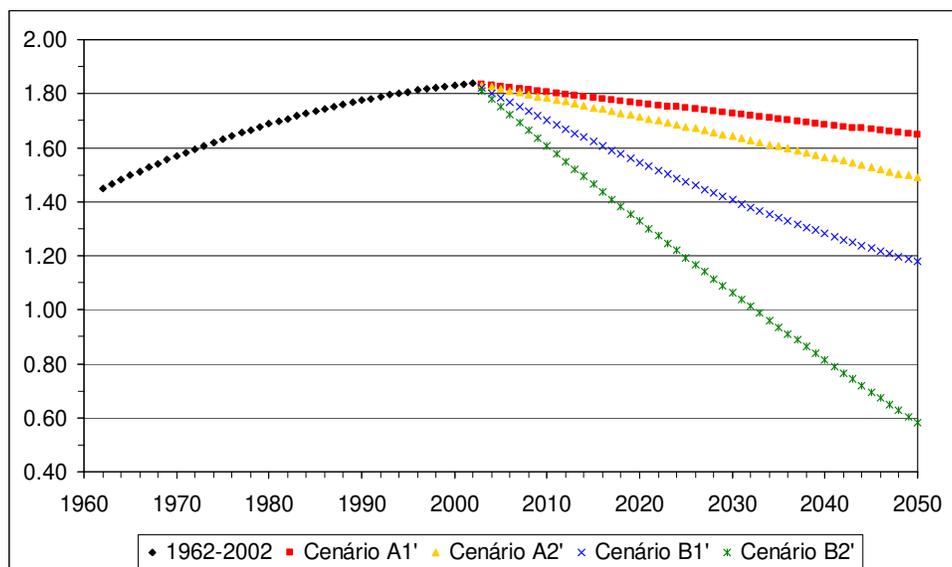


Figura 49. Dinâmica do Índice Carga Ambiental (ELR) para a bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçu e Pardo.

A dinâmica do Índice Carga Ambiental (ELR) pode ser visto na Figura 49. No período de 1962 a 2002 percebe-se um aumento do ELR de 1,45 para 1,85. Esses valores indicam um aumento moderado do impacto sobre o meio ambiente. Os cenários A1'e A2' tiveram ELR de 1,65 e 1,50 respectivamente. O respeito à legislação ambiental considerado para o cenário A2' não resultou em uma significativa diferença (0,15 em valores absolutos) em relação ao cenário A1', que não respeita a legislação ambiental. Para o cenário B1', que além de respeitar a legislação ambiental ainda possui uma redução da energia total não-renovável em relação a 2002, obteve um desempenho moderado para o ELR de 1,20. Por outro lado, o cenário B2' que possui uma redução ainda maior de energia não-renovável total em relação a 2002, obteve ótimo desempenho de 0,60, indicando baixo impacto sobre o meio ambiente.

A Figura 50 mostra a dinâmica do Índice de Sustentabilidade Emergética (ESI). Entre 1962 e 2002 o ESI diminuiu de 1,00 para 0,70, indicando menor benefício/custo (menor benefício à sociedade com maior custo ambiental). Nesse período houve aumento da dependência de recursos da economia, o que resulta em diminuição do índice EYR, e houve um acréscimo do impacto ambiental evidenciado pelo índice ELR e, por conseguinte, redução do índice ESI.

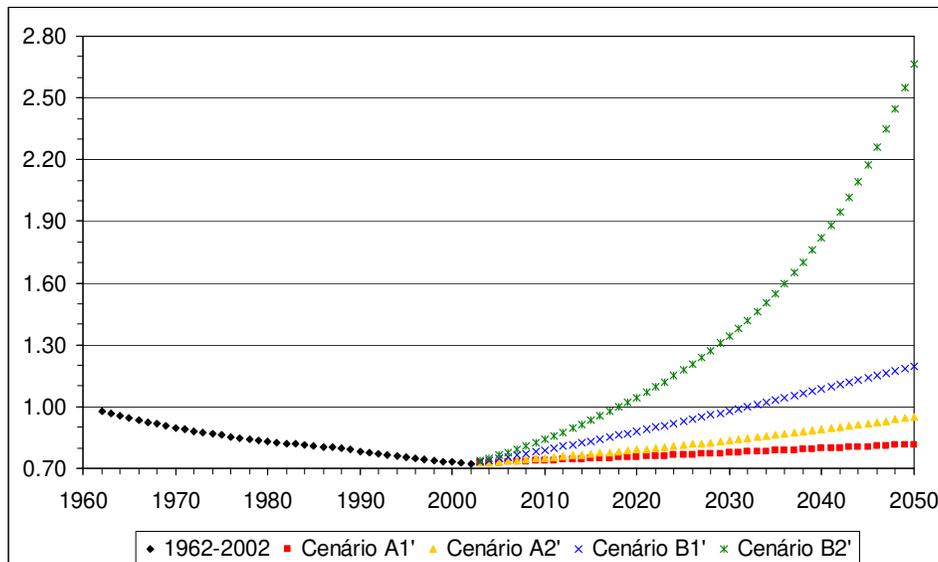


Figura 50. Dinâmica do Índice Sustentabilidade Emergética (ESI) para a bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçu e Pardo.

Nos quatro cenários específicos estudados, percebe-se uma tendência de aumento do ESI, mas somente para o cenário B2' o valor obtido de 2,70 pode ser interpretado como uma boa relação benefício/custo. Mesmo respeitando a legislação ambiental (cenário A2') e, adicionalmente, considerando uma redução de energia não-renovável total em relação a 2002 (cenário B1'), o ESI obtido é considerado de baixo desempenho (0,90 e 1,20 respectivamente).

Através da Tabela 56, que mostra de forma resumida os índices emergéticos obtidos nesse estudo, verifica-se uma tendência de melhora de maior ou menor grau para todos os cenários estudados em relação aos índices obtidos para o ano 2002.

Tabela 56. Índices emergéticos obtidos para os quatro cenários específicos.

Ano	Índice emergético					
	Tr <sup>a</sup>	%R	EYR	EIR	ELR	ESI
Base: 2002	6,5	35	1,33	3,05	1,85	0,70
2050 - A1'	5,5	38	1,35	2,90	1,65	0,80
2050 - A2'	4,5	40	1,71	2,40	1,50	0,90
2050 - B1'	4,0	46	1,41	2,45	1,20	1,20
2050 - B2'	3,0	63	1,55	1,80	0,60	2,70

<sup>a</sup> Em E+04 seJ/J.

## 5.6. Considerações finais

As considerações abaixo tiveram obrigatoriamente que serem realizadas devido à falta de banco de dados completo e preciso. Para melhor entendê-las, elas foram

separadas de acordo com a divisão adotada nessa tese. Além disso, algumas questões teóricas sobre a análise emergética são comentadas.

### **Agregação dos Dados Brutos**

Como já dito anteriormente, dentro da bacia hidrográfica existem 94 municípios e um total de 54545 propriedades agrícolas com diferentes tamanhos. Para obter alguns dados brutos, 120 propriedades foram visitadas pela equipe do projeto Ecoagri (2006). Para cada cultura, um mínimo de três propriedades localizadas nas regiões mais produtivas foram visitadas. Outros dados brutos foram obtidos do Agriannual (2004), LUPA (206) e IEA (2006).

O manejo agrícola utilizado pelas propriedades que não foram visitadas foi considerado igual às propriedades visitadas. Para reduzir esse erro, os sistemas sob estudo foram separados em regiões que produzem através de diferentes manejos (diferenciados pela quantidade de um recurso específico ou pela diversidade de produtos sendo utilizados). Como exemplo, as áreas com cana-de-açúcar foram separadas em: cana-de-açúcar; cana-de-açúcar com amendoim; cana-de-açúcar com soja; cana-de-açúcar com amendoim e soja. O mesmo procedimento foi utilizado para as áreas ocupadas com café.

### **Sistema de Informações Geográficas (SIG)**

O uso de Sistema de Informações Geográficas (SIG) é fundamental em diversos campos de atuação, entre eles, para elaborar mapas temáticos (uso e ocupação do solo, tipo de solo, declividade, etc.) que podem auxiliar no diagnóstico de diferentes sistemas e servir de base aos tomadores de decisão.

Quando trabalhamos em escalas pequenas (micro bacias hidrográficas com 1.000 ha), a obtenção de dados e a observação de pequenas características físicas do sistema em estudo são facilmente obtidas. Para grandes sistemas (bacias com 1.000.000 ha), a obtenção de dados brutos é dificultada.

O projeto Ecoagri (2006), que forneceu muitos dados brutos para esse trabalho, utilizou imagens do satélite Landsat e modelos matemáticos para obter o mapa de uso da terra da bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçu e Pardo, que possui 3,2 milhões de hectares.

A imagem do Landsat permite uma resolução espacial de 30 m, onde um pixel equivale a um quadrado de 30x30 m (900 m<sup>2</sup>). Assim, é assumido que diferentes usos da terra dentro deste pixel possuem a mesma característica, fato que não ocorre na realidade. Além do problema de resolução, os modelos matemáticos existentes e que são utilizados para classificar o uso da terra não são muito precisos, exigindo grande esforço nos trabalhos de campo para corrigir os erros.

## **Cenários**

Existem dados georeferenciados disponíveis sobre o uso da terra na bacia hidrográfica apenas para três anos distintos: 1962, 1988 e 2002. O comportamento da mudança no uso da terra entre esses anos foi considerado linear, por exemplo, partiu-se do valor conhecido para 1962 e caminhou-se linearmente até atingir o outro valor conhecido em 1988.

Nos cenários específicos que incluem inovações agroecológicas foi considerada uma redução de energia não-renovável. A redução foi considerada linear entre 2003 e 2050. Além disso, foi considerada apenas a redução de energia não-renovável em relação aos fluxos emergéticos do perfil do ano de 2002, e não sua possível conversão em energia renovável. Com isso, a energia total (Y) desses sistemas diminui com a redução de energia não-renovável. Isso afeta a Transformidade ( $Tr=Y/Ep$ ), pois com a redução do Y e o valor constante da energia produzida ( $Ep$ ), a Transformidade aumenta.

Os fluxos emergéticos de 2002 foram utilizados para todo o período do estudo, mas sabe-se que esses fluxos variam de ano para ano. Para diminuir esse erro, os fluxos emergéticos não-renováveis de 2002 foram reduzidos e adaptados para os anos de 1962 e 1988 de acordo com a dinâmica no consumo de combustível. Mesmo assim, os fluxos emergéticos renováveis permaneceram iguais para todo o período de estudo.

Considerou-se o mesmo valor da energia produzida (produtividade) para todo o período (de 1962 até 2050), o que afeta o índice de Transformidade.

Na elaboração dos cenários do uso da terra para o ano de 2050, foram consideradas apenas limitações agronômicas sobre o uso da terra e informações sobre o aumento da população. Seria interessante utilizar em um trabalho futuro, alguma metodologia participativa para que o uso da terra fosse discutido por especialistas para que os dados finais exprimissem seus conhecimentos.

O trabalho de simulação apresentado na presente tese, mesmo que simplificado, pode ser o ponto de partida para estudos de simulação mais complexos, como já apresentado por Ambrósio, Ortega e Agostinho (2008; Anexo B).

## **Intensidades Emergéticas**

A Intensidade Emergética é um fator de conversão que depende fortemente do local (espaço), das características do sistema estudado (tecnologia) e do ano (tempo) em que foi calculada. Essas variáveis são importantes porque sistemas de produção em diferentes locais no mundo possuem diferentes necessidades de entradas, ou seja, diferentes quantidades de materiais, energia, mão-de-obra. Além disso, a economia nacional também é diferente, refletindo no produto interno bruto e no indicador Razão de Intercâmbio Emergético (EER).

Todas essas variáveis fazem com que o uso de uma intensidade emergética calculada para determinado sistema, local e ano não possa ser utilizada em outras análises emergéticas em diferentes partes do mundo. Nesse ponto surge a pergunta: como utilizar as intensidades emergéticas em uma análise emergética evitando os erros descritos acima?

No livro de Odum (1996) “Environmental Accounting” essa pergunta é respondida. Além disso, alguns artigos estão sendo publicados mostrando que a intensidade emergética é separada em duas partes, uma “com” e a outra “sem” serviços e mão-de-obra. O argumento utilizado (Figura 51) é o de que o dinheiro utilizado para pagar energia e matéria, na verdade paga apenas o serviço e a mão-de-obra utilizado para extraí-los, pois a natureza não recebe dinheiro. Assim, na análise emergética os materiais e energia deveriam ser contabilizados como materiais adquiridos da economia (em massa ou energia) através do uso de intensidades emergéticas previamente calculadas **SEM** incluir os serviços e mão-de-obra, pois enquanto esses últimos são específicos de cada local do mundo, os materiais e energia (tecnologia) utilizados em toda parte do mundo são muito parecidos. Após essa etapa, os custos monetários de todos esses materiais, energia e mão-de-obra deveriam ser contabilizados como serviços (S) para representar o local e a economia atual daquele sistema. No final da avaliação, duas intensidades emergéticas devem ser calculadas: uma geral que indica a eficiência do sistema em estudo e outra sem contabilizar os serviços e mão-de-obra para que possa ser utilizada por outros pesquisadores.

Um ponto extremamente importante é que as intensidades emergéticas utilizadas na avaliação devem ser cuidadosamente verificadas se seus autores contabilizaram ou não contabilizaram previamente os serviços e mão-de-obra. Somente as intensidades emergéticas sem serviços e mão-de-obra devem ser utilizadas na nova avaliação. Dessa forma não existem mais problemas sobre o local e ano em que a intensidade emergética foi calculada previamente, mas é importante deixar claro que elas devem ser sempre atualizadas para exprimir também o avanço tecnológico.

O uso correto da análise emergética é essencial para maior solidificação da metodologia entre a comunidade científica.

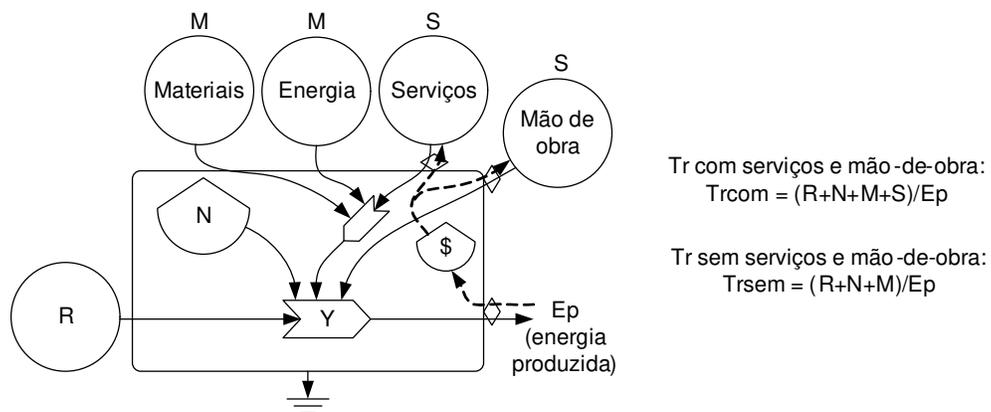


Figura 51. Abordagem para calcular a intensidade emergética “com” e “sem” serviços e mão-de-obra.



## 6. CONCLUSÕES

Devido ao grande número de abordagens e ferramentas utilizadas nessa tese, assim como os muitos indicadores calculados que expressam diferentes resultados, decidiu-se separar o item CONCLUSÕES em subitens para melhor entendimento.

### 6.1. Conclusão do objetivo primário

O uso simultâneo da Análise Emergética e Sistema de Informações Geográficas mostrou ser uma boa alternativa para diagnosticar grandes bacias hidrográficas. Essa abordagem permitiu:

- (a) Avaliar o desempenho ambiental da bacia hidrográfica. Os índices emergéticos obtidos mostram baixa sustentabilidade (%R=35%), moderado impacto ambiental (ELR=1,84), baixo rendimento líquido (EYR=1,77) e baixa relação custo/benefício (ESI=0,96).
- (b) A distribuição espacial dos índices emergéticos na bacia na forma de mapa, permitiu a visualização de diferentes desempenhos nas áreas da bacia. De maneira geral, as áreas localizadas a Sudeste (montante) e Noroeste (jusante) tiveram pior desempenho quando comparadas com a região central, mesmo assim, todas elas necessitam de ações imediatas pelos tomadores de decisão para melhorar seu desempenho.
- (c) Através da espacialização dos valores médios do ESI na bacia, o mapa final permitiu a identificação de quatro regiões que necessitam diferentes e imediatas políticas públicas: Serra da Mantiqueira; Médio Mogi inferior, médio Pardo e Baixo Pardo; Alto Mogi e médio Mogi superior; Santana-Velho. Essas informações são muito importantes para que sejam realizados estudos mais detalhados (menor escala) em áreas que potencialmente possuem pior desempenho.

Todos os sistemas agropecuários na bacia hidrográfica demandam atividades de engenharia ecológica (em maior ou menor escala) para melhorarem sua sustentabilidade, objetivando os índices emergéticos encontrados para a produção agropecuária ecológica no Brasil. A recuperação da complexidade ecológica, como a adoção de consorciamento,

rotação de culturas e preservação da mata nativa, irá certamente diminuir a dependência de petróleo e poderá melhorar a sustentabilidade. Além disso, um manejo ecológico poderia reduzir as externalidades negativas e aumentar os serviços ambientais.

Esse trabalho fornece resultados macros, ou seja, indica onde potencialmente estão as áreas de melhor e pior desempenho emergético para que sejam realizados estudos mais detalhados (em menor escala) e posteriormente tomadas decisões mais específicas e pontuais.

## **6.2. Conclusões dos objetivos secundários**

### **Abordagem econômica convencional e ecológica**

- (a) O Índice de Intercâmbio Emergético (EER), mostrou que nenhum sistema agropecuário consegue obter na venda de seus produtos a energia empregada para produzi-lo. Esse resultado indica que os preços recebidos pela venda dos produtos agropecuários subestimam seu valor ambiental (ou valor real).
- (b) Os indicadores econômicos (Receita Líquida e Rentabilidade) mostram ser favoráveis aos sistemas quando calculados através da economia convencional (Neoclássica). Por outro lado, quando contabilizada toda a energia provinda da natureza, as externalidades negativas e os serviços ambientais, esses indicadores mostram prejuízo.

### **Área de suporte para os sistemas agropecuários na bacia hidrográfica**

- (a) Os sistemas de produção de cana-de-açúcar, carne/leite (pastagem) e fruticultura são os que mais necessitam de área de suporte (de 1,7 a 2,5 milhões de hectares) porque utilizam grandes quantidades de energia não-renovável (75% para cana-de-açúcar, 87% para Fruticultura e 80% para pastagem) e/ou porque ocupam grandes áreas na bacia hidrográfica (como a cana-de-açúcar que ocupa 51% da área da bacia). Ações intensivas sobre esses sistemas resultarão em grande melhora na capacidade de carga da bacia.
- (b) Os resultados obtidos pelas abordagens  $S_{AR}$  e  $SA_{NPP}$  são próximos: de 11 a 12 milhões de hectares adicionais com floresta para fornecer de maneira renovável toda a energia não-renovável utilizada pelos sistemas agropecuários na bacia.

Esse valor é equivalente a aproximadamente a 3,8 vezes a área total da bacia, o que indica insustentabilidade.

- (c) A área de suporte dos sistemas agropecuários calculada através da abordagem da energia incorporada mostra que a bacia possui área de floresta suficiente para absorver o CO<sub>2</sub> emitido.

### **Emissões de gases poluentes**

- (a) O potencial de efeito estufa da bacia (considerando somente os sistemas agropecuários) atingiu o valor de  $5,64 \cdot 10^6$  MgCO<sub>2</sub>-equiv./ano, onde somente o CO<sub>2</sub> é responsável por 99,8% desse total. O potencial de acidificação da bacia atingiu o valor de  $1,8 \cdot 10^3$  MgSO<sub>2</sub>-equiv./ano, onde somente o NO<sub>x</sub> é responsável por 73% desse total.
- (b) Aproximadamente 50% das emissões de gases poluentes são derivados do uso indireto de energia. Dessa forma, a emissão indireta é um importante dado a ser considerado nas tomadas de decisão.

### **Índice de desenvolvimento da paisagem**

- (a) O LDI para a maioria dos usos agropecuários da terra na bacia é aproximadamente 4,7, indicando a dependência de energia não-renovável a níveis parecidos às zonas urbanas. Isso resultou em um valor do LDI para a bacia de 7,6.
- (b) A espacialização do LDI sobre a bacia na forma de um mapa, mostra as regiões que possuem grande impacto sobre o meio ambiente: central e noroeste.

### **Cenários**

- (a) Para todos os índices emergéticos existe uma tendência de melhora, de menor ou maior grau, para os quatro cenários específicos considerados.
- (b) A dinâmica do uso e ocupação da terra, o respeito às leis ambientais e a redução moderada (50% de N e 50% de Mn+Sn) de energia não-renovável em relação a 2002 não foram suficientes para obter bom desempenho para o índice

de Renovabilidade, pois resultou de 40% a 46% para os cenários A2' e B1'. Somente para o cenário B2', que respeita a legislação ambiental e reduziu fortemente a energia não-renovável em relação a 2002 (85% de N e 55% de Mn+Sn), obteve melhor desempenho que os outros cenários (63% de Renovabilidade), o que já indica uma sustentabilidade forte.

- (c) Para todos os cenários, a dependência de energia da economia é elevada (de 64% a 74% da energia total). Nem a redução de energia não-renovável da economia em 55% em relação a 2002 para o melhor dos cenários (B2'), permitiu atingir bom desempenho, pois obteve um EYR de 1,55.
- (d) O índice EIR reforça os resultados obtidos pelo índice EYR sobre a elevada dependência de recursos da economia que a bacia hidrográfica possui. Para todos os cenários a relação entre a energia da economia e provinda da natureza variou de 1,8/1 até 2,9/1.
- (e) Os valores de ELR variaram de 0,60 a 1,65 para todos os cenários, indicando moderado impacto sobre o meio ambiente. Novamente, o cenário B2' obteve melhor desempenho (0,60).
- (f) Somente os cenários B1' e B2' obtiveram uma boa relação benefício/custo (ESI de 1,20 e 2,70 respectivamente). O respeito à legislação ambiental e a redução de energia não-renovável em relação a 2002 para os cenários A2'e B1', não resultaram em bom desempenho para esse índice, pois seus valores ainda são menores que um (0,80 e 0,90).

De maneira geral, pode-se concluir que o respeito à legislação ambiental não é suficiente para tornar a bacia hidrográfica sustentável. É necessário, além disso, reduzir a dependência de energia não-renovável em níveis próximos ao do cenário B2' (85% de N e 55% de Mn+Sn dos valores de 2002). Considera-se que o cenário B2' deve servir como modelo e motivar a elaboração de políticas públicas para o desenvolvimento sustentável dos sistemas agropecuários presentes na bacia.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDALLAH, R.R. *Análise emergética em sistemas de produção de leite*. 2005. Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP. Disponível em <http://www.fea.unicamp.br/alimentarium>. Acesso em 30 nov. 2008.
- ABER, J.D., MELILLO, J.M. *Terrestrial Ecosystems*. Harcourt Academic Press, Second Edition, 2001, 556 pp.
- AGOSTINHO, F., DINIZ, G., SICHE, R., ORTEGA, E. The use of emergy assessment and the geographical information system to diagnostic small family farms in Brazil. *Ecological Modeling*, 210: 37-57. 2008.
- AGOSTINHO, F., CAVALETT, O., ORTEGA, E. Forest area calculation to mitigate the environmental impact of a graphical industry: comparison between emergy and energy analysis. *Revista Brasileira de Agroecologia*, 2: 1535-1539. 2007.
- AGRIANUAL. *Anuário da Agricultura Brasileira*. 2004. FNP: Consultoria & Agroinformativos.
- ALBUQUERQUE, T.C. *Avaliação emergética de propriedades agrosilvopastoris do Brasil e da Colômbia*. 2006. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP. Disponível em <http://www.fea.unicamp.br/alimentarium>. Acesso em 30 nov. 2008.
- ALTIERI, M. *Agroecologia: a dinâmica produtiva da agricultura sustentável*. Porto Alegre, Editora Universidade, UFRGS, 2ª edição. 2000.
- ALTIERI, M. *Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável*. Guaíba, Agropecuária. 2002.
- ANA. Agência Nacional de Águas. Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), Estudo de Cenários para o PNRH de 2020, Avaliação dos Cenários Prováveis. 2005. Disponível em [http://www.ana.gov.br/pnrh\\_novo/docs/Cenarios\\_PNRH\\_2020.pdf](http://www.ana.gov.br/pnrh_novo/docs/Cenarios_PNRH_2020.pdf). Acesso em 13 mai. 2009.
- ASSAD, E.D., PINTO, H.S., JUNIOR, J.Z., ÁVILA, A.M.H. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39: 1057-1064. 2004.
- BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL. *Ministério de Minas e Energia*. 2006. Disponível em <http://www.mme.gov.br>. Acesso em 13 nov. 2008.
- BARGIGLI, S., ULGIATI, S. *Emergy and life-cycle assessment of steel production*. In: Proceedings of 2<sup>nd</sup> Biennial Emergy Conference, Emergy Synthesis 2, Theory and applications of the emergy methodology. 2003. Center for Environmental Policy, Department of Environmental Engineering Sciences, University of Florida, Gainesville, FL.
- BARGIGLI, S., CIALANI, C., RAUGEI, M., ULGIATI, S. *Uneven distribution of benefits and environmental load: the use of environmental and thermodynamic indicators in support of fair and sustainable trade*. In: Proceedings of IV Biennial International Workshop Advances in Energy Studies. 2004. Ortega, E. and Ulgiati, S. (editores), UNICAMP, Campinas, Brazil, June 16-19, 159-174.
- BASTIANONI, S., MARCHETTINI, N. The problem of co-production in environmental accounting by emergy analysis. *Ecological Modelling*, 129: 187-193. 2000.
- BASTIANONI, S., MARCHETTINI, N., PANZIERI, M., TIEZZI, E. Sustainability assessment of a farm in the Chianti área (Italy). *Journal of Cleaner Production*, 9: 365-373. 2001.

- BASTIANONI, S., CAMPBELL, D., SUSANI, L., TIEZZI, E. The solar transformity of oil and petroleum natural gas. *Ecological Modelling*, 186: 212-220. 2005.
- BERTONI, J., LOMBARDI NETO, F. *Conservação do solo*. Editora Ícone, São Paulo, 4ª edição. 1999.
- BOUSTEAD, I., HANCOCK, G.F. *Handbook of industrial energy analysis*. Ellis Horwood Publishers, England, 422pp. 1979.
- BRANDT-WILLIAMS, S. L. *Handbook of Emergy Evaluation: A Compendium of Data for Emergy Computation Issued in a Series of Folios*. 2002. Folio nº4 - Emergy of Florida Agriculture. Center for Environmental Policy, Environmental Engineering Sciences, Univ. of Florida, Gainesville, 40pp. Disponível em: <<http://www.ees.ufl.edu/cep/>>. Acesso em 22 mar. 2006.
- BROWN, M.T., ARDING, J. *Transformities Working Paper*. 1991. Center for Wetlands, University of Florida, Gainesville, USA.
- BROWN, M.T., HERENDEEN, R. Embodied energy analysis and EMERGY analysis: a comparative view. *Ecological Economics*, 19: 219-235. 1996.
- BROWN, M.T., ULGIATI, S. Emergy-based indices and ratios to evaluate sustainability: monitoring economies and technology toward environmentally sound innovation. *Ecological Engineering*, 9: 51-69. 1997.
- BROWN, M.T., ULGIATI, S. Emergy evaluation of the biosphere and natural capital. *Ambio*, 28: 468-493. 1999.
- BROWN, M.T., ULGIATI, S. Emergy measures of carrying capacity to evaluate economic investments. *Population and Environment*, 22: 471- 501. 2001.
- BROWN, M.T., VIVAS, M.B. Landscape development intensity index. *Environmental Monitoring and Assessment*, 101: 289-309. 2005.
- BROWN, M.T., VIVAS, M.B. *Landscape Development Intensity Index*. In: Proceedings of 4<sup>th</sup> Biennial Emergy Conference, Emergy Synthesis 4, Theory and applications of the emergy methodology. 2007. Center for Environmental Policy, Department of Environmental Engineering Sciences, University of Florida, Gainesville, FL.
- BROWN, M.T. *Resource imperialism: emergy perspectives on sustainability, international trade, and balancing the welfare of nations*. In: Proceedings of III Biennial International Workshop, Advances in Energy Studies, Reconsidering the importance of energy. 2002. Porto Venere, Italy, 135-149, 671pp.
- BROWN, M.T. A picture is worth a thousand words: energy systems language and simulation. *Ecological Modelling*, 178: 83-100. 2004.
- BROWN, M.T., ULGIATI, S. Emergy Analysis and Environmental Accounting. *Encyclopedia of Energy*, 2: 329-354. 2004.
- BROWN, L.R. *Plan B 2.0: Rescuing a planet under stress and a civilization in trouble*. Earth Policy Institute, 369pp. 2006.
- BUSCH, G. Future European agricultural landscapes: What can we learn from existing quantitative land use scenario studies? *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 114: 121-140. 2006.
- CAMPBELL, C.J. The Rimini Protocol an oil depletion protocol: Heading off economic chaos and political conflict during the second half of the age of oil. *Energy Police*, 34: 1319 - 1325. 2006.
- CAMPBELL, C.J., LAHERRÈRE, J.H. The end of cheap oil. *Scientific American*, 78 - 83, March. 1998.
- CARSON, R. *Silent Spring*. Boston, Houghton Mifflin Company, USA. 1962.

- CASTELLINI, C., BASTIANONI, S., GRANAI, C., DAL BOSCO, A., BRUNETTI, M. Sustainability of poultry production using the emergy approach: comparison of conventional and organic rearing systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 114: 342-350. 2006.
- CAVALETT, O., QUEIROZ, J.F.DE., ORTEGA, E. Emergy assessment of integrated production systems of grains, pig and fish in small farms in the South Brazil. *Ecological Modelling*, 193: 205-224. 2006.
- CAVALETT, O. *Análise do ciclo de vida da soja*. 2008. Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP. Disponível em <http://www.fea.unicamp.br/alimentarium>. Acesso em 30 nov. 2008.
- CHAMBERS, R., CONWAY, G.R. *Sustainable Rural Livelihoods: practical concepts for the 21<sup>st</sup> century*. 1992. Institute of development studies, Discussion Paper nº 296.
- CÓDIGO FLORESTAL. Código Florestal Brasileiro, Lei nº 4.771 de 15 de setembro de 1965. *Presidência da República, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos*. Disponível em <http://200.181.15.9/ccivil/LEIS/L4771.htm>. Acesso em 17 jun. 2008.
- COELHO, O., ORTEGA, E., COMAR, V. *Balanço de Emergia do Brasil (Dados de 1996, 1989 e 1981)*. In: Engenharia Ecológica e Agricultura Sustentável. 2003. Enrique Ortega (Organizador). Disponível em <http://www.fea.unicamp.br/docentes/ortega/livro/index.htm>. Acesso em 17 jan. 2006.
- COMAR, M.V. *Avaliação emergética de projetos agrícolas e agro-industriais no Alto Rio Pardo: a busca do Desenvolvimento Sustentável*. 1998. Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP.
- COHEN, M.J., SWEENEY, S., BROWN, M.T. *Computing the Unit Emergy Value of Crustal Elements*. In: In: Proceedings of 4<sup>th</sup> Biennial Emergy Conference, Emergy Synthesis 4, Theory and applications of the emergy methodology. 2007. Center for Environmental Policy, Department of Environmental Engineering Sciences, University of Florida, Gainesville, FL.
- COSTANZA, R., D'ARGE, R., DE GROOT, R., FARBER, S., GRASSO, M., HANNON, B., LIMBURG, K., NAEEM, S., O'NEILL, R.V., PARUELO, J., RASKIN, R.G., SUTTON, P., VAN DEN BELT, M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387: 253-260. 1997.
- COSTANZA, R., D'ARGE, R., DE GROOT, R., FARBER, S., GRASSO, M., HANNON, B., LIMBURG, K., NAEEM, S., O'NEILL, R.V., PARUELO, J., RASKIN, R.G., SUTTON, P., VAN DEN BELT, M. The value of ecosystem services: putting the issues in perspective. *Ecological Economics* (Special section: forum on valuation of ecosystem services), 25: 67-72. 1998.
- CHRISTOFIDIS, D. *Olhares sobre a política de recursos hídricos no Brasil: o caso da bacia do rio São Francisco*. 2001. Brasília, CDS/UnB, Dezembro, 2001, 430pp.
- CUADRA, M., RYDBERG, T. *Emergy evaluation of the environment and economy of Nicarágua*. In: Proceedings of 1<sup>st</sup> Biennial Emergy Conference, Emergy Synthesis 1, Theory and applications of the emergy methodology. 2000. Center for Environmental Policy, Department of Environmental Engineering Sciences, University of Florida, Gainesville, FL.
- CUADRA, M., RYDBERG, T. Emergy evaluation on the production, processing and export of coffee in Nicaragua. *Ecological Modelling*, 196: 421-433. 2006.
- de NIJS, T.C.M., de NIET, R., CROMMENTUIJN, L. Constructing land-use maps of the Netherlands in 2030. *Journal of Environmental Management*, 72: 35-42. 2004.
- DAILY, G.C., EHRLICH, P.R. Population, Sustainability, and Earth's Carrying Capacity: A Framework for Estimating Population Size and Lifestyles that Could Be Sustained Without Undermining Future Generations. *BioScience*, 42: 761-71. 1992.

- DIAS, R.A. *Estado e tendências da agricultura paulista*. Agricultura em São Paulo, Divisão de Economia Rural. 1963. Ano X, nºs 5 e 6, Maio-Junho de 1963.
- DIAS, R.A. *Diagnóstico da agricultura paulista*. Agricultura em São Paulo, Divisão de Economia Rural. 1967. Ano XIV, nºs 5 e 6, Maio-Junho de 1967.
- DIETZ, S., NEUMAYER, E. Weak and strong sustainability in the SEEA: concepts and measurement. *Ecological Economics*, 61: 617 – 626. 2007.
- DOW, K., DOWNING, T. *O Atlas da Mudança Climática: o mapeamento completo do maior desafio do planeta*. Publifolha, 120pp. 2007.
- ECOAGRI. *Diagnóstico ambiental da agricultura no estado de São Paulo: bases para um desenvolvimento rural sustentável*. Projeto temático financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP). 2006. Ademar Romeiro (coordenador). Algumas informações estão disponíveis ao público em <http://ecoagri.cnptia.embrapa.br>.
- EHLERS, E. *Agricultura sustentável: origens e perspectivas de um novo paradigma*. Livros da Terra, São Paulo. 1996.
- EKINS, P., SIMON, S., DEUTSCH, L., FOLKE, C., DE GROOT, R. A framework for the practical application of the concepts of critical and strong sustainability. *Ecological Economics*, 44: 165 - 185. 2003.
- EPA. *U.S. Environmental Protection Agency, Technology Transfer Network Clearinghouse for Inventories & Emissions Factors*. 2008. Disponível em <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/index.html>. Acesso em 19 dez. 2008.
- ESTY, D.C., MARC, A.L., SREBOTNJAK, T., SHERBININ, A., CHRISTINE, H.K., ANDERSON, B. *Pilot 2006 Environmental Performance Index*. New Haven, Yale Center for Environmental Law & Policy. 2006. Disponível em [http://www.yale.edu/epi/2006EPI\\_MainReport.pdf](http://www.yale.edu/epi/2006EPI_MainReport.pdf). Acesso em 9 ago. 2007.
- ETTORI, O.J.T. *Produtividade física da agricultura em São Paulo: causas das variações, tendências, medidas para sua elevação*. Agricultura em São Paulo, Boletim da Divisão de Economia Rural. 1964. Ano XI, nº7, Julho de 1964.
- EWERT, F., HANSEN, A., GREENWOOD, G. *Projecting Land Use and Land Use Cover Change Relevant to Mountain Biosphere Reserves*. 2008. Relatório não publicado.
- FAGNANI, M.A. *A Questão Ecológica na Formação do Engenheiro Agrícola*. 1997. Tese de Doutorado, Faculdade de Educação, UNICAMP.
- FAHL, J.I., CAMARGO, M.B.P.DE., PIZZINATTO, M.A., BETTI, J.A., MELO, A.M.T.DE., DEMARIA, I.C., FURLANI, A.M.C. *BOLETIM 200: Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas*. Instituto Agrônomo de Campinas, SP, 6ª edição. 1998.
- FAO. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. FAOSTAT. 2005. Disponível em <http://faostat.fao.org/>. Acesso em 31 jan. 2007.
- FRANCESCATTO, G., AGOSTINHO, F., NACHTIGALL, G.R., NOBRE JR., A. DE A., ORTEGA, E. *Emergy and economic diagnosis of apple (Malus domestica) production system in south of Brazil*. In: Proceedings of 5<sup>th</sup> Biennial Emergy Conference, Emergy Synthesis 5, Theory and applications of the emergy methodology. 2008. Center for Environmental Policy, Department of Environmental Engineering Sciences, University of Florida, Gainesville, FL.
- FRANZESE, P.P., RYDBERG, T., RUSSO, G.F., ULGIATI, S. Sustainable biomass production: a comparison between gross energy requirement and emergy synthesis methods. *Ecological Indicators* (2008), doi: 10.1016/j.ecolind.2008.11.004. 2009.
- FRESCO, L.O., LEEMANS, R., VAN ZEIJL-ROZEMA, A.E. *The dynamics of land use change*. In: Land Use and Cover Change (LUCC), Open Science Meeting Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences. 1996. Amsterdam, The Netherlands, 29-31, January 1996, Conference Reports.

- GEOBRASIL. *Instituto brasileiro do meio ambiente e dos recursos naturais renováveis*. 2002. Disponível em <http://ibama2.ibama.gov.br/cnia2/download-nao-vale/publicacoes/geobr/docs/drafts/Indicadores IPEA.doc>. Acesso em 9 ago. 2007.
- GFN. *Ecological Footprint: Overview*. Global Footprint Network. 2006. Disponível em <http://www.footprintnetwork.org/>. Acesso em 8 ago. 2007.
- GIANNETTI, B.F., BARRELLA, F.A., ALMEIDA, C.M.V.B. A combined tool for environmental scientists and decision makers: ternary diagrams and emergy accounting. *Journal of Cleaner Production*, 14: 201-210. 2006.
- GONÇALVES, J.S., FERREIRA, C.R.R.P.T., SOUZA, S.A.M. Produção nacional de fertilizantes, processo de desconcentração regional e maior dependência externa. *Informações Econômicas*, 38: 79-91. 2008.
- HABERKORN, T.H. *Uso combinado de sistemas de informação geográfica e análise emergética no planejamento de bacias hidrográficas*. In: Engenharia Ecológica e Agricultura Sustentável. 2003. Enrique Ortega (Organizador). Capítulo 22. Disponível em <http://www.fea.unicamp.br/docentes/ortega/livro/index.htm>. Acesso em 4 mai. 2006.
- HAU, J.L., BAKSHI, B.R. Promise and problems of emergy analysis. *Ecological Modelling*, 178: 215-225. 2004.
- HERENDEEN, R. Energy analysis and EMERGY analysis: a comparison. *Ecological Modelling*, 178: 227-237. 2004.
- HUANG, S., BUDD, W.W., CHAN, S., LIN, Y. Stream order, hierarchy, and energy convergence of land use. *Ecological Modelling*, 205: 255-264. 2007.
- IBGE. *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: Sistema IBGE Cidades*. 2006. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>. Acesso em 14 ago. 2007.
- IBGE. *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sistema IBGE de recuperação automática – SIDRA*. 2005. Banco de dados agregados. Disponível em <http://www.sidra.ibge.gov.br>. Acesso em 22 jan. 2007.
- IBGE. *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IDS: Indicadores de Desenvolvimento Sustentável – Brasil 2004*. 2004. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/recursosnaturais/ids/defaulttab.shtm>. Acesso em 9 ago. 2007.
- IDRC. *The International Development Research Centre, Science for Humanity*. 2009. Disponível em [http://www.idrc.ca/en/ev-84537-201-1-DO\\_TOPIC.html](http://www.idrc.ca/en/ev-84537-201-1-DO_TOPIC.html). Acesso em 13 mai. 2009.
- IEA. *Instituto de Economia Agrícola*. 2006. Disponível em <http://www.iea.sp.gov.br/out/index.php>. Acesso em 14 nov. 2006.
- IFIAS. *Energy Analysis Workshop on Methodology and Conventions*. International Federation of Institutes for Advanced Study, Nobel House, Stockholm, Sweden, 89pp. 1974.
- IPCC. *IPCC Special Report: Emissions Scenarios, A special report of working group III*. Intergovernmental Panel on Climate Change. 2000. Disponível em <http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/emission/index.htm>. Acesso em 11 mar. 2008.
- IPCC. *Climate Change 2007: Synthesis Report, Summary for Policymakers*. Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007. Disponível em [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4\\_syr\\_spm.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_spm.pdf). Acesso em 14 mar. 2008.
- JARACH, M. Sui valori di equivalenza per l'analisi e il bilancio energetici in agricoltura. *Riv. di Ing. Agr.*, 2, 102-114 (Artigo em Italiano). 1985.
- JHA, R., BHANU MURTHY, K.V. A critique of the Environmental Sustainability Index. Australian National University Division of Economics. 2003. Working paper. Disponível em <http://ssrn.com/abstract=380160>. Acesso em 9 ago. 2007.

- JØRGENSEN, S.E., NIELSEN, S.N. Application of ecological engineering principles in agriculture. *Ecological Engineering*, 7: 373-381. 1996.
- KARR, J.R. Protecting ecological integrity: An urgent societal goal. *Yale Journal of International Law*, 18: 297-306. 1993.
- LA ROSA, A.D., SIRACUSA, G., CAVALLARO, R. Emery evaluation of Sicilian red orange production: a comparison between organic and conventional farming. *Journal of Cleaner Production*, 16: 1907 – 1914. 2008.
- LCA. *Life Cycle Assessment: a guide to approaches, experiences and information sources*. European Environment Agency. 1997. Jensen, A.A., Hoffman, L., Moller, B.T., Schmidt, A., Christiansen, K., Elkington, J., van Dijk, F. (Editores).
- LEFROY, E., RYDBERG, T. Emery evaluation of three cropping systems in southwestern Austrália. *Ecological Modelling*, 161: 195-211. 2003.
- LEEMANS, R. Personal experiences with the governace of the policy-relevant IPCC and Millenium Ecosystem Assessments. *Global Environmental Change*, 18: 12-17. 2008.
- LOTKA, A.J. *Contributions to the energetics of evolution*. In: Proceedings of the National Academy of Sciences of the U.S.A. 8:147-151. 1922.
- LUPA. *Levantamento das Unidades de Produção Agropecuária*. Estatísticas Agrícolas, Estado de São Paulo, 1995/96 (dados de 2005). 2006. Disponível em <http://www.cati.sp.gov.br/novacati/index.php>. Acesso em 28 nov. 2006.
- MARQUES, J.F., SKORUPA, L.A., FERRAZ, J.M.G. *Indicadores de Sustentabilidade em Agroecossistemas*. Jaguariúna, SP, Embrapa Meio Ambiente. 2003.
- MAY, P.H., SERÔA DA MOTTA, R. *Valorando a natureza: análise econômica para o desenvolvimento sustentável*. Editora Campus. 1994.
- MAIA, A.G., ROMEIRO, A.R., REYDON, B.P. *Valoração de recursos ambientais: metodologia e recomendações*. Texto para discussão, nº116, Instituto de Economia, UNICAMP. 2004. Disponível em <http://www.eco.unicamp.br/publicacoes/textos/download/texto116.pdf>. Acessado em 8-Ago- 2007.
- MASOOD, E., GARWIN, L. Costing the Earth: when ecology meets economics. *Nature*, 395: 426-427. 1988.
- MEA. *Millennium Ecosystem Assessment*. 2005. Disponível em <http://www.maweb.org>. Acesso em 17 jan. 2006.
- MEADOW, D.H., MEADOW, D.L., RANDERS, J., BEHRENS III, W.W. *Limites do Crescimento*. Editora Perspectiva, 2ª edição. 1978.
- MELO, F.DE. *O problema alimentar no Brasil: a importância dos desequilíbrios tecnológicos*. Editora Paz e Terra, 226p. 1983.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Balanço Nacional de Energia. 2009. Disponível em <http://www.mme.gov.br/frontSide/site/view.do?viewPublicationId=10780&viewPublicationTypeId=9&queryUrl=http%3A%2F%2Fwww.mme.gov.br%2Fsite%2Fsearch.do%3Fquery%3Dte> p. Acesso 30 jan. 2009.
- NASA. Audacious bid to value the planet whips up storm. *Nature*, 395, p430. 1998.
- NUNES, P., VAN DEN BERGH, J. Economic valuation of biodiversity: sense or nonsense? *Ecological Economics*, 39: 203–222. 2001.
- ODUM, H.T. *Systems Ecology: an introduction*. John Wiley, New York, 644 pp. 1983a.
- ODUM, H.T. Maximum power and efficiency: a rebutal. *Ecological Modelling*, 20: 71-82. 1983b.

- ODUM, H.T. *Living with complexity*. The Crafoord Prize in the Biosciences. 1987. The Royal Swedish Academy of Sciences.
- ODUM, H.T. Self-organization, transformity and information. *Science*, 242: 1132-1139. 1988.
- ODUM, H.T. *Environmental Accounting, EMERGY and Decision Making*. John Wiley, New York, 370 pp. 1996.
- ODUM, H.T., BROWN, M.T., BRANDT-WILLIAMS, S.L. *Handbook of Emergy Evaluation: A Compendium of Data for Emergy Computation Issued in a Series of Folios*. Folio nº 1 - Introduction and Global Budget. 2000. Center for Environmental Policy, Environmental Engineering Sciences, Univ. of Florida, Gainesville, 17 pp. Disponível em <http://www.ees.ufl.edu/cep/>. Acesso em 22 mar. 2006.
- ODUM, H.T., ODUM, E.C. *A prosperous way down: principles and policies*. Boulder, University Press of Colorado, 326 pp. 2001.
- ORTEGA, E. *Contabilidade Ambiental e Econômica de Projetos Agroindustriais*. In: Conference at XVI Brazilian Food Science and Technology Congress. 1998. Rio de Janeiro, July 16. Disponível em <http://www.unicamp.br/fea/ortega/sbcta98/sld001.htm>. Acesso em 4 mai 2006.
- ORTEGA, E. *Contabilidade e Diagnóstico dos Sistemas Usando os Valores dos Recursos Expressos em Emergia*. 2002. Disponível em <http://www.unicamp.br/fea/ortega/extensao/resumo.pdf>. Acesso em 4 mai. 2006.
- ORTEGA, E. Polidoro, H. *Fatores a considerar na Análise Emergética de projetos agroecológicos*. 2002. Disponível em <http://www.fea.unicamp.br/docentes/ortega/livro/C11-Agroecologia.pdf>. Acesso em 10 nov. 2006.
- ORTEGA, E., ANAMI, M., DINIZ, G. *Certification of food products using emegy analysis*. In: III International Workshop Advances in Energy Studies. 2002. Porto Venere, Italy, 227-237.
- ORTEGA, E., CAVALETT, O., BONIFÁCIO, R., WATANABE, M. Brazilian Soybean Production: emergy analysis with an expanded scope. *Bulletin of Science, Technology & Society*, 25: 323-334. 2005.
- ORTEGA, E. *What is Info? The role of information in Agricultural Systems*. In: Proceedings of 4<sup>th</sup> Biennial Emergy Conference, Emergy Synthesis 4, Theory and applications of the emergy methodology. 2006. Center for Environmental Policy, Department of Environmental Engineering Sciences, University of Florida, Gainesville, FL.
- PANZIERI, M., MARCHETTINI, N., HALLAM, T.G. Importance of the *Bradhyrizobium japonicum* symbiosis for the sustainability of a soybean cultivation. *Ecological Modelling*, 135: 301-310. 2000.
- PEREIRA, C.L.F. *Avaliação da sustentabilidade ampliada de produtos agroindustriais. Estudo de caso: suco de laranja e etanol*. 2008. Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP. Disponível em <http://www.fea.unicamp.br/alimentarium>. Acesso em 30 nov. 2008.
- PIMENTEL, D., PIMENTEL, M. *Food, Energy and Society*. University Press of Colorado, Niwot, CO, USA. 1996.
- PIZZIGALLO, A.C.I., GRANAI, C., BORSA, S. The joint use of LCA and emergy evaluation for the analysis of two Italian wine farms. *Journal of Environmental Management*, 86: 396-406. 2008.
- PONCE-HERNANDEZ, R., KOOHAFKAN, P., ANTOINE, J. *Assessing carbon stocks and modelling win-win scenarios of carbon sequestration through land-use changes*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 2004. Disponível em <http://www.fao.org/AG/aGL/agll/carbonsequestration/documents.stm>. Acesso em 17 jan. 2007.

- PRADO-JATAR, M.A., BROWN, M.T. Interface ecosystems with an oil spill in a Venezuelan tropical savannah. *Ecological Engineering*, 8: 49-78. 1997.
- PRESCOTT-ALLEN, R. *Barometer of sustainability: a method of assessing progress toward sustainable societies*. Voctoria, Padata, 1995.
- PRESCOTT-ALLEN, R. *Barometer of Sustainability: Measuring and communicating wellbeing and sustainable development*. Cambridge, IUCN, 1997.
- PRETTY, J.N., BRETT, C., GEE, D., HINE, R.E., MASON, C.F., MORISON, J.I.L., RAVEN, H., RAYMENT, M.D., VAN DER BIJL, G. An assessment of the total external costs of UK agriculture. *Agricultural Systems*, 65: 113-136. 2000.
- PRETTY, J.N., BRETT, C., GEE, D., HINE, R.E., MASON, C.F., MORISON, J.I.L., RAYMENT, M.D., VAN DER BIJL, G., DOBBS, T. Policy and Practice: Policy Challenges and Priorities for Internalizing the Externalities of Modern Agriculture. *Journal of Environmental Planning and Management*, 44: 263-283. 2001.
- RIBEIRO, C.A.A.S., SOARES, V.P., OLIVEIRA, A.M.S., GLERIANI, M. O desafio da delimitação de áreas de preservação permanente. *Revista Árvore*, 29: 203 - 212. 2005.
- ROMEIRO, A.R. *O papel dos indicadores de sustentabilidade e da contabilidade ambiental*. In: Avaliação e contabilização de impactos ambientais. 2004. Ademir Romeiro (Organizador). Campinas, SP, Editora da UNICAMP, Imprensa Oficial do Estado de São Paulo.
- ROUNSEVELL, M.D.A., REGINSTER, I., ARAÚJO, M.B., CARTER, T.R., DENDONCKER, N., EWERT, F., HOUSE, J.I., KANKAANPÄÄ, S., LEEMANS, R., METZGER, M.J., SCHMIT, C., SMITH, P., TUCK, G. A coherent set of future land use change scenarios for Europe. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 114: 57-68. 2006.
- SACHS, I. Desarrollo sustentable, bio-industrialización descentralizada y nuevas configuraciones rural-urbanas. Los casos de India y Brasil. *Pensamiento Iberoamericano*, 46: 235 - 256. 1990.
- SACHS, I. *Caminhos para o desenvolvimento sustentável*. Rio de Janeiro, Garamond, 2002.
- SAMUEL-JOHNSON, K., ESTY, D.C. Pilot Environmental Sustainability Index Report. World Economic Forum, Annual Meeting, Davos, Switzerland, 2000.
- SEADE. *Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados*. 2004. Disponível em [http://www.seade.gov.br/produtos/pibmun/pdfs/divulgacao\\_pib\\_municipal\\_2004.pdf](http://www.seade.gov.br/produtos/pibmun/pdfs/divulgacao_pib_municipal_2004.pdf). Acesso em 2 mai. 2007.
- SEIDL, A.F, MORAES, A.S. Global valuation of ecosystem services: application to the Pantanal da Nhecolandia, Brazil. *Ecological Economics*, 33: 1-6. 2000.
- SHEARER, A.W. Approaching scenario-based studies: three perceptions about the future and considerations for landscape planning. *Environmental and Planning B, Planning and Design*, 32: 67-87. 2005.
- SICHE, R., AGOSTINHO, F., ORTEGA, E., ROMEIRO, A. Índices versus indicadores: precisões conceituais na discussão da sustentabilidade de países. *Ambiente & Sociedade*, X: 137-148. 2007.
- SICHE, R., AGOSTINHO, F., ORTEGA, E., ROMEIRO, A. Sustainability of nations by indices: comparative study between environmental sustainability index, ecological footprint and the emery performance indices. *Ecological Economics*, 66: 628-637. 2008.
- SOLECKI, W.D., OLIVERI, C. Dowsaling climate change scenarios in an urban land use change model. *Journal of Environmental Management*, 72: 105-115. 2004.
- TACO. *Tabela brasileira de composição de alimentos*. 2006. Disponível em <http://www.unicamp.br/nepa/taco/>. Acesso em 20 nov. 2006.

- TBCAUSP. *Tabela brasileira de composição de alimentos*. 2006. Disponível em <http://www.fcf.usp.br/tabela/>. Acesso em 20 nov. 2006.
- THE WORLD CONSERVATION STRATEGY. IUCN, UNEP, WWF. Gland, Switzerland. 1980. Disponível em <http://www.nssd.net/references/KeyDocs/IIEDa24.htm>. Acesso em 9 ago. 2007.
- TILLEY, D.R., SWANK, W.T. EMERGY-based environmental systems assessment of a multi-purpose temperate mixed-forest watershed of the southern Appalachian Mountains, USA. *Journal of Environmental Management*, 69: 213-227. 2003.
- TILLEY, D.R., BROWN, M.T. Dynamic emergy accounting for assessing the environmental benefits of subtropical wetland stormwater management systems. *Ecological Modelling*, 192: 327-361. 2006.
- ULGIATI, S., ODUM, H.T., BASTIANONI, S. Emergy use, Environmental loading and sustainability, An emergy analysis of Italy. *Ecological Modeling*, 73: 215-268. 1994.
- ULGIATI, S., BROWN, M.T. Monitoring patterns of sustainability in natural and man-made ecosystems. *Ecological Modelling*, 108: 23-36. 1998.
- ULGIATI, S., BARGIGLI, S., RAUGEI, M. *Dotting the I's and Crossing the T's of Emergy Analysis: Material Flows, Information and Memory Aspects, and Performance Indicators*. In: Proceedings of 3<sup>rd</sup> Biennial Emergy Conference, Emergy Synthesis 3, Theory and applications of the emergy methodology. 2005. Center for Environmental Policy, Department of Environmental Engineering Sciences, University of Florida, Gainesville, FL.
- ULGIATI, S., BARGIGLI, S., RAUGEI, M. An emergy evaluation of complexity, information and technology, towards maximum power and zero emissions. *Journal of Cleaner Production*, 15: 1359-1372. 2007.
- ULGIATI, S., CIALANI, C. *Environmental and thermodynamic indicators in support of fair and sustainable policy making: investigating equitable trade among Latvia, Denmark and Italy*. In: Proceedings of 6<sup>th</sup> Biennial International Workshop Advances in Energy Studies. 2008. Graz University of Technology, Graz, Austria, Julho de 2008.
- ULGIATI, S., BROWN, M.T. Emergy and ecosystem complexity. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 14: 310-321. 2009.
- ULGIATI, S., E BROWN, M.T. Quantifying the environmental support for dilution and abatement of process emissions: the case of electricity production. *Journal of Cleaner Production*, 10: 335-348. 2002.
- ULGIATI, S., RAUGEI, M., BARGIGLI, S. Overcoming the inadequacy of single-criterion approaches to Life Cycle Assessment. *Ecological Modelling*, 190: 432-442. 2006.
- UNEP. *Global Environment Outlook, GEO-4*. United Nations Environmental Program. 2002. Disponível em <http://www.unep.org/geo/>. Acesso em 10 abr. 2008.
- VEIGA, J.E.DA. *Indicadores para a Governança Ambiental*. Departamento de Economia, FEA, Universidade de São Paulo. 2006. Artigo não publicado.
- VERBURG, P.H., VELDKAMP, A., ROUNSEVELL, M.D.A. Scenario-based studies of future land use in Europe. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 114: 1-6. 2006.
- VICTOR, P.A. Review of Eric Neumayer's book: Weak versus strong sustainability, 2<sup>nd</sup> edition, Edward Elgar Publishing, ISBN: 184064060, 256pp. *Ecological Economics*. 52: 127 - 128. 2005.
- von BERTALANFFY, L. *General Systems Theory*. George Braziller, New York. 1968.
- WACKERNAGEL, M., REES, W. *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*. Gabriola Island, BC, and Philadelphia, New Society Publishers. 1996.

- WACKERNAGEL, M., ONISTO, L., BELLO, P., LINARES, A.C., FALFÁN, I.S.L., GARCÍA, J.M., GUERRERO, A.I.S., GUERRERO, MA.G.S. National natural capital accounting with the ecological footprint concept. *Ecological Economics*, 29: 375-390. 1999.
- WALDVOGEL, B.C., FERREIRA, C.E. DE C., YAZAKI, L.M., GODINHO, R.E., PERILLO, S.R. PROJEÇÃO da população paulista como instrumento de planejamento. *São Paulo em Perspectiva*, vol.17 n.3-4, July/Dec. 2003.
- WCED. *World Commission on Environment and Development, Our Common Future*. Oxford University Press, Oxford. 1987.
- WISCHMEIER, W.H., SMITH, D.D. *Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning*. U.S. Department of Agriculture. 1978. Agriculture Handbook nº 537.
- WWF. *The Global Conservation Organization*. 2006. Disponível em [http://www.panda.org/news\\_facts/publications/key\\_publications/living\\_planet\\_report/index.cfm](http://www.panda.org/news_facts/publications/key_publications/living_planet_report/index.cfm). Acesso em 8 ago. 2007.

## **8. ADENDOS**



## Apêndice A. Dados brutos utilizados na análise emergética

Item	Unidade	Cana	Cana + amendoim	Cana + soja	Cana + amendoim + soja
1. Sol	kWh.m <sup>-2</sup> .ano <sup>-1</sup>	5,00	5,00	5,00	5,00
2. Chuva	m <sup>3</sup> .m <sup>-2</sup> .ano <sup>-1</sup>	1,40	1,40	1,40	1,40
3. Vento	m.s <sup>-1</sup>	4,70	4,70	4,70	4,70
4. Perda de solo <sup>A</sup>	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	11900,00	7000,00	7500,00	9000,00
5. Água para irrigação	m <sup>3</sup> .m <sup>-2</sup> .ano <sup>-1</sup>				
6. Eletricidade	kWh.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
7. Combustível fóssil <sup>B</sup>					
(a) Trator com 16CV	h.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
(b) Trator com 65CV	h.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	3,35	3,22	3,04	3,49
(c) Trator com 75CV	h.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
(d) Trator com 90CV	h.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	2,62	2,30	2,19	2,49
(e) Trator com 105CV	h.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	0,22	0,19	0,18	0,21
(f) Trator com 110CV	h.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
(g) Trator com 125CV	h.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>		0,71	0,05	0,08
(h) Colheitadeira	h.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>			0,04	0,01
8. Aço	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	1,86	1,93	1,67	1,89
9. Calcário dolomítico	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	343,20	2400,00	393,30	332,25
10. Termofosfato	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
11. Superfosfato simples	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
12. Cloreto de potássio	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
13. Nitrato de potássio	l.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
14. Uréia	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
15. Sulfato de zinco	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
16. Sulfato de amônio	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
17. Nitrato de amônio	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
18. Ácido bórico	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
19. Manganês	l.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
20. Fosfato monoamônico	l.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
21. Nitrogênio	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	54,85	54,62	51,09	53,40
22. Fósforo	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	120,00	132,12	118,01	127,97
23. Potássio	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	120,00	124,04	118,01	122,20
24. Vacinas	USD.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
25. Ração	USD.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
26. Hormônio vegetal	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
27. Esterco de curral	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
28. Esterco de galinha	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
29. Controle de pragas					
(a) Acaricida	l.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
(b) Inseticida	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>		0,12	0,05	0,10
(c) Fungicida	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>		0,28	0,10	0,24
(d) Espalhante	l.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>			0,06	0,02
(e) Herbicida	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	1,57	1,65	1,90	1,74
(f) Óleo mineral	l.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
(g) Oxicloreto de cobre	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
(h) Isca para mosca	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
(i) Formicida	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	0,10	0,10	0,17	0,12
(j) Cupinicida	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	42,85	41,41	39,30	40,60
(k) Sulfato de cobre	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
30. Mão-de-obra simples					
(a) Tratorista	h.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	6,19	6,42	5,50	6,28
(b) Mão-de-obra	hom.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	18,70	18,08	17,40	17,81
31. Assistência técnica	R\$.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	20,20	19,62	18,87	19,33
32. Mão-de-obra administ.	R\$.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	95,80	93,11	89,67	91,77
33. Contabilidade/escritório	R\$.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	5,80	5,70	5,62	5,67
34. Luz/telefone	R\$.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	24,00	23,39	22,51	23,05
35. Depreciação	R\$.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	2,00	1,27	1,20	1,25
36. Impostos	R\$.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	60,00	50,25	48,88	49,79
37. Serviços materiais	USD.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	629,00	629,00	616,00	624,00
Dinheiro recebido pela venda	USD.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	1074,38	1075,35	1023,89	1057,66
Energia dos produtos	J.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	20,44E+11	26,31E+11	19,09E+11	19,62E+11

<sup>A</sup> Matéria orgânica;

<sup>B</sup> Inclui diesel, gasolina e lubrificantes.

Item	Unidade	Café grupo 1	Café grupo 2	Café grupo 3	Café grupo 4
1. Sol	kWh.m <sup>-2</sup> .ano <sup>-1</sup>	5,00	5,00	5,00	5,00
2. Chuva	m <sup>3</sup> .m <sup>-2</sup> .ano <sup>-1</sup>	1,40	1,40	1,40	1,40
3. Vento	m.s <sup>-1</sup>	4,70	4,70	4,70	4,70
4. Perda de solo <sup>A</sup>	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	24300,00	11170,00	8130,00	5750,00
5. Água para irrigação	m <sup>3</sup> .m <sup>-2</sup> .ano <sup>-1</sup>				
6. Eletricidade	kWh.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
7. Combustível fóssil <sup>B</sup>					
(a) Trator com 16CV	h.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
(b) Trator com 65CV	h.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	2,75	2,75	2,75	2,00
(c) Trator com 75CV	h.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	24,71	32,56	17,60	20,00
(d) Trator com 90CV	h.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>			8,80	
(e) Trator com 105CV	h.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
(f) Trator com 110CV	h.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
(g) Trator com 125CV	h.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
(h) Colheitadeira	h.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
8. Aço	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	8,24	10,60	8,75	6,60
9. Calcário dolomítico	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	1788,00	1920,00	1800,00	3600,00
10. Termofosfato	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
11. Superfosfato simples	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	312,00	300,00	750,00	750,00
12. Cloreto de potássio	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	7,30	200,00	200,00	200,00
13. Nitrato de potássio	l.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
14. Uréia	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>			0,30	
15. Sulfato de zinco	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>		0,50	0,40	4,80
16. Sulfato de amônio	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>			0,10	
17. Nitrato de amônio	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	34,40			170,00
18. Ácido bórico	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	1,22	1,50	0,40	10,00
19. Manganês	l.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
20. Fosfato monoamônico	l.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
21. Nitrogênio	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	379,04	420,00	240,00	420,00
22. Fósforo	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	60,00	60,00	60,00	60,00
23. Potássio	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	427,04	420,00	240,00	420,00
24. Vacinas	USD.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
25. Ração	USD.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
26. Hormônio vegetal	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
27. Esterco de curral	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
28. Esterco de galinha	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
29. Controle de pragas					
(a) Acaricida	l.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
(b) Inseticida	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	14,49	12,00	20,00	12,00
(c) Fungicida	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	4,32	3,50	3,50	3,50
(d) Espalhante	l.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	0,57	0,50	0,50	0,50
(e) Herbicida	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	1,15	1,20	8,00	1,20
(f) Óleo mineral	l.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	1,80	1,80		1,80
(g) Oxidocloreto de cobre	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	0,94	0,90		0,90
(h) Isca para mosca	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	2,45	1,50	1,00	1,50
(i) Formicida	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
(j) Cupinicida	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
(k) Sulfato de cobre	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>			0,40	
30. Mão-de-obra simples					
(a) Tratorista	h.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	27,46	35,31	29,15	22,00
(b) Mão-de-obra	hom.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	57,00	46,00	60,00	51,00
31. Assistência técnica	R\$.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	40,00	40,00	40,00	40,00
32. Mão-de-obra administ.	R\$.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	200,00	200,00	200,00	200,00
33. Contabilidade/escritório	R\$.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	40,00	40,00	40,00	40,00
34. Luz/telefone	R\$.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	60,00	60,00	60,00	60,00
35. Depreciação	R\$.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	5,80	5,80	5,80	5,80
36. Impostos	R\$.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	150,00	150,00	150,00	150,00
37. Serviços materiais	USD.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	1250,00	1490,00	1590,00	1490,00
Dinheiro recebido pela venda	USD.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	3540,56	4522,79	4933,95	4522,79
Energia dos produtos	J.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	3,02E+10	3,86E+10	4,21E+10	3,86E+10

<sup>A</sup> Matéria orgânica;

<sup>B</sup> Inclui diesel, gasolina e lubrificantes.

Item	Unidade	Cultura anual irrigada	Cultura anual não irrigada	Fruticultura	Pastagem
1. Sol	kWh.m <sup>-2</sup> .ano <sup>-1</sup>	5,00	5,00	5,00	5,00
2. Chuva	m <sup>3</sup> .m <sup>-2</sup> .ano <sup>-1</sup>	1,40	1,40	1,40	1,40
3. Vento	m.s <sup>-1</sup>	4,70	4,70	4,70	4,70
4. Perda de solo <sup>A</sup>	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	15300,00	20900,00	11200,00	9600,00
5. Água para irrigação	m <sup>3</sup> .m <sup>-2</sup> .ano <sup>-1</sup>	0,48			
6. Eletricidade	kWh.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	1200,00			416,67
7. Combustível fóssil <sup>B</sup>					
(a) Trator com 16CV	h.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>			0,04	
(b) Trator com 65CV	h.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	10,28	2,57	0,01	
(c) Trator com 75CV	h.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>		0,11	37,94	1,68
(d) Trator com 90CV	h.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	5,61	0,12	0,03	
(e) Trator com 105CV	h.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				2,96
(f) Trator com 110CV	h.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
(g) Trator com 125CV	h.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	3,41	1,03		
(h) Colheitadeira	h.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	2,21	0,52		
8. Aço	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	7,56	1,56	11,40	1,39
9. Calcário dolomítico	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	2000,00	796,63	1325,02	691,77
10. Termofosfato	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				0,05
11. Superfosfato simples	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>			292,94	291,23
12. Cloreto de potássio	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	100,00	1,82	164,50	0,02
13. Nitrato de potássio	l.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	10,00			
14. Uréia	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	30,00	0,01	0,02	
15. Sulfato de zinco	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	38,40	0,90	6714,15	
16. Sulfato de amônio	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	200,00	0,05	779,98	
17. Nitrato de amônio	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
18. Ácido bórico	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	1,50	0,03	2,25	
19. Manganês	unidade/ha/ano	2,00 litros	0,03 kg	4,25 kg	
20. Fosfato monoamônico	l.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	5,00			
21. Nitrogênio	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	331,44	26,27	3,38	60,17
22. Fósforo	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	350,40	92,02	0,76	0,97
23. Potássio	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	237,60	82,41	2,78	37,22
24. Vacinas	USD.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				25,50
25. Ração	USD.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				1890,00
26. Hormônio vegetal	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
27. Esterco de curral	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>			34,23	
28. Esterco de galinha	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>			64,41	1,15
29. Controle de pragas					
(a) Acaricida	unid.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	2,00 litros		13,58 kg	
(b) Inseticida	l.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	13,94	1,16	0,35	
(c) Fungicida	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	7,09	0,76	23,87	
(d) Espalhante	l.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	7,00	0,64	1,81	
(e) Herbicida	unid.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	27,38 litros	5,03 kg	3,61 kg	
(f) Óleo mineral	l.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>			45,21	
(g) Oxicloreto de cobre	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
(h) Isca para mosca	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>			23,90	
(i) Formicida	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	1,00	0,56	0,05	0,97
(j) Cupinicida	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
(k) Sulfato de cobre	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
30. Mão-de-obra simples					
(a) Tratorista	h.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	21,51	4,34	37,99	4,64
(b) Mão-de-obra	hom.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	26,16	2,39	48,57	0,90
31. Assistência técnica	R\$.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	18,78	6,13	61,46	6,00
32. Mão-de-obra administ.	R\$.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	36,47	21,46	233,67	93,00
33. Contabilidade/escritório	R\$.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	6,46	3,65	60,00	30,00
34. Luz/telefone	R\$.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	12,95	6,66	117,93	28,00
35. Depreciação	R\$.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	3,43	1,74	5,83	296,00
36. Impostos	R\$.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	64,49	39,16	125,74	31,00
37. Serviços materiais	USD.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	1750,00	877,00	1170,00	832,00
Dinheiro recebido pela venda	USD.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	5663,95	2068,52	3243,96	1888,89
Energia dos produtos	J.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	10,90E+10	3,65E+10	5,76E+10	0,51E+10

<sup>A</sup> Matéria orgânica;

<sup>B</sup> Inclui diesel, gasolina e lubrificantes.

Item	Unidade	Eucalipto e pinus	Seringueira	Floresta e vegetação ripária	Cerrado
1. Sol	kWh.m <sup>2</sup> .ano <sup>-1</sup>	5,00	5,00	5,00	5,00
2. Chuva	m <sup>3</sup> .m <sup>2</sup> .ano <sup>-1</sup>	1,40	1,40	1,40	1,40
3. Vento	m.s <sup>-1</sup>	4,70	4,70	4,70	4,70
4. Perda de solo <sup>A</sup>	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	21770,00	6630,00	3470,00	1110,00
5. Água para irrigação	m <sup>3</sup> .m <sup>2</sup> .ano <sup>-1</sup>				
6. Eletricidade	kWh.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
7. Combustível fóssil <sup>B</sup>					
(a) Trator com 16CV	h.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
(b) Trator com 65CV	h.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>		17,44		
(c) Trator com 75CV	h.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	3,26			
(d) Trator com 90CV	h.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
(e) Trator com 105CV	h.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
(f) Trator com 110CV	h.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
(g) Trator com 125CV	h.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	1,10	0,11		
(h) Colheitadeira	h.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
8. Aço	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	1,31	5,27		
9. Calcário dolomítico	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	250,00	250,00		
10. Termofosfato	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
11. Superfosfato simples	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>		105,00		
12. Cloreto de potássio	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>		22,18		
13. Nitrato de potássio	litro.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
14. Uréia	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
15. Sulfato de zinco	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
16. Sulfato de amônio	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>		40,78		
17. Nitrato de amônio	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
18. Ácido bórico	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
19. Manganês	litro.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
20. Fosfato monoamônico	litro.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
21. Nitrogênio	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	9,60			
22. Fósforo	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	72,00			
23. Potássio	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	24,00			
24. Vacinas	USD.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
25. Ração	USD.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
26. Hormônio vegetal	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>		1,47		
27. Esterco de curral	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
28. Esterco de galinha	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
29. Controle de pragas					
(a) Acaricida	litro.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>		1,84		
(b) Inseticida	litro.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>		0,99		
(c) Fungicida	litro.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>		0,20		
(d) Espalhante	litro.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>		0,78		
(e) Herbicida	litro.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	2,42	8,95		
(f) Óleo mineral	litro.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
(g) Oxidocloreto de cobre	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
(h) Isca para mosca	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
(i) Formicida	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	2,22	0,90		
(j) Cupinicida	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
(k) Sulfato de cobre	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
30. Mão-de-obra simples					
(a) Tratorista	h.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	4,36	17,56		
(b) Mão-de-obra	hom.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	5,13	74,06		
31. Assistência técnica	R\$.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	28,80	28,80		
32. Mão-de-obra administ.	R\$.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	115,20	115,20		
33. Contabilidade/escritório	R\$.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	28,80	28,80		
34. Luz/telefone	R\$.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>				
35. Depreciação	R\$.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	22,75	22,75		
36. Impostos	R\$.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	39,90	39,90		
37. Serviços materiais	USD.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	618,00	640,00		
Dinheiro recebido pela venda	USD.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	1064,15	1120,13	0,00	0,00
Energia dos produtos	J.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	44,50E+10	3,24E+10	25,20E+10	25,20E+10

<sup>A</sup> Matéria orgânica;

<sup>B</sup> Inclui diesel, gasolina e lubrificantes.

## Apêndice B. Uso dos dados brutos para obter os fluxos de energia, massa ou monetário

Nota	Descrição
1	Sol
	Radiação solar= kWh.m <sup>-2</sup> .ano <sup>-1</sup>
	Albedo= 20 %
	Conversão= (kWh.m <sup>-2</sup> .ano <sup>-1</sup> )*(albedo)*(10000 m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> )*(3600000 J.kWh <sup>-1</sup> )
	Fluxo de energia= J.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>
2	Chuva
	Pluviosidade= m <sup>3</sup> .m <sup>-2</sup> .ano <sup>-1</sup>
	Energia da água= 5000 J.kg <sup>-1</sup> Energia livre de Gibbs.
	Densidade da água= 1000 kg.m <sup>-3</sup>
	Conversão= (m <sup>3</sup> .m <sup>-2</sup> .ano <sup>-1</sup> )*( J.kg <sup>-1</sup> )*( kg.m <sup>-3</sup> )*(10000 m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> )
	Fluxo de energia= J.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>
3	Vento
	Densidade do ar= 1,3 kg.m <sup>-3</sup>
	Média anual de velocidade= m.s <sup>-1</sup>
	Vento geotrópico= m.s <sup>-1</sup> (60% da média anual de velocidade)
	Coefficiente de arraste= 0,001 adimensional
	Conversão= (kg.m <sup>-3</sup> )*(m.s <sup>-1</sup> ) <sup>3</sup> *0,001*(10000 m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> )*(31,56.10 <sup>6</sup> s.ano <sup>-1</sup> )
	Fluxo de energia= J.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>
4	Perda de solo (matéria orgânica)
	Perda de solo= (kg solo).ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>
	Matéria orgânica= 0,04 (kg m.o.)/(kg solo) <sup>-1</sup> (4%)
	Energia da m.o.= 5400 kcal.(kgm.o.) <sup>-1</sup>
	Conversão= (kg solo/ha.ano)*(kg m.o./kg solo)*(kcal/kg m.o.)*(4186 J.kcal <sup>-1</sup> )
	Fluxo de energia= J.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>
5	Água para irrigação
	Consumo= m <sup>3</sup> .m <sup>-2</sup> .ano <sup>-1</sup>
	Energia da água= 5000 J.kg <sup>-1</sup> Energia livre de Gibbs.
	Densidade da água= 1000 kg.m <sup>-3</sup>
	Conversão= (m <sup>3</sup> .m <sup>-2</sup> .ano <sup>-1</sup> )*( J.kg <sup>-1</sup> )*( kg.m <sup>-3</sup> )*(10000 m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> )
	Fluxo de energia= J.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>
6	Eletricidade
	Consumo= kWh.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>
	Conversão= (kWh.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )*(1000 W.kW <sup>-1</sup> )*(3600 s.h <sup>-1</sup> )
	Fluxo de energia= J.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>
7	Combustíveis fósseis (Inclui: diesel, gasolina e lubrificantes).
	(a) Trator com 16 CV
	Horas= h.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>
	Consumo= 6 litro.h <sup>-1</sup>
	Densidade= 0,85 kg.litro <sup>-1</sup>
	Energia= 10000 kcal.kg <sup>-1</sup>
	Conversão= (h.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )*(litro.h <sup>-1</sup> )*(kg.litro <sup>-1</sup> )*(kcal.kg <sup>-1</sup> )*(4186 J.kcal <sup>-1</sup> )
	Fluxo de energia= J.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>
	(b) Trator com 65 CV
	Horas= h.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>
	Consumo= 7 litro.h <sup>-1</sup>
	Densidade= 0,85 kg.litro <sup>-1</sup>
	Energia= 10000 kcal.kg <sup>-1</sup>
	Conversão= (h.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )*(litro.h <sup>-1</sup> )*(kg.litro <sup>-1</sup> )*(kcal.kg <sup>-1</sup> )*(4186 J.kcal <sup>-1</sup> )
	Fluxo de energia= J.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>

(c) Trator com 75 CV

Horas=		$\text{h.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$
Consumo=	8	$\text{litro.h}^{-1}$
Densidade=	0,85	$\text{kg.litro}^{-1}$
Energia=	10000	$\text{kcal.kg}^{-1}$
Conversão=	$(\text{h.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}) * (\text{litro.h}^{-1}) * (\text{kg.litro}^{-1}) * (\text{kcal.kg}^{-1}) * (4186 \text{ J.kcal}^{-1})$	
Fluxo de energia=		$\text{J.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$

(d) Trator com 90 CV

Horas=		$\text{h.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$
Consumo=	9	$\text{litro.h}^{-1}$
Densidade=	0,85	$\text{kg.litro}^{-1}$
Energia=	10000	$\text{kcal.kg}^{-1}$
Conversão=	$(\text{h.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}) * (\text{litro.h}^{-1}) * (\text{kg.litro}^{-1}) * (\text{kcal.kg}^{-1}) * (4186 \text{ J.kcal}^{-1})$	
Fluxo de energia=		$\text{J.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$

(e) Trator com 105 CV

Horas=		$\text{h.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$
Consumo=	10	$\text{litro.h}^{-1}$
Densidade=	0,85	$\text{kg.litro}^{-1}$
Energia=	10000	$\text{kcal.kg}^{-1}$
Conversão=	$(\text{h.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}) * (\text{litro.h}^{-1}) * (\text{kg.litro}^{-1}) * (\text{kcal.kg}^{-1}) * (4186 \text{ J.kcal}^{-1})$	
Fluxo de energia=		$\text{J.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$

(f) Trator com 115 CV

Horas=		$\text{h.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$
Consumo=	11	$\text{litro.h}^{-1}$
Densidade=	0,85	$\text{kg.litro}^{-1}$
Energia=	10000	$\text{kcal.kg}^{-1}$
Conversão=	$(\text{h.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}) * (\text{litro.h}^{-1}) * (\text{kg.litro}^{-1}) * (\text{kcal.kg}^{-1}) * (4186 \text{ J.kcal}^{-1})$	
Fluxo de energia=		$\text{J.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$

(g) Trator com 125 CV

Horas=		$\text{h.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$
Consumo=	12	$\text{litro.h}^{-1}$
Densidade=	0,85	$\text{kg.litro}^{-1}$
Energia=	1000	$\text{kcal.kg}^{-1}$
Conversão=	$(\text{h.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}) * (\text{litro.h}^{-1}) * (\text{kg.litro}^{-1}) * (\text{kcal.kg}^{-1}) * (4186 \text{ J.kcal}^{-1})$	
Fluxo de energia=		$\text{J.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$
Soma de (a) até (g)=		$\text{J.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$

(h) Colheitadeira

Horas=		$\text{h.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$
Consumo=	12	$\text{litro.h}^{-1}$
Densidade=	0,85	$\text{kg.litro}^{-1}$
Energia=	1000	$\text{kcal.kg}^{-1}$
Conversão=	$(\text{h.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}) * (\text{litro.h}^{-1}) * (\text{kg.litro}^{-1}) * (\text{kcal.kg}^{-1}) * (4186 \text{ J.kcal}^{-1})$	
Fluxo de energia=		$\text{J.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$
Soma de (a) até (h)=		$\text{J.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$

8

Aço

Peso trator =	3000 kg
Vida útil =	10000 h
Conversão =	$(\text{kg/h}) * (\text{h/ha.ano de uso de trator})$
Fluxo de massa =	$\text{kg/ha.ano}$
Peso colheitadeira =	8000 kg
Vida útil =	10000 h

	Conversão = (kg/h)*(h/ha.ano de uso de colheitadeira)	
	Fluxo de massa =	kg/ha.ano
	Fluxo de massa total (soma)=	kg/ha.ano
9	Calcário dolomítico	
	Fluxo de massa=	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>
10	Termofosfato: 16,5% de P	
	Quantidade=	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>
	Fluxo de massa=	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>
11	Superfosfato simples	
	Fluxo de massa=	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>
12	Cloreto de potássio	
	Fluxo de massa=	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>
13	Nitrato de potássio	
	Fluxo de massa=	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>
14	Uréia: CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> - 46,7% de nitrogênio em massa	
	Quantidade=	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>
	Fluxo de massa (N)=	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>
15	Sulfato de zinco - ZnSO <sub>4</sub> com 40,4% em massa de zinco	
	Quantidade=	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>
	Fluxo de massa (Zn)=	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>
16	Sulfato de amônio	
	Fluxo de massa=	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>
17	Nitrato de amônio	
	Fluxo de massa=	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>
18	Ácido bórico	
	Fluxo de massa=	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>
19	Manganês	
	Fluxo de massa=	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>
	Quando a quantidade estiver em volume, usar a densidade para obter em massa.	
20	MAP - Fosfato monoamônico: 48% de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> em massa	
	Quantidade=	litro.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>
	Densidade=	kg.litro <sup>-1</sup>
	Conversão= (litro.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )*(kg.litro <sup>-1</sup> )	
	Fluxo de massa=	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>
21	Nitrogênio	
	Fluxo de massa=	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>
22	Fósforo	
	Fluxo de massa=	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>
23	Potássio	
	Fluxo de massa=	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>
24	Vacinas	
	Fluxo monetário=	USD.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>
25	Ração animal	
	Fluxo monetário=	USD.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>
26	Hormônio vegetal	
	Fluxo de massa=	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>
27	Esterco de curral	
	Fluxo de massa=	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>
28	Esterco de galinha	
	Fluxo de massa=	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>
29	Controle de pragas (quando a quantidade estiver em volume, usar a densidade para obter em massa)	
	(a) Acaricida	

	Fluxo de massa=		$\text{kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$	
	(b) Inseticida			
	Fluxo de massa=		$\text{kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$	
	(c) Fungicida			
	Fluxo de massa=		$\text{kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$	
	(d) Espalhante			
	Fluxo de massa=		$\text{kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$	
	(e) Herbicida			
	Fluxo de massa=		$\text{kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$	
	(f) Óleo mineral			
	Fluxo de massa=		$\text{kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$	
	(g) Oxicloreto de cobre			
	Fluxo de massa=		$\text{kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$	
	(h) Isca para mosca			
	Fluxo de massa=		$\text{kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$	
	(i) Formicida			
	Fluxo de massa=		$\text{kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$	
	(j) Cupinicida			
	Fluxo de massa=		$\text{kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$	
	(k) Sulfato de cobre			
	Fluxo de massa=		$\text{kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$	
	Soma de (a) até (k)=		$\text{kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$	
30	Mão-de-obra simples			
	(a) Tratorista			
	Horas=		$\text{h.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$	
	Metabolismo=	2500	$\text{kcal.dia}^{-1}$	
	Conversão=	$(\text{h.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}) * (\text{kcal.dia}^{-1}) * (\text{dia}.24\text{h}^{-1}) * (4186 \text{ J.kcal}^{-1})$		
	Fluxo de energia=		$\text{J.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$	
	(b) Mão-de-obra simples			
	Quantidade=		$\text{homem.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$	
	Horas de trabalho por dia=	8	h	
	Metabolismo=	2500	$\text{kcal.homem}^{-1}.24\text{h}^{-1}$	
	Conversão=	$(\text{homem.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}) * (\text{h}) * (\text{kcal.homem}^{-1}.24\text{h}^{-1}) * (4186 \text{ J.kcal}^{-1})$		
	Fluxo de energia=		$\text{J.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$	
	Soma de (a)+(b)=		$\text{J.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$	
31	Assistência técnica			
	Fluxo monetário=		$\text{USD.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$	
32	Mão de obra administrativa			
	Fluxo monetário=		$\text{USD.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$	
33	Contabilidade/escritório			
	Fluxo monetário=		$\text{USD.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$	
34	Luz/telefone			
	Fluxo monetário=		$\text{USD.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$	
35	Depreciação das benfeitorias			
	Fluxo monetário=		$\text{USD.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$	
36	Impostos			
	Fluxo monetário=		$\text{USD.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$	
37	Serviços materiais			
	Externalidades negat.=		$\text{USD.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$	(a)
	Serviços mat. =		$\text{USD.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$	(b) \$ pago pelos materiais
	Fluxo monetário =		$\text{USD.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$	Soma de (a) e (b)

**Apêndice C. Valores de Intensidade Emergética (sem mão-de-obra e serviços) utilizadas neste trabalho.**

Item	Intensidade Emergética	seJ / unidade	Fonte
1. Sol	1,00E+00	J	Odum, 1996
2. Chuva	3,10E+04	J	Odum, Brown e Brandt-Williams, 2000
3. Vento	2,45E+03	J	Odum, Brown e Brandt-Williams, 2000
4. Perda de solo <sup>A</sup>	1,24E+05	J	Brandt-Williams, 2002
5. Água para irrigação (rio)	6,89E+04	J	Brown e Ulgiati, 2004
6. Eletricidade	2,52E+05	J	Brown e Ulgiati, 2004
7. Combustível fóssil <sup>B</sup>	9,21E+04	J	Bastianoni et al., 2005
8. Aço	1,13E+13	Kg	Brown e Ulgiati, 2004
9. Calcário dolomítico	1,00E+12	kg	Brandt-Williams, 2002
10. Termofosfato	6,55E+12	kg	Utilizou-se o valor do fósforo
11. Superfosfato simples	3,32E+12	kg	Brandt-Williams, 2002
12. Cloreto de potássio	2,92E+12	kg	Utilizou-se o valor do potássio
13. Nitrato de potássio	2,92E+12	kg	Utilizou-se o valor do potássio
14. Uréia	6,38E+12	kg	Cuadra e Rydberg, 2006
15. Sulfato de zinco	7,20E+13	kg	Cohen, Sweeney e Brown, 2007 <sup>C</sup>
16. Sulfato de amônio	3,80E+11	kg	Utilizou-se o valor para Químicos e fertilizantes <sup>D</sup>
17. Nitrato de amônio	6,38E+12	kg	Bargigli e Ulgiati, 2003
18. Ácido bórico	3,80E+11	kg	Utilizou-se o valor para Químicos e fertilizantes <sup>D</sup>
19. Manganês	3,80E+11	kg	Utilizou-se o valor para Químicos e fertilizantes <sup>D</sup>
20. Fosfato monoamônico	6,55E+12	kg	Utilizou-se o valor do fósforo
21. Nitrogênio	6,38E+12	kg	Brown e Ulgiati, 2004
22. Fósforo	6,55E+12	kg	Brown e Ulgiati, 2004
23. Potássio	2,92E+12	kg	Odum, 1996
24. Vacinas	3,30E+12	USD	Coelho, Ortega e Comar, 2003
25. Ração	3,30E+12	USD	Coelho, Ortega e Comar, 2003
26. Hormônio vegetal	1,00E+12	kg	Estimado
27. Esterco de curral	1,27E+11	kg	Bastianoni et al., 2001
28. Esterco de galinha	2,96E+12	kg	Castellini et al., 2006
29. Controle de pragas	2,49E+13	kg	Brown e Ulgiati, 2004
30. Mão-de-obra simples	2,80E+06	J	Brown, 2002
31. Emdolar (Brasil)	3,30E+12	USD	Coelho, Ortega e Comar, 2003

Intensidade Emergética considerando o *baseline* de 15,83 E+24 seJ/ano (BROWN; ULGIATI, 2004).

<sup>A</sup> Matéria orgânica.

<sup>B</sup> Inclui diesel, gasolina e lubrificantes.

<sup>C</sup> Considerou-se apenas o Zinco. Essa intensidade emergética refere-se ao Zinco.

<sup>D</sup> Químicos e fertilizantes: 3,80E+11 seJ.kg<sup>-1</sup> (CUADRA; RYDBERG, 2000).

**Apêndice D. Dados brutos de produtividade, preço de venda e energia dos produtos agropecuários e florestais considerados nesta tese**

Produto	Produtividade (kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	Preço de venda (R\$.kg <sup>-1</sup> )	Energia (kcal.kg <sup>-1</sup> )
Cana-de-açúcar	76285,00	0,03	640,00
Amendoim	2578,00	0,92	5440,00
Soja	2800,00	0,36	3630,00
Café grupo 1	1722,22	4,42	4190,00
Café grupo 2	2200,00	4,42	4190,00
Café grupo 3	2400,00	4,42	4190,00
Café grupo 4	2200,00	4,42	4190,00
Algodão	3750,00	2,53	1000,00
Feijão	3000,00	0,13	3290,00
Milho	9000,00	0,23	1380,00
Arroz	2300,00	0,43	3600,00
Milho safrinha	3000,00	0,18	1380,00
Sorgo	4000,00	0,19	3290,00
Girassol	1900,00	0,50	4750,00
Abacate	11300,00	0,26	960,00
Banana	41700,00	0,29	1000,00
Coco-da-baía	57118,00	0,11	4020,00
Goiaba	42240,00	0,42	540,00
Laranja	37620,86	0,19	370,00
Limão	21806,78	0,25	320,00
Manga	9700,00	0,39	510,00
Maracujá	28330,00	0,55	680,00
Pêssego	16875,00	0,93	360,00
Tangerina	24695,42	0,29	380,00
Uva	35000,00	0,95	490,00
Carne Bovina	1,59.10 <sup>8</sup> kg.ano <sup>-1</sup>	10,00	3000,00
Leite	2,11.10 <sup>6</sup> litros.ano <sup>-1</sup>	0,80	680,00
Eucalipto	45,55 m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	50,00 R\$.m <sup>-3</sup>	4700,00
Pinus	35,00 m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	75,00 R\$.m <sup>-3</sup>	4700,00
Seringueira (látex)	967,18	2,49	8000,00

Fonte: Agriannual (2004); Fahl et al. (1998); TBCAUSP (2006); Taco (2006); IEA (2006); Ecoagri (2006).

## Apêndice E. Valores de Intensidade Energética utilizados nesse trabalho

Item	Unidade	Intensidade energética (ep) <sup>a</sup>	Unidade do ep
1. Sol	kWh.m <sup>-2</sup> .ano <sup>-1</sup>	-	-
2. Chuva	m <sup>3</sup> .m <sup>-2</sup> .ano <sup>-1</sup>	-	-
3. Vento	m.s <sup>-1</sup>	-	-
4. Perda de solo <sup>A</sup>	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	-	-
5. Água para irrigação	m <sup>3</sup> .m <sup>-2</sup> .ano <sup>-1</sup>	-	-
6. Eletricidade	kWh.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	0,25000	kgep/kWh
7. Combustível fóssil <sup>B</sup>		-	-
(a) Trator com 16CV	h.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	0,00030	tep/h
(b) Trator com 65CV	h.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	0,00030	tep/h
(c) Trator com 75CV	h.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	0,00030	tep/h
(d) Trator com 90CV	h.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	0,00030	tep/h
(e) Trator com 105CV	h.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	0,00030	tep/h
(f) Trator com 110CV	h.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	0,00030	tep/h
(g) Trator com 125CV	h.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	0,00030	tep/h
(h) Colheitadeira	h.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	0,00080	tep/h
8. Aço	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	0,00100	tep/kg
9. Calcário dolomítico	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	0,00030	tep/kg
10. Termofosfato	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	0,00030	tep/kg
11. Superfosfato simples	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	0,00005	tep/kg
12. Cloreto de potássio	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	0,00012	tep/kg
13. Nitrato de potássio	l.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	0,00052	tep/kg
14. Uréia	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	0,00086	tep/kg
15. Sulfato de zinco	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	0,00030	tep/kg
16. Sulfato de amônio	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	0,00035	tep/kg
17. Nitrato de amônio	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	0,00052	tep/kg
18. Ácido bórico	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	0,00030	tep/kg
19. Manganês	l.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	0,00030	tep/kg
20. Fosfato monoamônico	l.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	0,00033	tep/kg
21. Nitrogênio	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	0,00175	tep/kg
22. Fósforo	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	0,00032	tep/kg
23. Potássio	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	0,00022	tep/kg
24. Vacinas	USD.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	-	-
25. Ração	USD.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	-	-
26. Hormônio vegetal	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	0,00300	tep/kg
27. Esterco de curral	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	0,00001	tep/kg
28. Esterco de galinha	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	0,00001	tep/kg
29. Controle de pragas		-	-
(a) Acaricida	l.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	0,00300	tep/kg
(b) Inseticida	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	0,00300	tep/kg
(c) Fungicida	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	0,00300	tep/kg
(d) Espalhante	l.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	0,00300	tep/kg
(e) Herbicida	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	0,00300	tep/kg
(f) Óleo mineral	l.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	0,00300	tep/kg
(g) Oxicloreto de cobre	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	0,00300	tep/kg
(h) Isca para mosca	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	0,00300	tep/kg
(i) Formicida	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	0,00300	tep/kg
(j) Cupinicida	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	0,00300	tep/kg
(k) Sulfato de cobre	kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	0,00300	tep/kg
30. Mão-de-obra simples		-	-
(a) Tratorista	h.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	-	-
(b) Mão-de-obra	hom.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	-	-
31. Assistência técnica	R\$.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	-	-
32. Mão-de-obra administ.	R\$.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	-	-
33. Contabilidade/escritório	R\$.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	-	-
34. Luz/telefone	R\$.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	-	-
35. Depreciação	R\$.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	-	-
36. Impostos	R\$.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	-	-
37. Serviços materiais	USD.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	-	-

<sup>a</sup> Fonte: Jarach, 1985.

## Apêndice F. Uso da terra da bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçu e Pardo relacionada à capacidade de uso

Uso da terra	Área em hectares para cada capacidade de uso da terra									
	I	If	II	Ile	Ilef	IIf	IIIe	IIIef	IIIIf	IVe
Área de Mineração				56,64	31,34	316,96	27,52	123,25		10,67
Área urbana	349,12	308,94		1582,77	3736,81	35079,99	3703,32	5906,02	403,47	349,19
Café		1,89	2,04	55,66	8693,68	7976,84	734,33	2498,62	1196,01	639,34
Cana-de-açúcar	2334,24	10255,07	1429,96	54067,73	99180,85	1127117,85	15834,57	196309,30	16521,17	3556,75
Cerrado	2,88			253,93	3575,66	32730,28	176,10	18311,16	540,30	367,14
Corpos d'água	48,54	208,31	30,58	799,69	2246,53	19842,06	1239,05	2457,20	616,04	165,63
Cultura anual			176,21	2962,67	3527,36	52204,32	3288,46	7134,31	582,67	554,76
Cultura anual irrigada	46,28			739,69	1426,35	29172,77	360,99	289,00	74,92	
Floresta e veg. ripária	517,87	2125,12	507,86	17157,01	30212,61	208780,50	30178,67	77537,98	12123,67	10847,37
Fruticultura	1649,97	2766,02	218,58	19407,33	15890,45	153396,68	516,05	27316,69	871,77	96,12
Outros			3,11		157,47	279,06	565,00	677,85	36,52	908,94
Pastagem	114,92	135,12	615,60	22870,41	37279,47	87577,03	82913,86	68176,08	12130,33	20075,03
Seringueira				152,58		2986,75	1,56			
Silvicultura				263,01	6639,81	38346,41	725,10	47924,01	439,17	175,84
Total:	5063,82	15800,47	2983,94	120369,12	212598,39	1795807,5	140264,58	454661,47	45536,04	37746,78

Uso da terra	Área em hectares para cada capacidade de uso da terra									
	IVef	Va	VI	Vle	Vlef	Vler	Vlr	VII	VIIef	VIII
Área de Mineração		80,55		8,74		0,09				
Área urbana	237,45	1365,76	27,86	86,87		177,00				
Café	196,53	128,68	7,04	60,79	24,47	256,65		1,30	4,46	20,01
Cana-de-açúcar	9671,33	46432,29	1,55		1341,61	12005,47	554,24	384,55	195,28	15,03
Cerrado	1212,84	1848,05			397,31	1682,20	67,28	5,52	12,05	
Corpos d'água	195,76	3203,48	0,53	70,52	9,69	21,50	2,42	6,99	0,28	1,85
Cultura anual	2507,79	2284,78	176,51	864,85	228,56	417,72	61,88	86,96	45,79	
Cultura anual irrigada	0,02	952,60				28,39				
Floresta e veg. ripária	17333,76	22008,13	3556,97	3992,34	3625,46	4344,26	210,29	9941,52	1374,67	298,78
Fruticultura	803,65	7307,74			19,90	544,41	126,81	1,48		
Outros	608,62		241,30	463,05	13,14			503,33		24,61
Pastagem	23754,17	5172,64	2249,82	6678,29	3549,95	3473,92	152,54	5110,72	330,86	816,82
Seringueira										
Silvicultura	155,79	835,31	32,73	100,02	2,74	4801,82		46,11		
Total:	56677,71	91620,01	6294,31	12325,47	9212,83	27753,43	1175,46	16088,48	1963,39	1177,1

Fonte: Ecoagri (2006); e = suscetibilidade à erosão; f = limitação quanto à fertilidade; r = solos rasos; a = excesso de água.

## Apêndice G. Informações sobre o uso da terra no estado de São Paulo em 1962

Uso da Terra	Área em ha	Referência para ha	Produtividade em kg/ha	Referência para kg/ha	Produção em kg	Referência para kg
Cana-de-Açúcar	515500	<sup>a</sup>	51600	Calculado Fahl et al. (1998)	26600000000	<sup>a</sup>
Laranja	3310345	Calculado <sup>a</sup>	290		960000000	<sup>a</sup>
Café	1166700		267	Calculado Fahl et al. (1998)	312000000	<sup>a</sup>
Soja	3591	Calculado <sup>a</sup>	2200		7900000	
Milho	1573000	<sup>a</sup>	1709		2688257000	Calculado <sup>a</sup>
Algodão	605000	<sup>a</sup>	1192	Calculado <sup>a</sup>	721000000	
Feijão	387200	<sup>a</sup>	411		159139200	Calculado <sup>a</sup>
Amendoim	382000	<sup>a</sup>	1427	Calculado <sup>a</sup>	545000000	
Arroz	762300	<sup>a</sup>	2000		1524600000	Calculado
Pastagem	11300000	<sup>a</sup>				
Floresta	3000000	<sup>a</sup>				
Cana-de-Açúcar	396700	Melo (1983)				
Café	1385500	Melo (1983)				
Laranja	46000	Melo (1983)				
Cultura anual <sup>b</sup>	3376000	Melo (1983)				

<sup>a</sup> Para estimar esses dados, foram considerados os trabalhos de Dias (1963, 1967) e Ettori (1964).

<sup>b</sup> Soma de algodão, amendoim, arroz, feijão, mandioca, milho e soja.

Os valores obtidos pelo plano de informação de uso da terra pelo Ecoagri (2006) para 1962 são os seguintes: Campo (6863,79ha); Cerradão e Cerrado (443352,44ha); Culturas (741500,81ha); Floresta (52580,17ha); Outros (472766,93ha); Pastagem (1380982,26ha); Reflorestamento (33253,59ha). As seguintes considerações foram realizadas inicialmente para os dados obtidos de Ecoagri (2006): (a) As áreas definidas como "Reflorestamento", foram consideradas como de "Floresta e Vegetação Ripária"; (b) As áreas definidas como "Culturas" (741500,82ha) foram divididas em "Café" (30000,00ha), "Fruticultura" (20000,00ha), "Cultura anual não irrigada" (586500,82ha), "Cultura anual irrigada" (5000,00ha) e "Cana-de-açúcar" (100000,00ha); (c) As áreas definidas como "Campo" foram consideradas como de "Cerrado"; (d) As áreas definidas como "Floresta estacional", "Floresta Secundária", "Mata" e "Vegetação Ripária", foram somadas e consideradas como "Floresta e Vegetação Ripária"; (e) As áreas definidas como "Outros" (472766,93ha) foram divididos em "Área urbana" (30000,00ha), "Corpos d'água" (50000,00ha), "Áreas de Mineração" (600,00ha), "Cana-de-açúcar" (100000,00ha), "Café" (390000,00ha) e "Outros" (392166,93ha).

## **Anexo A. Definição de capacidade de uso da terra**

(Fonte: Bertoni e Lombardi Neto, 1999, p.244-245)

**Classe I:** Terras cultiváveis permanentemente e seguramente, com produção de colheitas entre médias e elevadas, das culturas anuais, sem práticas ou medidas especiais. O solo é profundo e fácil de trabalhar, conserva bem a água, é medianamente suprido de elementos nutritivos, o terreno tem declividade suave, e podem ser cultivadas sem práticas especiais de controle da erosão;

**Classe II:** Terras cultiváveis que requerem uma ou mais práticas especiais para serem cultivadas segura e permanentemente, com a produção de colheitas entre médias e elevadas das culturas anuais. A declividade pode ser suficiente para correr enxurrada e provocar erosão. O solo pode ter alguma deficiência que possa limitar a sua capacidade de uso: algumas naturalmente encharcadas podem requerer drenagem; podem não ter boa capacidade de retenção de umidade; algumas práticas conservacionistas são necessárias, tais como plantio em contorno, plantas de cobertura, culturas em faixa, até mesmo terraços. Em alguns casos, pode necessitar a remoção de pedras e utilização de adubos e corretivos;

**Classe III:** Terras cultiváveis que requerem medidas intensivas ou complexas, a fim de poder ser cultivadas, segura e permanentemente, com a produção de colheitas entre médias e elevadas das culturas anuais. A topografia moderadamente inclinada exige cuidados intensivos para controle de erosão; a drenagem deficiente exige controle da água; a baixa produtividade requer práticas especiais de melhoramento do solo. São enquadradas nessa classe as melhores terras, não irrigadas, de algumas regiões semi-áridas;

**Classe IV:** Terras que não se prestam para cultivos contínuos ou regulares, com produção de colheitas médias ou elevadas das culturas anuais, mas que se tornam apropriadas, em períodos curtos, quando adequadamente protegidas. São de declive íngreme, erosão severa, drenagem muito deficiente, baixa produtividade, ou qualquer outra condição que se torna imprópria para o cultivo regular. Em algumas regiões, onde há escassez de chuva, as culturas sem irrigação não são seguras;

**Classe V:** Terras que não são cultiváveis com culturas anuais, sendo especialmente adaptadas para algumas culturas perenes, para pastagens ou para reflorestamento. São terras praticamente planas com problemas de encharcamento ou alguma obstrução permanente como afloramento de rochas. O solo é profundo e as terras têm poucas limitações para uso em pastagens ou silvicultura, podendo ser usadas permanentemente sem práticas especiais de controle de erosão ou de proteção do solo;

**Classe VI:** Terras que não são cultiváveis com culturas anuais, sendo especialmente adaptadas para algumas culturas perenes, para pastagens ou reflorestamento. São terras que apresentam problemas de pequena profundidade do solo ou declividade excessiva. Em regiões áridas e semi-áridas, a escassez de umidade é a principal causa para o enquadramento na classe;

**Classe VII:** Terras que, além de não serem cultiváveis com culturas anuais, apresentam severas limitações, mesmo para pastagens ou para reflorestamento, exigindo grandes restrições de uso, com ou sem práticas especiais. Requerem cuidados externos para controle da erosão;

**Classe VIII:** Terras não cultiváveis com qualquer tipo de cultura e que não se prestam para floresta ou para produção de qualquer outra forma de vegetação permanente de valor econômico. Prestam-se apenas para a produção e abrigo da fauna silvestre, para fins de recreação ou de armazenamento de água em açudes. São áreas extremamente áridas, declivosas, pedregosas, arenosas, encharcadas ou severamente erodidas. São por exemplo, encostas rochosas, terrenos íngremes montanhosos ou de afloramento rochoso, dunas arenosas da costa, terrenos de mangue e de pântano.

## Anexo B. Publicações

(O artigo abaixo foi publicado nos Anais do VI Biennial International Workshop Advances in Energy Studies, realizado em Graz, Áustria, em 2008; <http://www.chim.unisi.it/portovenere/>; <http://www.aes08.tugraz.at/> )

### Integration of land use cover change and emergy models in the MIMES to simulate the emergy indices dynamics for the Mogi-Guaçu and Pardo Watershed, Brazil

L. A. Ambrosio<sup>1</sup>, E. Ortega<sup>2</sup> and F. Agostinho<sup>2</sup>

<sup>1</sup> CAPTA Milk Bovines, Zootechnology Institute, Nova Odessa, SP, Brazil.

<sup>2</sup> Ecological Engineering Laboratory, Food Eng. School, UNICAMP, Campinas, SP, Brazil.  
ambrosio@iz.sp.gov.br; ortega@fea.unicamp.br; feni@fea.unicamp.br

#### ABSTRACT

Agostinho and coworkers<sup>9</sup> calculated the emergy flows ( $\text{seJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$ ) of each land use for the Mogi-Guaçu and Pardo Rivers Watershed to study its environmental performance. The authors used the geographically referenced database prepared by ECOAGRI Project<sup>10</sup> as raw data. The Emergy Sustainability Index (ESI) obtained from areas with natural vegetation and heveaculture showed a good performance; but the values obtained in the areas cultivated with sugar-cane, coffee, annual dry crops, orchard and pasture indicates low sustainability. The spatial distribution of ESI on the watershed showed that for the southeast and the northwest regions, the ESI performance is lower than the other regions and requires specific and urgent actions to increase its sustainability. The watershed land use dynamics is based on the process of substitution of less economic competitive crops by those that are more lucrative. This behavior is imposed mainly the external market. In recent years has occurred the expansion of the sugar cane on the region, mainly to the ethanol demand. On the other hand, some positive aspects are occurring: the retraction of the agricultural frontier due to the restoration of Permanent Preservation Area (PPA); and preserving with natural vegetation the 20% of total property area that are located in rural region (without considering the PPA), in accordance with Brazilian's law called Legal Reserve (LR). The present paper simulated the dynamic of the emergy indices by the substitution of the land use on the watershed considering the scenario of PPA's restoration and LR's law. To meet the specific requirements of the PPA and LR restrictions, the Land Use Cover Change (LUCC) sub-model of MIMES<sup>11</sup> has been adapted. Moreover, an Emergy Analysis sub-model was developed to calculate the emergy indices in the dynamic simulation. This new sub-model is connected to other MIMES's sub-models and allows knowing efficiently the relationships between land use with other state variables of the lithosphere, hydrosphere, atmosphere, biosphere and anthroposphere. The results showed a strong tendency in the improvement of the watershed's environmental performance. Considering the PPA and RL's scenarios and the consequent increase of forest areas, expressive gains in the emergy indices were obtained. The integration of the emergy analysis and land use cover change in the MIMES framework resulted in a fast, robust and dynamic tool that could be very useful to assist the discussion of public policy and decision making on the watershed scope.

**Key words:** Emergy indices, Land use cover change, Watershed, Ecosystem modelling, MIMES

---

<sup>9</sup> Agostinho, F., Ambrósio, L.A. and Ortega, E. Environmental diagnosis of agricultural systems in Mogi-Guaçu and Pardo watershed using emergy performance indices. *Journal of Environmental Management*. Article submitted in December 2007.

<sup>10</sup> ECOAGRI Project, 2006. Diagnóstico ambiental da agricultura no Estado de São Paulo: bases para um desenvolvimento rural sustentável. (Environmental diagnosis of Sao Paulo state's agriculture: base for a rural sustainable development). Available at [http://www.cnpm.embrapa.br/projetos/bacia\\_rio\\_pardo/95municípios.htm](http://www.cnpm.embrapa.br/projetos/bacia_rio_pardo/95municípios.htm). Accessed on June 10<sup>th</sup> 2007.

<sup>11</sup> MIMES, 2007. Multi-scale Integrated Models of Ecosystem Services of Earth's Systems. Available at <http://sourceforge.net/projects/mimes>. Accessed on February 25<sup>th</sup> 2008.

## 1. INTRODUCTION

In the period from 1988 to 2002, the agricultural and agro-industrial activity in the Mogi-Guaçu and Pardo Rivers (here called Mogi-Pardo Watershed) had an intensive growth. This growth was based on the process of substitution of economically less competitive crops by more competitive crops to meet the demands of internal and external market. The agricultural technologies used in these crops in expansion require large amounts of chemical fertilizers, pesticides, oil, and crop varieties with high productive potential, allied to the mechanization of the operations with consequent decrease in labor. The agricultural systems that use this kind of technology cause environmental impacts such as deforestation, biodiversity loss, soil degradation, and contamination of water resources. Besides that, it causes social exclusion by land ownership concentration and income concentration, causing an intense rural exodus. In the northwestern São Paulo state, Ambrosio and coworkers<sup>12</sup> showed that the economic competitiveness of the sugar cane is manifested on the illegal occupation of environmental preservation areas. The sugar cane showed greater substitution effect on other anthropic uses in Permanent Preservation Area (PPA). Agostinho and coworkers<sup>1</sup> using the emergy analysis showed the unsustainability of production systems in Mogi-Pardo Watershed. The Emergy Sustainability Index obtained by the authors, for the areas with natural vegetation, heveaculture and forestry showed good performance; in other hand, the emergy indices for the land use with sugar cane, coffee, annual dry crops, orchard, and pasture, was low, indicating that these land use are not sustainable for a long time.

In this context, what are the effects on the watershed's sustainability considering this land use dynamic changes and the current agricultural technology, in Mogi-Pardo Watershed?

In the last few years, in Mogi-Pardo Watershed is occurring a retraction of the agricultural frontier caused by the expansion of urban uses and by the Brazilian's law about environment. This retraction was little studied, but its knowledge is very important to public policies. The Brazilian's law about Legal Reserves (LR) say that every three years during the period from 2002 to 2031, the rural properties must preserve with natural vegetation 1/10 of its area (excluding the Permanent Preservation Areas - PPA) in order to cover 20 percent of Mogi-Pardo Watershed area.

Thus, in the next 30 years the areas with natural vegetation could increase strongly due to the restoration of PPA and reforestation of LR. If this scenario does not occur, how the farming systems will affect the watershed's sustainability?

The general assumption made for both scenarios (considering and not considering the application of law), is that the changes of land use by anthropic activities, over the time will, cause complex and relevant changes in the sustainability of Mogi-Pardo Watershed. It is expected an improvement in the sustainability indices simultaneously with the increase of natural vegetation because there is a strong pressure for compliance with the Brazilian Forest law. Additionally, in the Mogi-Pardo Watershed, the sugar cane is replacing the pasture areas that have high degree of soil degradation.

The complexity of the system under study, the dynamic of the problem and the hypothesis formulated need a dynamic model to represents the watershed ecosystem. The most important state variable in the model is the stock of the area occupied by land uses and covers over the time. The model must to include an algorithm for the dynamic simulation of the emergy indices for each land use cover, and the total area of the watershed, considering the restoration of the PPA and LR.

The "Multi-scale Integrated Models of Ecosystem Services of Earth's Systems" (MIMES<sup>3</sup>) framework contains a sub-model called "Land Use Cover Change" (LUCC), whose algorithm allows simulate the dynamics of substitution between land uses and covers, on several scales. In the MIMES, the LUCC sub-model is connected to the other sub-models allowing know efficiently the

---

<sup>12</sup> Ambrósio, L. A., Fasiaben, M. C. R. and Moraes, J. F. L. 2008. Dinâmica dos usos e coberturas da terra em Área de Preservação Permanente na Bacia Hidrográfica dos Rios Mogi Guaçu e Pardo, no período entre 1988 e 2002 (Land use dynamic on the permanent preservation areas in the Mogi-Guaçu and Pardo watershed considering the period from 1988 to 2003). SOBER, XLVI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural. Rio Branco, Acre, Brasil. 20 a 23 de julho de 2008. Article accepted for oral presentation.

relationships of land use with other state variables of geosphere as: anthroposphere, lithosphere, hydrosphere, atmosphere, and biosphere. It is expected that additional will provide to the modular and multi scale structure of MIMES a flexible modelling resource to meet the specific structures and processes of complex ecosystems in each region, in the watershed scope.

The objectives of this work are: (A) to formulate a dynamic model at the regional scale to allow understand the complexity of the sustainability issues in the Mogi-Pardo Watershed, considering the land use cover dynamic change, and (B) to calculate the emergy indices associated with land use cover change, in the scenarios of compliance with environmental legislation and non-compliance.

To reach these objectives, this work used the LUCC sub-model for modelling the sustainability's dynamics of the Mogi-Pardo Watershed through emergy indices.

## 2. BIBLIOGRAPHICAL REVIEW

The term "land cover" refers to the areas with original forests which change is accomplished, for example, by deforestation. The term "land use" refers to the anthropic use and its change includes the return to the state of original forest or the alternation between anthropic uses. In the land use cover dynamic change are identified two effects: (i) a scale effect that is the size change in the area of anthropic use that occurs in empty areas or native forests, and (ii) a substitution effect that occurs because the replacement of an anthropic use by the other.

In the 70s and 80s, the Mogi-Pardo Watershed suffered the expansion of the area occupied with sugar cane with an enormous increase of 57.5 percent due to the ethanol program (PROALCOHOL) incentives, Veiga Filho and Yoshii<sup>13</sup>. The sugar cane area substituted areas of pasture; and in this period the scale effect was already zero, indicating the reduction of the agricultural frontier in the region. The results were concentration of land ownership and income and the high rate of employment seasonality. In the years 90s the sugar-alcohol industry suffered a crisis caused by the decrease in the consumption of alcohol fuel and by the end of the PROALCOHOL, but the effects were diluted by the good situation of the international market for sugar. In the years 2000s the industries once again grow, which are driven by the potential of national and international demands of biofuel. The expansion of the sugar cane area caused an increase in the price of land, reducing the competitiveness of other economic crops, such as: pasture, soybeans, corn, peanuts, sorghum and cassava.

The Permanent Preservation Areas (PPA) are located in border the hydric bodies in which, by imposing the Brazilian Environmental Legislation, the vegetation must be kept intact in order to guarantee the preservation of water flows, soil stability and biodiversity, and the human well-being. The regime of protection of the PPA is quite rigid: the rule is "no use"; exceptionally allowed the removal of vegetation only in cases of public utility or of social interest, as provided by law, for example, for urban use. Given that the law has not been respected, many areas that should be destined to the permanent protection were occupied by anthropic uses. It's causing the environmental degradation.

The Forest Code also regulates the Legal Reserve – LR. According to the law, all rural property (private or not) must have an area of native forest reserve, in the percentage of 20% for the areas of the Mogi-Pardo Watershed region. It is necessary to exclude the PPA from the calculation. The deadline for restoration of LR is thirty years from 08/24/2001. In practical terms, currently the documentation of restoration of the Legal Reserve is required in the purchase and sale contracts of rural properties, in the bank financing and in the granting of water use.

So, every farm has to respect the permanent preservation areas (PPA) and the areas of legal reserve (LR). Therefore, it is of basic importance to know the impact of the observance of this legislation on the sustainability of the Watershed.

---

<sup>13</sup> Veiga Filho, A. A. and Yoshii, R. J. 1994. Dinâmica e perspectivas do Proálcool em São Paulo: Contribuição à formulação do macrozoneamento da Bacia Moji/Pardo/Médio Grande Grande (Dynamic and perspectives of the Brazilian PROALCOHOL in Sao Paulo state: contribution to formulation of landscape management in the Mogi-Guaçu and Pardo watershed). *Informações Econômicas*, SP, v. 24(4):39-53.

### 3. MATERIAL AND METHODS

#### 3.1. Study area

The Mogi-Pardo Watershed consists of the drainage basin of the Pardo River and your main tributary, the Mogi Guaçu River. The Pardo River has course of 550 km and flow in Grande River at the border state of São Paulo and state of Minas Gerais and his drainage area is totally contained in the São Paulo territory. The Mogi Guaçu River has a course of 473 km in total extension and a small part of his drainage area is located in the southern highlands of the state of Minas Gerais and most are located in the state of Sao Paulo. The portion of the state of São Paulo of the Mogi-Pardo Watershed is analyzed in this study. It stretches out for an area of 3.13 million hectares, comprising 95 municipalities, ECOAGRI Project<sup>2</sup>.

#### 3.2. Energy Indices of the land use cover

For the simulation of the dynamics of land occupation were considered two types of land use in the Mogi-Pardo Watershed: (i) the agricultural use with sugar cane, coffee, annual dry crops, annual irrigated crops with central pivot, orchard, pasture, silviculture, or heveaculture, and (ii) the urban use. The covers in the Mogi-Pardo Watershed were classified into Savanna (Cerrado), Atlantic Forest, and Riparian Vegetation.

The characteristics of the each farming system and the covers, as described by Agostinho and coworkers<sup>1</sup>, were considered to performance the emergy analysis. In this work, the several farming systems of sugar cane and coffee have been aggregated into a single farming system. Agostinho and coworkers<sup>1</sup> used the emergy flows to calculate the emergy indices, described in Table 1, of the agricultural production systems and covers predominant in the Mogi-Pardo Watershed. The authors considered the partial renewability of each item of the emergy flows, as used by Ortega and coworkers<sup>14</sup>.

Table 1. Emergy indices.

Index	Expression	Meaning
Solar transformity	$Tr = Y/E$	The ratio of emergy of the output to energy of the products.
Renewability	$\%R = 100[(R+M_N+S_R)/Y]$	The ratio of renewable inputs to total emergy of the system.
Emergy yield ratio	$EYR = Y/(M_N+S_N)$	The ratio of total emergy used to emergy of non-renewable inputs from the economy.
Emergy investment ratio	$EIR = (M_N+S_N)/(R+M_R+S_R+N)$	The ratio of emergy of non-renewable economic inputs to emergy of nature investment (nature input plus renewable inputs from economy).
Emergy loading ratio	$ELR = (N+M_N+S_N)/(R+M_R+S_R)$	The ratio of non-renewable emergy to renewable inputs.
Emergy sustainability index	$ESI = EYR/ELR$	Indicates the sustainability of the system.

Source: Odum, H.T.<sup>15</sup>; Brown and Ulgiati<sup>16</sup>; Ortega and coworkers<sup>7</sup> apud Agostinho and coworkers<sup>1</sup>. **R**: Renewable resources from nature; **N**: Nonrenewable resources from nature; **M<sub>R</sub>**: Renewable material and energy; **M<sub>N</sub>**: Nonrenewable material and energy; **S<sub>R</sub>**: Renewable services; **S<sub>N</sub>**: Nonrenewable services.

In this work, emergy analyses were performed for all classes of land use cover, listed in Table 2. Emergy flows ( $seJ \cdot ha^{-1} \cdot yr^{-1}$ ) of each land uses and covers were multiplied by the total of their respective areas to obtain the total emergy for the each land use cover in the Mogi-Pardo Watershed in  $seJ \cdot yr^{-1}$ . After that calculation all the flows were added, resulting in the pattern of

<sup>14</sup> Ortega, E., Anami, M. and Diniz, G., 2002. Certification of food products using emergy analysis. In: Proceedings of III International Workshop Advances in Energy Studies, Porto Venere, Italy, 227-237.

<sup>15</sup> Odum, H.T., 1996. Environmental Accounting, Emergy and Decision Making. John Wiley, New York, 370 pp.

<sup>16</sup> Brown, M.T. and Ulgiati, S., 2004. Emergy Analysis and Environmental Accounting, Encyclopedia of Energy, Vol 2: 329-354.

emergy flows from watershed where, finally, they could be used to calculate the emergy indices of the Watershed.

### 3.3. Conceptual model description

According to Boumans and Costanza<sup>17</sup>, the MIMES project – Multi-scale Integrated Models of Ecosystem Services of Earth's Systems – aims to integrate the modelling, the data collection and valuation, in participatory way, to contribute to the advancement of studies on ecosystem services in integrated assessments. The main objectives of the MIMES are: (i) The meeting of a set of dynamic models of ecological economy specifically intended to promote the integrated understanding of the functioning of ecosystems, ecosystem services and human well-being, in several spatial scales; (ii) the development and application of new techniques of valuation adapted to the characteristics of the public ecosystem goods and services, and integrated with the modelling work; and (iii) providing the integrated models and their results at a wide range of potential users. Subject-specific models relevant inside of the MIMES were studied and transcribed for the software SIMILE. The development of MIMES requires a matrix of interactions between the inputs and outputs of the specific models. This matrix is a feature of the dynamics of the development process of MIMES to help the developers of specific models in the connection of his models with other sub-models of the MIMES (requesting the inputs of the model and providing the outputs of the model when requested).

The “Land Use Cover Change” sub-model of MIMES framework presents an algorithm that allows simulate the dynamics of substitution between land uses and covers, in several scales. This sub-model connects to the other sub-models allowing know efficiently the relationships of land use cover with other state variables of anthroposphere, lithosphere, hydrosphere, biosphere and atmosphere.

In this modelling work to simulate the emergy indices of land uses in the Mogi-Pardo Watershed were added to the LUCC sub-model of MIMES the variables associated with the stocks of land with original cover from each anthropic use for compliance of Environmental Legislation in the restoration of PPA and reforestation of LR.

An emergy analysis sub-model was prepared and integrated to the LUCC sub-model of MIMES to enable the analysis of the sustainability of the dynamics of substitution between land uses and covers in the Mogi-Pardo Watershed.

The model simulate the amount of the area changed, in each year for each use or cover, due to changes caused by the dynamics of substitution, and associated with the respective emergy flow values. These values are used to calculate the weighted emergy indices (weighted by the respective areas) for the Watershed. The graphical form of those simulation results show that occur in the watershed, considering the scenarios without LR-PPA reforestation and with reforestation. The variables *HighestAreaPossible* and *LowestAreaPossible* are constraints to the expansion of areas of anthropic land uses. Thus, the model assumes that urban areas does not decrease and increase at the same rate observed in the period from 1988 to 2002. A crop can only occupy lands in accordance with the eight classes of the land use capacity, according ECOAGRI Project<sup>2</sup>.

---

<sup>17</sup> Boumans, R.; Costanza, R. 2007. The multiscale integrated Earth Systems model (MIMES): the dynamics, modeling and valuation of ecosystem services. In Van Bers, C., Petry, D. & Pahl-Wostl, C. (editors.). *Global Assessments: Bridging Scales and Linking to Policy*. GWSP Issues in Global Water System Research, No. 2: 104-107. Available at: [www.gwsp.org](http://www.gwsp.org). Accessed on 23 Feb 2008.

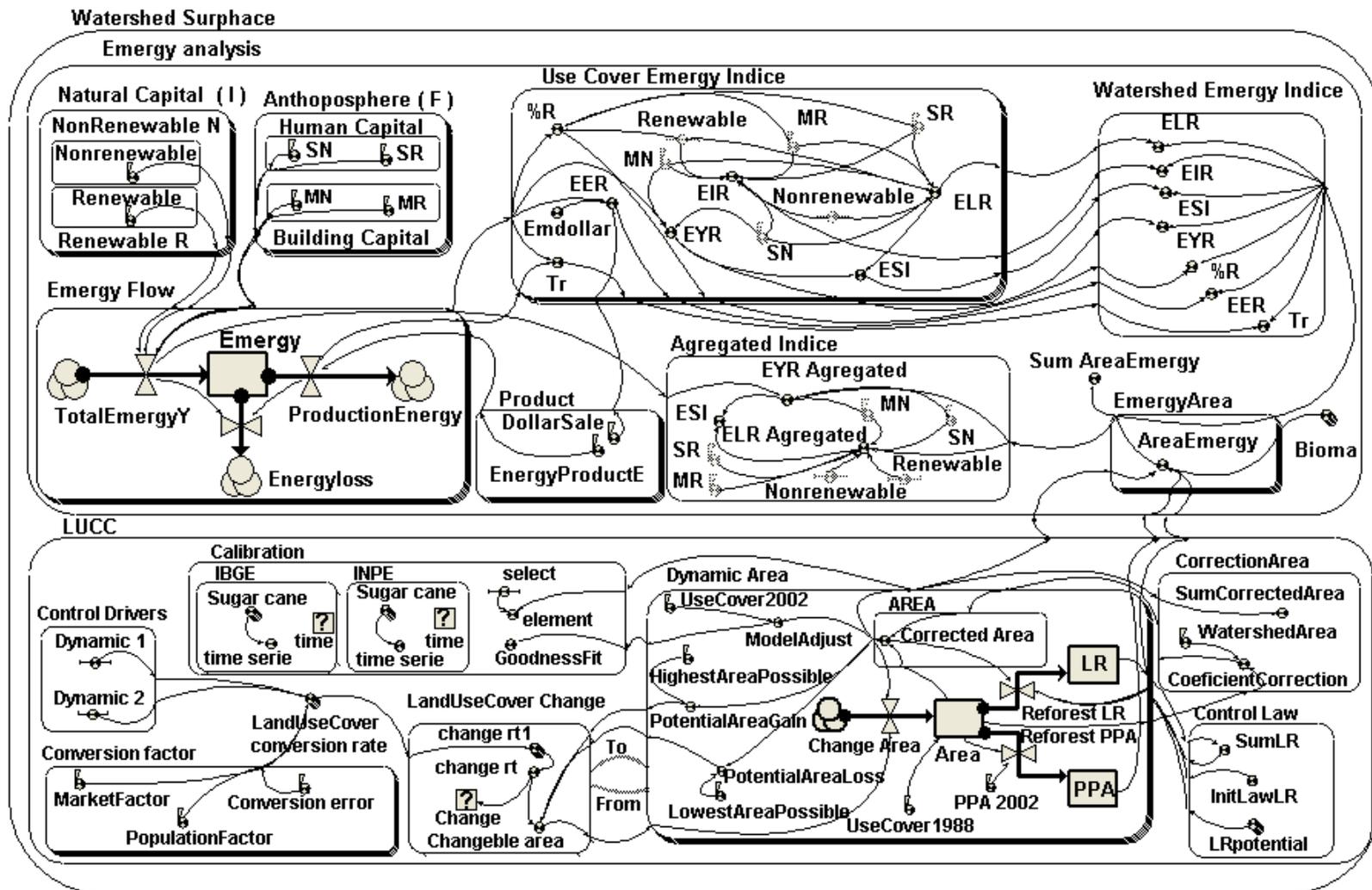


Figure 1. Diagram of the Energy/LUCC model.

### 3.4. Equations of Emery/LUCC model.

LUCC Sub-Model, State variables: **Area = + ChangeArea – ReforestLR – ReforestPPA; LR = + ReforestLR; PPA = + ReforestPPA**

**Flows:** ChangeArea =  $\max(-(\text{Area}), \text{sum}(\{\text{ChangeableAreaFrom}\}) - \text{sum}(\{\text{ChangeableAreaTo}\}))$   
 Reforest\_LR = if SumLR <= 530354.68 then InitLawLR\*0.2\*Area\*element([LRpotential], index(1))  
 else 0  
 Reforest PPA = PPAUse2002\*InitReforestPPA

**Input datas:** InitialPPA; LowestAreaPossible; HighestAreaPossible; PPAUse2002; LandUseCover1988; LandUseCover2002; ConversionError; MarketFactor; PopulationFactor.

**Variables:** PotentialAreaGain =  $\max(0, \text{HighestAreaPossible} - \text{Area})$  ;  
 PotentialAreaLoss =  $\max(0, \text{Area} - \text{LowestAllowed})$   
 LUCCConversionRate =  $[[\text{PopulationFactor}]] * \text{Dynamic1} + [[\text{MarketFactor}]] * \text{Dynamic2} + [[\text{ConversionError}]]$   
 Lowest\_allowed = if index(1)==1 and index(1)==2 and index(1)==3 then  
 $\max(\text{LowestAreaPossible}, \text{PPA} + \text{LR})$  else LowestAreaPossible  
 ConditionChange = change\_rt != 0 ; Change rt = element([change\_rt1], index(2)) ;  
 Change rt1 = element([[LandUseCoverConversionRate]], index(1))  
 ChangeableArea =  $(\min(\text{PotentialAreaLossTo}, \text{PotentialAreaGainFrom}) - \min(\text{PotentialAreaLossFrom}, \text{PotentialAreaGainTo})) * \text{change\_rt}$   
 InitLawLR = if time() >= 14 and time() <= 44 then (1/30) else 0  
 InitReforestPPA = if time() >= 14 and time() <= 44 then (1/30) else 0  
 LRpotential = [1, 1, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0]  
 Emery Analysis Sub-Model:  
**Input datas:** Nonrenewable; Renewable; S N; S R; M N; M R; Energy Product\_E.  
**Flows:** Total Emery ( Y ) = [Renewable]+[ Nonrenewable]+[SN]+[SR]+[MN]+[MR]  
 Loss = [Total Emery]-[EnergyProduct] ; EnergyProduct = [Energy\_Product\_E]  
**Variables:** AreaEmery = if index(1)==12 then 0 else element([AreaCorrected], index(1))  
 ELRAggregated =  $(\text{sum}([Nonrenewable]*[AreaEmery]) + \text{sum}([MN]*[AreaEmery]) + \text{sum}([SN]*[AreaEmery])) / (\text{sum}([Renewable]*[AreaEmery]) + \text{sum}([MR]*[AreaEmery]) + \text{sum}([SR]*[AreaEmery]))$   
 ESIAggregated = EYRAggregated/ELRAggregated  
 EYRAggregated =  $\text{sum}([Total Emery]*[AreaEmery]) / (\text{sum}([SN]*[AreaEmery]) + \text{sum}([MN]*[AreaEmery]))$   
 EIRatershed =  $\text{sum}([EIR]*[AreaEmery]) / \text{sum}([AreaEmery])$   
 %RWatershed =  $\text{sum}([\%R]*[AreaEmery]) / \text{sum}([AreaEmery])$   
 TrWatershed =  $\text{sum}([Tr]*[AreaEmery]) / \text{sum}([AreaEmery])$   
 %R = if index(1)==12 then 0 else element( $100 * ([Renewable] + [SR] + [MR]) / [Total Emery]$ , index(1))  
 Tr = if index(1)==12 then 0 else element( $[Total emery] / [Energy\_Product]$ , index(1))  
 EIR = if index(1)==12 then 0 else  
 element( $([MN] + [SN]) / ([Renewable] + [MR] + [SR] + [Nonrenewable])$ , index(1)).

### 3.5. Scenarios

The scenarios were specifically developed to study the reforestation of LR and PPA effects on the sustainability of agricultural systems of the Mogi-Pardo Watershed. In this work, the driving forces of the land use changes are the demographic (represented by the growth rate of population in the watershed) and market (supply of products as a function of the ratio trends between the gross revenue generated by hectare of land). The baseline scenario assumes the continuity of the current trend of the substitution effect between anthropic uses. The alternative scenario assumes the enforcement of environmental legislation, with the consequent increase of the land cover area and decrease of the rural anthropic land use. It implies a positive scale effect. The period of analysis is from 1988 to 2038.

#### 4. RESULTS AND DISCUSSION

The land use cover change in the Mogi-Pardo Watershed is based on the geographic information system data of ECOAGRI Project<sup>2</sup>, for the period between 1987/1988 and 2002/2003, Table 2. There is a slight increase in land areas with Savanna, Riparian Vegetation and Urban use. This implies in a negative scale effect for other anthropic uses. The great change, however, concerns to the dynamics of substitution of agricultural land uses: the annual dry crops and pastures loss area to the expansion of sugar cane. The pasture area was reduced in the 50.2% and annual dry crops areas in 85.6% between 1987/1988 and 2002/2003. In turn, the land area with sugar cane more than doubled, reaching in 2002/2003 around 1,615,457.00 hectares that represent 51.59% of the Watershed area. The coffee areas had presented a small reduction and the orange areas had a small increase keeping constant the area of more important permanent crops (citrus). The annual irrigated crops (central pivot) areas expanded in 102.79%, but this represent a very small part (1.06%) of the total watershed area.

Table 2. Land Use Cover in the Mogi-Pardo Watershed, 1987/1988 – 2002/2003.

Land Use Cover Class	Area (ha), 1988	Area (ha), 2002	Use in PPA (ha), 2002
Savanna	58,018.24	62,456.09	0
Atlantic Forest	150,969.75	141,374.23	0
Riparian Vegetation	313,894.85	320,664.20	0
Coffee	26,321.20	22,531.35	100.38
Sugar cane	796,505.83	1,615,457.00	13360
Annual dry crops	538,237.82	77,618.90	682.55
Annual irrigated crops	16,446.71	33,352.63	58.35
Orchard	230,585.84	232,485.08	1,568.18
Pasture	786,762.72	391,742.74	4,532.44
Heveaculture	175.28	3,140.18	20.92
Sylviculture	104,812.24	101,126.38	416.08
Urban	108,534.45	129,316.15	8,772.34
<b>Total Watershed Area</b>	<b>3,131,264.93</b>	<b>3,131,264.93</b>	<b>29,511.24</b>

Source: ECOAGRI Project<sup>2</sup>.

The described land use cover changes have impacts on the emergy flows in the watershed. The model here presented is used to get the impact on the sustainability, in terms of emergy indices, over time.

The emergy flows of land use cover of the Mogi-Pardo Watershed calculated by Agostinho and coworkers<sup>1</sup> are shown in Table 3. The flows of renewable resources of nature (R) are based on amounts of rain and energy sun that happen in the watershed region, and, therefore, they are equal ( $219.26E13 \text{ seJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$ ) for all land use and cover. The covers have lower values in the non-renewable resources of nature (N) flows while cultures have higher values. The flows of the renewable resources of the economy ( $M_r + S_r$ ) in the sugar cane areas ( $272.08E13 \text{ seJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$ ) are greater than the flow in the pasture areas ( $134.51E13 \text{ seJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$ ) and annual dry crops ( $41.57E13 \text{ seJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$ ). However, it is much lower in relation to heveaculture ( $2834.19E13 \text{ seJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$ ) and coffee ( $844.23E13 \text{ seJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$ ) areas. The flow of the non-renewable resources of the economy ( $M_n + S_n$ ) of sugar cane ( $883.68E13 \text{ seJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$ ) is greater than the flow of annual dry crops ( $616.68E13 \text{ seJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$ ) and Sylviculture ( $498.24E13 \text{ seJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$ ) and less than the other land uses in the Mogi-Pardo Watershed.

In general, the sugar cane had substituted the annual dry crops and pasture areas, Figure 2-A. The constraint due to the land use capacity, included in model, limit the expansion of the sugar cane in 1.85 million hectares, 60% of the area of the Mogi-Pardo Watershed, The legislation establishes the reforestation of legal reserve in linear scale; then to each 3 years need to reforest 1/10 of the initial area in year 2002. For this, a linear trend effect is observed in reforestation scenario in the Figure 2-B.

Table 3. The land use cover energy flows in  $10^{13}$  seJ.ha<sup>-1</sup>.yr<sup>-1</sup>, Mogi-Pardo Watershed.

Land use cover class	Energy flows in $10^{13}$ seJ.ha <sup>-1</sup> .yr <sup>-1</sup>						
	R	N	Mr	Mn	Sr	Sn	Y
Savanna	219.26	12.45	0.00	0.00	0.00	0.00	231.70
Atlantic Forest	219.26	38.90	0.00	0.00	0.00	0.00	258.16
Riparian Vegetation	219.26	38.90	0.00	0.00	0.00	0.00	258.16
Coffee *	219.26	138.33	14.24	1639.43	779.99	671.92	3463.14
Sugar cane *	219.26	100.22	6.81	575.90	265.27	307.78	1470.23
Annual dry crops	219.26	234.33	4.70	466.00	36.87	150.68	1111.84
Annual irrigated crops	219.26	171.54	415.08	2390.87	375.06	381.25	4351.54
Orchard	219.26	125.57	25.32	2530.35	718.30	635.96	4254.76
Pasture	219.26	107.63	96.02	1002.40	38.49	261.61	1725.41
Heveaculture	219.26	74.33	3.69	404.33	2830.50	2015.42	5547.53
Sylviculture	219.26	244.08	3.14	310.87	88.42	187.37	1053.14

Source: Agostinho and coworkers<sup>1</sup>.

\* Weighted average of the different farming systems presented by Agostinho and coworkers<sup>1</sup>.

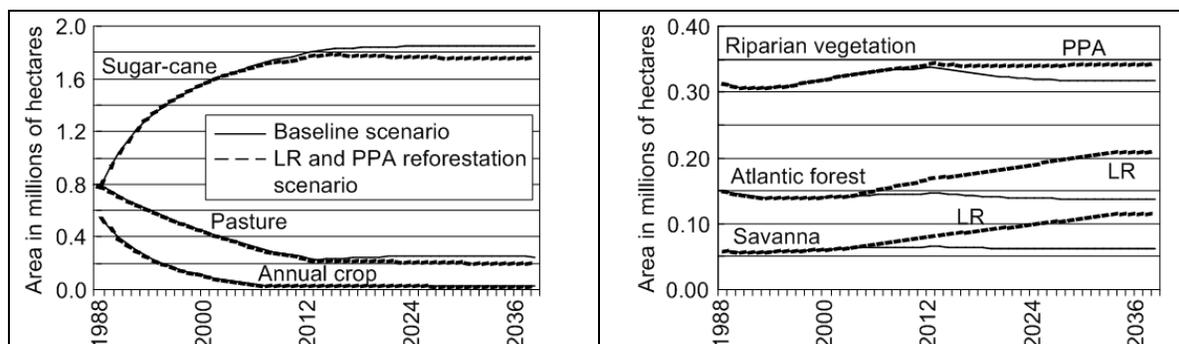


Figure 2. Baseline and with reforestation of Legal Reserve and PPA scenarios: (A) Trend of the sugar cane, pasture and annual dry crops areas; (B) Trend of the land covers areas, Riparian, Atlantic forest and Savanna.

The Figure 3-A shows the trend, under scenario without reforestation, of efficiency improvement of the energy investment (reduction in the value of the EIR) in the Mogi-Pardo Watershed due to the substitution effect. The substitution of pasture for sugar cane implies in less use of the economy resources. A small reduction in the EIR occurs in the scenario with reforestation, reflecting the increase in the covers areas in the watershed. In both scenarios, the model shows that in the year 2024 has been exhausted the possibilities of sugar cane substitute too much uses, due to the constraint of the land use capacity. The substitution effect observed is not enough to leverage the EIR values of the watershed for the sustainable level, which is below 1.

The Energy Loading Ratio (ELR) index values less than 2 indicate low environmental impact; and values between 2 and 10 indicate moderate environmental impact, according to Brown and Ulgiati<sup>9</sup>. The Figure 3-B shows that the substitution effect of land uses in the Watershed implies in the decrease trend of the ELR value, this is, in the ratio of the non-renewable sources to renewable sources. The ELR of farming systems approached the low impact level due to the greater use of renewable services and lower use of the non-renewable materials in the areas with sugar cane, in relation of the areas with pasture. In the comparison between scenarios, the reforestation of LR and PPA contribute to the reduction of environmental stress in the watershed, but its impact is clearly lower of than the substitution of the less by the more sustainable farming systems.

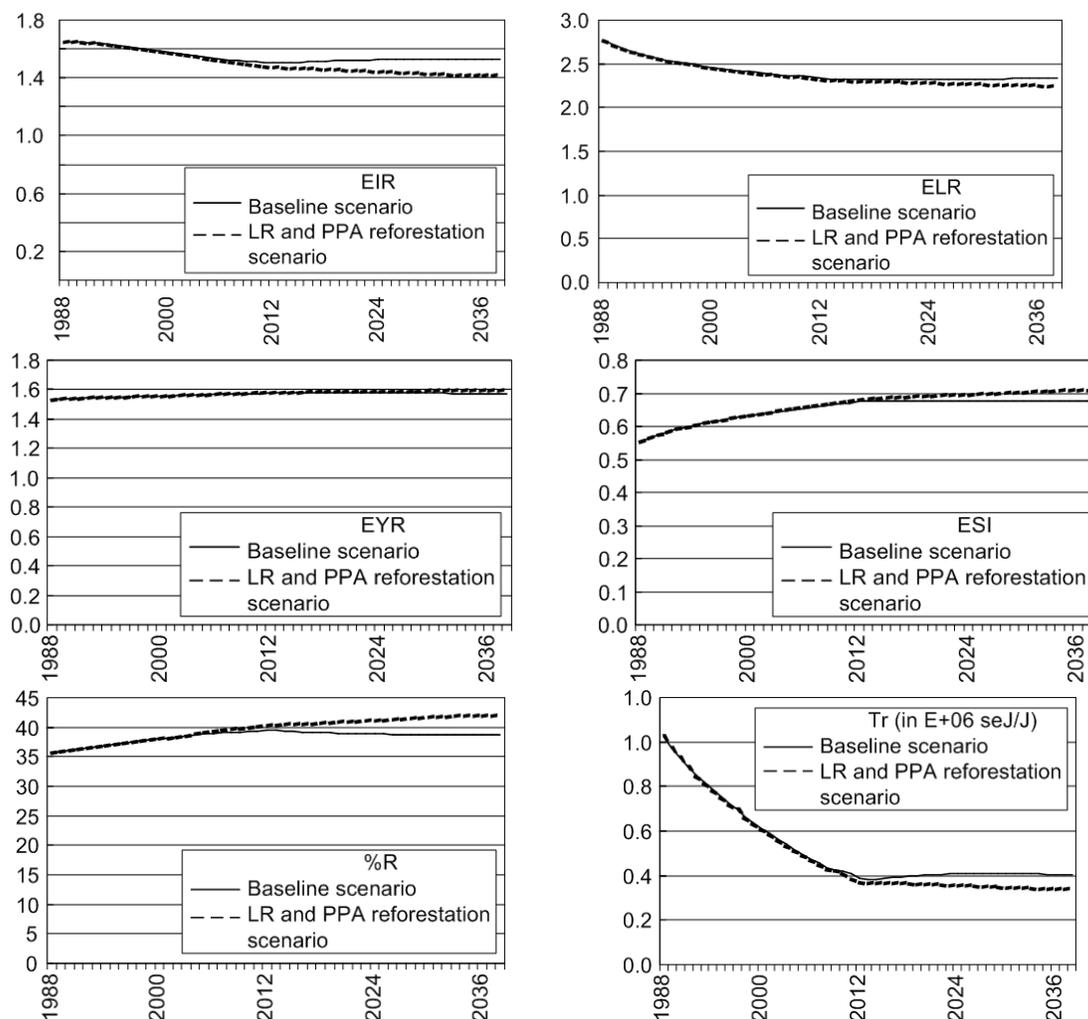


Figure 3. Energy indices trends under baseline and Legal Reserve and PPA reforestation scenarios.

The low values of the Energy Yield Ratio (EYR) index, Figure 3-C, confirm the high dependence that the farming systems, in the Mogi-Pardo Watershed, have in relation to the materials and services from the economy. This index does not show the differences between the scenarios. This shows that public policies directed exclusively for the fulfillment of the environmental legislation did not have the desired efficiency, being necessary to act in the improvement of the farming production systems.

The values of the Energy Sustainability Index (ESI) shows more clearly the effects observed in the trajectories of EYR and ELR in the regional scale, Figure 3-D. The aggregate ESI calculated for the watershed (adding all weighted flows for the area of each land use cover in the watershed) incorporates the energy flows of the areas with covers. Thus, the contribution of the cover to the value of ESI is considered and does not have the problem of division by zero that occur when the ESI for cover areas are calculated separately. In both scenarios, there are the trends of improvement of the system performance, due to the substitution effect that results in increasing the systems areas that present greater uses of the resources for the economy per unit of environment load. The effect of increasing the cover area is beneficial for the environmental performance of the Mogi-Pardo Watershed, but it occur in insufficient intensity to achieve sustainable level.

The values of the Renewability (%R) show a trend to increase of the percentage of emery renewable due to dynamics of substitution between the land uses in the Mogi-Pardo Watershed, in both the scenarios, Figure 3-E. The scenario that considers the reforestation of the Legal Reserve and PPA contributed for the improvement of the Renewability in 3% only.

The values of the solar transformity ( $Tr$ ) shows a trend of the efficiency of the production systems, over time, in terms of the relation between the amount of emergy of the output and the amount of energy of the products, in Mogi-Pardo Watershed, Figure 3-F. The decreasing trend in the aggregate value of the transformity of the “product of the Watershed” show that the systems are being more efficient, in both the scenarios. In the case of the Mogi-Pardo Watershed, this due to the increase of the sugar cane area in rotation with soybeans and peanuts; and of the restoration of the PPA and the reduction of the pasture and annual dry crops areas. It should be noted that in this work, was used in the simulation a single standard of production technology for the entire period, assuming that there was no changes in the technology of farming systems.

## 5. CONCLUSION

(a) The dynamics of substitution between land uses presents trend of improvement in the emergy indices, due to substitution of annual dry crops and pastures for the sugar cane culture.

(b) The reforestation of the Permanent Preservation Areas and the Legal Reserve contribute for the improvement of the emergy indices of sustainability for the Mogi-Pardo Watershed. Even though, the improvements obtained are not sufficient to achieve the farming system sustainability in the Mogi-Pardo Watershed, due to current technological standards.

(c) The constraint due to the land use capacity put a limit in the expansion of the sugar cane in 1.85 million hectares that represent 60 percent of the total area of the Mogi-Pardo Watershed.

(d) The model Emergy/LUCC described adequately the trend of the emergy indices of sustainability of the Mogi-Pardo Watershed, from the reforestation of the PPA and the LR.

(e) The MIMES framework possess a theoretical reference for ecosystem modelling, a modular structure and a computational algorithms that enable the modelling easily and allow to use it in studies on the watershed scale. The specificities of the regional structures and processes can be added without loss of consistency and maintaining the overall algorithm.

**Acknowledgements:** The authors are grateful to the ECOAGRI project for the raw data. This research work had financial support of FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – Process 2002/06685-0) and CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico).