

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**

**INSTITUTO DE ECONOMIA**

**VALORAÇÃO DOS DANOS AMBIENTAIS DE HIDRELÉTRICAS:  
ESTUDOS DE CASO**

**Paulo Antonio de Almeida Sinisgalli**

Tese de Doutorado apresentada ao Instituto de  
Economia da Universidade Estadual de Campinas,  
sob a orientação do Prof. Dr. Claudio Schuller Maciel

Campinas, julho de 2005.

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELO  
CENTRO DE DOCUMENTAÇÃO/IE/UNICAMP**

Sinisgalli, Paulo Antonio de Almeida

Valoração dos danos ambientais de hidrelétricas: Estudos de Caso /  
Paulo Antonio de Almeida Sinisgalli – Campinas: [s.n.], 2005.

Orientador: Claudio Schuller Maciel

Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas  
Instituto de Economia

1. Valoração ambiental. 2 – Energia Hidrelétrica. 3 – Danos  
ambientais.

I. Maciel, Claudio S. II. Universidade Estadual de Campinas.  
Instituto de Economia. III. Título

**Ao Marco e à Cristina**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os que colaboraram com esta tese, por menor que tenha sido a contribuição ou mesmo que até desconheçam a sua participação direta ou indiretamente, e em especial:

- ◆ Ao Prof. Dr. Claudio Schuller Maciel, que aceitou orientar este projeto, apoiou-o integralmente e deu direcionamentos importantes para realizá-lo;
- ◆ Ao Prof. Dr. Bastiaan P. Reydon, pela sua contribuição, desde os seminários de tese até a Qualificação, para uma melhor estrutura do trabalho, e desde o início, pelo apoio e discussões sobre a tese e outros temas relacionados;
- ◆ Ao Prof. Dr. Ademar Ribeiro Romeiro que contribuiu na forma de palavras, nas aulas e na Qualificação, e na forma de textos, em livros e trabalhos, para a conclusão desta tese;
- ◆ Ao Prof. Dr. Mariano Laplane, que me deu um importante apoio Institucional para o melhor aproveitamento de minha estada na Inglaterra;
- ◆ Ao Prof. Dr. Ricardo Carneiro que me forneceu informações importantes para o meu período em terras cinzentas e frias;
- ◆ Ao Prof. Dr. Anthony Thirlwall que me abriu as portas do *Keynes College da University of Kent at Canterbury* e me mostrou sua visão sobre desenvolvimento e crescimento econômico;
- ◆ Ao Prof. Dr. Eric Neumayer que me acolheu na *London School of Economics (LSE)* e permitiu aprofundar no universo da economia ambiental;
- ◆ À Conservation International do Brasil, na figura do Paulo Gustavo, que apoiou o projeto de impacto de hidrelétricas sobre o corredor de fauna do cerrado-pantanal, que deu subsídio para a elaboração desta tese;
- ◆ Ao IEB - pela bolsa de estudo de seu programa Natureza e Sociedade que me permitiu cursar a disciplina *Environmental Economics* na *London School of Economics*;
- ◆ Ao amigo Wilson Cabral de Sousa Junior, que me convidou a participar do projeto de análise integrada de usinas hidrelétricas, que serviu de referência para esta tese, e pelas discussões e contribuições sobre o tema, sem elas não teria chegado aonde cheguei;

- ◆ Ao Sérgio França pelo resgate dos arquivos perdidos e de minha conscientização sobre a importância de se fazer *back-ups*;
- ◆ Ao colega Alexandre Gori pelas análises estatísticas que elucidaram pontos importantes para as conclusões desta tese;
- ◆ Ao André Torres que abriu o seu arquivo para que pudesse apropriar-me das informações importantes sobre as diversas hidrelétricas do país;
- ◆ À Cristina Adams, dentre tantas coisas, o exemplo de dedicação e firmeza em seus princípios, o cuidado com o pequeno Marco, e o apoio proporcionado durante todo este processo;
- ◆ Ao Marco Adams Sinisgalli, por me tirar o sono para concretizar um sonho;
- ◆ Ao meu pai Aldo (*in memorium*) e à minha mãe Cecília pelo apoio e incentivo desde a minha infância no desenvolvimento de minha atividade intelectual, profissional e de formação pessoal;
- ◆ Às minhas irmãs Bia e Cice, à minha tia Irene, ao meu cunhado Valério, ao meu sobrinho Danilo que sempre estiveram ao meu lado nas mais diversas situações, tanto boas quanto ruins;
- ◆ Aos meus cunhados Gavin, pelo apoio em momentos importantes, e Moira, pelo compartilhamento da mesma situação;
- ◆ Aos colegas do Instituto de Economia da UNICAMP em especial ao Jadson Porto, Araken, Oscar, Manoel, Karina;
- ◆ À todos os amigos que, direta ou indiretamente, contribuíram para que a tese fosse realizada.

# SUMÁRIO

## *CAPÍTULOS*

<b>CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO</b>	<b>01</b>
<b>I.1 APRESENTAÇÃO</b>	<b>01</b>
<b>I.2 ENERGIA HIDRELÉTRICA NO BRASIL</b>	<b>10</b>
I.2.1 Alguns Aspectos Históricos da Geração de Energia Hidrelétrica	10
I.2.2 A Matriz Brasileira de Geração de Energia Elétrica	12
I.2.3 Distribuição de Unidades Geradoras de Energia	14
I.2.4 Potencial de Energia Hidrelétrica	15
I.2.5 Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) e Centrais de Geração Elétrica (CGH)	18
I.2.6 Usinas em Construção e Outorgadas	19
<b>I.3 ETAPAS DO PROCESSO DE APROVEITAMENTO DO POTENCIAL HIDRELÉTRICO</b>	<b>19</b>
<b>I.4 METODOLOGIA</b>	<b>21</b>
<b>I.5 ESTRUTURA DA TESE</b>	<b>23</b>
<b>CAPÍTULO II – VALORAÇÃO AMBIENTAL E SUSTENTABILIDADE</b>	<b>25</b>
<b>II.1 INTRODUÇÃO</b>	<b>25</b>
<b>II.2 OS CONCEITOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E SUSTENTABILIDADE</b>	<b>26</b>
II.2.1 Desenvolvimento	27
II.2.2 Desenvolvimento Sustentável	29
II.2.3 Sustentabilidade Fraca e Forte	33
II.2.3.1 <i>Sustentabilidade Fraca</i>	34
II.2.3.2 <i>Sustentabilidade Forte</i>	35
II.2.4 Capital Natural	36
<b>II.3 VALORAÇÃO MONETÁRIA AMBIENTAL</b>	<b>38</b>
II.3.1 Princípios Microeconômicos da Economia Ambiental	38
II.3.2 Valoração Ambiental	40
II.3.3 Métodos de Valoração Ambiental	42
II.3.3.1 <i>Métodos Indiretos</i>	43
II.3.3.2 <i>Métodos Diretos</i>	45
II.3.4 Crítica à Valoração na Economia Ambiental	46

II.4	VALORAÇÃO EMERGÉTICA	48
II.4.1	Introdução	48
II.4.2	Primeira e Segunda Leis da Termodinâmica	49
II.4.3	Breve História do Conceito eMergético	50
II.4.4	Ecologia de Sistemas	52
	<i>II.4.4.1 Valor EMergético</i>	54
	<i>II.4.4.2 Críticas à Valoração EMergética</i>	57
II.5	VALORAÇÃO AMBIENTAL: ECONÔMICA E EMERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE	58
CAPÍTULO III – DESCRIÇÃO DOS ESTUDOS DE CASO		61
III.1	INTRODUÇÃO	61
III.2	CUSTOS DE PROJETO, OBRA E MANUTENÇÃO DE USINAS HIDRELÉTRICAS	62
III.3	CUSTOS DEFINIDOS NOS MANUAIS DA ELETROBRÁS	63
III.4	DANOS AMBIENTAIS DE USINAS HIDRELÉTRICAS	64
III.5	MÉTODOS DE VALORAÇÃO DOS DANOS AMBIENTAIS DAS USINAS HIDRELÉTRICAS	67
III.5.1	Metodologia proposta para a ELETROBRÁS para a determinação dos danos ambientais de hidrelétricas:	68
III.5.2	Dados sobre o valor dos danos ambientais:	69
III.5.3	Metodologia aplicada e valores adotados para avaliação dos danos ambientais	76
III.5.4	Valores adotados para avaliação dos danos ambientais da análise eMergética	80
III.6	ESCOLHA DOS ESTUDOS DE CASO	84
III.6.1	Introdução	84
III.6.2	Descrição Resumida dos Estudos de Caso (Tabela III.6.3):	88
CAPÍTULO IV – RESULTADOS E DISCUSSÃO		91
IV.1	INTRODUÇÃO	91
IV.2	VALOR PRESENTE LÍQUIDO MONETÁRIO DOS DANOS AMBIENTAIS POR HIDRELÉTRICA	92
IV.2.1	Usinas com Potência Instalada acima de 1000MW	94
IV.2.2	Usinas com Potência Instalada entre 100 e 1000 MW	97

IV.2.3	Usinas com Potência Instalada entre 30 e 100MW	98
IV.2.4	Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH's)	101
IV.2.5	Valores Totais de Dano Ambiental por Usina Estudada	102
IV.3	VALOR EMERGÉTICO DOS DANOS AMBIENTAIS POR HIDRELÉTRICA	103
IV.4	DISCUSSÃO SOBRE OS RESULTADOS DOS VALORES MONETÁRIOS DOS DANOS AMBIENTAIS DAS USINAS HIDRELÉTRICAS ESTUDADAS	105
IV.4.1	Avaliação dos Danos Monetários - Relação entre Danos Ambientais e Área do Reservatório (US\$/ha)	105
IV.4.2	Avaliação dos Danos Monetários - Relação entre Danos Ambientais e Potência Instalada (US\$/kW)	107
IV.4.3	Avaliação dos Danos Monetários - Relação entre Danos Ambientais e Área do reservatório (US\$/ha) e Potência Instalada (US\$/kW) – Média Geométrica	110
IV.5	DISCUSSÃO SOBRE OS RESULTADOS DOS VALORES EMERGÉTICOS DOS DANOS AMBIENTAIS DAS USINAS HIDRELÉTRICAS ESTUDADAS	113
IV.5.1	Avaliação dos Danos eMergéticos - Relação entre Danos Ambientais e Área do reservatório (SeJ/ha)	115
IV.5.2	Avaliação dos Danos eMergéticos - Relação entre Danos Ambientais e Potência Instalada (SeJ/kW)	115
IV.5.3	Avaliação dos Danos eMergéticos - Relação entre Danos Ambientais e Potência Instalada em eMergia (%)	116
IV.5.4	Avaliação dos Danos eMergéticos - Relação entre Danos Ambientais e Área do reservatório (SeJ/ha) e Potência Instalada (SeJ/kW) - Média Geométrica	118
IV.6	RELAÇÃO ENTRE OS VALORES MONETÁRIO E EMERGÉTICOS DOS DANOS AMBIENTAIS DAS USINAS HIDRELÉTRICAS ESTUDADAS	121
IV.6.1	Correlação entre Valor eMergético e Valor Monetário dos Danos Ambientais	121
IV.6.2	Razão Valor eMergético e Valor Monetário	122
IV.6.3	Classificação das Usinas Estudadas com relação ao Valor Emergético e Valor Monetário	123
IV.7	ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS COMPOSTOS DA RELAÇÃO VALOR DE DANO PARA AS USINAS ESTUDADAS	124
IV.8	DANOS NÃO COMPUTADOS NA AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS DOS ESTUDOS DE CASO	127
IV.8.1	Operação Nacional do Sistema de Geração de Energia Elétrica	128
IV.8.2	Dano ambiental referente à forma de Operação das Usinas Estudadas	130

IV.9 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE OS RESULTADOS DOS ESTUDOS DE CASO	135
<b>CAPÍTULO V – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b>	<b>139</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>147</b>
<i>ANEXOS</i>	<i>177</i>
ANEXO I – DADOS DETALHADOS DAS HIDRÉLETICAS ESTUDADAS	177
ANEXO II – TABELAS DE CÁLCULO DO VALOR EMERGÉTICO DO DANO	207
<i>LISTA DE TABELAS</i>	
Tabela I.1 Matriz de Geração de Energia Elétrica	13
Tabela I.2 Distribuição das Unidades de Geração de Energia em Operação por Faixa de Potência	14
Tabela I.3 - Distribuição das UHE's em Operação por Faixa de Potência	15
Tabela I.4 - Capacidade Instalada por Bacia Hidrográfica – 2006 (MW)	15
Tabela I.5 - Potencial Hidrelétrico Brasileiro – 2006 (MW)	16
Tabela I.6 Relação Potência Instalada e Potencial da bacia hidrográfica	18
Tabela II.1 Taxonomia para a Valoração dos Recursos Ambientais	42
Tabela III.5.1 Metodologia de Valoração dos Custos Ambientais por Tipo de Dano	69
Tabela III.5.2 – Valores Monetários de Produtos Madeireiros	70
Tabela III.5.3 – Valores Monetários de Produtos Não-Madeireiros	71
Tabela III.5.4 – Valores Monetários de Pesca Artesanal ou Comercial	72
Tabela III.5.5 – Valores Monetários de Turismo, Eco-Turismo, Pesca e Recreativo	72
Tabela III.5.6 –Valores Monetários de Ciclo Hidrológico, Controle de Erosão e Serviços Ecosistêmicos	73
Tabela III.5.7 – Valores Monetários da Biodiversidade	73
Tabela III.5.8 – Valores Monetários de Seqüestro de Carbono	74
Tabela III.5.9 –Valores Monetários do Potencial de Desenvolvimento de Novas Drogas	74
Tabela III.5.10 – Valores Monetários do Valor de Existência	75
Tabela III.5.11 –Valores Monetários do Valor Econômico Total	75
Tabela III.5.12 – Valores Monetários Adotados para os Danos Ambientais	77

Tabela III.5.13 – Dados sobre as Características da Vegetação Natural	83
Tabela III.6.1 Distribuição do Potencial Hidrelétrico Inventariado e Estimado por Bacia Hidrográfica (MW)	85
Tabela III.6.2 Distribuição da Geração Hidrelétrica em Operação e do Potencial por Bacia Hidrográfica (MW)	86
Tabela III.6.3 Usinas Hidrelétricas Seleccionadas para Valoração dos Danos Ambientais	89
Tabela IV.2.1 Valor Presente Líquido dos danos ambientais da UHE Itaipu com diferentes taxas de descontos (2, 6 e 12% aa)	96
Tabela IV.2.2 Valores Monetários dos Danos Ambientais da UHE Porto Primavera	96
Tabela IV.2.3 Valores Monetários dos Danos Ambientais da UHE Tucuruí	96
Tabela IV.2.4 Valores Monetários dos Danos Ambientais da UHE Estreito	97
Tabela IV.2.5 Valores Monetários dos Danos Ambientais da UHE Samuel	97
Tabela IV.2.6 Valores Monetários dos Danos Ambientais da AHE Salto	97
Tabela IV.2.7 Valores Monetários dos Danos Ambientais da AHE Salto dos Pilões	98
Tabela IV.2.8 Valores Monetários dos Danos Ambientais da AHE Caçu	98
Tabela IV.2.9 Valores Monetários dos Danos Ambientais da AHE Barra dos Coqueiros	98
Tabela IV.2.10 Valores Monetários dos Danos Ambientais da AHE Salto do Rio Verdinho	99
Tabela IV.2.11 Valores Monetários dos Danos Ambientais da AHE Olho D'água	100
Tabela IV.2.12 Valores Monetários dos Danos Ambientais da AHE Itumirim	100
Tabela IV.2.13 Valores Monetários dos Danos Ambientais da AHE Ourinhos	100
Tabela IV.2.14 Valores Monetários dos Danos Ambientais da UHE Ponte de Pedra	101
Tabela IV.2.15 Valores Monetários dos Danos Ambientais da UHE Calheiros	101
Tabela V.2.16. Valores monetários (em US\$) dos Danos Ambientais das Usinas Hidrelétricas estudadas (VPL em 50 anos)	102
Tabela IV.3.1 Valores eMergéticos (em SeJ) dos Danos Ambientais das Usinas Hidrelétricas estudadas (vida útil de 50 anos)	104
Tabela IV.4.1 Classificação das Usinas com Relação aos Danos Ambientais por Área do Reservatório (US\$/ha)	106
Tabela IV.4.2 Média e Desvio Padrão das Faixas das Usinas com Relação aos Danos Ambientais por Área do Reservatório (US\$/ha )	106
Tabela IV.4.3 Relação entre Danos Ambientais e Potência Instalada (US\$/Kw)	108
Tabela IV.4.4 Relação entre Danos Ambientais e Área do Reservatório (US\$/Ha) x Danos e Potência Instalada (US\$/Kw) - Média Geométrica	111
Tabela IV.4.5 Classificação Geral das Usinas com Relação aos Danos por Área e Potência [US\$/(ha.kW) <sup>1/2</sup> ] (Média Geométrica)	112
Tabela IV.5.1 Relação entre Danos Emergéticos Ambientais e Área do Reservatório (Sej/Ha); Potência Instalada (Sej/Kw) e Danos Emergéticos e Energia Potencial Gerada	114

Tabela IV.5.2 Resultados da Relação entre Danos Ambientais e Área do Reservatório (Sej/Ha) x Danos Ambientais e Potência Instalada (Sej/Kw) - Média Geométrica	119
Tabela IV.5.3 Classificação das Usinas Frente aos Danos Ambientais por Área do Reservatório e Potência Instalada (Média Geométrica)	120
Tabela IV.6.1 Razão Média entre Valor Emergético e Valor Monetário Para os Estudos de Caso Analisados	122
Tabela IV.6.2 Razão Média de Valor Emergético e Valor Monetário da Literatura	123
Tabela IV.6.3 Relação entre a Classificação das Usinas Estudadas por Valoração Emergética e Monetária por Ordem e Faixa	124
Tabela IV.7.1 Classificação das Usinas Estudadas em Clusters com Base em Todos os Parâmetros Analisados	125
Tabela IV.7.2 Resultado da Análise de Variância para Todas as Hidrelétricas Estudadas com Relação a Todos os Parâmetros Analisados (ANOVA)	125
Tabela IV.8.1 Relação entre a classificação das Usinas Estudadas por valoração eMergética e monetária por ordem e faixa	131
Tabela IV.8.2 Valor da Energia Química do Rio em Relação ao Valor Total do Dano Ambiental Calculado para as Hidrelétricas Estudadas	134
Tabela IV.9.1 Classificação das Usinas Estudadas com Base nos Parâmetros Analisados	137
Tabela IV.9.2 Nova Classificação das Usinas Estudadas e seu Significado	137
Tabela IV.9.3 Resultados da Razão Valor eMergético e Valor Monetário das Usinas Estudadas	138

### *LISTA DE FIGURAS*

Figura I.1 Evolução e Previsão de Potência Instalada	11
Figura I.2 Potencial Hidrelétrico Total por Bacia	17
Figura II.1 Esquema das Entradas e Saídas de um Sistema	56
Figura III.1 Freqüência de Potência de UHEs no Brasil	87
Figura IV.4.1 Relação Dano Ambiental por Potência Instalada	109
Figura IV.8.1 Produção de Energia Hidráulica (1996-2004)	129
Figura IV.8.2 Energia Natural Afluyente (1996-2004)	129
Figura IV.8.3 Diferença entre Energia Natural e Produção Hidráulica	130

## RESUMO

A importância da energia elétrica no contexto nacional, em 2004, de acordo com o Balanço Energético Brasileiro de 2004 (MME, 2004), pode ser verificado pela demanda final dos setores industriais, comercial e de serviços juntos (76,2% do total de energia consumida) que gerou 83% do PIB. Isso significa que grande parte da riqueza produzida no país depende diretamente da energia elétrica e, sendo esta gerada predominantemente através de usinas hidrelétricas (76% em 2004), existe uma relação relevante entre a riqueza do país e a geração de energia hidrelétrica. Entretanto, esta geração de energia acarreta custos ambientais que muitas vezes não são incorporados na análise econômica ou ambiental. Neste sentido, o objetivo deste estudo foi a determinação de valores para os danos ambientais de hidrelétricas sob dois pontos de vista – economia ambiental e uma vertente da economia ecológica, denominada de ecologia de sistemas, - acompanhando o debate das duas principais linhas teóricas da economia nesta área: a sustentabilidade fraca e a forte, incorporando elementos à discussão sobre o valor dos recursos e serviços ambientais.

Os resultados mostram a importância da valoração dos danos ambientais decorrentes da implantação e operação de usinas hidrelétricas tanto sob ponto de vista da análise monetária quanto da ecológica. De forma geral, o que se observa é que os maiores danos ambientais relativos, que inviabilizariam a implantação de uma usina hidrelétrica, estão associados a regiões com floresta natural ainda preservada, com destaque evidente para a floresta amazônica. Outro ponto importante levantado é que uma Pequena Central Hidrelétrica não induz, necessariamente, a um dano ambiental relativo baixo, assim como, uma grande usina hidrelétrica, entendido como de grande potência instalada, não necessariamente induz a um grande dano ambiental relativo.

Concluindo, mesmo com as devidas limitações, a valoração ambiental ainda é uma ferramenta bastante útil, não como ponte entre a economia e a ecologia, mas como fonte de discussão sobre sustentabilidade.

## **ABSTRACT**

According to the Brazilian Energy Balance 2004 (MME, 2004), the importance of electric energy within the national context in 2004, can be expressed by the consumption of 76,2% of total electric energy for the industrial and services sectors, which represents 83% of the NGP. This means there is a relevant relationship between Brazil's wealth and the generation of hydroelectric energy, since a large slice of the wealth produced in the country is directly dependent on electric energy, which in turn is predominantly produced by means of hydroelectric plants (76% in 2004). However, this energy generation incurs in environmental costs that are often incorporated neither in the economic nor in the environmental analysis. So the aim of this study has been to determine the values for the environmental damage caused by hydroelectric plants, from two points of view: that of environmental economy and that of an offshoot of ecological economy, dubbed systems ecology. This follows along the lines of the debate between the two main theoretical lines in this area's economy: the weak and the strong sustainability, adding elements for the discussion about the value of environmental resources and services.

Results show the importance of the valuation of the environmental damage resulting from the implantation and operation of hydroelectric plants, from the point of view of both the monetary and eMergetic analyses. What is generally observed is that the main relative environmental damage is associated to regions of still preserved natural forest (with evident focus on the Amazon forest), completely ruling out the implantation of a hydroelectric plant. Another important point raised is that a Small Central Hydroelectric Plant does not, necessarily, induce a relatively low environmental cost. Similarly, a large hydroelectric plant, understood as great installed potency, does not necessarily incur in large relative environmental damage.

As a conclusion, it is stated that environmental valoration, even with the proper limitations, remains a very useful tool, not as a bridge between the economy and ecology, but as a source for the discussion about sustainability.

## CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO

*The fact that the economic process consists of a continuous and irrevocable transformation of low into high entropy has some important consequences which should be obvious to anyone willing to descend for a moment from the higher spheres of elucubrated growth models to the level of elementary facts.*

Nicholas Georgescu-Roegen  
The Entropy law and the Economic Process.  
(1971: 292 p.)

Esta tese visa contribuir para compreender melhor e dimensionar, os impactos ambientais negativos decorrentes da construção e operação de usinas hidrelétricas, bem como valorar os danos ambientais deste tipo de empreendimento.

### I.1 APRESENTAÇÃO

A exploração dos recursos naturais por meio de tecnologia, desde os primórdios da civilização humana, serviu e serve para suprir as vontades, necessidades e preferência de cada cultura. Durante os últimos séculos, ficou evidenciado como esta tecnologia pode alterar a dinâmica dos ecossistemas, e como as revoluções industriais contribuíram para um agravamento das mudanças no meio ambiente (Canttton, 1999). Estas revoluções proporcionaram crescimento econômico e aumento na escala das atividades humanas e, conseqüentemente, do uso de recursos naturais, como insumo à produção e emissão de resíduos, decorrentes dos processos de transformação da matéria prima em produto (Romeiro, 2003).

Esta transformação de matéria em produto é, inevitavelmente, mediada por uso de energia, ou seja, qualquer transformação da matéria prima em produto necessita de alguma forma de energia para a concretização desta finalidade. O aproveitamento dos recursos energéticos sempre teve um papel relevante no desenvolvimento da sociedade humana (Odum, 1988, Goldenberg, 1996, Afgan, 1998). E o processo de desenvolvimento está intimamente relacionado com as mudanças paradigmáticas no contexto histórico, definidas por Landes (1994) como sendo “*uma sucessão inter-relacionada de mudanças tecnológicas*”, e, nesse sentido, a Revolução Industrial, tanto a primeira como a segunda, tiveram como elementos desencadeadores “*a substituição das habilidades humanas por dispositivos mecânicos*” (*op.cit.*), com o uso de energia de fonte inanimada e seu crescente aumento, associada a melhoria tecnológica.

É importante lembrar que não se pode reduzir as revoluções industriais em processos meramente de mudanças tecnológicas, como ressalta Landes (1994), mas que foram decorrentes de mudanças de caráter social e econômico. A primeira revolução industrial, resumidamente, pode ser entendida a partir de alguns fatores relevantes, tais como: (a) a disponibilidade de mão de obra, formando um proletariado industrial, (b) a estrutura econômica tendo como base a produção industrial, (c) e, principalmente, a acumulação primitiva de capital (Proni, 1997).

Com o preço do petróleo ultrapassando a marca histórica de US\$ 60,00 o barril, pode-se inferir que existe mais que uma preocupação do mercado com a capacidade de suprimento dos países produtores, em função de um aumento da demanda para o próximo período de inverno no hemisfério norte ou pelo consumo da China. Há também uma previsível nova situação, motivada pela perspectiva de esgotamento das reservas de petróleo frente a um aumento crescente de demanda.

A título de exemplo, segundo o Estado de São Paulo (04/11/04), com base nas informações do IBGE, nos últimos anos (1993 a 2002) houve um aumento significativo da produção e do consumo de petróleo e gás natural no País. Segundo esta fonte, a produção de petróleo cresceu 126% no período, passando de 247,9 milhões de barris ao ano (1993) para 560,3 milhões de barris (2002), enquanto o consumo per capita aumentou 13,46%, passando de 3,12 barris/hab. para 3,54 barris/hab., neste mesmo período.

Há uma perspectiva de uma nova crise mundial do capitalismo, em função da questão energética. A crise do petróleo de 1973, que foi realimentada em 1979, causou uma profunda reestruturação dos setores industriais em consequência do significativo aumento do custo da energia proveniente do petróleo. Houve neste período, principalmente nos países centrais, uma busca de energias alternativas, realocações industriais e inovações tecnológicas, propiciando o menor uso de insumos e energia por unidade produzida (Maciel, 1995).

De acordo com Ekins (1973) e Pagy (1990), a relação entre PIB e uso de energia era, até o início da década de setenta, diretamente proporcional, ou seja, quanto maior a variação do consumo de energia (*per capita*), maior o crescimento do PIB. Após a crise do petróleo em 1973 - mais especificamente, entre o final da década de 1970 e no início da de 1980 - a relação entre o uso de energia e o crescimento econômico nos países industrializados sofreu uma alteração de trajetória.

Nos Estados Unidos, neste período, houve uma redução de 25% na intensidade energética - relação entre a energia utilizada por unidade de PIB - enquanto na comunidade dos países desenvolvidos esta redução foi de 20%. Neste mesmo intervalo de tempo, nos países integrantes da Agência Internacional de Energia<sup>1</sup>, o crescimento do PIB foi de aproximadamente 32%, sendo o crescimento de consumo de energia somente 5%.

Como salientado por Maciel (1995), embora a política de melhoria na eficiência energética ocorresse de forma generalizada nos países, em função desta crise do petróleo de 1973, há que se destacar o aumento superior da demanda por energia elétrica, acima da demanda global por outros tipos de energia. Segundo Pagy (1990, *apud* Maciel, 1990), o crescimento da demanda por energia elétrica nos países como Japão (52%) e nos EUA (42%) foi significativamente maior que o do PIB.

Cleveland (2000) mostrou que vem ocorrendo alteração nas fontes de energia utilizada para compor a matriz energética de cada país, desde a década de 1950. Houve, ao longo do século passado, um gradativo aumento e diferenciação de fontes primárias de energia, passando de carvão para petróleo, gás natural e eletricidade primária (Cleveland, 2000; Reis, 2001; ELETROBRÁS, 2001). Ou seja, ocorreu, nos últimos anos, uma gradual migração de combustíveis como carvão para a eletricidade, incorrendo em mudanças na qualidade da energia<sup>2</sup> utilizada, melhorando a eficiência do uso dos recursos.

Em simulações realizadas em diferentes países correlacionando o crescimento econômico e as diferentes fontes de energia, Cleveland (2000) encontrou, além de uma associação entre o crescente uso de energia e o aumento da atividade econômica, uma variação da qualidade da energia incorporada e a atividade econômica. Segundo este autor, a variação da qualidade de energia e o crescimento econômico vai no sentido de uma maior utilização da energia elétrica, sendo considerada a variedade de energia com melhor qualidade.

A importância da energia elétrica no contexto nacional, para ano de 2003, segundo o Balanço Energético Brasileiro (2004), foi de aproximadamente 80% para os setores de serviços, que representam 54% do PIB. Isso significa que grande parte da riqueza produzida no país depende diretamente da energia elétrica e, sendo esta gerada predominantemente através de usinas hidrelétricas, existe uma relação relevante entre a riqueza do país e a energia hidrelétrica. Entretanto,

---

<sup>1</sup> A Agência Internacional de Energia assessora 26 países membros na política energética ([www.iea.org](http://www.iea.org)).

a geração de energia hidrelétrica acarreta custos ambientais que muitas vezes não são incorporados na análise econômica.

No Brasil, por possuir numerosos rios com potencial de aproveitamento hidrelétrico, a maior fonte de energia elétrica é a hidroeletricidade. Cerca de 77% da energia elétrica gerada no país é proveniente de fontes como as usinas hidrelétricas, sendo o restante produzido principalmente por termelétricas que empregam combustíveis fósseis ou nuclear (ANEEL, 2004).

Segundo a ANEEL (2004), a capacidade instalada, para geração de energia elétrica no Brasil, é de cerca 88.173 MW, incluindo 11.200 MW de Itaipu. Atualmente, as usinas hidrelétricas em operação no Brasil concentram-se nas bacias do rio Paraná (63,2%) e São Francisco (16,7%), sendo que cerca de 73% da capacidade instalada em operação situa-se nas regiões Sul-Sudeste-Centro-Oeste interligadas e o restante (27%) nas regiões Norte e Nordeste em sistema também interligado. A primeira região é responsável por cerca de 80% do consumo de energia, enquanto a segunda o restante.

De acordo com Dincer (2000), o desenvolvimento sustentável requer suprimento de energia sustentável, que implica, a longo prazo, em energia renovável. Mesmo sendo a energia hidrelétrica descrita como renovável, existem questões ainda pendentes com relação aos impactos ambientais gerados na construção e operação desta fonte de energia, principalmente se levarmos em conta as características ambientais dos locais onde são alocadas as instalações e o reservatório, como é operado o sistema, as influências regionais, entre outras. A destruição da biodiversidade, a alteração do regime hidrológico, o aumento da evapotranspiração, a alteração do nível do lençol freático, o deslocamento da população local, a imigração, a pressão sobre as infra-estruturas locais são alguns dos efeitos adversos que este tipo de empreendimento causa no sistema local e regional, e que não são totalmente computados na análise econômica de custo-benefício.

De acordo com os manuais da ELETROBRÁS, que orientam e determinam como devem ser os estudos e avaliações para aproveitamento hidrelétrico - desde os estudos de inventário, viabilidade e do meio ambiente -, os custos ambientais deveriam ser incorporados na avaliação da viabilidade do empreendimento. Entretanto, a valoração dos danos ambientais não é realizada diretamente, sendo apenas avaliada com base na porcentagem do custo total da obra. Evidencia-se a existência de uma

---

<sup>2</sup> A qualidade da energia está associada a dois fatores: a energia requerida para se explorar uma fonte de energia e a eficiência de transformação da sua energia intrínseca. A energia solar é conhecida como de baixa qualidade, enquanto o petróleo e carvão são fontes primárias de alta qualidade.

lacuna na análise de viabilidade de um empreendimento deste tipo no sentido de não incorporar os danos ambientais como custo de projeto.

Existe um esforço da ELETROBRÁS (1997; 2000; 2002) a fim de valorizar essas externalidades ambientais, incorporando os aspectos ambientais como variável no processo de decisão da viabilidade de uma hidrelétrica. Foi desenvolvido um trabalho (Tolmasquim, 2000), a pedido da ELETROBRÁS, com o objetivo de apresentar metodologias de valoração de danos ambientais, sob o ponto de vista especificamente da economia ambiental.

Neste sentido, a valoração dos danos ambientais da geração hidrelétrica é uma preocupação do próprio órgão responsável pela definição das orientações de projeto e visa contribuir para uma melhor análise dos empreendimentos, bem como do melhor uso dos recursos naturais (ELETROBRÁS, 2002, Tolmasquim, 2000).

Dentro desta perspectiva, esta tese tem como objetivo **a determinação de valor para os danos ambientais de hidrelétricas sob dois pontos de vista – economia ambiental e uma vertente da economia ecológica, denominada de ecologia de sistemas, acompanhando o debate das duas principais linhas teóricas da economia nesta área - sustentabilidade fraca e sustentabilidade forte**, incorporando elementos à discussão sobre o valor dos recursos e serviços ambientais. Adotou-se o termo dano ambiental para designar as implicações negativas de caráter meramente biológico e físico da construção e operação de usinas hidrelétricas, porém sem perder de vista as conseqüências sociais e econômicas que esses danos ambientais causam.

•

A dificuldade em tratar de temas ambientais, sob um único ponto de vista, conduziu diversos autores na busca de diferentes indicadores para a avaliação ambiental. Podemos citar Atkinson (1999), Neumayer (1999), Hanley (1999), Leff, (1994), entre outros, que procuram analisar os problemas ambientais sob diferentes pontos de vista. Hanley (1999), por exemplo, avaliou a sustentabilidade da Escócia sob o ponto de vista de diversos indicadores ambientais, desde econômicos, ecológicos até sociopolíticos, mostrando que diferentes indicadores proporcionam diferentes abordagens no sentido de direcionar políticas específicas.

Sabe-se que por trás de cada indicador existe uma linha de pensamento teórico, que gera conhecimento para a compreensão do real. Neste sentido, a produção de conhecimento científico não pode ser definida como neutra, mas sim pertencente a um intrincado jogo de possíveis

combinações de idéias e teorias na busca de apreender a realidade complexa. Ainda não se produziu uma teoria capaz de abranger todas as inter-relações da realidade, principalmente no tocante à questão ambiental (Leff, 1994). Neste sentido, a utilização de duas linhas teóricas - economia neoclássica e uma vertente da economia ecológica - para valorar os danos ambientais pode contribuir para o entendimento da importância dos recursos e serviços ambientais para as atividades econômicas.

De forma mais específica, foi constatado na avaliação de diversos trabalhos sobre usinas hidrelétricas e de seus impactos ambientais (CELESC, 1997; CELG (s/d); CESP/ENGEA, 1994; Cruz, 2004; ELETRO RIVER/JPE, 2000; Leite, 2002; Lima, 2002; Paraíso, 1998; Ribeiro, 2003; THEMAG, 1978; WORKS/IDEC, 1998), nos estudos de caso apresentados no trabalho da Comissão Mundial de Barragens (World Commission on Dams, 2000), na leitura crítica dos manuais de orientação da ELETROBRÁS (ELETROBRÁS, 1997; 2000; 2002; Tolmasquim, 2000), a carência da valoração e incorporação dos danos ambientais na contabilização de custos das usinas hidrelétricas.

Neste sentido, a partir desta constatação, pergunta-se **qual seria a melhor forma de valorar os danos ambientais decorrentes da implantação e operação deste tipo de empreendimento?**

Entretanto, existem outras questões que antecedem esta questão principal, ou seja, **quais seriam os principais danos ambientais que poderiam ser valorados sob estes dois pontos de vista?** Ou seja, é de fundamental importância identificar claramente quais são os principais danos ambientais decorrentes da implantação e operação de usinas hidrelétricas que tenham alguma característica comparável entre duas abordagens – sob o ponto de vista da economia ambiental e do ponto de vista da ecologia de sistemas (uma linha de pesquisa que pode ser entendida como pertencente à economia ecológica). **E qual seria a dimensão deste dano?** Estes danos ambientais deveriam ser incorporados à análise de custo-benefício das usinas, ou simplesmente, servir de indicador para melhor entender o papel do ambiente neste tipo de empreendimento?

Por fim, **será que a expressão dos danos ambientais, em valores monetários e/ou emergéticos, levaria a uma melhor avaliação das unidades de geração hidrelétricas a serem implantadas?**

Partindo do pressuposto que há uma lacuna na determinação de valor do dano ambiental de hidrelétricas, este estudo se pautou no sentido de **dar valor, monetário (com base na economia neoclássica) e eMergético<sup>3</sup>, aos principais danos ambientais de diversos estudos de caso (14 hidrelétricas)**, procurando entender **as suas dimensões relativas, as relações possíveis e implicações decorrentes dos resultados obtidos, contribuindo para o melhor entendimento da viabilidade deste tipo de empreendimento.**

Segundo Romeiro (s/d), citando Myrdal (1978), “*a economia é sempre economia política*” e a idéia de valor nunca é dissociada do julgamento pessoal e ideológico do agente, não sendo dado exogenamente. Neste sentido, a discussão sobre o valor do dano ambiental decorrente da geração de energia hidrelétrica está associada a forma como se valoram os recursos e serviços ambientais. Este debate influencia o entendimento da economia sobre a questão de valoração ambiental e suas conseqüências para a definição de desenvolvimento sustentável e da sustentabilidade econômica e ambiental.

Parte-se do pressuposto de que já existe bagagem teórica suficiente para identificar os principais danos ambientais, decorrentes da construção e operação de usinas hidrelétricas, e que estes são passíveis de valoração, como será mostrado nesta tese. Entretanto, ainda existe uma necessidade de estudos específicos para melhor avaliar e valorar alguns dos principais danos ambientais deste tipo de empreendimento.

Os principais danos ambientais podem ser identificados, analisados e valorados tanto sob aspectos econômicos como ecológicos. Para este fim, utilizou-se de dois métodos distintos de valoração ambiental, visando entender não somente o valor em si do dano, mas as relações entre o valor do dano e algumas das principais características do dimensionamento das usinas hidrelétricas, como a área do reservatório e a potência instalada, definir um gradiente entre os estudos de caso, com base nos resultados obtidos, e ainda uma possível relação entre os valores monetários e eMergéticos. Com relação a esta possível associação entre valores monetários e eMergéticos, tem-se como premissa que a valoração monetária se dá através das leis de mercado, e está associada à construção social e cultural, enquanto a valoração em bases energéticas é atrelada às leis biofísicas, distintas, portanto, na sua origem.

---

<sup>3</sup> A valoração eMergética parte de princípios físicos e biológicos para o estabelecimento de uma moeda comum, capaz de ser aplicada na avaliação tanto de sistemas naturais como de sistemas construídos. Esta metodologia de valoração ambiental alicerça-se na ecologia de sistemas, que pode ser considerada uma linha de pesquisa vinculada à Economia Ecológica.

A hipótese principal é que a valoração dos principais danos ambientais de quatorze hidrelétricas, utilizando-se de duas correntes distintas, fornece elementos suficientes para uma análise classificatória e de qualificação destes empreendimentos hidrelétricos, podendo ser considerada determinante para a sua viabilidade, mesmo sendo considerada incompleta, tanto em termos monetários quanto eMergéticos, por restrições de caráter intrínseco à metodologia da economia ambiental e da ecologia de sistemas. Ou seja, desde que seja realizada a valoração dos danos ambientais de hidrelétricas, tanto a partir da economia neoclássica como de uma vertente da economia ecológica (ecologia de sistemas), entende-se que haveria uma melhora significativa na avaliação de viabilidade do empreendimento. Ainda, existem danos ambientais que normalmente nem são identificados e muito menos valorados, e a utilização de abordagens distintas poderia contribuir para o melhor entendimento da dimensão destes danos.

Além disso, aventa-se a possibilidade de existir uma relação entre o valor do dano ambiental monetário ao valor eMergético, que permitiria uma avaliação integrada ou de complementaridade. Por fim, levanta-se a hipótese que o dano ambiental relativo de uma grande usina pode ser comparável a de pequenas usinas, rediscutindo-se o pressuposto que pequenas usinas causam pequenos danos ambientais, em termos relativos.

Em outras palavras, a hipótese a ser confirmada é que a quantificação dos danos ambientais, tanto em termos monetários quanto eMergéticos, representa uma importante ferramenta para melhor comparar e avaliar a viabilidade de empreendimento hidrelétricos.

Para Leff (1994), dentro da visão que procura articular o materialismo histórico com a ecologia, o valor de uso não pode ser entendido somente pela agregação de materiais e energia necessários para a elaboração de um produto, mas implica também em associá-lo a uma demanda e um processo de consumo, o que, em última instância, trata-se de enquadrá-lo no valor de troca. Por isso, tanto o valor de uso, entendido como associado ao metabolismo ecológico, quanto o valor de troca, relacionado ao metabolismo social, não podem ser desvinculados dos processos tecnológicos, culturais e ecológicos, que estabelecem as condições gerais de produção. Neste sentido, existe uma complementaridade entre o valor determinado em bases físicas e o valor baseado nas leis de mercado, o que será verificado dentro da abordagem restrita destes estudos de caso.

A valoração ambiental possui implicações que transcendem a mera técnica de dar valor aos atributos ambientais, seja na forma expressa através de pressupostos econômicos, seja por pressupostos objetivos, como leis físicas e princípios biológicos, pois visam integrá-los na racionalidade econômica

e dar visibilidade a importância da sustentação da vida, proporcionada pela natureza. Além disso, a valoração ambiental está em busca de legitimação, não somente para entender melhor o papel dos recursos naturais, mas refletir a consciência de seus usos.

Esta tese, por pressuposto, não tratou a valoração ambiental em seus aspectos éticos, culturais e filosóficos, mesmo que, em certa medida, a utilização de duas linhas teóricas, uma de cunho antropocêntrica, representada pelo enfoque econômico, e outra ecocêntrica, representada pela ecologia de sistemas, de acordo com a classificação de Mota (2001), reflete concepções de caráter éticos e filosóficos, porém em termos bastante restritos.

A formação do valor monetário do recurso natural, segundo Amazonas (2001), possui uma relação direta e dependente da abordagem adotada. Por um lado, na visão neoclássica, este é definido *ex-ante* pelas preferências individuais, ou seja, dependente da disponibilidade a pagar pelo recurso, sem conhecimento aprofundado das características intrínsecas do recurso, que é apropriado e internalizado na análise custo-benefício, buscando, em última instância, escalas sustentáveis de seu uso. Por outro, tem-se, na visão institucional ecológica, a determinação de valores com base nas características ecológicas e/ou de fluxo de energia do recurso, que define a sua escala de uso do recurso, para constituírem um valor monetário *ex-post* dado pela atividade econômica decorrente do uso deste recurso. Esta pesquisa não se propôs a determinar o valor monetário a partir de uma escala de uso do recurso, com base nas características físicas de fluxo de energia, restringindo-se a compor uma relação entre valor energético e valor monetário dos danos ambientais de hidrelétricas. Pois, a determinação de valor monetário pela economia segue princípios distintos da ecologia, e não é possível transpor valores físicos para monetários, através um simples fator de conversão.

É importante ressaltar que o foco principal desta tese é a valoração ambiental dos danos da implantação e operação de quatorze usinas hidrelétricas, não entrando diretamente no mérito de questões como demanda de energia, relação crescimento do consumo de energia e crescimento da economia, nem mesmo avaliar o sistema energético nacional ou mesmo a gestão do setor elétrico em si.

Como o Brasil possui, como fonte principal de energia, a hidroeletricidade, que é considerada energia renovável e limpa, e com grande potencial de crescimento, é importante melhorar a análise dos danos ambientais decorrentes desta forma de energia.

## **I.2 ENERGIA HIDRELÉTRICA NO BRASIL**

### **I.2.1 Alguns Aspectos Históricos da Geração de Energia Hidrelétrica**

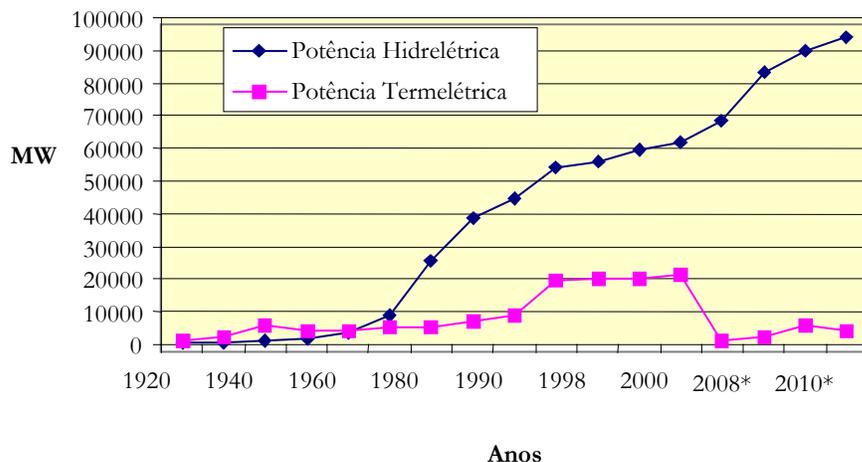
Alguns aspectos históricos da geração de Energia Hidrelétrica no Brasil estão associados, principalmente, aos fatores econômicos e da própria gestão das águas. Estes fatores podem alternar a sua função ou como consequência do crescimento econômico, ou como fator de indução, principalmente se o enfoque for regional ou local.

Segundo Barbosa (2001), até 1930 eram as companhias privadas, com concessão governamental, que organizavam o fornecimento de energia elétrica, de forma local ou regional. As principais multinacionais eram American & Foreign Power Company – Amforp (norte-americano) e Brazilian Traction, Light and Power – Light (canadense).

Em termos espaciais, a geração de energia hidrelétrica estava bastante atrelada às atividades econômicas. Entre os anos de 1880 e 1900, a concentração maior de energia hidrelétrica era proveniente de usinas localizadas em Minas Gerais em função das atividades minerárias, beneficiamento de produtos agrícolas, fábricas e serrarias, que aos poucos foram em direção às cidades do Rio de Janeiro e São Paulo (Freitas, 2002).

O aproveitamento do desnível proporcionado pela Serra do Mar foi um dos fatores preponderantes que direcionaram os projetos hidrelétricos no eixo da capital federal - na época o Rio de Janeiro - e da industrial São Paulo, destacando as usinas Fontes Novas e Ilha dos Pombos, de 132 MW e 164 MW de potência, instaladas em 1908 e 1924 na sub-bacia do Paraíba do Sul, no Rio de Janeiro. A Usina Hidrelétrica de Henry Borden, que teve sua primeira unidade inaugurada em 1926, atingiu, em 1950, a capacidade de 469 MW, localizada na sub-bacia do Rio Tiete. Houve uma expansão da geração de energia hidrelétrica nas décadas de 50 e 60 em regiões da Bahia, mais especificamente na bacia do rio São Francisco (Paulo Afonso I e II), e Minas Gerais, no rio Grande (Mascarenhas de Moraes, Furnas e Estreito). Nas décadas seguintes, seguindo os padrões de crescimento econômico, foram construídos grandes empreendimentos hidrelétricos (capacidade acima de 1.000 MW) com expansão para as bacias dos rios Paraná (ex. Itaipu com 12,6 GW), Iguaçu e Tocantins (Tucuruí 4,2 GW) (Freitas, 2002).

**Figura I.1 Evolução e Previsão de Potência Instalada**



**Fonte:** Freitas, 2002 (\* estimativas realizadas pelo autor)

A gestão das águas tinha como prioridade a geração de energia hidrelétrica, principalmente durante o período de 1934 a 1963, pois esta era o fator preponderante para o desenvolvimento econômico. O Código de Águas foi aprovado em 1934, a partir do decreto do Governo Provisório de Getúlio Vargas. É importante observar que o código das águas definia as riquezas do subsolo e das quedas d'água como pertencentes à União (Barbosa, 2001). O código das águas foi um marco na definição deste recurso como um bem público com valor econômico.

Em decorrência de diversos fatores - dentre eles, a institucionalização do código das águas, que representava a nacionalização dos recursos naturais - houve uma retração dos investimentos estrangeiros na ampliação da capacidade produtiva. De acordo com Mielnik (1988, apud Barbosa, 2001), desde a aprovação do código até o final da Segunda Guerra Mundial, o consumo de energia elétrica cresceu 179%, enquanto a capacidade instalada apenas 18%. Visando a normatização e fiscalização dos serviços de energia elétrica, foi criado em 1939 o Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica – CNAEE.

Em 1950, durante o segundo governo Vargas, houve a implantação efetiva do projeto de estatização do setor elétrico com a criação de empresas públicas estaduais, como a CEMIG (Minas Gerais), a USELPA (São Paulo) e a CEEE (Rio Grande do Sul). Nesta época, iniciou-se também a idéia de um planejamento nacional do setor, com a criação das Centrais Elétricas Brasileiras (ELETROBRÁS), com o intuito de centralizar e planejar a estrutura do setor, buscando recurso para a sua viabilização, que somente viria a existir em 1962 (Barbosa, 2001).

De acordo com Barbosa (2001), a criação da Eletrobrás em 1962 foi um passo decisivo na integração do setor de energia elétrica, possibilitando a incorporação dos diversos atores regionais, estaduais, privados e estatais.

Somente após a Resolução CONAMA nº 01 em 1986 é que a questão ambiental começou a ser integrada ao setor elétrico, principalmente na exigência legal da realização de estudos de impacto ambiental de usinas hidrelétricas. Entretanto, o setor elétrico já possuía uma incipiente cultura em relação aos problemas ambientais, desde 1975, quando da publicação, pela empresa Itaipu Binacional, de um plano básico de preservação ambiental. Em 1986, no mesmo ano da Resolução CONAMA, foram publicados dois documentos que introduziram a questão ambiental no setor elétrico: o Manual de Estudos de Efeitos Ambientais dos Sistemas Elétricos (junho/1986) e o Plano Diretor para a Melhoria do Meio Ambiente nas Obras e Serviços do Setor Elétrico (1986) (Barbosa, 2001).

Após a abertura política, começou-se a democratização da discussão da gestão das águas, onde agentes sociais poderiam ter uma atuação mais efetiva nas decisões sobre os usos das águas. A preocupação com a qualidade do meio ambiente foi relevante para alterar o quadro anterior. Este fato é revelado através da adoção, no discurso oficial, da questão do desenvolvimento sustentável, e da discussão sobre a gestão sustentável dos recursos hídricos. Mesmos os empreendimentos hidrelétricos devem ser pensados com a finalidade não somente de gerar energia, mas possibilitar usos múltiplos dos reservatórios.

A Agência Nacional de Energia Elétrica. (ANEEL) foi criada em 1996, como órgão regulador do Setor Elétrico brasileiro. Em 1998, foi criado o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), com o objetivo de integrar o sistema elétrico nacional e garantir tanto a geração quanto a distribuição de energia elétrica a todo país. Além disso, visando dar uma condição de eficiência ao sistema foi criado o MAE - Mercado Atacadista de Energia.

### **I.2.2 A Matriz Brasileira de Geração de Energia Elétrica**

Em 1990, a capacidade instalada, para geração de energia elétrica no Brasil, era de 55.203 MW, incluindo 11.200 MW de Itaipu, enquanto em 1997 este número passou para 57.417 MW, sendo 94% (53.696 MW) de usinas hidrelétricas e o restante de usinas termelétricas (3.721 MW). Basicamente, o crescimento ocorreu pela ampliação da geração hidrelétrica. Parte desta tendência pode ser explicada por ainda existir disponibilidade de potencial hídrico nas diversas bacias hidrográficas brasileiras e

pelas restrições circunstanciais da energia térmica (Kelman, 1999). Atualmente, a matriz de geração de energia elétrica é composta de:

**Tabela I.1: Matriz de Geração de Energia Elétrica**

TIPO	Quantidade	Potência Outorgada <sup>1</sup> (KW)	%	Energia Assegurada (MW médios)	%
<b>Hidráulica</b>		<b>81.488.323</b>	<b>84,8</b>	<b>48.336,96</b>	<b>83,6</b>
UHE	157	78.354.143		46.338,7	
PCH	253	3.110.926		1.983,11	
CGH	34	23.254		15,15	
<b>Térmica</b>		<b>11.746.544,5</b>	<b>12,2</b>	<b>8.551,34</b>	<b>14,8</b>
UTE	102	9.739.544,5		6.836,84	
UTN	2	2.007.000		1.714,5	
<b>Renovável</b>		<b>2.866.493</b>	<b>3,0</b>	<b>924,3</b>	<b>1,6</b>
EOL	82	2.866.493		924,3	
<b>Total</b>		<b>96.101.360,5</b>	<b>100,00</b>	<b>57.812,6</b>	<b>100,0</b>

Fonte: ANEEL, 2006.

**Legenda**

UHE – Usina Hidrelétrica de Energia (> 30.000 KW)

PCH – Pequena Central Hidrelétrica (1.000 KW – 30.000 KW)

CGH – Central Geradora Hidrelétrica (< 1.000 KW)

UTE – Usina Termelétrica de Energia (Óleo Combustível, Óleo Diesel, Gás Natural)

UTN – Usina Termonuclear

EOL – Central Geradora Eolielétrica

<sup>1</sup> São consideradas usinas outorgadas aquelas que recebem Ato de Outorga (Concessão, Permissão, Autorização ou Registro) e ainda não iniciaram suas obras (ANEEL).

Como pode ser visualizado na Tabela I.1, atualmente, a energia hidrelétrica representa cerca de 84% da potência outorgada no Brasil (81.488.323 KW), enquanto as termelétricas situam-se na faixa de 15% deste total (11.746.544,5 KW), sendo que, em termos de energia assegurada, há um aumento na participação da energia térmica, uma vez que esta não depende das condições naturais, como vazão do rio. Pode ser ainda observado nesta tabela, que a energia assegura representa aproximadamente metade da outorgada.

Conforme a ANEEL (2006) com relação à outra fonte de energia renovável, a energia eólica possui 109 empreendimentos outorgados totalizando 4.691.943 kW, sendo que 5 estão em construção (208.300 kW).

### I.2.3 Distribuição de Unidades Geradoras de Energia Elétrica

O sistema hidrelétrico brasileiro é constituído basicamente de três tipos de unidades geradoras de energia hidrelétrica, quais sejam: Usina Hidrelétrica de Energia (UHE) que se caracteriza por possuir uma potência mínima de 30.000 kW, as Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) que possuem uma potência entre 1.000 e 30.000 kW (desde que a área do reservatório não seja maior que 3 km<sup>2</sup>), e as Mini Centrais Hidrelétricas (MCH) ou Centrais Geradoras de Hidroeletricidade (CGH) que possuem potência até 1.000 kW.

A distribuição destas unidades em operação, atualmente, pode ser visualizada na tabela a seguir:

**Tabela I.2 Distribuição das Unidades de Geração de Energia em operação por faixa de potência**

<b>Tipo</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Potência Outorgada (kW)</b>	<b>Potência Fiscalizada (kW)</b>	<b>%</b>
<b>CGH</b>	194	103.703	103.256	0,11
<b>PCH</b>	264	1.400.451	1.363.082	1,44
<b>UHE</b>	151	72.089.527	70.840.368	74,74
<b>Total</b>	<b>609</b>	<b>73.593.681</b>	<b>72.306.706</b>	<b>76,29</b>

Fonte: ANEEL, 2006.

Como pode ser observado na tabela anterior, o sistema hidrelétrico brasileiro está baseado predominantemente em usinas hidrelétricas de energia (UHE) que correspondem a 97,97% da potência fiscalizada. Dentre estas usinas, a sua distribuição, em termos de potência, é apresentada na tabela seguinte:

**Tabela I.3 - Distribuição das UHE's em operação por faixa de potência**

<b>FAIXA DE POTÊNCIA (MW)</b>	<b>Nº DE USINAS</b>	<b>POTÊNCIA (MW)</b>	<b>POTÊNCIA (%)</b>
Até 30	452	1.963	2,84%
De 31 a 100	32	1.824	2,64%
De 101 a 500	47	11.197	16,18%
De 501 a 1.000	8	5.460	7,89%
Acima de 1.000	25	48.740	70,45%
<b>Total</b>	<b>564</b>	<b>69.184</b>	<b>100,00%</b>

Fonte: ANEEL, 2005.

De acordo com as informações apresentadas na Tabela I.3, existem duas faixas de potências predominantes de UHEs: entre 101 a 500 MW e acima de 1000 MW, tanto com relação ao número de usinas quanto à potência fiscalizada.

#### **I.2.4 Potencial de Energia Hidrelétrica**

Como mencionado anteriormente, as usinas hidrelétricas em operação no Brasil concentram-se nas bacias do rio Paraná e São Francisco, sendo a primeira responsável por cerca de 80% do consumo de energia, enquanto a segunda o restante.

**Tabela I.4 - Capacidade Instalada por bacia hidrográfica - 2006 (MW)**

<b>BACIA</b>	<b>OPERAÇÃO</b>	<b>%</b>
Amazonas	699	1,0
Tocantins	8.494	12,5
Atlântico Leste	301	0,4
São Francisco	10.395	15,3
Atlântico Sudeste	2.959	4,4
Paraná	39.467	58,1
Uruguai	2.981	4,4
Atlântico Sul	2.604	3,8
<b>Total</b>	<b>67.901</b>	<b>100</b>

Fonte: SIPOT/Eletrobrás 2006

O potencial hidroelétrico brasileiro é apresentado na tabela a seguir, sendo estimado em termos da capacidade a ser instalada por bacia hidrográfica:

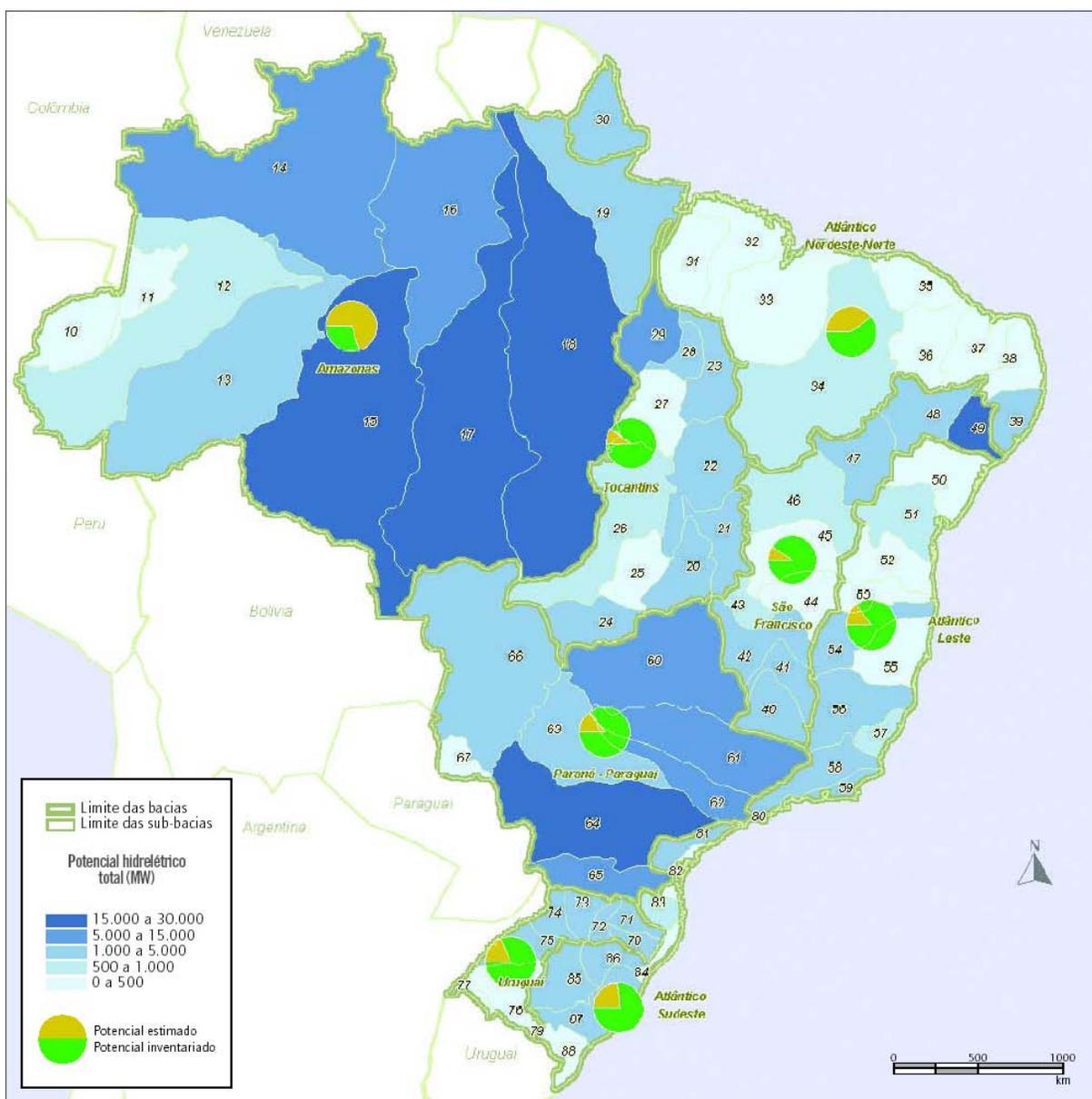
**Tabela I.5 - Potencial Hidrelétrico Brasileiro – 2006 (MW)**

BACIA	INVENTARIADO	ESTIMADO	TOTAL	%
Amazonas	40.863	63.168	104.061	40,0
Tocantins	24.576	2.019	27.540	10,6
Atlântico Leste	1.071	1.921	2.992	1,2
São Francisco	24.724	1.917	26.641	10,2
Atlântico Sudeste	12.803	1.902	14.705	5,7
Paraná	54.549	12.666	61.624	23,7
Uruguai	12.666	1.152	13.818	5,3
Atlântico Sul	7.487	2.169	9.656	3,7
<b>Total</b>	<b>179.619</b>	<b>80.473</b>	<b>260.092</b>	<b>100</b>

Fonte: SIPOT/Eletróbrás 2006

Como pode ser observado nas Tabelas I.4 e I.5, a geração de energia hidrelétrica atualmente em operação, de cerca de 67 mil MW, é bastante reduzido (aproximadamente 26%) frente ao potencial hidrelétrico total, estimado em 260 mil MW. É importante ressaltar que o maior potencial está na bacia do rio Amazonas (cerca de 40%) seguido pela bacia do Paraná (com 23,7%). A Figura I.2 mostra o mapa de distribuição do potencial hidrelétrico no país.

Figura I.2 Potencial Hidrelétrico Total por Bacia



Fonte: ANEEL, 2002

**Tabela I.6 Relação Potência Instalada e Potencial da bacia hidrográfica**

Bacia	Operação	Potencial	O/P (%)
Amazonas	699	104.061	0,7
Tocantins	8.494	27.540	30,8
Atlântico Leste	301	2.992	10,1
São Francisco	10.395	26.641	39,0
Atlântico Sudeste	2.959	14.705	20,1
Paraná	39.467	61.624	64,0
Uruguai	2.981	13.818	21,6
Atlântico Sul	2.604	9.656	27,0
<b>Total</b>	<b>67.901</b>	<b>260.092</b>	<b>26,0</b>

Fonte: ANEEL, 2006

Se for observada a relação entre potência instalada e potencial, a bacia do rio Amazonas possui uma potência instalada muito reduzida em relação ao potencial de exploração, enquanto a bacia do Paraná, que representa a segunda maior em potencial, já está sendo explorada em 64% de sua capacidade.

### **I.2.5 Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) e Centrais de Geração Elétrica (CGH)**

É importante destacar o potencial de pequenas centrais (PCH) e de centrais de geração de energia (CGH) que, segundo Bermann (2002), representam uma importante fatia dos aproveitamentos hidrelétricos brasileiros. Como apresentado na Tabela I.4, existe um número significativo de pequenas centrais hidrelétricas (452) que representam cerca de 2,8% da potência total instalada. As PCH's são caracterizadas por terem potência máxima de 30 MW e área de reservatório menor que 3 km<sup>2</sup> (Resolução ANEEL n° 394 de dezembro de 1998). Segundo este autor (*op. cit.*), existiam no Brasil, de acordo com o censo elaborado em 1997 pelo extinto DNAEE (Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica), cerca de 1.860 usinas com estas características, porém, 1.100 destas, não se tinha desconhecimento sobre a situação operacional, 430 estavam abandonadas e apenas 330 operavam com potencial de 1.939,8 MW.

Os dados do SIPOT/ELETROBRÁS (2000) descreviam que existiam em operação 179 PCH's (totalizando 1.169,1 MW) e que havia um potencial de 9.795,7 MW, através da implantação futura de 942 aproveitamentos.

A importância das pequenas centrais hidrelétricas está associada ao fato destas, normalmente, estarem localizadas próximas aos centros consumidores e possuírem uma conotação de causar baixo impacto ambiental relativo. Entretanto, dependendo do local onde são instaladas e da forma como são operadas, as pequenas centrais hidrelétricas podem causar grande alteração ambiental relativa, principalmente sobre o regime hídrico, como será apresentado.

Esta tese procura desmistificar o fato das pequenas usinas hidrelétricas serem consideradas, sem questionamento, de baixo impacto ambiental, o que em certos casos é verdade, porém, dependendo das condições de contorno destas hidrelétricas, estas podem estar associadas, proporcionalmente, a impactos ambientais significativos.

### **I.2.6 Usinas em Construção e Outorgadas**

De acordo com ANEEL, estão em construção 51 usinas hidrelétricas de diversos portes (UHE, PCH, CGH), totalizando 3.266.628 kW a mais para entrar no sistema, além de outros 301 usinas hidrelétricas já outorgadas pela agência, compondo o total de 8.571.272 kW. No que diz respeito às usinas térmicas, encontram-se atualmente em construção 14 empreendimentos com potencial de 535.498 kW no total, sendo que já existem 93 empreendimentos outorgados pela ANEEL entre 1998 e 2005 (9.654.544 kW).

### **I.3 ETAPAS DO PROCESSO DE APROVEITAMENTO DO POTENCIAL HIDRELÉTRICO**

Atualmente, as etapas do processo de aproveitamento do potencial hidrelétrico de uma bacia são divididas nas seguintes etapas: inventário, viabilidade, projeto básico, construção e operação. Esta descrição refere-se ao procedimento definido pelas normas que regem o sistema, porém muitos dos procedimentos acabam não sendo cumpridos integralmente.

A fase de *Inventário* corresponde ao estudo da bacia hidrográfica visando a melhor alternativa da divisão de queda com aproveitamento máximo da energia disponível. Nesta fase, os aproveitamentos são avaliados com relação, principalmente, ao aproveitamento energético associado a uma avaliação prévia dos impactos ambientais para cada barramento, levando a primeira composição de custo, ou

mesmo, a uma relação entre energia elétrica potencial e o custo de implantação, o que define de certa forma uma priorização dos empreendimentos.

Desenvolvido pela Eletrobrás, o Manual de Inventário Hidrelétrico de Bacias Hidrográficas (MIHBBH), define as informações básicas a serem coletadas, bem como estabelece os estudos, critérios e procedimentos para elaboração do inventário da bacia, procurando integrar, de forma incipiente, as dimensões econômico-financeiras e ambiental. O inventário é analisado e aprovado pela ANEEL, definindo a composição de barramentos na bacia para o aproveitamento do potencial hidrelétrico.

A fase de **Viabilidade** é definida para um empreendimento específico, quando são aprofundados os estudos econômico-financeiros e sócio-ambiental, procurando a otimização técnico-econômica. Nesta fase, já são dimensionadas as estruturas principais, as necessidades de infra-estrutura, e os usos múltiplos da água. Normalmente, desenvolvem-se os estudos ambientais, como o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e seu respectivo Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), para o licenciamento ambiental do empreendimento junto ao órgão ambiental competente, que definirá, segundo critérios próprios, sua viabilidade ambiental. Também é realizada a análise mais apurada dos custos e benefícios do empreendimento, definindo uma relação entre custo (US\$) da implantação e o MWh gerado.

Após a aprovação pela ANEEL do estudo de viabilidade e a obtenção da licença prévia ambiental do empreendimento, passa-se para a fase de **Projeto Básico**, onde é detalhado todo o aproveitamento, resultando em um orçamento definitivo, tanto para os equipamentos e materiais, quanto para a infra-estrutura e programas sócio-ambientais. Este projeto também será submetido à aprovação da ANEEL e do órgão ambiental que emite a Licença de Instalação, a qual permite o início da obra.

Após a aprovação por estas duas instâncias, inicia-se a fase de **Construção**, propriamente dita. Esta etapa é composta normalmente das seguintes etapas: instalação do canteiro de obras e da vila residencial (se for necessário); desvio do rio; preparação do solo e fundações; escavações em rocha e submersas; construção das barragens e demais estruturas; montagem dos equipamentos eletromecânicos; limpeza da área do reservatório; enchimento do reservatório (Ribeiro, 2003).

A fase de **Operação** depende também de licenciamento ambiental, quando são avaliados os programas ambientais implantados durante a fase de construção e os programas que terão continuidade durante o funcionamento da usina, sendo emitido pelo órgão ambiental a Licença de Operação (LO). A vida útil de um empreendimento está associada não necessariamente às questões de durabilidade de equipamentos e da barragem em si, nem mesmo às questões de caráter físico ou biológico, mas às dimensões econômico-financeiras definidas no início do processo. Esta vida útil muitas vezes não corresponde ao tempo de operação de uma usina, mas sim ao tempo de retorno do investimento, ou como horizonte de amortização dos equipamentos e materiais empregados na construção da usina.

#### **I.4 METODOLOGIA**

Para o desenvolvimento da tese e a verificação da hipótese formulada, foram realizados estudos de caso de diversas hidrelétricas com base no perfil de usinas hidrelétricas no país, em termos de porte, dimensão relativa do reservatório, distribuição geográfica. Após esta análise, foram selecionados alguns exemplos de empreendimentos hidroelétricos que possam servir para a análise, compondo um quadro adequado para a avaliação proposta. Nestes empreendimentos selecionados, foram realizadas análises do valor do dano ambiental, com base em dois métodos distintos.

Visando a sistematização do estudo, inicialmente foram elencados os principais impactos ambientais decorrentes da construção e operação do eixo hidrelétrico. A quantificação dos impactos relevantes foi a base da valoração dos recursos ambientais afetados.

Para a realização desse estudo, foram destacados dois tipos de metodologia: a economia ambiental e a ecologia de sistemas.

A tese foi elaborada nas seguintes etapas, descritas a seguir:

- Apropriação da literatura sobre as linhas teóricas sobre valoração ambiental e sustentabilidade;
- A análise destas linhas teóricas: economia ambiental e a análise sistêmica, sob a ótica da representatividade do valor dado ao bem natural;
- Levantamento de informações sobre usinas hidrelétricas em diferentes regiões do país e de diferentes características;

- Estabelecimento da metodologia de escolha dos estudos de caso para análise dos danos ambientais;
- Aplicação de duas metodologias de valoração ambiental: a valoração econômica dos recursos e serviços ambientais e a ecologia de sistemas (ou análise eMergética), para os estudos de caso de usinas hidrelétricas;
- A avaliação dos resultados obtidos e discutidos a representação da valoração dos danos ambientais da geração de energia hidrelétrica.
- A análise para a formação do valor monetário ambiental e do valor-energia;

**As análises dos danos ambientais dos estudos de caso foram realizadas com base nestas diretrizes:**

1. Definir os estudos de caso;
2. Definir os principais impactos ambientais e como valorá-los;
3. Avaliar a disponibilidade e consistência dos estudos de Inventários, Estudos de Viabilidade, Projetos, Estudos de Impacto Ambiental, entre outros, das hidrelétricas;
4. Avaliar as informações necessárias para a estimativa de valoração ambiental, verificando a consistência nos estudos levantados;
5. Avaliar os dados de uso e ocupação do solo da região, principalmente no tocante à existência de vegetação natural afetada pelos empreendimentos;
6. Identificação dos principais componentes do sistema em termos de fluxo de energia e matéria;
7. Levantamento de dados em literatura pertinente sobre valoração monetária com relação aos principais aspectos ambientais identificados;
8. Definição dos valores a serem adotados nos estudos de caso para a valoração monetária e eMergética;
9. Construção da planilha de dados, incluindo os principais aspectos a serem valorados para cada usina hidrelétrica;

10. Transformação dos dados brutos em fluxo de energia e de eMergia na avaliação da ecologia de sistemas;
11. Determinação do Valor Presente Líquido dos danos ambientais em valores monetários, para as taxas de desconto de 2%, 6% e 12% ao ano;
12. Avaliação e discussão dos resultados, em comparação com outros trabalhos;
13. Apresentação de indicadores ambientais para avaliação das usinas hidrelétricas estudadas.

## **I.5 ESTRUTURA DA TESE**

Esta tese é composta de cinco capítulos, sendo o primeiro a introdução com a apresentação dos principais questionamentos e o pano de fundo da questão energética nacional. Este primeiro capítulo apenas introduz o leitor no quadro geral da importância da geração hidrelétrica no Brasil, uma breve história associada à questão ambiental, finalizando com a apresentação da metodologia a ser aplicada na avaliação dos danos ambientais de hidrelétricas.

O segundo capítulo consiste de um aprofundamento teórico sobre as metodologias que foram utilizadas na avaliação dos danos ambientais, apresentando algumas críticas pertinentes à questão, bem como levantando evidências sobre possíveis correlações entre o valor ambiental em termos energéticos e monetários.

O terceiro capítulo entra diretamente no ponto central da tese que inclui a definição dos principais impactos ambientais de usinas hidrelétricas, o levantamento de literatura disponível sobre valoração ambiental, bem como a apresentação dos valores monetários encontrados para os principais aspectos ambientais relacionados aos impactos identificados. Neste capítulo também são apresentados os valores adotados para a determinação do valor monetário dos danos ambientais, e dos seus valores eMergéticos, relacionados, respectivamente, aos aspectos econômicos e biofísicos. Por fim, são apresentados os parâmetros que determinaram as escolhas dos estudos de caso, e a descrição das principais características de cada usina hidrelétrica estudada.

No quarto capítulo, são exibidos os resultados, isoladamente, dos valores monetários dos danos de cada usina hidrelétrica, e uma análise conjunta. Da mesma forma, são expostos os resultados para a análise eMergética de cada usina e, posteriormente, apresenta-se uma análise que envolve todas as unidades estudadas. Apoiando-se em análises estatísticas, fez-se diversas inferências sobre como

podem ser entendidos os resultados, observando ou apenas a valoração monetária do dano ambiental, ou apenas a valoração eMergética, e posteriormente uma análise integrada dos valores dos danos ambientais em termos monetários e eMergéticos.

No quinto capítulo são apresentadas as conclusões e realizadas recomendações, objetivando melhorar não só a viabilidade das usinas hidrelétricas, mas como incorporar o valor dos danos ambientais nesta discussão. Neste capítulo, também é retomado o debate sobre a valoração em seu aspecto teórico, os resultados e as análises decorrentes, e as sugestões de continuidade de pesquisa. Após este capítulo seguem-se a bibliografia e os anexos, onde são detalhadas as informações de cada usina, bem como as planilhas de Valor Presente Líquido e Valor eMergético utilizadas na valoração ambiental de cada empreendimento estudado.

## CAPÍTULO II – RELAÇÃO VALORAÇÃO AMBIENTAL E SUSTENTABILIDADE

*“O limite moderno do sistema produtor de mercadorias é um limite duplo, um limite interno econômico e político, e um limite externo ecológico e energético”.*

Robert Kurz  
(Folha de São Paulo, 11/07/2004)

### II.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo aborda a temática da valoração ambiental sob o ponto de vista da economia ambiental e da economia ecológica ou, mais especificamente, de uma linha teórica que pode ser considerada dentro desta última - a Ecologia de Sistemas. Entende-se a valoração ambiental como pressuposto básico para que seja discutida a sustentabilidade, pensada em sentido econômico através da economia ambiental, e com base no fluxo de matéria e energia, para a ecologia de sistemas.

Para discutirmos o tema sustentabilidade, não se pode deixar de lado o conceito de desenvolvimento sustentável que, segundo Veiga (2005), em suas diversas definições, interpretações ou versões *“parecem estar muito longe de delinear, de fato, o surgimento dessa nova utopia de entrada no terceiro milênio”* (Veiga, 2005: 208 pg).

A valoração ambiental - como descrevem diversos autores (Amazonas 2000; Atkinsons, 1997; Costanza, 1995; May, 1994; Pearce, 1990) - é ponte para a conexão entre a economia e a ecologia, ou melhor, a definição dos parâmetros necessários ou de indicadores mais adequados para o desenvolvimento sustentável, mesmo tendo diversos pontos questionáveis de como realizá-la. Neste sentido, neste capítulo é retomado o debate sobre o tema desenvolvimento sustentável e sustentabilidade, mostrando quais são os parâmetros utilizados para a sua análise.

Outro ponto abordado neste capítulo refere-se à diferença entre a sustentabilidade fraca e forte, dentro da abordagem econômica, ou seja, principalmente no tocante ao conceito de capital natural e da valoração ambiental, buscando apresentar os limites destes conceitos e as inerentes contradições.

A segmentação dos conceitos de sustentabilidade sob a rotulagem específica de econômico, ou social, ou ambiental, conduz a uma fragmentação da análise do próprio ambiente, principalmente na dicotomia entre o ambiente construído e ambiente natural. Para Norgaard (1994) os sistemas social e ambiental devem ser tratados como parceiros dentro do processo coevolutivo.

No item relativo à valoração monetária ambiental, são descritas, brevemente, as metodologias empregadas para obtenção do valor do recurso ou atributo ambiental. Tal descrição visa apenas dar subsídio ao entendimento dos valores empregados nos estudos de caso.

O outro tópico abordado neste capítulo refere-se à descrição da Ecologia de Sistema, colocando-a dentro de uma perspectiva histórica do pensamento em termos do papel da energia na evolução, ou melhor, na dinâmica dos ecossistemas. Por fim, faz-se uma breve discussão sobre a importância da energia no processo econômico e da perspectiva da valoração energética ter alguma associação com a valoração econômica.

## II.2 OS CONCEITOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E SUSTENTABILIDADE

É importante destacar que nos diversos artigos que tratam do tema de **Desenvolvimento Sustentável** e **Sustentabilidade** há um uso indiferenciado ou mesmo uma passagem abrupta de um conceito para o outro. De forma geral, **Desenvolvimento Sustentável** além de ser um conceito normativo (Hediger, 2000; Romeiro, 2003), envolve a associação entre componentes distintos como os aspectos sociais, econômicos e ecológicos, estando implícita a idéia de continuidade ou permanência. Poder-se-ia alegar que o **Desenvolvimento Sustentável** envolve uma negociação entres estes três componentes básicos, no sentido da continuidade de uma convivência ao menos equilibrada. Enquanto **Sustentabilidade** pode ser entendida - resgatando o conceito original das ciências naturais, ou mais especificamente da biologia populacional - como a manutenção por tempo ilimitado de determinada população, ou seja, manter uma comunidade longe da extinção, vivendo e se reproduzindo (Veiga, 2005, Costanza, 1995). O termo Sustentabilidade foi incorporado na agenda política internacional na busca do estabelecimento de uma “*ética na perpetuação da humanidade e da vida*” (Nobre e Amazonas, 2002 apud Veiga, 2005).

De acordo com Amazonas (2001), o conceito vago de **Desenvolvimento Sustentável** abriu a porta para a interpretação distinta da **Sustentabilidade (Forte e Fraca)**, representada, a primeira, pela corrente denominada **economia ecológica**, com forte apelo ambientalista, e a última, **economia ambiental**, associada aos economistas tradicionais. A valoração ambiental é o requisito básico para a avaliação da sustentabilidade dentro destas duas linhas.

Para entender melhor as distinções feitas sobre este tema, serão traçadas breves linhas sobre o conceito de desenvolvimento, sobre o de desenvolvimento sustentável e de sustentabilidade, que darão suporte ao debate sobre valoração ambiental.

Para Sneddon (2000), o conceito de **Desenvolvimento Sustentável** possui bases teóricas ambíguas, e não considera, de forma profunda, as forças estruturais que estão por trás dos problemas ambientais, podendo acarretar conseqüências ecológicas desastrosas. Por outro lado, **Sustentabilidade** possui bases conceituais mais bem definidas, permitindo a pesquisadores examinarem, de forma acurada, projetos específicos, como o caso da geração de energia hidrelétrica, em áreas distintas como economia ecológica ou economia ambiental.

## II.2.1 Desenvolvimento

Segundo Veiga (2005), desenvolvimento em si pode ter ao menos três interpretações distintas: (a) a primeira como crescimento econômico; (b) a segunda como ilusão ou mito; e (c) a terceira com uma mescla destas duas abordagens que congregaria o conceito de desenvolvimento econômico com outros parâmetros que levem, não somente em conta, a questão econômica, como renda (ou renda *per capita*), mas também e, principalmente, a inacessibilidade do modelo econômico dos países industrializados em contrapartida a situação dos países periféricos, com suas dinâmicas histórico-culturais próprias, as abordagens éticas e a sua situação ecológica.

É importante lembrar que a fonte primordial da economia, (e seu desenvolvimento) em qualquer comunidade, deu-se pela junção do esforço humano, através do trabalho, com as características naturais de sua região (Veiga, 2005). Isso significa que a aplicação da tecnologia de transformação dos recursos naturais, com o uso de energia, em produtos faz a economia funcionar, lembrando, sem aprofundar-se na questão, os pressupostos dos fisiocratas.

Segundo Veiga (2005), a visão de desenvolvimento como crescimento econômico é equivocada, pois, em primeiro lugar, esta não vê limites na expansão material em um planeta finito, e em segundo, o efeito cascata do crescimento econômico dos países centrais, como disseminação da melhora das condições mundiais, mantém a estrutura da desigualdade, não permitindo a equidade entre as nações.

O terceiro aspecto refere-se ao questionamento do pressuposto teórico da convergência da renda *per capita* e do padrão de vida entre os países, com base nas proposições da teoria neoclássica. Este pressuposto se baseia no fato que, teoricamente, os níveis de crescimento econômico dos países pobres seriam superior aos dos países ricos, no estado estacionário de longo período. Esta situação ocorreria em decorrência da relação inversa das funções razão capital-trabalho e da produtividade do capital. Entretanto, evidências de estudos comparativos do crescimento econômico entre diversos países (Barro, 1991; Mankiw et all, 1992; Knight et all, 1993; Barro et all, 1993; Levine et all, 1992; Levine et all, 1993 apud Thirwall, 1999), ao longo de vários anos (entre os 1960-1985, na maioria dos estudos), mostram que esta hipótese não pode ser confirmada (Thirwall, 1999).

Furtado (1981), no início da década de setenta, já apontava para o mito do desenvolvimento econômico generalizado, dentro do sistema capitalista, das formas de consumo de massa existentes nos países centrais. De forma categórica e com propriedade, Furtado (1981) afirma que, se for estendido o estilo de vida decorrente do capitalismo industrial para a totalidade dos povos, inexoravelmente, ter-se-á o colapso de toda a civilização. Conclui-se que “*o desenvolvimento econômico – a idéia de que os povos pobres podem algum dia desfrutar das formas de vida dos atuais povos ricos – é simplesmente irrealizável*” (Furtado, 1981: 75).

## II.2.2 Desenvolvimento Sustentável

Ao adicionar o adjetivo sustentável, o conceito que já não estava propriamente definido, ganhou uma nova roupagem. De acordo com Romeiro (2004), este conceito normativo, que surgiu em 1973 com o termo ecodesenvolvimento, procurava inserir uma nova alternativa política para o crescimento econômico. Ignacy Sachs definiu seis aspectos que guiariam este novo conceito de desenvolvimento. Estes aspectos foram elencados como:

*“a satisfação das necessidades básicas; solidariedade com as gerações futuras; a participação da população envolvida; a preservação dos recursos naturais e do meio ambiente em geral; elaboração de um sistema social garantindo o emprego, segurança social e respeito a outras culturas; e programas de educação”*  
(Brüseke, 1995).

Em 1983, foi estabelecida a Comissão Mundial de Meio Ambiente e Desenvolvimento, cujo foco principal era identificar as causas dos problemas ambientais, e sugerir estratégias ambientais de longo termo para o desenvolvimento sustentável, com redução dos efeitos da degradação ambiental. Esta comissão fez um significativo avanço sobre a questão ambiental, uma vez que uma de suas atribuições era formular propostas de ação, inovadoras e concretas sobre o tema (WCED<sup>1</sup>, 1987; Redclift, 1995).

Basicamente, o conceito de **Desenvolvimento Sustentável** surge formalmente com a publicação deste relatório, onde são propostas ações mais específicas para a cooperação e o aumento do nível de entendimento e comprometimento dos países com a questão ambiental (Serôa Da Motta, 1997; Redclift, 1995).

Como observado anteriormente, o conceito de **Desenvolvimento Sustentável** descrito como *“development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs”*(WCED, 1987), mesmo sendo vago e impreciso, favoreceu a incorporação da questão ambiental ao discurso oficial.

Costanza (1995) observa que, nas diversas definições de **Desenvolvimento Sustentável**, três elementos estão sempre presentes: (a) a questão de **escala** sustentável da atividade econômica em relação aos mecanismos de suporte da vida; (a) a **distribuição eqüitativa** de recursos e oportunidades entre as gerações presentes e futuras; (c) e por fim, a **alocação** eficiente de recursos com adequada **quantificação do capital natural**.

De acordo com Daly & Townsend, (1993), **escala** representa o volume físico de fluxo de energia e matéria do meio ambiente, como fonte de recursos de baixa entropia, e a capacidade de receber os resíduos com alta entropia. Em outras palavras, representa a capacidade dos ecossistemas naturais em fornecer recurso para a economia e absorver os resíduos de forma a não alterar significativamente a sua condição inicial. Por seu turno, **distribuição** representa a divisão relativa de fluxo de recursos, na forma de bens e serviços, para a população, atual e futura. Outro conceito importante para a economia é a **alocação**, isto é, a divisão relativa de fluxo de recursos alternativos para o uso dos produtos. Em outras palavras, representa como os recursos são alocados para a produção de um bem ou serviço, em relação às preferências individuais e a capacidade de pagamento (Daly, 1993).

Neste sentido, o desenvolvimento sustentável está restrito à delimitação da **escala** do uso dos recursos naturais pela economia - que envolve a sua quantificação e a avaliação da **capacidade suporte**<sup>2</sup> e **resiliência**<sup>3</sup> - e, para a sua integração econômica, a valoração destes fatores.

De acordo com Atkinson (1999), dentro da visão da economia ecológica, o conceito de capacidade suporte delimita o uso dos recursos<sup>4</sup>, com base em critérios ecológicos, o que representa que a poluição não deve exceder a capacidade assimilativa do ambiente, ou mesmo, que não se deve coletar um recurso acima da sua capacidade de crescimento. Este conceito indica que o **estoque** de cada recurso deve ser mantido constante, o que, se aplicado aos recursos não- renováveis - sem a possibilidade de substituição - restringe o crescimento econômico.

Por sua vez, a resiliência pode ser um indicador do grau de sustentabilidade para os economistas ecológicos, e pode estar relacionado com a diversidade do capital natural, associando-se a um portfólio de bens e produtos naturais, ou melhor, a uma gama de bens biológicos naturais. Entretanto, pode ser interpretado como um indicador de sustentabilidade do sistema (natural), porém pode não ser adequado para o entendimento da sustentabilidade para o desenvolvimento humano (Atkinson, 1999).

---

<sup>1</sup> World Comission On Environment And Development (1987) Nosso futuro comum.

<sup>2</sup> *Capacidade suporte* é um conceito proveniente da biologia, que é definido como o “*tamanho máximo estável de uma população, determinado pela quantidade de recursos disponíveis e pela demanda mínima individual*” (ACIESP,1997).

<sup>3</sup> É a capacidade de um sistema suportar perturbações ambientais, mantendo a sua estrutura e o padrão geral de comportamento, enquanto as condições de equilíbrio são modificadas. Sistemas mais resilientes são aqueles que podem retornar a uma condição de equilíbrio após modificações consideráveis (ACIESP,1997).

<sup>4</sup> Recursos renováveis e não-renováveis estão associados a escala temporal de regeneração/formação. O petróleo é um recurso renovável dentro de uma escala temporal de um milhão de anos.

Sob o ponto de vista econômico, para Pearce & Turner (1990), a manutenção de uma economia sustentável, que implicaria em desenvolvimento sustentável, depende de dois fatores: (a) do progresso tecnológico para o melhor uso dos recursos naturais (maior eficiência); e (b) na substituição do capital produzido pelo capital natural, sendo o primeiro mais produtivo, ou seja, não está inserida a questão da escala dos recursos naturais na definição econômica. Estes dois fatores condicionam as duas principais correntes do pensamento econômico sobre a questão ambiental:

### **Sustentabilidade Fraca e Forte.**

Em termos econômicos, o conceito de desenvolvimento está vinculado à manutenção sustentável ou o não declínio da capacidade de prover renda (Utilidade) per capita infinitamente. Em outras palavras, significa a manutenção do capital necessário para garantir a utilidade para o futuro, o que implicaria também, de certa forma, em que o ambiente tivesse condições de prover os recursos necessários a esta condição (Neumayer, 1999).

Esta abordagem neoclássica se baseia na função de produção macroeconômica definida como sendo:  $Y=f(K,L)$ , ou seja, a renda é função do capital e da força de trabalho. Esta função de produção foi modificada de forma a contemplar os recursos naturais como fonte de geração de renda. Desta forma, como menciona Romeiro (2004), a variante Solow-Stiglitz incorpora os recursos naturais em sua nova formulação [ $Y=f(K,L,R)$ ]. Utilizando a expressão da função de produção de Cobb-Douglas modificada, temos a expressão  $Y = K_t^\alpha \cdot L_t^\beta \cdot R_t^\gamma \cdot T_t$ , onde a renda é função direta do capital produzido (K), a força de trabalho (L), do nível tecnológico (T) e dos recursos naturais (R), em um determinado tempo. Esta expressão mostra, teoricamente, que há **substitutabilidade** entre capital produzido e recursos naturais, sendo que somente depende da elasticidade entre eles. Além disso, indica que o sistema natural (os recursos e serviços ambientais) é uma restrição relativa à expansão indefinida do sistema econômico (Romeiro, 2004; Thirwall, 1999).

A partir da noção de que a economia dependia do meio ambiente para continuar se mantendo e sustentando o padrão de vida<sup>5</sup>, tanto no sentido de suprimento de insumo e assimilador de resíduos<sup>6</sup>, que a idéia de **estoque** dos recursos naturais começou a entrar na discussão de **sustentabilidade**. As regras básicas de manejo ambiental para a manutenção das funções por longos períodos eram:

(a) usar os recursos renováveis dentro dos limites de regeneração natural, o que implicava na

---

<sup>5</sup> Segundo Pearce & Turner (1990) padrão de vida significa uma série de fatores como a utilidade (sob o ponto de vista econômico) da renda, da educação, da saúde, bens espirituais, etc.

<sup>6</sup> Resíduos aqui são entendidos como sendo as emissões líquidas, gasosas e resíduos sólidos provenientes das atividades humanas.

manutenção do estoque de recursos renováveis; (b) manter o fluxo de resíduos dentro da capacidade de assimilação do ambiente. Neste sentido, a regra geral era de manter o estoque de recursos constante ao longo do tempo (Pearce & Turner, 1990).

Entretanto, como manter constante o estoque de recursos não-renováveis, em termos físicos, sem afetar o andamento econômico? Com o objetivo de manter a atividade econômica, as regras estabelecidas anteriormente deveriam ser alteradas. Partindo da idéia de que os recursos não-renováveis irão se extinguir com o seu uso pela economia, garantir que o capital produzido gere renda com a depleção do recurso é uma forma de compensação. Em outras palavras, não haveria problema em consumir combustíveis fósseis e aumentar as emissões de CO<sub>2</sub> na medida em que teríamos mais máquinas e estradas como recompensa.

Em última instância e em termos econômicos, a manutenção dos padrões de vida é garantida pelo uso dos estoques de recursos naturais, com conseqüente geração de renda, associada a melhoria tecnológica para um uso mais eficiente dos recursos, ou mesmo a sua substituição (Pearce, 1990). Portanto, para se garantir um padrão de vida é necessário valer-se de dois pressupostos e um conceito: a **substitutabilidade** entre os recursos, a melhoria na **eficiência tecnológica** e o conceito de **capital natural**.

A substitutabilidade entre o capital natural e o capital produzido e a crença no desenvolvimento tecnológico para resolver os problemas decorrentes de escassez do recurso natural são os elementos presentes no debate entre as duas correntes: sustentabilidade fraca e forte.

A **sustentabilidade fraca** entende que os recursos naturais - ou na denominação mais pertinente à questão, o capital natural - são passíveis de substituição e, na medida em que há progresso tecnológico, há ampliação das possibilidades da reposição deste capital pelo produzido. Na visão da **sustentabilidade forte** é importante manter o estoque de capital natural constante, pois não é possível a completa substituição do capital natural pelo capital produzido (*man-made capital*).

Neste sentido, a correta contabilização do capital natural e sua valoração monetária, de acordo com Pearce (1994), é uma ferramenta imprescindível para o entendimento da sustentabilidade. Segundo Costanza (1994), somente é possível avaliar a sustentabilidade de um sistema se houver a integração do capital natural na contabilização do sistema econômico. Entretanto, o valor monetário de um recurso natural, que não necessariamente está inserido no mercado, nem sempre consegue captar todos os seus aspectos ambientais.

### II.2.3 Sustentabilidade Fraca e Forte

Em termos mais abrangentes, Cavalcanti (1995) coloca que a sustentabilidade pode ser descrita como a possibilidade de manutenção das mesmas condições de vida, ou na sua melhora, de uma população humana e seus descendentes, em um ecossistema definido. Para Redclift (1995) a sustentabilidade é colocada como essencial para a sobrevivência humana. Costanza (1995), por sua vez, define um sistema sustentável como aquele que sobrevive ou persiste, e como consequência desta afirmação, são formuladas três questões fundamentais:

*“(1) Which system or subsystem or characteristics of system persist? (2) For how long? (3) When do we assess whether the system or subsystem or characteristics has persisted?”* (Constanza, 1995: 193).

Segundo Kaufmann (1995), sustentabilidade é uma questão de balanço entre a utilização dinâmica, pela sociedade, dos mecanismos ambientais de suporte de vida e a sua manutenção, a longo prazo, pelos ecossistemas naturais. Este autor sugere que, para sua avaliação, é recomendado entender como acontece a sustentação da vida, analisar os padrões de comportamento dos determinantes econômicos e ecológicos e modelá-los dinamicamente (*op.cit.*). Como lembra Redclift (1995), este termo sugere a incorporação de conceitos da ecologia que podem e devem ser aplicados aos processos econômicos.

De forma mais particular, o conceito de sustentabilidade tem sido aplicado para avaliar processos sócio-econômicos, apoiando-se nas distinções entre sustentabilidade fraca e forte (Seneddon, 2000).

A sustentabilidade fraca credita uma maior ou menor extensão a substitutabilidade entre capital natural e outras formas de capital, como o capital produzido, enquanto a sustentabilidade forte não entende que haja conversibilidade entre a economia e ecologia, neste sentido.

A sustentabilidade forte tem por base os limites impostos pelo planeta finito, acorrentado às leis físicas, que não pode ser explorado indefinidamente, como condição, não somente da forma dominante na economia (capitalismo de mercado), onde persiste a idéia de crescimento contínuo, mas também pela própria interpretação que a natureza humana possui de si mesma e de sua relação com o ambiente. Esta linha possui sua base em preceitos ecológicos, refletindo o entendimento que o meio ambiente abarca as relações econômicas e as interações entre o Homem e a natureza.

---

<sup>7</sup> “Qual sistema ou subsistema ou característica do sistema persiste? Por quanto tempo? Quando avaliamos se o sistema ou subsistema ou característica tenha persistido?” (Tradução do autor).

### II.2.3.1 *Sustentabilidade Fraca*

Como mencionado anteriormente, a sustentabilidade fraca apresenta a tecnologia e o dinamismo científico como pressuposto básico para o crescimento econômico que, inevitavelmente, levará a uma melhor condição humana e, conseqüentemente, para a solução dos problemas ambientais.

A sustentabilidade fraca, de acordo com a regra de Solow-Hartwick, requer a manutenção do investimento líquido total, incorporando todas as formas de capital, acima ou igual a zero. Esta regra implica necessariamente em manter o valor agregado total do capital produzido e do capital natural no mínimo constante. Em outras palavras, o capital natural pode declinar desde que haja capital produzido que conserve esta relação (Neumayer, 1999).

Esta regra, que determina a sustentabilidade fraca, depende de alguns pressupostos: (a) os recursos são abundantes; (b) a elasticidade de substituição entre o capital produzido e os recursos na função de produção (conforme mostrado anteriormente) é igual ou maior que a unidade; (c) o progresso tecnológico pode transpor as restrições de recursos (Neumayer, 1999).

Em termos econômicos, a sustentabilidade fraca entende que a elasticidade de substituição entre os bens produzidos e o recurso natural deve ser maior ou igual a **1** (um) para que a sustentabilidade seja garantida. Caso a elasticidade seja menor que **1** (um), a utilidade do capital não será, no mínimo, constante, não garantindo a sustentabilidade.

Mesmo a sustentabilidade fraca estando enraizada na perspectiva da economia neoclássica que vê a substituição entre capitais de forma benéfica, pode-se observar dois aspectos sobre a questão de substitutabilidade do capital natural. O primeiro é que o capital natural possui dois papéis, um de recurso a ser aproveitado na produção de bens que promovam o bem-estar e, outro, uma fonte direta de bem-estar. Na medida de sua substituição (ou uso), há uma dupla penalização: perde-se como recurso, na condição de fonte para geração de renda; e perde-se na subtração de sua condição de fonte direta de bem-estar (Neumayer, 1999).

Outro aspecto refere-se ao conflito entre a maximização do valor presente e sustentabilidade. A sustentabilidade é um critério restritivo à maximização do valor presente, ou das utilidades individuais, pois a otimização das utilidades atuais implica em restrições no futuro, ou seja, iniquidade de longo prazo. Em outras palavras, se for aplicada a regra de maximização do valor presente, a utilidade irá decair ao longo do tempo, levando a uma condição de insustentabilidade (Neumayer, 1999, Amazonas, 2001).

### II.2.3.2 *Sustentabilidade Forte*

Na essência, sustentabilidade forte refere-se à corrente que prega a não substitutabilidade entre as formas de capital. Podem-se depreender deste pré-requisito, que a sustentabilidade forte é o paradigma da manutenção, no mínimo constante, de ambos os valores totais agregados, do capital produzido e do capital natural, e do valor total do capital natural em si (Neumayer, 1999).

A sustentabilidade forte alega que a elasticidade entre o recurso natural e o produzido deva ser **0** (zero), o que garante que o recurso natural seja preservado intacto ou a parte do recurso consumida deve ser recomposta, mantendo o estoque total (Pearce et alli, 1996).

Sob outro aspecto, sustentabilidade forte pode ser interpretada não em termos de valor monetário, mas em termos de estoque físico das diversas formas de capital natural, que não são substituíveis. Esta definição implica em nenhuma forma de substituição entre capital natural e capital produzido, e o uso dos estoques dentro da sua capacidade regenerativa (Neumayer, 1999).

Os principais argumentos da sustentabilidade forte com relação às restrições a substitutabilidade entre capital natural e capital produzido são:

- (a) Irreversibilidade: quando uma espécie é extinta, não há volta, mesmo que tenha gerado algum bem econômico;
- (b) Ignorância: falta de conhecimento sobre as conseqüências da redução do capital natural;
- (b) Incerteza: existe grande desconhecimento sobre como o sistema ecológico opera, e esta incerteza restringe o argumento da substitutabilidade;
- (c) Escala: qual seria o limite físico, em termos de quantidades, do emprego dos bens e serviços ambientais (Pearce et alli, 1996).

Resumidamente, pode-se dizer do ponto de vista da sustentabilidade forte, que o aumento no consumo não compensa as futuras gerações do aumento da degradação ambiental, ou seja, é necessário pensar em uma equidade inter-geracional.

•

Nestas duas visões (Sustentabilidade Forte ou Fraca), a sustentabilidade, tanto econômica como ambiental, está ligada à avaliação da disponibilidade e dos usos dos recursos naturais pela economia. A valoração ambiental é o instrumento aplicado na avaliação dos recursos naturais em ambas visões.

Se a forma encontrada para avaliar a sustentabilidade está baseada na valoração monetária dos bens e serviços ambientais, e se esta não é capaz de agregar o valor total deste bem, fica difícil de avaliar ou “*determinar se uma economia é ou não sustentável*”, explicita Romeiro (2004:8). A questão circular que envolve a definição de uma economia sustentável, ou mesmo, o desenvolvimento sustentável reside no fato de que estas definições, sob o ponto de vista econômico, dependem do parâmetro “valor monetário do recurso”, mas este valor não corresponde ao valor integral.

#### II.2.4 Capital Natural

O conceito de capital natural foi introduzido na discussão sobre sustentabilidade no início da década de noventa. Partindo da idéia de que capital, na economia neoclássica, representa o estoque de bens que possui a propriedade de produzir outros bens e serviços no futuro, capital natural representa o estoque total de recursos renováveis e não-renováveis e a capacidade de assimilação do meio ambiente. Teoricamente, capital natural representa todos os recursos naturais utilizados pelo homem, como as águas, o petróleo, os diversos minerais, o solo, a madeira, os peixes, entre tantos outros, bem como os processos e funções do ecossistema na composição e manutenção da atmosfera e da biosfera, tais como a reciclagem de nutrientes, formação de solo, assimilação de despejos, biodiversidade, além das amenidades estéticas, como a paisagem (Hintenberger, 1997).

Na Economia, capital representa o estoque de bens que possui a propriedade de produzir outros bens e serviços no futuro, enquanto capital natural possui diversos atributos relativos à composição, estrutura, e componentes funcionais do ecossistema (Neumayer, 1999). O entendimento do ambiente como capital pode ser considerado como metafórico ou conceitual visando facilitar o diálogo entre economia e ecologia (Harte, 1995). Desta forma, a valoração ambiental do capital natural se daria através de preços de mercado, considerado pela economia neoclássica como o fórum de melhor alocação da escassez relativa de recursos e serviços (Lima, 1999). A manutenção deste capital implicaria na continuidade do processo econômico (Pearce & Turner, 1990).

O uso da expressão capital natural para designar a interpretação econômica dos recursos e serviços ambientais surgiu, portanto, da alteração de regras associativas entre o desenvolvimento econômico e os recursos naturais. O capital natural - ou o seu aumento, manutenção ou depleção - está sujeito a outros questionamentos, não somente pela idéia expandida de substituição pelo capital produzido, mas de como avaliar o estoque de capital natural: (a) em termos de bases físicas; (b) em termos de

valor (preço) dos serviços ambientais (fluxo); (c) ou em termos de valor constante (em preço) do estoque de capital natural (Pearce, 1990; Harte, 1995, Costanza & Daly, 1992).

Em resumo, a definição de capital natural como ativo artificial para compor a função de produção econômica de fundamento neoclássico serviu para incorporar a questão ambiental na análise econômica, porém o valor monetário a ser dado a este capital não consegue abranger toda a gama de componentes da ecossfera, bem como as suas relações, que garantem a homeostase do planeta. O meio ambiente possui propriedades, características e dinâmicas próprias, que se interrelacionam, ou seja, é um sistema organizado<sup>8</sup>, que garante a manutenção da vida, e muitas destas características não são captadas pelos preços de mercado (Wachernagel, 1997; Lima, 1999).

Além disso, para obter o valor monetário correto do capital natural, e assim avaliar a sustentabilidade, tanto fraca quanto a forte, é necessário conhecer todos os componentes e funções dos recursos naturais e agregá-los na forma de estoque de capital. Mas como é possível conhecer o valor monetário correto, se não é possível conhecer todo o estoque de recursos e serviços, e muito menos como valorá-los monetariamente? Observa-se que a definição de capital natural como instrumento para definir sustentabilidade é tautológica, impossibilitando resolver o impasse (Stern, 1997).

Outro ponto relevante quanto ao uso do termo capital natural é que ele mantém a mesma lógica do crescimento, ou da função de produção, da economia neoclássica que resultou nos problemas ambientais. Dentro da economia neoclássica, a sustentabilidade pode ser alcançada, entretanto é necessária uma mudança na estrutura institucional, entretanto o conceito de capital natural não aponta neste sentido (Stern, 1997).

Como pode ser observado, existem diversos autores que discutem o conceito de capital natural, incorrendo em um questionamento da própria definição econômica de sustentabilidade, para as duas correntes fraca e forte.

---

<sup>8</sup> Um sistema organizado, como os sistemas vivos, possui a propriedade de auto reproduzir e auto regulação (Maturama & Varela, 1988 apud Wackernagel, 1997)

## II.3 VALORAÇÃO MONETÁRIA AMBIENTAL

Como mencionado, a importância em valorar o meio ambiente vem da necessidade de incorporar ou aprofundar a discussão sobre como os recursos naturais contribuem para o funcionamento da economia. Para a economia ambiental, o valor é dado a partir do pressuposto que: não há valor independente da valoração humana (Neumayer, 1999). Porém, é importante ressaltar que mesmo o conceito econômico de **Valor Econômico Total** não pode ser interpretado como o Valor Total do ambiente, uma vez que o primeiro não incorpora todos os valores intrínsecos da natureza (Turner, 2000).

Para descrever melhor o valor econômico total dos recursos e serviços ambientais, faremos uma breve menção aos princípios microeconômicos, que dão suporte a estimativa de valoração, bem como é estruturado este valor.

### II.3.1 Princípios Microeconômicos da Economia Ambiental

O valor de um dado produto é baseado no seu valor de troca, de acordo com o fluxo esperado de serviços atuais e futuros, líquido de custos, provenientes deste bem. No caso dos bens privados comuns, esse fluxo de serviços líquidos é inteiramente capturado (“internalizado”) pelo proprietário do bem. Com relação aos bens públicos, sua utilização, decorrente da produção de um bem ou serviço, gera efeitos para terceiros descrito como “externalidades”.

De forma genérica, a teoria microeconômica neoclássica foi construída pensando nos valores monetários como representação da expressão social das escalas de preferências (“utilidades”) dos agentes econômicos. Em resumo, o sistema de preços relativos, em um mercado plenamente livre e competitivo, deve refletir a hierarquia de preferências desta sociedade.

Existem vários serviços associados aos recursos naturais que não são expressos em termos de preços de mercado, apesar de terem importância econômica (valor) para os agentes sociais. Esse é o problema típico dos recursos naturais, pois envolvem grande número de externalidades, e as formas convencionais de análise não são capazes de lidar adequadamente com sua exaustão/degradação.

Existem duas abordagens na Economia Ambiental para tratar das externalidades ligadas à questão ambiental. A degradação ambiental decorrente do processo produtivo, que gera poluição, é tratada como um capítulo específico, denominado de economia da poluição. No contexto onde há a

apropriação de um bem público por um agente privado, sem a internalização destes custos na formação do preço do produto, torna-se necessária a aplicação de mecanismos de controle ou taxação para ser atingido o nível social ótimo de degradação.

A outra abordagem, dentro da Economia Ambiental, refere-se a economia dos recursos naturais, que trata das questões relativas à sua exaustão, procurando estabelecer relações ótimas de taxa de exploração, de longo prazo, definindo conceitos de taxa de desconto e custo de oportunidade intertemporal (Amazonas, 1994).

Esta visão na abordagem da questão ambiental, por parte da economia do meio ambiente, é um fator crítico, pois a economia da poluição trata da degradação ambiental e mecanismos de controle de maneira estática, enquanto a economia de recursos naturais possui sua base no componente temporal e, conseqüentemente, dando um caráter dinâmico à questão. São enfoques distintos sobre o mesmo tópico, uma vez que os recursos naturais são integrados ao processo de produção econômica ou por meio do fornecimento de insumos ou receptáculo dos resíduos.

A teoria neoclássica entende o problema de poluição como um problema gerado pela ausência de propriedade do bem público. Todo o processo produtivo gera externalidades negativas como, por exemplo, a emissão de efluentes líquidos (poluição), não sendo internalizados nos custos do produto final. Esta falta de incorporação dos custos ambientais ocorre em função de não haver propriedade para, no caso, o rio que recebe os efluentes. De acordo com Coase, se houvesse direito de propriedade para o rio, a mais eficiente solução no tocante ao poluidor e ao receptor se daria através da negociação (Pearce, 1990).

Por outro lado, a base teórica da economia dos recursos naturais está centrada na regra de Hotelling, onde o preço de um recurso em qualquer período é igual ao preço no período inicial acrescido da taxa de desconto. Observa-se que a escassez de um recurso gera aumento de preços, sendo que o valor do recurso, tendo como base a taxa de desconto, define a quantidade ótima a ser extraída em cada período de tempo (Pearce, 1990).

Para os neoclássicos, a quantidade ótima de extração está direcionada a encontrar o nível ótimo de esgotamento (dos recursos não-renováveis) e da colheita para os recursos renováveis. Esta taxa ótima está associada ao custo de oportunidade, o qual é definido a partir da visão intertemporal, empregando o conceito de taxa de desconto. A taxa de desconto representa a preferência no tempo dos consumidores, isto é, um recurso possui maior valor se utilizado no presente do que no futuro,

em função das incertezas associadas. A taxa de desconto poderia ser a mesma aplicada para análise de investimento, definindo a taxa de extração ótima para o recurso (Amazonas, 1994).

Partindo de pressupostos simplificados, e de ausência de imperfeições de mercado, os recursos serão extraídos de forma ótima ao longo do tempo, sendo que os aumentos de preços, em função da taxa de juros, representarão o valor do recurso ambiental (Amazonas, 1994).

### II.3.2 Valoração Ambiental

A valoração econômica ambiental procura definir o valor do recurso e serviço ambiental, ou natural, com base na equivalência entre a disposição de abrir mão deste recurso, em termos de ganho econômico, ou no quanto as pessoas estão dispostas a investir na sua manutenção. Em outras palavras, a valoração ambiental procura refletir o quanto as pessoas estão dispostas a pagar para manter o seu bem-estar, ou receber para abrir mão dele. No fim das contas, refere-se a uma escolha entre opções das preferências individuais.

A valoração ambiental procura estimar os custos sociais do aproveitamento dos recursos e serviços ambientais que são escassos, visando a integração ao processo econômico, uma vez que estes bens não possuem valor de mercado.

As medidas de valoração ambiental normalmente empregada, sob o ponto de vista da economia neoclássica, são baseadas principalmente no conceito de “*disponibilidade a pagar*”. O valor ambiental de um bem intangível pelo mercado é definido a partir do receptor humano, de acordo com os critérios de necessidade e expectativa dos benefícios. O valor econômico de um recurso ambiental está relacionado com os outros bens e serviços disponíveis na economia (Serôa da Motta, 1998).

A aplicabilidade do conceito de “*disponibilidade a pagar*” na valoração ambiental está fundamentada em três pressupostos (Costanza *et alli*, 1997):

- Na ponderação advinda da preferência individual, tendo como referência a distribuição atual de riqueza e bens;
- Na informação sobre o valor real do recurso, ou seja, ter disponível a descrição de suas propriedades;
- Na infinidade de recursos, e que caso um se esgote, um substituto satisfatório pode ser encontrado, para cumprir a mesma função.

Como a base da valoração ambiental está relacionada às preferências individuais, a possibilidade de existir vieses na avaliação sempre existe, pois: a) a distribuição de riqueza e de bens não é equitativa, dentro de um país ou entre países; b) a informação sobre o recurso natural nunca é completa; c) não existe uma infinidade de recursos disponíveis.

Como ressaltado por Smith (1997), o Valor Econômico Total dos recursos e serviços naturais representa o custo marginal do capital natural e, teoricamente, pode ser dividido em valor de uso (direto e indireto) e de não-uso (existência, legado, opção). Os valores de não-uso representam, de forma mais próxima, as funções do ecossistema, embora haja controvérsia sobre a abrangência deste valor para as funções ambientais de suporte à vida (Atkinson, 1997).

Neste sentido, visando corrigir alguns vieses da análise de valoração da economia ambiental, e procurar mostrar um caráter mais integrado entre os valores econômicos, culturais e ecológicos, no sentido de abranger não somente o valor de uso, mas outros valores associados aos recursos naturais, os economistas ambientais cunharam esta expressão para o valor do recurso ambiental (Pearce & Turner, 1990):

$$\text{Valor Econômico Total} = \text{Valor de Uso} + \text{Valor de Opção} + \text{Valor de Existência}$$

O valor de uso (VU) representa o valor atribuído pelas pessoas pelo uso ou usufruto, propriamente dito, dos recursos ambientais. O VU é composto pelo valor de uso direto (VUD), onde está computado o benefício “internalizado” do indivíduo, através de alguma forma de atividade produtiva ou consumo direto do recurso, e pelo valor de uso indireto (VUI), onde o benefício do recurso é derivado de funções ecossistêmicas como, por exemplo, a proteção dos corpos d’água decorrente da preservação das florestas.

Porém, aquelas pessoas que não usufruem atualmente de serviços prestados pelo meio ambiente podem também atribuir um valor a este. Trata-se de um valor relacionado a usos futuros que podem gerar alguma forma de benefício ou satisfação aos indivíduos. Este valor é referido como valor de opção (VO), ou seja, opção para uso futuro - direto ou indireto - ao invés do uso presente conforme compreendido no valor de uso.

A terceira parcela, o valor de existência (VE), caracteriza-se como um valor de não-uso. Esta parcela é a mais difícil de conceituar, pois representa um valor atribuído à existência do meio ambiente independentemente do seu uso atual ou futuro. Trata-se do valor conferido pelas pessoas a certos

recursos ambientais, como florestas e animais em extinção, mesmo que não tencionem usá-los ou apreciá-los.

**Tabela II.1 Taxonomia para a Valoração dos Recursos Ambientais**

<b>VALOR ECONÔMICO TOTAL DOS RECURSOS NATURAIS</b>			
<b>VALOR DE USO</b>		<b>VALOR DE NÃO-USO</b>	
<b>Valor de Uso Direto</b>	<b>Valor de Uso Indireto</b>	<b>Valor de Opção</b>	<b>Valor de Existência</b>
Recursos diretamente consumíveis	Benefícios das funções ecossistêmicas	Valores diretos e indiretos futuros	Valor do conhecimento da continuidade da existência

Fonte: Pearce & Turner (1990)

A ampliação do valor econômico do recurso natural com a incorporação do conceito de valor de existência, que representa em última instância o valor intrínseco<sup>9</sup> do recurso, retira o caráter simplesmente utilitarista do valor (Marques, 1996). Neste sentido, o Valor Econômico Total do recurso natural representa a incorporação dos aspectos sociais e naturais, este último através do valor de existência (Amazonas, 2001). Segundo Pearce (1990), o valor intrínseco do recurso natural, aquele referente ao valor do recurso natural independente do julgamento humano, é dado pelo valor energia. Esta discussão será tratada no final deste capítulo.

### II.3.3 Métodos de Valoração Ambiental

Existem diversas formas de avaliação direta ou indireta da disponibilidade a pagar ou receber pelos recursos e serviços ambientais, como a valoração contingencial (valor associado), custo de deslocamento, avaliação hedonista, valoração hipotética, função produtividade, entre outros, empregados na valoração dos custos marginais dos recursos que não estão inseridos na economia de mercado (Bateman, 1993).

Esta descrição é apenas para ilustrar os tipos de métodos de valoração ambiental e relacioná-los com os valores adotados para os danos ambientais nos estudos de caso.

De acordo com o Ortiz (2001), os métodos de valoração ambiental podem ser classificados como:

**Métodos Indiretos** – são aqueles que obtêm os valores referentes aos atributos de recursos naturais pela observação destes em mercados relacionados;

---

<sup>9</sup> O valor intrínseco é usualmente definido como o valor que depende somente da natureza intrínseca do objeto em questão (Attfield, 1998).

**Métodos Diretos** – são os métodos que, através de questionários junto à sociedade, obtém o relato direto dos valores econômicos requeridos;

### ***II.3.3.1 Métodos Indiretos***

O valor de uso (VU) pode ser mensurado através de mercados de bens e serviços privados substitutos ou complementares ao recurso natural avaliado. Estes métodos levam em conta que existem bens e serviços privados que são substitutos e complementos perfeitos ao recurso natural, e que possuem preço de mercado (Serôa da Motta, 1998).

Substitutos perfeitos são aqueles em que o decréscimo de consumo de uma unidade do bem ambiental (ou serviço ambiental) pode ser compensado pelo uso de uma unidade do bem privado (ou serviço privado), mantendo constante a oferta do produto ou serviço final gerado. O bem substituto tem seu preço observável no mercado. Em contrapartida, complementos perfeitos podem ser entendidos como dois bens (ou serviços) consumidos em proporções constantes entre si. Dessa maneira, uma análise que recorra aos mercados do bem complementar privado de um pode gerar informações sobre a demanda do bem ambiental relacionado a este, e conseqüentemente seu valor monetário. Estes métodos têm como limitação na avaliação de valores de não-uso, opção e de existência.

#### Método da Produtividade Marginal

Fundamenta-se na suposição que o recurso natural afeta a função de produção de um determinado bem ou serviço. O valor do recurso natural para a produção pode ser medido, assim, pela sua contribuição à produtividade do bem ou serviço analisado, medindo-se como variações na oferta do atributo natural resultam em variações na produção.

#### Custos de Reposição/Restauração (Custos de Danos)

O valor do recurso ambiental é estimado através dos gastos efetivamente incorridos para mitigar os danos causados pela degradação ambiental, ou seja, considera-se que a perda do atributo ambiental vale, pelo menos, os gastos incorridos na sua recuperação.

O problema mais importante dos gastos de recuperação como método de valoração é não se tratar de uma estimativa da importância do recurso natural *per se*, mas apenas dos gastos efetuados na sua recuperação. Além de ignorar valores de opção e existência, caso os danos causados ao ambiente

sejam irrecuperáveis, ao menos em curto prazo, pode haver grande subestimativa do valor total do recurso natural atingido.

#### Método de Gastos Defensivos

Simetricamente, o benefício social de gastos na preservação do atributo ambiental, impedindo que o dano ambiental ocorra, pode ser medido pelos gastos defensivos que deixarão de suceder - essa abordagem é denominada de custos evitados (Seroa da Motta, 1998).

O método dos gastos defensivos é similar aos custos de recuperação dos danos, isto é, o atributo ambiental vale ao menos o custo necessário para sua defesa. A diferença é que nesse caso os gastos não foram efetuados, tratando-se, portanto, de valores potenciais, enquanto os gastos com recuperação são efetivos. Como no caso de gastos de recuperação, o custo de evitar o dano não representa o valor total do recurso.

#### Função Dose-Resposta

É possível, em alguns casos, associar aos impactos ambientais uma determinada variação na qualidade ambiental, que gerará alteração em algumas funções de produção ou consumo. A função dose-resposta procura estabelecer o valor monetário da relação entre a ação causadora e o atributo ambiental, através dos efeitos finais sobre o homem, avaliando a perda social por um dano marginal associado a mudanças na qualidade de um recurso natural. É um método aplicado para estimar apenas valores de uso.

#### Método de Preços Hedônicos

Este método procura identificar um bem privado cujas características sejam complementares a bens ou serviços ambientais analisados. A partir do momento em que essa complementaridade é identificada, é possível mensurar o preço implícito do atributo escolhido no preço de mercado deste bem privado. Este método é bastante utilizado na análise de diferenciais no valor de propriedades como de salários em função de atributos ambientais.

A origem histórica desse método está ligada à necessidade de estimar indenizações a moradores nas proximidades de aeroportos, cuja expansão de atividades leva a um aumento de ruído e, conseqüentemente, depreciação comercial dos imóveis vizinhos, e neste sentido capta valores de uso do recurso, e eventualmente, de opção.

### Método do Custo de Viagem

Como o próprio nome diz, é um método que procura avaliar, através de uma curva de demanda para atividades de lazer complementares, o valor de um recurso natural. Este método surgiu para avaliar quanto as pessoas estavam dispostas a pagar para ir desfrutar de belezas naturais como as encontradas em parques. Este método procura levantar os gastos efetuados pelas pessoas para se deslocarem até o local onde o atributo ambiental está localizado. Uma curva de demanda é estimada verificando a disposição a pagar observada nos usuários para usufruir daquele recurso natural (gastos totais envolvidos na visita) em função do número de visitas resultantes. As informações sobre esses gastos são obtidas junto aos indivíduos que visitam o local estudado. O valor de uso do atributo natural é calculado pela integral da curva de demanda, considerada equivalente a um excedente do consumidor.

### ***II.3.3.2 Métodos Diretos***

Os métodos diretos procuram obter o valor dos benefícios sociais, gerado pelos atributos de um recurso natural, por meio da estimação da disposição a pagar e/ou da disposição a aceitar, a partir de um universo de indivíduos, pela manutenção, conservação, restauração ou mudança no(s) atributo(s) do recurso natural avaliado. O método procura construir um mercado real para um atributo ou serviço gerado a partir de um recurso natural, por meio de questionários específicos, ou seja, os indivíduos são questionados diretamente sobre o valor que atribuem ao recurso natural. Os valores de disposição a pagar ou de disposição a aceitar são utilizados para delineamento das curvas de oferta e demanda para o atributo em questão, e alcançar uma medida de benefício social.

### Método de Valoração Contingente (MVC)

O MVC é uma técnica baseada em questionários e pode ser empregada para revelar todos os tipos de valores, tanto de não-uso (VNU), como de uso (VU). Normalmente, faz-se uma pesquisa de opinião com um número determinado de pessoas, dependendo da finalidade e da disponibilidade, questionando-os sobre um cenário ambiental hipotético. As pessoas devem se manifestar quanto a sua disposição a pagar (ou disposição a aceitar uma compensação monetária) em unidades monetárias por algum atributo ambiental.

O método de valoração contingente poder ser aplicado para estimar o valor econômico total, ou mesmo parte dos atributos do recurso natural. Entretanto, a condição de valorar o recurso natural parte da premissa básica de que o entrevistado conhece perfeitamente os atributos do recurso (ou foi informado a respeito), bem como as suas preferências, revelando-os no questionário. Existem diversas críticas e vieses passíveis de influenciar o resultado final do valor do recurso natural.

#### II.3.4 Crítica à Valoração na Economia Ambiental

Conforme mencionado, a Economia Ambiental pauta-se pelo cabedal teórico neoclássico, fundamentado em princípios de Equilíbrio, Racionalidade e Utilidade, que por si só já possuem uma série de restrições. O pressuposto de equilíbrio do mercado, referência para o estabelecimento do nível ótimo de poluição, é contra-argumentado pela visão evolucionista e neoshumpteriana, onde a noção de desequilíbrio e de transformação dinâmica e permanente da economia são delineados pela inovação tecnológica (Amazonas, 1994).

A Economia Ambiental firma-se em pressupostos ainda mais questionáveis como o de “*mercados perfeitos para os bens derivados e de maximização de utilidade e lucros*” como base para a função de utilidade dos agentes econômicos. A inexistência de mercados perfeitos condiciona muitíssimo a bagagem teórica desta abordagem, além disso, a maximização de utilidade e lucros é uma verificação *ex-post*, impossibilitando a priori sua delimitação.

Com relação à avaliação dos recursos naturais, outros elementos que não estão inseridos na avaliação temporal da regra de Hotteling como Incerteza, Riscos, Irreversibilidade, são fatores essenciais para a determinação de valor. A simples taxa de desconto não abrange tantas variáveis que possa ser considerada como a melhor forma de avaliar o preço de um recurso no tempo. Além disso, o recurso natural é avaliado sob o ponto de vista privado, não levando em conta o valor social e intertemporal deste recurso.

Acrescentando, a extrapolação das preferências individuais compõe o valor social de um recurso natural, tanto no sentido de sua aplicabilidade como insumo, quanto da apropriação/extração por um ente privado de um bem comum.

É importante salientar, que o valor dado pelas preferências individuais possui uma série de distorções, principalmente, com relação ao nível de informação e renda do grupo elencado, além de diversas outras questões relacionadas às formas de abordagem de uma pesquisa. Esta crítica alicerça-se no pressuposto neoclássico de que a determinação do valor monetário - ou melhor, o preço do recurso - depende da negociação entre os agentes econômicos no lócus do mercado, supondo que haja informação perfeita sobre a escassez do recurso, bem como a sua função.

Um dos pontos relevantes, com relação à questão de valoração monetária ambiental, diz respeito ao desconhecimento de toda a função ecológica do recurso natural a ser valorado. Muitas vezes para se ter conhecimento destas funções são necessárias pesquisas específicas, o que normalmente não acontece.

De acordo com Amazonas (1994), a abordagem neoclássica da valoração ambiental está limitada pela falta de compreensão da exterioridade - indevidamente apropriada pelas preferências individuais - e pela definição de taxa de retorno que não incorpora alguns elementos importantes para a definição de desenvolvimento sustentável.

A formação do valor monetário do recurso natural, segundo Amazonas (2001), possui uma relação direta e dependente da abordagem adotada. Por um lado, na visão neoclássica, este é definido *ex-ante* pelas preferências individuais, que conduzem à sua internalização na análise custo-benefício, visando, em última instância, escalas sustentáveis de uso do recurso. Por outro, temos, na visão institucional ecológica, a determinação de valores com base nas características ecológicas e/ou de fluxo de energia do recurso, que define a sua escala, para constituírem um valor monetário *ex-post*, dado pela atividade econômica decorrente do emprego deste recurso. Portanto, teoricamente, o valor de um bem natural possui, em última instância, dois pontos de ancoragem: socialmente julgado e o fisicamente determinado.

## II.4 VALORAÇÃO EMERGÉTICA

### II.4.1 Introdução

Apesar da grande influência nos meios acadêmicos na segunda metade do século XIX, a linha energética de pesquisa - ligada ao estudo do meio - retomou sua importância apenas na década de sessenta e, principalmente, após 1973 com a influência da crise energética mundial, advinda do aumento no preço do petróleo, restringindo a disponibilidade deste recurso fundamental para a sociedade atual.

Segundo Martinez-Alier (1994), as descobertas da ciência do final do século XIX, tais como as leis da termodinâmica - que proporcionaram o entendimento do funcionamento da máquina a vapor - e a teoria evolucionista, proposta por Charles Darwin, contribuíram de forma definitiva para o desenvolvimento de linhas de pesquisa, tanto na física como na biologia, alicerçadas na questão energética, preocupadas tanto com a sua disponibilidade quanto com sua aplicação.

Diversos cientistas têm procurado analisar o sistema econômico com base em pressupostos físicos e biológicos. Um dos expoentes desta análise foi o economista romeno Nicolas Georgescu-Roegen e seu livro seminal *“The Entropy Law and the Economic Process”* (1971). De acordo com Amazonas (2001), a esta abordagem deu-se a denominação de bioeconomia, que posteriormente desembocou na Economia Ecológica.

A economia ecológica é uma vertente que procura analisar o funcionamento do sistema econômico firmada em pressupostos físicos e biológicos. Segundo a definição, *“economia ecológica é uma abordagem transdisciplinar que contempla toda a gama de inter-relacionamento entre os sistemas econômico e ecológico”* (Contanza, 1991). A economia ecológica procura integrar estes dois sistemas na investigação de um conceito novo, abarcando estas duas disciplinas. Segundo este mesmo autor (Costanza, 1994), esta nova visão incorpora as noções de espaço, tempo e das partes do sistema a serem estudadas, permitindo uma abrangência maior.

As relações entre o processo econômico e as leis da física, sob o ponto de vista desta última, reduzem-se à noção entre a entrada de recursos naturais que são transformados, via uso de energia, em produtos, gerando rejeitos e calor. Pode-se entender que o processo econômico tem um sentido único: da transformação de recursos naturais de baixa entropia em produtos e resíduos de alta entropia. Segundo Amazonas (2001:92), *“a entropia é um conceito integrador da análise da interação entre a dinâmica ambiental e a econômica”*.

De acordo com Daly (1991 *apud* Ayres, 1998), a entropia pode ser entendida de três formas distintas na sua relação temporal: (a) em um período extremamente longo, há o entendimento que a entropia representa o equilíbrio dentro de um nível mínimo de organização, ou melhor, no caos, ou mesmo, fim do calor (heat death); (b) em um período intermediário, representa o sentido, ou a flecha, do tempo; (c) no período de uma geração, a energia solar de baixa entropia é constante, porém os recursos naturais de baixa entropia, empregados no processo econômico industrial, sofrem depleção.

A valoração eMergética parte de princípios físicos e biológicos para o estabelecimento de uma moeda comum, capaz de ser aplicada na avaliação tanto de sistemas naturais como de sistemas construídos. Esta metodologia de valoração ambiental alicerça-se na Ecologia de Sistemas, que pode ser considerada uma linha de pesquisa vinculada à economia ecológica. Através de uma conceituação própria, procura valorar os recursos naturais na forma de eMergia, buscando uma forma de integração entre a ecologia e a economia. É uma alternativa à valoração baseada em princípios da economia neoclássica. Essa abordagem possibilita o ordenamento das informações e fluxos de um sistema, através da linguagem energética e materiais, de modo a vislumbrar os elementos e suas interações e, principalmente, quantificá-los (em unidades eMergéticas).

#### II.4.2 Primeira e Segunda Leis da Termodinâmica

Visando a elucidação dos temas que serão abordados a seguir, os quais fundamentam-se na análise energética, lançou-se mão de algumas definições necessárias à sua compreensão. A **energia** pode ser definida como a capacidade de realizar um trabalho, comum a todos os sistemas, sendo seu comportamento descrito segundo as Leis da Termodinâmica. É avaliada segundo parâmetros de medição indireta, ou seja, não há uma conceituação desta capacidade que não esteja relacionada com a mudança de estado de um dado material. Numa concepção mais abrangente, pode-se dizer que *“Energy is a quantity common to all processes; it flows, is stored, and is transformed in form”* (Odum, 1994, p.95). A energia é uma característica de toda a matéria, podendo ser usada como parâmetro de quantificação. Há diversas formas de energia, porém todas podem ser transformadas em calor, que é medido a partir da variação da atividade molecular de um corpo. Esta transformação ocorre com 100% de eficiência, isto é, não há perda neste processo, proporcionando uma forma adequada de medir energia (Odum, 1994).

Foi observado em diversos processos de transformação - principalmente nas máquinas a vapor - que a energia não era criada nem destruída, de acordo com seu equivalente calórico, ou seja, permanecia constante ao longo desse processo, dentro de um sistema isolado. A partir desta constatação, surgiu a **Primeira Lei da Termodinâmica**, denominada Lei da Conservação de Energia. Esta lei postula que a energia possui a propriedade de se transformar, porém não pode ser criada ou destruída. Esta propriedade é aplicável dentro de um sistema fechado, onde não haja perda ou ganho de energia externa. Esta lei não foi alterada em sua essência pela teoria da relatividade, pois a matéria pode ser transformada em energia, segundo uma constante, mantendo o princípio da conservação (Branco, 1989).

Segundo Branco (1989), a descoberta da **Segunda Lei da Termodinâmica**, em 1850, comumente denominada **Lei da Entropia**<sup>10</sup>, iniciou uma série de debates na comunidade científica da época. Esta lei pode ser enunciada como: nenhum processo onde haja transformação de energia ocorrerá espontaneamente, a menos que haja uma degradação de energia de uma forma concentrada para uma forma dispersa. Esta lei também é denominada lei da degradação da energia e demonstra que, nas transformações térmicas, a energia vai sofrendo um processo de degradação qualitativa, irreversível e passível de medição, tornando impossível sua reutilização para trabalho mecânico (Branco, 1989; Odum, E.P., 1988 e Odum, H.T., 1994).

### II.4.3 Breve História do Conceito eMergético

Foi em 1896, na Academia Imperial de Ciências de Viena, que Ludwig Boltzman (1844 - 1906) pronunciou que a “luta pela vida” travava-se no campo da luta pela disponibilidade energética, isto é, que o sucesso de todas as espécies, assim como a humana, poderia ser analisado em termos de aprendizado do uso das fontes energéticas. Este autor influenciou diretamente Lotka que por sua vez foi a base teórica da Ecologia de Sistemas, proposta por H.Odum. O conceito, introduzido por Boltzman, é o primeiro que procura relacionar as leis termodinâmicas com a evolução das espécies (*apud* Martinez-Alier, 1994)<sup>11</sup>.

---

<sup>10</sup>Entropia (do grego en, em; trope, transformação, troca, mudança) é uma medida da energia não disponível, ou energia interna, podendo também significar desordem associada com a degradação de energia (Odum, 1988). Este termo foi primeiramente citado por Clausius. E foi Sadi Carnot (1796-1832), através de seus estudos sobre a máquina a vapor, que possibilitou a formulação da segunda Lei da Entropia.

<sup>11</sup>Nesta mesma época, fim do século XIX, a idéia de que os organismos na natureza estavam interligados entre si, formando uma rede, estava presente nos meios acadêmicos, podendo ser identificada no clássico ensaio de Stephen

No fim do século XIX e início do XX, Wilhelm Ostwald (1853 - 1932) postulou que todas as transformações energéticas possíveis estavam associadas à transformação máxima em um dado período de tempo (Odum, 1994). Este autor também deu inspiração a Lotka, que estabeleceu os princípios que motivaram H.T.Odum e R.C. Pinkerton (1955) a propor seus postulados. Em 1909, Ostwald (*op.cit.*) descreveu que a história da humanidade estava vinculada ao crescimento na **disponibilidade de energia**, conforme o princípio enunciado acima. Entretanto, este pesquisador não desenvolveu nenhuma experiência empírica sobre como as sociedades se adaptaram ao fluxo de energia disponível, e de como teria sido o processo de transformação tendo em vista a ampliação deste fluxo e, conseqüentemente, o progresso.

O princípio clássico que correlaciona energia e a teoria da evolução - proposta por Charles Darwin, com base na seleção natural - foi elaborado por Alfred Lotka (1880 - 1949). Em 1925, Lotka postulou a existência da relação direta entre as leis da termodinâmica e a evolução das espécies. Segundo este pesquisador, todo o excedente de energia disponível que fosse utilizado de forma adequada por qualquer espécie, na sua reprodução, representaria vantagens adaptativas que possibilitariam a ampliação de sua população. Entende-se aqui por excedente de energia disponível, aquela presente no sistema que não está sendo empregada por nenhum dos componentes do mesmo, ou seja, a energia que possui potencial de utilização, mas que não foi devidamente apropriada por qualquer população. Esta formulação entendeu como teoria da evolução o sucesso reprodutivo das espécies, que é baseada na lei de energia máxima ou fluxo máximo de energia em sistemas biológicos (*apud* Martinez-Alier, 1994; Odum, 1988a).

A teoria de H.T. Odum e Pinkerton, de 1955, postulava que a baixa eficiência da natureza em transferir energia é uma conseqüência da tendência para a maximização da potência de saída do sistema, ao invés da eficiência máxima da utilização da energia em si. Segundo estes autores (*op.cit.*), o Princípio da Máxima Potência é distinto da máxima eficiência do sistema, que é um conceito econômico. Esse princípio fundamenta-se na observação dos sistemas naturais, onde aqueles que persistem são organizados de maneira a garantir o retorno da energia para si, aplicando essa energia na retroalimentação e, conseqüentemente, trazer mais energia, reforçando o processo (*apud* Odum, 1968; Odum, 1994).

---

Forbes, de 1887, denominado de “*The Lake as a Microcosm*”. Esta idéia foi importante para o desenvolvimento do conceito de cadeia alimentar, que possui uma íntima relação com o fluxo de energia (Odum, 1968).

A lei de energia máxima, ou fluxo máximo de energia em sistemas biológicos, estabelecida por Lotka (*op.cit.*), foi extremamente útil nas formulações gerais de auto-organização dos sistemas (Odum, 1994). Este princípio forneceu elementos para o desenvolvimento de outros postulados, que ampliaram este conceito inicial, como aquele proposto por Margalef, em 1963, da maximização de biomassa, ou mesmo, da taxa reprodutiva proposta por Wilson em 1968; do fluxo mínimo de energia direcionado pela menor taxa de geração de entropia de Ilya Prigogine, em 1946 e 1947; ou de outros princípios associados como máxima entropia estrutural, máximo retorno, eficiência máxima e estabilidade máxima. (apud Odum, 1994).

H.T. Odum e E.P. Odum demonstraram que as regras gerais mais importantes dos ecossistemas poderiam ser deduzidas através das medidas do metabolismo de uma comunidade, sem a necessidade de informações detalhadas sobre todos os componentes de sua população. Estes pesquisadores também foram os responsáveis pela introdução do diagrama de fluxo de energia, derivado da física e engenharia, o qual aprimorou-se ao longo dos anos (Odum, 1968).

Como descrito anteriormente, H.T. Odum e Pinkerton, em 1955, foram uns dos primeiros a descrever que a sucessão ecológica envolvia mudanças fundamentais nos padrões de fluxo de energia. Segundo estes pesquisadores, quando um ecossistema tende para uma situação Clímax<sup>12</sup> (maturidade), a razão entre produtividade e respiração aproxima-se de um (1), e a relação entre biomassa e produtividade, que pode ser associada com a respiração, cresce. Este fato demonstra, segundo estes autores, que o ecossistema otimiza sua estrutura, tanto mais quanto o fluxo de energia disponível, em contrapartida à idéia de o ecossistema maximizar a eficiência na produção (Odum, 1968). Estes conceitos serviram de subsídio para a generalização posterior nas análises dos ecossistemas, uma vez que mostravam haver um evidente padrão de comportamento dos mesmos, alicerçado principalmente no fluxo de energia.

#### II.4.4 Ecologia de Sistemas

A metodologia denominada Ecologia de Sistemas pode ser considerada uma linha de pesquisa vinculada à economia ecológica que, através de uma conceituação própria, procura valorar os recursos naturais, buscando uma forma de integração entre a ecologia e a economia. É uma alternativa à valoração baseada em princípios da economia neoclássica.

Segundo Rohde (1995), a ecologia de sistemas, ou ecologia energética está fundamentada em conceitos cibernéticos<sup>13</sup> e sistêmicos, que tem como base a “*quantidade de energia multiplicada por uma transformidade*<sup>14</sup> *que se relaciona com a quantidade de energia em questão*”. Esta metodologia sistêmica, inicialmente era empregada em estudos de ecossistemas naturais e, posteriormente, passaram a incorporar as atividades humanas e suas conseqüências sobre o meio. Segundo este mesmo autor, esta abordagem “*oferece subsídios revolucionários no sentido de uma correta avaliação dos valores atribuídos a processos e recursos naturais*” (*op. cit.*:45).

A Ecologia de Sistemas surgiu da aplicação da Teoria de Sistemas na Ecologia. Esta linha de pesquisa estuda os ecossistemas de forma global e integrada, definindo, através de símbolos, os componentes e fluxos mais relevantes para analisar o comportamento do sistema como um todo (H.T. Odum, 1994).

Segundo E. Odum (1968), a energia é o fator limitante mais relevante para um ecossistema. O conceito de fluxo de energia proporciona não somente uma avaliação relativa de cada componente dentro do sistema, mas também meios para comparar diversos ecossistemas.

Os fluxos de materiais e de energia são quantificados e avaliados através de conceitos como eMergia<sup>15</sup> e Transformidade que objetivam mensurar, respectivamente, a energia necessária para gerar um fluxo ou armazenamento energético e para a produção de outro tipo de energia. Ainda, pode-se aplicar indicadores específicos para avaliar a relação entre a energia que entra e sai de um sistema definido, permitindo observar o grau de pressão que uma determinada atividade pode exercer sobre o meio ambiente, ou mesmo avaliar o custo-benefício em termos eMergéticos. De forma simplificada, esta metodologia procura obter a história energética de cada elemento que entra na composição do empreendimento, traduzindo os diversos componentes como materiais e energia em uma mesma linguagem, possibilitando sua comparação e integração.

---

<sup>12</sup> Ponto definido onde a comunidade se encontra estável numa etapa do desenvolvimento (sere), em equilíbrio dentro de si mesma e com o ambiente físico (Odum, 1988a).

<sup>13</sup> Os ecossistemas, além dos fluxos de energia e de materiais, possuem redes de informações, relacionados aos fluxos de comunicação físicos e químicos, que integram todas as partes e governam e regulam o sistema como um todo. Com base nesta observação, os ecossistemas podem ser considerados cibernéticos, possuindo as características necessárias para esta definição: rede de informação, retroalimentação, regulação e estabilidade (Odum, 1988a e Patten & Odum, 1981).

<sup>14</sup> O conceito de transformidade será explicado dentro deste item.

#### II.4.4.1 Valor EMergético

O desenho de um ecossistema típico representa uma rede de fluxo de energia e de processos de transformação, ao longo do qual a energia é degradada e dispersa, gerando menor quantidade de energia de alta qualidade. Este diagrama de processo - relacionado com o nível hierárquico do sistema - mostra que grandes fluxos de energia de baixa qualidade são convertidos e transformados em pequenos volumes de tipos de energia de alta qualidade.

Estas idéias vão ao encontro dos pressupostos de Georgescu-Roegen e Herman Daly, que, dentro do processo econômico, existe uma cadeia hierárquica definida pelo aumento crescente de entropia, através dos resíduos e calor, acrescido da qualidade da energia nos produtos gerados. Pode-se pensar como memória energética, ou energia incorporada ou *embodied energy*, a energia necessária para a produção de um bem de consumo, que segundo H.T.Odum denominou-a de **eMergia**. Esta memória energética, sob o aspecto econômico, corresponde a toda e qualquer forma de energia transformada para gerar um bem ou serviço (ou seja, toda a energia que entra na cadeia produtiva de um determinado produto). Neste sentido, a energia incorporada ou memória energética, ou melhor, **eMergia** corresponde a uma medida de **valor**, mais precisamente a uma medida de **valor-energia** (Amazonas, 2001).

O conceito de eMergia passou por uma evolução, procurando a melhor forma de quantificar e definir a energia dentro dos sistemas. Entre os anos de 1967 e 1971, os tipos de energia de alta qualidade eram expressos em unidades de matéria orgânica (base seca) incluindo madeira, carvão, gás natural e biomassa. No período de 1973 e 1980, as quantidades energéticas de plantas, madeiras e combustíveis fósseis foram diferenciadas. Os cálculos e comparações eram feitos com base em combustíveis fósseis, como o carvão. Entre os anos de 1980 e 1982, estudos reconheceram a contribuição dos fenômenos atmosféricos, como a chuva, o vento e as ondas como expressões da energia solar para a produtividade terrestre. A partir de 1983, há o reconhecimento que a **eMergia Solar** representa uma base adequada para a representação dos processos globais de transformação. Antes de 1983, eMergia era denominada de “energia incorporada” e Transformidade em “razão de transformação energética” ou “fator de qualidade” (Odum,1996).

---

<sup>15</sup> O conceito de eMergia também será explicitado neste item.

Para se fazer uma análise eMergética integrada, era necessário que os diversos tipos de energia fossem colocados em mesma base, e concomitantemente, deveria ser pensado como transformar os diferentes recursos materiais na forma de eMergia. Os conceitos de **eMergia** e o da **Transformidade** permitiram não somente transformar os diversos tipos de energia, tendo como pressuposto a qualidade energética, em uma única expressão, mas também transformar os recursos materiais empregados em termos de energia equivalente necessária para a sua formação. Observa-se que através destes dois conceitos pode-se fazer a correspondência entre os diferentes tipos de energia e matéria (**transformidade**) em um outro tipo de energia, ou **eMergia**.

Segundo Odum (1996, p.7) “*Emergy is the available energy of one kind of previously user up directly and indirectly to make service or product*”, ou seja, é a energia necessária na transformação para gerar um fluxo ou armazenamento. Esta **eMergia** está diretamente associada à fonte primária de energia que é o sol, sendo denominada de **eMergia Solar**.

Existe uma relação de proporcionalidade entre energia e **eMergia**, ou seja, quando o armazenamento energético é constante, o mesmo ocorre com a quantidade de eMergia, e quando há um declínio esta relação direta se mantém, com a devida proporcionalidade (Odum, 1996).

A **Transformidade** é definida como a quantidade de energia de um determinado tipo necessária para gerar a unidade de energia de outro tipo, ou seja, **Transformidade** é a eMergia por unidade de energia. De acordo com Odum (1996, p.10) “*Solar Transformity is the solar Emergy required to make one joule of a service or product*”. Segundo este mesmo autor (*op.cit.*) a Transformidade é maior quanto mais energia de transformação é requerida para gerar o produto.

Estes dois conceitos - Emergia e Transformidade - representam a adequação necessária da qualidade de energia que flui em um sistema, possibilitando a integração dos diversos componentes em uma base comum (Odum, 1988b). É importante destacar que, dentro de um processo de transformação, a energia decresce e eMergia aumenta (Odum, 1996).

Dentro do processo de transformação energética, é necessária uma grande quantidade de energia de baixa qualidade (solar) para gerar energia de alta qualidade, como, por exemplo, combustível fóssil. Portanto, para comparar diferentes formas de energia e matéria, são necessários cálculos de transformação, que convertem estes elementos em uma “moeda comum”. Esta moeda foi definida com base na fonte primária de energia, que é a luz solar, e denominada como Joules de Energia Solar (em inglês, Solar Energy).

Em um sistema, os elementos que propiciam o seu funcionamento, bem como os que são frutos de sua atividade, podem ser denominados de acordo com as suas características primárias (Ulgiatti *et alli*, 1994). Estes elementos são descritos a seguir:

Energia Não-Renovável (N): estoque de energia e matéria como os minerais, solo e combustíveis fósseis, que são consumidos em uma razão que excede o processo de produção geológica;

Energia Renovável (I): fluxo de energia que é praticamente constante e recorrente e que conduz os processos biológicos e químicos da Terra, e contribui para os processos geológicos;

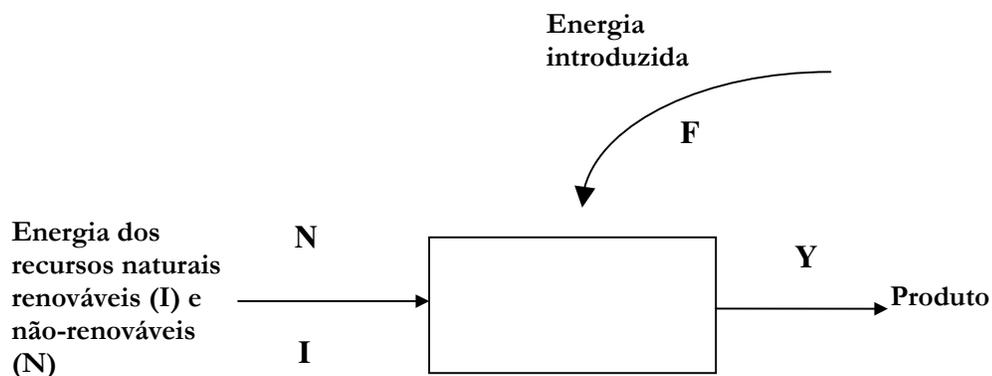
A soma das entradas descritas como Energia Renovável (I) e Energia Não-Renovável (N), representa o total de entrada do ambiente natural;

Retorno energético (F): refere-se à energia proveniente de um nível hierárquico superior e que influencia o fluxo no sistema energético. Normalmente é representado por combustível, bens e serviços provenientes das atividades humanas;

Produto (Y): energia final do sistema, somatória das energias dos recursos naturais e da energia introduzida.

A seguir, a Figura II.1 ilustra os termos descritos acima:

**Figura II.1** Esquema das entradas e saídas de um sistema



#### *II.4.4.2 Críticas à Valoração EMergética*

As críticas sobre a valoração eMergética vêm, principalmente, da assunção que a energia é a base de todo o funcionamento do sistema, sendo também o seu denominador comum, enquanto o papel da matéria é secundário. Para a ecologia de sistemas, a energia entra e sai do sistema, conservativamente, de acordo com as leis da termodinâmica, sendo a matéria mantida em circuito fechado dentro do sistema, ou seja, dá à energia o papel fundamental, como em ecossistemas naturais, onde a matéria é passível de reciclagem indefinidamente. Entretanto, nos sistemas econômicos a matéria exerce um papel fundamental como fonte de recursos e despejos, isto é, ela também representa um fluxo (Amazonas,2001).

Georgescu-Roegen critica o dogma energético da ecologia de sistemas, pois entende que o fator limitante não é a energia, mas sim a impossibilidade da reciclagem contínua de matéria, pois todo o processo de transformação é um processo entrópico, que, no limite, acaba gerando resíduo em um espaço finito, como a terra.

Outro ponto levantado contra o modelo eMergético recai sobre a incerteza das medidas de transformação dos diversos recursos e serviços ambientais na forma de eMergia, pois não se conhece todos os processos envolvidos desde a formação inicial dos materiais, sendo questionável a memória energética de cada elemento. Em outras palavras, a **transformidade** de cada material, teoricamente, deveria apresentar uma grande variabilidade, pois está intrinsecamente ligada à cadeia de eventos para a sua formação. Entretanto, este fato não é observado nas tabelas expressas de transformidade.

A crítica mais relevante vem também do caráter circular dos conceitos de eMergia e transformidade. A eMergia de um determinado produto ou serviço é obtida a partir da transformação, e soma, de todos os elementos presentes na sua formação, ou seja, toda a memória de matéria e energia aplicada na sua formação é transformada em um única “moeda”, definida como Solar emJoule. A transformidade deste produto ou serviço, por sua vez, é obtida através da relação da eMergia Total, que foi empregada no processo, dividida pela energia gerada no processo (Brown, 2004). No extremo, para cada elemento, a transformidade é obtida pela eMergia, que depende da transformidade deste elemento.

A saída para este impasse repousa na aplicação da energia livre de Gibbs<sup>16</sup> para obter a energia utilizada no processo. Parte-se da energia livre de Gibbs para a obtenção da energia primária de cada elemento, podendo ser, então, transformada em eMergia. Entretanto, essa medida (energia livre de Gibbs) é obtida em solução padrão de água, o que pode ser diferente das reações químicas que ocorrem do ambiente (Månsson, 1993).

## II.5 VALORAÇÃO AMBIENTAL: ECONÔMICA E EMERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE

Resumidamente, foram apresentadas questões pertinentes à valoração ambiental econômica, a valoração ambiental eMergética relacionando-as com o conceito de sustentabilidade. De forma geral, a valoração ambiental procura identificar e quantificar os atributos naturais de forma a incorporá-los na dinâmica econômica e ambiental, visando, em última instância, definir parâmetros para a sustentabilidade econômica e ambiental, que reflete na continuidade da vida e suas formas.

Como pôde ser observado, a valoração monetária se faz através de mecanismos de mercado, indiretamente com base em valores humanos não-econômicos - relativos à preservação dos recursos naturais - e na perspectiva futura dos benefícios proporcionados pelo meio ambiente (Amazonas, 2001). Esta internalização, na forma de quantificação e valoração do capital natural, não garante o uso sustentável dos recursos, em função do próprio conceito de capital natural, e da associação deste com a valoração ambiental, tanto na visão da economia ambiental, quanto na visão da economia ecológica em sua vertente econômica. Como observa Veiga (2005), alguns autores ecológicos econômicos empregam as técnicas de valoração ambiental firmando-se em pressupostos econômicos ortodoxos.

A sustentabilidade econômica e ecológica, dentro da visão utilitarista neoclássica, fundamenta-se em pressupostos como a escassez (do lado da oferta), que são os insumos da função de produção, e a utilidade (do lado da demanda), que entra na função de demanda associada às preferências ou utilidades dos indivíduos, no estabelecimento de um resultado ótimo. Este resultado não reflete, pelo lado da escassez de recurso, garantia de respeito aos limites entrópicos e físicos, uma vez que existe a aposta na tecnologia para a melhoria progressiva do seu uso, ou mesmo sua substituição.

---

<sup>16</sup> Representa a diferença entre a energia inicial e final do processo de transformação/formação química, em um sistema fechado (isobárico e isotérmico) (Månsson, 1993).

Por outro lado, as preferências individuais, que estão associadas aos conceitos de bem-estar (conjunto de preferências a serem maximizadas) e de valor econômico (definido a partir da disponibilidade a pagar dos indivíduos) não, necessariamente, possuem aderência às implicações do emprego dos recursos e serviços ambientais (custos sociais) atuais e futuros (Amazonas, 2001).

Em suma, a expressão monetária do valor ambiental para o capital natural, que é a base para a definição econômica de sustentabilidade, tanto fraca como forte, depende da avaliação da sua escassez, como mencionado anteriormente, de difícil quantificação, e das informações inerentes aos atributos ambientais (que muitas vezes não se conhece inteiramente), e, principalmente, à distribuição de renda. Observa-se que a valoração monetária ambiental possui sérias restrições como instrumento de avaliação da importância do uso dos recursos e serviços ambientais.

Por outro lado, a corrente com viés energeticista dentro da Economia Ecológica, como menciona Amazonas (2001), que, partindo do conhecimento do funcionamento dos ecossistemas naturais, extrapolou a noção para a economia, que prima pela função preponderante da energia na organização destes dois sistemas, define o valor dos recursos e serviços ambientais com critérios objetivos, determinados por leis físicas, sem as mazelas subjetivas das preferências individuais.

Esta vertente prega a eficiência e estrutura ecológicas ótimas no sentido de um melhor aproveitamento da energia disponível, que é distinta da eficiência econômica, e tem por denominador comum a energia. Em outras palavras, no caso da Ecologia de Sistemas, o valor energia é transformado em valor eMergia, incorporando a qualidade da energia ao longo do processo hierárquico de transformação para a geração de um produto.

Mesmo tendo princípios e pressupostos diferenciados, conceitos específicos, formas e indicadores de avaliações distintas, trabalhos como de Costanza (1980, 1981 apud Burkett, 2003), evidenciaram uma correlação, estatisticamente robusta, entre o valor total da energia incorporada e o valor monetário (Burkett, 2003; Amazonas, 2001). Esta constatação conduz a um duplo sentido, ou seja, que os preços de mercado para os recursos e serviços ambientais representam o valor das estruturas e processos do ecossistema, da mesma forma, que o valor energia pode servir de base no estabelecimento das características monetárias do ecossistema. Cabe avaliar se esta relação vale também para o valor eMergia e o valor monetário dos danos ambientais de usinas hidrelétricas.

A sustentabilidade, por seu turno, pode e deve ser pensada de forma integrada, onde o valor econômico do atributo ambiental seja contraposto com o valor energia, da vertente da economia ecológica, comparando-os com uma correlação teórica entre energia - ou eMergia - e economia.

## CAPÍTULO III – DESCRIÇÃO DOS ESTUDOS DE CASOS

### III.1 INTRODUÇÃO

A valoração dos principais danos ambientais diretos, decorrentes da construção e operação de uma usina hidrelétrica qualquer, não é incorporada diretamente na avaliação de custo-benefício dos empreendimentos. São incorporados na conta 10 do Orçamento Padrão da ELETROBRÁS, para estudos de viabilidade de um empreendimento hidrelétrico (ELETROBRÁS, 1997), dentre os custos de terreno, realocações e outras despesas sócio-ambientais, os valores relativos (10.15.45) à limpeza do reservatório, criação de unidades de conservação, áreas de proteção permanente, conservação da flora e fauna, qualidade das águas e recuperação de áreas degradadas. Isso significa que não podem ser entendidos como custos diretos de danos ambientais, mas sim custos de compensação ou recuperação. De acordo com os manuais da ELETROBRÁS - que orientam e determinam como devem ser os estudos e avaliações para aproveitamento hidrelétrico, desde os estudos de inventário e viabilidade, bem como os de caráter ambientais - os custos diretos dos danos ambientais seriam incorporados na avaliação de viabilidade do empreendimento. Entretanto, a determinação dos custos dos danos ambientais é definida sobre uma porcentagem do valor total da obra. Não existe nenhuma orientação no sentido de procurar valorar os danos ambientais decorrentes da implantação e operação de uma usina hidrelétrica.

Neste sentido, a própria ELETROBRÁS contratou um estudo visando estabelecer uma orientação no sentido valorar os danos ambientais (Tolmasquim, 2000). Tal preocupação demonstra a lacuna existente na análise de viabilidade de empreendimentos hidrelétricos. Entretanto, as metodologias sugeridas neste trabalho para avaliar os empreendimentos hidrelétricos têm como referencial a economia ambiental, e focaram, principalmente, a avaliação dos danos ambientais decorrentes exclusivamente da formação do reservatório.

Os principais impactos ambientais negativos da construção e operação de uma usina hidrelétrica resumem-se em um aspecto: modificações da dinâmica ecológica, tanto com relação ao ecossistema aquático (no caso, o rio) quanto ao terrestre (área do reservatório e os ecossistemas ciliares), com o aproveitamento da energia potencial da água para o desenvolvimento econômico local e regional. A alteração do regime hídrico do rio, com formação de um reservatório, implica em modificação das espécies animais e vegetais que viviam neste ecossistema, tanto à montante da barragem quanto à jusante. Por outro lado, a ocupação da área do reservatório - que tinha um aproveitamento agrícola

ou era coberta por vegetação natural - representa uma apropriação de terra para um determinado fim, o qual limita os demais usos.

A escolha de estudos de caso representativos de unidades de geração de energia hidrelétrica já implantadas no Brasil, ou em vias de implantação, tanto em termos de potência quanto na disposição geográfica, para a obtenção dos valores dos danos ambientais, sob o ponto de vista de duas metodologias, procura, não somente, ampliar a discussão de como avaliar estes empreendimentos, mas apresentar abordagens distintas sob a questão do valor do dano ambiental.

Para a escolha dos estudos de caso, foi realizada uma análise da distribuição dos empreendimentos hidrelétricos no Brasil, sob o ponto de vista do tipo de aproveitamento, da potência instalada, da distribuição geográfica, do potencial remanescente da região e do estágio de desenvolvimento (funcionamento, em implantação e outorgados). Associado a estes fatores, foram observados os empreendimentos, instalados ou não, que dispunham de informação básica necessária para o presente trabalho.

Neste capítulo, são listados os principais impactos da implantação e operação de uma usina hidrelétrica, com base em literatura específica. Estabelecem-se também os critérios de definição dos empreendimentos que serviram para os estudos de caso, e uma descrição sucinta de cada um, bem como a metodologia mais específica para a valoração dos danos ambientais.

### **III.2 CUSTOS DE PROJETO, OBRA E MANUTENÇÃO DE USINAS HIDRELÉTRICAS**

De acordo com a ELETROBRAS (1997), os custos de implantação e operação de usinas hidrelétricas dependem dos tipos de estruturas previstas, dos volumes necessários à realização das obras, localização do aproveitamento, do suprimento de cimento e ferro, das características climáticas (chuvas), localização das áreas de empréstimos de cascalho, pedra e solo, dimensionando a necessidade de transporte destes materiais, topografia da região, cronograma de construção, condições para aquisição dos equipamentos eletromecânicos e os programas sócio-ambientais.

O próprio manual da ELETROBRÁS (1997), em função desta diversidade de características, criou índices de mérito da usina hidrelétrica, relacionando o investimento necessário por capacidade instalada, denominado de Custo Unitário de Instalação (CUI) e investimento necessário com a capacidade de produção de energia do aproveitamento. Este último é denominado índice de mérito (IM) ou índice de custo-benefício (ICB).

O IM é calculado pela fórmula:

$$IM = \frac{(CAI + CO\&M)}{EG \times 8760} \text{ (US\$/MWh)}$$

Onde:

CAI: Custo Anual de Investimento, calculado através do Fator de Recuperação do Capital a uma taxa de 12% a.a. e Vida Útil de 50 anos (US\$);

CO&M: Custo anual de operação e manutenção, em US\$/ano, calculado pelas estimativas obtidas de amostragens do parque gerador brasileiro para cada tipo de usina;

EG: Energia Firme ou Energia Garantida, medida em MW/ano, e avaliada pelo ganho de energia firme no sistema.

Segundo Leite (2002), os custos de investimento para centrais hidrelétricas de pequeno porte (menores que 2MW) variam entre US\$ 1,000.00 a US\$ 2,000.00 por kW instalado, enquanto para as de grande porte não ultrapassariam o valor de US\$ 1,000.00/kW. Este mesmo autor descreve que os custos de operação são reduzidos, sendo da ordem de US\$ 20.00 a US\$ 30.00 por MWh para grandes aproveitamentos, e entre US\$ 30.00 a US\$ 40.00 para as pequenas centrais.

### III.3 CUSTOS DEFINIDOS NOS MANUAIS DA ELETROBRÁS

No estudo de avaliação do potencial hidrelétrico de um rio, como orienta o Manual de Inventário Hidrelétrico de Bacias (ELETROBRÁS, 1997), é incorporada uma avaliação expedita da questão ambiental, visando compor um índice que orienta a melhor divisão de queda. Esta avaliação define seis componentes ambientais: Ecossistemas Aquáticos, Ecossistemas Terrestres, Modos de Vida, Organização Territorial, Base Econômica e População Indígena, que, de forma integrada, irão compor um índice de impacto ambiental, auxiliando na definição das alternativas de aproveitamento energético, econômico e ambiental do rio em análise.

Segundo o “Manual de Inventário Hidrelétrico de Bacias Hidrográficas” da ELETROBRÁS (1997), referência do setor hidrelétrico para este estudo, os custos ambientais devem ser incorporados ao custo de implantação dos aproveitamentos e aos índices de custo-benefício, com base no Orçamento Padrão da ELETROBRÁS. Segundo este manual, os custos ambientais, representados pelos programas físico-biológicos (conta 10.15.45, citado acima), situa-se na faixa mínima de 0,5% do custo

total do projeto hidrelétrico, enquanto, para os estudos ambientais, orienta-se para a porcentagem entre 20 e 30% do custo total estimado para os estudos de engenharia.

Em outra publicação da própria ELETROBRÁS (ELETROBRÁS, 1997), no seu manual para “Instruções para Estudos de Viabilidade de Aproveitamentos Hidrelétricos” e no capítulo específico de Meio Ambiente das “Diretrizes para Projeto de PCH”, que servem de base para todos os estudos ambientais de aproveitamento hidrelétricos, desde a fase de viabilidade até a implantação de Planos Básicos Ambientais, observa-se que a orientação para a valoração dos custos ambientais decorrentes deste tipo de empreendimento vai em outro sentido, mostrando apenas:

*Pelas dificuldades intrínsecas da natureza dos custos de degradação, que se referem muitas vezes a impactos não quantificáveis ou não mensuráveis, estes não podem ter o mesmo tratamento de valoração que os demais, não sendo portanto aqui considerados.*

Como pode ser observado, a componente ambiental, na fase de inventário, é incorporada ao estudo de partição de queda através de um índice ambiental dos aproveitamentos hidrelétricos. Enquanto, na fase subsequente (Estudo de Viabilidade), a composição dos custos ambientais, decorrentes dos estudos e programas ambientais para mitigação ou compensação dos impactos ambientais, refere-se a percentuais do custo total do projeto de engenharia e total, o que não corresponde aos custos ambientais propriamente ditos.

Neste sentido, nota-se a premência em estabelecer metodologias, ou mesmo abordagens, mais apropriadas para a valoração dos danos ambientais de empreendimentos hidrelétricos, que podem contribuir sobremaneira para a viabilidade de um projeto. Como mencionado anteriormente, esta tese mostra a importância dos danos ambientais decorrentes da implantação e operação de unidades de geração de energia hidrelétrica que podem contribuir significativamente para a melhor avaliação deste tipo de projeto.

#### **III.4 DANOS AMBIENTAIS DE USINAS HIDRELÉTRICAS**

Mesmo que as implicações sócias não são desenvolvidas nesta tese, é importante ressaltar que a construção de grandes barragens - que marca a história da hidroeletricidade brasileira - vem impondo às populações atingidas perdas não contabilizadas na área social e econômica. Em 1987, com base nos dados da Eletrobrás, computou-se um total de 34.000 km<sup>2</sup> de áreas inundadas no Brasil em

função da implantação de barragens para a geração de energia hidrelétrica, causando o deslocamento de cerca de 200 mil famílias (Bermann, 2002).

O principal indicador de impacto, tanto para os ecossistemas aquáticos e terrestres, segundo o manual da ELETROBRÁS (1997), é definido através do comprometimento das características determinantes na manutenção da diversidade biológica. Nos ecossistemas aquáticos, a construção de uma hidrelétrica implica na alteração da:

- Hierarquia fluvial;
- Perda de ambientes ecologicamente estratégicos;
- Rotas migratórias afetadas;
- Perda de ambientes de elevada energia hidrodinâmica;
- Alteração da vegetação marginal;
- Qualidade da água dos futuros reservatórios;
  - Características morfométricas do trecho de rio afetado
  - Volume de fitomassa afetada
  - Tipologia dos solos afetados
  - Profundidade média
  - Tempo de residência
- Ocorrência de outras espécies da fauna vertebrada passível de impacto (mamíferos aquáticos, répteis).

Quanto aos ecossistemas terrestres, os impactos negativos deste tipo de empreendimento, segundo este manual, afetam a:

- vegetação marginal, com perda de cobertura vegetal, da exclusividade fisionômica;
- relevância da fauna.

Tomando como orientação o Relatório da Comissão de Barragens “*Barragens e Desenvolvimento*” (WCD, 2000), verifica-se que os principais impactos negativos sobre o ecossistema são:

- *A destruição de florestas e habitats selvagens, o desaparecimento de espécies e a degradação das áreas de captação a montante devido à inundação da área do reservatório;*
- *A redução da biodiversidade aquática, a diminuição das áreas de desova a montante e a jusante, e o declínio dos serviços ambientais prestados pelas planícies aluviais a jusante, brejos, ecossistemas de rios e estuários, e ecossistemas marinhos adjacentes; e*
- *Impactos cumulativos sobre a qualidade da água, inundações naturais e a composição de espécies quando várias barragens são implantadas em um mesmo rio.*

É importante observar algumas diferenças relativas a estas duas abordagens. No manual da Eletrobrás fica evidenciado o enfoque direcionado para a alteração dos ecossistemas, tanto aquático quanto terrestre, principalmente em decorrência da formação do reservatório, enquanto o relatório da comissão observa a influência negativa sobre os ecossistemas dentro de uma visão mais abrangente, ou seja, que os impactos ambientais não são restritos ao reservatório, mas a montante e a jusante deste.

A formação do reservatório em si representa uma alteração das características ecológicas do local, mudando de um ambiente lótico para lêntico, criando um novo microclima, proporcionando o desenvolvimento de algumas espécies em detrimento das espécies existentes *a priori* no local.

Na fase de operação, a disponibilidade hídrica pode ser afetada no trecho original do rio, entre a barragem e a descarga do canal de fuga, de maneira sazonal. Dependendo do projeto e das exigências legais, pode existir um trecho entre a barragem e a descarga do canal, após as turbinas, que terá ou uma vazão reduzida ou, dependendo do período hidrológico, sem nenhuma vazão neste trecho.

Outro importante impacto ambiental negativo depende da operacionalidade da usina ou mesmo dos usos múltiplos definidos para o reservatório. Caso o reservatório, como ocorre para a maioria das grandes barragens, seja responsável por acumular um volume de água com o objetivo de, entre outras funções, garantir a geração de energia ao longo de vários anos, bem como regularizar a vazão a jusante, amortizando a sazonalidade do regime hídrico, toda a bacia, a jusante da barragem, irá depender da sua regra operacional. Neste sentido, a regra operacional da usina pode alterar toda a dinâmica do ecossistema a jusante, e quanto maior a variação sazonal do regime hidrológico e quanto

mais próximo das cabeceiras estiver o barramento, maior será o impacto sobre a dinâmica do rio e dos ecossistemas associados.

Partindo destes aspectos, este estudo se concentrará em valorar, com base na economia ambiental e na ecologia de sistemas, os principais danos ambientais causados na construção e operação de aproveitamentos hidrelétricos, quais sejam: afogamento da vegetação nativa (parcial ou total), com conseqüências para o aproveitamento de uso direto madeireiro e não-madeireiro, os serviços ambientais de regularização de vazão e de manutenção do equilíbrio ecossistêmico, a emissão de carbono (mudanças climáticas), a redução da biodiversidade e a possibilidade de aproveitamento de fármacos naturais.

### III.5 MÉTODOS DE VALORAÇÃO DOS DANOS AMBIENTAIS DAS USINAS HIDRELÉTRICAS

Os métodos de valoração ambiental normalmente utilizadas, sob o ponto de vista da economia neoclássica, como mostrado anteriormente, podem ser classificados como:

**Métodos Indiretos** – são aqueles que obtém os valores referentes aos atributos de recursos naturais pela observação destes em mercados relacionados;

**Métodos Diretos** – são os métodos que, através de questionamentos junto a sociedade, obtém o relato direto dos valores econômicos requeridos;

Existem diversas formas de avaliação direta ou indireta desta disponibilidade, como a valoração contingencial (valor associado), custo de deslocamento, avaliação hedonista, valoração hipotética, função produtividade, entre outros, que têm sido empregados na valoração dos custos marginais dos recursos que não estão inseridos na economia de mercado (Bateman, 1993)

Dentre os métodos indiretos, podemos citar (como apresentado anteriormente) os incluídos na função de produção como:

- Método da Produtividade Marginal
- Custos de Reposição/Restauração (Custos de Danos)
- Método de Gastos Defensivos

Os incluídos na função de demanda:

- Função Dose-Resposta

- Método de Preços Hedônicos
- Método do Custo de Viagem

O principal método de avaliação direta é avaliação contingente. Esta listagem dos métodos visa apenas permitir a associação aos valores apresentados de bens e serviços ambientais, neste capítulo.

### **III.5.1 Metodologia proposta para a ELETROBRÁS para a determinação dos danos ambientais de hidrelétricas:**

De acordo com abordagem realizada por Tolmasquim (2000), resumidamente, os principais danos ambientais que deveriam constar no planejamento de empreendimentos hidrelétricos seriam:

- danos à biodiversidade;
- danos sobre os produtos extrativos madeireiros e não-madeireiros;
- danos sobre o seqüestro de carbono;
- danos sobre o potencial de desenvolvimento de novas drogas (plantas medicinais);
- perdas em função da erosão do solo;
- danos sobre a disponibilidade de recursos minerais.

Sinteticamente, a abordagem metodológica definida para os danos ambientais, segundo Tolmasquim (2000), pode ser visualizada na Tabela III.5.1, lembrando que há variações nestas abordagens, dependendo da categoria que é definido o empreendimento:

**Tabela III.5.1 – Metodologia de Valoração dos Custos Ambientais por Tipo de Dano:**

<b>Tipo de Dano</b>	<b>Abrangência</b>	<b>Método</b>
<b><i>Benefícios privados locais</i></b>		
Perda de produtos extrativos madeireiros e não-madeireiros	Área inundada	Produtividade Marginal
<b><i>Benefícios públicos locais</i></b>		
Aumento da erosão do solo	Entorno do reservatório	Produtividade marginal
Redução da disponibilidade de recursos minerais	Área inundada e entorno	Receita líquida
<b><i>Benefícios Globais</i></b>		
Perda do potencial de desenvolvimento de novas drogas (plantas medicinais)	Área inundada	Participação nas vendas líquidas de produtos farmacêuticos (royalties)
Perda da Biodiversidade	Área inundada	Valoração Contingente
Aumento da emissão de carbono	Área inundada	Custo de oportunidade

**Fonte:** Tolmasquim (2000) modificado.

Como pode ser observado, o foco principal e os métodos a serem aplicados na determinação do valor monetário dos danos ambientais concentram-se, na maioria dos casos, à área do reservatório.

### **III.5.2 Dados sobre o valor dos danos ambientais:**

Os danos ambientais se caracterizam pela perda ou prejuízo em função de uma atividade antrópica, que pode ou não ter reparação. Para valorar o dano ambiental deve-se ter em mente qual é o valor do bem e serviço que será suprimido. Neste sentido, foram levantadas informações em literatura sobre o valor dos bens e serviços ambientais de florestas tropicais, mais especificamente, floresta amazônica, atlântica e cerrado, e seus métodos de análise para compor um quadro da situação atual de estudos e valores, o qual alicerçou o estudo de valoração. Este quadro é apresentado nas Tabela III.5.2 a III.5.11 a seguir:

## Valor de Uso Direto – Benefício Privado Local

Tabela III.5.2 –Valores Monetários de Produtos Madeireiros

Aspectos ambientais valorados	Local	Valor (US\$/ha/ano)	Método	Fontes
Produtos extrativos madeireiros	Amazônia	182.00	Análise do mercado Madeireiro	Young (2000)
Produtos extrativos madeireiros	Amazônia	104.00	Extração sustentável da madeira	Andersen (1997)
Produtos extrativos madeireiros	Amazônia	US\$225/ton ou US\$ 191/m <sup>3</sup>	Extração e transporte	Serôa da Mota & May (1992)
Produtos extrativos madeireiros	Amazônia	1,000.78 <sup>1</sup>	Extração não sustentável da madeira	Peters, C. et al (1989)
Produtos extrativos madeireiros	Amazônia	29.25 ***	Extração sustentável da madeira	Peters, C. et al (1989)
Produtos extrativos madeireiros	Amazônia	92.00		Almeida & Uhl
Produtos extrativos madeireiros (carvão)	Cerrado	217.30	Análise financeira comparativa	Abdala (1993)**
Produtos extrativos madeireiros (carvão)	Cerrado	418.97		Medeiros (1995)**
<b>Madeireiros</b>				
<b>Média</b>	<b>Amazônia</b>	<b>101.81</b> (62.71) <sup>2</sup>		
	<b>Cerrado</b>	<b>318.14</b> (142.60) <sup>2</sup>		

\* Godoy, R. & Lubowski, R. (1992) Guidelines for the Economic Valuation of Nontimber Tropical Forest Products. Current Anthropology. V. 33 (4). 423-433 pg.

\*\* May, P.H.; Veiga Neto, F.C. et al. (2000) Valoração Econômica da Biodiversidade: Estudos de Caso no Brasil. Brasília. Versão preliminar. Ministério do Meio Ambiente. MMA.

\*\*\* Cálculo próprio para compor a taxa de US\$/ha/ano. Neste caso, o resultado foi obtido a partir do valor da extração madeira pela área estimada de desmatamento.

<sup>1</sup> - Valores não utilizados na média.

<sup>2</sup> – O valor entre parêntesis é o desvio padrão da amostra.

É importante salientar que para o Cerrado o cálculo refere-se a extração não-sustentável de madeira, ou seja, corresponde ao valor da exploração de todo o estoque de madeira para a produção de carvão.

**Tabela III.5.3 – Valores Monetários de Produtos Não-Madeireiros**

Aspectos ambientais valorados	Local	Valor (US\$/ha/ano)	Método	Fontes
Produtos extrativos não-madeireiros	Amazônia	59.00	Análise financeira	Anderson, May e Balick (1992)**
Produtos extrativos não-madeireiros	Amazônia	110.00	Produtividade marginal	Anderson (1990)
Produtos extrativos não-madeireiros	Amazônia	4.80	Custos evitados	Schwartzman (1989)*
Produtos extrativos não-madeireiros	Amazônia	10.00	Produtividade marginal	Andersen (1997)
Produtos extrativos não-madeireiros	Amazônia – Venezuela	0.75	Criação experimental de jacaré	Thorbjarnarson (1991)*
Produtos extrativos não-madeireiros	Florestas Tropicais	0 – 535.00***	Valoração econômica VPL (5% 20 anos)	Tolmasquim (2000)
Produtos extrativos não-madeireiros	Amazônia – Peru	16.00 – 22.00	Dieta das comunidades (Flora)	Padoch e de Jong (1989)*
Produtos extrativos não-madeireiros	Amazônia – Equador	120.00	Valoração de animais selvagens	Paucar e Gardner (1981)*
Produtos extrativos não-madeireiros	Amazônia – Peru	697.79	Produtividade marginal	Peters, C. et al (1989)
Produtos extrativos não-madeireiros	Amazônia – Peru	420.00	Inventário da flora	Peters, Gentry e Mendelsohn (1989)*
Produtos extrativos não-madeireiros	Amazônia – Equador – terra firme	2,830.00 <sup>1</sup>	Pesquisa etnobotânica e mercadológica	Grimes et alli (1994)
Produtos extrativos não-madeireiros	Amazônia – Equador –terra baixas	<b>1,257.00</b> <sup>1</sup>	Pesquisa etnobotânica e mercadológica	Grimes et alli (1994)
Extrativismo vegetal sustentável	Várzea estuário amazônico	3,171.55/família/ano <sup>1</sup>	Renda média anual (Açaí, Cacau, borracha)	Anderson & Ioris (sd)
Extrativismo vegetal sustentável	Amazônia ocidental	US\$ 1,520-2,500 /ano/seringueiro <sup>1</sup>	Castanha e borracha	Hecht (s/d)
Extrativismo vegetal e animal	Amazônia oriental	US\$ 621.96-795.77 família/ano <sup>1</sup>	Renda líquida de produtos florestais	Muchagata (1997) **
<b>Não-madeireiros</b>				
<b>Média</b>	<b>Amazônia</b>	<b>181.49</b> (248.63) <sup>2</sup>		
	<b>Terras baixas</b>	<b>1,257.00 *</b>		

<sup>1</sup> - Valores não utilizados na média. <sup>2</sup> - O valor entre parêntesis é o desvio padrão da amostra.

\* Para o cálculo do dano ambiental, ao invés de aplicar-se a média dos trabalhos, que possuíam especificidade (apenas alguns produtos) e variabilidade muito grande, como mostra o desvio padrão,

empregou-se o valor obtido para as Terras Baixas, que são as áreas que sofrem influência das variações sazonais do nível do rio e são diretamente afetadas pela construção de usinas, com a formação do reservatório e alteração do regime fluvial.

**Tabela III.5.4 – Valores Monetários de Pesca Artesanal ou Comercial**

Aspectos ambientais valorados	Local	Valor (US\$/ha/ano)	Método	Fontes
Pesca artesanal ou comercial	Amazônia Oriental	US\$ 30-36/família/ano *	Renda bruta por família	Muchagata (1997)**
Pesca artesanal ou comercial	Várzea amazônica	US\$ 909 família/ano *	Renda bruta por família (pesca)	Câmara (1996)**

\* Valores não utilizados na análise do valor dos danos ambientais.

\*\* May, P.H.; Veiga Neto, F.C. et al. (2000) Valoração Econômica da Biodiversidade: Estudos de Caso no Brasil. Brasília. Versão preliminar. Ministério do Meio Ambiente. MMA.

**Tabela III.5.5 – Valores Monetários de Turismo, Eco-Turismo, Pesca e Recreativo**

Aspectos ambientais valorados	Local	Valor (US\$/ha/ano)	Método	Fontes
Turismo	Floresta Tropical	1.53-95.55***	VPL (5% 20 anos)	Tolmasquim (2000)
Eco-turismo e pesca	Amazônia	1.55		Andersen (1997)
Eco-turismo e pesca	Mata Atlântica	US\$ 22.08-81.21 / pessoa	Disponibilidade a pagar – Reserva do Una – BA	Holmes et alli (1998)
Eco-turismo e pesca	Mata Atlântica	2.10	Disponibilidade a pagar – EE Jataí	Santos et alli (1998)
Valor de uso recreativo	Mata Atlântica	155.31	Custo viagem – UC Foz do Iguaçu	Ortiz <i>et al</i> (2001)
<b>Uso recreativo</b>	<b>Amazônia</b>	<b>1.55 *</b>		
<b>Média</b>	<b>Mata Atlântica</b>	<b>2.10 *</b>		
	<b>Florestas Tropicais</b>	<b>48.54 *</b>		

\* Os valores de uso recreativo não foram empregados na análise do dano ambiental. Estes dados são apresentados para dar a dimensão dos valores encontrados para este tipo de aspecto nos diferentes ecossistemas. Representam diversas formas de exploração do recurso natural, principalmente, em decorrência de suas características cênicas do local e do potencial pesqueiro, para o turismo.

## Valor de Uso Indireto – Benefício Público Local

**Tabela III.5.6 – Valores Monetários de Ciclo Hidrológico, Controle de Erosão e Serviços Ecosistêmicos**

Aspectos ambientais valorados	Local	Valor (US\$/ha/ano)	Método	Fontes
Ciclo hidrológico	Amazônia	67.60 ***	Produtividade marginal VPL a 6%	Andersen (1997)
Ciclo hidrológico	Amazônia	30.00 ***	Produtividade marginal VPL a 5%	Fearnside (1997)
Ciclo hidrológico	Florestas Tropicais	1.76*** <sup>1</sup>	Valoração econômica VPL (5% 20 anos)	Tolmasquim (2000)
Ciclo hidrológico	Amazônia	19.00	Produtividade marginal	Fearnside (1997)
Controle de erosão	Amazônia	3.00 <sup>1</sup>	Produtividade marginal	Andersen (1997)
Serviços ecosistêmicos	Mata Atlântica	<b>621.70</b>	Prevenção inundações/ erosão	Santos et al (1997)
<b>Ciclo hidrológico</b>				
<b>Média</b>	<b>Amazônia</b>	<b>38.87 (25.48)<sup>2</sup></b>		
	<b>Mata Atlântica</b>	<b>621.70</b>		

\*\*\* Cálculo próprio para compor a taxa de US\$/ha/ano. Os dados brutos expressos em valor monetário por ano foram divididos pela estimativa de área abrangida.

<sup>1</sup> - Valores não utilizados na média. <sup>2</sup> – O valor entre parêntesis é o desvio padrão da amostra.

## Valor de Uso Indireto – Benefício Global

**Tabela III.5.7 – Valores Monetários da Biodiversidade**

Aspectos ambientais valorados	Local	Valor (US\$/ha/ano)	Método	Fontes
Biodiversidade	Amazônia	20.00		Cartwright (1985)**
Biodiversidade	Amazônia	30.60 ***	Produtividade Marginal – Uso direto	Andersen (1997)
<b>Biodiversidade</b>				
<b>Média</b>	<b>Amazônia</b>	<b>25.30 (7.50)<sup>2</sup></b>		

\*\* May, P.H.; Veiga Neto, F.C. et al. (2000) Valoração Econômica da Biodiversidade: Estudos de Caso no Brasil. Brasília. Versão preliminar. Ministério do Meio Ambiente. MMA.

\*\*\* Cálculo próprio para compor a taxa de US\$/ha/ano. Foi recalculado o valor bruto da produtividade marginal.

<sup>2</sup> – O valor entre parêntesis é o desvio padrão da amostra.

**Tabela III.5.8 – Valores Monetários de Seqüestro de Carbono**

Aspectos ambientais valorados	Local	Valor (US\$/ha/ano)	Método	Fontes
Seqüestro de carbono	Amazônia	<b>US\$ 21,25 /t CO<sub>2</sub></b>	Mercado de Carbono	Pointcarbon (2005)
Seqüestro de carbono	Amazônia Legal	US\$198 – 803/ ha	Diversos métodos	Schneider (1993)
Seqüestro de carbono	Florestas Tropicais	76.45 – 305.70 *** média: <b>191.08</b>	Valoração econômica VPL (5%, 20 anos)	Tolmasquim (2000)
Seqüestro de carbono – biodiversidade	Amazônia Legal	44.80***		Andersen (1997)
Seqüestro de carbono – biodiversidade	Amazônia Legal	139.00	Disposição a pagar	Fearnside (1997)
<b>Seqüestro de carbono</b>				
<b>Média</b>	<b>Amazônia</b>	<b>91.90</b> (66.61) <sup>2</sup>		
	<b>Florestas Tropicais</b>	<b>191.80</b> <sup>3</sup>		

\*\*\* Cálculo próprio para compor a taxa de US\$/ha/ano. Foi recalculado o valor bruto da produtividade marginal.

<sup>2</sup> – O valor entre parêntesis é o desvio padrão da amostra.

<sup>3</sup> – Média calculada a partir dos valores extremos apresentados por Tolmasquim (2000).

### Valor de Não-Uso – Benefício Global

#### *Valor de Opção*

**Tabela III.5.9 –Valores Monetários do Potencial de Desenvolvimento de Novas Drogas**

Aspectos ambientais valorados	Local	Valor (US\$/ha/ano)	Método	Fontes
Potencial de desenvolvimento de novas drogas	Amazônia	<b>30.00</b>	Produtividade marginal - valor de opção	Andersen (1997)
Potencial de desenvolvimento de novas drogas	Florestas Tropicais	19.11 – 76.45*** média = <b>47.78</b>	Valoração econômica VPL (5%, 20 anos)	Tolmasquim (2000)
<b>Novas Drogas</b>	<b>Amazônia</b>	<b>30.00</b>		
	<b>Florestas Tropicais</b>	<b>47.78</b> <sup>3</sup>		

<sup>3</sup> – Média calculada a partir dos valores extremos apresentados por Tolmasquim (2000)

## Valor de Existência

Tabela III.5.10 – Valores Monetários do Valor de Existência

Aspectos ambientais valorados	Local	Valor (US\$/ha/ano)	Método	Fontes
Valor de existência	Amazônia	6.40	Valoração contingente	Andersen (1997)
Valor de existência	Amazônia	<b>339.00</b> <sup>1</sup>	Custo de oportunidade	Kitamura (1996)
Preservação recursos naturais	Amazônia	US\$13.34 /mês/pessoa <sup>1</sup>	Disponibilidade a pagar	Pessoa & Ramos (1998)
Preservação recursos naturais	Mata Atlântica	US\$ 9.08/pessoa <sup>1</sup>	Disponibilidade a pagar	Holmes et alli (1998)
Preservação recursos naturais	Amazônia	3.00 – 13.00 média = <b>8.00</b> <sup>3</sup>	Custo de manutenção de UC	Kitamura (1996)
Preservação recursos naturais	Amazônia	13.33- 24.48 média = <b>18.91</b> <sup>3</sup>	Custo de implantação e manutenção de UC	Fundação Pró-Natura (1992)
Valor de uso e existência	Mata Atlântica	60.39	Disponibilidade a pagar para UC	Adams (2003)
Preservação recursos naturais	Mata Atlântica	5.00	Disponibilidade a pagar – opção + existência	Santos et alli (1998)
<b>Valor de Existência</b>				
<b>Média</b>	<b>Amazônia</b>	<b>11.10</b> (6.81) <sup>2</sup>		
<b>Média</b>	<b>Mata Atlântica</b>	<b>32.70</b> (39.17) <sup>2</sup>		

<sup>1</sup> - Valor não utilizado na média. <sup>2</sup> – O valor entre parêntesis é o desvio padrão da amostra.

<sup>3</sup> – Média calculada a partir dos valores extremos apresentados pela Fundação Pró-Natura (1992)

## Valor Econômico Total

Tabela III.5.11 – Valores Monetários do Valor Econômico Total

Aspectos ambientais valorados	Local	Valor (US\$/ha/ano)	Método	Fontes
Valor Econômico Total	Amazônia	<b>267,50***</b>	Métodos combinados	Andersen (1997)
Valor Econômico Total	Mata Atlântica	<b>762.40</b>	Métodos combinados	Santos et al (1998)
Valor Econômico Total	Mata Atlântica	US\$ 434-752 milhões	Custo de oportunidade (VPL 12%)	Azzoni & Isai (1994)
<b>Valor Econômico Total</b>				
	<b>Amazônia</b>	<b>267.50</b>		
	<b>Mata Atlântica</b>	<b>762.40</b>		

\*\*\* Cálculo próprio para compor a taxa de US\$/ha/ano.

### III.5.3 Metodologia aplicada e valores adotados para avaliação dos danos ambientais:

Para a elaboração do valor presente dos danos ambientais de hidrelétricas, foram, primeiramente, selecionados os aspectos e danos ambientais a serem contemplados nesta análise, com base nas publicações citadas anteriormente (Tolmasquim, 2000; ELETROBRÁS, 1997; WCD, 2000) e na possibilidade de realização de uma valoração eMergética correspondente. Os danos ambientais selecionados para este trabalho foram:

- danos sobre os produtos extrativos madeireiros e não-madeireiros;
- danos ao ciclo hidrológico;
- danos à biodiversidade e à vegetação natural;
- danos sobre o potencial de desenvolvimento de novas drogas (plantas medicinais);
- danos sobre o seqüestro de carbono;

Conforme mencionado anteriormente, foi realizada a valoração de danos ambientais de aproveitamentos hidrelétricos, sob dois pontos de vista, o da sustentabilidade fraca - com a determinação do Valor Presente Líquido, tomando como referência diversos trabalhos que realizaram a valoração ambiental de parte ou de todo de bens ou serviços ambientais das florestas (Tabela III.5.12) - e o da ecologia de sistemas (III.5.13). Sob este enfoque, os danos ambientais valorados pelo método eMergético foram relacionados à produtividade primária dos ecossistemas afetados pela formação do reservatório, o que corresponderia ao dano na exploração de produtos não-madeireiros; a biodiversidade, através da complexidade do sistema; a energia contida na madeira inundada pelo reservatório, que corresponde ao valor do recurso madeireiro; e o potencial químico do rio, que está associado ao ciclo hidrológico.

A partir da definição dos danos ambientais a serem valorados, foram definidos os valores que seriam adotados para compor o quadro geral de valoração ambiental, tanto para a análise da economia ambiental quanto para a análise eMergética.

Tabela III.5.12 – Valores Monetários Adotados para os Danos Ambientais

Dano ambiental	Local	Valor Adotado	Referência
<b>Produtos extrativos madeireiros</b>			
	Amazônia	US\$225/ton ou US\$ 191/m <sup>3</sup>	Serôa da Motta & May (1992)
	Mata Atlântica	US\$225/ton ou US\$ 191/m <sup>3</sup>	Serôa da Motta & May (1992)
	Cerrado	US\$225/ton ou US\$ 191/m <sup>3</sup>	Serôa da Motta & May (1992)
<b>Produtos extrativos não-madeireiros</b>			
	Amazônia	US\$ 1,257.00/ha/ano	Grimes et alli (1994)
	Mata Atlântica	US\$ 181.49/ha/ano	Média dos estudos realizados
	Cerrado	US\$ 181.49/ha/ano	Média dos estudos realizados
<b>Ciclo hidrológico</b>			
	Amazônia	US\$ 38.87/ha/ano	Adotado com base nos estudos realizados
	Mata Atlântica	US\$ 28,2/ha/ano	Relativo à densidade *
	Cerradões	US\$ 28,27/ha/ano	Relativo à densidade *
	Cerrado	US\$ 1,11/ha/ano	Relativo à densidade *
<b>Biodiversidade</b>			
	Amazônia	US\$ 25.30/ha/ano	Adotado com base nos estudos realizados
	Mata Atlântica	US\$ 18,36/ha/ano	Relativo à densidade *
	Cerradões	US\$ 18,4/ha/ano	Relativo à densidade *
	Cerrado	US\$ 0,72/ha/ano	Relativo à densidade *
<b>Seqüestro de carbono</b>			
	Amazônia	US\$ 21,25 /t CO <sub>2</sub>	Mercado de Carbono
	Mata Atlântica	US\$ 21,25 /t CO <sub>2</sub>	Mercado de Carbono
	Cerrado	US\$ 21,25 /t CO <sub>2</sub>	Mercado de Carbono
<b>Novas drogas</b>			
	Amazônia	US\$ 30.00/ha/ano	Valor de opção
	Mata Atlântica	US\$ 21,77/ha/ano	Relativo à densidade *
	Cerradões	US\$ 21,82/ha/ano	Relativo à densidade *
	Cerrado	US\$ 0,86/ha/ano	Relativo à densidade *

\* Os valores relativos à densidade florestal, partem do princípio de que tanto a biodiversidade, quanto o potencial de novas drogas, estão associados à complexidade do ecossistema que pode ser representado, proporcionalmente, pela densidade da vegetação natural. Esta dedução firma-se na lei de energia máxima, ou fluxo máximo de energia em sistemas biológicos, como mencionado no Capítulo II, estabelecida por Lotka. Esta lei foi transformada em postulados específicos na ecologia como a maximização de biomassa (densidade), proposto por Margalef (1963), pela taxa reprodutiva, proposta por Wilson em 1968; do fluxo mínimo de energia direcionado pela menor taxa de geração de entropia de I. Prigogine, em 1946 e 1947; além do próprio princípio de máxima potência de H.T. Odum (apud Odum, 1994). Com base nestes pressupostos, tanto a biodiversidade quanto o potencial de novas drogas, podem ser considerados representações proporcionais ao aumento da complexidade, os quais são diretamente relacionados com a densidade.

### **Produtos extrativos madeireiros**

Os valores adotados para os produtos extrativos madeireiros fundamentaram-se no trabalho de Seroa da Motta & May (1992), que empregou valores do mercado internacional de madeira e os custos de extração e transporte destes produtos, com base em literatura internacional, para obter o valor líquido.

### **Produtos extrativos não-madeireiros**

Para os produtos não-madeireiros, foram utilizadas várias fontes, porém foi selecionada uma publicação específica para a Amazônia (Grimes *et alli*, 1994), pois este trabalho apresentou uma exaustiva pesquisa sobre o valor de diversos produtos não-madeireiros existentes na região amazônica. Tanto para a Mata Atlântica quanto para o Cerrado, foram aplicados valores específicos com base nos diversos trabalhos levantados sobre a questão. Entende-se que a média pode representar uma armadilha no sentido de viés parte-todo ou todo-parte. Neste sentido, da mesma forma que para a Amazônia, foi adotado um só valor que possuía maior consistência metodológica para este estudo.

### **Ciclo hidrológico**

Com relação ao ciclo hidrológico, foram avaliados os trabalhos que recorrem à metodologia de produtividade marginal, onde relacionam a redução da evapotranspiração da floresta amazônica, em função do desmatamento, entendida como fonte de chuva para outras regiões, com a perda da produção agrícola, adotando-se um valor condizente com a necessidade deste estudo. De acordo

com a base teórica expressa anteriormente, adotou-se o valor relativo para a Mata Atlântica e para o Cerrado, com base nas características físicas de densidade ( $m^3/ha$ ) proporcionalmente à Floresta Amazônica.

### **Emissão de gases de efeito estufa**

O valor adotado para as emissões de dióxido de carbono foi definido a partir da avaliação, em maio de 2005, dos valores de mercado para o carbono ([www.pointcarbon.com](http://www.pointcarbon.com)). As emissões de gases de efeito de estufa foram definidas a partir do trabalho da Eletrobrás (2000) e Lima (2002) sobre estas emissões em reservatórios. Para as unidades ainda não construídas, adotou-se a estimativa de uma unidade da mesma região.

Fearnside (2004) apresenta uma estimativa distinta quanto à emissão de gases de efeito estufa, incluindo a emissão destes gases no processo de turbinamento da usina, decorrente da liberação dos gases dissolvidos nas camadas profundas das colunas d'água das represas, após passarem pela turbina. Fearnside (2004) incluiu no cálculo das emissões de gases de efeito estufa, aqueles gases dissolvidos na coluna d'água, e liberados pelo turbinamento, para a UHE Tucuruí. Entretanto, mesmo tendo como referência este estudo, esta tese não incluiu estes valores no cálculo do dano, pois não foi possível fazer uma correlação apropriada entre a emissão desta usina com as demais usinas estudadas. Mesmos os resultados dos estudos da Eletrobrás (2000) e de Lima (2002) apresentaram variabilidade para os mesmos tipos de emissões de gases, indicando que a extrapolação do cálculo de Fearnside (2004) para as demais usinas seria pouco confiável. Portanto, para este estudo, somente se adotou as informações sobre emissão de gases de efeito estufa dos dois trabalhos (Eletrobrás, 2000; Lima, 2002).

### **Novas drogas**

Aplicaram-se informações do trabalho de Andersen (1997) sobre o valor de opção para a manutenção da floresta em pé, com o objetivo de propiciar a oportunidade de descobrir novas drogas para a floresta amazônica. Como não existiam dados disponíveis com relação ao valor de opção sobre os demais biomas, foi adotado o mesmo critério com relação à densidade florestal.

•

Com a definição dos valores adotados para a valoração monetária, foram obtidos os Valores Presentes Líquidos dos danos ambientais, com taxas de desconto de 2%, 6% e 12% ao ano, com tempo de vida útil definido em 50 anos. A adoção de 50 anos de vida útil está baseada no manual da ELETROBRAS (1997), assim como a taxa de 12% ao ano. As taxas de descontos 2% e 6%, ao ano, utilizadas partem da premissa que a variação a taxa de desconto representa variações de importância de oportunidades das gerações atuais para as gerações futuras. Ou seja, quanto menor a taxa de desconto, maior será o valor presente, refletindo a maior valor dado ao recurso no futuro.

Visando evitar ajustes decorrentes de variação cambial - relativa às datas de construção e início de operação dos diversos estudos de caso - foi escolhida uma data teórica similar para o início dos empreendimentos, uma vez que os fatores preponderantes nesta análise eram a vegetação natural existente no local, independentemente da data, e os valores em dólar de diferentes trabalhos de valoração ambiental, que foram realizados em períodos distintos.

### III.5.4 Valores adotados para avaliação dos danos ambientais da análise eMergética

A análise eMergética fundamenta-se no pressuposto de que toda a forma de energia e matéria pode ser transformada em uma moeda comum, que é a luz solar por ser a fonte primária de energia que atua no ecossistema, resgatando a memória energética. Por exemplo, é necessária uma grande quantidade de energia de baixa qualidade (solar) para gerar energia de alta qualidade, como, por exemplo, combustível fóssil. Neste sentido, para integrar-se os danos ambientais são necessários cálculos de transformação, que convertem os dados primários nesta “moeda comum”, denominada como Joules de Energia Solar (em inglês Solar Energy).

Emprega-se o termo **eMergia** para expressar a quantidade de energia solar utilizada para gerar um produto. Esta é expressa em **eMjoules**. A título de exemplo, são necessários 40.000 Joules de luz solar para produzir 1 Joule de carvão, a **eMergia** de um joule de carvão é 40.000 eMjoules solar (sej). Desta forma, a **eMergia** é a energia requerida na transformação que gera um fluxo ou armazenamento.

Para a realização da valoração eMergética, levantaram-se os dados característicos de cada ambiente, em termos das características físicas e biológicas da vegetação natural, pois são estas as informações empregadas para dar valor ao dano. Estes dados devem ser transformados e agregados, gerando um valor correspondente à energia solar para cada dano. O volume médio, ou melhor, a biomassa

representa a estrutura do ecossistema associado à quantidade de energia solar mobilizada. A produtividade primária líquida representa a capacidade de transformação da energia solar em matéria viva, para cada tipo de formação natural, em determinado período e em determinada área. Foi realizada a valoração eMergética dos aspectos ambientais como biomassa, produtividade primária, ciclo hidrológico e potencial químico da água.

O cálculo do valor eMergético do dano ambiental dos aspectos biomassa e produtividade primária que correspondem, dentro de uma visão restrita, aos recursos madeireiros e não-madeireiros, foi realizado a partir da quantificação dos valores, em biomassa, da vegetação natural afetada pelo reservatório de cada usina. A partir das informações de uso e ocupação do solo, onde eram quantificadas as áreas de vegetação natural existente na área a ser encoberta pelo reservatório, estas eram multiplicadas pelos valores levantados sobre a biomassa e produtividade primária de cada tipo de formação. A partir deste dado bruto, podia-se quantificar a energia, em termos calóricos, da biomassa afetada. Para obter o valor eMergético, os valores calóricos foram multiplicados pela transformidade característica de cada componente.

De acordo com Lima & Zakia (2002), em microbacias de clima úmido - onde a cobertura vegetal é predominantemente floresta - quase não existe escoamento superficial, ocorrendo principalmente a infiltração e o escoamento subsuperficial. Este fato garante a manutenção do regime hídrico ao longo do ciclo hidrológico. Além disso, a cobertura do solo por qualquer tipo de vegetação arbórea, proporciona melhores condições de infiltração da água no solo e de redução da erosão, comparativamente, a outros tipos de uso do solo, permitindo maior recarga do aquífero e evitando a colmatação da calha do curso d'água, fatos estes que permitem uma maior regularização do deflúvio da bacia ao longo das estações do ano.

Tomando como base a precipitação média local e adotando-se as relações entre a precipitação total (100%), a interceptação realizada na copa, a precipitação efetiva, a perda por evaporação e a contribuição capilar e a drenagem final (29,1%) para cada um dos tipos florestais encontrados, podemos estimar o volume de perda de contribuição que ocorre quando a vegetação natural é submergida.

Em um primeiro momento, a valoração da energia química do rio não foi computada nos valores totais dos danos ambientais, pois se entendeu que, dependendo do tipo de operação da usina, este pode ou não ser significativo. Entende-se como potencial químico do rio, a contribuição do fluxo da água na transpiração das plantas e, conseqüentemente, na fotossíntese (uma vez que o oxigênio

liberado no processo fotossintético é proveniente da molécula da água). Neste sentido, a vazão média do rio foi o dado utilizado para calcular a sua energia química.

A Tabela III.5.13 apresenta os valores levantados para a realização deste tópico específico. Os valores foram adotados com base nos trabalhos da Eletrobrás, 2000; de Lima, 2002; de Cardenas, 1986; de Serôa da Motta & May, 1992; de Saldarriaga & Luxmoor, 1991; de Odum, E., 1998; de Fearnside, 1997; de Vale et al, 2002.

Tabela III.5.13 – Dados sobre as Características da Vegetação Natural

Aspectos	Valores	Fonte
<b>Produtividade primária</b>		
<b>Amazônia (ombrófila densa)</b>	0,60 m <sup>3</sup> /ha/ano	Serôa da Motta & May (1992)
<b>Amazônia (ombrófila aberta)</b>	0,48 m <sup>3</sup> /ha/ano	Serôa da Motta & May (1992)
<b>Amazônia</b>	8,62 t/ha/ano (média) 10,78 m <sup>3</sup> /ha/ano	Saldarriaga & Luxmoore (1991)
<b>Amazônia</b>	12,24 t/ha/ano (máxima) 15,30 m <sup>3</sup> /ha/ano	Saldarriaga & Luxmoore (1991)
<b>Amazônia</b>	7,23 t/ha/ano (clímax) 9,04 m <sup>3</sup> /ha/ano	Saldarriaga & Luxmoore (1991)
<b>Floresta</b>	33 t/ha/ano 41,25 m <sup>3</sup> /ha/ano	Odum, E. (1998)
<b>Floresta</b>	15 t/há/ano	Heredeen (1998)
<b>Floresta</b>	20 t/ha/ano 25 m <sup>3</sup> /ha/ano	EIA/RIMA do AHE Caçu
<b>Cerradão</b>	16,8 t/ha/ano 21,0 m <sup>3</sup> /ha/ano	EIA/RIMA do AHE Caçu
<b>Cerrado</b>	0,20 m <sup>3</sup> /ha/ano *	Serôa da Motta & May (1992)
<b>Cerrado</b>	8,3 t/ha/ano 10,4 m <sup>3</sup> /ha/ano	EIA/RIMA do AHE Caçu
<b>Cerrado</b>	29 t/ha/ano 36,25 m <sup>3</sup> /ha/ano	Odum, E. (1998)
<b>Cerrado</b>	14,8 t/ha/ano	Heredeen (1998)
<b>Volume médio</b>		
<b>Amazônia</b>	646,25 m <sup>3</sup> /ha	Fearnside, 1997
<b>Mata Atlântica (mesófila)</b>	469,56 m <sup>3</sup> /ha	Inventário Florestal - Fonte: Themag, 1978
<b>Cerradão</b>	250 m <sup>3</sup> /ha	Paiva (1977)
<b>Cerrado</b>	18,48 m <sup>3</sup> /ha	Vale et al (2002)
<b>Calor específico</b>		
<b>Amazônia</b>	4.681 Kcal/Kg	
<b>Mata Atlântica</b>	4.681 Kcal/Kg	
<b>Cerrado</b>	4.763 Kcal/Kg	Vale et al.(2002)

## III.6 ESCOLHA DOS ESTUDOS DE CASO

### III.6.1 Introdução

A escolha dos estudos de caso alicerçou-se em diferentes fatores (apresentados a seguir), direcionados, principalmente, na busca de respostas às questões levantadas neste estudo. De forma geral, os critérios definidos foram:

- A relação entre as usinas instaladas e o potencial hidrelétrico da bacia;
- A distribuição por bioma;
- As faixas predominantes de potencial fiscalizado das usinas em operação;
- A disponibilidade de dados sobre os empreendimentos;
- A disponibilidade de estudos ambientais;
- As usinas em construção e as usinas outorgadas;
- Dimensão histórica dos empreendimentos.

#### **Relação entre Potencial Instalado e Potencial Hidrelétrico das Bacias Hidrográficas Brasileiras**

De acordo com os dados da Eletrobrás (Tabela III.6.1), existe um potencial hidrelétrico inventariado no Brasil de 164.600 MW, sendo que o maior potencial encontrado é na bacia do rio Paraná, seguida da bacia Amazônica e do rio Tocantins. Por outro lado, existe uma estimativa de potencial hidrelétrico a ser inventariado, o que coloca a bacia amazônica com potencial total maior (105.410 MW), representando cerca de 40% do total, que é estimado em 260.000 MW. A bacia do rio Paraná possui uma estimativa total de potencial hidrelétrico de 60.378 MW, que corresponde a 23,2% do total. Lembrando ainda que a geração de energia hidrelétrica em operação, nos dias atuais é de cerca de 70 mil MW, representando cerca de 27% do potencial hidrelétrico total, (260 mil MW). Neste sentido, estas duas bacias (Amazônica e Paraná) concentram juntas mais da metade das potencialidades hidrelétricas brasileiras (63,7%), devendo ser priorizadas na análise dos estudos de caso, visando contribuir para melhorar a escolha de projetos nestas bacias.

**Tabela III.6.1 Distribuição do Potencial Hidrelétrico Inventariado e Estimado por bacia hidrográfica (MW)**

BACIA	OPERAÇÃO	%	INVENTARIADO	ESTIMADO	TOTAL	%
Amazonas	699	1,0	40.863	63.168	104.061	40,0
Tocantins	8.494	12,5	24.576	2.019	27.540	10,6
Atlântico Leste	301	0,4	1.071	1.921	2.992	1,2
São Francisco	10.395	15,3	24.724	1.917	26.641	10,2
Atlântico Sudeste	2.959	4,4	12.803	1.902	14.705	5,7
Paraná	39.467	58,1	54.549	12.666	61.624	23,7
Uruguai	2.981	4,4	12.666	1.152	13.818	5,3
Atlântico Sul	2.604	3,8	7.487	2.169	9.656	3,7
<b>Total</b>	<b>67.901</b>	<b>100</b>	<b>179.619</b>	<b>80.473</b>	<b>260.092</b>	<b>100</b>

Fonte: SIPOT/Eletróbrás 2006

Partindo desta observação, reforça-se a indicação de estudos de caso de usinas hidrelétricas em bacias, onde a relação de geração em operação e potencial de geração seja mais significativa. Como apresentado na Tabela III.6.2, a bacia Amazônica tem sua geração em níveis bastante baixos, se comparados com o potencial da região, ou seja, menos de 1% do potencial é explorado atualmente. Por seu turno, mesmo sendo a bacia do rio Paraná bastante explorada, em termos de geração hidrelétrica (58%), existe ainda um potencial muito grande a ser apropriado (61 mil MW), o que a qualifica para ser uma das bacias preferenciais. Neste sentido, existe uma prioridade de escolha de estudos de caso nas bacias do rio Paraná e Amazônica, tanto de hidrelétricas já existentes como ainda em projeto.

### III.6.2 Distribuição da Geração Hidrelétrica em Operação e do Potencial por Bacia Hidrográfica (MW)

Bacia	Operação	Potencial	O/P (%)
Amazonas	699	104.061	0,7
Tocantins	8.494	27.540	30,8
Atlântico Leste	301	2.992	10,1
São Francisco	10.395	26.641	39,0
Atlântico Sudeste	2.959	14.705	20,1
Paraná	39.467	61.624	64,0
Uruguai	2.981	13.818	21,6
Atlântico Sul	2.604	9.656	27,0
<b>Total</b>	<b>67.901</b>	<b>260.092</b>	<b>26,0</b>

Fonte: SIPOT/Eletrobrás 2006

#### Distribuição por Biomas

Um dos fatores que contribuiu para a escolha dos estudos de caso foi o tipo de vegetação natural afetada pela construção e operação das usinas hidrelétricas. A importância da Floresta Amazônica - tanto no sentido dos valores econômicos em produtos madeireiros como não-madeireiros, bem como à relevância de sua biodiversidade e da manutenção das condições climáticas globais - foi um elemento relevante na definição dos estudos. A Mata Atlântica - entendida aqui como domínio Mata Atlântica, que vai desde o estado da Bahia até a região do vale do rio Paraná - é um dos ecossistemas mais afetados, tendo a sua área original bastante reduzida, em decorrência do histórico de expansão das fronteiras agrícolas na região sudeste e sul da Bahia. A relevância na preservação dos remanescentes florestais da Mata Atlântica foi um fator essencial na definição dos estudos de caso.

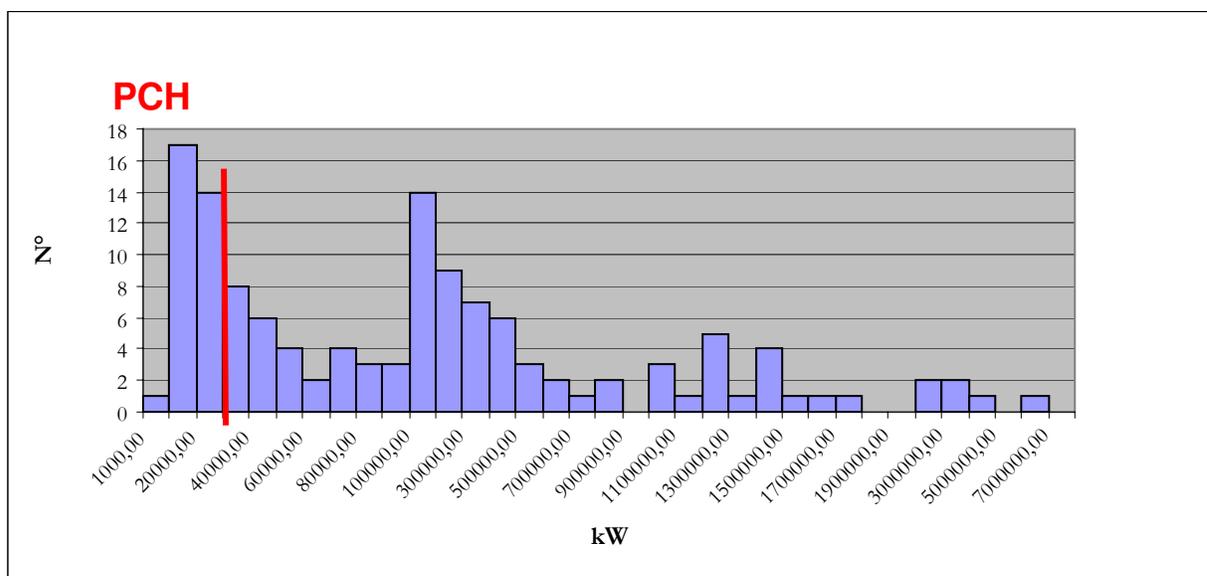
O Cerrado, por sua vez, mesmo sendo o segundo bioma brasileiro em extensão, possui pouca proteção legal tanto em termos de área de preservação permanente, quanto de unidades de conservação (Bitencourt, 2005). O Cerrado tornou-se a nova fronteira agropecuária, mesmo possuindo solos deficientes, em função das melhores técnicas agrônomicas e facilidade de mecanização. Grande parte dos remanescentes deste tipo de vegetação natural localizam-se próximos aos corpos d'água, o que implica em serem diretamente afetados pela implantação de uma usina hidrelétrica. Neste sentido, a importância do bioma Cerrado também contribuiu para a escolha dos estudos de caso.

### Faixas Predominantes de Potencial Fiscalizado das usinas em operação

Um outro fator importante na definição, principalmente, do porte dos empreendimentos hidrelétricos a serem estudados foi a distribuição atual de potências fiscalizadas das usinas em operação. Com base nos dados da ANEEL, a frequência de distribuição das usinas hidrelétricas hoje em operação no Brasil pode ser visualizada na Figura III.1.

Como pode ser observado, existem três faixas predominantes de porte de hidrelétricas em operação, quais sejam: grandes empreendimentos (acima de 1.000 MW), entre 100 e 500MW de potência instalada, e PCH não em termos de potência, mas de número de empreendimentos. Procurou-se selecionar os empreendimentos também com base nestes critérios, uma vez que representariam melhor o perfil das hidrelétricas brasileiras.

**Figura III.1** Frequência de Potência de UHEs no Brasil



Fonte: ANEEL (2005)

### Disponibilidade de dados sobre os empreendimentos:

A análise dos danos ambientais deste tipo de empreendimento depende sobretudo da qualidade dos estudos de inventários e viabilidade. Muitos destes estudos são antigos, não retratando as alterações que ocorreram com relação às novas orientações sob os aspectos ambientais, tanto em nível de inventário, quanto de viabilidade. Neste sentido, os estudos de caso escolhidos também dependeram da disponibilidade e qualidade destes trabalhos.

### **Disponibilidade de estudos ambientais:**

Um dos fatores essenciais na avaliação dos danos ambientais de empreendimentos hidrelétricos recai sobre a descrição adequada do uso e ocupação do solo e das características da vegetação natural. Neste sentido, os estudos ambientais deveriam fornecer os elementos necessários a esta análise, mas muitas vezes isso não ocorre, dificultando a escolha do empreendimento. Para alguns dos empreendimentos escolhidos não se teve acesso direto aos estudos ambientais realizados para o licenciamento ambiental. Porém, em função de outros critérios, para alguns empreendimentos escolhidos, para os quais estes estudos estavam indisponíveis, foram consultadas outras fontes para a composição das informações básicas necessárias, como trabalhos acadêmicos realizados na região em questão.

### **Usinas em construção e as usinas outorgadas**

Como mencionado anteriormente, na medida em que houve um avanço no sentido de melhora dos dados ambientais em projetos recentes, um dos fatores que contribuiu para a escolha dos estudos de caso foi a disponibilidade de informações mais detalhadas, tanto nos projetos quanto nos aspectos ambientais, principalmente em função da atualidade destes dados, quando os empreendimentos estão ou em fase de construção ou outorgadas. Nestes casos, pôde-se aprofundar em alguns detalhes, que em outros mais antigos não foi possível resgatar.

### **Dimensão histórica dos empreendimentos**

Visto que houve uma profunda mudança institucional do setor hidrelétrico com relação à questão ambiental, desde os primeiros aproveitamentos até os processos atuais, muitas vezes associados ao avanço significativo da legislação ambiental da área, a escolha de empreendimentos hidrelétricos que foram implantados em diferentes épocas, principalmente com relação à Itaipu e Tucuruí (que entraram em operação antes da Resolução CONAMA 01/86), possibilitou uma discreta avaliação histórica da importância dos danos ambientais na concepção destes empreendimentos.

### **III.6.2 Descrição Resumida dos Estudos de Caso (Tabela III.6.3):**

Portanto, com base nos critérios expostos no item anterior, serão apresentados os empreendimentos selecionados para a avaliação e valoração do dano ambiental. A descrição ora apresentada é resumida, sendo mostrado no Anexo I, os detalhes das características de cada um dos empreendimentos escolhidos.

**Tabela III.6.3 Usinas Hidrelétricas Seleccionadas para Valoração Dos Danos Ambientais**

<b>Empreendimento</b>	<b>Rio</b>	<b>Bacia</b>	<b>Potência Instalada (kW)</b>	<b>Região</b>	<b>Área Reservatório</b>	<b>Ano de Início de Operação</b>	<b>Estágio</b>
<b>ACIMA DE 1000 MW</b>							
<b>UHE ITAIPU</b>	Paraná	Rio Paraná	12.600.000	Sudeste	1.350 km <sup>2</sup>	1984	Em Operação
<b>UHE TUCURUÍ</b>	Tocantins	Rio Amazonas	4.125.000	Norte	2.430 km <sup>2</sup>	1984	Em Operação
<b>UHE PORTO PRIMAVERA</b>	Paraná	Rio Paraná	1.540.000	Sudeste	2.250 km <sup>2</sup>	1999	Em Operação
<b>UHE ESTREITO</b>	Tocantins	Rio Amazonas	1.109.000	Norte	590 km <sup>2</sup>	-	Viabilidade
<b>ENTRE 100 E 1000 MW</b>							
<b>UHE SAMUEL</b>	Jamari	Rio Amazonas	219.000	Norte	559 km <sup>2</sup>	1989	Em Operação
<b>AHE SALTO DOS PILÕES</b>	Itajaí-Açu	Atlântico Leste	113.000	Sudeste	0,16 km <sup>2</sup>	-	Viabilidade
<b>AHE SALTO</b>	Verde	Rio Paraná	107.000	Centro-Oeste	79,43 km <sup>2</sup>	-	Viabilidade

**Tabela III.6.3 Usinas Hidrelétricas Seleccionadas para Valoração Dos Danos Ambientais (cont.)**

<b>Empreendimento</b>	<b>Rio</b>	<b>Bacia</b>	<b>Potência Instalada kW</b>	<b>Região</b>	<b>Área Reservatório</b>	<b>Estágio</b>
<b>ENTRE 30 E 1000 MW</b>						
<b>AHE SALTO DO RIO VERDINHO</b>	Verde	Rio Paraná	93.000	Centro-Oeste	36,55 km <sup>2</sup>	Viabilidade
<b>AHE BARRA DOS COQUEIROS</b>	Claro	Rio Paraná	80.000	Centro-Oeste	25,55 km <sup>2</sup>	Viabilidade
<b>AHE CAÇU</b>	Claro	Rio Paraná	65.000	Centro-Oeste	16,81 km <sup>2</sup>	Viabilidade
<b>AHE ITUMIRIM</b>	Corrente	Rio Paraná	50.000	Centro-Oeste	54,6 km <sup>2</sup>	Viabilidade
<b>UHE OURINHOS</b>	Parapanema	Rio Paraná	42.800	Sudeste	4,54 km <sup>2</sup>	Construção
<b>AHE OLHO D'ÁGUA</b>	Corrente	Rio Paraná	33.000	Centro-Oeste	34 km <sup>2</sup>	Viabilidade
<b>PCHS</b>						
<b>UHE PONTE DE PEDRA</b>	Sucuruína	Rio Amazonas	30.000	Norte	1,17 km <sup>2</sup>	Projeto Básico
<b>UHE CALHEIROS</b>	Itabapoama	Atlântico Leste	19.590	Sudeste	0,45 km <sup>2</sup>	Projeto Básico

Fonte: ELETROBRÁS/SIPOT, 2005.

## CAPÍTULO IV – RESULTADOS E DISCUSSÃO

### IV.1 INTRODUÇÃO

O resultado da valoração monetária e eMergética de danos ambientais referentes à construção e operação de usinas hidrelétricas é apresentado neste capítulo. É importante salientar que foram efetuadas simulações para a obtenção de valor monetário dos principais danos ambientais decorrentes deste tipo de empreendimento, quais sejam, danos sobre: os Recursos Madeireiros, sobre os Recursos Não-Madeireiros, sobre o Ciclo Hidrológico, perda da Biodiversidade, contribuição para Emissões de Gases de Efeito Estufa e perda do Potencial de Desenvolvimento de Novas Drogas. Da mesma forma, foi efetuada a valoração eMergética dos aspectos ambientais como biomassa, produtividade primária, ciclo hidrológico e potencial químico da água. As planilhas de cálculo para o valor eMergético utilizadas para todas as hidrelétricas são apresentadas nos Anexo II.

Na primeira parte deste capítulo são apontados os resultados brutos e a análise dos valores monetários de cada aspecto ambiental estudado para cada empreendimento.

Na seqüência, são exibidos os resultados da simulação eMergética, com a avaliação dos principais elementos que a compõe, bem como uma análise sobre o comportamento dos estudos de caso quanto aos mesmos parâmetros definidos na avaliação monetária.

Posteriormente, são mostrados os resultados comparativos entre os empreendimentos, procurando estabelecer parâmetros associativos com base no resultado obtido. Para cada etapa analisada, bem como para cada relação estabelecida, são classificadas e avaliadas as hidrelétricas compondo faixas para melhor distinguir as características de cada agrupamento, caso isso seja passível de identificar.

Por fim, todos os parâmetros estudados são analisados em conjunto, agrupando as hidrelétricas em cinco “clusters”<sup>1</sup>, que possuem diferenças significativas. Para evidenciar estes agrupamentos foram realizadas análises estatísticas (análise de variância - ANOVA). A partir destes agrupamentos são tecidos comentários e avaliações sobre as hidrelétricas estudadas, com o objetivo de definir parâmetros para a melhor compreensão da relação entre dano ambiental e usinas hidrelétricas.

---

<sup>1</sup> A explicação do significado do termo “clusters” na estatística será apresentado no item IV.7.

Na terceira parte, são realizadas análises específicas de correlação entre os resultados obtidos na simulação eMergética e monetária. Como a referência dos resultados das simulações de valoração fundamenta-se, principalmente, nas características biofísicas dos componentes ambientais, é possível determinar fatores mínimos para parametrizar o dano ambiental. A razão entre valor eMergético e valor monetário é apresentada ao seu final, verificando-se a compatibilidade do valor encontrado neste estudo de casos em comparação com outras análises que estabelecem esta conversão.

Na última seção do capítulo, levanta-se a questão sobre um dos principais danos decorrentes da implantação deste tipo de empreendimento: a alteração do regime hídrico. De forma genérica, verificou-se que a demanda de energia elétrica, além de crescente, é uniforme ao longo de todo o ano. Entretanto, a energia natural do sistema hidrelétrico, representada pela vazão afluyente às usinas, comporta-se de acordo com o ciclo hidrológico. Neste sentido, existe um potencial dano ambiental que não é considerado nas análises tradicionais: a alteração do regime hídrico da bacia, em função da operação do sistema não contemplar esta variável.

#### **IV.2 VALOR PRESENTE LÍQUIDO MONETÁRIO DOS DANOS AMBIENTAIS POR HIDRELÉTRICA**

O valor presente líquido dos danos ambientais para cada um dos empreendimentos hidrelétricos estudados é expresso nas Tabelas a seguir (Tabela IV.2.1 a IV.2.15), para as taxas de desconto de 2%, 6% e 12% ao ano. É importante salientar que foram realizadas simulações a partir de uma mesma data e pelo período de 50 anos de vida útil. Os valores são expressos em US\$ dólar americano.

Na composição dos danos ambientais, de uma forma geral, a perda dos recursos madeireiros possui o maior valor monetário relativo entre todos os empreendimentos examinados. Este fato se deve, principalmente, à contabilização do recurso madeireiro sob dois aspectos: a) o valor do recurso madeireiro que seria perdido em função da submersão da vegetação natural no início da operação do empreendimento<sup>2</sup>; b) o valor do potencial de retirada sustentável do recurso madeireiro, ao longo da vida útil do reservatório. Em outras palavras, quando o recurso madeireiro é submerso pela implantação de uma usina hidrelétrica, há uma perda, neste momento, de todo o estoque deste recurso.

Acresce-se a esta perda, toda a produção sustentável, ou seja, toda madeira potencial produzida ao longo da vida útil do reservatório, que poderia ser retirada e vendida, sem comprometer o recurso madeireiro existente (estoque inicial). Neste sentido, não seria uma dupla contabilização de danos ambientais, pois se pensarmos em explorar sustentavelmente a produção madeireira ao longo de 50 anos e depois retirarmos todo o estoque de madeira de uma vez só, teremos a mesma situação. O valor total do produto madeireiro seria a produção ao longo destes 50 anos acrescido da retirada completa do estoque madeireiro ao final deste tempo.

As emissões de gases de efeito estufa representam um outro importante dano ambiental, decorrente da implantação de hidrelétricas. O cálculo deste dano foi estabelecido em estimativas da própria Eletrobrás (Eletrobrás, 2000), de acordo com a latitude de cada empreendimento ou mesmo características do bioma onde se localiza a hidrelétrica. Mesmo tendo o conhecimento de que existe uma grande liberação de gases de efeito estufa no vertedouro das hidrelétricas, como apresentado por Fearnside em diversos artigos (Fearnside, 1997; Fearnside, 2002; Fearnside, 2004), neste trabalho o cálculo do valor do dano decorrente do efeito estufa, restringiu-se à área do reservatório. Este era um dado que poderia ser extrapolado a todas as hidrelétricas, enquanto os dados de emissões no vertedouro se concentram em hidrelétricas na Amazônia, com destaque para Tucuruí.

Na composição final dos danos, a perda dos recursos não-madeireiros, como frutos (açai, castanha e babaçu, por exemplo), extração de casca ou produtos associados a resinas das árvores (como a borracha, por exemplo), artesanato de produtos da floresta (sementes, fibras, etc.), podendo até incluir o valor da preservação de espécies de animais com risco de extinção, o que não foi realizado neste estudo, em algumas hidrelétricas estudadas pode ser equiparada à emissão de gases de efeito estufa.

Este fato se deve à relevância relativa do dano sobre os produtos não-madeireiros. De acordo com Grimes (1994) e Godoy (1992), existe um potencial de rentabilidade muito alto de produtos não-madeireiros, superior até à extração da madeira ou mesmo pecuária. No trabalho de Grimes (1994) foram comparados valores de rendimento por hectare (valor presente) de diversos usos da terra para a região amazônica (extração de madeira – US\$ 188/ha, agricultura - < US\$ 500 ha; e pecuária – US\$ 57-287) por 40 anos.

---

<sup>2</sup> São realizados estudos para avaliar a dimensão necessária de desmatamento para garantir uma boa qualidade de água do futuro reservatório, através de modelos matemáticos específicos. Neste estudo, entende-se que, tanto o desmatamento, quanto à submersão da vegetação natural representa um dano ambiental a ser quantificado.

Estes resultados mostram que o potencial de extração de produtos não-madeireiros (de US\$ 2,830 a US\$ 1,257 por hectare) é superior aos demais usos. É importante salientar que a exploração de recursos não-madeireiros da floresta mantém em grande parte a própria floresta em pé, o que representa outros ganhos.

De acordo com Andersen (1997), o valor total da floresta amazônica (US\$ 18,000/ha a 2% aa) não supera os ganhos do processo da devastação da mata, que se inicia com o corte e venda da madeira, queima da mata para formação de cultivo anual, passando a cultivo perene. Esta seqüência de usos da terra representa um valor presente de US\$ 24,000/ha. Infere-se, segundo este autor (op.cit.), que o processo de corte da floresta é desencadeado pelo maior retorno financeiro do processo de utilização da floresta para outros fins (madeira, pastagem e cultivo). Entretanto, os resultados dos danos ambientais de hidrelétricas mostram uma outra realidade. Os danos superam em muito (chegando a aproximadamente US\$ 115,000/ha) o valor presente do ciclo econômico descrito acima.

Os demais danos ambientais analisados, tais como ciclo hidrológico, biodiversidade e novas drogas, possuem valores monetários significativamente menores que os aspectos já mencionados.

#### **IV.2.1 Usinas com Potência Instalada acima de 1000MW**

Os valores dos danos ambientais para as hidrelétricas com potência instalada acima de 1000 MW são apresentados nas Tabelas IV.2.1 a IV.2.4. Para Itaipu e Porto Primavera, o dano de maior expressão é representado pela perda de recursos madeireiros, seguido de danos sobre os recursos não-madeireiros, pois a área de vegetação natural com características de floresta primária é relativamente grande. Por outro lado, para Tucuruí, mesmo tendo o valor total do dano superior às outras duas hidrelétricas supra citadas, comparativamente, o dano sobre os recursos madeireiros (58%) não é tão expressivo quando comparado aos outros danos. Além disso, grandes hidrelétricas, dependendo da região onde estão localizadas e das características da vegetação natural, representam uma importante fonte de emissões de gases de efeito estufa (WCD,2000).

A título de ilustração, segundo Fearnside (2002), para o ano de 1991, calculou-se a emissão de 785 x 10<sup>3</sup> t de gás metano presente na água turbinada da UHE Tucuruí, o que representaria, com o valor atual do mercado de carbono, o montante de aproximadamente US\$ 350 milhões a mais por ano. Por sua vez, a hidrelétrica de Estreito apresenta a distribuição de danos, em termos relativos, mais próximo a de Tucuruí, sendo o principal dano a perda dos recursos madeireiros seguido de emissões de gases do efeito estufa.

Fazendo-se uma análise - sob o ponto de vista da distribuição relativa dos danos ambientais destas hidrelétricas (acima de 1000MW), sob a influência das diferentes taxas de desconto - observa-se que, quando há uma redução na importância relativa dos valores dos recursos naturais, existe um correspondente aumento da importância dos recursos madeireiros em todas as hidrelétricas. Em contrapartida, reduz-se a influência no valor total do dano dos aspectos de recursos não-madeireiros e emissões de gases de efeito estufa. O gradiente de importância relativo dos recursos madeireiros se assenta sobre a condição definida no estudo, qual seja, a perda dos recursos madeireiros se dá no início do funcionamento deste tipo de empreendimento, não sendo influenciado pela taxa de descontos. Caso seja computado apenas o valor do dano ambiental representado pela perda de recursos madeireiros sustentáveis, há uma manutenção da representação relativa dos danos em função da taxa de descontos.

É importante salientar que os recursos madeireiros poderiam ser computados pela empresa que está construindo a usina, reduzindo os custos de desmatamento. Entretanto, nos diversos trabalhos levantados e, principalmente, nos estudos de caso, a remoção da vegetação natural - visando manter a qualidade da água do reservatório - era computado como custo socioambiental, entrando na conta 10 (mencionada anteriormente) do manual da ELETROBRÁS. A título de exemplo, na implantação da UHE Tucuruí, foi desmatada uma área de 400 km<sup>2</sup>, dentro de 2430 km<sup>2</sup> de reservatório. Esta área representa apenas 16% do total do reservatório. À época, estimou-se em 55.000.000 toneladas de fitomassa afogada (Eletrobrás, 2000). Se esta fitomassa fosse contabilizada como receita para o empreendedor, supondo que toda esta fitomassa fosse madeira que tivesse um valor de mercado, teriam sido afogados cerca de US\$12,4 bilhões de dólares.

Na maioria dos trabalhos analisados, o aproveitamento do recurso madeireiro não é computado como uma redução de custos para o empreendedor. Há sim a despesa em contratar uma empresa especializada para a remoção da vegetação natural. Entretanto, existem casos onde foi realizado um acordo entre o empreendedor e os proprietários das terras, permitindo a exploração da madeira como parte da indenização pelas terras a serem desocupadas.

**Tabela IV.2.1 Valor Presente Líquido dos danos ambientais da UHE Itaipu com diferentes taxas de descontos (2, 6 e 12% aa)**

ASPECTO	2%	%	6%	%	12%	%
Recursos Madeireiros	6.666.848.891,08	90%	6.523.204.575,81	95%	6.454.808.132,00	97%
Recursos Não-Madeireiros	504.895.268,05	7%	261.013.045,46	4%	144.888.180,35	2%
Ciclo Hidrológico	75.991.441,83	1%	39.284.895,14	1%	21.807.021,03	0%
Biodiversidade	49.446.452,92	1%	25.562.072,14	0%	14.189.490,46	0%
Emissões de Carbono	24.190.399,21	0%	12.505.583,17	0%	6.941.841,50	0%
Novas Drogas	58.630.714,89	1%	30.310.011,64	0%	16.825.068,74	0%
<b>Total</b>	<b>7.380.003.167,97</b>		<b>6.891.880.183,35</b>		<b>6.659.459.734,08</b>	

Fonte: Elaboração própria – Vide Anexo I

**Tabela IV.2.2 Valores monetários dos danos ambientais da UHE Porto Primavera**

ASPECTO	2%	%	6%	%	12%	%
Recursos Madeireiros	14.057.657.179,39	87%	13.763.612.187,84	93%	13.623.602.249,37	96%
Recursos Não-Madeireiros	1.133.183.879,63	7%	585.816.097,32	4%	325.186.153,87	2%
Ciclo Hidrológico	138.207.851,19	1%	71.448.584,35	0%	39.661.065,05	0%
Biodiversidade	89.978.385,57	1%	46.515.651,72	0%	25.820.809,54	0%
Emissões de Carbono	626.518.513,80	4%	323.887.973,75	2%	179.790.014,22	1%
Novas Drogas	106.698.828,00	1%	55.159.530,71	0%	30.619.021,43	0%
<b>Total</b>	<b>16.152.244.637,58</b>		<b>14.846.440.025,69</b>		<b>14.224.679.313,49</b>	

Fonte: Elaboração própria – Vide Anexo I

**Tabela IV.2.3 Valores monetários dos danos ambientais da UHE Tucuruí**

ASPECTO	2%	%	6%	%	12%	%
Recursos Madeireiros	17.798.974.558,27	58%	17.520.505.751,87	73%	17.387.912.435,98	83%
Recursos Não-Madeireiros	5.541.788.652,98	18%	2.864.909.269,57	12%	1.590.309.366,38	8%
Ciclo Hidrológico	202.909.195,33	1%	104.896.897,19	0%	58.228.202,86	0%
Biodiversidade	132.071.073,89	0%	68.276.086,93	0%	37.900.013,69	0%
Emissões de Carbono	6.616.487.878,04	22%	3.420.490.863,29	14%	1.898.712.365,97	9%
Novas Drogas	156.606.016,47	1%	80.959.786,87	0%	44.940.727,70	0%
<b>Total</b>	<b>30.448.837.374,99</b>		<b>24.060.038.655,72</b>		<b>21.018.003.112,58</b>	

Fonte: Elaboração própria – Vide Anexo I

**Tabela IV.2.4 Valores monetários dos danos ambientais da UHE Estreito**

ASPECTO	2%	%	6%	%	12%	%
Recursos Madeireiros	4.339.982.581,21	68%	4.251.621.249,09	80%	4.209.547.875,87	88%
Recursos Não-Madeireiros	511.238.823,98	8%	264.292.440,13	5%	146.708.570,31	3%
Ciclo Hidrológico	39.816.853,69	1%	20.583.908,98	0%	11.426.115,17	0%
Biodiversidade	25.859.123,94	0%	13.368.255,00	0%	7.420.710,10	0%
Emissões de Carbono	1.463.734.172,46	23%	756.698.939,90	14%	420.043.114,26	9%
Novas Drogas	30.732.357,54	0%	15.887.544,89	0%	8.819.166,36	0%
<b>Total</b>	<b>6.411.363.912,82</b>		<b>5.322.452.337,99</b>		<b>4.803.965.552,05</b>	

Fonte: Elaboração própria – Vide Anexo I

#### IV.2.2 Usinas com Potência Instalada entre 100 e 1000 MW

Os casos estudados na faixa de potência instalada entre 100 a 1000 MW (Tabelas IV.2.5 a IV.2.7) possuem características bastante distintas, tanto em termos de localização e da concepção, refletindo nos valores absolutos dos danos ambientais e no peso relativo de cada dano. Observa-se que para a UHE Samuel o peso maior se concentra nos danos sobre os recursos madeireiros (72%, 83% e 90%) e não-madeireiros (21%, 13% e 8%), nos valores presentes líquidos para as diferentes taxas de desconto (2%, 6% e 12%, respectivamente), enquanto para os demais empreendimentos as emissões de gases de efeito estufa representam o segundo maior dano. Da mesma forma que as usinas maiores de 1000 MW, os danos sobre o ciclo hidrológico, biodiversidade e novas drogas possuem pouco peso relativo.

**Tabela IV.2.5 Valores monetários dos danos ambientais da UHE Samuel**

ASPECTO	2%	%	6%	%	12%	%
Recursos Madeireiros	5.093.666.204,41	72%	5.015.598.017,47	83%	4.978.425.739,88	90%
Recursos Não-Madeireiros	1.474.942.246,60	21%	762.493.118,91	13%	423.259.459,45	8%
Ciclo Hidrológico	57.627.471,78	1%	29.791.370,34	0%	16.537.171,28	0%
Biodiversidade	37.509.005,30	1%	19.390.832,76	0%	10.763.839,29	0%
Emissões de Carbono	350.696.659,74	5%	181.297.803,69	3%	100.638.298,87	2%
Novas Drogas	44.477.081,38	1%	22.993.082,33	0%	12.763.445,80	0%
<b>Total</b>	<b>7.058.918.669,21</b>		<b>6.031.564.225,50</b>		<b>5.542.387.954,57</b>	

Fonte: Elaboração própria – Vide Anexo I

**Tabela IV.2.6 Valores monetários dos danos ambientais da AHE Salto**

ASPECTO	2%	%	6%	%	12%	%
Recursos Madeireiros	169.825.538,88	44%	166.010.184,18	60%	164.193.497,65	73%
Recursos Não-Madeireiros	66.524.373,45	17%	34.390.754,70	12%	19.090.286,69	8%
Ciclo Hidrológico	1.675.859,13	0%	866.360,06	0%	480.915,94	0%
Biodiversidade	1.090.585,43	0%	563.794,20	0%	312.961,81	0%
Emissões de Carbono	152.253.266,10	39%	78.709.568,46	28%	43.691.632,85	19%
Novas Drogas	1.293.713,16	0%	668.804,07	0%	371.252,73	0%
<b>Total</b>	<b>392.663.336,14</b>		<b>281.209.465,67</b>		<b>228.140.547,67</b>	

Fonte: Elaboração própria – Vide Anexo I

**Tabela IV.2.7 Valores monetários dos danos ambientais da AHE Salto dos Pilões**

ASPECTO	2%	%	6%	%	12%	%
Recursos Madeireiros	662.338,45	79%	649.595,11	88%	643.527,35	93%
Recursos Não-Madeireiros	41.780,38	5%	21.598,98	3%	11.989,58	2%
Ciclo Hidrológico	6.491,85	1%	3.356,06	0%	1.862,95	0%
Biodiversidade	4.226,61	1%	2.185,01	0%	1.212,90	0%
Emissões de Carbono	116.130,01	14%	60.035,12	8%	33.325,46	5%
Novas Drogas	5.011,62	1%	2.590,83	0%	1.438,17	0%
<b>Total</b>	<b>835.978,92</b>		<b>739.361,11</b>		<b>693.356,41</b>	

Fonte: Elaboração própria – Vide Anexo I

### IV.2.3 Usinas com Potência Instalada entre 30 e 100MW

Para as hidrelétricas na faixa de 30 a 100 MW (Tabelas IV.2.8 a IV.2.13), como a maioria estão localizadas em uma mesma região geográfica, os valores monetários dos danos estão diretamente associados às condições ambientais locais e das características do reservatório, isto é, a presença ou não de vegetação natural e a área de inundação. Neste sentido, os maiores danos são representados pelos recursos madeireiros, porém não de forma expressiva como nos demais casos, e das emissões de gases de efeito estufa. No caso da AHE Caçu, o valor presente líquido, com taxa de desconto de 2%, do dano sobre os recursos madeireiros equivale ao de emissão de gases de efeito estufa.

Tabela IV.2.8 Valores monetários dos danos ambientais da AHE Caçu

ASPECTO	2%	%	6%	%	12%	%
Recursos Madeireiros	31.711.946,16	44%	30.587.499,35	59%	30.052.092,41	72%
Recursos Não-Madeireiros	7.535.826,68	10%	3.895.756,60	8%	2.162.532,08	5%
Ciclo Hidrológico	309.095,40	0%	159.791,42	0%	88.700,12	0%
Biodiversidade	201.155,55	0%	103.990,32	0%	57.724,96	0%
Emissões de Carbono	32.221.797,85	45%	16.657.533,00	32%	9.246.586,28	22%
Novas Drogas	238.715,75	0%	123.407,62	0%	68.503,49	0%
<b>Total</b>	<b>72.218.537,37</b>		<b>51.527.978,30</b>		<b>41.676.139,35</b>	

Fonte: Elaboração própria – Vide Anexo I

Tabela IV.2.9 Valores monetários dos danos ambientais da AHE Barra dos Coqueiros

ASPECTO	2%	%	6%	%	12%	%
Recursos Madeireiros	95.860.173,92	59%	93.403.061,38	73%	92.233.103,77	83%
Recursos Não-Madeireiros	16.297.171,88	10%	8.425.063,04	7%	4.676.747,29	4%
Ciclo Hidrológico	940.979,37	1%	486.453,15	0%	270.029,84	0%
Biodiversidade	612.307,27	0%	316.541,26	0%	175.711,86	0%
Emissões de Carbono	48.974.832,54	30%	25.318.261,04	20%	14.054.151,07	13%
Novas Drogas	726.479,71	0%	375.564,39	0%	208.475,56	0%
<b>Total</b>	<b>163.411.944,69</b>		<b>128.324.944,25</b>		<b>111.618.219,38</b>	

Fonte: Elaboração própria – Vide Anexo I

Tabela IV.2.10 Valores monetários dos danos ambientais da AHE Salto do Rio Verdinho

ASPECTO	2%	%	6%	%	12%	%
Recursos Madeireiros	125.266.608,44	58%	122.036.722,07	72%	120.498.807,11	82%
Recursos Não-Madeireiros	17.012.145,94	8%	8.794.679,42	5%	4.881.921,11	3%
Ciclo Hidrológico	2.039.320,65	1%	1.054.256,85	1%	585.217,32	0%
Biodiversidade	1.327.265,46	1%	686.149,43	0%	380.881,13	0%
Emissões de Carbono	70.059.887,65	32%	36.218.490,84	21%	20.104.861,90	14%
Novas Drogas	1.574.099,46	1%	813.753,90	0%	451.714,29	0%
<b>Total</b>	<b>217.279.327,60</b>		<b>169.604.052,50</b>		<b>146.903.402,86</b>	

Fonte: Elaboração própria – Vide Anexo I

Tabela IV.2.11 Valores monetários dos danos ambientais da AHE Olho D'água

ASPECTO	2%	%	6%	%	12%	%
Recursos Madeireiros	90.574.633,18	52%	88.310.339,87	68%	87.232.193,40	79%
Recursos Não- Madeireiros	14.674.975,16	9%	7.586.444,56	6%	4.211.230,69	4%
Ciclo Hidrológico	901.733,13	1%	466.164,23	0%	258.767,47	0%
Biodiversidade	586.782,55	0%	303.345,88	0%	168.387,11	0%
Emissões de Carbono	65.171.988,51	38%	33.691.619,38	26%	18.702.197,11	17%
Novas Drogas	696.162,20	0%	359.891,30	0%	199.775,44	0%
<b>Total</b>	<b>172.606.274,73</b>		<b>130.717.805,22</b>		<b>110.772.551,23</b>	

Fonte: Elaboração própria – Vide Anexo I

Tabela IV.2.12 Valores monetários dos danos ambientais da AHE Itumirim

ASPECTO	2%	%	6%	%	12%	%
Recursos Madeireiros	206.437.916,50	60%	201.280.559,34	74%	198.824.876,43	83%
Recursos Não-Madeireiros	22.736.175,37	7%	11.753.800,74	4%	6.524.527,53	3%
Ciclo Hidrológico	4.028.399,30	1%	2.082.540,35	1%	1.156.016,86	0%
Biodiversidade	2.621.435,77	1%	1.355.189,83	0%	752.265,04	0%
Emissões de Carbono	104.658.546,25	30%	54.104.777,01	20%	30.033.528,31	13%
Novas Drogas	3.109.210,80	1%	1.607.352,32	1%	892.240,28	0%
<b>Total</b>	<b>343.591.684,01</b>		<b>272.184.219,60</b>		<b>238.183.454,46</b>	

Fonte: Elaboração própria

Tabela IV.2.13 Valores monetários dos danos ambientais da UHE Ourinhos

ASPECTO	2%	%	6%	%	12%	%
Recursos Madeireiros	7.177.139,50	49%	6.833.690,45	63%	6.670.156,70	75%
Recursos Não-Madeireiros	2.219.538,43	15%	1.147.423,08	11%	636.933,84	7%
Ciclo Hidrológico	172.648,78	1%	89.253,33	1%	49.544,47	1%
Biodiversidade	112.305,72	1%	58.058,09	1%	32.228,01	0%
Emissões de Carbono	4.968.815,38	34%	2.568.702,30	24%	1.425.885,06	16%
Novas Drogas	133.215,80	1%	68.867,87	1%	38.228,51	0%
<b>Total</b>	<b>14.783.663,61</b>		<b>10.765.995,13</b>		<b>8.852.976,60</b>	

Fonte: Elaboração própria – Vide Anexo I

#### IV.2.4 Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH's)

As Tabelas IV.2.14 a IV.2.15 apresentam o valor do dano ambiental para as PCH's estudadas. Na comparação entre as tabelas, pode ser observado que o valor total para a UHE Calheiros é relativamente baixo em comparação com as demais usinas. Por outro lado, em termos comparativos, quanto à distribuição relativa de danos ambientais, há similaridade entre as usinas hidrelétricas, principalmente, se levarmos em conta a localização geográfica. Para a AHE Ponte de Pedra, o valor do dano dos recursos madeireiros é relativamente maior que a outra hidrelétrica em função da vegetação a ser afetada pelo reservatório. Quanto às emissões de gases de efeito estufa, nos dois casos, estes representam o segundo maior dano ambiental.

**Tabela IV.2.14 Valores monetários dos danos ambientais da AHE Ponte de Pedra**

ASPECTO	2%	%	6%	%	12%	%
Recursos Madeireiros	8.331.152,82	71%	8.194.147,00	82%	8.128.911,49	89%
Recursos Não-Madeireiros	647.301,63	5%	334.632,11	3%	185.754,08	2%
Ciclo Hidrológico	78.812,06	1%	40.743,05	0%	22.616,44	0%
Biodiversidade	51.222,81	0%	26.480,39	0%	14.699,25	0%
Emissões de Carbono	2.619.602,20	22%	1.354.241,94	14%	751.738,86	8%
Novas Drogas	60.833,17	1%	31.448,60	0%	17.457,10	0%
<b>Total</b>	<b>11.788.924,68</b>		<b>9.981.693,10</b>		<b>9.121.177,23</b>	

Fonte: Elaboração própria – Vide Anexo I

**Tabela IV.2.15 Valores monetários dos danos ambientais da UHE Calheiros**

ASPECTO	2%	%	6%	%	12%	%
Recursos Madeireiros	389.295,36	43%	367.039,40	58%	356.442,19	71%
Recursos Não-Madeireiros	178.890,63	20%	92.480,15	15%	51.335,67	10%
Ciclo Hidrológico	4.080,51	0%	2.109,48	0%	1.170,97	0%
Biodiversidade	2.654,33	0%	1.372,19	0%	761,70	0%
Emissões de Carbono	326.615,66	36%	168.848,77	27%	93.727,85	19%
Novas Drogas	3.152,81	0%	1.629,89	0%	904,75	0%
<b>Total</b>	<b>904.689,30</b>		<b>633.479,88</b>		<b>504.343,14</b>	

Fonte: Elaboração própria – Vide Anexo I

#### IV.2.5 Valores Totais de Dano Ambiental por Usina Estudada

Em resumo, pode-se verificar através da análise dos valores totais dos danos ambientais (Tabela IV.2.16) dos diversos estudos de caso que estes apresentam tendências, em termos de porte do empreendimento, do tipo de vegetação afetada e a localização geográfica, que serão melhor exploradas quando da análise comparativa em termos de potência instalada e de área de reservatório ou mesmo de um índice composto por estas duas características. Para efeito comparativo, é importante associar o valor do dano ambiental com as características do aproveitamento hidrelétrico, como será apresentado neste capítulo.

**Tabela V.2.16. Valores monetários (em US\$) dos Danos Ambientais das Usinas Hidrelétricas estudadas (VPL em 50 anos)**

HIDRELÉTRICA	Taxa de Descontos		
	2%	6%	12%
<b>Acima de 1000MW</b>			
Itaipu	7.380.003.167,97	6.891.880.183,35	6.659.459.734,08
Porto Primavera	16.152.244.637,58	14.846.440.025,69	14.224.679.313,49
Tucuruí	30.448.837.374,99	24.060.038.655,72	21.018.003.112,58
Estreito	6.411.363.912,82	5.322.452.337,99	4.803.965.552,05
<b>100 a 1000 MW</b>			
Samuel	7.058.918.669,21	6.031.564.225,50	5.542.387.954,57
Salto	392.663.336,14	281.209.465,67 05	228.140.547,67
Salto dos Pilões	835.978,92	739.361,11	693.356,41
<b>30 a 100 MW</b>			
Caçu	72.218.537,37	51.527.978,30	41.676.139,35
Barra dos Coqueiros	163.411.944,69	128.324.944,25	111.618.219,38
Salto do Rio Verdinho	217.279.327,60	169.604.052,50	146.903.402,86
Olho D'água	172.606.274,73	130.717.805,22	110.772.551,23
Itumirim	343.591.684,01	272.184.219,60	238.183.454,46
Ourinhos	14.783.663,61	10.765.995,13	8.852.976,60
<b>PCH</b>			
Ponte de Pedra	11.788.924,68	9.981.693,10	9.121.177,23
Calheiros	904.689,30	633.479,88	504.343,14

Fonte: Elaboração própria – Vide Anexo I

### IV.3 VALOR EMERGÉTICO DOS DANOS AMBIENTAIS POR HIDRELÉTRICA

O valor eMergético dos danos ambientais se concentrou, essencialmente, em três aspectos:

(a) biomassa, representada pela densidade em termos de volume de biomassa por área para cada segmento de vegetação natural a ser afetada pela formação do reservatório da hidrelétrica; (b) a contribuição ambiental da vegetação natural para o ciclo hidrológico, representado pela quantidade de água que é permeada pela floresta, alimentando o lençol freático que, por sua vez, contribui para a vazão do rio; e (c) a biodiversidade, calculada através da produtividade primária do ecossistema, ou seja, partindo do conceito de quanto maior a diversidade biológica existente em um ecossistema, maior será a sua produtividade primária bruta, e maior será a entrada de energia via fotossíntese, conforme os princípios enunciados por Lotka inicialmente, e reformulado por Margalef, Wilson e Odum, mencionados no capítulo anterior.

Um outro aspecto valorado é a energia química do rio (primeira coluna da Tabela IV.3.1), que não foi incorporado no valor eMergético total dos danos ambientais (última coluna da Tabela IV.3.1). A contribuição da energia química do rio é calculada pela vazão média do rio associada à energia livre de Gibbs. A energia química da água do rio representa a sua contribuição no processo de transpiração e fotossíntese das plantas. É importante observar que a água, em sua característica química, proporciona as condições necessárias para a produtividade da vegetação, uma vez que atua na transformação do gás carbônico em biomassa, tendo como fonte de energia a radiação solar, e na liberação de oxigênio (Odum, H. 1996).

A variação de vazão de um rio, ao longo de seu ciclo hidrológico anual, representa um aporte de recursos, não computados pela economia, que contribui para a produção florestal, o transporte de minerais, que fertiliza os solos, a depuração e diluição de poluentes (Odum, H. 2001).

De acordo com os resultados, o valor encontrado para a energia química do rio representa a maior contribuição de energia para o sistema. Entretanto, estes valores podem variar de projeto a projeto e dependendo das características operacionais da hidrelétrica. Por exemplo, se for a “fio d’água”, teoricamente não existiria dano com relação à energia química do rio.

De modo geral, o dano representado pela perda da biomassa da vegetação natural é o maior dano ambiental ao longo de 50 anos de vida útil definido para estes estudos de caso. A biodiversidade representa aproximadamente metade do dano ambiental da biomassa, enquanto os serviços ambientais da vegetação natural a ser submersa pela formação do reservatório correspondem a um dano de menor monta, em comparação aos outros valores.

Os resultados da avaliação eMergética dos estudos de caso são apresentados na Tabela IV.3.1 a seguir. Os valores são expressos em Solar emJoule multiplicado pelo fator  $10^{20}$ . Como pode ser observado, existe uma proporcionalidade entre os valores obtidos para cada hidrelétrica e o potencial energético instalado, à exceção das hidrelétricas situadas na faixa entre 100 a 1000 MW. Em tópico específico são analisadas as relações entre o dano ambiental por potência instalada e a por área do reservatório, como realizado para a avaliação econômica.

**Tabela IV.3.1 Valores eMergéticos (em SeJ) dos Danos Ambientais das Usinas Hidrelétricas estudadas (vida útil de 50 anos)**

<b>HIDRELÉTRICA</b>	<b>Energia química do rio (SeJ x 10<sup>20</sup>)</b>	<b>Biomassa (SeJ x 10<sup>20</sup>)</b>	<b>Serviços ambientais – água (SeJ x 10<sup>20</sup>)</b>	<b>Biodiversidade (SeJ x 10<sup>20</sup>)</b>	<b>Total (SeJ x 10<sup>20</sup>)</b>
<b>Acima de 1000MW</b>					
Itaipu	378.313,82	785,72	0,01	524,74	<b>1.310,46</b>
Porto Primavera	268.808,60	1.846,13	0,02	1.296,90	<b>3.143,03</b>
Tucuruí	347.578,00	2.374,40	0,02	1.315,47	<b>3689,91</b>
Estreito	162.313,80	573,31	0,01	298,14	<b>871,45</b>
<b>100 a 1000 MW</b>					
Samuel	188.737,00	679,96	0,01	373,60	<b>1.053,56</b>
Salto	6.481,23	22,14	0,00	17,54	<b>39,69</b>
Salto dos Pilões	4.084,27	0,09	0,00	0,06	<b>0,15</b>
<b>30 a 100 MW</b>					
Caçu	8.228,93	3,97	0,00	5,09	<b>9,06</b>
Barra dos Coqueiros	8.644,15	12,39	0,00	11,62	<b>24,01</b>
Salto do Rio Verdinho	7.028,56	16,24	0,00	16,40	<b>32,63</b>
Olho D'água	1.362,68	11,67	0,00	10,18	<b>21,84</b>
Itumirim	1.027,48	26,91	0,00	27,55	<b>54,46</b>
Ourinhos	12.041,40	0,85	0,00	0,36	<b>1,21</b>
<b>PCH</b>					
Ponte de Pedra	5.960,31	1,11	0,00	0,67	<b>1,77</b>
Calheiros	1.280,01	0,04	0,00	0,08	<b>0,12</b>

Fonte: Elaboração própria – Vide Anexo II

#### **IV.4 DISCUSSÃO SOBRE OS RESULTADOS DOS VALORES MONETÁRIOS DOS DANOS AMBIENTAIS DAS USINAS HIDRELÉTRICAS ESTUDADAS**

Para avaliar hidrelétricas distintas, que possuem diferentes características como localização, tipo de barramento, área de reservatório, uso e ocupação do solo do entorno, regime fluvial, entre outros aspectos, foram aplicadas razões que permitissem uma comparação relativa. Estas razões se basearam em dois aspectos fundamentais para a caracterização de uma usina hidrelétrica: a área do reservatório e a potência instalada. Normalmente, aplica-se a razão área de reservatório por potência instalada para caracterizar a usina hidrelétrica. Quanto menor esta relação, há necessidade de uma menor área relativa de reservação de água para a geração de um kW de energia. Neste trabalho, utilizou-se da relação dano por área do reservatório e dano por potência instalada para uniformizar as unidades de análise e poder comparar os estudos de caso selecionados.

##### **IV.4.1 Avaliação dos Danos Monetários - Relação entre Danos Ambientais e Área do Reservatório (US\$/ha)**

Os resultados da relação entre valor do dano ambiental por área do reservatório permitem fazer uma primeira análise comparativa entre os estudos de caso selecionados, como mostra a Tabela IV.4.1.

Dentro deste contexto, e olhando especialmente o resultado da avaliação de VPL (valor presente líquido) com taxa de desconto de 2%, que corresponde a um valor maior dado para o recurso ao longo dos 50 anos de vida útil, ou seja, maior peso relativo para as futuras gerações, notam-se três níveis de relação de dano por área de reservatório: (a) o primeiro numa faixa acima de US\$ 100 mil/ha, onde se encontram as usinas de Tucuruí, Estreito, Samuel e Ponte de Pedra; (b) na faixa entre US\$ 40 a 72 mil/ha, onde a maioria das usinas se encontra; e (c) a faixa abaixo de US\$ 40 mil/ha onde somente as usinas Ourinhos e Calheiros estão presentes.

Se examinarmos o valor total do dano ambiental por área do reservatório, na avaliação de 12% aa, as faixas de valores reduzem, mas não alteram a distribuição das hidrelétricas. É possível classificá-las em faixas de: (a) acima de US\$ 77 mil/ha; (b) entre US\$ 20 a 70 mil/ha; (c) abaixo de US\$ 20 mil/ha.

Tabela IV.4.1 Classificação das usinas com relação aos Danos Ambientais por Área do Reservatório (US\$/ha )

HIDRELÉTRICA	Taxas de Desconto		
	2%	6%	12%
<b>FAIXA (a)</b>			
Tucuruí	125.303,86	99.012,50	86.493,84
Estreito	108.667,18	90.211,06	81.423,14
Samuel	126.277,61	107.899,18	99.148,26
Ponte de Pedra	100.760,04	85.313,62	77.958,78
<b>FAIXA (b)</b>			
Itaipu	54.666,69	51.050,96	49.329,33
Porto Primavera	71.787,75	65.984,18	63.220,80
Salto	49.435,14	35.403,43	28.722,21
Salto dos Pilões	52.248,68	46.210,07	43.334,78
Caçu	42.961,65	30.653,17	24.792,47
Barra dos Coqueiros	63.957,71	50.225,03	43.686,19
Salto do Rio Verdinho	59.447,15	46.403,30	40.192,45
Olho D'água	50.766,55	38.446,41	32.580,16
Itumirim	62.928,88	49.850,59	43.623,34
<b>FAIXA (c)</b>			
Ourinhos	32.563,14	23.713,65	19.499,95
Calheiros	20.104,21	14.077,33	11.207,63

Fonte: Elaboração própria.

Quando se efetua a média por faixa, conforme apresentado na Tabela IV.4.2, verifica-se que é possível classificar em grupos de hidrelétricas.

Tabela IV.4.2 Média e desvio padrão das faixas das usinas com relação aos Danos Ambientais por Área do Reservatório (US\$/ha )

CARACTERÍSTICAS	Taxas de Desconto		
	2%	6%	12%
Faixa a	115.252,17	95.609,09	86.256,01
Desvio	(12.596,04)	(9.962,68)	(9.282,01)
Faixa b	56.466,69	46.025,24	41.053,53
Desvio	(8.851,87)	(10.384,05)	(11.552,27)
Faixa c	26.333,68	18.895,49	15.353,79
Desvio	(8.809,79)	(6.813,91)	(5.863,56)

Fonte: Elaboração própria

A análise de variância (ANOVA) foi realizada para avaliar se existia diferença significativa entre estas três faixas de usinas hidrelétricas (para a relação de dano por área) para as três taxas de desconto adotadas. Com base no resultado obtido, mesmo tendo o conhecimento de que a amostra é pequena, a ANOVA mostrou que existe diferença significativa ( $P \leq 0,05$ )<sup>3</sup> entre as faixas (a), (b) e (c): **P = 2,59E-07 para 2%, P = 1,63E-06 para 6% e P = 7,441E-06 para 12%.**

Quando são analisados os empreendimentos com base nestas faixas de dano por área de reservatório, conforme apresentado na Tabela V.4.1, verifica-se claramente que existe alguma característica que determina o agrupamento realizado das hidrelétricas: as situadas na faixa (a) possuem predominância em termos de bioma (Amazônia); as na faixa (c) são usinas de pequeno porte ou geram pouca energia; sendo que as demais não possuem características específicas para distingui-las entre si. Um outro fator que pode contribuir para a dimensão relativa do dano é a relação histórica, ou seja, empreendimentos mais antigos tendem a apresentar um maior dano relativo.

#### **IV.4.2 Avaliação dos Danos Monetários - Relação entre Danos Ambientais e Potência Instalada (US\$/kW)**

Existe uma grande variação de valores econômicos da relação entre dano ambiental e potência instalada em kW, muito superior ao encontrado na relação de dano por área de reservatório. Os valores variam desde alguns dólares (US\$ 7.40/kW para a usina Salto dos Pilões) até milhares de dólares, como no caso da usina de Samuel (US\$ 32,232.1/kW), mostrado na Tabela IV.4.3 a seguir.

Se analisarmos as hidrelétricas com base na potência instalada para as diferentes taxas de juros, não encontraremos diferença significativa entre elas, ou seja, de acordo com o resultado da ANOVA não se pode agrupar as usinas hidrelétricas estudadas por faixa de potência e que este tipo de agrupamento resulta em características distintas dentre elas. O resultado da ANOVA para a taxa de 2% foi de  $F=1,197$  e  $P=0,35$ , para a taxa de 6% foi  $F= 1,170$  e  $P=0,37$  e para a taxa de 12% encontrou-se  $F= 1,1530$  e  $P=0,37$ . Todos os valores foram superiores a  $P \geq 0,05$ , rejeitando a hipótese de serem grupos distintos.

---

<sup>3</sup> Nível de significância estatístico. Para  $P \leq 0,05$ , existe diferença significativa entre as médias ( $H_0$  não é verdadeira). Para  $P \geq 0,05$ , não existe diferença significativa entre as médias ( $H_0$  é verdadeira).

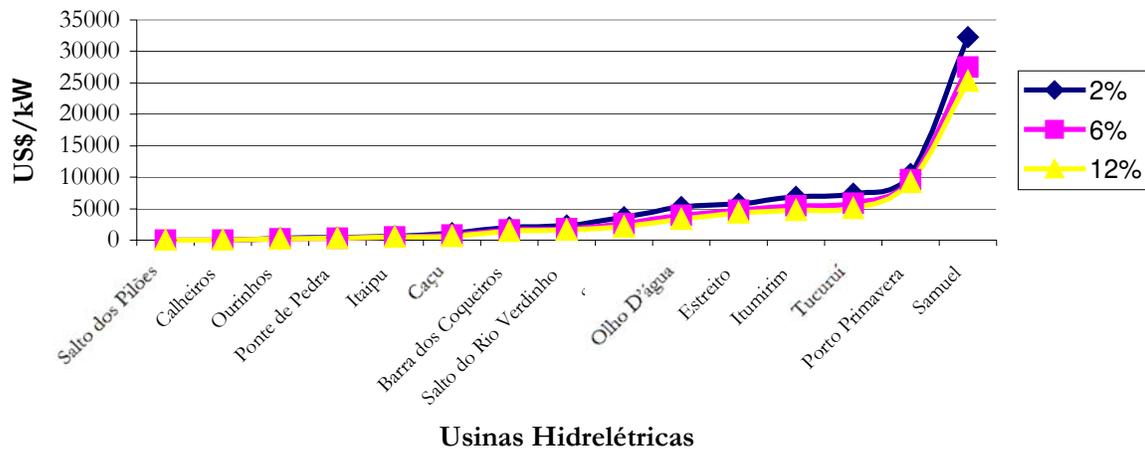
**Tabela IV.4.3 Relação entre Danos Ambientais e Potência Instalada (US\$/kW)**

HIDRELÉTRICA	Taxas de Desconto		
	2%	6%	12%
<b>Acima de 1000MW</b>			
Itaipu	585,71	546,97	528,53
Porto Primavera	10.488,47	9.640,55	9.236,80
Tucuruí	7.381,54	5.832,74	5.095,27
Estreito	5.781,21	4.799,33	4.331,80
<b>100 a 1000 MW</b>			
Samuel	32.232,51	27.541,39	25.307,71
Salto	3.669,75	2.628,13	2.132,15
Salto dos Pilões	7,40	6,54	6,14
<b>30 a 100 MW</b>			
Caçu	1.111,05	792,74	641,17
Barra dos Coqueiros	2.042,65	1.604,06	1.395,23
Salto do Rio Verdinho	2.336,34	1.823,70	1.579,61
Olho D'água	5.230,49	3.961,15	3.356,74
Ourinhos	345,41	251,54	206,85
Itumirim	6.871,83	5.443,68	4.763,67
<b>PCH</b>			
Ponte de Pedra	392,96	332,72	304,04
Calheiros	46,18	32,34	25,74

Fonte: Elaboração própria.

Entretanto, a Figura V.4.1 mostra que existe um gradiente entre as hidrelétricas com relação a este parâmetro (dano por potência instalada). Poder-se-ia agrupar preliminarmente as hidrelétricas em quatro faixas: (a) a primeira até o valor de US\$ 50.00/kW, onde ficariam as usinas de Salto dos Pilões, Calheiros, (b) a segunda faixa que teria valores entre US\$ 200.00 a US\$ 600.00 encontrando as usinas de Ourinhos, Ponte de Pedra e Itaipu ; (c) a terceira entre US\$ 600.00 a US\$ 8,000/kW, as demais usinas, com exceção de Porto Primavera e Samuel, que ficariam em uma outra faixa (d) acima deste valor superior.

Figura IV.4.1 Relação Dano Ambiental por Potência Instalada



Fonte: Elaboração própria

Com base nestas faixas de danos por potência instalada, foi realizada uma ANOVA para verificar se existia diferença significativa entre as usinas estudadas. As novas faixas estabelecidas mostraram diferenças significativas entre elas, nas três taxas de desconto, como apresentado a seguir: **F= 8,665 e P=0,0031 (2%)**; **F= 10,399 e P= 0,0015 (6%)**; e **F= 11,216 e P=0,0011 (12%)**.

A usina Salto dos Pilões possui uma característica distinta das demais usinas nesta relação, pois a sua relação dano/potência se encontra em nível abaixo das PCH's, como Calheiro e Ponte de Pedra. Outra exceção é a hidrelétrica de Itaipu, de grande porte, muito em função de sua potência instalada, o que mostra que a tendência em classificar as PCH's como de baixa relação entre dano e potência instalada não é uma regra geral. As usinas de Porto Primavera e Samuel estão em um grupo distinto onde o dano em relação à potência é relativamente alto. As demais hidrelétricas se situam em uma faixa intermediária, sem uma característica que as distinga das demais.

#### IV.4.3 Avaliação dos Danos Monetários - Relação entre Danos Ambientais e Área do reservatório (US\$/ha) e Potência Instalada (US\$/kW) – Média Geométrica

Com o propósito de inserir um elemento a mais na discussão sobre danos ambientais em hidrelétricas, foi realizado o cálculo da expressão de média geométrica de dano por área multiplicado pelo dano por potência instalada, que são apresentados na tabela a seguir (Tabela IV.4.4).

Esta expressão teve por objetivo agrupar os dois indicadores empregados nas análises anteriores, de forma a dar uma melhor consistência e integração nos resultados. Esta é uma nova abordagem que leva em conta a relação do dano com a raiz quadrada da potência instalada pela área do reservatório.

A expressão matemática da Média Geométrica do Dano Ambiental (MGDA) é apresentada a seguir:

$$\text{MGDA} = \sqrt{\frac{\text{Dano Ambiental}}{\text{Área do Reservatório}} \times \frac{\text{Dano Ambiental}}{\text{Potência Instalada}}}$$

A unidade da MGDA é expressa em US\$/ha.kW.

Tabela IV.4.4 Relação entre Danos Ambientais e Área do Reservatório (US\$/ha) x Danos e Potência Instalada (US\$/kW) - Média Geométrica

HIDRELÉTRICA	Taxas de Desconto		
	2%	6%	12%
Acima de 1000MW			
Itaipu	5.658,52	5.284,25	5.106,08
Porto Primavera	27.439,82	25.221,49	24.165,22
Tucuruí	30.412,75	24.031,52	20.993,08
Estreito	25.064,47	20.807,51	18.780,54
100 a 1000 MW			
Samuel	63.798,47	54.513,24	50.092,07
Salto	13.469,02	9.645,97	7.825,60
Salto dos Pilões	621,80	549,74	515,83
30 a 100 MW			
Caçu	6.908,87	4.929,50	3.987,00
Barra dos Coqueiros	11.429,93	8.975,74	7.807,19
Salto do Rio Verdinho	11.785,11	9.199,22	7.967,96
Olho D'água	16.295,21	12.340,66	10.457,68
Ourinhos	3.353,75	2.442,32	2.008,37
Itumirim	20.795,11	16.473,33	14.415,52
PCH			
Ponte de Pedra	6.292,43	5.327,81	4.868,53
Calheiros	963,54	674,73	537,11

Fonte: Elaboração própria.

Apenas para ilustrar, foram realizadas análises de variância para as faixas de potência instalada em relação à média geométrica dos danos ambientais por área do reservatório e por potência instalada, não resultando em diferenças significativas ( $P \geq 0,05^4$ ) para as três taxas de desconto: 2% -  $F=1,270$  e  $P=0,333$ ; 6% -  $F= 1,277$  e  $P= 0,330$ ; e 12% -  $F= 1,280$  e  $P= 0,329$ .

A Tabela IV.4.5 apresenta um ordenamento das usinas estudadas com base nestes resultados, com a classificação prévia das usinas hidrelétricas em graus baixo, médio, alto e muito alto.

As usinas Salto dos Pilões e Calheiros estão situadas em grau relativamente baixo, porém possuem características de projeto bastante distintas, sendo uma PCH (Calheiros) e a outra uma hidrelétrica de médio porte (Potência Instalada = 113 MW).

Na outra faixa, classificada como de médio dano ambiental relativo, estão as usinas de Ourinhos (42,8MW), Itaipu (Acima de 1000MW), Ponte de Pedra (PCH) e Caçu (65MW). A variação em termos de valor monetário do dano relativo está entre US\$ 2,000 a 7,000. Como pode ser observado, o dano relativo não está associado à potência instalada, pois existem usinas de diferentes portes dentro desta faixa.

Na faixa seguinte, denominada de alto dano ambiental, estão as usinas de Barra do Coqueiro, Salto do Rio Verdinho, Salto e Olho D'água. Por se situarem em uma mesma região geográfica (SO de Goiás), apresentam certa similaridade em termos de características do dano relativo. Esta faixa compreende os valores entre US\$ 7,000 a 17,000.

No grau considerado muito alto estão as usinas de Itumirim (50 MW), Estreito, Porto Primavera e Tucuruí (acima de 1000MW), pois o valor monetário do dano relativo é muito superior as de baixo dano (podem ser de 30 a 50 vezes superior). A usina hidrelétrica de Samuel está alocada em um faixa própria, classificada como extremamente alta, pois possui valores relativos de danos ambientais de cerca de duas vezes mais alta do que a faixa anterior (Tucuruí).

**Tabela IV.4.5 Classificação geral das usinas com relação aos Danos por Área e Potência [US\$/(ha.kW)<sup>1/2</sup>] (Média Geométrica)**

HIDRELÉTRICA	Taxas de Desconto		
	2%	6%	12%
Salto dos Pilões	621,80	549,74	515,83
Calheiros	963,54	674,73	537,11
Ourinhos	3.353,75	2.442,32	2.008,37
Itaipu	5.658,52	5.284,25	5.106,08
Ponte de Pedra	6.292,43	5.327,81	4.868,53
Caçu	6.908,87	4.929,50	3.987,00
Barra dos Coqueiros	11.429,93	8.975,74	7.807,19
Salto do Rio Verdinho	11.785,11	9.199,22	7.967,96
Salto	13.469,02	9.645,97	7.825,60
Olho D'água	16.295,21	12.340,66	10.457,68
Itumirim	20.795,11	16.473,33	14.415,52
Estreito	25.064,47	20.807,51	18.780,54
Porto Primavera	27.439,82	25.221,49	24.165,22
Tucuruí	30.412,75	24.031,52	20.993,08
Samuel	63.798,47	54.513,24	50.092,07

Fonte: Elaboração própria.

<sup>4</sup> Nível de significância estatístico. Para  $P \geq 0,05$ , não existe diferença significativa entre as médias ( $H_0$  é verdadeira).

Para ser validada esta distribuição das usinas hidrelétricas estudadas, bem como a sua classificação quanto ao grau de dano ambiental, fez-se outra ANOVA que constatou a diferença significativa ( $P \leq 0,05$ ) para estas classes de usinas: **2% - F=126,015 e P=1,644E-08; 6% - F= 112,419 e P= 2,870E-08; e 12% - F= 91,711 e P= 7,720E-08.**

#### **IV.5 DISCUSSÃO SOBRE OS RESULTADOS DOS VALORES eMergÉTICOS DOS DANOS AMBIENTAIS DAS USINAS HIDRELÉTRICAS ESTUDADAS**

A tabela IV.5.1 mostra o resultado das relações entre os danos ambientais e a área de reservatório e a potência instalada, em valores eMergéticos para as usinas estudadas. É também apresentada a relação, em porcentagem, do dano ambiental eMergético com a energia potencial a ser gerada durante a vida útil do empreendimento, transformada em eMergia.

Tendo em vista avaliar melhor o dano ambiental das usinas hidrelétricas estudadas, fez-se o quociente entre o valor eMergético do dano e o valor eMergético da potência instalada ao longo dos cinquenta anos. A partir do dado de geração potencial e hipotética de uma usina, através da sua potência instalada, calculou-se, com a devida transformação do dado, a relação entre o dano ambiental e este valor em eMergia (última coluna da Tabela IV.5.1).

Tabela IV.5.1 Relação entre Danos eMergéticos Ambientais e Área do Reservatório (SeJ/ha); Potência Instalada (SeJ/kW) e Danos eMergéticos e Energia Potencial Gerada

HIDRELÉTRICA	Danos eMergéticos por Área (SeJ/ha) x 10 <sup>17</sup>	Danos eMergéticos por Potência Instalada (SeJ/kW) x 10 <sup>17</sup>	Danos eMergéticos por Potência Instalada em Energia (%)
Acima de 1000MW			
Itaipu	9,71	1,04	4,00
Porto Primavera	14,00	20,40	78,45
Tucuruí	15,20	8,59	34,38
Estreito	14,80	7,86	30,20
100 a 1000 MW			
Samuel	18,80	48,10	184,91
Salto	5,00	3,71	14,26
Salto dos Pilões	9,11	0,01	0,05
30 a 100 MW		-	
Caçu	5,39	1,39	5,36
Barra dos Coqueiros	9,40	3,00	11,53
Salto do Rio Verdinho	8,93	3,51	13,49
Olho D'água	6,42	6,62	25,44
Ourinhos	2,66	0,28	1,08
Itumirim	9,97	10,90	41,87
PCH			
Ponte de Pedra	15,20	0,59	2,28
Calheiros	2,60	0,06	0,23

Fonte: Elaboração própria.

Como indica a Tabela acima, não é possível observar de forma clara quais os fatores que são determinantes para a classificação das usinas hidrelétricas com relação a estes parâmetros. A análise estatística (ANOVA) comprovou que, para os casos estudados, não existe uma diferença significativa destas relações sob o aspecto meramente de potência instalada. O resultado da ANOVA, que rejeita a hipótese de diferença significativa entre estas faixas ( $P \geq 0,05$ ), foi: (1) Danos por área de reservatório:  $F = 1,509$  e  $P = 0,266$ ; (2) Dano ambiental por potência instalada  $F=1,058$  e  $P=0,406$ ; e (3) Dano ambiental e potência instalada em eMergia:  $F = 1,061$  e  $P = 0,405$ .

#### **IV.5.1 Avaliação dos Danos eMergéticos - Relação entre Danos Ambientais e Área do reservatório (SeJ/ha)**

Da mesma forma que foi realizado para a análise econômica, fez-se uma redistribuição dos resultados obtidos para todas as usinas hidrelétricas estudadas, no sentido de agrupá-las e buscar uma relação causal entre esta característica analisada.

Para o Dano ambiental por área do reservatório, foram criadas as seguintes faixas de distribuição:

- Faixa (a) constituída de duas usinas, Calheiros e Ourinhos, com valores em torno de 2,60 E17SeJ/ha;
- Faixa (b) com as usinas Salto, Caçu e Olho D'água com valores variando entre 5 e 6,5 E17 SeJ/ha, sendo hidrelétricas que possuem potência instalada entre 30MW a próximo de 100MW e localizadas na mesma região geográfica;
- Faixa (c) com as usinas Salto do Rio Verdinho, Salto dos Pilões, Barra dos Coqueiros, Itaipu e Itumirim com valores próximo a 9,00 E17 SeJ/ha, tendo características bastante distintas tanto em localização quanto de potência instalada;
- Faixa (d) com as usinas Porto Primavera, Estreito e Tucuruí com valores em torno de 14,00 E17 SeJ/ha, sendo usinas de grande porte;
- Faixa (e) com as usinas Samuel e Ponte de Pedra com valores de 18,80 e 20,10 E17 SeJ/ha, tendo como característica comum pertencer à bacia amazônica;

A análise estatística (ANOVA) comprovou que, para os casos estudados, há diferença significativa entres estas faixas ( $P \leq 0,05$ ), tendo como resultado  $F = 65,092$  e  $P = 4,025 E-07$ .

#### **IV.5.2 Avaliação dos Danos eMergéticos - Relação entre Danos Ambientais e Potência Instalada (SeJ/kW)**

Na relação danos ambientais por potência instalada, foi possível criar uma distribuição com seis grupos ao invés de cinco, apresentando diferenças significativas entre si. Houve mudanças importantes sob este aspecto analisado em comparação à relação descrita anteriormente. O ordenamento das usinas foi:

- Faixa (a) constituída de duas usinas, Salto dos Pilões e Calheiros, com valores respectivos 0,013 e 0,060 E17SeJ/kW;
- Faixa (b) com as usinas, Ourinhos e Ponte de Pedra, com valores entre 0,282 e 0,593 E17 SeJ/kW;
- Faixa (c) com as usinas Itaipu e Caçu, com valores mais próximo de 1,0 E17 SeJ/kW;
- Faixa (d) com as usinas Barra dos Coqueiros, Salto do Rio Verdinho e Salto, com valores em torno de 3,0 E17 SeJ/kW, sendo usinas de uma mesma região geográfica;
- Faixa (e) com as usinas Olho D'água, Estreito, Tucuruí e Itumirim com valores variando de 6,0 a 10,0 E17 SeJ/kW, não ficando evidenciada uma característica que se destacasse;
- Faixa (f) com as usinas Porto Primavera e Samuel com valores de 20,4 E17 SeJ/kW e 48,1 E17 SeJ/kW;

O resultado da análise de variância (ANOVA) mostrou que esta distribuição expressa uma significativa, para os casos estudados, tendo como resultado  $F = 65,092$  e  $P = 4,025 \text{ E-}07$ .

Entretanto, mesmo existindo diferenças significativas entre as faixas, não é possível estabelecer um padrão de comportamento, ou mesmo, identificar uma característica que fique evidenciada em cada faixa, à exceção da faixa (d) composta por usinas de uma mesma região. Por este ponto de vista, os danos das hidrelétricas possuem características específicas que não estão relacionadas diretamente à potência instalada. Assim, grandes danos ambientais podem estar associados a usinas de baixa potência e vice-versa.

#### **IV.5.3 Avaliação dos Danos eMergéticos - Relação entre Danos Ambientais e Potência Instalada em eMergia (%)**

Com este resultado, da mesma forma que as análises anteriores, foram agrupadas as usinas hidrelétricas de tal modo a formarem faixas que tivessem resultados próximos e apresentassem diferenças significativas entre elas. Para este tópico, os resultados foram:

- Faixa (a) constituída de duas usinas, Salto dos Pilões e Calheiros, com valores menores que 1%;

- Faixa (b) com as usinas Ourinhos, Ponte de Pedra, Itaipu, Caçu com valores variando entre 1 a 5%, sendo uma PCH's, uma hidrelétrica de grande porte e duas de médio porte, localizadas em diferentes regiões geográficas;
- Faixa (c) com as usinas Barra dos Coqueiros, Salto do Rio Verdinho e Salto, com valores entre 11 e 15%, tendo características específicas de localização geográfica e de faixa de potência instalada;
- Faixa (d) com as usinas Olho D'água, Estreito, Tucuruí e Itumirim, tendo valores percentuais entre 25 a 42%;
- Faixa (e) com as usinas Porto Primavera e Samuel com valores respectivos de 78,45% e 184,91%;

Esta relação pode ser entendida como um indicador importante na definição de viabilidade das usinas hidrelétricas, com o parâmetro da relação custo implicado no dano ambiental e no benefício potencial da geração de energia hidrelétrica. De certa forma é comparável à análise de custo benefício, onde o custo neste caso representa apenas os danos ambientais selecionados e os benefícios o potencial de geração hidrelétrica.

Com base na amostragem realizada e sob este aspecto (dano ambiental e Mérgético relativo), podemos classificar em viáveis as usinas que estão na faixa de até 5% (Faixa a e b), compostos de usinas de pequeno porte (PCH's), médio porte (AHE Ourinhos, Caçu e Salto dos Pilões), e de grande porte (UHE Itaipu). Verifica-se que a relação entre dano e potência instalada não é diretamente correlacionada ao porte da usina. Existe sim uma tendência em usinas de pequeno porte a apresentarem menor dano relativo, porém não se pode considerar este dado absoluto. Com base neste estudo de caso, do total das seis usinas pertencentes às Faixas (a) e (b), duas são PCH's, ou seja, 33%.

Entende-se que, caso estes danos ambientais relativos ultrapassem os 10% da potência instalada - Faixa (c) - devem ser revistos os estudos do empreendimento tendo em vista a sua viabilidade. Este entendimento depreende-se do fato de que, em primeiro lugar, a energia firme de uma usina hidrelétrica representa uma porcentagem da capacidade instalada (variando de 50% a 80% para os estudos de caso). Se a energia firme estiver no nível mínimo (50%), ter-se-á danos relativos acima de 20%. Se for levado em conta ainda o fator de carga de cada região, que varia entre 70% a 85% (Eletrobrás, 2002), chega-se ao dano relativo de, aproximadamente, 30%. Lembrando ainda que

existem os outros custos socioambientais, que estão na faixa de 20 a 30% do projeto de engenharia, segundo o manual da ELETROBRÁS (1997), e por fim, os custos intrínsecos de implantação da obra em si. Portanto, o estabelecimento do limite de 10% da potência instalada para reavaliar a viabilidade do empreendimento é um parâmetro consistente.

De acordo com trabalhos específicos de análise econômica integrada de custo- benefício de usinas hidrelétricas, incluindo danos socioambientais, (Conservation International, no prelo), se forem computados parte dos custos sociais e ambientais (distintos dos realizados neste estudo) na análise de custo benefício de hidrelétricas, algumas delas são reconhecidamente inviáveis. Em função destes diversos aspectos, considerou-se que, caso os danos relativos ultrapassassem os 10% da potência instalada, existe risco de inviabilidade do empreendimento.

Com base nestes argumentos, a partir da Faixa (d), onde se situam as usinas com danos ambientais relativos acima de 25%, estas podem ser classificadas como ou inviáveis ou de pouca viabilidade. Esta avaliação, mesmo sendo uma primeira aproximação, leva em conta não somente os fatores valorados, mas os demais danos que são inerentes à construção e operação de uma usina, como mostrado anteriormente. Acima de 25% de dano ambiental relativo, as usinas seriam praticamente inviáveis.

#### **IV.5.4 Avaliação dos Danos eMergéticos - Relação entre Danos Ambientais e Área do reservatório (SeJ/ha) e Potência Instalada (SeJ/kW) - Média Geométrica**

Os resultados da avaliação composta entre dano ambiental em valor eMergético e área do reservatório por potência instalada permitem um olhar mais integrado sobre as usinas estudadas e dos danos ambientais decorrentes da implantação e operação deste tipo de empreendimento. Mesmo não sendo nítidas as diferenças ou similaridades com relação às faixas de potência instalada, da mesma forma que foi realizado para a análise monetária dos danos, identifica-se um gradiente destas relações para as usinas estudadas, formando faixas distintas de valores eMergéticos.

A Tabela IV.5.2 mostra a média geométrica do valor eMergético para cada usina hidrelétrica. De forma geral, há uma relação entre o dano e a potência instalada, reforçando, de certa forma, a avaliação de que as grandes hidrelétricas causam danos maiores ao meio ambiente que as PCH's. Entretanto, estatisticamente, não existe diferença significativa entre estas faixas de potência instalada para que esta correlação seja estabelecida. O resultado da ANOVA rejeitou a hipótese de formarem grupos distintos com base na potência instalada ( $F= 1,170$  e  $P= 0,365$ ).

**Tabela IV.5.2 Resultados da Relação entre Danos Ambientais e Área do Reservatório (SeJ/ha) x Danos Ambientais e Potência Instalada (SeJ/kW) - Média Geométrica**

<b>CARACTERÍSTICA</b>	<b>SeJ/(ha.kW)<sup>1/2</sup></b>
<b>Acima de 1000MW</b>	<b>E16</b>
Itaipu	10,05
Porto Primavera	53,44
Tucuruí	36,13
Estreito	34,11
<b>100 a 1000 MW</b>	
Samuel	95,09
Salto	13,62
Salto dos Pilões	1,08
<b>30 a 100 MW</b>	
Caçu	8,66
Barra dos Coqueiros	16,79
Salto do Rio Verdinho	17,70
Olho D'água	20,62
Ourinhos	2,74
Itumirim	32,97
<b>PCH</b>	
Ponte de Pedra	9,49
Calheiros	1,25

Fonte: Elaboração própria.

Como apresentado na análise dos valores monetários dos danos ambientais, pode-se classificar as usinas estudadas frente à média geométrica do valor econômico do dano ambiental com relação à área do reservatório e à potência instalada, em um gradiente crescente. Pode-se classificar as usinas em baixo, médio, alto e extremamente alto com base neste parâmetro, como indicado na Tabela IV.5.3.

Foram alocadas nos danos relativamente baixos – variando entre 1 e 3 x 10<sup>16</sup> SeJ - as usinas Salto dos Pilões, Calheiros e Ourinhos. No segundo grupo, fica evidenciado que a relação entre dano ambiental e - uma variável importante na definição do projeto - a potência instalada, pode não ser determinante para a sua classificação. Neste grupo, cujos resultados variam entre 8,5 a, aproximadamente, 10 x 10<sup>16</sup> SeJ, encontram-se usinas de diferentes portes como as usinas Caçu (entre 30 e 100 MW), Ponte de Pedra (PCH) e Itaipu (Acima de 1000MW), que foram classificadas como médio grau de dano relativo.

O outro grupo é formado por usinas localizadas numa mesma região geográfica com condições ambientais muito similares e com características de potência instalada que varia entre 30 MW e pouco acima de 100 MW. Entretanto, estas usinas podem ser classificadas como tendo um grau alto de dano ambiental relativo.

As usinas de Itumirim (entre 30 e 100 MW), de Estreito e Tucuruí (Acima de 1000MW) possuem uma relação de dano ambiental por área e potência instalada muito acima das consideradas de grau baixo (cerca de 30 vezes maior), ou seja, podem ser classificadas com grau muito alto de dano ambiental relativo. Por último estão as usinas de Porto Primavera e Samuel que podem ser classificadas com grau extremamente alto de dano ambiental relativo dentro da distribuição e classificação das hidrelétricas estudadas.

Fez-se uma análise de variância (ANOVA) para validar esta distribuição de usinas hidrelétricas, e avaliar se existia diferença significativa com relação aos graus de danos ambientais. O resultado mostrou que existia uma diferença significativa ( $P \leq 0,05$ ) para estas classes de usinas:  $F = 21,370$  e  $P = 0,000069$ .

**Tabela IV.5.3 Classificação das Usinas frente aos Danos Ambientais por Área do Reservatório e Potência Instalada (Média Geométrica)**

USINA	Dano Ambiental SeJ x $10^{16} / (\text{ha.kW})^{1/2}$
Salto dos Pilões	1,08
Calheiros	1,25
Ourinhos	2,74
Caçu	8,66
Ponte de Pedra	9,49
Itaipu	10,05
Salto	13,62
Barra dos Coqueiros	16,79
Salto do Rio Verdinho	17,70
Olho D'água	20,62
Itumirim	32,97
Estreito	34,11
Tucuruí	36,13
Porto Primavera	53,44
Samuel	95,09

Fonte: Elaboração própria.

## **IV.6 RELAÇÃO ENTRE OS VALORES MONETÁRIO E eMERGÉTICOS DOS DANOS AMBIENTAIS DAS USINAS HIDRELÉTRICAS ESTUDADAS**

Este item tem como objetivo avaliar a relação entre o valor monetário e o valor eMergético para verificar a hipótese levantada sobre uma possível correlação entre estes dois valores, o que, a princípio, indicaria uma conformidade com os dados de Costanza (1980 apud Burkett, 2003) e permitiria uma avaliação integrada ou de complementaridade, entre estas duas linhas.

Para isso, verificou-se a correlação entre os dados obtidos para os danos ambientais monetários e eMergéticos, relativos à área do reservatório e à potência instalada, para todos os estudos de caso. Posteriormente, fez-se o quociente entre o valor monetário e o valor eMergético dos danos ambientais para as hidrelétricas estudadas, comparando-os com os resultados obtidos na literatura levantada.

### **IV.6.1 Correlação entre Valor eMergético e Valor Monetário dos Danos Ambientais**

Com base nos resultados dos danos ambientais relativos obtidos neste trabalho, associados à área do reservatório e à potência instalada, para cada estudo de caso, fez-se uma análise de correlação entre eles, visando avaliar se existia ou não uma possível associação entre os valores. Como a base dos principais danos ambientais recaia, principalmente, no uso e ocupação do solo e, com destaque, para a vegetação natural afetada ou a ser afetada por este tipo de empreendimento, esperava-se uma forte correlação entre os valores encontrados, pois o resultado nada mais é do que a agregação das informações biofísicas e de mercado referentes aos mesmos aspectos ambientais na composição do cálculo do dano. Entretanto, mesmo sendo o uso e ocupação do solo a variável preponderante na avaliação do dano, os aspectos analisados eram muito distintos, como por exemplo, o valor dos produtos não-madeireiros, em termos monetários, e a produtividade primária, em termos biológicos.

Foi realizada uma análise de correlação entre o valor monetário relativo do dano e o valor eMergético relativo, para as relações previamente analisadas, quais sejam, dano por área de reservatório e dano por potência instalada, objetivando a verificação da hipótese inicial que poderia ser inferida uma forte associação entre os resultados obtidos.

Para a relação entre valor eMergético e valor econômico por área de reservatório obteve-se a correlação de **93,93 %** para a taxa de desconto de 2%, **97,14** para a taxa de desconto de 6% e **98,19%** para a taxa de desconto de 12%. Da mesma forma que para a relação de valores de dano por potência, a correlação foi alta, resultando em **99,23%** para a taxa de desconto de 2%, **99,59%** para a de 6% e **99,72%** para 12% ao ano.

Estes resultados vão ao encontro das evidências da literatura, no sentido de existir uma correlação entre o valor total da energia incorporada e o valor monetário (Costanza, 1980, 1981 apud Burkett, 2003), sendo que, neste caso, trata-se de valor monetário e valor eMergético. Este resultado se deve, principalmente, à preponderância, nas duas análises, do valor da madeira, em termos monetários, e o valor da biomassa, em termos eMergéticos. Pode-se dizer que a relação entre valor monetário e valor eMergético está baseada no peso relativo da madeira e da vegetação natural a ser afetada pelos empreendimentos. Porém, entende-se que o tema deva ser aprofundado para avaliar melhor a hipótese formulada inicialmente.

#### IV.6.2 Razão Valor eMergético e Valor Monetário

A solução encontrada para estabelecer a conversão de valores de Solar Emergia ou Solar emJoule para valor monetário (por exemplo US\$) é empregada em diversos trabalhos de Ecologia de Sistemas (Brown, 1996; Brown & Ulgiati, 1999; Huang, 1991; Odum, H., 1984; Odum, H, 2000; Odum, E., 1985; Prado-Jatar,1997; Ton, 1996). A relação se dá pela simples divisão da eMergia utilizada pelo Produto Interno Bruto (PIB) de um país, em um determinado ano. Esta conversão é um indicativo estático da relação Riqueza/eMergia em determinado ano.

Com base nestes resultados, a razão média entre valor eMergético e valor monetário para os estudos de caso analisados é apresentada na tabela a seguir, variando em função da taxa de desconto.

**Tabela IV.6.1 Razão média entre Valor Emergético e Valor Monetário para os estudos de caso analisados**

<b>RAZÃO</b>	<b>SeJ/US\$ x 10<sup>12</sup></b>		
<b>Taxa de Desconto</b>	<b>2%</b>	<b>6%</b>	<b>12%</b>
<b>Média</b>	<b>14,14</b>	<b>17,51</b>	<b>19,93</b>
<b>Desvio Padrão</b>	(2,95)	(2,56)	(2,59)

Fonte: Elaboração própria.

A Tabela IV.6.2 apresenta a razão de conversão de diversos trabalhos, que possuem como base de análise a relação entre o PIB do país estudado e o valor eMergético no mesmo ano, não estando diretamente associado ao estudo de caso, como de uma hidrelétrica. É importante salientar que a razão encontrada neste estudo está dentro da dimensão encontrada ( $\times 10^{12}$ ) em diversos trabalhos em vários países e em diferentes anos, o que indica que existe uma uniformidade relativa dos resultados entre o valor eMergético e valor econômico, porém como estudou-se apenas os danos ambientais de hidrelétricas, talvez a diferença encontrada seja decorrente desta análise mais restrita.

**Tabela IV.6.2 Razão média de Valor Emergético e Valor Monetário da literatura**

AUTOR	RAZÃO SeJ/US\$ $\times 10^{12}$	ANO	PAÍS
E. Odum (1984)	6.9	1980	Brasil
H. Odum (1996)	8.4	1983	Brasil
H. Odum (1996)	25.4	1947	EUA
H. Odum (1996)	3.2	1980	EUA
H. Odum (1996)	1.3	1993	EUA
Brown & Ulgiati (1999)	0,2	1997	Economia Global
Prado-Jatar (1997)	5.2	1992	Venezuela
Ton (1996)	2.0	1990	EUA
Huang (1991)	1.9	1987	Taiwan
Brown (1996)	3.46	1985	Tailândia

Fonte: Elaboração própria.

#### IV.6.3 Classificação das Usinas Estudadas com relação ao Valor Emergético e Valor Monetário

Quando se compara a classificação da relação dos danos ambientais por área do reservatório e por potência instalada (média geométrica) da valoração eMergética e monetária, o resultado que se apresenta é: (a) 7 hidrelétricas estão classificadas dentro da mesma ordem e faixa; (b) 6 das hidrelétricas estão classificadas em ordem diferente dentro da mesma faixa; (c) 1 hidrelétrica (Ourinhos) está classificada em ordem igual porém em faixa diferente; (d) a hidrelétrica de Tucuruí está classificada em ordem diferente porém em faixa similar; e (e) a hidrelétrica de Porto Primavera está classificada em ordem e faixa diferentes (Tabela IV.6.3).

Tabela IV.6.3 Relação entre a classificação das Usinas Estudadas por valoração eMergética e monetária por ordem e faixa

CLASSIFICAÇÃO eMergética	CLASSIFICAÇÃO MONETÁRIA	ORDEM	FAIXA
Salto dos Pilões	Salto dos Pilões	Igual	Igual
Calheiros	Calheiros	Igual	Igual
Ourinhos	Ourinhos	Igual	Diferente
Caçu	Itaipu	Diferente	Igual
Ponte de Pedra	Ponte de Pedra	Igual	Igual
Itaipu	Caçu	Diferente	Igual
Salto	Barra dos Coqueiros	Diferente	Igual
Barra dos Coqueiros	Salto do Rio Verdinho	Diferente	Igual
Salto do Rio Verdinho	Salto	Diferente	Igual
Olho D'água	Olho D'água	Igual	Igual
Itumirim	Itumirim	Igual	Igual
Estreito	Estreito	Igual	Igual
Tucuruí	Porto Primavera	Diferente	Igual
Porto Primavera	Tucuruí	Diferente	Diferente
Samuel	Samuel	Igual	Igual

Fonte: Elaboração própria.

#### IV.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS COMPOSTOS DA RELAÇÃO VALOR DE DANO PARA AS USINAS ESTUDADAS

Para estabelecer validade estatística e procurar identificar os principais elementos que determinam a relação de dano ambiental das usinas hidrelétricas estudadas, fez-se a classificação das usinas com base em todos os resultados obtidos, tanto em termos de valor monetário quanto de valor eMergético. Em outras palavras, foi realizada uma análise estatística das hidrelétricas estudadas que possibilitou o seu agrupamento em cinco classes, tendo como parâmetros as variáveis dano monetário e dano eMergético por área de reservatório, dano monetário e dano eMergético por potência instalada, dano por potência instalada em eMergia. Após este agrupamento em clusters, foram realizadas análises de variância (ANOVA) para verificar se cada agrupamento tinha diferença significativa para cada variável.

A análise de cluster propõe-se a definir grupos hierárquicos dentro de uma população. A base de análise consiste em agrupando sucessivos, tendo como parâmetro inicial que cada amostra representa um cluster. O processo inicia-se com o agrupamento dois a dois formando um cluster, e, de forma hierárquica, estes novos clusters são unidos aos outros mais próximos para formar um novo cluster, que substitui estes dois, e assim sucessivamente, até que reste apenas um.

**Tabela IV.7.1 Classificação das Usinas Estudadas em Clusters com base em todos os parâmetros analisados**

HIDRELÉTRICA	CLUSTER
Ourinhos	1
Calheiros	1
Itaipu	2
Salto	2
Salto dos Pilões	2
Caçu	2
Barra dos Coqueiros	2
Salto do Rio Verdinho	2
Olho D'água	2
Porto Primavera	3
Itumirim	3
Tucuruí	4
Estreito	4
Ponte de Pedra	4
Samuel	5

Fonte: Elaboração própria.

**Tabela IV.7.2 Resultado da análise de variância para todas as hidrelétricas estudadas com relação a todos os parâmetros analisados (ANOVA)**

PARÂMETROS	F	Sig.
Dano em US\$ /área de reservatório	49,302	0,000
Dano em US\$ /potência instalada	40,854	0,000
Dano eMergia/ área de reservatório	23,326	0,000
Dano eMergia potência instalada	45,451	0,000
% dano em eMergia	44,541	0,000

Fonte: Elaboração própria.

Como pode ser observado, existe diferença significativa entre os grupos, quando se avaliam os parâmetros conjuntamente, ou seja, é possível agrupar as hidrelétricas nas classes apresentadas na Tabela IV.7.1.

Pode-se inferir quais são os parâmetros ambientais que nortearam esta classificação geral das hidrelétricas estudadas:

- No primeiro grupo estão as usinas Calheiros e Ourinhos, ou seja, os danos ambientais calculados para estas hidrelétricas são proporcionais à sua capacidade de geração, e estando localizadas na região Sudeste, a cobertura vegetal original já foi bastante alterada, implicando em menor valor relativo de madeira e menor efeito estufa, conseqüentemente. De maneira geral, entende-se que podem ser classificadas, a princípio, como de grau baixo com relação ao dano ambiental relativo;
- No segundo grupo estão predominantemente as usinas hidrelétricas localizadas na bacia do baixo rio Paranaíba, no Sudoeste de Goiás, pertencente à bacia do rio Paraná, possuindo potências instaladas, predominantemente, entre 30 e 100MW. A vegetação natural característica da região destas hidrelétricas é o cerrado, já bastante descaracterizado, e a vegetação ciliar, de maior porte e importância, ao longo dos rios, quando em estado preservado. Entendemos que foram estas características responsáveis para a formação deste agrupamento. As exceções deste grupo são as usinas de Itaipu e Salto dos Pilões. Estas duas últimas possuem uma peculiaridade: tem um alto potencial relativo de geração hidrelétrica, o que pesou para amenizar os danos relativos da grande área de reservação, como no caso de Itaipu, ou mesmo a vegetação natural de mata atlântica, para o caso de Salto dos Pilões. Este grupo representa grau médio de dano ambiental relativo;
- O terceiro grupo, definido como de grau alto de dano ambiental relativo, é composto pelas usinas Porto Primavera e Itumirim. A usina Porto Primavera possui uma grande área relativa de reservatório pela potência instalada, levando a um dano significativo sobre a vegetação natural que existia no local, segundo levantamento da época. Por sua vez, o reservatório da usina de Itumirim, mesmo tendo uma potência instalada relativamente baixa, está localizado em uma área que ainda possui vegetação natural (mata ciliar) em grande parte. A combinação destes dois fatores, potência instalada relativamente baixa, com vegetação natural em grande parte do reservatório, resultou em um alto grau de dano ambiental;

- O quarto grupo é classificado com grau muito alto de dano ambiental relativo, estando todos os empreendimentos localizados na bacia amazônica. A presença de vegetação natural em grande parte da área do reservatório, seja por ser floresta amazônica, como no caso de Tucuruí, seja por ser mata ciliar ou cerradão, para Estreito e Ponte de Pedra, implica em dano ambiental relativo importante, associado ao fato de uma relação potência instalada por área do reservatório relativamente baixa;
- A usina de Samuel compõe o último grupo tendo um grau extremamente alto de dano ambiental relativo, principalmente por estar localizada em uma região de floresta amazônica e ter uma área relativa de reservatório muito grande para a geração potencial de energia.

De forma geral, percebe-se que não necessariamente uma PCH induz a um dano ambiental relativo baixo, como mostra a usina Ponte de Pedra, vis-à-vis, uma grande usina hidrelétrica, entendido como grande potência instalada, não necessariamente induz a um grande dano ambiental relativo. Uma grande barragem sempre irá causar um dano ambiental absoluto muito maior do que uma PCH, porém na composição relativa dos danos esta relação não se mantém.

É importante ressaltar a clara possibilidade de avaliar um grupo de usinas hidrelétricas e agrupá-las tendo como parâmetro o dano ambiental. A quantificação e valoração dos danos ambientais relativos das usinas hidrelétricas são fatores que devem ser levados em conta na análise deste tipo de empreendimento.

#### **IV.8 DANOS NÃO COMPUTADOS NA AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS DOS ESTUDOS DE CASO**

Como apresentado inicialmente no capítulo III – Estudos de Caso, segundo a Comissão Mundial de Barragens, um dos impactos mais relevantes das usinas hidrelétricas está associado à alteração do regime fluvial. Isso significa que a regra operativa da usina não está, necessariamente, vinculada ao fluxo natural de variação de vazão do rio ao longo do ano e, para garantir o fornecimento de energia hidrelétrica ao longo de todo ano, muitas vezes, deve-se acumular água em um período de baixa demanda de energia ou quando as vazões afluentes são superiores à necessidade de geração, possibilitando gerar um nível de energia hidrelétrica que supra a demanda, durante o ano.

De acordo com Kelmann (2000), a regra operativa do sistema está atrelada a dois modelos matemáticos, com informações sobre o comportamento físico e sobre as afluências fluviais naturais ao sistema, tendo como parâmetro quanto deve ser o turbinamento de cada usina hidrelétrica. As decisões de operação do sistema fundamentam-se, essencialmente, nas vazões aleatórias afluentes e nas demandas de energia. Existem condições de contorno a esta operação que são classificadas em dois grupos: (a) restrições físicas do sistema, tais como não se pode exceder o nível de reservação máximo de um reservatório qualquer; (b) restrições conjunturais, como limitações na defluência máxima em função da possibilidade de inundações, ou mesmo defluência mínima para garantir a condição ambiental de jusante.

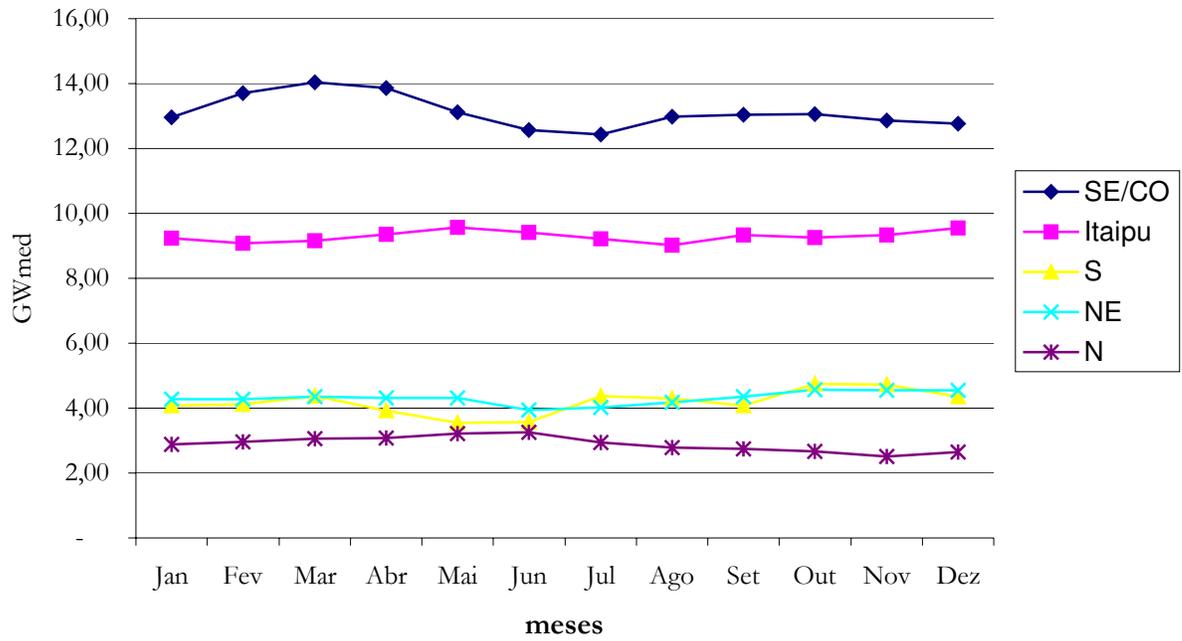
Nota-se que a regra operativa não contempla uma variável ambiental importante que é o regime natural fluvial, em ciclos de cheias e vazantes, que causa um impacto ambiental significativo nas comunidades florestais do entorno, bem como na sua comunidade de peixes, podendo até afetar a produtividade pesqueira junto a sua foz. Nas variáveis do modelo de otimização do uso do recurso hídrico não está inserida esta componente ambiental, pois a maioria dos reservatórios do setor elétrico foi concebida para gerar energia hidrelétrica (Kelmann, 1999).

#### **IV.8.1 Operação Nacional do Sistema de Geração de Energia Elétrica**

A organização da geração hidrelétrica é coordenada pelo Operador Nacional do Sistema (ONS) com o intuito de garantir o suprimento de energia para o país, incluindo a geração hidrelétrica.

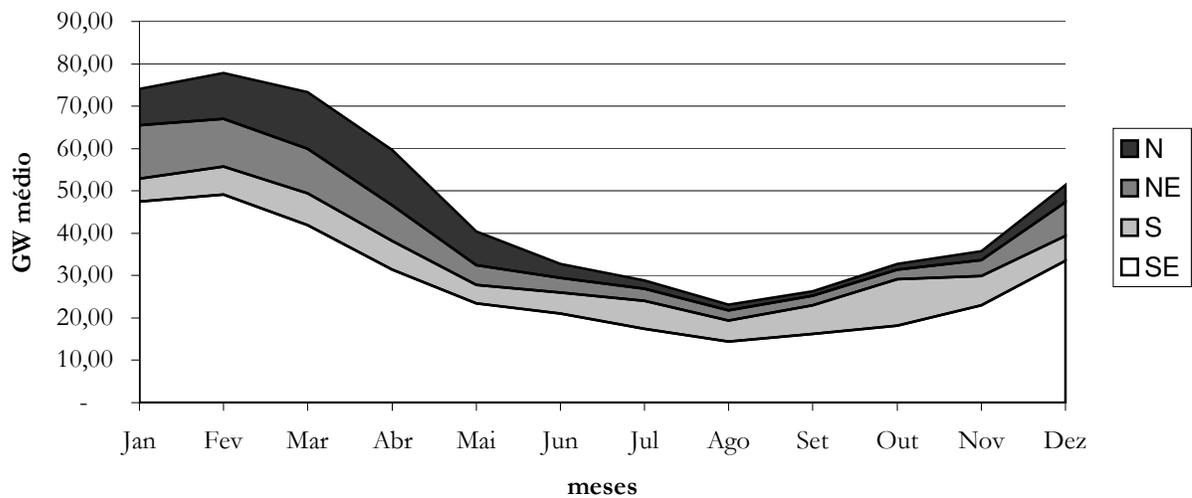
Como mostra a Figuras IV.8.1, com base nos dados do ONS (2005), a produção de energia média mensal no período de 1996 a 2004 é mostrado como uma linha diretamente relacionada à demanda crescente de energia ao longo de todo o ano. Como o gráfico apresenta uma média deste anos, não fica evidente o seu crescimento, mas sim a condição de demanda praticamente igual em todo o ano. Por outro lado, a Energia Natural Afluente média mensal (Figura IV.8.2) por bacia neste mesmo período (1996-2004) segue o regime natural, vinculado à pluviosidade nas diversas regiões do país, ou seja, nos meses de alta incidência de chuva (dezembro, janeiro, fevereiro), há uma maior energia natural (vazão afluente aos reservatórios), enquanto no período de estiagem esta energia é menor.

**Figura IV.8.1 Produção de Energia Hidráulica (1996-2004)**



Fonte:ONS,2005

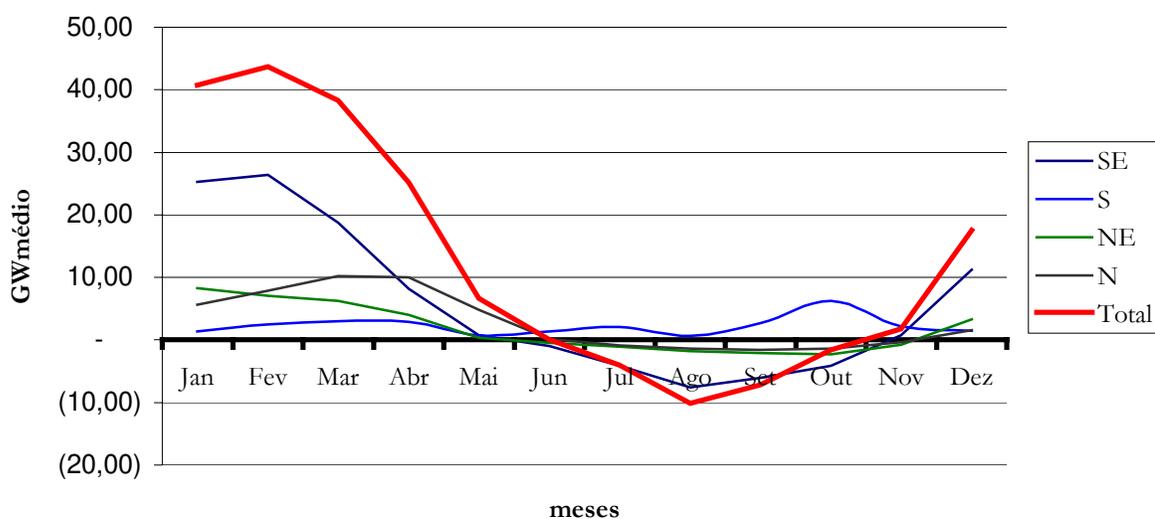
**Figura IV.8.2 Energia Natural Afluente (1996-2004)**



Fonte: ONS, 2005

Quando avalia-se globalmente o sistema - quanto foi a Produção de Energia Elétrica no sistema interligado (N,NE,SE e S) ao longo deste anos (1996 a 2004) e qual foi a Energia Natural afluente aos reservatórios neste mesmo período - verifica-se a existência um déficit de Energia Natural em relação à Produção de Energia Hidráulica, nos meses entre julho a outubro, na média para este período estudado. Pode-se deduzir, dentro de uma visão bastante genérica, que a geração de energia hidrelétrica deve ter sido garantida, no período analisado, pela utilização da Energia Natural acumulada nos reservatórios no período de cheias. Se esta avaliação estiver correta, deduz-se que a vazão defluente dos reservatórios, em geral, não corresponderia à vazão natural ao longo destes anos. A esta alteração de regime hídrico está associado um dano ambiental, como será apresentado a seguir.

**Figura IV.8.3 Diferença entre Energia Natural e Produção Hidráulica**



Fonte: ONS, 2005.

#### IV.8.2 Dano ambiental referente à forma de Operação das Usinas Estudadas

O modo de operação das usinas hidrelétricas estudadas é apresentado na Tabela IV.8.1. De forma geral, as hidrelétricas operam, em sua maioria, a fio d'água. Apenas Porto Primavera e Tucuruí possuem restrição quanto ao deflúvio mínimo de água para ou garantir a navegação, na primeira, ou garantir que não haja cavitação nas turbinas, na segunda. A PCH Calheiros possui a sua operação definida como de regularização diária, ou seja, acumula água de dia para gerar energia durante o período noturno, quando ocorre o pico de demanda. Porém mesmo operando a fio d'água, são dependentes da regra operacional de barragens localizadas à montante.

Neste sentido, para as usinas hidrelétricas estudadas, mesmo que em fase de projeto, somente as hidrelétricas de Itumirim, Ponte de Pedra e Samuel, não possuem barragens localizadas a montante, sendo que as demais são dependentes da regra operacional de outras barragens. Os relatórios diários, semanais, mensais e anuais do ONS apontam claramente a interdependência do sistema interligado e como as regras operacionais são orientadas no sentido de otimizar o sistema para o suprimento de energia hidrelétrica, evitando o risco de racionamento.

Mesmo tendo sido definida a operação da usina com “a fio d’água”, as regras de operação dependem de outros fatores e de outras hidrelétricas que alteram a dinâmica natural do rio. Além disso, existe um amortecimento da vazão do rio correspondente ao tempo de residência ou tempo de detenção da água no reservatório. Com base nestas evidências, poder-se-ia levantar a questão de qual seria o dano ambiental deste amortecimento ou alteração da vazão natural, ao longo do ano, para uma bacia hidrográfica, em função da existência de uma usina hidrelétrica.

**Tabela IV.8.1 Relação entre a classificação das Usinas Estudadas por valoração eMergética e monetária por ordem e faixa**

<b>CARACTERÍSTICA</b>	<b>Operação</b>
<b>Acima de 1000MW</b>	
<b>Itaipu</b>	Fio d’água
<b>Porto Primavera</b>	Restrição de deflúvio mínimo de 5500 m <sup>3</sup> /s para navegação
<b>Tucuruí</b>	Deflúvio mínimo de 2000 m <sup>3</sup> /s (cavitação)
<b>Estreito</b>	Fio d’água
<b>100 a 1000 MW</b>	
<b>Samuel</b>	Fio d’água
<b>Salto</b>	Fio d’água
<b>Salto dos Pilões</b>	Fio d’água
<b>30 a 100 MW</b>	
<b>Caçu</b>	Sem definição
<b>Barra dos Coqueiros</b>	Isolada
<b>Salto do Rio Verdinho</b>	Fio d’água
<b>Olho D’água</b>	Integrada
<b>Ourinhos</b>	Integrada
<b>Itumirim</b>	Integrada
<b>PCH</b>	
<b>Ponte de Pedra</b>	Fio d’água
<b>Calheiros</b>	Operação com regularização diária

De acordo com Acreman (2000), existem diversos benefícios sobre o controle de cheias realizado por barragens como evitar perda de culturas diversas, de infra-estrutura, de casas. Porém, existem danos associados ao controle de vazão pelas barragens como perda da biodiversidade, mudança no ecossistema natural e perda da produção agrícola em áreas dependentes da inundação anual, além da alteração da qualidade das águas e da ictiofauna. Segundo este autor (*op.cit.*), o valor da inundação anual de um rio pode ser medido através da soma de diversas atividades como pesca, coleta de madeira, caça, agricultura, extrativismo e recreação.

Existem diversos exemplos de danos ambientais não computados decorrentes da alteração das características naturais da bacia, chegando a afetar a dinâmica do ecossistema costeiro. A título de exemplo, Acreman (2000) cita estudo realizado para avaliar o dano ambiental referente à redução das cheias naturais em áreas úmidas próximas à Boston. Este dano foi avaliado através do valor de uso, opção e de existência, resultando no montante de US\$ 17 milhões por ano. Em outro estudo, referente à perda de acesso aos recursos não-madeireiros e serviços na floresta, em função da alteração de vazão de um rio na Guiana, o valor encontrado foi de US\$ 357 por pessoa por ano.

É possível avaliar, sob o ponto de vista da valoração monetária, os danos ambientais valendo-se de diversas abordagens, incluindo o custo de oportunidade decorrente da perda de produtividade da produção pesqueira a jusante da barragem ou mesmo da região da costa próxima da foz do rio, da produção agrícola nas várzeas alagáveis, ou mesmo de animais que possuem ciclo de vida associados à cheia e vazante dos rios<sup>5</sup>.

---

<sup>5</sup> A título de exemplo, Rebelo (2000) realizou um estudo sobre o consumo de quelônios na Amazônia (que possuem seu ciclo reprodutivo associado à disponibilidade de praias na época da vazante dos rios para a postura dos ovos), descrevendo os ciclos de uso da tartaruga como fonte de alimento, iluminação e produção de cosméticos. Situa-se a primeira fase entre os anos de 1700 a 1860 quando foi estimada a coleta de 12-48 milhões de ovos de tartaruga para a produção de óleo. Numa segunda etapa (entre os anos de 1860 a 1897), o uso de ovos caiu para uma estimativa entre 1-5 milhões por ano. No terceiro ciclo, do começo do século XX a 1976, a produção estimada foi de 300 mil ovos. A quarta fase é definida com base na produção de ovos em áreas protegidas, que foi estimada em 18 mil a 1,6 milhão de filhotes. Em 2000, era possível encontrar um tipo de tartaruga, denominada por tracajá, muito apreciada na Amazônia, em feiras regionais por R\$20,00 (aproximadamente US\$ 11). Se estimarmos que a produção de ovos está no mesmo nível de 1976, o que provavelmente não corresponde à realidade, pois neste trabalho (*op.cit.*), os entrevistados declararam redução significativa de tartarugas nos últimos anos e que, somente um a cada mil ovos (1%) chega à fase adulta, temos como valor total do dano sobre o ciclo de vida das tartarugas na ordem de US\$ 3,000, caso não exista mais locais adequados para a postura dos ovos (praias de rio). Em comparação com os demais resultados, este parece ser bastante subestimado, se pensarmos em toda a Amazônia.

Por outro lado, a energia química da água do rio, como mencionado anteriormente, pode ser um indicador importante para avaliar o dano ambiental do amortecimento do regime hídrico causado pela operação de uma barragem. Se for adotada uma redução de 10% da energia química do rio em função da alteração do ciclo natural de vazão, decorrente do amortecimento da onda de vazão no reservatório, este dano seria muito superior ao total do dano calculado anteriormente, como pode ser observado na tabela abaixo (Tabela IV.8.2).

Mesmo para as PCH's, quando é incorporado esta nova variável, o dano ambiental supera as hidrelétricas classificadas como de alto grau de dano ambiental relativo. É interessante avaliar como uma PCH pode também ter uma influência na dinâmica regional, ou mesmo, uma significativa influência na energia química do rio, dependendo do porte deste curso d'água.

Na última coluna da Tabela IV.8.2 é apresentada a relação entre o dano eMergético da redução da energia química do rio pela eMergia potencial instalada das usinas hidrelétricas estudadas. Os resultados indicam que o dano ambiental, resultante da alteração do regime hídrico do rio, para todas as hidrelétricas estudadas é superior ao valor eMergético da geração potencial de energia, à exceção da hidrelétrica de Itumirim.

Estes resultados preliminares apontam claramente a importância relativa de um fator pouco avaliado em estudos de planejamento hidrelétrico, que é a influência de uma barragem, ou melhor, a influência da operação de uma usina hidrelétrica em toda a dinâmica regional. A discussão sobre a quantificação dos danos decorrentes de alteração do regime hídrico deve ser um fator que merece aprofundamento e deveria ser um dos principais impactos a serem analisados e valorados em estudos ambientais.

Tabela IV.8.2 Valor da energia química do rio em relação ao valor total do dano ambiental calculado para as hidrelétricas estudadas

HIDRELÉTRICA	10 % da Emergia Química do Rio (SeJ x 10 <sup>20</sup> )	Total do Dano (SeJ x 10 <sup>20</sup> )	Dano da Emergia Química por Potência Instalada em eMergia
<b>Acima de 1000MW</b>			
Itaipu	37.831,38	1.310,46	1,2
Porto Primavera	26.880,86	3.143,03	6,7
Tucuruí	34.757,80	3689,91	3,2
Estreito	16.231,38	871,45	5,6
<b>100 a 1000 MW</b>			
Samuel	18.873,70	1.053,56	33,1
Salto	648,12	39,69	2,3
Salto dos Pilões	408,43	0,15	1,4
<b>30 a 100 MW</b>			
Caçu	822,89	9,06	4,9
Barra dos Coqueiros	864,42	24,01	4,2
Salto do Rio Verdinho	702,86	32,63	2,9
Olho D'água	136,27	21,84	1,6
Ourinhos	1.204,14	1,21	10,7
Itumirim	102,75	54,46	0,8
<b>PCH</b>			
Ponte de Pedra	596,03	1,77	7,7
Calheiros	128,00	0,12	2,5

Fonte: Elaboração própria

#### IV.9 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE OS RESULTADOS DOS ESTUDOS DE CASO

Como apresentado neste capítulo, existem danos ambientais decorrentes da implantação e operação de usinas hidrelétricas que podem ter uma grande influência na definição da viabilidade de um empreendimento, desde que sejam incorporados a sua análise. Estes danos podem ser avaliados sob pontos de vista distintos, tais como a análise monetária e eMergética, e resultam em avaliações e dimensões relativas de danos ambientais bastante coerentes.

O foco principal deste trabalho foi o de identificar os principais danos ambientais de usinas hidrelétricas e de como valorá-los sob dois pontos de vista distintos, análise monetária e eMergética. Neste trabalho, não se entrou no mérito sobre os custos totais ou benefícios decorrentes da geração de energia hidrelétrica em seus diversos aspectos.

Em segundo lugar, foi importante levantar indicações sobre como se comportam os principais danos ambientais, especificamente para os estudos de caso selecionados, ressaltando os fatores que mais contribuíram para a formação do valor final do dano.

O terceiro ponto foi mostrar que as relações entre dano ambiental e potência instalada não é diretamente relacionada ao porte da usina, uma vez que a distribuição das usinas em função de razões entre valor de dano e potência instalada ou área de reservatório não segue o pressuposto quanto menor porte, menor dano, ou vice-versa. Dessa forma, rompeu-se com a avaliação prévia de que pequenas hidrelétricas podem causar danos relativos proporcionais a grandes hidrelétricas.

O quarto ponto foi apontar que existe uma possível correlação entre a valoração monetária e a valoração eMergética do dano ambiental, muito em função de ser a vegetação natural, ou mais especificamente, a biomassa em termos madeireiros, o elemento principal nas duas análises, influenciando o resultado final. Esta correlação deve ser analisada com mais profundidade, pois se for confirmada, remete toda a discussão de como valorar os recursos e serviços ambientais para uma nova abordagem.

O quinto ponto foi dar clara indicação do valor, em termos eMergéticos, do principal dano ambiental da operação das usinas hidrelétricas, associado à alteração do regime hídrico natural dos rios, levantando uma questão pouco tratada nos estudos ambientais e muito relevante, segundo a Comissão Mundial de Barragens.

Outro ponto importante foi classificar as usinas com base nos resultados dos danos ambientais relativos e desenvolver uma análise específica desta amostra de usinas hidrelétricas. Neste sentido, os resultados, para este universo analisado, apontam para uma nova visão sobre os danos ambientais de usinas hidrelétricas, pois existe uma relatividade na composição do dano ambiental. Não necessariamente empreendimentos de pequeno porte são os causadores de menor dano ambiental relativo. De forma absoluta, deve-se creditar às grandes barragens maior dano ambiental, porém de forma relativa, as condições locais no tocante, principalmente, à vegetação natural, e seus diversos aspectos valoráveis, são fatores relevantes na quantificação e valoração do dano.

É essencial destacar que existem outros fatores também importantes para o cálculo do dano ambiental total, como o uso de recursos não-renováveis como rocha e solo, que não foram incluídos nesta análise. Esta tese apenas vem reforçar e dar valores relativos às avaliações qualitativas de impacto ambiental de usinas hidrelétricas e indicar que existem caminhos a serem percorridos no sentido de melhorar e muito a análise da relação custo-benefício, gerados por este tipo de empreendimento.

Mesmo sendo uma amostra pequena de usinas hidrelétricas, existentes ou em vias de estudo no país, foi possível estabelecer critérios de classificação dos empreendimentos com base nos danos ambientais definidos neste trabalho e com base em análise estatística. Claramente, os empreendimentos em pauta podem ser classificados dentro de faixa com graus de danos ambientais relativos de baixo a extremamente alto, como mostra a tabela abaixo (Tabela IV.9.1).

Tabela IV.9.1 Classificação das Usinas Estudadas com base nos parâmetros analisados

<b>HIDRELÉTRICA</b>	<b>GRAU</b>
Ourinhos	Baixo
Calheiros	Baixo
Itaipu	Médio
Salto	Médio
Salto dos Pilões	Médio
Caçu	Médio
Barra dos Coqueiros	Médio
Salto do Rio Verdinho	Médio
Olho D'água	Médio
Porto Primavera	Alto
Itumirim	Alto
Tucuruí	Muito Alto
Estreito	Muito Alto
Ponte de Pedra	Muito Alto
Samuel	Extremamente Alto

Fonte: Elaboração própria.

Dentro deste quadro, podemos apontar para um novo significado para a classificação adotada com relação aos empreendimentos estudados:

Tabela IV.9.2 Nova Classificação das Usinas Estudadas e seu significado

<b>CATEGORIA</b>	<b>SIGNIFICADO</b>
<b>BAIXO</b> Viabilidade Potencial	A viabilidade é uma possibilidade passível de ser alcançada, pois os danos ambientais são relativamente baixos em relação à área do reservatório e potência instalada.
<b>MÉDIO</b> Viabilidade Parcial	Existe uma viabilidade parcial do empreendimento, porém são necessárias novas análises e ações de caráter preventivo e corretivo que conduzem para a melhor viabilidade ambiental
<b>ALTO</b> Inviabilidade Parcial	Entende-se nesta faixa que existe um dano ambiental relativo alto, proporcionando uma inviabilidade parcial do empreendimento. Deve-se reavaliar as condicionantes ambientais e de concepção de projeto ou mesmo, no caso de usinas já implantadas, ressarcir os danos ocorridos.
<b>MUITO ALTO e EXTREMO</b> Inviabilidade Plena	A inviabilidade ambiental é flagrante, independente das ações de ajuste ou compensação que possam ocorrer.

Fonte: Elaboração própria.

Além destes aspectos, as relações entre valor eMergético e valor monetário (em US\$), obtidos neste trabalho, estão dentro da faixa ( $\times 10^{12}$ ) de diversos trabalhos levantados. Entretanto, os valores encontrados são superiores aos dados de literatura. A relação encontrada é apresentada na Tabela abaixo.

**Tabela IV.9.3 Resultados da Razão Valor eMergético e Valor Monetário das Usinas Estudadas**

RAZÃO	SeJ/US\$ x 10 <sup>12</sup>		
	2%	6%	12%
Taxas de Desconto	2%	6%	12%
Média	14,14	17,51	19,93
Desvio	(2,95)	(2,56)	(2,59)

Fonte: Elaboração própria.

Para finalizar, a constatação que o dano ambiental relativo à alteração da curva característica das vazões naturais dos rios, em função da incompatibilidade entre demanda de energia elétrica e energia natural dos rios, é significativo e possui um valor, em termos eMergéticos, muito superior ao do dano ambiental calculado, reforçando a necessidade de acréscimo desta variável no gerenciamento hidro-energético dos recursos, para que os danos sejam, ao menos, minimizados.

## CAPÍTULO V – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Retomando o objetivo primário desta pesquisa, descrito como **a determinação de valor para os danos ambientais de hidrelétricas sob dois pontos de vista – economia ambiental e uma vertente da economia ecológica, denominada de ecologia de sistemas, acompanhando o debate das duas principais linhas teóricas da economia nesta área - sustentabilidade fraca e sustentabilidade forte**, chega-se a conclusões e recomendações, que fornecem subsídios para aprofundar questões relevantes sobre valoração ambiental.

Este estudo procurou seguir os passos utilizados para a determinação dos valores dos danos ambientais, quais sejam: (a) a identificação e seleção dos principais impactos ambientais decorrentes da implantação e operação de usina hidrelétrica, que tivessem a possibilidade de serem comparados; (b) o levantamento dos dados disponíveis em literatura sobre valores atribuídos ou características intrínsecas aos aspectos ambientais afetados ou a serem afetados, tanto no sentido econômico quanto no sentido ecológico; (c) a escolha dos estudos de caso que pudessem contemplar, minimamente, a gama de empreendimentos existentes ou por existir, com base em critérios consistentes; (d) o cruzamento entre o valor e a dimensão dos aspectos ambientais envolvidos, através do levantamento de dados disponíveis dos estudos de caso, como por exemplo, o uso e ocupação do solo; (e) a agregação dos dados, resultando no valor total dos danos ambientais estudados, tanto em seu aspecto monetário quanto emergético, para um período definido de 50 anos; (f) a apresentação e análise dos resultados, com o apoio fundamental das ferramentas estatísticas; (g) a extrapolação da visão sobre o problema enfrentado, uma vez que os resultados propiciaram esta abertura; (h) e, por fim, as conclusões e recomendações.

Como foi mostrado, esta pesquisa partiu da constatação de que existia uma lacuna na sistematização e na abrangência da valoração ambiental para os danos decorrentes de usinas hidrelétricas, e que este fator é fundamental para melhor incorporar a dimensão ambiental na análise de viabilidade deste tipo de empreendimento, visando em última instância debater a sustentabilidade.

Perguntou-se, inicialmente, **quais seriam os principais danos ambientais decorrentes da implantação e operação de usinas hidrelétricas que pudessem ser valorados, sob esses dois pontos de vista, possibilitando uma análise de comparativa e a classificação das usinas**

**frente a este aspecto**, tendo como base os diversos trabalhos analisados e informações necessárias a compor um quadro minimamente integrado sobre a questão.

Em função de se ter utilizado duas vertentes teóricas para valorar os danos ambientais de hidrelétricas, perguntou-se ainda se **haveria uma relação entre os valores monetários e os valores eMergéticos desses danos**.

Em função da necessidade comparativa das duas metodologias aplicadas à determinação de valor, dever-se-ia identificar quais eram, dentre os impactos ambientais negativos, os mais relevantes e que possibilitassem esta análise comparativa. A partir deste ponto, foram levantadas as informações pertinentes a cada aspecto ambiental que pudesse compor o quadro mínimo para a execução do trabalho. Portanto, as questões iniciais foram sendo respondidas na medida que as informações e levantamentos estavam em curso.

A hipótese a ser confirmada, a partir dos estudos de caso, era que, utilizando-se de duas correntes para a valoração dos principais danos ambientais de hidrelétricas, no estado da arte de hoje, seria possível obter valores que fornecessem elementos suficientes para uma análise classificatória e de qualificação deste tipo de empreendimento, podendo ser utilizado como determinante para a sua viabilidade. Além disso, em função de que cada vertente identifica e valora uma faceta dos aspectos ambientais afetados, existiria a possibilidade de complementaridade e integração entre estas duas linhas. Neste sentido, outra hipótese levantada referia-se a possível correlação entre os valores dos danos ambientais de hidrelétricas expressos em dinheiro ou em eMergia, mesmo tendo bases teóricas bastante distintas. E, por fim, tem-se a hipótese que os valores do dano ambiental relativo de pequenas, médias e grandes barragens podem ser comparáveis.

•

Os principais impactos negativos identificados, na maioria dos trabalhos de hidrelétricas, estão associados a formação do reservatório. Em conseqüência da mudança das características do uso e ocupação do solo têm-se danos sobre a exploração de produtos madeireiros e não-madeireiros, e sobre a biodiversidade. A valoração destes danos ambientais ou se dá, diretamente, como valoração do recurso madeireiro ou não-madeireiro, e biodiversidade, ou indiretamente, pelo efeito da vegetação no ciclo hidrológico, no potencial de desenvolvimento de novas drogas e no seqüestro de carbono. Observa-se que a valoração eMergética foi realizada sobre os mesmos aspectos, porém com abordagem distinta, ou seja, os aspectos madeireiros correspondem à energia contida na biomassa

floresta a ser afetada pelo reservatório. A produtividade primária bruta dos ecossistemas correspondeu aos produtos não-madeireiros, a biodiversidade e ao seqüestro de carbono, e o potencial químico da água ao ciclo hidrológico.

Neste sentido, os danos ambientais selecionados para este estudo foram:

- danos sobre os produtos extrativos madeireiros e não-madeireiros;
- danos ao ciclo hidrológico;
- danos à biodiversidade e à vegetação natural;
- danos sobre o potencial de desenvolvimento de novas drogas (plantas medicinais);
- danos sobre o seqüestro de carbono;

Para estes danos, foi realizada a valoração de danos ambientais de aproveitamentos hidrelétricos, sob dois pontos de vista, o da sustentabilidade fraca - com a determinação do Valor Presente Líquido, tomando como referência diversos trabalhos que realizaram a valoração ambiental, de parte ou de todo, de bens ou serviços ambientais das florestas - e o da ecologia de sistemas.

Mesmo sabendo que os principais impactos ambientais não se restringem ao reservatório em si, como a destruição de florestas e habitats selvagens e o desaparecimento de espécies, com a redução da biodiversidade aquática, a diminuição das áreas de desova a montante e a jusante - como mostra a Comissão Mundial de Barragens -, o foco principal desta tese foi os impactos decorrentes da formação do reservatório sobre a vegetação natural. Entretanto levantou-se informações sobre como poderiam ser valoradas as alterações ambientais em função do declínio dos serviços ambientais prestados pelas planícies aluviais a jusante, brejos, ecossistemas de rios e estuários, e ecossistemas marinhos adjacentes.

A escolha dos estudos de caso foi baseada em critérios consistentes apresentados a seguir, direcionados, principalmente, no sentido de buscar responder às questões levantadas neste estudo. De forma resumida, os critérios definidos foram:

- A relação entre as usinas instaladas e o potencial hidrelétrico da bacia;
- A distribuição por bioma brasileiro;
- As faixas predominantes de potencial fiscalizado das usinas em operação;

- A disponibilidade de dados sobre os empreendimentos;
- A disponibilidade de estudos ambientais;
- As usinas em construção e as usinas outorgadas;
- Dimensão histórica dos empreendimentos.

Para os estudos de caso selecionados, dentre os danos estudados, a presença de vegetação natural com características florestais, ou melhor, a possibilidade de remoção ou a efetiva submersão das florestas é o fator que mais contribuiu para a formação do valor final do dano, tanto em termos monetários quanto eMergéticos. As emissões de gases de efeito estufa em função, principalmente, da decomposição da matéria orgânica da vegetação afogada ou a ser inundada pelo reservatório representa o segundo maior dano ambiental das hidrelétricas, em termos de valor monetário, enquanto para a análise eMergética é o valor da biodiversidade expressa pela produtividade primária bruta. Tanto na avaliação monetária quanto da eMergética, os valores do dano ambiental decorrente da eliminação da contribuição da floresta para o ciclo hidrológico local são bastante reduzidos.

Foram realizadas análises dos danos relativos para cada hidrelétrica, por unidade de área de reservatório como por unidade de potência instalada, para cada abordagem adotada, procurando encontrar elementos que não necessariamente a potência instalada para a sua classificação. O resultado de ambas as análises foi bastante coerente, tendo uma classificação muito similar.

Para acrescentar uma nova abordagem sobre como valorar os danos e poder, a partir destes, classificar as hidrelétricas, foi realizada uma análise estatística conjunta, partindo da constatação de que existia coerência nos resultados e, além disso, uma correlação significativa entre os valores monetários e eMergéticos dos danos. Para tanto, as hidrelétricas foram agrupadas, primeiramente, em clusters para posterior análise de variância (ANOVA) que resultou em:

- O primeiro grupo, classificado como grau baixo de dano relativo, é constituído da PCH Calheiros e a AHE Ourinhos, onde os danos ambientais são proporcionais à sua capacidade de geração e localizadas na região Sudeste, onde a cobertura vegetal original já foi bastante alterada, implicando em menor valor relativo de madeira e menor efeito estufa, conseqüentemente;
- No segundo grupo, classificado como de grau médio de dano relativo, predominam as usinas hidrelétricas localizadas na bacia do baixo rio Paranaíba, com potências instaladas, na maioria, entre 30 e 100MW. A vegetação natural característica da região é composta de cerrado, bastante

descaracterizado, e a mata ciliar, quando preservada. Estas foram as características determinantes para a formação deste grupo. As usinas de Itaipu e Salto dos Pilões têm características distintas deste agrupamento, mas possuem um fator relevante: possuem um alto potencial relativo de geração hidrelétrica;

- No terceiro grupo, classificado como de grau alto de dano ambiental relativo, estão as Usinas de Porto Primavera e Itumirim. Para as duas hidrelétricas o que pesou mais foi a vegetação natural afetada, uma por ter grande área de reservatório (Usina Porto Primavera) e estar localizada em uma área que ainda possui vegetação natural (mata ciliar) em grande parte (AHE Itumirim);
- Todas as hidrelétricas do quarto grupo, classificado como de grau muito alto de dano ambiental relativo, estão localizadas na bacia amazônica. A presença de vegetação natural seja de floresta amazônica (UHE Tucuruí) seja por ser mata ciliar ou cerradão (Estreito e Ponte de Pedra) determina este agrupamento. É importante observar que neste grupo tem-se a presença de uma PCH, reafirmando que o dano relativo não está, necessariamente, relacionado com a potência instalada e a área do reservatório;
- No último grupo, classificado de extremamente alto de dano ambiental relativo, está a Usina de Samuel, em função da localização na floresta amazônica e ter uma área relativa de reservatório muito grande para a geração potencial de energia.

De forma geral, o que se observa é que, não necessariamente, uma PCH induz a um dano ambiental relativo baixo, como mostra a usina Ponte de Pedra, vis a vis, uma grande usina hidrelétrica, entendido como grande potência instalada, não necessariamente induz a um grande dano ambiental relativo. Uma grande barragem sempre irá causar um dano ambiental absoluto muito maior do que uma PCH, porém na composição relativa dos danos, esta relação não se mantém. Outro ponto relevante refere-se ao aproveitamento de hidrelétricas em regiões onde ainda é predominante a vegetação natural e, principalmente, na região amazônica. Claramente, os maiores danos ambientais relativos, o que inviabilizaria a implantação de uma usina hidrelétrica, estão associados a regiões com floresta natural ainda preservada, com destaque evidente para a floresta amazônica.

É importante ressaltar a nítida possibilidade de avaliar um grupo de usinas hidrelétricas, mesmo sendo uma amostra pequena, e agrupá-las e classificá-las, tendo como parâmetro o dano ambiental. A quantificação e valoração dos danos ambientais relativos das usinas hidrelétricas são fatores que

devem ser levados em conta na análise deste tipo de empreendimento, e que podem contribuir para a viabilidade de uma determinada hidrelétrica.

Como conclusão da tese temos que os danos ambientais de usinas hidrelétricas podem e devem ser avaliados ou sob ponto de vista da análise monetária ou eMergética, e resultam em avaliações e dimensões relativas de danos ambientais bastante coerentes.

O resultado observado de alta correlação entre o valor eMergético e valor monetário indica, não uma confirmação que estes valores são intercambiáveis, mas sim uma necessidade de se aprofundar neste tema. Pois, como o fator preponderante na composição do valor do dano ambiental absoluto, nas duas análises, foi a biomassa e/ou o recurso madeireiro, por princípio existia uma tendência em dar resultados coerentes.

Foram encontradas correlações de **93,93 %** para o valor eMergético e valor econômico por área de reservatório para a taxa de desconto de 2%, **97,14** para a taxa de desconto de 6% e **98,19%** para a taxa de desconto de 12%. Da mesma forma que para a relação de valores de dano por potência, a correlação foi alta, resultando em **99,23%** para a taxa de desconto de 2%, **99,59%** para a de 6% e **99,72%** para 12% ao ano.

A razão entre os valores eMergéticos (SeJ) e valores monetário (em US\$) dos danos ambientais ficou na faixa ( $\times 10^{12}$ ) encontrada em diversos trabalhos levantados. Entretanto, os valores encontrados - para as diferentes taxas de desconto - são relacionados apenas ao dano ambiental de hidrelétricas, enquanto nos demais trabalhos estão relacionados ao PIB do país estudado em determinado ano, o que poderia explicar a diferença encontrada.

Para finalizar, calculou-se, de forma bastante exploratória, o dano ambiental relativo da alteração do regime naturais dos rios, decorrente da operação das usinas. Em termos eMergéticos, o valor do dano é significativo, sendo superior à soma dos demais danos calculados. Mesmo sendo uma observação ainda preliminar, indica categoricamente a necessidade de se incluir no gerenciamento hidro-energético dos recursos a variável de manutenção, quando possível, da curva característica do regime hídrico do rio onde está localizada a usina.

As recomendações apresentadas aqui se referem apenas ao universo restrito das constatações descritas, e visam orientar futuras pesquisas no sentido de aprofundar a discussão de como valorar os danos ambientais e sanar as lacunas das implicações da construção e operação de usinas hidrelétricas:

- Revisar as orientações sobre os impactos ambientais negativos de hidrelétricas, incluindo direcionamentos que possibilitem valorar os danos ambientais, independente da metodologia adotada, eliminando a carência observada nos manuais existentes;
- Ampliar o leque de estudos sobre valoração de danos ambientais de usinas hidrelétricas, para compor um cenário mais amplo confirmando ou rejeitando as constatações realizadas nesta tese;
- Aprofundar a discussão sobre a relação entre valor monetário e eMergético dentro da perspectiva de avaliar a real correlação;
- Propor metodologias de valoração do dano decorrente da alteração do regime hídrico em função da operação de usinas hidrelétricas;
- Revisar o pressuposto que PCH's são ambientalmente aceitáveis.

•

Por fim, lembrando que a expressão monetária do valor ambiental para o capital natural é a base para a definição econômica de sustentabilidade, tanto fraca como forte, e, como apresentado anteriormente, possui sérias restrições como instrumento de avaliação da importância do uso dos recursos e serviços ambientais e na indicação da própria sustentabilidade. Por outro lado, a ecologia de sistemas (uma corrente da Economia Ecológica), que define como fundamental a função da energia na organização destes dois sistemas (econômicos e ecológicos), valora os recursos e serviços ambientais com critérios objetivos, determinados por leis físicas, e não abrange aspectos éticos, culturais e institucionais. Neste sentido, como realizado nesta tese, onde foram utilizadas duas vertentes de valoração ambiental, sendo que cada uma cobria uma faceta do atributo ambiental, ou seja, um formato, no mínimo, **bicriterial**, a valoração ambiental possibilitou um melhor entendimento da complexidade do ambiente.

A valoração ambiental representa, em última instância, uma tentativa de dar racionalidade no entendimento da natureza e como ela contribui para a dinâmica econômica, dando suporte a visão própria sobre sustentabilidade. Mesmo com as devidas limitações, a valoração ambiental ainda é uma ferramenta bastante útil, não como ponte entre a economia e a ecologia, mas como fonte de discussão sobre sustentabilidade.

## BIBLIOGRAFIA

- ABDALA, G.C. (1993) **Análise Energética de um Cerrado e sua Exploração por Atividades de Carvoejamento Rústico**. Dissertação (Mestrado). Brasília. UNB. 103 p.
- ACIESP – Academia de Ciências do Estado de São Paulo (1997) **Glossário de Ecologia**. 2º Edição. Publicação ACIESP n°103. CNPq/FINEP/FAPESP
- ACREMAN, M. (2000) Managed Flood Releases from Reservoirs: Issues and Guidance. **Contributing Paper. Thematic Review II.1: Dams, ecosystem functions and environmental restoration. World Commission on Dams**. DFID - Environment Research Programme Infrastructure and Urban Development Division. UK 96 pg.
- ADAMS, C. *et al* (2003) **Valoração Econômica do Parque Estadual Morro do Diabo (SP)**. São Paulo. Páginas e Letras Editora. 28p.
- ADAMS, J. (1993) The Emperor's of Old Clothes: The Curious Comeback of Cost-Benefit Analysis. **Environmental Values 2**: 247-260.
- ADAMS, W.M. (1990). **Green Development: Environment and Sustainability in the Third World**. London, Routledge.
- ADGER, W.N *et al* (1995) Total Economic Value of Forest in Mexico. **Ambio**. **24**(5): 286-296.
- AFGAN, N.H., AL GOBAISI, D.; *et al* (1998) Sustainable Energy Development. **Renewable & Sustainable Energy Reviews 2**: 235-286.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Tarifas Médias por Unidade de Consumo**. URL: <http://www.aneel.gov.br>. Consultada em 11/2004.
- AHLHEIM, M. (1998) Contingent Valuation and Budget Constraint. **Ecological Economics 27**: 205-211.
- ALAM, M.K., MIRZA, M.R., *et al* (1995) Constraints and Opportunities in Planning for the Wise Use of Natural Resources in Developing Countries: Example of a Hydropower Project. **Environmental Conservation**. **22**(4): 352-358.
- ALLAN, T. (1999) Productive Efficiency and Allocative Efficiency: Why Better Water Management may not solve the Problem. **Agriculture Water Management**. **40**: 71-75.

- AMAZONAS, M.C. (1994) **Economia do Meio Ambiente. Uma análise da abordagem Neoclássica a partir de marcos Evolucionistas e Institucionalistas**. Dissertação (Mestrado). Instituto de Economia – IE/UNICAMP.
- AMAZONAS, M.C. (2001) **Valor e Meio Ambiente. Elementos para uma Abordagem Evolucionista**. Tese (Doutorado). Instituto de Economia – IE/UNICAMP.
- AMIGUES, J.P. *et al* (2002) The Benefits and Costs of Riparian Analysis Habitat Preservation: a willingness to accept/willingness to pay contingent valuation approach. **Ecological Economics**. **43**: 17-31.
- AMIR, S. (1994) The Role of Thermodynamics in the Study of Economic and Ecological Systems. **Ecological Economics** **10**: 125-142.
- ANDERSEN, E.S. (2002) Railroadization as Schumpeter's Standard Case: An evolutionary-ecological account. **Industry and Innovation** **9**(1/2): 41-78.
- ANDERSEN, L.E. (1997) A Cost-Benefit Analysis of Deforestation in Brazilian Amazon. IPEA. **Texto para Discussão nº 455**. Rio de Janeiro.
- ANDERSON, A.B. & IORIS, E.M. A Lógica da Extração: manejo de recursos e geração de renda por produtores extrativistas. In Kent H. Redford and Christine Padoch (editores) **Conservation of neotropical forest: working from traditional resource use**. New York. Columbia University Press. 175-199.
- ANDERSON, A.B.; MAY, P.H. & BALICK, M.J. (1992) **The Subsidy from Nature: Palms, Peasants, and Development of an Amazon Frontier**. New York. Columbia University Press. 233 p.
- ANEEL (2002) **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Agência Nacional de Energia Elétrica. – Brasília. ANEEL, 2002. 153 p.
- ANEEL (2005) **Hidrelétricas do Brasil**. [www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br). Acesso em abril 2005.
- ARAÚJO, M.B. (2002) **O Uso da Avaliação Econômica e Social no Licenciamento Ambiental de Projetos de Geração de Energia**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Economia – Departamento de Economia da Universidade de Brasília – UnB.
- ATKINSON, G.; DUBOURG, R.; *et al.* (1999) **Measuring Sustainable Development - Macroeconomics and the Environment**. Cheltenham, Edward Elgar. 252 p.

- ATTFIELD, R. (1998) Existence Value and Intrinsic Value. **Ecological Economics** 24: 163-168.
- AYRES, R.U. & AYRES, L.W. (1996). **Industrial Ecology: Towards Closing the Material Cycle**. Cheltenham - UK, Edward Elgar.
- AYRES, R.U. & FRANKL, P. (1998) Toward a Nonpolluting Energy System. **Environmental Science & Technology** September 1: 408-410.
- AYRES, R.U. (1996) Statistical Measures of Unsustainability. **Ecological Economics** 16: 239-255.
- AYRES, R.U. (1997) Comments on Georgescu-Roegen. **Ecological Economics** 22: 285-287.
- AYRES, R.U. (1998) Eco-thermodynamics: Economics and the Second Law. **Ecological Economics** 26: 189-209.
- AYRES, R.U. (1998) The Price-Value Paradox. **Ecological Economics** 25: 17-19.
- AYRES, R.U. (1999) The Second Law, the Fourth Law, Recycling and Limits to Growth. **Ecological Economics** 29: 473-483.
- AYRES, R.U. (2004) On the Life Cycle Metaphor: Where Ecology and Economics Diverge. **Ecological Economics** 48: 425-438.
- AZAR, C. *et al* (1996) Socio-ecological Indicators for Sustainability. **Ecological Economics** 18: 89-112.
- AZZONI, C.R. & ISAI, J.Y. (1994) Estimating the Costs of Environmental Protection in Brazil. **Ecological Economics** 11: 127-133.
- BAKSHI, B.R. (2002) A Thermodynamic Framework for Ecologically Conscious Process Systems Engineering. **Computers and Chemical Engineering** 26: 269-282.
- BARBOSA, N.P. (2001) **Setor Elétrico e Meio Ambiente: A Institucionalização da “Questão Ambiental”**. Tese (Doutorado). Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano e Regional. UFRJ.
- BARTH, F.T.; POMPEU, C.T.; *et al* (1987). **Modelos para Gerenciamento de Recursos Hídricos**. São Paulo, Nobel - ABRH.
- BASTIANONI, S. & MARCHETTINI, N. (1996) Ethanol Production from Biomass: Analysis of Process Efficiency and Sustainability. **Biomass and Bioenergy** 11(5): 411-418.

- BATEMAN, I. J. & TURNER, R. K. (1993). Valuation of the Environment, Methods and Techniques: The Contingent Valuation Method. **Sustainable Environmental Economics and Management. Principles and Practice**. R. K. TURNER, John Wiley & Sons.
- BECKERMAN, W. (1992) Economic Growth and the Environment: Whose Growth? Whose Environment? **World Development** 20(4): 481-496.
- BEDER, S. (1996) Charging the Earth: The promotion of Price-Based Measures for Pollution Control. Ecological Economics. 16: 51-63.
- BENAKOUCHE, R. & SANTA CRUZ, R. (1994). **Avaliação Monetária do Meio Ambiente**. São Paulo - Br, MAKRON Books. 198 p.
- BERGSTROM, J. (1989) Concepts and Measures of the Economic Value of Environmental Quality: a Review. **Journal fo Environmental Management** 31: 215-228.
- BERGSTRÖM, S. (1993) Value Standards in Sub-Sustainable Development. On Limits of Ecological Economics. **Ecological Economics** 7: 1-18.
- BERMANN, C. (2002) **Energia no Brasil: Para Quê? Para Quem? Crise e Alternativas para um País Sustentável**. São Paulo, Livraria da Física: FASE, 2001. 139 p.
- BERRY, D. (in press) Renewable Energy as a Natural Gas Price Hedge: the Case of Wind. **Energy Policy in press**.
- BIANCIARDI, C.; DONATI, A.; *et al* (1993) On the Relation Between the Economic Process, the Carnot Cycle and the Entropy Law. **Ecological Economics** 8: 7-10.
- BIANCIARDI, C.; TIEZZI, E.; *et al* (1993) Complete Recycling of Matter in the Frameworks of Physics, Biology and Ecological Economics. **Ecological Economics** 8: 1-5.
- BINGHAM, G. *et al* (1995) Issues in Ecosystem Valuation: Improving Information for Decision Making. **Ecological Economics** 14: 73-90.
- BINSWANGER, H.C. (1998) Making Sustainability Work. **Ecological Economics** 27: 3-11.
- BINSWANGER, M. (1993) From Microscopic to Macroscopic Theories: Entropic Aspects of Ecological and Economic Processes. **Ecological Economics** 8: 209-234.
- BITENCOURT, M.D. & MENDONÇA, R.R. (org.) (2004) **Viabilidade de Conservação de Cerrado no Estado de São Paulo**. São Paulo. Annablume; Fapesp. 170 p.

- BLEISCHWITZ, R. (2001) Rethinking Productivity: Why has Productivity Focused on Labour Instead of Natural Resources? **Environmental and Resources Economics** 19(1): 23-36.
- BOJÖ, J. (1996) The Costs of Land Degradation in Sub-Saharan África. **Ecological Economics** 16: 161-173.
- BOWERS, J. (1993) A Conspectus on Valuing the Environment. **Journal of Environmental Planning and Management** 36(1): 91-100.
- BRANCO, S. M. (1989). **Ecossistêmica: Uma Abordagem Integrada dos Problemas do Meio Ambiente**. Editora Edgard Blücher.
- BROUWER, R. (2000) Environmental Value Transfer: State of The Art and Future Prospects. **Ecological Economics** 32: 137-152.
- BROWN, M. T. & BURANAKARN, V. (2003) Emergy Indices and Ratios for Sustainable Material Cycles and Recycle Options. **Resources, Conservation and Recycling** 38: 1-22.
- BROWN, M. T. & HEREDEEN, R. A. (1996). Embodied Energy Analysis and Emergy Analysis: a Comparative View. **Ecological Economics** 19: 219-235.
- BROWN, M. T. & McCLANAHAN, T. R. (1996). Emergy Analysis Perspectives of Thailand and Mekong River Dam Proposals. **Ecological Modelling** 91: 105-130.
- BROWN, M. T. & ULGIATI, S. (2001) Emergy Measures of Carrying Capacity to Evaluate Economic Investments. **Population and Environment** 22(5): 71-501.
- BROWN, M. T. & ULGIATI, S. (2002) Emergy Evaluations and Environmental Loading of Electricity Production Systems. **Journal of Cleaner Production** 10: 321-334.
- BROWN, M. T. & ULGIATI, S. (2004) Energy Quality, Emergy, and Transformity: H.T. Odum's Contributions to Quantifying and Understanding Systems. **Ecological Modelling** 178: 201-213.
- BROWN, M.T. & ARDING, J. (1991) **Transformities Working Paper**. Center of Wetlands, University of Florida, Gainesville, Fl.
- BRÜSEKE, F. J. (1995). O Problema do Desenvolvimento Sustentável. In C. CAVALCANTI **Desenvolvimento e Natureza: Estudos para uma Sociedade Sustentável**. São Paulo, Cortez Editora: 29-40.

- BURKETT, P. (2003) The Value Problem in Ecological Economics: Lessons from the Physiocrats and Marx. **Organization & Environmental** 16(2) 137-158 pgs.
- CAI, T.T.; OLSEN, T.W. *et al* (2004) Maximum (em)Power: a Foundational Principal Linking Man and Nature. **Ecological Modelling** 178: 115-119.
- CAMARA, E.P.L. **Implicações do Padrão Atual de Utilização dos Recursos da Várzea Amazônica na Sustentabilidade da Reserva Do Lago**. Dissertação (Mestrado). Belém. UFPA. 105 p.
- CANTLON, J.E. & KOENIG, H. (1999) Sustainable Ecological Economics. **Ecological Economics** 31: 107-121.
- CAVALCANTI, C. (1994) Desenvolvimento e Respeito à Natureza: uma introdução termodinâmica à economia da sustentabilidade. **XVIII ENCONTRO ANUAL DA ANPOCS**, Caxambu - MG. 23-27/11/1994.
- CAVALCANTI, C. (1995). Sustentabilidade da Economia: paradigmas alternativos de realização econômica. In C. CAVALCANTI. **Desenvolvimento e Natureza: Estudos para uma Sociedade Sustentável**. São Paulo, Cortez Editora. 153-174.
- CAVALCANTI, C. (1997). **Meio Ambiente, Desenvolvimento Sustentável e Políticas Públicas**. São Paulo – Br. Cortez Editora.
- CAVALCANTI, C. (org) (1995). **Desenvolvimento e Natureza: Estudos para uma Sociedade Sustentável**. São Paulo, Cortez Editora.
- CELESC - Centrais Elétricas de Santa Catarina/Ambiental Consultoria e Planejamento (1997) **EIA Usina Hidrelétrica Salto Pilão**. Santa Catarina. Volume I. 48 p.
- CELESC - Centrais Elétricas de Santa Catarina/Ambiental Consultoria e Planejamento (1997) **EIA Usina Hidrelétrica Salto Pilão**. Santa Catarina. Volume III. 48 p.
- CELG - Centrais Elétricas de Goiás (1994) **Estudos Preliminares de Inventário. Bacia Hidrográfica do Rio Corrente**. V.1. – Texto e V.2. – Desenhos. THEMAG. Outubro/1994.
- CELG - Centrais Elétricas de Goiás (1994) **UHE Itumirim. Estudo de Impacto Ambiental**. Diagnóstico da Área de Influência. THEMAG. Dezembro 1994.

- CELG - Centrais Elétricas de Goiás (1994) **UHE Itumirim. Estudo de Impacto Ambiental.** Diagnóstico Ambiental da Área Diretamente Afetada. Avaliação de Impactos e Programas. V.1. – Texto e V.2. – Anexos.
- CELG - Centrais Elétricas de Goiás (1995) **Estudos Finais de Inventário. Bacia Hidrográfica do Rio Corrente.** V.1. – Texto e V.2. – Desenhos. THEMAG. Fevereiro/1995.
- CELG - Centrais Elétricas de Goiás (1995) **UHE Itumirim. Relatório de Impacto Ambiental.** Fevereiro/1995.
- CELG - Centrais Elétricas de Goiás (1996) **UHE Itumirim. Estudo de Viabilidade.** Relatório Final. THEMAG. Dezembro/1996.
- CELG - Centrais Elétricas de Goiás (1998) **Bacias dos Rios Claro e Verde. Estudos de Inventário Hidrelétrico.** V.1. – Texto e V.2. – Desenhos. THEMAG. Novembro/1998.
- CELG - Centrais Elétricas de Goiás (1999) **Estudos de Inventário da Bacia do Rio Corrente.** Revisão da Divisão de Queda. THEMAG. Fevereiro/1999.
- CELG - Centrais Elétricas de Goiás (2001) **AHE Olho D'Água. Estudos de Viabilidade. Relatório Final.** V.1. – Texto e V.2. – Desenhos (disponíveis apenas parcialmente). SOARES BARROS Engenharia. Julho/2001.
- CELG - Centrais Elétricas de Goiás (s/d) **AHE Olho D'Água. Relatório Ambiental Simplificado.** V.1. – Texto e V.2. – Desenhos (disponíveis apenas parcialmente). CTE – Centro Tecnológico de Engenharia. s/d, mas com alguns desenhos datados de julho/01.
- CESP - Centrais Elétricas de São Paulo /ENGEA (1994) **UHE Ourinhos. Projeto Básico Ambiental (PBA).** Contrato nº ASS/EA/369/01/92. Outubro de 1994. 160 p.
- CLARK, J. *et al* (2000) I Struggled with this Money Business: Respondents' Perspectives On Contingent Valuation. **Ecological Economics** 33: 45-62.
- CLEVELAND, C.J. (1995) Resources Degradation, Technical Change, and the Productivity of Energy Use in U.S. Agriculture. **Ecological Economics** 13: 185-201.
- CLEVELAND, C.J.; KAUFMANN, R.K.; *et al* (2000) Aggregation and the Role of Energy in the Economy. **Ecological Economics** 32: 301-317.

- CLINCH, J.P. & HEALY, J.D. (2001). Cost-Benefit Analysis of Domestic Energy Efficiency. **Energy Policy 29**: 113-124.
- CNEC – Consórcio Nacional de Engenheiros Consultores (2001) **AHE Couto de Magalhães. Estudos de Viabilidade. Relatório Final**. V.1 – Texto e V.2 – Caderno de Desenhos, mais Apêndices 1 – Hidrologia e 2 – Geologia e Geotecnia. Rev. 0. 2001.
- COLBY, M.E. (1991). Environmental Management in Development: the evolution of the paradigms. **Ecological Economics 3**: 193-213.
- COMAR, V. (1993) **An Emergy Evaluation Of The Central Amazon Town of Itacoatiara, its Plywood and Veneer Industry and the Foodplain of Madeira River Basin**. Dissertação (Mestrado em Ecologia) INPA - Universidade do Amazonas (FUAM). 146 p.
- COMISSÃO MUNDIAL DE BARRAGENS (CMB) (2000) Barragens e Desenvolvimento: Um Novo Modelo para Tomada de Decisões. [www.dams.org](http://www.dams.org). Acesso em abril de 2003.
- CONSERVATION INTERNATIONAL (CI) (no prelo). **A Análise da Viabilidade Técnica e Ambiental de AHEs no Sudoeste de Goiás**. Relatório Técnico.
- CONSÓRCIO SALTO (CEB-THEMAG) (2001) **AHE Salto do Rio Verdinho. Estudos de Viabilidade**. V.1. – Memorial Descritivo, Rev. 2, abril/02 e Desenhos de Interesse Avulsos, datadas de dezembro/2001.
- CONSÓRCIO SALTO (CEB-THEMAG) (s/d) **AHE Salto. Estudos de Viabilidade**. V.1. – Memorial Descritivo, Rev. 1, s/d e Desenhos de Interesse Avulsos, datadas de novembro/2001.
- CONSÓRCIO SALTO (CEB-THEMAG) (s/d) **AHE Salto. Estudos de Viabilidade**. Relatório Hidrossedimentométrico (set/00 a ago/01). ARAGUAIA Serviços Hidrométricos. s/d.
- CONSÓRCIO SALTO (CEB-THEMAG) (s/d) **AHE Salto. Levantamento Topográfico**. CTE – Centro Tecnológico de Engenharia. s/d, mas com desenhos datados de junho/01.
- COSTANZA, R. & PATTEN, B.C. (1995) Defining and Predicting Sustainability. **Ecological Economics 15**: 193-196.
- COSTANZA, R. (1980) Embodied Energy and Economic Valuation. **Science 210**: 1219-1224.

- COSTANZA, R. (1981). Embodied Energy, Energy Analysis and Economics. In H.E. Daly & A.F. Umana (eds) **Energy, Economics, and the environment**. Boulder. CO. Westview: 119-192.
- COSTANZA, R. (1994) Economia Ecológica: uma agenda de pesquisa. In P. H. MAY & R. SERÔA DA MOTTA. **Valorando a Natureza - Análise Econômica para o Desenvolvimento Sustentável**. Rio de Janeiro, Editora Campus: 111-144.
- COSTANZA, R. (1995) Economic Growth, Carrying Capacity, and the Environment. **Ecological Economics 15**: 89-90.
- COSTANZA, R. (1998) The Value of the Ecosystem Services. **Ecological Economics 25**: 1-2.
- COSTANZA, R. (1999) The Ecological, Economic, and Social Importance of the Oceans. **Ecological Economics 31**: 199-213.
- COSTANZA, R. (ed.)(1991). **Ecological Economics - The Science and Management of Sustainability**. New York, Columbia University Press. 525 p.
- COSTANZA, R.; d'ARGE, R. *et al* (1997). The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital. **Nature 387**: 253 - 260.
- CRUZ, P.T. da (2004) **100 Barragens Brasileiras: Casos Históricos, Materiais de Construção, Projeto**. São Paulo. Oficina de textos, 1996. 1ª edição. 648 p.
- DALE, M. B. (1970) **Systems Analysis and Ecology**. Durham, North Carolina, Duke Univ. Press: 232-245.
- DALY, H.E. & TOWNSEND, K.N. (eds.) (1993). **Valuing the Earth: Economics, Ecology, Ethics**. Cambridge, Massachusetts, The MIT Press.
- DALY, H.E. (1999) **Ecological Economics and the Ecology of Economics: Essay in Criticism**. Cheltenham, UK, Edward Elgar.
- DAZHONG, W. & PIMENTEL, D. (1986). Seventeenth Century Organic Agriculture in China: I. Cropping Systems in Jiaying Region. **Human Ecology 14**: 1-14.
- DESENVIX (2001) **UHE Barra dos Coqueiros. Estudos de Viabilidade**. Relatório Final. ENGEVIX. Outubro/2001.
- DESENVIX (2001) **UHE Caçu. Estudos de Viabilidade**. Relatório Final. ENGEVIX. Outubro/2001.

- DESENVIX (s/d) **Complexo Energético de Caçu. Estudo de Impacto Ambiental.** ENGEVIX. s/d.
- DESENVIX (s/d) **Complexo Energético de Caçu. Relatório de Impacto Ambiental.** ENGEVIX. s/d.
- DINCER, I. (1999). Environmental Impacts of Energy. **Energy Policy** 27: 845-854.
- DINCER, I. (2000) Renewable Energy and Sustainable Development: a Crucial Review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 4: 157-175.
- DOW, S.C. (1985) **Macroeconomic Thought: a Methodological Approach.** Oxford, Basil Blackwell.
- ECKSTEIN, O. (1957) Investment Criteria for Economic Development and the Theory of Intertemporal Welfare Economics. **Quarterly Journal of Economics** 71: 56-85.
- EKINS, P. (1993) Limits to Growth and Sustainable Development: Grappling with Ecological Realities. **Ecological Economics** 8: 269-288.
- EKINS, P. (1997) The Kuznets Curve for the Environment and Economic Growth: Examining the Evidence. **Environment and Planning** 29: 831-864.
- EL SERAFY, S. (1998) Pricing the Invaluable: the Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital. **Ecological Economics** 25: 25-27.
- ELETROBRÁS (1997) **Instruções para Estudos de Viabilidade de Aproveitamentos Hidrelétricos.** [www.eletrobras.gov.br](http://www.eletrobras.gov.br) Acesso em abril de 2003.
- ELETROBRÁS (1997) Manual de Inventário Hidrelétrico de Bacias. Rio de Janeiro. Nov. 1997. Volumes 1 e 2.
- ELETROBRÁS (1998) **UHE Itumirim. Análise Técnico-Orçamentária do Estudo de Viabilidade.** Relatório Condensado. IT-DPG-011/98.
- ELETROBRÁS (2000) **Emissões de Dióxido De Carbono e De Metano Pelos Reservatórios Brasileiros: Relatório Final.** Centrais Elétricas Brasileiras S.A. - Rio de Janeiro, 2000. 176 p.
- ELETROBRÁS (2002) **Manual de Estudos de Efeitos Ambientais dos Sistemas Elétricos.** Departamento de Engenharia e Meio Ambiente. Rio de Janeiro, 2002. 112 p.

- ELETROBRÁS (2004). **Evaporação Líquida em Reservatórios Hidrelétricos**. URL: <http://www.eletronorte.gov.br>. Acesso em outubro de 2004.
- ELETROBRÁS/PROCEL (2001). **Conservação de Energia: Eficiência Energética de Instalações e Equipamentos**. Itajubá - MG, Editora da EFEL.
- ELETRONORTE (1998) **UHE Couto de Magalhães. Estudos de Impacto Ambiental**. 3 V1s. PROGEA. Setembro/1998.
- ELETRORIVER/JPE (2000) **EIA da PCH Calheiros**. Volumes I, II e III.
- ELLIOTT, D. (2000) Renewable Energy and Sustainable Futures. **Futures** **32**: 261-274.
- FEARNSIDE, P.M. & BARBOSA, R.I. (1996). Political Benefits as Barriers to Assessment of Environmental Costs in Brazil's Amazonian Development Planning: The Example of the Jatapu Dam in Roraima. **Environmental Management** **20**(5): 615-630.
- FEARNSIDE, P.M. (1985). A Stochastic Model for Estimating Human Carrying Capacity in Brazil's Transamazon Highway Colonization Area. **Human Ecology** **13**: 331-369.
- FEARNSIDE, P.M. (1997) Environmental Services as a Strategy for Sustainable Development in Rural Amazonia. **Ecological Economics** **20**(1): 53-70.
- FEARNSIDE, P.M. (1999). Social Impacts of Brazil's Tucuruí Dam. **Environmental Management** **24**(4): 483-495.
- FEARNSIDE, P.M. (2001) Environmental Impacts of Brazil's Tucuruí Dam: Unlearned Lessons for Hydroelectric Development in Amazonia. **Environmental Management** **27**(3): 377-396.
- FEARNSIDE, P.M. (2002) Greenhouses Gas Emission from a Hydroelectric Reservoir (Brazil's Tucuruí Dam) and Energy Policy Implications. **Water, Air, and Soil Pollution** **133**: 69-96.
- FEARNSIDE, P.M. (2004) Gases de Efeito Estufa em Hidrelétricas na Amazônia. **Ciência Hoje** **35**(211): 41-44.
- FERRER, G. & AYRES, R.U. (2000). The Impact of Remanufacturing in the Economy. **Ecological Economics** **32**: 413-429.
- FREITAS, M.A.V. & DUTRA, L.E.D. (2002). Hidroeletricidade no Brasil: Perspectiva de Desenvolvimento e Sustentabilidade. **O Estado das Águas no Brasil**. M. A. V. d. F. (org.). Brasília - DF, ANA: 514.

- FRICKER, A. (1998). Measuring up to Sustainability. **Futures** 30(4): 367-375.
- FROMM, O. (2000) Ecological Structure and Functions of Biodiversity as Elements of Its Total Economic Value. **Environmental and Resources Economics** 16(3): 303-328.
- FURNAS (2001) **AHE Salto**. .Ensaaios Geotécnicos de Caracterização, Compactação, Permeabilidade, Adensamento, Colapso e Compressão Triaxial (Rel. DCT.T.02.045.2001-R0). THEMAG. Novembro/2001.
- FURNAS (2001) **AHE Salto**. Ensaaios com Testemunhos de Rocha (Rel. DCT.T.1.176.2001-R0). THEMAG. Outubro/2001.
- FURTADO, C. (1968). **The Economic Growth of Brazil**. Berkeley, University of California Press.
- FURTADO, C. (1981). **O Mito do Desenvolvimento Econômico**. São Paulo, Editora Paz e Terra. 117 p.
- GEORGE, C. (1999). Testing for Sustainable Development through Environmental Assessment. **Environmental Impact Assessment Review** 19: 175-200.
- GEORGESCU-ROEGEN, N. (1971) **The entropy Law and the Economic Process**. Cambridge, Havard University Press. 457 p.
- GEORGESCU-ROEGEN, N. (1993). Selections from "Energy and Economic Myths". **Valuing the Earth: Economics, Ecology, Ethics**. H. DALY & K. N. TOWNSEND. Cambridge, MIT Press: 89-111.
- GEORGESCU-ROEGEN, N. (1993). The Entropy Law and the Economic Problem. **Valuing the Earth: Economics, Ecology, Ethics**. H. DALY & K. N. TOWNSEND. Cambridge, MIT Press: 75-88.
- GETZNER, M. (1999). Weak and Strong Sustainability Indicators and Regional Environmental Resources. **Environmental Management and Health** 10(3): 170-176.
- GHILARDI JR, R. (2003) **Sustentabilidade de Grandes Barragens: adequação das recomendações da Comissão Mundial de Barragens ao planejamento de hidrelétricas no Brasil e ao Projeto Hidrelétrico de Belo Monte (PA)**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Amazonas. Centro de Ciências do Ambiente. Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Sustentabilidade na Amazônia.

- GIMENES, A.L.V. (2000) **Agregação de Valor à Energia Elétrica através da Gestão Integrada de Recursos**. Dissertação (Mestrado) Escola Politécnica. São Paulo, Universidade de São Paulo: 239.
- GODOY, R. & LUBOWSKI, R. (1992) Guidelines for the Economic Valuation of Nontimber Tropical Forest Products. **Current Anthropology** **33**(4). 423-433.
- GOLDEMBERG, J. (1996) **Energy, Environment and Development**. Geneva, Switzerland, International Academy of the Environment.
- GOLLEY, F.B. (1993) **A History of the Ecosystem Concept in Ecology**, Yale University.
- GOLLEY, F.B. (1994). Rebuilding a Humane and Ethical decision systema for investing in Natural Capital. In ANNMARI JANSSON *et al* (1994) **Investing in Natural Capital**. International Society for Ecological Economics. Island Press. 167-178.
- GÓRALCZYK, M. (2003) Life-Cycle Assessment in the Renewable Energy Sector. **Applied Energy** **75**: 205-211.
- GRAAF, H. J. d., C. J. M. MUSTERS, et al. (1996) Sustainable Development: looking for New Strategies. **Ecological Economics** **16**: 205-216.
- GREEN, G.H. & TUNSTALL, S.M. (1991) Is the Economic Evaluation of Environmental Resources Possible? **Journal of Environmental Management**.. **33**: 123-141.
- GRIMES, A. *et alli* (1994) Valuing the Rain Forest: The Economic Value of Nontimber Forest Products in Ecuador. **Ambio** **23**(7): 405-409.
- GROSSMAN, G.M. & KRUEGER, A. B. (1995) Economic Growth and the Environment. **Quaterly Journal of Economics** **110** (2): 353-377.
- GUO, J.Y. & BRADSHAW, A. D. (1993) The Flow o f Nutrients and Energy Flow through a Chinese Farming System. **Journal of Applied Ecology** **30**: 86-94.
- GUSDORF, J. (1992) Energy Paybacks and Renewable Breeders. **Energy** **17**: 1137-1151.
- HADKER, N. *et al* (1997) Willingness-to-pay for Borivli National Park: Evidence from a Contingent Valuation. **Ecological Economics** **21**: 105-122.
- HANLEY, N. & SPASH, C. L. (1998) **Cost-Benefit Analysis and the Environment**. Cheltenham. Edward Elgar. 278 p.

- HANLEY, N.; MOFFATT, I.; *et al.* (1999) Measuring Sustainability: A Time Series of Alternative Indicators for Scotland. **Ecological Economics** 28: 55-73.
- HANLEY, N.; SHOGREN, J.F. *et al.* (1997). **Environmental Economics in Theory and Practice**, MACMILLAN.
- HANNON, B.; COSTANZA, R. *et al.* (1986) Measures of Energy Cost and Value in Ecosystems. **Journal of Environmental Economics and Management** 13: 391-401.
- HARTE, M.J. (1995) Ecology, Sustainability and Environment as Capital. **Ecological Economics** 15: 157-164.
- HARTWICK, J.M. (2001) National Accounting with Natural and Other Types of Capital. **Environmental and Resources Economics** 19(4): 329-341.
- HAU, J.L. & BAKSHI, B. R. (2004) Promise and Problems of Emergy Analysis. **Ecological Modelling** 178: 215-225.
- HEAL, G. (1999) Markets and Sustainability. **The Science of the Total Environment** 240: 75-89.
- HEDIGER, W. (2000) Sustainable Development and Social Welfare. **Ecological Economics** 32: 481-492.
- HEDIGER, W. (2002) Reconciling "Weak" and "Strong" Sustainability. **International Journal of Social Economics** 26(7/8/9): 1120-1144.
- HEREDEEN, R. (1998) **Ecological Numeracy: Quantitative Analysis of Environmental Issues**. New York. John Wiley & Sons, Inc. 331 p.
- HEREDEEN, R. (1994) Needed: Examples of Applying Ecological Economics. **Ecological Economics** 9: 99-105.
- HEREDEEN, R. (2004) Energy Analysis and EMERGY Analysis - a Comparison. **Ecological Modelling** 178: 227-237.
- HINTERBERGER, F.; LUKS, F. *et al* (1997) Material Flows vs. "Natural Capital". What Makes an Economy Sustainable? **Ecological Economics** 23: 1-14.
- HOCHSTETLER, R.L. (2002) **Recursos Naturais e o Mercado: Três Ensaio**s. Departamento de Economia. São Paulo, Universidade de São Paulo: 158.

- HOLMES, T. *et alli* (1998) The Effects of Response Time on Conjoint Analysis Estimates of Rainforest Protection Values. **Journal of Forest Economics** 4(1): 7-28.
- HOLT, R. (2001) Creating Whole Life Value Proxemics In Construction Projctcs. **Business Strategy and the Environment** 10(3): 148-160.
- HORNBORG, A. (1998) Towards an Ecological Theory of Unequal Exchange: Articulating World System Theory and Ecological Economics. **Ecological Economics** 25: 127-136.
- HORNBORG, A. (2001) **The Power of the Machine: Global Inequalities of Economy, Technology and Environment**. Walnut Creek, ALTAMIRA Press. 273 p.
- HOWARTH, R. B. (1996) Discount Rates and Sustainable Development. **Ecological Modelling** 92: 263-270.
- HUANG, S. L. & ODUM, H. T. (1991) Ecology and Economy: Emergy Synthesis and Public Policy in Taiwan. **Journal of Environmental Management** 32: 313-333.
- HUSSEN, A.M. (2000) **Principles of Environmental Economics. Economics, Ecology and Public Policy**. New York. Routledge. 431 p.
- JACOB, M. (1994) Sustainable Development and Deep Ecology: An Analysis of Competing Traditions. **Environmental Management** 18(4): 477-488.
- JACOBS, M. (1991) **The Green Economy. Environment, Sustainable Development and the Politics of the Future**. London, Pluto Press. 312 p.
- JAEGER, W.K. (1995) Is sustainability optimal? Examining the Differences Between Economists and Environmentalists. **Ecological Economics** 15: 43-57.
- JORGENSEN, B.S & SYME, G.J. (2000). Protest Responses and Willingness to Pay Attitude toward Paying for Stormwater Pollution Abatement. **Ecological Modelling** 178: 11-16.
- JORGENSEN, S. E., ODUM, H. T.; *et al* (2004) Emergy and Exergy Stored in Genetic Information. **Ecological Modelling** 178: 11-16.
- JORGENSEN, S.E.; NIELSEN, S.N. *et al* (1995) Emergy, Environ, Exergy and Ecological Modeling. **Ecological Modeling** 77: 99-109.
- KAHN, J.R. (1998) **The Economic Approach to Environmental and Resources Economics**. The Dryden Press.

- KANG, D. & PARK, S. S. (2002) Emergy Evaluation Perspectives of a Multipurpose Dam Proposal in Korea. **Journal of Environmental Management** **66**: 293-306.
- KAUFMANN, R.K. & CLEVELAND, C.J. (1995) Measuring Sustainability: Needed - an Interdisciplinary Approach to an Interdisciplinary Concept. **Ecological Economics** **15**: 109-112.
- KAYGUSUZ, K. (2002) Sustainable Development of Hydropower and Biomass Energy in Turkey. **Energy Conversion and Management** **43**: 1099-1120.
- KELLY, K. L. (1998) A System Approach to Identifying Decisive Information for Sustainable Development. **European Journal of Operational Research** **109**: 452-464.
- KELMAN, J., M. V. F. PEREIRA; *et al* (1999). Hidreletricidade. In **Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. A.C. REBOUÇAS, B. BRAGA & J. G. TUNDISI (org.). São Paulo, Escrituras Editora: 371-418.
- KIRKPATRICK, C. & WEISS, J. (1997). Cost-Benefit Analysis for Developing Countries. In **Cost-Benefit Analysis and Project Appraisal in Developing Countries**. C. KIRKPATRICK & J. WEISS, Edward Elgar: 3-23.
- KITAMURA, P.C. (1996) Amazônia: Produtos E Serviços Naturais e as Perspectivas para o Desenvolvimento Sustentável Regional. In A.R Romeiro; B.P Reydon; M.L.A. Leonardi (org.) (1996) **Economia do Meio Ambiente: Teoria, Políticas e a Gestão dos Espaços Regionais**. Campinas – SP. UNICAMP.IE. 283-297.
- LEFF, E. (1994). **Ecología y Capital: Racionalidade Ambiental, Democracia Participativa y Desarrollo Sustentable**. México, D.F., Siglo Veintiuno Editores, S.A. de C.V. 437 p.
- LEITE, R.C.D.C. (2002) **Energia para o Brasil - um Modelo de Sobrevivência**. Rio de Janeiro, Expressão e Cultura. 134 p.
- LEWIS, D.K. *et al* (1996) An Inventory-Based Procedure to Estimate Economic Costs Of Forest Management on a Regional Scale to Conserve and Sequester Atmospheric Carbon. **Ecological Economics** **16**: 35-49.
- LIMA, G.T. (1999) Naturalizando o Capital, Capitalizando a Natureza: o Conceito de Capital Natural no Desenvolvimento Sustentável. **Texto para Discussão**. IE/UNICAMP, Campinas, n° 74, jun. 1999.

- LIMA, I.B.T. (2002) **Emissão de Metano por Reservatórios Hidrelétricos Amazônicos Através de Leis de Potência**. Tese (Doutorado). Centro de Energia Nuclear na Agricultura. USP. Piracicaba. São Paulo. 108 p.
- LIMA, W.P.& ZAKIA,M.J.B. (2002) Hidrologia de Matas Ciliares. [www.ipef.br](http://www.ipef.br). Acesso em janeiro de 2005.
- LOCKWOOD, M. (1999) Humans Valuing Nature: Synthesising Insights from Philosophy, Psychology and Economics. **Environmental Values 8**: 381-401.
- LOZADA, G. A. (1995) Georgescu-Roegen's Defense of Classical Thermodynamics Revisited. **Ecological Economics 14**: 31-44.
- MACIEL, C.S. (2001) **Globalização Crise do Padrão de Financiamento da Economia e Reestruturação Institucional do Setor Elétrico Brasileiro**. Tese (Doutorado). Instituto de Economia. UNICAMP. 287 p.
- MÅNSSON, B. Å. & McGLADE, J. M. (1993) Ecology, Thermodynamics and H.T. Odum's Conjectures. **Oecologia 93**: 582-596.
- MARGALEF, R. (1991). **Ecologia**. Ediciones Omega. Barcelona. 951 p.
- MARQUES, J.F. & COMUNE, A. E. (1996) A Teoria Neoclássica e a Valoração Ambiental. In ROMEIRO, A.R. & REYDON, B.P. & LEONARDI, M.L.A. (org.) (1996) **Economia Do Meio Ambiente: Teoria, Políticas e a Gestão De Espaços Regionais**. UNICAMP, IE. Capinas, SP. 21-42.
- MARTIN, J. F. (2002) Emergy Valuation of Diversions of River Water to Marshes in the Mississippi River Delta. **Ecological Engineering 18**: 265-286.
- MARTÍNEZ, G.M. *et al.* (2004) An Overview of Renewable Energy in Spain. The Small Hydro-Power Case. **Renewable and Sustainable Energy Reviews in press**: 1-14.
- MARTINEZ-ALIER, J. (1994). **Ecological Economics: Energy, Environment and Society**. Oxford, UK, Blackwell Publishers. 287 p.
- MARTINEZ-ALIER, J. (1995). The environmental as a Luxury Good or “Too Poor to be Green”? **Ecological Economics 13**: 1-10 pgs.

- MARTINEZ-ALIER, J.; MUNDA, G. *et al.* (1998) Weak Comparability of Value as a Foundation for Ecological Economics. **Ecological Economics** 26: 277-286.
- MAY, P. H. & SERÔA DA MOTTA, R. (1994). **Valorando a Natureza: Análise Econômica para o Desenvolvimento Sustentável**. Rio de Janeiro - Br, Editora Campus.
- MAY, P.H. (1995) Economia Ecológica e o Desenvolvimento Equitativo no Brasil. In P.H. MAY. **Economia Ecológica: aplicações no Brasil**. Rio de Janeiro. Editora Campus. 1-20.
- MAY, P.H. (org.) (1995). **Economia Ecológica: Aplicações no Brasil**. Rio de Janeiro - Br, Editora Campus. 179 p.
- MAY, P.H.; LUSTOSA, M.C.; VINHA, V. (org.) (2003) **Economia do meio ambiente: Teoria e Prática**. Rio de Janeiro. Elsevier. 318 p.
- MAY, P.H.; VEIGA NETO, F.C. *et al.* (2000) **Valoração Econômica da Biodiversidade: Estudos de Caso no Brasil**. Brasília. Versão preliminar. Ministério do Meio Ambiente. MMA.
- MEADOWS, D. H.; MEADOWS, D. L. *et al.* (1992) **Beyond the Limits: Global Collapse or a Sustainable Future**. London, Earthscan Publications.
- MEBRATU, D. (1998) Sustainability and Sustainable Development: Historical and Conceptual Review. **Environmental Impact Assessment Review** 18(6): 493-520.
- MEDEIROS, J.X. (1995) Aspectos Econômicos-Ecológicos da Produção e Utilização do Carvão Vegetal a Siderurgia Brasileira. In May, P. org. (1995) **Economia Ecológica: Aplicações no Brasil**. Rio de Janeiro. Campus. 83-114.
- MENDONÇA, M.J.C. (2002) Um estudo sobre valoração da biodiversidade. **Texto para Discussão n°904** - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA.
- MENZ, F. C. (in press) Green Electricity Policies in the United States: Case Study. **Energy Policy** in press.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME): URL: <http://www.mme.gov.br>. Acesso em outubro de 2004.
- MOTA, J.A. (2001) **O Valor da Natureza: Economia e política dos recursos ambientais**. Rio de Janeiro: Garamond. 200p.

- MOURATO, S. (1999) Economic Valuation in Transition Economies: An Application of Contingent Valuation to Lake Balaton in Hungary. **Environmental Valuation, Economic Policy and Sustainability. Recent advances in Environmental Economics**. M. A. a. P. Mason.
- MUCHAGATA, M.G. (1997) **Forest and People: the Role of Forest Production in Frontier Farming Systems in Eastern Amazônia**. DEV/ODG. University of East Anglia, Norwich. UK, 79 p.
- NASH, S. (1991) What Price Nature? Future Ecological Risk Assessment may Chart the Values, and the Odds. **BioScience** 41(10): 677-680.
- NEUMAYER, E. (1999). **Weak versus Strong Sustainability : Exploring the Limits of Two Opposing Paradigms**. Cheltenham - UK, Edward Elgar. 294 p.
- NORGAARD, R. B. (1994). **Development Betrayed. The End of Progress and a Coevolutionary Revisioning of the Future**. London, New York, Routledge. 280 p.
- NORTON, B.G. (1995) Evaluating Ecosystem States: Two Competing Paradigms. **Ecological Economics** 14: 113-127.
- NUNES, P.A.L.D. & van den BERGH, J.C.J.M. (2001) Economic Valuation of Biodiversity: Sense or Nonsense? **Ecological Economics** 39: 203-222.
- O'CONNOR, M. *et al* (s/d) Emergent Complexity and Procedural Rationality: Post-Normal Science for Sustainability. In Robert Costanza *et al* (s/d) **Getting Down to Earth. Practical Applications of Ecological Economics**. International Society for Ecological Economics. Washington. Island Press.
- O'HARA, S.U. (1996) Discursive Ethics in Ecosystems Valuation and Environmental Policy. **Ecological Economics** 16: 95-107.
- ODUM, E.C. & ODUM, H.T. (1985) System of Ethanol Production from Sugarcane in Brazil. **Ciência e Cultura** 37(11): 1849-1855.
- ODUM, E.P. & BIEVER, L.J. (1984) Resource Quality, Mutualism, and Energy Partitioning in Food Chains. **The American Naturalist** 124: 360-376.
- ODUM, E.P. (1968) Energy Flow in Ecosystems: A Historical Review. **American Zoologist** 8: 11-18.

- ODUM, E.P. (1988). **Ecologia**. Rio de Janeiro, Editora Guanabara Koogan. 434 p.
- ODUM, E.P. (2001). **Fundamentos de Ecologia**. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa. 6<sup>o</sup> Edição. 927 p.
- ODUM, H.T. & ARDING, J.E. (1991) **Emergy Analysis of Shrimp Mariculture in Ecuador**. Environmental Engineering Sciences and Center for Wetlands. University of Florida. 113 pg.
- ODUM, H.T. & ODUM, E.C. (1987) **Ecology and Economy: Energy Analysis and Public Policy in Texas**. University of Texas. 174 pg.
- ODUM, H.T. & PINKERTON, R.C. (1955) Time's Speed Regulator: the Optimum Efficiency for Maximum Power Output in Physical and Biological Systems. **American Scientist** **43**: 331 - 343.
- ODUM, H.T. (1971) **Environment, Power and Society**. New York, John Wiley.
- ODUM, H.T. (1984) Energy Analysis of the Environmental Role in Agriculture. In G STANHILL (ed.) **Energy and Agriculture**. Spring-Verlag, New York. p. 24-51.
- ODUM, H.T. (1988a). Energy, Environment and Public Policy. a Guide to the Analysis of Systems, UNEP: 109. **UNEP Regional Seas Reports and Studies n<sup>o</sup> 95**. 109 p.
- ODUM, H.T. (1988b) Self-Organization, Transformity and Information. **Science** 242: 1132-1139.
- ODUM, H.T. (1994). **Ecological and General Systems: An Introduction to Systems Ecology**. Colorado, University Press of Colorado. 644 p.
- ODUM, H.T. (1995) Energy Systems Concepts and Self-Organization: a Rebuttal. **Oecologia**. **104**: 518-522.
- ODUM, H.T. (1996) **Environmental Accounting: Emergy and Environmental Decision Making**. John Wiley & Sons, Inc. 370 p.
- ODUM, H.T. (2000) Emergy Evaluation of an OTEC Electrical Power System. **Energy** **25**: 389-393.
- ODUM, H.T. (2000). **Emergy Accounting**. Gainesville: 20.
- ODUM, H.T. *et alli* (1987) **Energy Analysis of Environmental Value**. Center for Wetlands. University of Florida. 97 pg.
- OH, W. & K. LEE (2004) Energy Consumption and Economic Growth in Korea: Testing the Causality Relation. **Journal of Policy Modeling** in press.

- OLIVIER, F. (2000) Ecological Structure and Functions of Biodiversity as Elements of Its Total Economic Value. **Environmental and Resources Economics** 16(3): 303-328.
- ONS (2004) **Planejamento Anual da Operação Energética** Ano 2004. 163 p.
- OPSCHOOR, J.B. (s/d) Institutional Changes and Development towards Sustainability. In Robert Costanza *et al* (s/d) **Getting Down to Earth. Practical Applications of Ecological Economics**. International Society for Ecological Economics. Washington. Island Press.
- PAGY, A. & GARCIA, V. (1990) Política Industrial e Energia – Quinze anos após o primeiro choque do Petróleo. **Revista Brasileira de Energia**. 1(3): 20-22.
- PAN, J. (1994) A Synthetic Analysis of Market Efficiency and Constant Resource Stock for Sustainability and its Policy Implications. **Ecological Economics** 11:187-199.
- PARAÍSO, L. (1998) Valoração Econômica do dano causado pelo uso de área de empréstimo da barragem do rio Jundiáí – SP. Trabalho apresentado no **V Congresso da International Society for Ecological Economics**, Santiago, Chile.
- PATTEN, B.C. & ODUM, E.P. (1981). The Cybernetic Nature of Ecosystems. **The American Naturalis** 118: 886-895.
- PATTEN, B.C. (1995) Toward a more Holistic Ecology, and Science: the Contribution of H.T.Odum. **Oecologia** 93: 597-602.
- PEARCE, D. & ATKINSON, G. (1993) Capital Theory and the Measurement of Sustainable Development: an Indicator of Weak Sustainability. **Ecological Economics** 8: 103-108.
- PEARCE, D. & TURNER, R.K. (1990) **Economics of Natural Resources and the Environment**. New York, Harvester Wheatsheaf. 378 p.
- PEARCE, D. (1989) **Blueprint for a Green Economy, a report**. London, Earthscan Publications. 192 p.
- PEARCE, D. (1993). Sustainable Development and Developing Country Economies. In R. K. TURNER. **Sustainable Environmental Economics and Management. Principles and Practice**. John Willy & Sons.
- PEARCE, D. (1998) Cost-benefit Analysis and Environmental Policy. **Oxford Review of Economic Policy** 14(4): 84-100.

- PEARCE, D. (1998). **Economics and Environment**. Cheltenham, Edward Elgar Publishing.
- PEARCE, D. *et al* (1996). Measuring Sustainable Development: Progress on Indicators. **Environmental and Development Economics 1**: 85-101.
- PEARCE, D.; MARKANDYA, A. *et al.* (1994). **Blueprint for a Green Economy**. London, Earthscan.
- PENNER, S.S. *et al* (1992) Long-term Global Energy Supplies with Acceptable Environmental Impacts. **Energy 17**(10): 883-899.
- PERELMAN, M. (2003) Myths of the Market.. **Organization & Environment 16**(2): 168-226.
- PERMAN, R. *et al.* (1999). **Natural Resources & Environmental Economics**. Harlow - England, Pearson Education.
- PERRINGS, C. (1995) Ecology, Economics and Ecological Economics. **AMBIO 24**: 60-64.
- PESONEN, H.L. (1999) Material Flow Models as a Tool for Ecological-Economic Decision Making. **Eco-Management and Auditing 6**: 34-41.
- PESSOA, R. & RAMOS, F.S. (1998) Valoração dos Ativos Ambientais de Roraima. **Revista Brasileira de Economia FGV**, 52(3): 405-426.
- PETERS, C.M. *et al* (1989) Valuation of an Amazonian Rainforest. **Nature 339**.
- PIMENTEL, D. *et al* (1973) Food Production and Energy Crises. **Science 182**: 443-449.
- PIMENTEL, D. *et al* (1994) Achieving a Secure Energy Future: Environmental and Economics Issues. **Ecological Economics 9**: 201-219.
- PIMENTEL, D. *et al* (1994) Renewable Energy: Economic and Environmental Issues. **BioScience 44**(8): 536-547.
- PIMENTEL, D. *et al* (1995) Environmental and Economic Costs of Soil Erosion and Conservation Benefits. Science **267**: 1117-1123.
- PINEDO-VASQUEZ, M. *et al* (1992) Economic Returns from Forest Conversion in the Peruvian Amazon. **Ecological Economics 6**: 163-173.
- POINT CARBON Disponível em: <<http://www.pointcarbon.com>>. Acesso em maio de 2005.

- PRONI, M.W. (1997) História do Capitalismo: uma Visão Panorâmica. **Cadernos do CESIT**, Campinas, n° 25; out. 1997.
- PUNTI, A. (1988) Energy Accounting: Some New Proposals. **Human Ecology** 16(1): 79-86.
- RATHAKRISHNAN, L. (2000) **Critique of the Two Club of Rome Reports**. In press.
- REBANE, K.K. (1995) Energy, Entropy, Environment: Why is Protection of Environment Objectively Difficult? **Ecological Economics** 13: 89-92.
- REBÊLO, G. & PEZZUTI, J. (2000) Percepções sobre o Consumo de Quelônios na Amazônia. Sustentabilidade e Alternativas de Manejo Atual. **Ambiente e Sociedade**. Ano III. 6/7: 85-104.
- REBOUÇAS, A.C. *et al.* (eds.) (1999) **Águas Doces no Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação**. São Paulo, Escrituras Editora. 717 p.
- REDCLIFT, M. (1993) Sustainable Development: Needs, Values, Rights. **Environmental Value** 2: 3-20.
- REDCLIFT, M. (1995) **Sustainable Development - Exploring the Contradictions**. London, Routledge.
- REIS, L.B.D. & SILVEIRA, S. (orgs.) (2001) **Energia Elétrica para o Desenvolvimento Sustentável**. São Paulo, EDUSP.
- RENNINGS, K. & WIGGERING, H. (1997). Steps Towards Indicators of Sustainable Development: Linking Economic and Ecological Concepts. **Ecological Economics** 20: 25-36.
- REYDON, B.P. (1996) Agricultura sustentável: uma agenda para o desenvolvimento de produção economicamente viável para a Região Amazônica. In A.R. ROMEIRO; B.P. REYDON; M.L.A LEONARDI (org.) (1996) **Economia do Meio Ambiente: Teoria, Políticas e a Gestão Dos Espaços Regionais**. Campinas – SP. UNICAMP.IE. 299-309.
- REYNOLDS, D.B. (1999) Entropy and Diminishing Elasticity of Substitution. **Resources Policy** 25: 51-58.
- RIBEIRO, F.M. (2003) **Inventário de Ciclo de Vida da Geração Hidrelétrica no Brasil - Usina De Itaipu: Primeira Aproximação**. Dissertação (Mestrado). Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia (EP-IF-FEA-IEE). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. 243p.

- RIGHETTO, J.M. & MEDIONDO, E.M. (2004) Avaliação de Riscos Hidrológicos: Principais Danos e Causas e Proposta de Seguro Contra Enchentes. **III Simpósio de Rec. Hídricos Centro-Oeste**. Goiânia (GO) – 2004. 12 pg.
- RODRIGUES, L. (1994) **Indicadores de Desenvolvimento Sustentável - I**. Brasília, Secretaria de Planejamento.
- RODRIGUES, L. (1994) **Indicadores de Desenvolvimento Sustentável - II**. Brasília, Secretaria de Planejamento.
- ROHDE, G. M. (1995) Mudanças de Paradigma e Desenvolvimento Sustentado. In C. CAVALCANTI, **Desenvolvimento e Natureza: Estudos para uma Sociedade Sustentável**. São Paulo, Cortez Editora: 41-53.
- ROMEIRO, A.R. & REYDON, B.P. & LEONARDI, M.L.A. (org.) (1996) **Economia do Meio Ambiente: Teoria, Políticas e a Gestão de Espaços Regionais**. UNICAMP, IE. Campinas, SP 384 p.
- ROMEIRO, A.R. (2003) Economia ou Economia Política da Sustentabilidade. In P. MAY, M.C. LUSTOSA e V. VINHA (org.). **Economia do Meio Ambiente: Teoria e Prática**. Rio de Janeiro: Elsevier. 1-29.
- SAGOFF, M. (1998) Aggregation and Deliberation in Valuing Environmental Public Goods: A look beyond Contingent Pricing. **Ecological Economics** 24: 213-230.
- SALDARRIAGA, J. G. & LUXMOORE, R. J. (1991) Solar Energy Conversion Efficiencies during Succession of a Tropical Rain Forest in Amazonia. **Journal of Tropical Ecology** 7: 233-242.
- SANTOS, J.E.; NOGUEIRA, F. *et al.* (1997) Funções Ambientais e Valores dos Ecossistemas Naturais – Estudo de Caso: Estação Ecológica de Jataí. In **II Congresso Nacional de Unidades de Conservação**, Curitiba. IAP: UNILIVRE: Rede Nacional de Pro Unidades de Conservação. 465-477.
- SAUER, I.L.; ROSA, L.P. *et al.* (2003) **A Reconstrução do Setor Elétrico Brasileiro**. Campo Grande, MS, Ed. UFMS & Paz e Terra.
- SCHAEFFER, R. & WIRTSHAFTER, R. (1992) An Exergy Analysis of the Brazilian Economy: form Energy Production to Final Energy use. **Energy** 17(9): 841-855.

- SCHNEIDER, R. (1993) The Potential for Trade with the Amazon in Greenhouse Gas Reduction. **LATEN Dissimination Note #2**. The World Bank, Latin American Technical Department, Environmental Division.
- SCHRÖDER, T. (1995) Daly's Optimal Scale of Economic Activity. **Ecological Economics 14**: 163-164.
- SCHULZE, P.C. (1994) Cost-Benefit Analyses and Environmental Policy. **Ecological Economics 9**: 197-199.
- SCOTT, M. *et all* (1998) Valuation of Ecological Resources and Functions. **Environmental Management 22**(1) 49-68 pgs.
- SERÔA DA MOTTA, R. & MAY, P.H. (1992) Loss in Forest Resource Values due to Agricultural Land Cover Conversion in Brazil. **Texto para Discussão n° 248**. Rio de Janeiro. IPEA.
- SERÔA DA MOTTA, R. (1994) Some Comments on Depletion and Degradation Costs in Income Measurement. **Ecological Economics 11**: 21-25.
- SERÔA DA MOTTA, R. (1995) **Contabilidade Ambiental: Teoria, Metodologia e Estudos de Caso no Brasil**. Rio de Janeiro - Br, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.
- SERÔA DA MOTTA, R. (1995) Estimativas de Depreciação de Capital Natural no Brasil. In P.H. MAY. **Economia Ecológica: aplicações no Brasil**. Rio de Janeiro. Editora Campus. 21-48.
- SERÔA DA MOTTA, R. (1996) Indicadores Ambientais no Brasil: Aspectos Ecológicos, de Eficiência e Distributivos. **Texto para Discussão n°403:104**. Rio de Janeiro. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA.
- SERÔA DA MOTTA, R. (1997) A Questão Econômica da Questão Ambiental. In S. SHIGI, J.F. SILVA & A. A. C. ORTEGA. **Agricultura, Meio Ambiente e Sustentabilidade do Cerrado Brasileiro**. Uberlândia.
- SERÔA DA MOTTA, R. (1998). **Manual para Valoração Econômica de Recursos Ambientais**. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. 216 p.
- SHEARMAN, R. (1990) The Meaning and Ethics of Sustainability. **Environmental Management 14**(1):1-8.

- SHERRIL, E.I. (1999) **Padrões de Uso do Solo, Desmatamento na Amazônia e seus Impactos Ecológicos Globais: um Modelo Econômico-Ecológico de Dinâmica Regional**. Tese (Doutorado). COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro. 198 p.
- SIMON, J.L. (s/d) What does the Future Hold? The Forecast in a Nutshell. In J. SIMON, E. C. BEISNER, J. PHELPS (ed) **The State of Humanity**. Blackwell. 643-660.
- SLOCOMBE, D. S. (1993) Environmental Planning, Ecosystem Science, and Ecosystem Approaches for Integrating Environment and Development. **Environment Management**. **17**(3): 289-303.
- SMITH, E. A. (1979) Human Adaptation and Energetic Efficiency. **Human Ecology** **7**(1): 53-73.
- SMITH, J. *et al* (1997) Willingness to Pay for Environmental Services among Slash-and-Burn Farmers in the Peruvian Amazon: Implications for Deforestation and Global Environmental Markets. **CSERGE/CIAT/ICRAF Working Paper n°54**.
- SMITH, S. (1998) Environmental and Public Finance Aspects of the Taxation of Energy. **Oxford Review of Economic Policy** **14**(4): 64-83.
- SNEDDON, C. (2000) Sustainability in Ecological Economics, Ecology and Livelihoods: a Review. **Progress in Human Geography** **24**(4): 521-549.
- SÖDERQVIST, T.; MITSCH, W.J. *et al* (2001) Valuation of Wetlands in a Landscape and Institutional Perspective. **Ecological Economics** **35**: 1-6.
- SPANGENBERG, J. H. (2001) The Environmental Kuznets Curve: A methodological artifact? **Population and Environment** **23**(2): 175-191.
- SPASH, C. L. (1999) The Development of Environmental Thinking in Economics. **Environmental Values** **8**(4): 413-435.
- STAHEL, A.W. (1995). Capitalismo e Entropia: os Aspectos Ideológicos de uma Contradição e a Busca de Alternativas Sustentáveis. In C. CAVALCANTI. **Desenvolvimento e Natureza: Estudos para uma Sociedade Sustentável**. São Paulo, Cortez Editora, 104-127.
- STEIGUER, J.E. (1995) Three Theories from Economics about Environment. **BioScience**. **45**(8) 552-557.

- STEPHENSON, K. & SHABMAN, L. (2001) The Role of Nonmarket Valuation in Hydropower Relicensing: An Application of a Pattern Modeling Approach. **Journal of Economic Issues** **35**(2): 497-504.
- STERN, D. I. (1997) The Capital Theory Approach to Sustainability: A Critical Appraisal. **Journal of Economic Issues** **31**(1): 145-173.
- STERN, D.I. (1999) Is Energy Cost an Accurate Indicator of Natural Resource Quality ? **Ecological Economics** **31**: 381-394.
- STIRLING, A. (1997) Limits to the Value of External Costs. **Energy Policy**. **25** (5) 517-540.
- SURI, V. & CHAPMAN, D. (1998) Economic Growth, Trade and Energy: Implications for the Environmental Kuznets Curve. **Ecological Economics** **25**: 195-208.
- SVIREZHEV, Y. M. & SVIREJAVA-HOPKINS, A. (1998) Sustainable Biosphere: Critical Review of Basic Concept of Sustainability. **Ecological Modeling** **106**: 47-61.
- THEMAG (1978) **EIA e PBA da Usina Hidrelétrica Porto Primavera**.
- THEMAG (s/d) **AHE Salto do Rio Verdinho. Estudo de Impacto Ambiental**. Vls 1 a 3 – Texto e V.4 – Anexos. CTE - Centro Tecnológico de Engenharia. s/d.
- THEMAG (s/d) **AHE Salto do Rio Verdinho. Relatório de Impacto Ambiental**. CTE - Centro Tecnológico de Engenharia. s/d.
- THEMAG (s/d) **AHE Salto. Estudo de Impacto Ambiental**. Vls 1 a 3 – Texto e V.4 – Desenhos. CTE - Centro Tecnológico de Engenharia. s/d.
- THEMAG (s/d) **AHE Salto. Relatório de Impacto Ambiental**. CTE - Centro Tecnológico de Engenharia. s/d.
- THIRLWALL, A.P. (1999) **Growth and Development**. London, MacMillan Press. 521 p.
- TIEZZI, E.; BASTIANONI, S.; *et al* (1996) Environmental Cost and Steady State: the Problem of Adiabaticity in the Emergy value. **Ecological Modeling** **90**: 33-37.
- TOLMASQUIM, M.T. (coord.) (2000) **Metodologias de Valoração de Danos Ambientais causados pelo Setor Elétrico**. UFRJ; COOPE. Rio de Janeiro. Programa de Planejamento Estratégico. 272 p.

- TOMAN, M. (1998) Why not to Calculate the Value of The World's Ecosystem Services and Natural Capital. **Ecological Economics 25**: 57-60.
- TOMAN, M.A.; PEZZEY, J. *et al.* (1998) Neoclassical Economics Growth Theory and "Sustainability". In D. W. BROMLEY, **The Handbook of Environmental Economics**. Malden, Massachusetts - USA, Blackwell Handbooks in Economics: 139-165.
- TON, S.; ODUM, H. T. *et al.* (1998) Ecological-economic Evaluation of Wetland Management Alternatives. **Ecological Engineering 11**: 291-302.
- TORRAS, M. & BOYCE, J.K. (1998) Income, Inequality, and Pollution: a Reassessment of the Environmental Kuznets Curve. **Ecological Economics 25**: 147-160.
- TUCKER, M. (1995) Carbon Dioxide Emission and Global GDP. **Ecological Economics 15**: 215-223.
- TURNER, R. K. (1997) Georgescu-Roegen versus Solow/Stiglitz: a Pluralistic and Interdisciplinary Perspective. **Ecological Economics 22**: 299-302.
- TURNER, R. K. (ed.) (1993). **Sustainable Environmental Economics and Management**. London, Belharen Press.
- TURNER, R. K. *et al.* (2000) Ecological-economic Analysis of Wetland: Scientific Integration for Management and Policy. **Ecological Economics 35**: 7-23.
- TURNER, R. K. *et al.* (2003) Valuing Nature: Lessons Learned and Future Research Directions. **Ecological Economics 46**: 493-510.
- ULGIATI, S. & BROWN, M.T. (1998) Monitoring patterns of sustainability in natural and man-made ecosystems. Ecological Modelling **108**: 23-36.
- ULGIATI, S. & BROWN, M.T. (2002) Quantifying the Environmental Support for Dilution and Abatement of Process Emissions: The Case of Electricity Production. **Journal of Cleaner Production 10**: 335-348.
- ULGIATI, S.; BROWN, M.T.; BASTIANONI, S.; MARCETTINI, N. (1995) Emergy-based Indicators and Rates to Evaluate the Sustainable Use of Resources. **Ecological Engineering 5**: 519-531.

- ULGIATI, S.; ODUM, H. T. *et al.* (1994) Emergy Use, Environmental Loading and Sustainability: an Emergy Analysis of Italy. **Ecological Modeling** **73**: 215-268.
- VALE, A.; MOURÃO, M.A.; LEÃO, A.L. (2002) Quantificação e Caracterização Energética da Madeira e Casca de Espécies do Cerrado. **Ciência Florestal**, Santa Maria. **12**(1) 71-80.
- van der BERGH, J.C.J.M. & GOWDY, J.M. (2000) Evolutionary Theories in Environmental and Resources Economics: Approaches and Applications. **Environmental and Resources Economics** **17**: 37-57.
- van der BERGH, J.C.J.M. & VERBRUGGEN, H. (1999) Spatial Sustainability, Trade and Indicators: an Evaluation of the "Ecological Footprint". **Ecological Economics** **29**: 61-72.
- VEDELD, P. (1994) The Environment and Interdisciplinary. Ecological and Neoclassical Economical Approaches to the Use of Natural Resources. **Ecological Economics** **10**: 1-13.
- VEIGA, J.E., (2005) **Desenvolvimento Sustentável. O Desafio do Século XXI**. Rio de Janeiro: Garamond.
- WACKERNAGEL, M. & REES, W. E. (1997) Perceptual and Structural Barriers to Investing in Natural Capital: Economics from and Ecological Footprint Perspective. **Ecological Economics** **20**: 3-24.
- WACKERNAGEL, M. & YOUNT, J.D. (2000) Footprints for Sustainability: The Next Steps. **Environment, Development and Sustainability** **2**(1): 21-42.
- WACKERNAGEL, M. *et al* (2002) Tracking the Ecological overshoot of the Human Economy. **Proceedings of the National Academy of Science** **99**(14): 9266-9271.
- WALTERS. C.J. (1988) Ecologia de Sistemas: O Método dos Sistemas e os Modelos Matemáticos em Ecologia. In E.P. ODUM, **Ecologia**. Rio de Janeiro. Editora Guanabara Koogan S.A. 434 pg.
- WARING, R.H. (1989). Ecosystems: Fluxes of Matter and Energy. **Ecological Concepts. The Contribution of Ecology to an Understanding of Natural World**. J. M. CHERRET. Oxford, Blackwell Sci. Publ: 17-41.
- WOODWELL, J. (1998) A Simulation Model to Illustrate Feedbacks Among Resource Consumption, Production, and Factors of Production in Ecological-Economics Systems. **Ecological Modelling** **112**: 227-247.

- WORKS/IDEC (1998) **EIA da UHE Ponte de Pedra – MT.**
- WORLD BANK (2005) **State and Trade of the Carbon Market.** International Emission Trading Association. Washington. May, 2005.
- WORLD COMMISSION ON DAMS (2000) **Dams, Ecosystem Functions and Environmental Restoration.** WCD Thematic Review. Environmental Issues II.1.
- WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT (1987) **Our Common Future.** Oxford University Press. 400 pg.
- YANG, H.; LI, Y. *et al.* (2003) Evaluating Waste Treatment, Recycle and Reuse in Industrial System: an Application of the eMergy Approach. **Ecological Modeling 160:** 13-21.
- YOUNG, C.E.F. & FAUSTO, J.R.B. (1997) Valoração de Recursos Naturais como Instrumento de Análise da Expansão da Fronteira Agrícola na Amazônia. **Texto para Discussão nº490.** Instituto de Pesquisa Econômica - IPEA. Rio de Janeiro.
- YOUNG, C.E.F. (2003) Contabilidade Ambiental Nacional: Fundamentos Teóricos e Aplicação empírica no Brasil. In P. MAY; M.C.LUSTOSA; V. VINHA (org.) (2003) **Economia Do Meio Ambiente: Teoria e Prática.** Rio de Janeiro. Elsevier. pgs. 111-134.

## **ANEXO I**

### **DADOS DETALHADOS DAS HIDRÉLETICAS ESTUDADAS**

## I - UHE MAIORES QUE 1000 MW DE POTÊNCIA INSTALADA

### RIO PARANÁ – BACIA PARANÁ

DESCRIÇÃO DA UHE ITAIPU (Fonte: Ribeiro, 2003)

<b>INFORMAÇÕES BÁSICAS:</b>	
Nome do Aproveitamento:	UHE Itaipu
Rio:	Paraná
Bacia:	Rio Paraná
Região:	Sudeste
Vazão média (1931-2001)	10.022,25 m <sup>3</sup> /s
Queda d'água bruta	118,49 m
Potência Instalada:	12.600.000 kW
Energia Firme (2000):	9.536,9 Mwméd
Casa de Força:	18 x 700 MW/unid.
Área do Reservatório	1.350 km <sup>2</sup>
Profundidade média	22 m
Tempo médio de resiliência	30 dias
Área de drenagem	820.000 km <sup>2</sup>
Densidade de potência W/m <sup>2</sup>	9,33
Tipo de operação	Fio d'água

#### Características construtivas

<b>INFORMAÇÕES</b>	<b>VOLUMÉTRICAS</b>
Escavação comum (m <sup>3</sup> )	23.628 x 10 <sup>3</sup>
Escavação em rocha (m <sup>3</sup> )	31.963 x 10 <sup>3</sup>
Escavação submersa (m <sup>3</sup> )	858 x 10 <sup>3</sup>
Escavação subterrânea (m <sup>3</sup> )	33 x 10 <sup>3</sup>
Argila compactada (m <sup>3</sup> )	6.482 x 10 <sup>3</sup>
Enrocamento (m <sup>3</sup> )	15.000 x 10 <sup>3</sup>
Concreto e Estrutural (m <sup>3</sup> )	12.600.000 m <sup>3</sup> ou 31.500.000 t
Concreto compactado a rolo (m <sup>3</sup> )	25 x 10 <sup>3</sup>
Cimento (kg)	2.501.233 t ou 2.501 x 10 <sup>6</sup> kg
Aço (kg)	478.270t

### Uso e ocupação do solo (ITAIPU BINACIONAL, 1981 apud Ribeiro, 2003)

lado do Brasil (780 km<sup>2</sup>):

- 22% florestas (171,6 km<sup>2</sup>);
- 24,8% capoeiras (193,4 km<sup>2</sup>);
- 50,3% agricultura (392,3 km<sup>2</sup>);
- 2% área urbana (15,6 km<sup>2</sup>);
- 0,9% outros (7,1 km<sup>2</sup>);

lado do Paraguai (570 km<sup>2</sup>):

- 81,5% florestas (464,5 km<sup>2</sup>);
- 13,1% agricultura (74,7 km<sup>2</sup>);
- 5% campos naturais (28,5 km<sup>2</sup>);
- 0,4% outros (2,3 km<sup>2</sup>);

### Emissão de gases efeito estufa (Eletrobrás, 2000)

Hidrelétrica	Área (km <sup>2</sup> )	Emissão (kg CO <sub>2</sub> / km <sup>2</sup> /dia)	Emissão (kg CH <sub>4</sub> / km <sup>2</sup> /dia)	Emissão total (t C / dia)
Itaipú	1.549	171	20,8	96,19

DESCRIÇÃO DA UHE PORTO PRIMAVERA (Fonte: Themag, 1978)

<b>INFORMAÇÕES BÁSICAS:</b>	
Nome do Aproveitamento:	UHE Porto Primavera
Rio:	Paraná
Bacia:	Rio Paraná
Região:	Sudeste
Vazão média artificial	7.121,25 m <sup>3</sup> /s
Queda d'água bruta	38 m
Potência Instalada:	1.540.000 kW
Casa de Força:	14 x 110 MW/unid.
Área do Reservatório	2.250 km <sup>2</sup>
Área de drenagem	572.480 km <sup>2</sup>
Densidade de potência W/m <sup>2</sup>	0,68
Restrição operacional	Restrição de deflúvio mínimo de 5500 m <sup>3</sup> /s para navegação

Características construtivas

<b>INFORMAÇÕES</b>	<b>VOLUMÉTRICAS</b>
Escavação comum (m <sup>3</sup> )	23.628 x 10 <sup>3</sup>
Escavação em rocha (m <sup>3</sup> )	31.963 x 10 <sup>3</sup>
Escavação submersa (m <sup>3</sup> )	858 x 10 <sup>3</sup>
Escavação subterrânea (m <sup>3</sup> )	33 x 10 <sup>3</sup>
Argila compactada (m <sup>3</sup> )	6.482 x 10 <sup>3</sup>
Enrocamento (m <sup>3</sup> )	15.000 x 10 <sup>3</sup>
Concreto e Estrutural (m <sup>3</sup> )	12.600.000 m <sup>3</sup> ou 31.500.000 t
Concreto compactado a rolo (m <sup>3</sup> )	25 x 10 <sup>3</sup>
Cimento (kg)	2.501.233 t ou 2.501 x 10 <sup>6</sup> kg
Aço (kg)	478.270t

*Uso e ocupação do solo* (Planos Básicos Ambientais – Themag Engenharia) -1978

- Vegetação 149.458 ha

***Inventário Florestal (rio Paraná)*** (Fonte: Themag, 1978)

- 41 ilhas
- Área: 2.045,16 ha
- Área de mata: 1.219,35 ha
- Volume médio: 469,56 m<sup>3</sup>/ha
- Volume real: 178,43 m<sup>3</sup>/ha
- Volume empilhado: 356,86 st/ha
- Peso carvão: 89,22 ton/ha

***Emissão de gases efeito estufa (Eletrobrás, 2000)***

Hidrelétrica	Área (km <sup>2</sup> )	Emissão (kg CO <sub>2</sub> /dia)	Emissão (kg CH <sub>4</sub> / dia)	Emissão total (t C / dia)
Porto Primavera	2.312	8.995.992,00	50.748,40	2.491,27

## RIO TOCANTINS – PA – BACIA AMAZÔNICA

DESCRIÇÃO DA UHE TUCURUÍ (Fontes: Eletronorte; Aneel, 2005; WCD, 2000)

<b>INFORMAÇÕES BÁSICAS:</b>	
Nome do Aproveitamento:	UHE Tucuruí
Rio:	Tocantins
Bacia:	Rio Tocantins
Região:	Norte
Vazão Média	9.208 m <sup>3</sup> /s
Queda líquida nominal	60,8 m
Potência Instalada:	4.125.000 kW
Casa de Força:	22 x 330 MW/unid.
Área do Reservatório	2.430 km <sup>2</sup>
Área de drenagem	758.000 km <sup>2</sup>
Densidade de potência W/m <sup>2</sup>	1,70
Restrição de operação	Deflúvio mínimo de 2000 m <sup>3</sup> /s (cavitação)

### Características construtivas

<b>INFORMAÇÕES</b>	<b>VOLUMÉTRICAS</b>
Escavação comum 1º etapa (m <sup>3</sup> )	50.223.118
Escavação comum 2º etapa (m <sup>3</sup> )	3.214.500
Escavação em rocha (m <sup>3</sup> )	2.035.000
Escavação solo e enrocamento (m <sup>3</sup> )	3.818.000
Terra e Enrocamento (m <sup>3</sup> ) 1º etapa	80.864.890
Concreto (m <sup>3</sup> ) 1º etapa	6.247.237
Concreto (m <sup>3</sup> ) 2º etapa	1.340.000
Concreto CCR (m <sup>3</sup> ) 2º etapa	216.000

### ***Uso e ocupação do solo (CMB, 2000)***

Um levantamento das tipologias florestais em 1.610 km<sup>2</sup> a serem alagados (SUDAM, 1978), indicou que, à época, cerca de 147,5 km<sup>2</sup> (9,2%) das terras eram ocupados por atividades agropecuárias e capoeiras, 145 km<sup>2</sup> (9,0%) eram florestas de várzea e o restante ocupado por diversos tipos de formação florestal de terra firme (floresta densa, floresta aberta com palmeiras, floresta aberta com cipós).

A estimativa inicial indicava um total de 113.000.000 de toneladas de fitomassa em 2.430 km<sup>2</sup> de reservatório. Retirando-se deste valor a calha do rio (600 km<sup>2</sup>) e as ilhas (400 km<sup>2</sup>) e as áreas desmatadas pela Eletronorte (400 km<sup>2</sup>), resulta um total de vegetação afogada estimado em 55.000.000 toneladas de fitomassa. em 1.180 km<sup>2</sup> de reservatório (Eletrobrás, 2000).

### ***Emissão de gases efeito estufa***

**Tabela IV: Dados emissão de gases de efeito estufa para o reservatório de Tucuruí**

<b>Reservatório</b>	<b>Total do Reservatório por ano</b>		<b>t de C/ano</b>
<b><i>Eletrobrás, 2000</i></b>	T C- CH4/ ano	T C-CO2/ ano	
Tucuruí	69.682,35 t/ano	1.278.130,36	
<b><i>Lima, IBT (2002)</i></b>			
Tucuruí	69,7 ± 106,4 mg/m <sup>2</sup> /dia		
Tucuruí em 100 anos			2,5 ± 2,7 x 10 <sup>6</sup>
Feranside, (2002)			7,130 x 10 <sup>6</sup>

DESCRIÇÃO DA UHE ESTREITO (Fonte: Araújo, 2002)

<b>INFORMAÇÕES BÁSICAS:</b>	
Nome do Aproveitamento:	UHE Estreito
Rio:	Tocantins
Bacia:	Rio Tocantins/Amazonas
Região:	Norte
Vazão MLT	4.300 m <sup>3</sup> /s
Queda d'água bruta	26 m
Potência Instalada:	1.109.000 kW
Energia Firme:	587,3 Mwh
Casa de Força:	27 x 41, 1 MW/unid.
Área do Reservatório	590 km <sup>2</sup>
Densidade de potência W/m <sup>2</sup>	1,8
Custo da obra US\$ (jun/2001)	1,035,940,126
Custo em US\$/MW (jun/2001)	934,120.94
Custo energia gerada US\$/MWh	25,16 (29/06/2001)
Tipo de operação	Fio d'água

Características construtivas

<b>INFORMAÇÕES</b>	<b>VOLUMÉTRICAS</b>
Escavação comum (m <sup>3</sup> )	936.272
Enscadeira em rocha (m <sup>3</sup> )	2.612.996
Escavação (m <sup>3</sup> )	7.800.679
Aterro compactado (m <sup>3</sup> )	1.580.572
Concreto (m <sup>3</sup> )	382.277
Concreto CCR (m <sup>3</sup> )	149.160

*Uso e ocupação do solo*

Cerrado: 43.439 ha

*Emissão de gases efeito estufa* (ELETROBRÁS, 2000).

Com base nas médias de emissão calculadas pela Eletrobrás (2000) para o reservatório de Tucuruí e Samuel, temos:

Hidrelétrica	Emissão (kg CO <sub>2</sub> / m <sup>2</sup> /dia)	Emissão (kg CH <sub>4</sub> / m <sup>2</sup> /dia)
Tucuruí	8.475	112
Samuel	6.719	104
Média	7.597	108

Como UHE Estreito está localizada em uma região de transição entre o cerrado e a mata amazônica, adotou-se um valor médio de emissão dos gases de efeito estufa.

## II - UHEs ENTRE 100 A 1000 MW DE POTÊNCIA INSTALADA

### RIO JAMARI – RO – BACIA AMAZÔNICA

DESCRIÇÃO DA AHE SAMUEL (Fonte: Eletronorte e Eletrobrás, 2000).

<b>INFORMAÇÕES BÁSICAS:</b>	
Nome do Aproveitamento:	UHE Samuel
Rio:	Jamari
Bacia:	Rio Amazonas
Região:	Norte
Vazão Média	350 m <sup>3</sup> /s
Queda líquida bruta	28,5 m
Potência Instalada:	219.000 kW
Fator de Potência:	0,85
Casa de Força:	5 x 44,41 MW/unid.
Área do Reservatório	559 km <sup>2</sup>
Densidade de potência W/m <sup>2</sup>	0,39
Tipo de operação	Fio d'água

#### Características construtivas

<b>INFORMAÇÕES</b>	<b>VOLUMÉTRICAS</b>
Barragem de terra/enrocamento (m <sup>3</sup> )	6.795.000
Estrutura de concreto (m <sup>3</sup> )	345.000

#### Uso e ocupação do solo

Dados de fitomassa por tipo de floresta na área da UHE de Samuel

Tipo de Vegetação	Área (ha)	%	Peso úmido (t/ha)	Peso total (t)
Floresta Mista Ciliar Estacional Inundável	2363	3,65	196	463.148
Floresta Densa de Terra Firme Relevo Plano	34.580	53,36	525	18.154.500
Floresta Aberta Terra Firme Emergentes	3.693	5,7	390	.440.270
Floresta Semi-aberta Terra firme c/ afloramentos rochosos	1.524	2,35	310	472.440
Área desprovida de cobertura vegetal	3.935	6,07	-	-
Vegetação Secundária	3.565	5,50	85	303.025

Fonte: Cardenas, 1986 apud Eletrobrás, 2000

*Emissão de gases efeito estufa* (Eletrobrás, 2000)

Hidrelétrica	Emissão (kg CO <sub>2</sub> / km <sup>2</sup> /dia)	Emissão (kg CH <sub>4</sub> / km <sup>2</sup> /dia)
Samuel	6.719	104

## RIO VERDE – GO – BACIA DO PARANÁ

### DESCRIÇÃO DA AHE SALTO

<b>INFORMAÇÕES BÁSICAS:</b>	
Nome do Aproveitamento:	AHE Salto
Rio:	Verde
Bacia:	Rio Paranaíba
Região:	Centro-Oeste
Vazão Firme (95%)	96,5 m <sup>3</sup> /s
Queda d'água bruta	46,5 m
Potência Instalada:	107.000 kW
Energia Firme:	64,5 Mwmédio
Casa de Força:	2 x 54,32 MW/unid.
Área do Reservatório	79,43 km <sup>2</sup>
Densidade de potência W/m <sup>2</sup>	1,35
Custo da obra US\$	113,108,602.10
Custo em US\$/MW (jun/2001)	1,027,000
Custo energia gerada US\$/MWh	25,30
Tipo de operação	Fio d'água

### Características construtivas

<b>INFORMAÇÕES</b>	<b>VOLUMÉTRICAS</b>
Escavação comum (m <sup>3</sup> )	574.300
Escavação em rocha (m <sup>3</sup> )	294.390
Enrocamento	291.560
Filtros e transições (m <sup>3</sup> )	436.280
Aterro compactado (m <sup>3</sup> )	4.359.900
Concreto (m <sup>3</sup> )	82.390
Ensecadeira (m <sup>3</sup> )	295.280

### *Uso e ocupação do solo*

TEMA	ÁREA (ha)
Água	529,38
Campo/Pastagem	959,22
Floresta	1255,14
Plantação	124,83
Solo exposto	502,02
Solo exposto plantação	1560,15
Vegetação Média / Cerrado	1652,58
<b>Total</b>	<b>6583,32</b>

### *Emissão de gases efeito estufa (Eletrobrás, 2000)*

Adotou as emissões de gases efeito estufa da hidrelétrica de Miranda, pois esta se localiza em latitude similar a usina em questão.

Hidrelétrica	Emissão (kg CO <sub>2</sub> / km <sup>2</sup> /dia)	Emissão (kg CH <sub>4</sub> / km <sup>2</sup> /dia)
Miranda	4.388	154

## RIO ITAJAÍ-AÇU - SC

DESCRIÇÃO DA AHE SALTO DOS PILÕES (Fonte: CELESC, 1997)

INFORMAÇÕES BÁSICAS:	
Nome do Aproveitamento:	AHE Salto dos Pilões
Rio:	Itajaí-Açu
Bacia:	Litoral
Região:	Sudeste
Vazão MLT	108,2 m <sup>3</sup> /s
Queda d'água bruta	207,5 m
Potência Instalada:	113.000 kW
Energia Firme:	70,46 MW ano
Casa de Força:	2 x 72,6 MW/unid.
Área do Reservatório	0,16 km <sup>2</sup>
Área de drenagem	5.597 km <sup>2</sup>
Densidade de potência W/m <sup>2</sup>	706,25
Custo da obra US\$	215,455,000
Custo em US\$/MW (jan/1999)	1,906,681.42
Custo energia gerada US\$/MWh	34,7
Tipo de operação	Fio d'água

### Características construtivas

INFORMAÇÕES	VOLUMÉTRICAS
Escavação solo e rocha (m <sup>3</sup> )	1.079.150
Enrocamento (m <sup>3</sup> )	13.600
Concreto estimado (m <sup>3</sup> )	83.560

### *Uso e ocupação do solo*

Vegetação natural (Mata Atlântica):

- 4,0 ha (reservatório)

- 3,1 ha (demais infraestruturas fora da área de barragem)

### *Emissão de gases efeito estufa*

Adotou as emissões de gases efeito estufa da hidrelétrica de Segredo no Paraná, pois esta hidrelétrica se encontra na mesma latitude e está no domínio do mesmo bioma.

Hidrelétrica	Emissão (kg CO <sub>2</sub> / km <sup>2</sup> /dia)	Emissão (kg CH <sub>4</sub> / km <sup>2</sup> /dia)
Segredo	2.695	9,1

### III - UHEs ENTRE 30 A 100 MW DE POTÊNCIA INSTALADA

#### RIO CLARO – GO – BACIA PARANÁ

##### DESCRIÇÃO DA AHE Caçu

<b>INFORMAÇÕES BÁSICAS:</b>	
Nome do Aproveitamento:	AHE Caçu
Rio:	Claro
Bacia:	Rio Paranaíba
Região:	Centro-Oeste
Vazão Firme (95%)	105,3 m <sup>3</sup> /s
Queda d'água bruta	28,22 m
Potência Instalada:	65.000 kW
Energia Firme:	42,00 Mwméd
Casa de Força:	3 x 23,0 MW/unid.
Área do Reservatório	16,81 km <sup>2</sup>
Densidade de potência W/m <sup>2</sup>	3,87
Custo da obra US\$	143,742,300
Custo em US\$/MW (jun/2001)	2,211,420
Custo energia gerada US\$/MWh	22,76
Tipo de operação	Sem definição

##### Características construtivas

<b>INFORMAÇÕES</b>	<b>VOLUMÉTRICAS</b>
Escavação comum (m <sup>3</sup> )	15.995
Escavação em rocha (m <sup>3</sup> )	161.899
Ensecadeira (m <sup>3</sup> )	78.470
Enrocamento (m <sup>3</sup> )	49.685
Aterro compactado (m <sup>3</sup> )	764.691
Filtros e transições (m <sup>3</sup> )	41.375
Concreto (m <sup>3</sup> )	87.089

### *Uso e ocupação do solo*

TEMA	ÁREA (ha)
Água	207,54
Campo/Pastagem	418,68
Floresta	299,43
Plantação	41,31
Solo exposto	148,23
Solo exposto plantação	192,24
Vegetação Média/ Cerrado	562,5
<b>Total</b>	<b>1869,93</b>

### *Emissão de gases efeito estufa (Eletrobrás, 2000)*

Adotaram-se as emissões de gases efeito estufa da hidrelétrica de Miranda, pois está localizada na mesma latitude e mesmo bioma.

Hidrelétrica	Emissão (kg CO <sub>2</sub> / km <sup>2</sup> /dia)	Emissão (kg CH <sub>4</sub> / km <sup>2</sup> /dia)
Miranda	4.388	154

**DESCRIÇÃO DA AHE BARRA DOS COQUEIROS:**

<b>INFORMAÇÕES BÁSICAS:</b>	
Nome do Aproveitamento:	AHE Barra dos Coqueiros
Rio:	Claro
Bacia:	Rio Paranaíba
Região:	Centro-Oeste
Vazão Firme (95%)	109,8 m <sup>3</sup> /s
Queda d'água bruta	37,99 m
Potência Instalada:	80.000 kW
Energia Firme:	56,34 MW <sub>méd</sub>
Casa de Força:	3 x 23,0 MW/unid.
Área do Reservatório	25,55 km <sup>2</sup>
Densidade de potência W/m <sup>2</sup>	3,13
Custo da obra US\$	78,420,800.00
Custo em US\$/MW (jun/2001)	980,260.00
Custo energia gerada US\$/MWh	21,08
Tipo de operação	isolada

**Características construtivas**

<b>INFORMAÇÕES</b>	<b>VOLUMÉTRICAS</b>
Escavação comum (m <sup>3</sup> )	13.394
Escavação em rocha (m <sup>3</sup> )	113.220
Enscadeira (m <sup>3</sup> )	160.963
Enrocamento (m <sup>3</sup> )	128.534
Aterro compactado (m <sup>3</sup> )	2.133.989
Filtros e transições (m <sup>3</sup> )	94.752
Concreto (m <sup>3</sup> )	167.620

### *Uso e ocupação do solo*

TEMA	ÁREA (ha)
Água	405,36
Campo/Pastagem	667,08
Floresta	955,35
Plantação	97,09
Solo exposto	383,04
Solo exposto plantação	650,25
Vegetação Média / Cerrado	1147,05
Total	<b>4305,22</b>

### *Emissão de gases efeito estufa (Eletrobrás, 2000)*

Adotaram-se as emissões de gases efeito estufa da hidrelétrica de Miranda, pois está localizada na mesma latitude e mesmo bioma.

Hidrelétrica	Emissão (kg CO <sub>2</sub> / km <sup>2</sup> /dia)	Emissão (kg CH <sub>4</sub> / km <sup>2</sup> /dia)
Miranda	4.388	154

## RIO VERDE – GO – BACIA PARANÁ

### DESCRIÇÃO DA AHE SALTO DO RIO VERDINHO

<b>INFORMAÇÕES BÁSICAS:</b>	
Nome do Aproveitamento:	AHE Salto do Rio Verdinho
Rio:	Verde
Bacia:	Rio Paranaíba
Região:	Centro-Oeste
Vazão Firme (95%)	149,6 m <sup>3</sup> /s
Queda d'água bruta	40,50 m
Potência Instalada:	93.000 kW
Energia Firme:	61,70 MWmédio
Casa de Força:	2 x 47,45 MW/unid.
Área do Reservatório	36,55 km <sup>2</sup>
Densidade de potência W/m <sup>2</sup>	2,54
Custo da obra US\$	94,138,950.00
Custo em US\$/MW (jan/1999)	1,012,250.00
Custo energia gerada US\$/MWh	27,60
Tipo de operação	Fio d'água

### Características construtivas

<b>INFORMAÇÕES</b>	<b>VOLUMÉTRICAS</b>
Escavação comum (m <sup>3</sup> )	1.973.200
Escavação em rocha (m <sup>3</sup> )	334.110
Ensecadeira (m <sup>3</sup> )	229.350
Enrocamento (m <sup>3</sup> )	328.450
Aterro compactado (m <sup>3</sup> )	
Filtros e transições (m <sup>3</sup> )	

Concreto (m <sup>3</sup> )	156.603

*Uso e ocupação do solo*

TEMA	ÁREA (ha)
Água	586,35
Campo/Pastagem	604,71
Floresta	749,79
Plantação	121,05
Solo exposto	87,48
Solo exposto plantação	245,79
Vegetação Média / Cerrado	495,09
Vegetação Área Alagada	1041,39
<b>Total</b>	<b>3931,65</b>

*Emissão de gases efeito estufa (Eletrobrás, 2000)*

Adotaram-se as emissões de gases efeito estufa da hidrelétrica de Miranda, pois está localizada na mesma latitude e mesmo bioma.

Hidrelétrica	Emissão (kg CO <sub>2</sub> / km <sup>2</sup> /dia)	Emissão (kg CH <sub>4</sub> / km <sup>2</sup> /dia)
Miranda	4.388	154

## RIO CORRENTE –GO – BACIA PARANÁ

### DESCRIÇÃO DA AHE OLHO D'ÁGUA

<b>INFORMAÇÕES BÁSICAS:</b>	
Nome do Aproveitamento:	AHE Olho D'água
Rio:	Corrente
Bacia:	Rio Paranaíba
Região:	Centro-Oeste
Vazão Firme (95%)	40,6 m <sup>3</sup> /s
Queda d'água bruta	55,25 m
Potência Instalada:	33.000 kW
Energia Firme:	26,15 MWméd
Casa de Força:	3 x 16,85 MW/unid.
Área do Reservatório	34 km <sup>2</sup>
Densidade de potência W/m <sup>2</sup>	0,97
Custo da obra US\$	42,961,941.05
Custo em US\$/MW (jun 2001)	1,302,000
Custo energia gerada US\$/MWh	26,07
Tipo de operação	Integrada

### Características construtivas

<b>INFORMAÇÕES</b>	<b>VOLUMÉTRICAS</b>
Escavação comum (m <sup>3</sup> )	1.029.473
Escavação em rocha (m <sup>3</sup> )	52.370

Enrocamento (m <sup>3</sup> )	207.400
Ensecadeira em rocha (m <sup>3</sup> )	2.612.996
Aterro compactado (m <sup>3</sup> )	3.134.900
Concreto (m <sup>3</sup> )	61.100

#### Uso e ocupação do solo:

TEMA	ÁREA (ha)
Água	241,1
Campo/Pastagem	905,85
Floresta	922,05
Plantação	177,3
Solo exposto	537,75
Solo exposto plantação	111,24
Vegetação Média / Cerrado	259,47
Vegetação de médio porte	406,44
<b>Total</b>	<b>3561,2</b>

#### *Emissão de gases efeito estufa (Eletrobrás, 2000)*

Adotaram-se as emissões de gases efeito estufa da hidrelétrica de Miranda, pois está localizada na mesma latitude e mesmo bioma.

Hidrelétrica	Emissão (kg CO <sub>2</sub> / km <sup>2</sup> /dia)	Emissão (kg CH <sub>4</sub> / km <sup>2</sup> /dia)
Miranda	4.388	154

## DESCRIÇÃO DA AHE ITUMIRIM

<b>INFORMAÇÕES BÁSICAS:</b>	
Nome do Aproveitamento:	AHE Itumirim
Rio:	Corrente
Bacia:	Rio Paranaíba
Região:	Centro-Oeste
Vazão MLT	162 m <sup>3</sup> /s
Queda d'água bruta	98,00m
Potência Instalada:	50.000 kW
Energia Firme:	36,20 MW <sub>méd</sub>
Casa de Força:	2 x 28,35MW/unid.
Área do Reservatório	54,6 km <sup>2</sup>
Densidade de potência W/m <sup>2</sup>	0,92
Custo da obra US\$	94,773,652.80
Custo em US\$/MW (jan/1999)	1,889,000.00
Custo energia gerada US\$/MWh	40,76
Tipo de operação	Integrada

### Características construtivas

<b>INFORMAÇÕES</b>	<b>VOLUMÉTRICAS</b>
Escavação comum (m <sup>3</sup> )	1.582.700
Escavação em rocha (m <sup>3</sup> )	143.300

Enrocamento (m <sup>3</sup> )	98.350
Terra e filtros (m <sup>3</sup> )	425.178,5
Concreto (m <sup>3</sup> )	47.898

*Uso e ocupação do solo*

TEMA	ÁREA (ha)
Água	0
Campo/Pastagem	466,11
Floresta	365,22
Plantação	24,57
Solo exposto	534,69
Solo exposto plantação	153,9
Vegetação Média / Cerrado	0
Área Úmida	2610,9
Rio/ Varzea	1343,61
Vegetação Área Alagada	421,47
Vegetação de médio porte	0
<b>Total</b>	<b>5920,47</b>

*Emissão de gases efeito estufa (Eletrobrás, 2000)*

Adotaram-se as emissões de gases efeito estufa da hidrelétrica de Miranda, pois está localizada na mesma latitude e mesmo bioma.

Hidrelétrica	Emissão (kg CO <sub>2</sub> / km <sup>2</sup> /dia)	Emissão (kg CH <sub>4</sub> / km <sup>2</sup> /dia)
Miranda	4.388	154

## RIO PARANAPANEMA – SP – BACIA PARANÁ

DESCRIÇÃO DA AHE OURINHOS (Fonte: CESP /ENGEA 1994)

<b>INFORMAÇÕES BÁSICAS:</b>	
Nome do Aproveitamento:	UHE Ourinhos
Rio:	Parapanema
Bacia:	Paraná
Região:	Sudoeste
Vazão MLT	319 m <sup>3</sup> /s
Queda d'água bruta	10,90 m
Potência Instalada:	42.800 kW
Energia Firme:	26,5 MWméd
Casa de Força:	4 x 11,20 MW/unid.
Área do Reservatório	4,54 km <sup>2</sup>
Densidade de potência W/m <sup>2</sup>	9,43
Custo da obra US\$	72,500,814.00
Custo em US\$/MW (jan/1999)	1,639,944.25
Custo da energia gerada US\$/MWh	33,70
Característica da Vazão	Artificial

### Características construtivas

<b>INFORMAÇÕES</b>	<b>VOLUMÉTRICAS</b>
Escavação comum (m <sup>3</sup> )	75.800
Escavação em rocha (m <sup>3</sup> )	190.700
Enrocamento (m <sup>3</sup> )	103.500
Barragem de terra (m <sup>3</sup> )	15.400
Filtros e transições (m <sup>3</sup> )	7.300
Concreto (m <sup>3</sup> )	42.300
Concreto CCR (m <sup>3</sup> )	149.160

*Uso e ocupação do solo – cota 400 m*

TEMA	ÁREA (ha)
Mata Secundária	38,12
Vegetação herbácea/arbustiva	34,22
Vegetação de várzea	102,51
Culturas anuais (milho, soja e arroz)	29,83
Culturas Semi-perenes (café)	0,94
Pastagens	202,33
Reflorestamento	22,46
Outros (chácaras/institucional)	24,35
Total	454,76

*Fitomassa seca na Bacia de Acumulação:*

Tipo de vegetação	Média (kg/ha)	Intervalo (95%) kg/ha
Pastagens e vegetação herbácea arbustiva	9.035	4.975 – 13.094
Campos de várzea	6.160	3.609 – 8.772
Comunidades Florestais (matas mesófilas)	145.000	0 – 375.000

*Emissão de gases efeito estufa (Eletrobrás, 2000)*

Adotaram-se as estimativas de emissões de gases efeito estufa da hidrelétrica de Porto Primavera, pois esta hidrelétrica se situa na mesma latitude e no mesmo bioma:

Hidrelétrica	Emissão (kg CO <sub>2</sub> / km <sup>2</sup> /dia)	Emissão (kg CH <sub>4</sub> / km <sup>2</sup> /dia)
Porto Primavera	3.891,00	21,95

### III – PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS

#### RIO SUCURIÚNA OU PONTE DE PEDRA – MT – BACIA AMAZÔNICA

##### DESCRIÇÃO DA UHE PONTE DE PEDRA

<b>INFORMAÇÕES BÁSICAS:</b>	
Nome do Aproveitamento:	UHE Ponte de Pedra
Rio:	Sucuruína
Bacia:	Tapajós/Amazonas
Região:	Norte
Vazão Média Mensal	157,90 m <sup>3</sup> /s
Queda d'água bruta	60,00 m
Potência Instalada:	30.000 kW
Energia Firme:	24 Mwméd
Casa de Força:	4 x 7,50 MW/unid.
Área do Reservatório	1,17 km <sup>2</sup>
Densidade de potência W/m <sup>2</sup>	25,64
Custo da obra US\$	39,660,000
Custo em US\$/MW	1,332,000
Tipo de operação	Fio d'água

##### Características construtivas

<b>INFORMAÇÕES</b>	<b>VOLUMÉTRICAS</b>
Escavação comum (m <sup>3</sup> )	25.000
Escavação em rocha (m <sup>3</sup> )	8.300
Barragem (m <sup>3</sup> )	530.000
Concreto (m <sup>3</sup> )	5.590

##### *Uso e ocupação do solo*

Mata de Galeria e Cerrado Denso: 117 ha

### *Emissão de gases efeito estufa*

Adotaram-se as emissões de gases efeito estufa da hidrelétrica de Samuel, pois está localizada na mesma latitude.

Hidrelétrica	Emissão (kg CO <sub>2</sub> / km <sup>2</sup> /dia)	Emissão (kg CH <sub>4</sub> / km <sup>2</sup> /dia)
Samuel	6.719	104

### **RIO ITAPOAMA – RJ – BACIA ATLÂNTICO LESTE**

DESCRIÇÃO DA UHE CALHEIROS (Fonte: ELETRO RIVER/JPE, 2000)

<b>INFORMAÇÕES BÁSICAS:</b>	
Nome do Aproveitamento:	UHE Calheiros
Rio:	Itapoama
Bacia:	Atlântico Leste
Região:	Sudoeste
Vazão MLT	33,91 m <sup>3</sup> /s
Queda d'água bruta	49 m
Potência Instalada:	19.590 kW
Energia Firme:	9,49 Mwméd
Casa de Força:	3 x 6,53 MW/unid.
Área do Reservatório	0,45 km <sup>2</sup>
Densidade de potência W/m <sup>2</sup>	43,53
Custo da obra US\$	26,212,710
Custo em US\$/MW (jan/1999)	1,379,616.32
Tipo de operação	Operação com regularização diária

### Características construtivas

<b>INFORMAÇÕES</b>	<b>VOLUMÉTRICAS</b>
Escavação comum (m <sup>3</sup> )	41.700
Escavação em rocha (m <sup>3</sup> )	47.700
Escavação em rocha subterrânea (m <sup>3</sup> )	53.000
Enrocamento	4.800
Aterro (m <sup>3</sup> )	3.800
Concreto (m <sup>3</sup> )	6.550
Concreto CCR (m <sup>3</sup> )	6.890

### Uso e ocupação do solo

<b>TEMA</b>	<b>ÁREA (ha)</b>
Água	14,3
Ilha - Pastagem	3,1
Ilha – Vegetação natural	2,3
Plantação	24,57
Continente - Pastagem	23,9
Continente – Vegetação natural	1,1
Cultura	0,3
Total	45,0

### Emissão de gases efeito estufa

Adotou as emissões de gases efeito estufa da hidrelétrica de Segredo no Paraná, pois esta possui características similares em termos de tipo de vegetação.

<b>Hidrelétrica</b>	<b>Emissão (kg CO<sub>2</sub> / km<sup>2</sup>/dia)</b>	<b>Emissão (kg CH<sub>4</sub> / km<sup>2</sup>/dia)</b>
Segredo	2.695	9,1

## **ANEXO II**

### **TABELAS DE CÁLCULO DO VALOR EMERGÉTICO DOS DANOS**

Os dados da UHE Itaipu são utilizados como exemplo para a realização do cálculo do valor emergético dos danos ambientais sobre a energia química do rio, a biomassa e a produtividade primária.

<b>RECURSOS NATURAIS</b>	<b>Unid.</b>	<b>DADO BRUTO</b>	<b>DADO TRANSFORMADO</b>	<b>Unid.</b>	<b>DADO ENERGÉTICO</b>	<b>Unid.</b>
Energia Potencial Química do rio	m <sup>3</sup> /s	10.022,25	1,56E+19	J/a	1,56E+19	J/a
Energia Geopotencial do rio (queda)	m	118,49	1,16E+10	J/a	1,16E+10	J/a
Floresta Ombrófila Densa	m <sup>3</sup> /ha	646,25	1,03E+13	J/ha	1,03E+13	J/ha-a
Floresta Ombrófila Aberta	m <sup>3</sup> /ha	487,50	7,77E+12	J/ha	7,77E+12	J/ha-a
Floresta Mista Ciliar Estacional Inundável	m <sup>3</sup> /ha	245,00	3,91E+12	J/ha	3,91E+12	J/ha-a
Floresta Semi-aberta Terra firme c/ afloramentos rochosos	m <sup>3</sup> /ha	487,50	7,77E+12	J/ha	7,77E+12	J/ha-a
Vegetação Secundária (amazônia)	m <sup>3</sup> /ha	106,25	1,69E+12	J/ha	1,69E+12	J/ha-a
Mata Atlântica mesófila	m <sup>3</sup> /ha	469,56	7,49E+12	J/ha	7,49E+12	J/ha-a
Mata Atlântica (mesófila aberta)	m <sup>3</sup> /ha	181,25	2,89E+12	J/ha	2,89E+12	J/ha-a
Matas Ripárias	m <sup>3</sup> /ha	501,72	8,00E+12	J/ha	8,00E+12	J/ha-a
Cerradões	m <sup>3</sup> /ha	470,76	7,51E+12	J/ha	7,51E+12	J/ha-a
Cerrado	m <sup>3</sup> /ha	18,48	2,95E+11	J/ha	2,95E+11	J/ha-a
Vegetação herbácea arbustiva	m <sup>3</sup> /ha	11,30	1,80E+11	J/ha	1,80E+11	J/ha-a
Campos	m <sup>3</sup> /ha	7,70	3,56E+06	J/ha	3,56E+06	J/ha-a
Serviços Florestais (água) - ciclo hidrológico	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> -a	1,80	3,56E+06	J/ha-a	3,56E+06	J/ha-a
Produtividade primária floresta	t/ha-a	20,00	3,99E+11	J/ha-a	3,99E+11	J/ha-a
Produtividade primária cerradão	t/ha-a	16,80	3,35E+11	J/ha-a	3,35E+11	J/ha-a
Produtividade primária cerrado	t/ha-a	8,30	1,65E+11	J/ha-a	1,65E+11	J/ha-a
Produtividade primária campo	t/ha-a	4,30	8,57E+10	J/ha-a	8,57E+10	J/ha-a

## CÁLCULO DO VALOR ENERGÉTICO

### Energia Potencial Química do rio

(Vazão média do rio, m<sup>3</sup>/ano)(densidade, g/m<sup>3</sup>)(energia livre de Gibbs, J/g)

$$Q \cdot (1E06 \text{ g/m}^3) \cdot (4,94 \text{ J/g}) \cdot (8760 \cdot 3600 \text{ s/ano}) \quad \mathbf{1,56E+19}$$

### Energia Geopotencial do rio

(vazão do rio, m<sup>3</sup>/ano)(densidade da água, kg/m<sup>3</sup>)(queda, m)(gravidade, 9.8 m/s<sup>2</sup>)

$$Q \text{ m}^3/\text{s} \cdot (1000 \text{ kg/m}^3) \cdot h \text{ (m)} \cdot (9,8 \text{ m/s}^2) \quad \mathbf{1,16E+10}$$

### Biomassa Floresta Ombrófila Densa

(volume m<sup>3</sup>/ha)(densidade)(poder calórico madeira)(conversão kcal/J)

$$(645,25 \text{ m}^3/\text{ha}) \cdot (800 \text{ kg/m}^3) \cdot (4.763 \text{ kcal/kg}) \cdot (4,184E03 \text{ J/kcal}) \quad \mathbf{1,03E+13}$$

### Biomassa Floresta Ombrófila Aberta

(volume m<sup>3</sup>/ha)(densidade)(poder calórico madeira)(conversão kcal/J)

$$(487,50 \text{ m}^3/\text{ha}) \cdot (800 \text{ kg/m}^3) \cdot (4.763 \text{ kcal/kg}) \cdot (4,184E03 \text{ J/kcal}) \quad \mathbf{7,77E+12}$$

### Biomassa Floresta Ciliar Estacional Inundável

(volume m<sup>3</sup>/ha)(densidade)(poder calórico madeira)(conversão kcal/J)

$$(245 \text{ m}^3/\text{ha}) \cdot (800 \text{ kg/m}^3) \cdot (4.763 \text{ kcal/kg}) \cdot (4,184E03 \text{ J/kcal}) \quad \mathbf{3,91E+12}$$

### Floresta Semi-aberta Terra firme c/ afloramentos rochosos

(volume m<sup>3</sup>/ha)(densidade)(poder calórico madeira)(conversão kcal/J)

$$(487,50 \text{ m}^3/\text{ha}) \cdot (800 \text{ kg/m}^3) \cdot (4.763 \text{ kcal/kg}) \cdot (4,184E03 \text{ J/kcal}) \quad \mathbf{7,77E+12}$$

### Vegetação Secundária (Amazônia)

(volume m<sup>3</sup>/ha)(densidade)(poder calórico madeira)(conversão kcal/J)

$$(106,25 \text{ m}^3/\text{ha}) \cdot (800 \text{ kg/m}^3) \cdot (4.763 \text{ kcal/kg}) \cdot (4,184E03 \text{ J/kcal}) \quad \mathbf{1,69E+12}$$

### **Mata Atlântica mesófila**

$(\text{volume m}^3/\text{ha}) * (\text{densidade}) * (\text{poder calórico madeira}) * (\text{conversão kcal/J})$

$(469,56 \text{ m}^3/\text{ha}) * (800 \text{ kg/m}^3) * (4.763 \text{ kcal/kg}) * (4,184 \text{ E}03 \text{ J/kcal})$  **7,49E+12**

### **Mata Atlântica (mesófila aberta)**

$(\text{volume m}^3/\text{ha}) * (\text{densidade}) * (\text{poder calórico madeira}) * (\text{conversão kcal/J})$

$(181,25 \text{ m}^3/\text{ha}) * (800 \text{ kg/m}^3) * (4.763 \text{ kcal/kg}) * (4,184 \text{ E}03 \text{ J/kcal})$  **2,89E+12**

### **Matas Ripárias**

$(\text{volume m}^3/\text{ha}) * (\text{densidade}) * (\text{poder calórico madeira}) * (\text{conversão kcal/J})$

$(501,72 \text{ m}^3/\text{ha}) * (800 \text{ kg/m}^3) * (4.763 \text{ kcal/kg}) * (4,184 \text{ E}03 \text{ J/kcal})$  **8,00E+12**

### **Cerradões**

$(\text{volume m}^3/\text{ha}) * (\text{densidade}) * (\text{poder calórico madeira}) * (\text{conversão kcal/J})$

$(470,76 \text{ m}^3/\text{ha}) * (800 \text{ kg/m}^3) * (4.763 \text{ kcal/kg}) * (4,184 \text{ E}03 \text{ J/kcal})$  **7,51E+12**

### **Cerrado**

$(\text{volume m}^3/\text{ha}) * (\text{densidade}) * (\text{poder calórico madeira}) * (\text{conversão kcal/J})$

$(18,48 \text{ m}^3/\text{ha}) * (800 \text{ kg/m}^3) * (4.763 \text{ kcal/kg}) * (4,184 \text{ E}03 \text{ J/kcal})$  **2,95E+11**

### **Vegetação herbácea arbustiva**

$(\text{volume m}^3/\text{ha}) * (\text{densidade}) * (\text{poder calórico madeira}) * (\text{conversão kcal/J})$

$(11,30 \text{ m}^3/\text{ha}) * (800 \text{ kg/m}^3) * (4.763 \text{ kcal/kg}) * (4,184 \text{ E}03 \text{ J/kcal})$  **1,80E+11**

### **Campos**

$(\text{volume m}^3/\text{ha}) * (\text{densidade}) * (\text{poder calórico madeira}) * (\text{conversão kcal/J})$

$(7,70 \text{ m}^3/\text{ha}) * (800 \text{ kg/m}^3) * (4.763 \text{ kcal/kg}) * (4,184 \text{ E}03 \text{ J/kcal})$  **1,23E+11**

### Serviços Florestais (água)

(precipitação m<sup>3</sup>/ano)(interceptação - 50% cerrado, 30% floresta)(densidade)(energia livre Gibbs, J/g)

$(1,48 \text{ m}^3/\text{ano}) * (30-50\% \text{ interceptação}) * (1\text{E}06 \text{ g/m}^3) * (4,94 \text{ J/g})$  **3,56E+06**

### Perda de Biodiversidade

(produtividade primária bruta)\*(1000)\*(4.763 kcal/kg)\*(4.184 J/kcal)

Produtividade primária floresta = 20 t/ha/ano **3,99E+11**

Produtividade primária cerradão = 16,8 t/ha/ano **3,35E+11**

Produtividade primária cerrado = 8,3 t/ha/ano **1,65E+11**

Produtividade primária campo = 4,3 t/ha/ano **8,57E+10**

**DADOS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA ÁREA DO RESERVATÓRIO**

<b>Área do Reservatório</b>	<b>1.350</b>	<b>km2</b>
<b>Floresta Ombrófila Densa</b>	0	ha
<b>Floresta Ombrófila Aberta</b>	0	ha
<b>Floresta Mista Ciliar Estacional Inundável</b>	0	ha
<b>Floresta Semi-aberta Terra firme c/ afloramentos rochosos</b>	0	ha
<b>Vegetação Secundária (amazônia)</b>	0	ha
<b>Mata Atlântica mesófila</b>	63.610	ha
<b>Mata Atlântica (mesófila aberta)</b>	0	ha
<b>Matas Ripárias</b>	0	ha
<b>Cerradões</b>	0	ha
<b>Cerrado</b>	0	ha
<b>Vegetação herbácea arbustiva</b>	0	ha
<b>Campos</b>	2.850	ha
		ha
<b>Total</b>	<b>66.460</b>	ha

RECURSOS NATURAIS	Unid.	TRANSFORMIDADE	DADO TRANSFORMADO	Unid.
Energia Potencial Química do rio	sej/J	48460	3,78E+25	SeJ
Energia Geopotencial do rio (queda)	sej/J	27874	1,62E+16	SeJ
Floresta Ombrófila Densa	sej/J	165000	0,00E+00	SeJ
Floresta Ombrófila Aberta	sej/J	165000	0,00E+00	SeJ
Floresta Mista Ciliar Estacional Inundável	sej/J	165000	0,00E+00	SeJ
Floresta Semi-aberta Terra firme c/ afloramentos rochosos	sej/J	165000	0,00E+00	SeJ
Vegetação Secundária (amazônia)	sej/J	165000	0,00E+00	SeJ
Mata Atlântica mesófila	sej/J	165000	7,86E+22	SeJ
Mata Atlântica (mesófila aberta)	sej/J	165000	0,00E+00	SeJ
Matas Ripárias	sej/J	165000	0,00E+00	SeJ
Cerradões	sej/J	165000	0,00E+00	SeJ
Cerrado	sej/J	165000	0,00E+00	SeJ
Vegetação herbácea arbustiva	sej/J	165000	0,00E+00	SeJ
Campos	sej/J	165000	1,67E+15	SeJ
Serviços Florestais (água) - ciclo hidrológico	sej/J	48460	1,16E+18	SeJ
Produtividade primária floresta	sej/J	41000	5,20E+22	SeJ
Produtividade primária cerradão	sej/J	41000	0,00E+00	SeJ
Produtividade primária cerrado	sej/J	41000	0,00E+00	SeJ
Produtividade primária campo	sej/J	41000	5,01E+20	SeJ