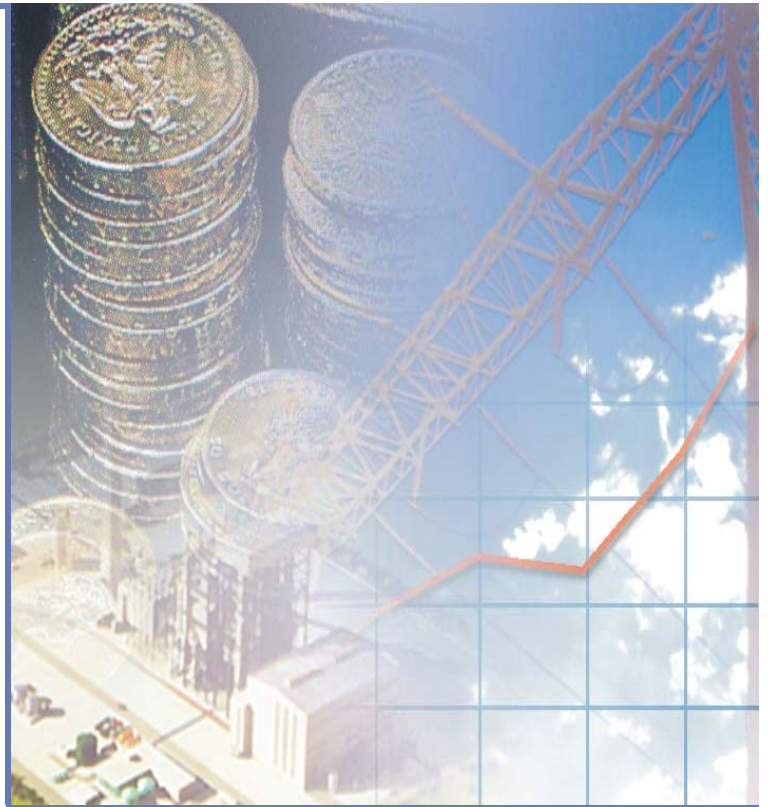


V a l o r a ç ã o

E c o n ô m i c a

Metodologia de Valoração das
Externalidades Ambientais da
Geração Hidrelétrica e Termelétrica
com Vistas à sua Incorporação
no Planejamento de
Longo Prazo do Setor Elétrico



Divisão de Meio-Ambiente

Departamento de Engenharia e Meio-Ambiente

Diretoria de Engenharia

Centrais Elétricas Brasileiras S.A. - Eletrobrás

Ministério de Minas e Energia - MME

Divisão de Meio-Ambiente - DEAA
Departamento de Engenharia e Meio Ambiente - DEA
Diretoria de Engenharia - DE
Centrais Elétricas Brasileiras S.A. - ELETROBRÁS
Ministério de Minas e Energia - MME

**METODOLOGIA DE VALORAÇÃO DAS
EXTERNALIDADES AMBIENTAIS DA
GERAÇÃO HIDRELÉTRICA E TERMELÉTRICA
COM VISTAS À SUA INCORPORAÇÃO NO
PLANEJAMENTO DE LONGO PRAZO DO
SETOR ELÉTRICO**

Rio de Janeiro
Agosto de 2000

CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S/A – ELETROBRÁS

Presidente:

FIRMINO FERREIRA SAMPAIO NETO

Diretoria de Engenharia:

MARCO AURÉLIO PALHAS DE CARVALHO

Departamento de Engenharia e Meio Ambiente:

LUCIANO NOBRE VARELLA

Divisão de Meio Ambiente:

ROGÉRIO NEVES MUNDIM

Elaboração:

CONSÓRCIO IESA/PROMON/THEMAG/ENGEVIX

Projeto Gráfico e Edição em CD-Rom:

ASSESSORIA DE COMUNICAÇÃO SOCIAL - PRC

Normatização:

DIVISÃO DE BIBLIOTECA E ARQUIVO

Edição:

JORGE LUIS PIRES COELHO

ELETROBRÁS. DEA.

Metodologia de valoração das externalidades ambientais da geração hidrelétrica e termelétrica com vistas à sua incorporação no planejamento de longo prazo do setor elétrico. / Centrais Elétricas Brasileiras S.A., DEA; coordenado por Mirian Regini Nutti. – Rio de Janeiro : Eletrobrás, 2000.

ix, 210p.

1. Meio ambiente 2. Impacto ambiental 3. Valoração econômica 4. Planejamento setorial 5. Expansão da geração I. Nutti, Mirian Regini, coord. II. Título.

Estudo realizado com recursos do contrato de empréstimo No. 1051/OC-BR – Projeto de Interligação Elétrica Norte-Sul, celebrado entre a Centrais Elétricas Brasileiras – Eletrobrás e o Banco Interamericano de Desenvolvimento – BID. Executado pelo CONSÓRCIO IESA/PROMON/THEMAG/ENGEVIX como parte integrante de um conjunto de atividades de reforço da área de meio ambiente da ELETROBRÁS.

Departamento de Engenharia e Meio Ambiente
Av. Pres. Vargas, 409 - 21º andar
CEP 20071-003 – Rio de Janeiro

APRESENTAÇÃO

O presente estudo foi realizado com recursos do contrato de empréstimo No. 1051/OC-BR – Projeto de Interligação Elétrica Norte-Sul, celebrado entre as Centrais Elétricas Brasileiras – ELETROBRÁS e o Banco Interamericano de Desenvolvimento – BID.

Foi executado pela Fundação COPPETEC, mediante subcontrato, ao amparo do Contrato nº ECE-1042/98, firmado em 04 de novembro de 1998 entre as Centrais Elétricas Brasileiras S.A. – ELETROBRÁS e o Consórcio IESA/PROMON/THEMAG/ENGEVIX, como parte integrante de um conjunto de atividades de reforço da área de meio ambiente da ELETROBRÁS.

O relatório contém os resultados do desenvolvimento da atividade “Valoração Econômica dos Impactos Ambientais de Alternativas de Expansão da Geração”, cujos objetivos principais são os seguintes:

- Identificar os indicadores de impacto ambiental mais apropriados para subsidiar a tomada de decisões nos planos de expansão da geração segundo o horizonte de planejamento de longo prazo.
- Definir os procedimentos metodológicos requeridos para a construção desses indicadores, caso a caso.
- Indicar as metodologias disponíveis na literatura para a valoração desses indicadores.

DESENVOLVIMENTO DOS TRABALHOS – EQUIPE TÉCNICA

Coordenação Geral: Edval de Oliveira Novaes

Coordenação Adjunta: Sara Lia Werdesheim

Coordenação Fundação COPPETEC: Prof. Maurício Tiommo Tolmasquim

Coordenação ELETROBRÁS: Mírian Regini Nutti

Consultor Consórcio: Prof. Ronaldo Seroa da Motta

Equipe COPPETEC

Consultor Técnico: Prof. Emílio Lèbre La Rovere

Pesquisadores: Aline Guimarães Monteiro
Martha Macedo de Lima Barata

Acompanhamento: Maria Luiza L. S. Milazzo
Anibal Rodrigues Ribeiro Silva
Idel Cvi Frydman
Rogério Neves Mundim
Ronaldo Sérgio M. Lourenço

AGRADECIMENTOS

Nossos especiais agradecimentos a Rogério Neves Mundim e a Mirian Regini Nutti pelo auxílio e orientação incondicionais concedidos para que os objetivos do trabalho fossem alcançados.

Nossos agradecimentos aos demais técnicos da ELETROBRÁS e em especial a José Rosemblat, Marcelo Prais, Anibal Rodrigues Ribeiro Silva, Flávia Pompeu Serran, Idel Cvi Frydman, José Antônio Sena do Nascimento, Maria Luiza Milazzo, Ricardo Furtado, Ronaldo Sérgio Monteiro Lourenço e demais técnicos que estiveram presente no *Workshop* realizado em 24 de maio de 1999, no Hotel Guanabara no Rio de Janeiro pelos comentários e materiais enviados que permitiram esclarecer dúvidas, preencher lacunas e definir rumos de modo a concluir este trabalho.

Nossos agradecimentos aos colegas da Universidade: professor Luiz Francisco Pires Guimarães Maia e alunos de mestrado e doutorado, em especial Anderson Américo Alves Cantarino, Edna Xavier, Marco Aurélio dos Santos e Marcos Pavarini, pelos esclarecimentos e orientações necessários à finalização deste trabalho.

Especial agradecimento a Denise de Silva de Souza que colaborou na elaboração do Anexo 2 referente à poluição sonora.



COPPE / UFRJ - Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro

Programa de Planejamento Energético - PPE

CONTEÚDO

I – INTRODUÇÃO	1
II – QUESTÕES METODOLÓGICAS DE VALORAÇÃO AMBIENTAL	5
1 – NATUREZA E CLASSIFICAÇÃO DOS VALORES AMBIENTAIS	5
2 – METODOLOGIAS DE QUANTIFICAÇÃO DO DANO – A FUNÇÃO DOSE-RESPOSTA	7
2.a - Apresentação dos Métodos	7
2.a.1 - Dificuldades com a Estimativa da Função Dose-Resposta	9
3. MÉTODO DE QUANTIFICAÇÃO DA VARIAÇÃO DO BEM-ESTAR – UMA NOÇÃO SOBRE O CONCEITO DE EXCEDENTE DO CONSUMIDOR.....	10
Gráfico C – A perda do excedente do consumidor	13
4 - METODOLOGIAS DE VALORAÇÃO ECONÔMICA DO MEIO AMBIENTE.....	14
4.a - Métodos Indiretos de Valoração.....	15
4.a.1 – Método da Produtividade Marginal	16
4.a.2 - Despesas de Reposição (ou custos de reposição).....	20
4.a.3 - Despesas de Re-localização (ou custos de re-localização)	22
4.a.3.a – Principais Viéses dos Métodos da Produtividade Marginal, das Despesas de Reposição e de Re-localização	23
4.a.4 - Despesas de Prevenção/Mitigação	24
4.a.5 - Despesas de Proteção	25
4.a.5.a - Principais Viéses das Despesas de Proteção	27
4.b. Métodos Diretos de Valoração	27
4.b.1 – Método de Preços Hedônicos.....	29
4.b.1.a - Principais Viéses do Método de Preços Hedônicos	32
4.b.2 – Método de Custo de Viagem	32
4.b.2.a – Principais Viéses do Método de Custo de Viagem	37
4.b.3 - Método da Valoração Contingente	38
4.b.3.a - Principais Viéses e Validade do Método de Valoração Contingente	47
III - IMPLEMENTAÇÃO DE CATEGORIAS DE EMPREENDIMENTOS HIDRELÉTRICOS E TERMELÉTRICOS PARA A VALORAÇÃO DAS EXTERNALIDADES NO PLANEJAMENTO DO SETOR ELÉTRICO	51
1 – CLASSIFICAÇÃO DAS EXTERNALIDADES.....	51
1.a - Geração Hídrica.....	51
1.b - Geração Térmica.....	53
2 – ELABORAÇÃO DE TIPOLOGIA DOS EMPREENDIMENTOS DE GERAÇÃO TERMELÉTRICA E HIDRELÉTRICA NO LONGO PRAZO	55
2.a – Geração Hídrica.....	56
2.b – Geração Térmica	61

IV - METODOLOGIAS PROPOSTAS PARA A VALORAÇÃO DAS EXTERNALIDADES	77
1 – GERAÇÃO HÍDRICA	78
1.a - Danos causados à biodiversidade - espécies vegetais e animais	78
1.a.1 - Aplicação da metodologia de valoração contingente para o dano causado às espécies vegetais e animais pelas hidrelétricas	79
1.a.3 - Ressalvas à aplicação da metodologia de valoração contingente para o dano causado às espécies vegetais e animais pela hidrelétrica.....	88
1.b - Danos causados aos recursos históricos e culturais	89
1.b.1 – Aplicação da metodologia de valoração contingente para os danos causados aos recursos históricos e culturais pela hidrelétrica	89
1.b.2 – Ressalvas à aplicação da metodologia de valoração contingente dos danos causados aos recursos históricos e culturais pela hidrelétrica	92
1.c – Benefícios obtidos com a criação de reservatórios.....	93
1.c.1 - Aplicação de uma metodologia de valoração para os benefícios surgidos com a criação de um reservatório pela hidrelétrica	93
1.c.2 - Ressalvas à aplicação da metodologia de valoração dos benefícios surgidos com a criação de um reservatório pela hidrelétrica	95
1.d - Danos causados aos produtos extrativos madeireiros e não madeireiros.....	96
1.d.1 - Aplicação da metodologia da produtividade marginal para a valoração dos danos causados a produtos extrativos madeireiros e não madeireiros pela hidrelétrica	97
1.d.2 - Ressalvas à aplicação da metodologia de produtividade marginal para o dano causado às espécies extrativas pela hidrelétrica.....	100
1.e - Danos causados às espécies vegetais - plantas medicinais - que contribuem para o desenvolvimento de novas drogas	102
1.e.1 – Aplicação da metodologia de valoração econômica decorrente das perdas de espécies vegetais que possam contribuir para a elaboração de novas drogas	104
1.e.2 - Ressalvas à aplicação da metodologia de valoração para o dano causado às espécies vegetais que contribuem para novas drogas pela hidrelétrica	108
1.f - Danos causados à biodiversidade – funções ecossistêmicas: seqüestro de carbono	109
1.f.1 – Aplicação da metodologia de valoração dos danos causados à biodiversidade – funções ecossistêmicas: seqüestro de carbono.....	111
1.f.2 – Exemplos da aplicação da metodologia de valoração dos danos causados às funções ecossistêmicas: seqüestro de carbono.....	115
1.f.3 – Ressalvas à aplicação da metodologia de valoração dos danos causados à biodiversidade – funções ecossistêmicas: seqüestro de carbono	118
1.g - Perda de benefícios provenientes das atividades econômicas dependentes do corpo receptor face à erosão do solo	119
1.g.1 – Aplicação da metodologia de produtividade marginal sobre os benefícios provenientes do corpo receptor face à erosão do solo pela hidrelétrica	119
1.g.2 – Ressalvas à aplicação da metodologia através de uma alternativa de valoração das atividades provenientes do corpo receptor face à erosão do solo pela hidrelétrica.....	125
1.h - Danos causados aos recursos minerais.....	126

1.h.1 – Aplicação da metodologia de valoração dos danos causados aos recursos minerais pela hidrelétrica	126
1.h.2 – Ressalvas à aplicação da metodologia de valoração do custo de uso dos recursos minerais pela hidrelétrica	129
2 – GERAÇÃO TÉRMICA	132
2.a - Danos causados à saúde humana face às emissões atmosféricas de dióxido de enxofre (SO₂) e material particulado (PM₁₀).....	132
2.a.1 - Aplicação da função dose-resposta em estudos para a determinação do efeito da poluição atmosférica sobre a população afetada.....	138
2.a.2 - Valoração do dano causado à saúde humana pela geração termelétrica	140
2.a.3 - Ressalvas a aplicação da função dose-resposta para valorar os danos causados à saúde humana decorrentes das emissões atmosféricas.....	171
2.b - O aquecimento global provocado pelas emissões de dióxido de carbono (CO₂) por termelétricas	172
V- CONSIDERAÇÕES FINAIS	176
VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	178
VII – ANEXOS	187
Anexo 1 - Escolha dos Efeitos Econômicos e as Técnicas de Valoração mais apropriadas	
Anexo 2 – Áreas de Biodiversidade para a Valoração	
Anexo 3 – Áreas de Biodiversidade na Amazônia Brasileira	
Anexo 4 – Fatores de Emissão de Usinas de Geração Termelétrica apresentados pelo “National Pollutant Inventory”	

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Taxonomia do Valor Econômico do Meio Ambiente	7
Quadro 2 - Fluxograma do Método de Quantificação de Dano	9
- Função Dose-Resposta -	9
Quadro 3: O Dano ou Benefício como Parte do Excedente do Consumidor.....	11
Quadro 4 – Métodos de Valoração Ambiental	15
Quadro 5 - Representação dos Métodos Indiretos	16
Quadro 6 – Custo da Erosão do Solo em Java.....	18
Quadro 7 - Os Impactos do Corte e Transporte de Madeira na Área Costeira próxima a El Nido.....	19
na ilha de Palawan nas Filipinas	19
Quadro 8 - Fluxograma da Estimativa dos Custos de Reposição	22
Quadro 9 - Fluxograma da Estimativa da Despesa de Prevenção / Mitigação	25
Quadro 10 - Fluxograma da Estimativa das Despesas de Proteção	26
Quadro 11 - Representação dos Métodos Diretos.....	28

Quadro 12 - Fluxograma da Estimativa do Valor Econômico Ambiental	31
- via Método de Preço Hedônico -	31
Quadro 13 - Fluxograma para a Metodologia do Custo de Viagem	36
Quadro 14 - Fluxograma da Metodologia de Valoração Contingente - 1º Estágio	43
Quadro 15 - Modelo do Questionário Proposto	44
Quadro 16- Caso Austrália.....	45
Quadro 17 - Caso Pantanal.....	46
Quadro 18 - Valoração de Espécies Animais em Extinção e Habitats	47
Quadro 19 – Determinantes dos danos causados pelas emissões gasosas provenientes de empreendimentos termelétricos	55
Quadro 20 - Determinantes dos danos causados em empreendimentos hidrelétricos	55
Quadro 21 – Tipologia de Categorias de Empreendimentos Hidrelétricos	60
Previstos para o País	60
Quadro 22: Propriedades físico-químicas dos Combustíveis	62
Quadro 23 - Formação de Poluentes durante a Queima de Combustíveis	62
Quadro 24 - Emissão Específica de Poluentes para Diversos Combustíveis e Tecnologias por unidade de energia gerada (g/kWh)	63
Quadro 25 - Tipologia de Empreendimentos Termelétricas a Carvão nacional	65
Quadro 26 - Tipologia de Empreendimentos Termelétricas a Carvão importado.....	68
Quadro 28 - Tipologia de Empreendimentos Termelétricas a Óleo combustível	72
Quadro 29 - O valor do dano ambiental sobre a biodiversidade (espécies vegetais e animais) para as diferentes categorias elaboradas para a geração hídrica utilizando o método de valoração contingente.....	87
Quadro 30 - O valor do dano ambiental sobre os recursos culturais e históricos para as diferentes categorias elaboradas para a geração hídrica utilizando o método de valoração contingente.....	91
Quadro 31 - O valor do benefício ambiental proveniente do reservatório para as diferentes categorias elaboradas para a geração hídrica	95
Quadro 32 - O valor do dano ambiental sobre os produtos extrativos para as diferentes categorias elaboradas para a geração hídrica utilizando o método de produtividade marginal	99
Quadro 33 – Espécies Vegetais encontradas na Amazônia.....	102
Quadro 34 - Participação das Vendas Líquidas dos Produtos Farmacêuticos.....	105
Quadro 35 - Estimativa de Variáveis para Cenários a Longo prazo	105
Quadro 36 - O valor do dano ambiental sobre as plantas medicinais para as diferentes categorias elaboradas para a geração hídrica	107
Quadro 37 - Valores do Ecossistema - Floresta Tropical (US\$/ha).....	109
Quadro 38 - Emissão de Carbono a partir da Conversão de Florestas Tropicais (tC/ha).	110
Quadro 39: Desflorestamento e Emissões de dióxido de carbono	112
QUADRO 40 - CUSTOS DE SEQÜESTRO DE CARBONO ATRAVÉS DE PROJETOS DE MITIGAÇÃO DE FLORESTAS	
Quadro 41 - O valor do dano ambiental sobre o seqüestro de carbono para as diferentes categorias elaboradas para a geração hídrica.....	114

Quadro 42 - Balanço de carbono na atividade de reflorestamento com eucalipto em relação à biomassa original e às diferentes tipologias de matas nativas.....	115
Quadro 43 - Balanço de carbono na atividade agrícola, cultivo de milho seguido de soja em relação à biomassa original e às diferentes tipologias de matas nativas.....	116
Quadro 44 - Balanço de carbono para a atividade pecuária, cultivo de pastagens em relação à biomassa original e às diferentes tipologias de matas nativas.....	116
Quadro 45 - Quantidade de carbono e CO ₂ liberado anualmente para a atmosfera na substituição por atividades agro-silvo-pastoris.....	117
Quadro 46 – Variáveis úteis para a construção da função dose-resposta	121
Quadro 47 – Estimativa das perdas anuais totais do solo	122
Quadro 48 – Os benefícios obtidos com as atividades econômicas perante os efeitos da erosão....	124
Quadro 49 – A estimativa da receita líquida obtida pelo uso dos recursos minerais	128
Quadro 50 – A estimativa do custo de uso dos recursos minerais	129
Quadro 51 – Custos Totais de Degradação para cada Categoria de Empreendimento	131
Quadro 53 - Estudos de ocorrência de doenças face à variação de 1µg/m ³ de PM ₁₀	135
Quadro 54 - Estudos de ocorrência de mortes e doenças face à variação de 1µg/m ³ na concentração de SO ₂	135
Quadro 55 - Estudos de ocorrência de mortes e doenças face à concentração elevada de ozônio..	136
Quadro 56 - Comparação da Percepção do Risco: expert versus público	137
Quadro 57 – Impacto dos poluentes incluídos no presente modelo	138
Quadro 58- Os potenciais poluentes da geração termelétrica.....	141
Quadro 59 - Fatores médios de emissão dos poluentes (SO ₂ , CO ₂ e PM) para cada categoria de empreendimento termelétrico	143
Quadro 60 - Simulação da taxa de emissão do poluente para cada categoria de empreendimento .	144
Quadro 61 - Simulação da concentração a nível do solo do poluente	148
Quadro 62 - Simulação do risco associado à população exposta a cada poluente	150
Quadro 63 - Danos totais causados à população exposta ao poluente	161
Quadro 64 - Admissão Hospitalar por Doenças Respiratórias	167
Quadro 65 - Valor da vida estatística baseado em estudos de risco ocupacional	169
Quadro 66 : valor monetário do dano causado pela duplicação de co ₂ em diferentes regiões do mundo	173
quadro 67: o custo do dano das emissões de co ₂ (valor corrente de (US\$ 1990)/tC).....	174

ÍNDICE DE MAPAS

MAPA 1- Os ECOSISTEMAS BRASILEIROS DESCRITOS NAS CATEGORIAS DE EMPREENDIMENTOS	
HIDRELÉTRICOS	57
MAPA 2- A DISTRIBUIÇÃO DAS DENSIDADES DEMOGRÁFICAS PELO PAÍS (1996).....	59

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1- CURVA DE DEMANDA DERIVADA DA FUNÇÃO DE CUSTO DE VIAGEM.....	34
--	----

I – INTRODUÇÃO

O Setor Elétrico Brasileiro tem desenvolvido esforços para incorporar os aspectos ambientais como variável de decisão desde as etapas iniciais do processo de planejamento de seus empreendimentos. Entretanto, no planejamento de longo prazo da ELETROBRÁS, a priorização da construção de empreendimentos futuros não considerava o valor das externalidades ambientais.

Ciente desta deficiência, a ELETROBRÁS tomou a iniciativa de encomendar este estudo de identificação das metodologias de valoração das externalidades verificadas no Setor Elétrico que permitem internalizar os custos de degradação no planejamento do Setor.

Este esforço é uma continuidade dos trabalhos iniciados em 1991, pelo Comitê Coordenador das Atividades de Meio Ambiente do Setor Elétrico – COMASE, que criou o Grupo de Trabalho Custos Ambientais - GT. Este propôs um conceito de custo sócio-ambiental que atendesse às características do Setor Elétrico Brasileiro e em seguida elaborou instrumentos e mecanismos para se proceder no orçamento dos referidos custos. A seguir, apresenta-se a tipologia de custos ambientais definida pelo GT para o Setor:

- ↵ “Os **custos de controle** são os custos incorridos pelo Setor Elétrico para evitar a ocorrência (total ou parcial) dos impactos sócio-ambientais de um empreendimento;
- ↵ Os **custos de mitigação** são os custos incorridos pelo Setor Elétrico nas ações para redução das conseqüências dos impactos sócio-ambientais provocados por um empreendimento;
- ↵ Os **custos de compensação** são os custos incorridos pelo Setor Elétrico nas ações que compensam os impactos sócio-ambientais provocados por um empreendimento nas situações em que a reparação é impossível;
- ↵ Os **custos de degradação** são os custos externos provocados pelos impactos sócio-ambientais residuais mesmo após o Setor Elétrico incorrer em custos de controle, mitigação e/ou compensação;
- ↵ Os **custos de monitoramento** são os custos incorridos pelo Setor Elétrico nas ações de acompanhamento e avaliação dos programas sócio-ambientais;
- ↵ Os **custos institucionais** são os custos incorridos pelo Setor Elétrico na elaboração dos estudos sócio-ambientais referentes às etapas de planejamento, de implantação e de operação; na

elaboração de estudos requeridos pelos órgãos ambientais; e na obtenção de licenças ambientais.”¹

O **custo de degradação**, tal qual definido pelo COMASE corresponde a uma externalidade sócio-ambiental, isto é, efeitos negativos resultantes da geração de energia elétrica, que não são arcados pelas entidades geradoras mas que são impostos a terceiros na ausência de qualquer ação voluntária. A não incorporação destes custos leva a uma alocação incorreta de recursos. Observa-se que uma externalidade negativa não considerada no momento do planejamento pode se tornar no futuro um passivo ambiental a ser imputado ao empreendedor. Por exemplo, no caso da geração térmica a carvão, a deposição de cinzas em bacias de estocagem pode levar a problemas estéticos, ocupação de terras e principalmente a contaminação do solo e do lençol freático que, caso não mitigados, viriam a se constituir em passivos ambientais da usina.

Observemos que possa existir situações inversas de externalidades positivas, quando uma atividade gera vantagens, em contrapartida da qual ela não recebe nenhuma remuneração. A externalidade positiva deve ser incorporada em qualquer avaliação social de projetos sob pena de inviabilizá-lo. Por exemplo, um empreendimento hidrelétrico pode ser viabilizado, caso seja incorporado o aumento de bem-estar decorrente do uso de uma área de lazer ou de um lago formado em uma avaliação social de projeto.

O GT elaborou instrumentos e procedimentos para identificação e incorporação dos custos de controle, de mitigação, de compensação, de monitoramento e institucionais. Face às dificuldades intrínsecas à natureza dos custos de degradação, estes ainda não foram incorporados ao plano de contas do Setor. Entretanto, a identificação e a valoração dos custos de degradação permitirão uma caracterização global dos custos e benefícios provenientes dos empreendimentos de geração elétrica, auxiliando no planejamento do Setor Elétrico. Valida-se, assim, a tentativa de empreender um esforço de pesquisa das metodologias, que permitam a identificação e a incorporação dos custos de degradação ambiental dos empreendimentos na tomada de decisão.

O presente trabalho identifica e seleciona as principais externalidades ambientais provocadas pela geração termelétrica e hidrelétrica, e apresenta as propostas de metodologias para que estas possam ser valoradas e inseridas no planejamento da expansão do Setor Elétrico.

Vale destacar que este trabalho não é exaustivo, ele é seletivo na identificação dos impactos e suas respectivas externalidades ambientais de modo a evitar que o processo de valoração se torne muito demorado e custoso, dificultando o processo de internalização destas externalidades no planejamento do Setor.

¹ COMASE; “Referencial para Orçamentação dos Programas Sócio-Ambientais”, Outubro 1994.

Para a identificação e valoração das externalidades ambientais da geração termelétrica e da geração hidrelétrica foram adotadas as seguintes etapas²:

1. Levantamento bibliográfico e caracterização dos aspectos geradores de impactos ambientais;
2. Caracterização dos respectivos impactos ambientais;
3. Identificação dos efeitos econômicos, usualmente não incorporados ao empreendimento (externalidades) decorrentes dos impactos ambientais;
4. Levantamento das técnicas de valoração ambiental disponíveis;
5. Identificação das técnicas mais apropriadas à valoração das externalidades identificadas na etapa 3;
6. Definição de categorias de empreendimentos apropriados à valoração das externalidades ambientais na etapa de planejamento do Setor Elétrico;
7. Identificação das técnicas mais apropriadas à valoração de cada uma das externalidades ambientais.

Para fins de apresentação dos itens acima relacionados, estruturamos este relatório da seguinte forma:

No capítulo II são apresentados os fundamentos necessários para a compreensão dos métodos de valoração ambiental.

No capítulo III são apresentadas as externalidades ambientais decorrentes da geração hidrelétrica e termelétrica que serão objeto de valoração na etapa de planejamento do Setor Elétrico. Os impactos ambientais e seus respectivos efeitos econômicos decorrentes da geração hidrelétrica e termelétrica são apresentados no Anexo 1 deste trabalho. A identificação dos referidos impactos baseou-se no documento Referencial para Orçamentação dos Programas Sócio-Ambientais, para as usinas hidrelétricas e termelétricas, preparado em 1994 pelo COMASE, pois entendeu-se que o grupo responsável pela elaboração do documento era composto por especialistas do Setor que trabalharam exaustivamente para apresentar a consolidação dos impactos significativos da geração hidrelétrica e termelétrica. Observa-se que também foi realizado um levantamento bibliográfico para identificar se haveria algum impacto relevante não apresentado, mas este teve como resultado prático a obtenção de evidência de que os impactos já haviam sido consolidados de modo eficiente pelo grupo de especialistas.

Ainda no capítulo III são apresentadas as categorias de empreendimentos hidrelétricos e termelétricos para efeito de valoração na etapa de planejamento do Setor.

² A razão deste trabalho limitar-se aos custos de degradação ambiental por termelétricas a combustíveis fósseis e por hidrelétricas deve-se ao fato de que a maior parte da expansão do Setor se dará através destas tecnologias.

No capítulo IV são apresentadas as externalidades que deverão ser valoradas na etapa de planejamento do Setor e as respectivas metodologias de valoração recomendadas.

O grande desafio deste trabalho inovador consiste em adaptar metodologias de valoração ambiental concebidas para a avaliação de empreendimentos com características conhecidas para empreendimentos de longo prazo, onde nem todas as variáveis necessárias à aplicação dos diferentes métodos são conhecidas. Portanto, o capítulo IV procura suprir esta lacuna apresentando as simplificações necessárias a esta tarefa, como também os estudos para a obtenção de resultados mais acurados. Tais estudos, quando implementados, permitem que se chegue a estatísticas úteis a diversos setores da economia do país. Face às simplificações adotadas e à incerteza inerente ao planejamento de longo prazo, a utilização dos valores obtidos através das metodologias propostas no capítulo IV deve ser feita de maneira cautelosa, considerando todas as premissas e incertezas utilizadas durante o processo de valoração.

Vale lembrar que as outras variáveis econômicas não ambientais adotadas na fase de inventário dos empreendimentos, como, por exemplo, os custos de engenharia, também sofrem limitações intrínsecas ao planejamento de longo prazo.

II – QUESTÕES METODOLÓGICAS DE VALORAÇÃO AMBIENTAL

Neste capítulo discute-se os principais aspectos metodológicos da valoração econômica das externalidades ambientais. A primeira seção apresenta a taxonomia dos valores ambientais. Na segunda seção são apresentados os métodos de valoração econômica do meio ambiente mais utilizados, seguidos de indicações que possibilitem ao leitor entender como eles são aplicados e de alguns exemplos.

As metodologias de valoração ambiental ao serem aplicadas fazem uso de algumas simplificações, e portanto apresentam limitações na captura do valor econômico do dano ambiental. O grau de precisão do valor econômico calculado é função da metodologia, das externalidades consideradas e das hipóteses sobre o comportamento do consumidor dentre outros fatores. Assim, é necessário que o usuário destas metodologias conheça e explicita com exatidão os limites dos valores estimados e o grau de validade de suas mensurações para o fim desejado.

1 – NATUREZA E CLASSIFICAÇÃO DOS VALORES AMBIENTAIS³

O valor econômico de um recurso ambiental normalmente não é observado no mercado por intermédio do sistema de preços. No entanto, como os demais bens e serviços presentes no mercado, seu valor econômico deriva de seus atributos, com a peculiaridade de que estes atributos podem estar ou não associados a um uso.

Assim, é comum na literatura desagregar o valor econômico do recurso ambiental (VERA) em valor de uso (VU) e valor de não-uso (VNU), como se apresenta abaixo - Equação I.1:

$$\text{VERA} = (\text{VUD} + \text{VUI} + \text{VO}) + \text{VE} \quad (\text{Eq. I.1})$$

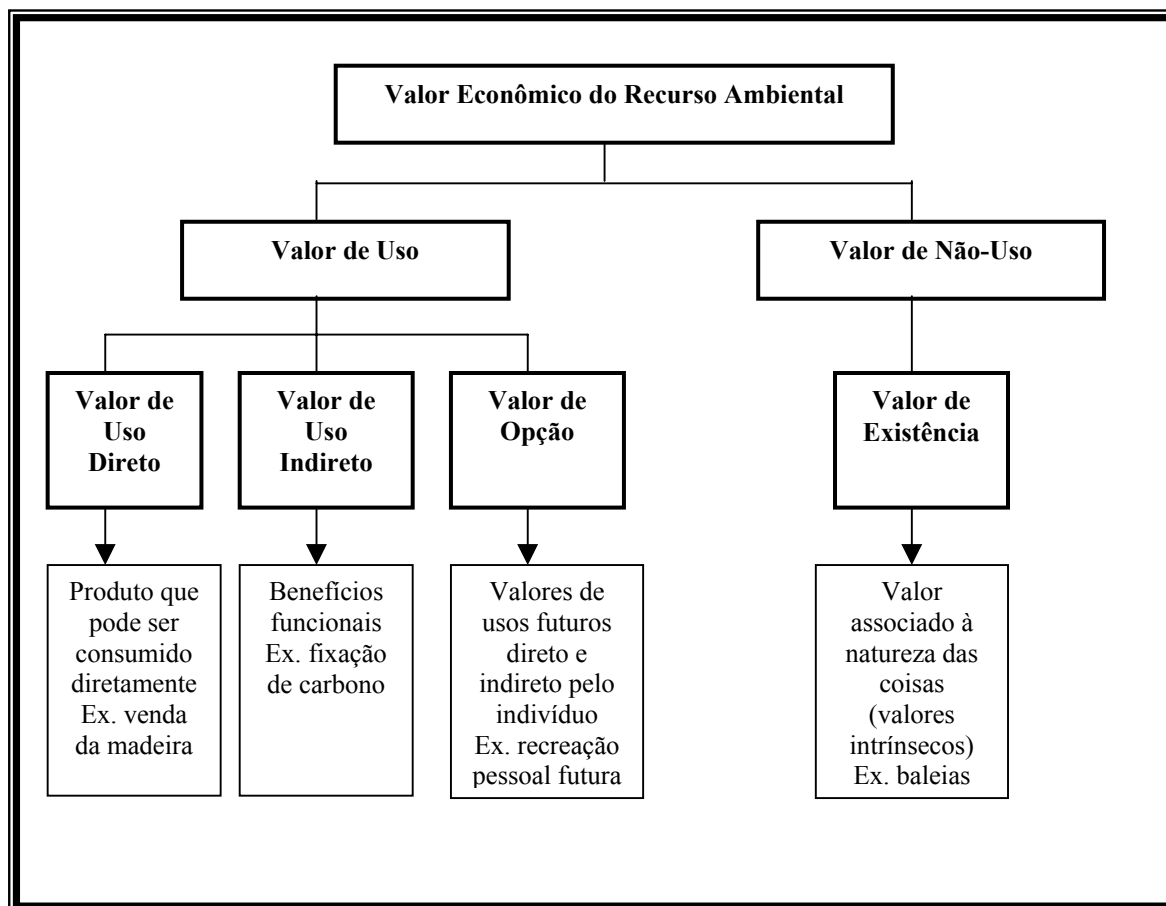
- Valor de Uso (VU) – valor que os indivíduos atribuem a um recurso ambiental pelo seu uso presente ou pelo seu potencial de uso futuro. O valor de uso pode ser subdividido em três categorias:
 - Valor de Uso Direto (VUD) – valor que os indivíduos atribuem a um recurso ambiental em função do bem-estar que ele proporciona através do uso direto. Por exemplo, na forma de extração, de visitação ou outra atividade de produção ou consumo direto.
 - Valor de Uso Indireto (VUI) – valor que os indivíduos atribuem a um recurso ambiental quando o benefício do seu uso deriva de funções ecossistêmicas. Por exemplo, a contenção de erosão, o estoque de carbono retido nas florestas tropicais.

³ Este capítulo teve a colaboração de Ronaldo Seroa da Motta e Carolina Dubeux.

- Valor de Opção (VO) – valor que os indivíduos estão dispostos a pagar para manterem a opção de um dia fazer uso, de forma direta ou indireta, do recurso ambiental. Por exemplo, o benefício advindo de fármacos desenvolvidos com base em propriedades medicinais, ainda não descobertas, de plantas de florestas tropicais.
- Valor de não uso (VNU) ou valor de existência (VE), é o valor que está dissociado do uso (embora represente o consumo ambiental) e deriva de uma posição moral, cultural ou ética ou altruística em relação aos direitos de existência de espécies não-humanas ou de preservação de outras riquezas naturais, mesmo que estas não representem uso atual ou futuro para o indivíduo. Um exemplo claro deste valor é a grande mobilização da opinião pública para salvamento dos ursos panda ou das baleias mesmo em regiões em que a maioria das pessoas nunca poderá estar ou fazer qualquer uso de sua existência.

É importante destacar que as pessoas atribuem aos valores acima descritos, a avaliação que fazem da singularidade e da irreversibilidade da destruição do meio ambiente, associadas à incerteza da extensão dos seus efeitos negativos.

O Quadro 1 apresenta uma síntese da classificação dada aos valores do meio ambiente.



2 – METODOLOGIAS DE QUANTIFICAÇÃO DO DANO – A FUNÇÃO DOSE-RESPOSTA

2.a - Apresentação dos Métodos

Este método baseia-se na relação física descrita entre a causa e o efeito de um dano ambiental, ou seja, relacionam a atividade impactante ao respectivo dano ambiental; para então, fornecer medidas objetivas dos danos resultantes das várias causas.

Uma vez determinada estas relações físicas, esporadicamente, podemos transferi-las para o uso em outras áreas. Porém, deve-se ter cuidado ao aplicá-las, principalmente, quando relacionada às doenças provocadas por danos ambientais. Estas limitações serão discutidas mais adiante

Este método utiliza “funções de danos” ou “funções dose-resposta” que relatam o nível da atividade impactante (por exemplo, o nível e o tipo de poluentes) com o grau do dano físico ao ativo natural ou ativo realizado pelo homem (prédios) ou com o grau de impacto sobre a saúde (por exemplo, incidência de doenças respiratórias).

Os dados para a construção dessas “funções de danos” vêm de duas fontes:

- os estudos de campo, como por exemplo, os estudos epidemiológicos que relacionam as doenças provocadas pela variação da concentração dos poluentes;
- os procedimentos experimentais controlados.

As “funções de danos” para processos ecológicos e recursos naturais, como por exemplo, florestas podem ser extremamente complexas e serem altamente especulativas com relação a magnitude e duração do impacto.

É importante observar que a adoção da função dose-resposta não é por si só um método ou uma técnica de valoração. Na realidade, é o estabelecimento de uma relação entre a dose (causador, fonte, poluente) e a resposta (efeito, mudanças, alterações). Para que em seguida, estabeleça-se um valor à resposta, ou ao efeito (multiplica-se a função física pelo preço do dano físico).

Determinada a função dose-resposta, é possível, então, estimar a variação do dano em termos de variação no bem ou no serviço ambiental que afeta a produção de um bem ou a qualidade de vida da população atingida pelo dano. Em seguida, valora-se a partir do preço de mercado ou de outra técnica apropriada, o dano ocorrido.

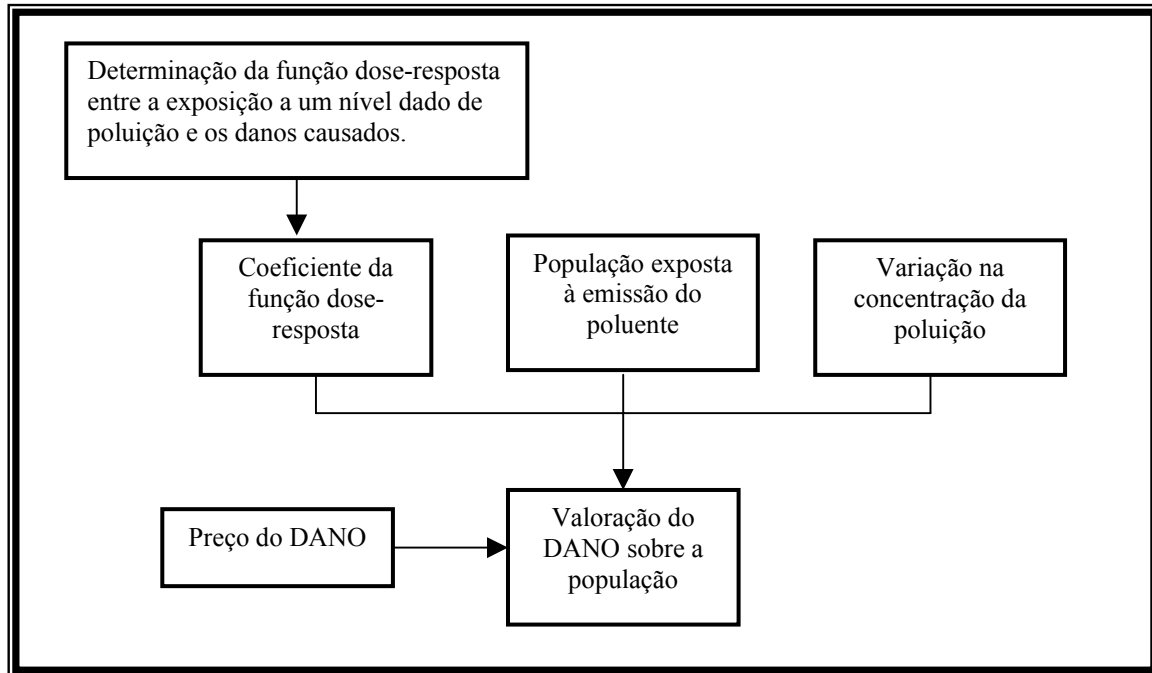
O uso da função dose resposta permite que seja estabelecida uma relação que outros métodos não alcançam. Segundo SALA (1999), no método de valoração contingente, as pessoas podem não responder com o devido rigor sobre a disposição a pagar pela diminuição da poluição, ou a disposição a aceitá-la por não saberem exatamente quais são os danos envolvidos. Enquanto que a função dose-resposta fornece esta relação.

As etapas para aplicação do método dose-resposta são apresentadas de forma resumida a seguir (vide Rosa & Schechtman, 1996):

1. Identifica-se e caracteriza-se as emissões de poluentes pelo empreendimento.
2. Por meio de modelos de dispersão, são determinadas a dispersão dos poluentes no meio ambiente (aquático, atmosférico ou solo).
3. A partir de estudos toxicológicos, epidemiológicos e procedimentos experimentais controlados, é estabelecida uma relação quantitativa entre a dose e os efeitos causados pelo poluente. Determina-se assim o coeficiente da função dose-resposta que indica o efeito do poluente sobre o meio ambiente ou as pessoas (como por exemplo, o efeito causado pela poluição do ar sobre saúde) (C_{DR}).
4. A partir do coeficiente dose resposta e da concentração de poluentes, determina-se o risco incremental individual (incrementos aos riscos de danos trazidos pelo poluente).
5. O acréscimo de risco total ou coletivo é determinado pelo produto do risco individual pela população e bens patrimoniais e ambientais afetados.

Seguem as etapas necessárias para a quantificação do dano fazendo uso da função dose-resposta (Quadro 2).

QUADRO 2 - FLUXOGRAMA DO MÉTODO DE QUANTIFICAÇÃO DE DANO
- FUNÇÃO DOSE-RESPOSTA -



2.A.1 - DIFICULDADES COM A ESTIMATIVA DA FUNÇÃO DOSE-RESPOSTA

O estabelecimento das funções dose-resposta (DR) pode representar uma tarefa árdua e pouco precisa na medida que as relações causais em ecologia são ainda pouco conhecidas e de estimativa bastante complexa. As relações ecológicas requerem estudos de campo muitas vezes sofisticados, nem sempre adaptáveis de uma região a outra, e a consideração de um grande número de variáveis. Além do que, as variações nas condições de dispersão dos poluentes nem sempre são possíveis de serem avaliadas.

A identificação da população afetada em países como o Brasil é feita, em geral, com dados secundários, utilizando os anuários estatísticos, que nem sempre contém os dados exatos da população existente no local a ser impactado.

No caso específico da aplicação de uma função dose-resposta entre a concentração dos poluentes atmosféricos e os efeitos sobre a saúde humana, encontramos algumas dificuldades:

- a variedade de poluentes presentes na atmosfera e a interação entre eles dificulta a associação exata dos tipos de poluentes e seus respectivos efeitos; o ideal seria poder isolar e identificar o efeito real de cada um dos poluentes;
- os aspectos associados aos hábitos alimentares, ao tabagismo, ao histórico de saúde da família exercem influência sobre a saúde da população, nem sempre são passíveis de serem isolados;
- as variáveis relacionadas ao clima: como a temperatura, a umidade relativa e o vento também devem ser consideradas como obstáculos;
- as variáveis relacionadas a topografia, ao saneamento básico, as especificidades do local, ao estilo de vida da população afetada pela poluição (estresse) devem ser consideradas quando se estabelece a função dose-resposta.

As dificuldades acima relacionadas não são exaustivas, apesar disto não invalidam o esforço de se valorar monetariamente as externalidades ambientais, fazendo-se uso de funções do tipo DR.

3. MÉTODO DE QUANTIFICAÇÃO DA VARIAÇÃO DO BEM-ESTAR – UMA NOÇÃO SOBRE O CONCEITO DE EXCEDENTE DO CONSUMIDOR

A quantificação na variação do bem-estar exige a apresentação de um conceito microeconômico muito utilizado que é o excedente do consumidor. Os consumidores adquirem mercadorias porque tais aquisições lhes proporcionam maior bem-estar. O excedente do consumidor mede quão maior será o bem-estar das pessoas em conjunto, por poderem adquirir um produto no mercado.

Pelo fato de diferentes consumidores atribuírem valores diferenciados ao consumo de cada mercadoria, o valor máximo que estariam dispostos a pagar por tais mercadorias também seria diferenciado. Logo, o excedente do consumidor é a diferença entre o preço que um consumidor estaria disposto a pagar por uma mercadoria e o preço que realmente paga ao adquirir tal mercadoria, ou seja, corresponde ao benefício total obtido pelo consumo de um determinado produto, subtraído do custo total de sua aquisição.

No Quadro 3, demonstramos alguns exemplos com **o excedente do consumidor**.

QUADRO 3: O DANO OU BENEFÍCIO COMO PARTE DO EXCEDENTE DO CONSUMIDOR

Na teoria econômica, a noção de dano ou benefício baseia-se na preferência dos indivíduos (ou do consumidor):

- preferência por evitar uma perda (dano) ou
- preferência por obter um bem (benefício).

Estas preferências se manifestam no mercado através da noção de disposição a pagar (DAP).

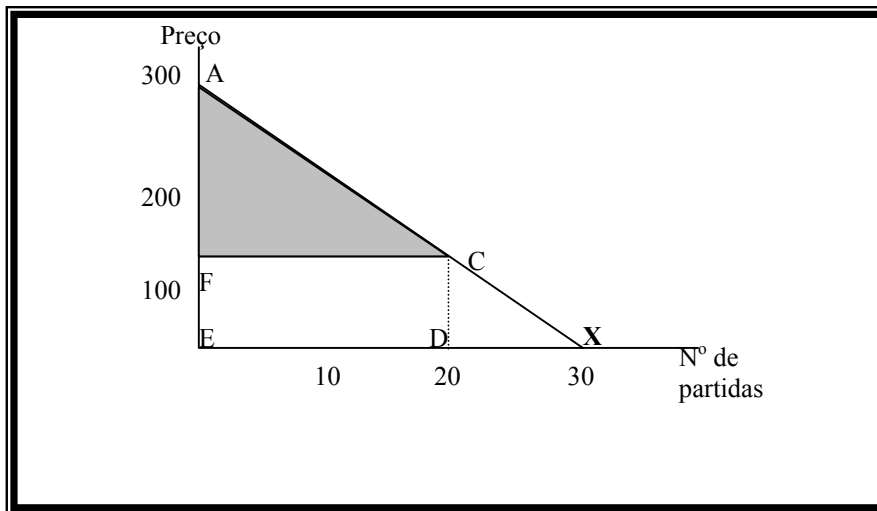
Para melhor identificar este conceito, utilizemos o exemplo de um indivíduo que pratique a pesca por lazer. A sua DAP pelos gastos necessários para praticar esta atividade (deslocamento, material de pesca, etc.) para cada vez que for pescar – partida - é apresentado no quadro abaixo:

DAP marginal (\$/partida)	Número de partidas por ano
0	30
100	20
200	10
300	0

Observa-se no quadro que na primeira partida de pesca, o indivíduo tem uma grande satisfação (que denominaremos de utilidade) pois está disposto a pagar um preço elevado. Entretanto, quando o número de partidas aumenta, a satisfação demonstrada pelas partidas de pesca (noção de utilidade marginal decrescente) reduz-se.

Assim, após 30 partidas de pesca o indivíduo saturado da pescaria não retira nenhuma satisfação, sua DAP é igual a zero. No Gráfico A, AX representa a demanda do indivíduo por partida de pesca, ou seja, a utilidade marginal do bem. Ela é decrescente pois a utilidade marginal de partidas de pesca decresce com o número de partidas.

Gráfico A – Demanda de indivíduo por partida de pesca



A DAP é representada pela área sob a demanda (AX). Se o preço da partida de pesca é \$100, nosso pescador não poderá oferecer mais que 20 partidas de pesca. Sua DAP é igual a área ACDE (que equivale a $20 \times 100 + 20 \times 200/2 = \$ 4.000$).

Ao preço de R\$ 100, o pescador beneficia-se de um excedente, pois ele estaria disposto a pagar um preço maior por um número menor de partidas (porção AC da curva de demanda).

Assim, define-se o excedente do consumidor como a diferença entre o gasto efetivamente realizado ($20 \times 100 = \$ 2.000$) e a DAP total (\$ 4.000). Os \$ 2.000 são representados na figura pela superfície hachurada ACF.

O excedente do consumidor é portanto o valor líquido do recurso que usufrui o nosso pescador. Se o recurso é destruído ou fica impróprio à pescaria, ele poderá gastar seus \$ 2.000 em outro local, mas ele terá perdido seu excedente de \$ 2.000 que aparece em decorrência da existência apropriada do lazer em um local particular.

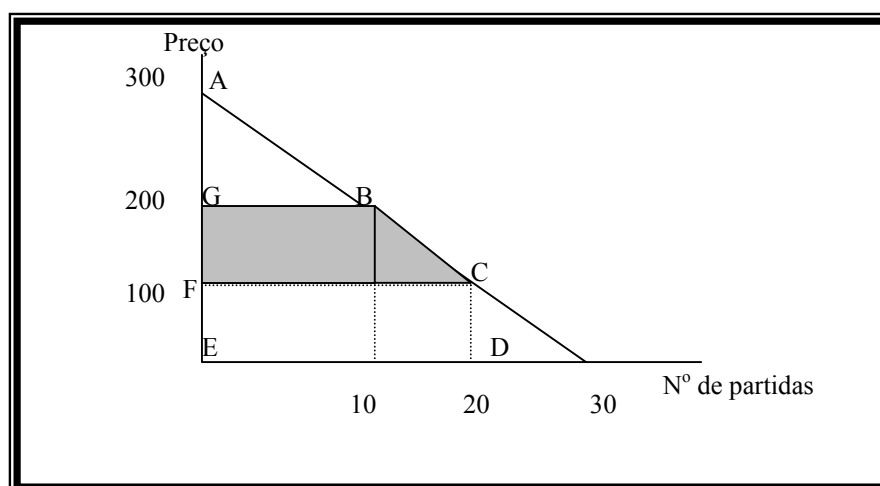
Em conseqüência disto, o dano ambiental se define, em termos econômicos, pela perda do excedente do consumidor.

Esta noção de dano pode ser demonstrada através do exemplo do pescador. Imagine que por causa da poluição no corpo hídrico, o número de peixes pescados que eram de três peixes a cada seis horas seja reduzido a dois peixes. Se o pescador deseja manter seu desempenho em número de peixes pescados, ele deverá permanecer mais tempo na atividade e portanto despende mais recursos.

Suponha que o custo da partida de peixes “para três peixes” passe de \$100 para \$ 200. A oferta de partidas de peixes passará de FC para GB e o equilíbrio entre a oferta e a demanda de partidas se estabilizará em 10 partidas de peixes por ano, em lugar das inicialmente 20 partidas. O excedente do consumidor que era igual a área ACF (\$ 2.000) será reduzida a área ABG ($10 \times 100/2 = \$ 500$).

O Gráfico B apresenta a área do excedente do consumidor (superfície hachurada GBCF = \$ 1.500) representa a avaliação econômica do dano causado pela poluição.

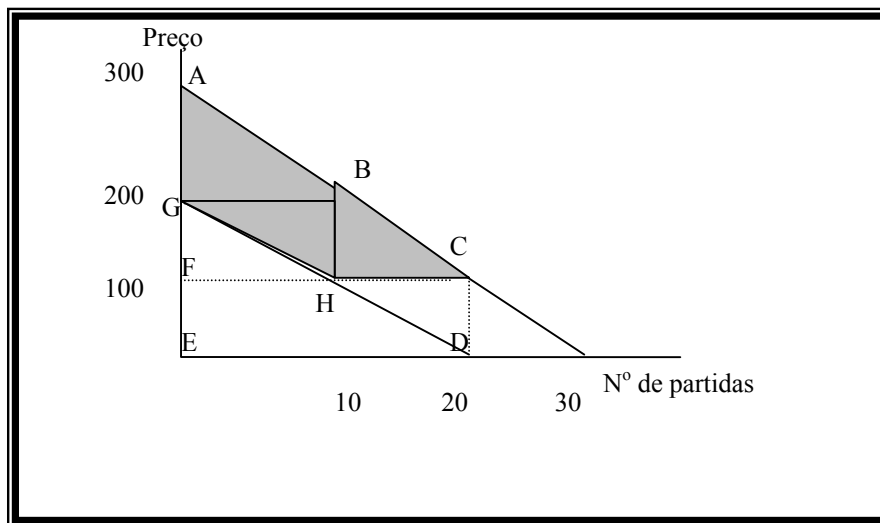
Gráfico B - O excedente do consumidor



Na realidade, a baixa na qualidade do corpo hídrico pode modificar a DAP, de modo que a curva da demanda se desloque. Isto significa que a demanda pelo local reduz-se (curva GD no Gráfico C) .

Isto quer dizer que o nosso pescador não vai ao local mais que 10 vezes por ano. Logo, o novo excedente do consumidor é representado pelo triângulo GHF (\$ 500). A perda do excedente do consumidor é medida pela diferença entre o excedente inicial e o excedente atual: $ACF - GHF = ACHG$. Esta é a área (hachurada) entre as duas curvas de demanda.

Gráfico C – A perda do excedente do consumidor



É importante observar que o exemplo apresentado se aplica a apenas um indivíduo, o que é uma simplificação e redução considerável. Calcular o dano total para uma coletividade, uma região ou um país, implica em uma agregação dos excedentes dos consumidores ou de identificar uma curva média representativa da DAP do conjunto de indivíduos.

Fonte: Bardes, J., 1992.

4 - METODOLOGIAS DE VALORAÇÃO ECONÔMICA DO MEIO AMBIENTE

Os métodos de valoração econômica do meio ambiente são parte do arcabouço teórico da microeconomia do bem-estar e são necessários na determinação dos custos e benefícios sociais, quando as decisões de investimentos públicos e privados afetam o consumo da população e, portanto, seu nível de bem-estar.

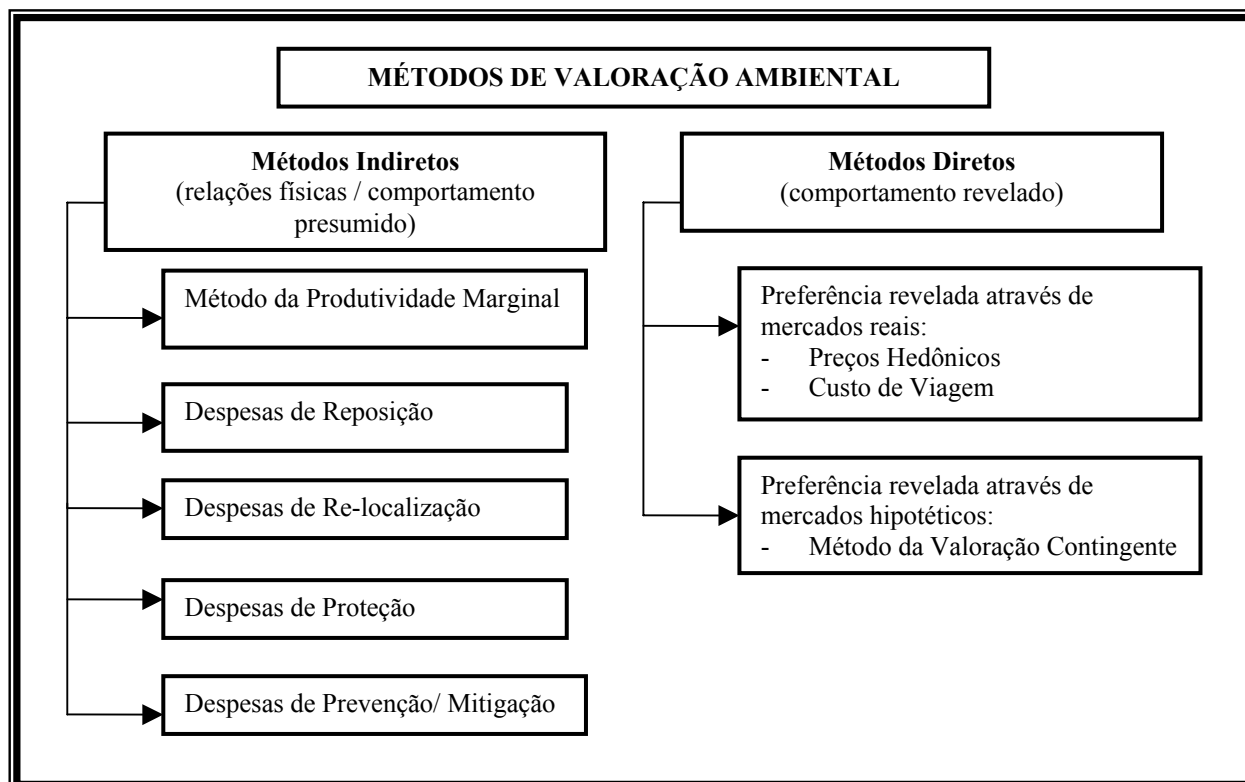
A tarefa de valorar economicamente um recurso ambiental consiste inferir em quanto melhorou ou piorou o bem-estar das pessoas devido às mudanças na quantidade de bens e serviços ambientais, seja na apropriação por uso ou não.

Os métodos de valoração ambiental atenderão a este objetivo na medida em que forem capazes de captar estas distintas parcelas de valor econômico do recurso ambiental. Todavia, conforme será discutido, todos os métodos apresentam limitações nesta cobertura de valores, o que leva a recomendações de prudência na sua utilização (Seroa da Motta, 1998).

Cabe ao analista que valora explicitar com exatidão os limites dos valores estimados e o grau de validade de suas mensurações para o fim desejado. Conforme será discutido a seguir, a adoção de cada método dependerá do objetivo da valoração, das hipóteses assumidas, da disponibilidade de dados e do conhecimento da dinâmica ecológica do objeto que está sendo valorado. (Seroa da Motta, 1998)

O Quadro 4 apresenta uma itemização dos métodos que serão apresentados a seguir, que podem ser agrupados em duas grandes categorias: métodos diretos e indiretos.

QUADRO 4 – MÉTODOS DE VALORAÇÃO AMBIENTAL



Os métodos indiretos permitem identificar se um bem ou serviço privado é afetado indiretamente pela degradação. Observa-se para este método que o recurso degradado é um insumo de produção. Entretanto, para os métodos diretos, o recurso degradado é o próprio recurso ou serviço ambiental. A seguir são apresentados os métodos.

4.a - Métodos Indiretos de Valoração

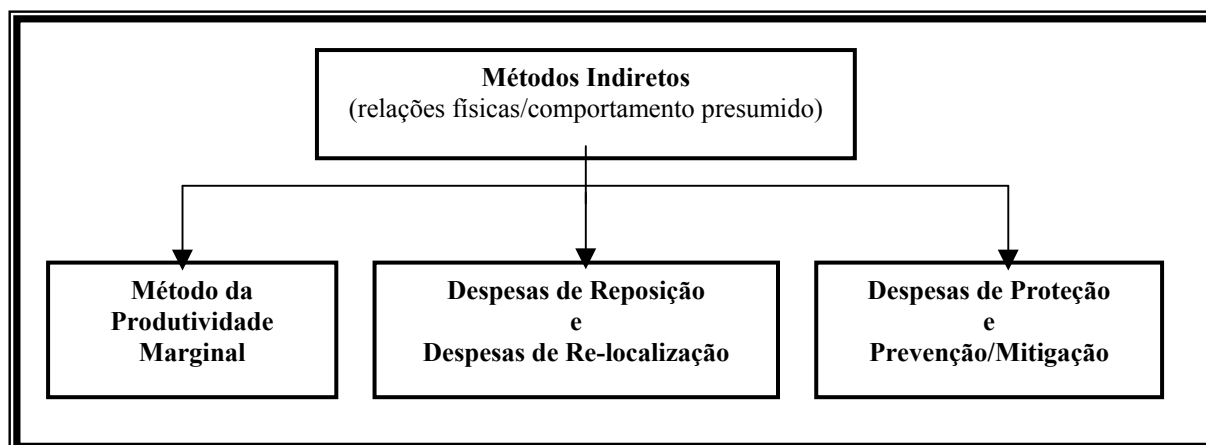
Os métodos indiretos de valoração podem ser aplicados quando a produção ou o consumo de um bem ou serviço privado for afetado pela variação da quantidade e/ou qualidade de bens e serviços ambientais. Nestes métodos, a mudança na qualidade ambiental irá conduzir a mudanças na produção ou consumo. Como estes efeitos podem ser expressos em termos de mudanças na quantidade de bens comercializáveis, o valor destas mudanças – usando preços de mercado – podem ser tomadas como medidas dos benefícios ou perdas decorrentes da mudança no recurso ambiental.

Caso o aumento no produto seja pequeno em relação ao seu mercado total e o aumento dos insumos pequeno em relação ao mercado por insumos variáveis, pode-se assumir que os preços dos produtos e dos insumos variáveis permanecerão constantes após a mudança na quantidade do produto. Neste

caso, a variação projetada na produção pode ser multiplicada pelos preços de mercado afim de se obter o seu valor econômico.

O Quadro 5 apresenta os métodos de valoração que são incorporados na categoria dos métodos indiretos.

QUADRO 5 - REPRESENTAÇÃO DOS MÉTODOS INDIRETOS



4.A.1 – MÉTODO DA PRODUTIVIDADE MARGINAL⁴

O valor do recurso ambiental R é determinado em função de sua contribuição como insumo ou fator de produção para obtenção de um produto P qualquer, e se expressa da seguinte forma - Equação 1.2:

$$P = f(B,R) \quad (\text{Eq. 1.2})$$

Onde,

B corresponde ao conjunto de insumos formados por bens e serviços privados;

R corresponde aos recursos ambientais que são utilizados gratuitamente (externalidade a ser valorada)⁵.

⁴ Define-se produto marginal dos fatores de produção (insumos) como sendo a produção adicional obtida quando o fator de produção é acrescido de uma unidade.

⁵ É bom lembrar que os métodos aqui propostos têm por objetivo valorar a externalidade ambiental e portanto assume-se que o valor que está sendo atribuído a R pelo produtor de P é nulo. Quando os recursos naturais têm preço a eles atribuídos, eles deixam de estar no conjunto de R e passam a estar no conjunto de B na função $P = f(B,R)$.

Dada a função de produção $P = f(B, R)$, o valor do recurso ambiental R é calculado a partir do valor que P assume face a variação da quantidade de R .

Baseando-se na equação anterior, o método da produtividade marginal pressupõe que P (produto) varia em decorrência da quantidade de R (recurso ambiental), sendo que B corresponde aos demais insumos e é uma constante. Ou seja, há uma relação de dose-resposta (DR) entre a variação na quantidade de R e a variação no produto P .

A utilização do método da produtividade marginal implica na necessidade de se estabelecer a função dose-resposta entre a variação da quantidade/ qualidade do recurso ambiental utilizado para produzir P e a variação da quantidade de P produzida.

Podemos dizer que, o valor econômico do recurso ambiental R corresponde a variação no valor total obtido com P face as variações em sua produção provocadas pelas variações (qualidade/quantidade) de R . Neste método, o preço do produto P é conhecido e tem um valor de mercado - Equação 1.3.

$$VE_R = Pr_p \cdot \delta P / \delta R$$

(Eq. 1.3)

Onde,

VE_R corresponde ao valor econômico do recurso natural;

Pr_p corresponde ao preço do produto P ;

$\delta P / \delta R$ corresponde variação do produto P face a variação na quantidade de R .

Os Quadros 6 e 7 apresentam exemplos de aplicação do método relatado.

QUADRO 6 – CUSTO DA EROÇÃO DO SOLO EM JAVA

Para estimar o significado econômico da erosão do solo na ilha de Java na Indonésia, um estudo recente desenvolveu um modelo para identificar as extensões físicas da erosão e associou esta erosão às mudanças na produção de bens e serviços, à produtividade agrícola local e aos custos atribuídos a sedimentação à jusante.

O método para a quantificação das extensões físicas da erosão envolveu o uso de sistema de informação geográfica computadorizado (GIS) para identificar e classificar as áreas pela sua suscetibilidade à erosão e para registrar sua distribuição espacial. Os resultados da análise do GIS derivam de uma combinação de aplicação de três mapas: declividade e tipo de solo, erosividade e uso da terra, seguida de várias combinações destas variáveis. As taxas de erosão correspondentes a estas várias combinações foram tiradas de estimativas empíricas e experimentais da erosão sob condições comparáveis em outros locais.

A construção da função dose-resposta relacionando a erosão do solo e a produtividade da economia no estudo foi baseada em experimentos controlados e em interpolações estabelecidas face ao conhecimento das propriedades do solo. O estudo incluiu 25 tipos de solo e dois grupos de colheitas (sensíveis e insensíveis). A relação da produtividade obtida face aos efeitos decorrentes da erosão do solo indicam perdas de 6,7% para a produção de produtos agrícolas sensíveis (exemplo: milho) e 4,2% para produtos insensíveis (exemplo: mandioca).

Os resultados para uma amostra representativa foram usados para estimar as mudanças na produtividade. Os resultados do estudo indicam que o impacto total da erosão induziu as progressivas perdas na quantidade e na qualidade da produção agrícola local. Estimou-se uma perda de 4% do produto agrícola local que corresponde a cerca de 315 milhões de dólares.

Margareth and Arens também estimaram o custo de controle da erosão do solo através da remoção do sedimento da enseada (3,4 milhões de dólares) e dos reservatórios (74,00 milhões de dólares), e do sistema de irrigação (12,9 milhões de dólares). Estes custos se mostraram pequenos face aos elevados custos de perda da produtividade agrícola decorrentes da erosão do solo (315 milhões de dólares).

Fonte: Dixon, J.A. et all. (1994).

QUADRO 7 -

OS IMPACTOS DO CORTE E TRANSPORTE DE MADEIRA NA ÁREA COSTEIRA PRÓXIMA A EL NIDO NA ILHA DE PALAWAN NAS FILIPINAS

Este estudo procura demonstrar a importância de incorporar a externalidade ambiental causada por uma atividade sobre a produção de outras atividades em análises empreendidas para a tomada de decisão no âmbito da gestão pública. Hodgson (1988) e Dixon (1992) usaram o método da produtividade marginal numa análise de custo-benefício aplicada para três indústrias - de madeira, de pesca e de recreação baseada em mergulho submarino (scuba diving) - associadas ao ecossistema costeiro na Baía de Bacuí: O local do estudo abriga as indústrias de pesca, de corte de madeira e a atividade de turismo. O corte de madeiras pode ter como consequência a erosão do solo e os sedimentos carregados para a baía causam danos aos corais, afetando também a atividade de turismo, pois interfere nos visitantes que pretendem usufruir do “scuba diving” e do setor pesqueiro local.

O estudo comparou dois cenários:

- 1) Continuar com a atividade madeireira e ter como consequência a redução das atividades pesqueiras e de turismo face às alterações por ela causadas ao ecossistema local;
- 2) Proibir a atividade madeireira e manter as outras duas.

Foi identificada a mudança na produção das três atividades para os dois cenários. Face à falta de dados de custo para as três indústrias, não foi possível estabelecer uma análise de custo-benefício tradicional. Optou-se portanto, por analisar os benefícios provenientes dos três setores para os casos de permanência e de não permanência da atividade madeireira, ou seja, identificou-se para ambos os cenários, a produtividade marginal das três atividades ao longo do tempo. Em consequência, as análises identificaram a variação na produção esperada para os dois setores: pesqueiro e de turismo para os dois cenários. Em seguida, foram examinadas as mudanças nos retornos financeiros esperados pela produção das três atividades, considerando um período de dez anos de permanência das atividades e uma taxa de desconto de dez por cento.

Identificou-se que a economia local seria beneficiada com a proibição da atividade madeireira e a manutenção das outras duas atividades. Os resultados apresentados na tabela a seguir indicam o quanto a atividade madeireira influenciava nas atividades pesqueira e de turismo.

A atividade madeireira teria como consequência, a redução significativa da rentabilidade obtida com a atividade pesqueira e com o turismo.

Apesar da clara mensagem proveniente da análise econômica, a companhia madeireira tinha direito legal de manter suas atividades de corte recebendo inclusive incentivos para tal. A análise indica o custo econômico e ambiental de continuar a atividade madeireira e dá os subsídios para o decisor identificar a melhor política acerca da atividade madeireira: se é melhor manter a política madeireira e compensar as demais atividades ou se é melhor bani-la .

Continua

CONTINUAÇÃO DO QUADRO 7

Tabela - Retorno esperado (1987-1996) e o valor presente observado nos setores industriais, a partir de uma taxa de desconto de 10% no Cenário 1 (banimento da atividade madeireira) e no Cenário 2 (manutenção da atividade madeireira)

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 1 - 2
RETORNO BRUTO			
TURISMO	47.415	8,178	39.237
ATIVIDADE PESQUEIRA	28.070	12.844	15.226
ATIVIDADE MADEIREIRA	0	12.885	-12.885
TOTAL	75.485	33.907	41.578
VALOR PRESENTE (10%)			
TURISMO	25.481	6.280	19.201
ATIVIDADE PESQUEIRA	17.248	9.108	8.140
ATIVIDADE MADEIREIRA	0	9.769	-9.769
TOTAL	42.729	25.157	17.572

Fonte: Hodgson & Dixon ,1992.

4.A.2 - DESPESAS DE REPOSIÇÃO⁶ (OU CUSTOS DE REPOSIÇÃO)

Estas despesas baseiam-se no consumo de um bem privado, ou seja, representam os gastos incorridos pelo consumidor ou usuário para repor os ativos produtivos que foram danificados pela poluição ou por um gerenciamento inapropriado. Esta reposição deve garantir um nível desejado de P ou R. Por exemplo, os custos de reflorestamento em áreas desmatadas para garantir o nível de produção madeireira ou custos de adubação para manter a produtividade agrícola constante.

Estes custos podem ser interpretados como um valor mínimo aceitável para medidas que reduzem a poluição ou melhoram as práticas de gerenciamento local, e portanto, previnam o dano ambiental.

⁶ Este tópico baseou-se nos estudos de Dixon, J.A. et all. (1994).

Esta metodologia é similar aos custos de prevenção/mitigação, que serão vistos mais adiante, exceto que os custos de reposição não referem-se a uma metodologia subjetiva dos danos em potencial. De preferência, revelam o verdadeiro custo de reposição se o dano estiver mesmo ocorrendo.

Para uma análise das despesas de reposição, deve estar implícito que:

- a magnitude do dano deve ser mensurável;
- se os custos de reposição forem calculados e não forem maiores que o valor do bem produzido, que foi danificado, diz que é economicamente eficiente fazer a reposição;
- não existem benefícios secundários associados a despesas preventivas. Se os custos de medidas preventivas forem menores que os custos de reposição, adota-se como medidas mais econômicas, as medidas preventivas.

Um exemplo do uso deste método pode ser visto no estudo de caso de Kim e Dixon (1986), que examinam a viabilidade de técnicas alternativas para estabilização do solo utilizado na agricultura na Coreia. Numa primeira instância, torna-se necessário identificar o ativo danificado, que no caso é o solo.

O segundo passo é determinar os custos para a reposição do solo, que são considerados como um valor mínimo aceitável para as medidas que previnam a erosão do solo e a perda de nutrientes. Estes custos compreendem os custos para repor a perda física do solo e de nutrientes, e para compensar perdas de água.

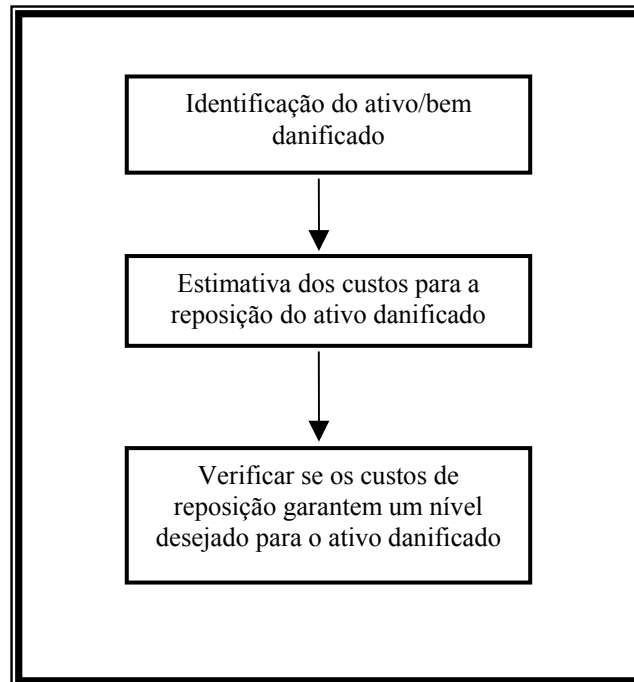
Assumindo que a erosão é um processo que deve ser prevenido, portanto, diz que o valor da produtividade do solo é maior que os custos de reposição. Ou seja, os custos de reposição são necessários para manter a produtividade do sistema.

Neste caso, se os custos propostos para a prevenção da erosão forem menores que os custos de reposição do solo, logo, as medidas preventivas são economicamente viáveis.

Para ilustrar o método, Bickmore, C.J. et al. (1994) realizaram um estudo e estimaram o valor presente líquido de 14,04 milhões de dólares para a reposição dos habitats ameaçados, destinados as aves selvagens, em decorrência da construção de uma barragem próxima ao estuário de Mersey (Noroeste da Inglaterra).

A seguir, será demonstrado por meio de um fluxograma, as etapas necessárias para se estimar o valor relativo ao custo de reposição (Quadro 8).

QUADRO 8 - FLUXOGRAMA DA ESTIMATIVA DOS CUSTOS DE REPOSIÇÃO



4.A.3 - DESPESAS DE RE-LOCALIZAÇÃO⁷ (OU CUSTOS DE RE-LOCALIZAÇÃO)

Este método é uma variante das despesas de reposição. As despesas atuais de re-localização de uma atividade física, em decorrência da mudança de qualidade do meio ambiente, são utilizadas para avaliar os benefícios potenciais (e custos associados) de prevenir esta mudança.

Por exemplo, na China, o governo decidiu realocar o ponto (entrada de água) no rio responsável por abastecer a cidade de Shangai. Shangai é um cidade da China com mais de 14 milhões de habitantes que enfrenta muitas dificuldades para garantir o abastecimento de água potável. O rio que abastece a cidade tem sido poluído por resíduos de indústrias, navios e por plantas de tratamento de esgoto da cidade.

Para contornar este problema, existem algumas opções que podem ser consideradas:

- limpeza da corrente de resíduos das plantas industriais e outras que descarregam nos rios;
- realocar a entrada de água, rio abaixo, para tirar vantagem da água limpa para o abastecimento;
- reduzir os custos de tratamento para obtenção da água potável;
- reduzir os riscos de (desastres) poluição das plantas industriais nos rios.

⁷ Estes custos são baseados nos estudos de Dixon, J.A. et all. (1994).

Embora os custos de re-localização e os custos associados a poluição e de iniciativas de controle ambiental sejam muito altos (Banco Mundial estimou em US\$ 160 milhões de dólares), estes custos são considerados menores que os custos envolvidos com a limpeza da corrente de resíduos das plantas industriais. Este resultado mostra que é possível manter a entrada de água e reduzir os riscos de (desastres) poluição a um nível aceitável.

Portanto, este método é parecido com as despesas de reposição, pois identifica as alternativas de custos e/ou benefícios, considerando as despesas de realocar o "recurso natural" devido a uma mudança na qualidade do meio ambiente, para garantir um nível aceitável de dano ambiental.

4.A.3.A – PRINCIPAIS VIÉSES DOS MÉTODOS DA PRODUTIVIDADE MARGINAL, DAS DESPESAS DE REPOSIÇÃO E DE RE-LOCALIZAÇÃO

Os métodos indiretos subestimam o valor total do recurso ambiental nos casos onde os valores de opção e existência são significativos. Exemplificando, observa-se que ao aplicar o método da produtividade marginal, o valor do recurso ambiental R quando insumo consegue apenas refletir as variações de produção de P dadas variações de R. Desta forma somente os valores de uso (diretos e indiretos) de R para a produção de P são captados.

Ao aplicar o método da produtividade marginal, quando a variação do recurso ambiental R altera os preços de forma a ocorrer ajustes em outros setores, verifica-se que estes ajustes produzem uma variação no excedente do consumidor de P. Estes ajustes em outros mercados somente podem ser identificados por intermédio de modelos de equilíbrio geral de alta sofisticação estatística e que requerem enorme base de dados.

No caso de alterações significativas no preço de P, o método de produtividade determina valores incorretos de R em termos da variação do bem-estar que pode estar subestimado ou superestimado.

No que diz respeito aos custos de reposição, a validade do resultado encontrado depende da inclusão de todos os custos considerados relevantes e de todos os fatores envolvidos na reposição de um recurso ambiental, pois a falta de algum fator importante pode prejudicar o resultado do estudo.

Cabe ressaltar que o método de despesas de reposição não busca resgatar o valor de todas as espécies animais e vegetais (os recursos naturais em geral) afetadas com a construção do projeto, já que é praticamente impossível em decorrência das complexas relações de animais, plantas, solo, clima e todas as características ecológicas da região. Na verdade, o método do custo de reposição serve somente para restabelecer os valores de uso, pois a existência das espécies está associado com a própria preservação do habitat natural.

4.A.4 - DESPESAS DE PREVENÇÃO/MITIGAÇÃO

As despesas que as pessoas têm na tentativa de evitar um dano ambiental (por exemplo, a poluição) ou outras atividades ofensivas ao bem-estar humano ou ao meio ambiente – denominamos como despesas de prevenção/mitigação – que são utilizadas como uma maneira de valorar o dano.

Esta metodologia analisa as atuais despesas para determinar a importância que o indivíduo atribui ao meio ambiente e impactos à saúde humana. Indiretamente, avalia as despesas para mitigar o dano ambiental.

Neste método, assume-se que as pessoas podem agir precipitadamente para se proteger dos danos, e as despesas com estes danos produzirão uma estimativa que reflete um valor mínimo do dano real.

Um exemplo do uso deste método pode ser visualizado no estudo de caso dos aspectos qualitativos ambientais de projetos de agricultura na Coreia (Kim & Dixon, 1986). Este estudo analisa as técnicas alternativas de gerenciamento do solo para aumentar a produtividade agrícola. Este estudo vai utilizar informações de fazendeiros que preparam-se para incorrer em custos para a construção de diques para desviar a água, e então se previnem contra a erosão do solo e danos à agricultura. Os benefícios relativos às ações para aumentar a produtividade da agricultura devem ser calculados considerando os gastos com a construção de diques pelos fazendeiros.

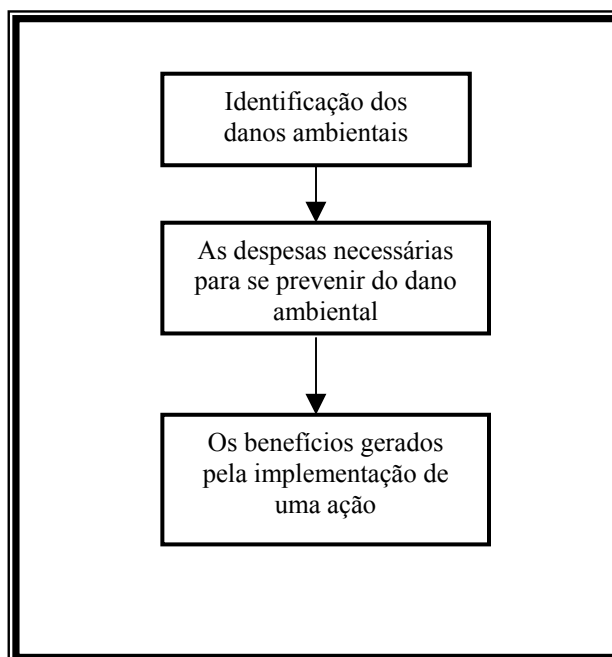
Portanto, o valor gasto pelo fazendeiros para se prevenirem contra a erosão do solo e as perdas com a agricultura deve ser no mínimo maior que os custos incorridos para a construção de diques.

No estudo realizado para a Bacia da Baía de Guanabara⁸, RJ, estimou-se o benefício total resultante da expansão da oferta de água considerando os gastos com abastecimento incorridos pelas famílias da população da Baixada Fluminense e São Gonçalo a ser beneficiada. Chegou-se a um valor de 109,7 milhões de dólares.

A seguir, será demonstrado por meio de um fluxograma, as etapas necessárias para estimar o valor relativo ao despesas de prevenção / mitigação (Quadro 9).

⁸ Estudo que é encontrado no Relatório de Referência para Solicitação de Empréstimo ao Banco Interamericano de Desenvolvimento, RJ, 1993 para o Programa de Saneamento Básico da Bacia da Baía de Guanabara (Relatório de Projeto 1950 - Banco Interamericano de Desenvolvimento, 1993).

QUADRO 9 - FLUXOGRAMA DA ESTIMATIVA DA DESPESA DE PREVENÇÃO / MITIGAÇÃO



4.A.5 - DESPESAS DE PROTEÇÃO⁹

Como o mercado não permite uma avaliação “espontânea” dos valores ambientais, procura-se identificar os comportamentos econômicos que reflitam indiretamente o valor pago para se proteger de algum dano.

Enquadra-se nessa descrição, as despesas de proteção, no qual os indivíduos realizam despesas para se proteger de algum dano ambiental, por exemplo, a poluição ou para obter algum melhoramento de seu meio ambiente.

Portanto, é necessário avaliar estas despesas. Por exemplo, na valoração do dano causado pelo ruído. Assume-se que os indivíduos investem em equipamentos contra ruídos exteriores, através da instalação de vidros duplos nas janelas. Um indivíduo escolhe adquirir o dispositivo de proteção se o custo do isolamento acústico for menor que um certo nível de incômodo permitido pelo indivíduo, como visto na equação I.4:

$$C < N - N' \quad (\text{Eq. I.4})$$

⁹ A descrição deste método foi baseado nos estudos de Bardes, 1992.

Onde,

C corresponde ao custo de isolamento acústico;

N corresponde a avaliação subjetiva do incômodo causado pelo ruído, na ausência de isolamento acústico;

N' corresponde a avaliação subjetiva do ruído após isolamento acústico.

Pela escolha na aquisição do equipamento de proteção, as vantagens do isolamento acústico serão superiores ao custo do equipamento. Logo, aceita-se gastar pelo isolamento (C) até um certo nível, que é reproduzido pela equação 1.5 abaixo:

$$\Delta N - \Delta N' = \Delta C$$

(Eq. 1.5)

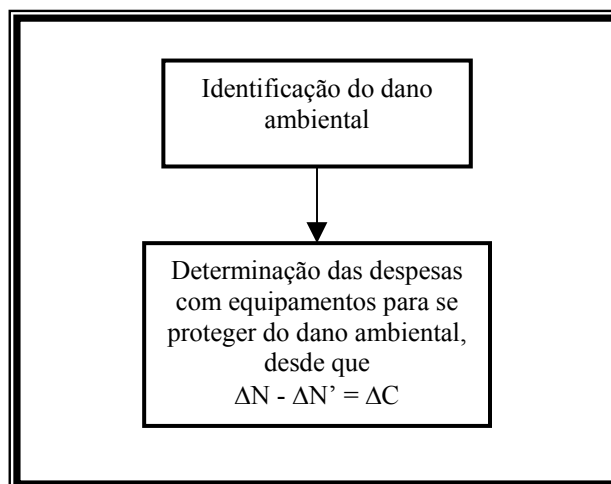
Onde Δ representa as pequenas variações.

Assume-se que o custo de isolamento acústico (C) representa a quantia gasta para se proteger de um incômodo.

A aplicação deste método pode ser visualizada no exemplo do estudo de caso do Aeroporto de Londres-Heathrow, onde os autores (Dixon, J.A. et al., 1990) calculam o consentimento a pagar pelo isolamento acústico de uma casa de cinco cômodos, que é de 5% do valor da renda per capita.

A seguir, demonstramos as etapas a serem seguidas para se estimar as despesas de proteção (Quadro 10).

QUADRO 10 - FLUXOGRAMA DA ESTIMATIVA DAS DESPESAS DE PROTEÇÃO



4.A.5.A - PRINCIPAIS VIÉSES DAS DESPESAS DE PROTEÇÃO

Este método torna-se interessante por sua simplicidade, porém surgem algumas desvantagens. A despesa de proteção não é a única opção possível para se fugir do dano ambiental, por exemplo, neste caso do incômodo provocado pelo ruído, pode-se escolher mudar de casa.

O isolamento individual fornece apenas uma proteção limitada aos espaços interiores das habitações (não protege os incômodos causados no exterior). O método somente pode ser aplicada aos casos onde existem possibilidades de proteção individual (a proteção contra outras formas de poluição e deterioração do meio ambiente parece menos evidente).

4.b. Métodos Diretos de Valoração

Ao contrário dos métodos indiretos que valoram os benefícios ambientais usando o valor de mercado de bens e serviços afetados por mudanças na qualidade ambiental, os métodos diretos utilizam mercados substitutos ou mercados hipotéticos para medir diretamente a demanda pela qualidade ambiental.

Portanto, os métodos diretos de valoração procuram revelar as preferências através de situações reais (métodos de preços hedônicos e de custo de viagem) ou através de situações hipotéticas (método da valoração contingente).

A preferência revelada através do mercado real envolve a análise do mercado real de bens e serviços que são afetados por impactos ambientais (poluição do ar ou água) no qual os indivíduos fazem uma escolha (trade-off) entre o impacto ambiental (poluição) e outros bens ou renda.

A análise do mercado de propriedades (casas) revela o valor desse bem. Muitas vezes, este valor é mais alto nas regiões onde a qualidade do ar é melhor, comparativamente às regiões onde a qualidade é péssima. A diferença no valor da propriedade entre as duas áreas serve como *proxy* da disposição a pagar por um ar de boa qualidade.

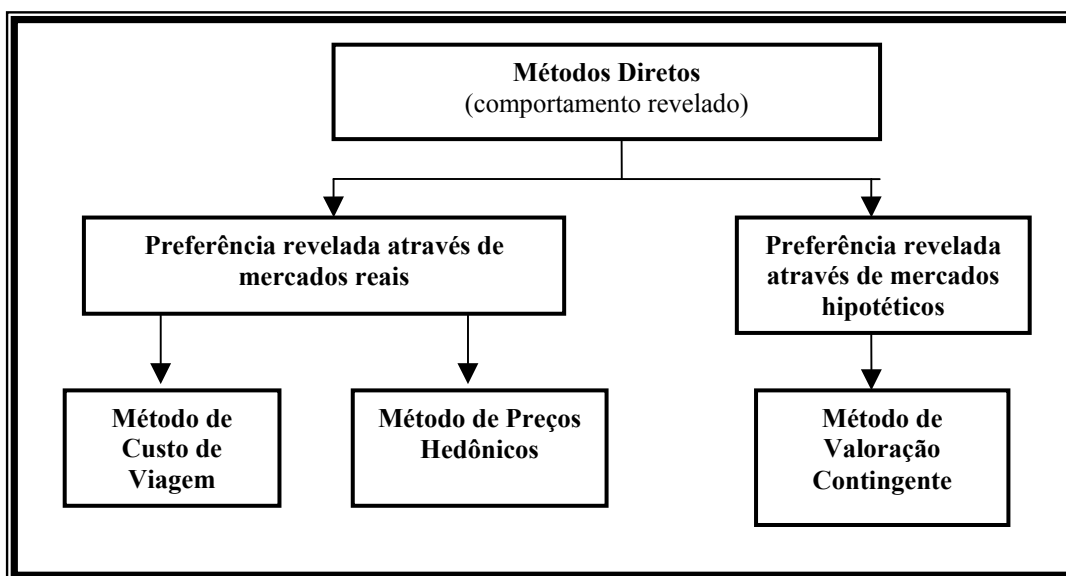
Os custos de viagem que as pessoas incorrem para visitar um parque nacional podem determinar uma aproximação da disposição a pagar destes em relação aos benefícios recreacionais.

Existem casos em que os impactos ambientais não podem ser valorados desse modo, mesmo indiretamente através do comportamento do mercado, por exemplo, a perda da biodiversidade. A alternativa é construir mercados hipotéticos para várias opções de redução de danos ambientais e perguntar, diretamente, a uma amostra de indivíduos se estão dispostos a pagar por uma redução do dano ambiental. Esta alternativa **revela a preferência associada através de mercados hipotéticos**.

Este método possibilita a construção de uma função de utilidade e poder-se-ia derivar uma função de demanda. Estas funções permitem captar as medidas de disposição a pagar (ou aceitar) dos indivíduos relativas às variações de disponibilidade do recurso ambiental. Com base nestas medidas, estima-se as variações do nível de bem-estar pelo excesso de satisfação que o consumidor obtém quando paga um preço (ou nada paga) pelo recurso que estaria disposto a pagar. Estas variações são chamadas de variações do *excedente do consumidor* frente às variações de disponibilidade do recurso ambiental.

O Quadro 11 apresenta os métodos que se encontram na grande categoria dos métodos diretos.

QUADRO 11 - REPRESENTAÇÃO DOS MÉTODOS DIRETOS



Na medida que estes valores estimados (custos ou benefícios) possam ocorrer ao longo de um período, então, será necessário identificar estes valores no tempo. Ou seja, identificar os valores resultantes não somente das condições atuais, mas também das condições futuras. A prospecção das condições futuras poderá ser feita com cenários alternativos para minimizar o seu alto grau de incerteza. De qualquer forma, os valores futuros terão que ser descontados no tempo, isto é, calculados seus valores presentes e, para tanto, há que se utilizar uma taxa de desconto social. Esta taxa difere daquela observada no mercado devido as imperfeições no mercado de capitais e sua determinação não é trivial, embora possa afetar significativamente os resultados de uma análise de custo-benefício.

No contexto ambiental, a complexidade é ainda maior. Por exemplo, devido a sua possibilidade de esgotamento, o valor dos recursos ambientais tende a crescer no tempo se admitimos que seu uso aumenta com o crescimento econômico. Como estimar esta escassez futura e traduzi-la em valor monetário é uma questão complexa que exige um certo exercício de projeção para cenários futuros. Assim sendo, alguns especialistas sugerem o uso de taxas de desconto menores para os projetos onde se verificam benefícios ou custos ambientais significativos ou adicionar os investimentos necessários para eliminar o risco ambiental.

A escolha de um ou outro método de valoração econômica do meio ambiente depende do objetivo da valoração, das hipóteses consideradas, da disponibilidade de dados e do conhecimento científico a respeito da dinâmica ecológica do objeto em questão.

4.B.1 – MÉTODO DE PREÇOS HEDÔNICOS

Este método baseia-se na identificação de atributos ambientais que podem ser captados no preço de bens e serviços, como por exemplo de imóveis ou terrenos.

Por intermédio de uma função denominada função hedônica de preço pode-se estimar o valor dos atributos de um ou vários bens e serviços ambientais implícitos no valor de um bem privado - Equação I.6. Se P_i é o preço de uma propriedade, a função hedônica de seus atributos ambientais será dada por:

$$P_i = F(a_{i1}, a_{i2}, a_{i3}, \dots, R_i)$$

(Eq. I.6)

Onde,

a_i corresponde aos atributos da propriedade i ;

R_i corresponde ao nível do bem ou serviço ambiental R da propriedade i .

O valor de R_i será captado através da identificação da participação que os atributos deste bem ou serviço têm na formação do preço P_i . Normalmente, este valor será dado pela disposição a pagar por uma variação do atributo ambiental em um nível de bem ou serviço ambiental R . É importante que o analista tente captar esta participação, porém esta não é uma tarefa trivial. Será apresentado a seguir uma forma de aplicação deste método.

No caso da valoração ambiental, o exemplo mais freqüentemente encontrado na literatura está relacionado aos preços de propriedades. Distintas propriedades de mesmas características (tamanho, material de construção, garagem, ...) apresentam diferentes preços de mercado em função de seus atributos ambientais (acesso a um sítio natural, qualidade do ar, ...). Portanto, as diferenças de preços das propriedades devido à diferença de nível dos atributos ambientais devem refletir a disposição a pagar por variações destes atributos, como por exemplo os benefícios por não ter poluição.

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE PREÇOS HEDÔNICOS (Quadro 12)

O método requer informações dos vários atributos que influenciam o preço da propriedade, como as próprias características da propriedade (tamanho, grau de conservação, benfeitorias, etc.), as facilidades de serviços (comerciais, transporte e educação), a qualidade do local (vizinhança, taxa de criminalidade, etc.) e também informações sócio-econômicas dos proprietários sobre uma amostra representativa das propriedades da região.

A principal fonte de dados utilizada para a maioria destes atributos pode ser obtida junto a uma empresa de crédito imobiliário que pode fornecer os registros das transações imobiliárias realizadas para fim de crédito no período desejado no país.

Para que seja possível uma análise mais detalhada do atributo ambiental, este deve ser definido com certa precaução de forma a especificar as variações na disponibilidade dos bens ou serviços ambientais. Por exemplo, indivíduos podem optar por uma certa propriedade devido a sua qualidade do ar ou proximidade de uma praia, mas certamente não o farão com base em medidas de poluentes isolados e, sim por uma percepção conjunta da qualidade ambiental gerada por um certo nível de serviços ambientais.

Uma segunda consideração a ser feita para melhor aplicabilidade do método é que os compradores devem possuir informações suficientes do mercado de propriedades para avaliar todas as opções de compra em todo território. Esta alternativa não será tão restritiva em estudos locais, porém não se pode dizer a mesma coisa para estudos com cobertura espacial ampla.

Observa-se que a demanda por informações deve ser bastante significativa e a qualidade dos dados afetará sensivelmente a qualidade das estimativas. Dessa forma, as estimativas de uma pesquisa realizada para um local não devem ser transferidas para outro.

Assim, o método dos preços de propriedades é recomendável nos casos:

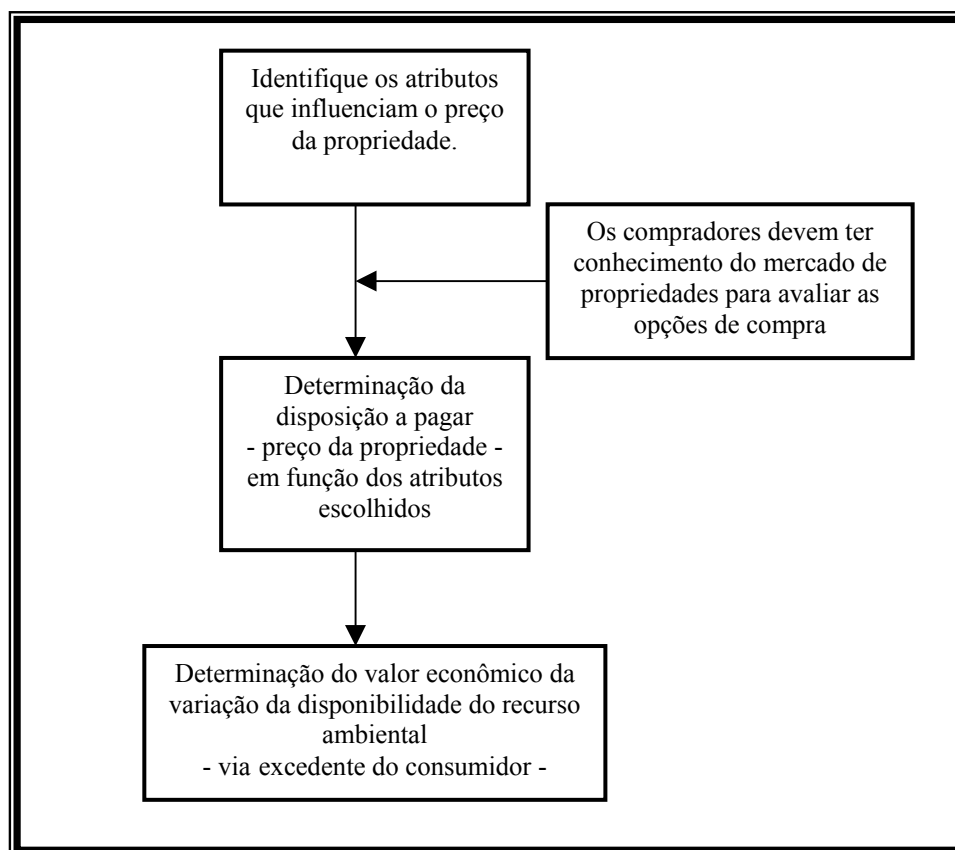
- onde existe alta correlação entre a variável ambiental e o preço da propriedade;
- em que é possível avaliar se todos os atributos que influenciam no preço de equilíbrio do mercado de propriedades podem ser captados;
- em que as hipóteses adotadas para o cálculo do excedente do consumidor, com base nas medidas estimadas do preço marginal do atributo ambiental, podem ser realistas.

Reconhecido os preços de propriedade em razão dos atributos, estes agora, serão considerados na estimativa da função de demanda. Identificada a função de demanda para o recurso ambiental, o valor econômico deste recurso será dado pelo excedente do consumidor frente as disponibilidades do recurso ambiental.

Garrod, G.E. et al., 1992 aplicou o método de preços hedônicos com preços de propriedade para valorar os benefícios ambientais associados às florestas localizadas na Grã-Bretanha. Vale ressaltar que este método para este caso é bem específico. O estudo apresentou uma maior rentabilidade social para os locais próximos às florestas que proporcionam mais amenidades - as folhosas - em relação as coníferas, que permitem maior produção madeireira. Observou-se que o preço esperado da residência aumentou em quase US\$ 69 para as residências localizadas próximas a florestas que aumentaram sua área em 1% de folhosas; enquanto que, para um aumento em 1% de coníferas gera uma redução de aproximadamente US\$ 226. Consta-se assim que os benefícios das amenidades mais que superam as perdas da produção madeireira.

A seguir, será demonstrado por meio de um fluxograma, as etapas necessárias para se estimar o valor econômico de uma variação de um recurso ambiental via método do preço hedônico (Quadro 12).

QUADRO 12 - FLUXOGRAMA DA ESTIMATIVA DO VALOR ECONÔMICO AMBIENTAL
- VIA MÉTODO DE PREÇO HEDÔNICO -



4.B.1.A - PRINCIPAIS VIÉSES DO MÉTODO DE PREÇOS HEDÔNICOS

Este método capta valores de uso direto, indireto e de opção. Requer um levantamento de dados minuciosos, como informações sobre os atributos referentes a propriedade, além dos ambientais, que influenciam o preço desta.

O fato de admitir fraca complementaridade, ou seja, se a demanda pelo atributo ambiental for zero quando a demanda por propriedades com este atributo é zero, elimina a possibilidade de captar valores de existência ou de não uso.

Este método é de difícil utilização pois os preços de propriedade não internalizam as futuras melhoras (ou piores) ambientais. É possível que os preços de propriedade sejam subestimados por razões fiscais para reduzir os valores de impostos que porventura possam incidir sobre as propriedades. Face a estas dificuldades, a alternativa seria optar por valores de aluguel ao invés de preços de transferência de propriedade.

Vale ressaltar que sendo um método que se baseia em preços de equilíbrio e, não na verdadeira disposição a pagar, as estimativas calculadas servem apenas para valorar as variações marginais e, portanto, não as variações discretas.

4.B.2 – MÉTODO DE CUSTO DE VIAGEM

O método do custo de viagem estima a demanda por um sítio natural R_{SN} com base na demanda de atividades recreacionais ou serviços ambientais que este sítio pode proporcionar. A curva da demanda destas atividades se baseia nos custos incorridos pelos usuários para acessá-lo. Representa, portanto, o custo de visitação a um sítio natural específico que pode ser considerado como a máxima disposição a pagar do usuário pelos serviços ambientais de R_{SN} .

Este método surgiu de trabalhos realizados nos Estados Unidos para medir os benefícios proporcionados pelos locais de recreação ao ar livre (Smith, 1989). Observa-se a crescente demanda por espaços abertos e amenidades recreacionais nas cidades, o que têm levado a um aumento do preço dos terrenos e, elevando com isto o custo de oportunidade de manter determinado lugar como um parque.

Podemos dizer, então, que o valor monetário agregado à recreação proporcionada por um recurso natural é estimado a partir de uma curva de demanda em função das atividades recreacionais do sítio natural (Gráfico 1).

Para a construção de uma curva de demanda dessa natureza, considera-se que as oportunidades de lazer estarão condicionadas, principalmente, às opções de lazer sucedâneas dos consumidores, ao tempo e ao dinheiro disponível para tais atividades.

A identificação do uso efetivo de locais de recreação pode ser mensurado normalmente durante visitas de turistas que são entrevistados na área de lazer. Os questionários focalizam informações referentes ao local de estada do visitante, distância viajada, cidade onde tem residência fixa, frequência e custo de viagem das visitas. A preparação do questionário deve considerar as mesmas hipóteses da valoração contingente. As informações são, então, estatisticamente analisadas e agregadas à população total do local de residência do visitante.

A partir destes dados, estima-se a taxa de visitação V_i (visitantes por mil habitantes por ano, por exemplo) de cada zona residencial da amostra para correlacioná-la em termos estatísticos com os dados de custo médio de viagem de cada zona residencial (CV) da amostra e as outras variáveis sócio-econômicas (usadas como proxis para indicar preferências) da zona em questão S_i , conforme abaixo - Equação 1.7:

$$V_i = f(CV, S_1, S_2, \dots, S_n) \quad (\text{Eq. 1.7})$$

Onde,

V_i corresponde a taxa de visitação de habitantes de cada área i ;

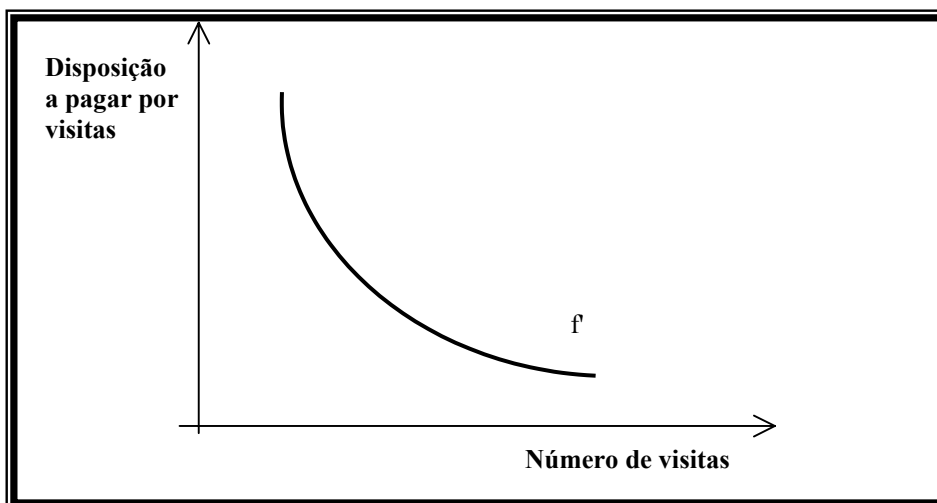
CV corresponde ao custo médio de viagem para um habitante da área i até ao parque;

S corresponde a variáveis sócio-econômicas dos entrevistados.

Derivando-se f em relação à variação de CV para cada área, a curva da demanda gerada f' medirá a redução (ou aumento) do número de visitantes quando se aumenta (ou diminui) o custo de viagem.

A área abaixo da curva de demanda (Gráfico 1) é a medida do excedente do consumidor. Ela deve mensurar a disponibilidade que o usuário tem a pagar pelos serviços ambientais de R_{SN} .

GRÁFICO 1 - CURVA DE DEMANDA DERIVADA DA FUNÇÃO DE CUSTO DE VIAGEM



Fonte: Seroa da Motta, 1998.

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE CUSTO DE VIAGEM ¹⁰(Quadro 13)

1ª ETAPA: Determinação do número de visitantes (V_i). Para estimar os custos de viagem incorridos pelos turistas (visitantes) dos parques (sítios naturais), é necessário realizar uma **análise da frequência de visitação ao parque**. Nesse sentido, o número total de visitantes (V_i) pode ser mensurado usando um questionário durante os dias da semana e finais de semana. A amostra de entrevistados pode ser dividida em grupos (ou zonas), segundo os diferentes locais ou distritos administrativos, onde o entrevistado é residente, a fim de determinar o ponto (lugar) de origem dos visitantes. Podemos escolher uma amostra representativa de cada localidade.

2ª ETAPA: Determinação da taxa de visitação ao parque (TV_i). Conhecendo o número de pessoas que reside nas diferentes regiões, podemos obter a taxa de visitação ao parque, ou seja, a razão entre o número de visitantes e a população residente na região. **A taxa de visitação indica que percentagem de pessoas de cada região visita o parque a cada período (ano, por exemplo).**

Uma forma simples de se determinar a taxa de visitação é sugerida por Dixon & Hufschmidt (1990). A taxa de visitação é calculada para cada 1000 pessoas de diferentes regiões ou trechos - Equação 1.8:

$$\boxed{(TV_i/1000/ano) = \frac{[(V_i/n) \cdot N \cdot 1000]}{P}} \quad (\text{Eq. 1.8})$$

¹⁰ Este estudo se baseou em Grasso, M. (1995) e Seroa da Motta (1998).

Onde,

$TV_i/1000$ corresponde a taxa de visitação para cada 1000 pessoas da região em um ano;

V_i corresponde ao número de visitantes da região i ;

n corresponde ao tamanho da amostra de entrevistados;

N corresponde ao número de visitantes por ano;

P corresponde a população total da região i .

3ª ETAPA: **Determinação do custo total de viagem (CV).**

Vale lembrar que para a classificação dos visitantes, segundo os gastos com viagem, estipulou-se diferentes grupos (ou zonas) de origem, sendo estes agrupados por faixas de distância.

O **custo total de viagem (CV)** pode ser dividido em dois outros custos: o **custo de viagem gasto com transporte ao local de visitação (C_{LOCOM})** e o **custo do tempo gasto na viagem (C_T)**.

O **custo de transporte (C_{LOCOM})** para um visitante que vai ao parque é dado pelos gastos em locomoção ao local de visitação de acordo com o meio de transporte realizado incluindo os gastos inerentes a esta viagem (combustível, hospedagem, etc.).

Dado que cada meio de transporte representa um tempo distinto de viagem, o **custo do tempo gasto na viagem (C_T)** tem que ser computado. Este é determinado pela **estimativa do número de horas requeridas para viajar até o parque - horas de viagem**; esta variável depende das condições da estrada que leva ao parque.

Portanto, o **custo do tempo gasto na viagem (C_T)** é o **produto do valor do tempo de viagem do visitante - C_{OPORT} - e o número de horas requeridas para uma viagem até o parque - horas de viagem -**, como observado na Equação 1.9:

$$C_T = C_{OPORT} \cdot \text{horas de viagem}$$

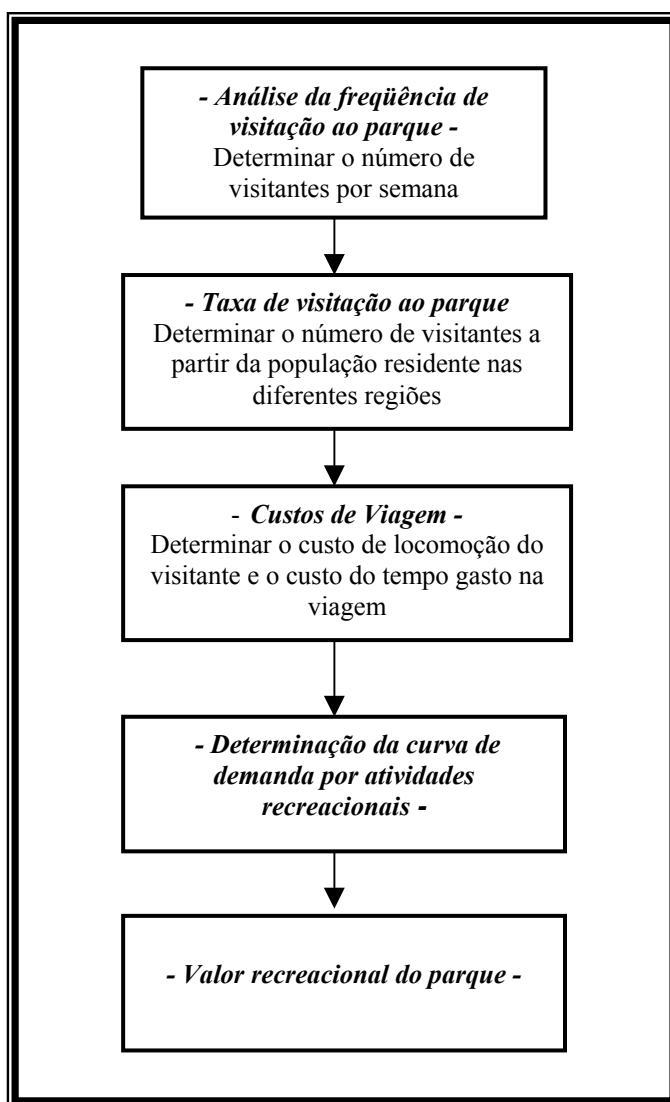
(Eq. 1.9)

4ª ETAPA: Determinação da curva de demanda por visitação para as atividades recreacionais do sítio natural. A construção da função de demanda por visitação, segundo cada região, utilizará diferentes valores para a taxa de admissão¹¹ ao parque. Na verdade, a função de demanda é determinada de forma a medir como a taxa de visitação varia quando se altera a taxa de admissão do parque. A curva de demanda agregada do parque pode ser derivada através da soma horizontal de curvas estimadas para cada região.

Produziremos assim, uma **curva de demanda de visitação para um sítio natural** a partir da taxa de visitação prevista e a disposição a pagar por uma taxa de admissão ao parque.

5ª ETAPA: Valor recreacional do parque. Variando a taxa de admissão ao parque, são encontrados diversos pontos da curva de demanda. A área sob esta curva representa todo o excedente do consumidor, que reflete o valor de uso ou valor recreacional do parque baseado na análise de custo de viagem. Portanto, o valor à atividade recreacional pode ser estimado através do cálculo da relação entre a variação na taxa de visita e o aumento na taxa de admissão ao parque.

QUADRO 13 - FLUXOGRAMA PARA A METODOLOGIA DO CUSTO DE VIAGEM



¹¹ A taxa de admissão é somada ao custo total de viagem que, por sua vez, incorpora os gastos monetários incorridos na viagem e valor monetário do tempo de viagem dispendido

As aplicações deste método se estendem aos casos de degradação ambiental, como por exemplo, a contaminação de praias em épocas de alta estação, onde o custo de viagem estabelece os danos derivados da perda de receitas turísticas.

O exemplo desta aplicação deste método foi o estudo sobre a contribuição do valor recreacional do parque público de Lumpinee em Bangkok na Tailândia (Dixon & Hufschmidt, 1990) atribuído pelos indivíduos que utilizam a área na busca de espaços abertos e amenidades recreacionais. O método do custo de viagem utiliza informações sobre os gastos monetários e o tempo incorrido pelos visitantes do parque para estimar a curva de demanda pelo seu uso. As estimativas encontradas com a aplicação deste método indicam que o valor de uso deste parque seria de, aproximadamente, 13,2 milhões de dólares em 1980.

4.B.2.A – PRINCIPAIS VIÉSES DO MÉTODO DE CUSTO DE VIAGEM¹²

Este método capta valores de uso direto e indireto os quais estão associados a um determinado sítio natural. Não considera os valores de opção e existência daquelas pessoas que apesar de atribuírem estes valores ao sítio em questão, não o freqüentam.

O método do custo de viagem se apresenta como uma metodologia muito prática em locais onde há o controle do fluxo turístico, porém quando aplicada em países como o Brasil, onde não há o reconhecimento do potencial turístico de áreas naturais, localizadas fora de parques nacionais, estaduais ou municipais, pode-se tornar extremamente trabalhosa. Haveria, então, a necessidade de montar uma equipe especializada para a preparação e aplicação dos questionários, demandando investimento significativo de tempo e dinheiro.

No caso de ocorrerem variações da oferta dos serviços de R, deve-se calcular uma função f para o sítio natural que apresenta distintos serviços ambientais que possam ser utilizados pelos visitantes do sítio.

A curva de demanda por classes de renda pode sofrer alterações para permitir a agregação de diferentes excedentes do consumidor, o que requer esforços de pesquisa e de transformações econométricas.

A valoração do tempo também é tarefa bastante sofisticada. Um indicador que pode ser utilizado é a renda per capita – salário do visitante - para o custo de oportunidade do lazer. No entanto, surgem

¹² A descrição destes vieses foram baseados no estudo de custo de viagem realizado por Seroa da Motta (1998).

distorções no mercado de trabalho que indicam que os salários podem superavaliar o custo do lazer e afetar consideravelmente as estimativas deste método.

Outra questão a ser considerada diz respeito à possibilidade do visitante aproveitar a viagem para visitar outros locais. Esta atitude demonstra um comportamento que merece ajustes necessários.

Apesar das restrições mencionadas, o método do custo de viagem é um instrumento valioso para definir e justificar as ações de investimentos em sítios naturais, principalmente para definir as taxas de admissão ao parque e outras formas de contribuição para utilização de serviços recreacionais específicos.

4.B.3 - MÉTODO DA VALORAÇÃO CONTINGENTE

O método de valoração contingente (MVC) procura mensurar monetariamente o impacto no nível de bem-estar dos indivíduos decorrente de uma variação quantitativa ou qualitativa dos bens ambientais.

Uma das vantagens desse tipo de metodologia consiste justamente em produzir estimativas de valores que não poderiam ser obtidos por outros meios. Tais bens incluem, por exemplo, a preservação de espécies, estética ambiental, fenômenos históricos ou diversidade genética.

Em comparação com outros métodos de mercado de bens complementares (preço hedônico e custo de viagem), não é necessário estimar uma curva de demanda de um benefício para obter o valor monetário que está associado a este benefício proporcionado pelo bem ou serviço ambiental.

Cabe ressaltar que o método de valoração contingente pode ser utilizado para encontrar o valor de existência decorrente da preservação das florestas tropicais úmidas¹³, por exemplo.

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DA VALORAÇÃO CONTINGENTE (QUADRO 14)

O interesse pelo método da valoração contingente tem crescido bastante ao longo da última década. Entre outros motivos, destaca-se o próprio aperfeiçoamento das pesquisas de opinião e, principalmente, o fato de ser a única técnica com potencial de captar o valor de existência. Por outro lado, a aplicação desta técnica não é trivial e também envolve custos elevados de pesquisa.

Neste sentido, busca-se simular cenários, cujas características estejam o mais próximo possível das existentes no mundo real, de modo que as preferências reveladas nas pesquisas reflitam decisões que os agentes tomariam de fato caso existisse um mercado para o bem ambiental descrito no cenário hipotético. As preferências, do ponto de vista da teoria econômica, devem ser expressas em

¹³ Este tipo de floresta é um ecossistema único, localizado geralmente nos países em desenvolvimento.

valores monetários. Estes valores são obtidos através das informações adquiridas nas respostas quanto os indivíduos estariam dispostos a pagar para garantir a melhoria de bem-estar, ou quanto estariam dispostos a aceitar em compensação para suportar uma perda de bem-estar.

Este método consiste em dois estágios subdivididos em etapas:

1º ESTÁGIO: DEFINIÇÃO DA PESQUISA

1ª ETAPA: *Determinar qual o recurso ambiental a ser valorado*, ou seja, fazer uma descrição detalhada do bem ou serviço ambiental que será valorado. Para isto, temos que ter informação sobre:

- O nível de disponibilidade - em termos de quantidade e qualidade - do bem questionado;
- Quem utiliza o recurso e quem deve pagar ou ser compensado e
- O método de pagamento.

2ª ETAPA: *Determinar um dos mecanismos de valoração: a disposição a pagar (DAP)* - o quanto os indivíduos estariam dispostos a pagar para obter uma melhoria de bem-estar ou ***disposição a aceitar (DAA)*** - quanto estariam dispostos a aceitar como compensação para uma perda de bem-estar.

O MVC estima os valores da DAP e da DAA com base em mercados hipotéticos que são simulados por intermédio de pesquisas de campo que perguntam ao entrevistado sua DAP ou sua DAA por alterações na disponibilidade quantitativa ou qualitativa do meio ambiente.

3ª ETAPA: *Definir o instrumento ou veículo de pagamento ou compensação* com que a medida de DAP ou DAA será realizada, por exemplo:

- DAP: novos impostos, tarifas ou taxas; cobrança direta pelo uso; doação para um fundo de caridade ou uma organização não-governamental.
- DAA: novos subsídios ou aumento no nível dos existentes; compensações financeiras diretas; ou aumento de patrimônio via obras ou reposição.

Cada caso deve ser estudado criteriosamente para se identificar qual é o instrumento mais adequado para a aplicação.

4ª ETAPA: *Escolher a forma de eliciação (resposta) para valorar a disposição a pagar ou aceitar*. A estimativa dos benefícios obedece a diferentes modalidades em razão da forma de obtenção do valor. Dentre as opções apresentadas, uma é escolhida para compor o questionário, fornecendo diferentes maneiras de valorar o bem. As principais opções são:

- **Artifício de jogos de ofertas (*bidding games*)**. Criando-se uma situação hipotética, deixa ao entrevistado a opção de escolher se está de acordo ou não com uma quantia estabelecida, ou se julga exorbitante ou insatisfatória. Repete-se o experimento até chegar a um consenso entre entrevistado e entrevistador. Esta forma é a mais recomendável quando se trata de populações com baixo grau de renda.
- **Lances livres ou forma aberta (*open-ended*)**. O entrevistado é questionado sobre a sua disposição a pagar / aceitar por determinada alteração no suprimento de um bem ou serviço ambiental. Esta forma de pergunta produz uma quantidade contínua de lances e o valor esperado da DAA ou DAP pode ser estimado diretamente por técnicas econométricas.
- **Cartões ou opções de pagamento**, onde sucessivas perguntas vão sendo feitas conforme a resposta dada pelo entrevistado. Se o entrevistado aceita uma quantia inicial, o valor perguntado vai aumentando. Caso o entrevistado rejeite a quantia inicial os valores vão diminuindo.
- **Referendo (*escolha dicotômica*)** apresenta a seguinte questão: "você está disposto a pagar um valor X?" A quantia é sistematicamente modificada ao longo da amostra para avaliar a frequência das respostas dadas diante de diferentes níveis de lances. Esta forma é muito utilizada, atualmente e é considerada preferível em relação as demais apresentadas pois permite menor ocorrência de lances estratégicos dos entrevistados que procuram defender seus interesses ou beneficiarem-se da provisão gratuita do bem e aproxima-se da verdadeira experiência de mercado que geralmente define suas ações de consumo frente a um preço previamente definido¹⁴.
- **Referendo com acompanhamento (*mais de um valor*)**. Observa-se a utilização de uma outra forma mais sofisticada de escolha dicotômica. Conforme a resposta dada à pergunta inicial, é acrescida uma segunda pergunta interativa. Por exemplo, se o entrevistado responde que está disposto a pagar um valor X, será perguntado em seguida se pagaria um valor 2X, ou outros valores. Entretanto, este processo iterativo apresenta uma tendência a induzir respostas na medida em que o entrevistado pode se sentir obrigado a aceitar os valores subsequentes ou negá-los por admitir que o primeiro valor é o mais correto.

Esta técnica é de extrema valia para a análise econômica do meio ambiente, principalmente porque é a única que tem potencialmente a capacidade de captar o valor de existência do bem ambiental. De acordo com Hanemann, W. M. (1995) "requer, no entanto, procedimentos muito rigorosos na formulação das pesquisas para produzir resultados confiáveis".

Na valoração contingente, a confiabilidade das respostas deve ser avaliada. Neste caso, deve-se observar a randomicidade dos erros. Quanto menor for o grau de randomicidade, menos confiável

¹⁴ Esta aproximação produz um indicador discreto de lances e o valor esperado da medida monetária (DAP ou DAA) tem que ser estimado de forma mais complexa com base em uma função de distribuição das respostas "sim" e sua correlação com uma função de utilidade indireta, geralmente assumida como logística (ver mais adiante).

será o resultado do estudo. Para observar esta confiabilidade, deve-se testar a repetibilidade das respostas com diferentes amostras, para encontrar correlação entre os resultados.

Outro inconveniente encontrado no método é a resposta estrategicamente tendenciosa. Neste caso, a tendência está associada à percepção pelo entrevistado da futura obrigatoriedade de pagamento para garantir o fornecimento de determinado bem.

5ª ETAPA: A construção da função de demanda (D) permite captar as medidas de disposição a pagar (ou aceitar) dos indivíduos relativas às variações de disponibilidade do recurso ambiental. Com base nestas medidas, estima-se as variações do nível de bem-estar pelo excesso de satisfação que o consumidor obtém quando paga um preço (ou nada paga) pelo recurso que estaria disposto a pagar. Estas variações são chamadas de variações do *excedente do consumidor* frente às variações de disponibilidade do recurso ambiental. O **valor econômico deste recurso** será dado pelo excedente do consumidor frente às disponibilidades do recurso ambiental.

2º ESTÁGIO: DEFINIÇÃO DO QUESTIONÁRIO

6ª ETAPA: *Definir a amostra da população a ser entrevistada* a qual deve obedecer a certos procedimentos estatísticos padrões que garantam sua representatividade.

Ao realizar uma pesquisa dessas no Brasil, podemos considerar algumas cidades que sejam representativas em termos econômicos, políticos e sociais para o país. Este procedimento é adotado no estudo de Cummings et al. (1986) o qual estabeleceu que um indivíduo da cidade deve ter uma certa familiaridade com o recurso ambiental que está sendo valorado. Portanto, grandes cidades podem ser escolhidas porque suas populações têm, em geral, mais acesso as informações sobre os problemas ambientais através da mídia (televisão, rádio ou jornal).

7ª ETAPA: *Caracterizar como será feita a entrevista, ou seja, a forma com que será aplicado o questionário.* Recomenda-se que as entrevistas sejam pessoais de forma a garantir uma fiel compreensão do questionário e suas respostas. Existem vários tipos de questionários. Um que consiste numa lista de questões com uma seqüência pré-determinada e padrão para todos os entrevistados e um outro tipo onde as questões não são previamente definidas, porém existe um série de tópicos (assuntos) definidos para a realização das perguntas. Por final, um terceiro tipo onde não existe uma ordem nem uma lista específica de perguntas.

Dessa forma, os dados podem ser coletados através de pesquisas domiciliares, o que é mais recomendável, embora apresentem um custo mais alto do que o realizado com o uso do telefone ou pelo correio. As pesquisas domiciliares também consomem mais tempo que os outros métodos.

O uso do telefone possui algumas vantagens: custo menor que as entrevistas pessoais e melhor acesso a certos tipos de classe de pessoas. Por outro lado, tem sua amostra de entrevistados

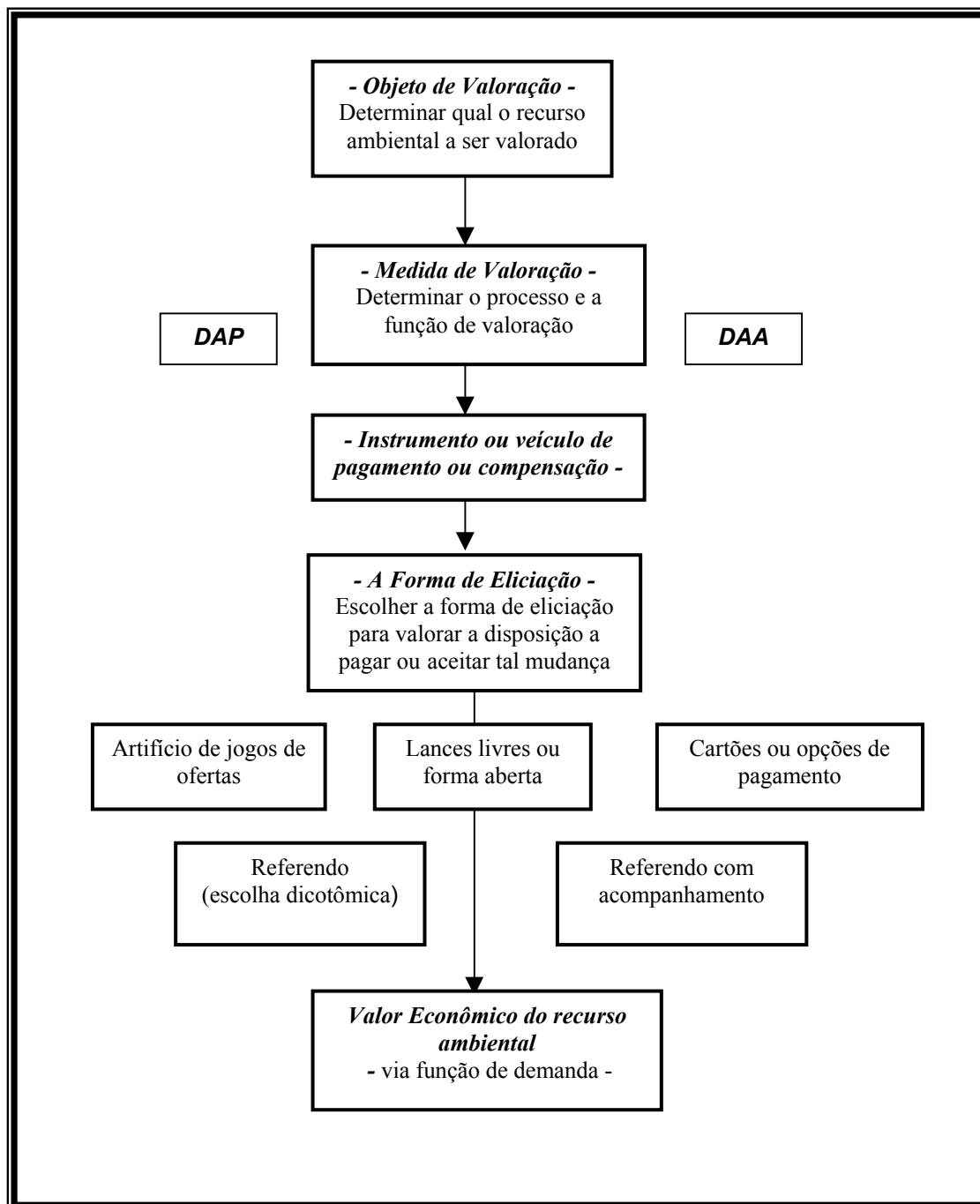
limitada em relação a entrevista pessoal, até mesmo porque nem todos têm telefone. As alternativas de respostas para as perguntas terão que ser mais restringidas (menor número de opções).

8ª ETAPA: *Determinar o conteúdo das informações que devem ser prestadas no questionário* de forma a transferir para o entrevistado, realisticamente, a magnitude das alterações de disponibilidade do recurso ambiental em valoração. Pode haver várias formas de apresentação no questionário, desde um texto lido pelo entrevistador até ao uso de fotos e desenhos ilustrativos das alterações.

O questionário deve ter no máximo 30 questões e ter o seguinte formato, obedecendo três seções (não necessariamente nesta ordem):

- Dados sócio-econômicos e demográficos dos entrevistados do tipo: sexo, idade, ocupação, grau de instrução, renda do entrevistado e número de pessoas que moram na casa. O número do telefone do entrevistado pode ser importante caso necessite checar as informações dadas.
- Informações sobre o conhecimento dos entrevistados a respeito da questão ambiental a fim de estabelecer uma relação entre seu conhecimento e a disposição a pagar ou aceitar os impactos ambientais. Por exemplo, em relação ao Setor Elétrico, se as pessoas estão cientes dos diferentes impactos ambientais provenientes de cada tipo de geração elétrica, se conhecem as causas, os impactos do Setor e as possíveis ações a fim de evitar / controlar estes impactos. Mais do que isso, os entrevistados serão questionados sobre a atividade impactante (o empreendimento do Setor Elétrico) conforme os impactos ambientais.
- Disposição dos entrevistados de pagar ou aceitar a alteração. Supondo que o entrevistado possa escolher diretamente a forma de geração elétrica, conseqüentemente ele teria que pagar sobre um aumento da tarifa de eletricidade cujo valor está correlacionado com o custo de degradação, ou seja, o custo que incide sobre o recurso ambiental que está sendo impactado. Portanto, questiona-se se ele quer evitar determinado impacto ambiental proveniente do Setor Elétrico, ou seja, se ele está disposto a pagar por tal impacto. Por outro lado, o entrevistado pode decidir entre as formas de geração elétrica e colocar valores sobre os impactos ambientais provenientes.

QUADRO 14 - FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA DE VALORAÇÃO CONTINGENTE - 1º ESTÁGIO



Apresentamos a seguir o quadro 15 com um modelo de questionário proposto para a valoração contingente, de maneira sintética:

QUADRO 15 - MODELO DO QUESTIONÁRIO PROPOSTO

I. Características do entrevistado:

1. Sexo: () Masculino () Feminino

2. Idade: anos

3. Qual é o último grau de instrução aprovado?
() Sem instrução
() Primeiro grau incompleto
() Primeiro grau completo
() Segundo grau incompleto
() Segundo grau completo
() Nível superior incompleto
() Nível superior completo
() Outros:

4. Profissão:
() Profissional liberal
() Assalariado
() Aposentado
() Dona de casa
() Outros:

II. Características sócio-econômicas

5. Qual é a sua renda familiar?
R\$

III. O Empreendimento

6. Por que existe a necessidade de se construir este tipo de empreendimento?
() Prover um local com energia elétrica
() Gerar emprego
() Incentivar a construção de postos de saúde, escolas, habitações em geral
() Interesse político
() Outros:

7. Conhecimentos dos impactos ambientais gerados por este empreendimento?
Já ouviu falar de:
() Perda de biodiversidade
() Piora da qualidade de água
() Erosão e sedimentação
() Perda de patrimônio cultural
() Ameaça à população indígena
() Outros:

8. Já ouviu falar em uma maneira ou programas para evitar ou controlar estes impactos?
() sim. Quais?
() Programas de preservação de flora e fauna
() Planos para evitar a erosão e sedimentação dos rios
() Programas de remanejamento de população
() Outros:

IV. Valoração Contingente

A construção de uma hidrelétrica requer o alagamento de áreas de florestas com a possibilidade de perdas da biodiversidade das florestas existentes na área alagada. Para que esta perda seja minimizada, existe a necessidade de realizar operações de resgate de animais e de re-vegetação das espécies florestais que aumentam os custos de construção e, poranto, aumentam o custo da energia produzida.

9. Você estaria disposto a pagar R\$ (valor de X) a mais na sua tarifa de energia elétrica para reduzir estes danos ecológicos?
 sim não

10. Por que você respondeu **não**?
 Achou muito caro
 Minha renda não permite
 Não vale a pena salvar a biodiversidade
 Não acredita que o recurso vai ser bem utilizado
 Estes custos deveriam ser cobertos com impostos gerais
 Outros

FONTE: Elaboração própria a partir de GRASSO, 1995.

Na tentativa de apresentar alguns exemplos de valoração contingente, temos um estudo de caso realizado por Carson, R.T. et al., 1994 que estima um valor para o esgotamento dos recursos naturais encontrados na floresta tropical da Austrália. Ele busca valorar os benefícios da preservação dos recursos naturais, utilizando o método de eliciação (dicotômico). Desta maneira, o valor estimado para preservação desta área é de 435 milhões em dólares australianos para 5.420.400 habitantes, considerando que cada entrevistado estaria disposto a pagar pela preservação uma média de 80,32 em dólares australianos (Quadro 16).

QUADRO 16- CASO AUSTRÁLIA

Método	Abordagem	Característica da pesquisa	Resultados
Valoração Contingente com modelo referendo com acompanhamento (dicotômico)	Estima a DAP média das famílias australianas pela preservação dos recursos naturais na Austrália	Pesquisa domiciliar com 5.420.400 residentes na Austrália	80,32 A\$ (dólares australianos) pago por família

Fonte: Elaboração própria a partir de Carson, R.T. et al., 1994.

Em comparação ao valor do projeto de mineração (102 milhões de dólares australianos) que estaria impactando este meio ambiente, pode-se dizer que a preservação levará a um nível de bem-estar maior do que aquele que seria alcançado caso o projeto de mineração fosse levado adiante.

Para estimar o valor de uso e existência que visitantes da parte sul do Pantanal Matogrossense atribuem à preservação desse ecossistema, Moran, D. e Moraes, A.S., 1995 tiveram como objetivo explorar a adequação do método de valoração contingente para chegar a um valor econômico total do sítio natural (valor de uso e não-uso). Este trabalho tem grande importância por ser o único trabalho de valoração contingente realizado com certo rigor para um ecossistema brasileiro dessa abrangência. Utilizando três tipos de questionários com formas de eliciação distintas de valoração contingente (lances livres, dicotômico simples e dicotômico duplo - referendo com acompanhamento), os resultados diferiram¹⁵ substancialmente entre si de R\$ 52,76 a R\$ 89,74 nas pesquisas livres e de R\$ 137,51 a R\$ 346,10 nas pesquisas dicotômicas. A agregação dos valores de disposição a pagar para uma população de 110.000 visitantes recebidos naquela região indica totais de R\$ 5,80 milhões a R\$ 15,13 milhões (Quadro 17).

QUADRO 17 - CASO PANTANAL

Método	Abordagem	Característica da pesquisa	Resultados
Valoração Contingente com modelo lance livre com pagamento em lacre e licença	Estima a DAP dos turistas, principalmente praticantes de pesca esportiva, nas cidades de Corumbá e Miranda pela preservação da biodiversidade da região	Estima o valor de uso e de existência que os visitantes atribuem à parte sul do Pantanal. Pesquisa com 586 turistas que praticam pesca esportiva no local	Com pagamento em lacre ^(*) : R\$ 52,76 (média) Com pagamento em licença ^(*1) R\$ 89,74 (média)
Valoração Contingente com modelo referendo com acompanhamento (dicotômico)			Com pagamento nas pesquisas dicotômicas, em média, R\$ 137,51 - R\$ 346,10

Notas:

(*) Lacre é um pagamento que o pescador é obrigado a realizar, ao terminar sua jornada de pesca, para lacrar a caixa com o produto da pesca e pode levá-lo para fora da região (valor de 4 reais por caixa, na época).

(*1) Licença anual de pesca autoriza o visitante a realizar a atividade de pesca na região (valor de 34 reais na época).

Fonte: Elaboração própria a partir de Moran, D. e Moraes, A.S., 1995

Por final, apresentamos um resumo dos valores encontrados (Quadro 18) a partir do método de valoração contingente em vários países. Este resumo abrange a disposição a pagar dos entrevistados dos próprios países para a preservação de espécies animais e habitats. A quantia arrecadada teria por objetivo ajudar a montar um fundo para preservação da biodiversidade.

¹⁵ Os autores não apresentam uma justificativa consistente sobre as disparidades dos resultados, embora admitam que os diferentes modelos adotados, com suas distintas hipóteses de distribuição, poderiam explicar tais divergências de valores medianos.

QUADRO 18 - VALORAÇÃO DE ESPÉCIES ANIMAIS EM EXTINÇÃO E HABITATS.

Espécies		Valor (US\$ 1990 por pessoa)
Noruega:	Urso marrom e lobo	15,0
USA:	Águia	12,4
	Urso pardo	18,5
	Carneiro	8,6
	Garça	1,2
	Baleia azul	9,3
	Golfinho	7,0
	Lontra do mar da Califórnia	8,1
	Baleia "cachalote"	40 - 64
	<i>Habitats</i>	
USA:	Grand Canyon	27,0
	Deserto do Colorado	9,3 - 21,2
Austrália:	Reserva Natural de Nadgee	28,1
UK:	Reserva Natural	40
Noruega:	Conservação de rios	59 - 107

Fonte: Pearce, D., & Moran, D., 1994.

4.B.3.A - PRINCIPAIS VIÉSES E VALIDADE DO MÉTODO DE VALORAÇÃO CONTINGENTE¹⁶

A) VIÉSES ESTIMATIVOS

Alguns vieses afetam a confiabilidade do método de valoração contingente, mas podem ser minimizados pelo perfil do questionário e da amostra. Estes ocorrem quando os entrevistados não apresentam sua verdadeira disposição a pagar (DAP) / disposição a aceitar (DAA), quando o questionário induz a determinadas respostas ou quando há compreensão equivocada dos cenários apresentados. Os principais são:

- *VIÉS ESTRATÉGICO*. Este viés diz respeito à percepção do entrevistado quanto à verdadeira cobrança pelo bem ou serviço ambiental que se está oferecendo em função da sua DAP. Se o entrevistado acha que tem que pagar o valor a que se comprometeu com a pesquisa, poderá responder valores abaixo de sua verdadeira DAP. Isto se deve ao fato do entrevistado concluir que os valores apresentados pelos outros consumidores serão suficientes para garantir o suprimento do bem, tendo assim um comportamento de "free rider". O mesmo problema de credibilidade na cobrança apresenta-se quando o entrevistado acha que o valor de sua DAP não

¹⁶ Esta parte foi baseada no estudo de valoração contingente realizado por Seroa da Motta (1998).

será de fato cobrado mas que influenciará na decisão sobre a oferta do bem, apresentando, então, valores acima do que estaria de fato disposto a pagar.

- *VIÉS HIPOTÉTICO*. Mercados hipotéticos podem gerar valores que não correspondem a reais preferências individuais tendo em vista que se tratam de simulações. No entanto, de acordo com Pearce, D. et all. (1994), encontram-se valores muito próximos entre a DAP de mercados hipotéticos e as simulações de mercado onde há transações reais em dinheiro. O mesmo não ocorre com a DAA, cujos testes revelaram uma pequena diferença entre DAA hipotética e DAA real, atribuindo-se à pouca experiência dos entrevistados com mecanismos de compensação por reduções em seu padrão de bem-estar.

Recomenda-se, para minimização do viés hipotético, a utilização sempre que possível de DAP e não de DAA, além da construção de cenários plausíveis que inspirem credibilidade.

- *VIÉS DA PARTE-TODO (Embedding-Bias)*. Este viés pode ser verificado quando o somatório da DAP para cada bem ou serviço ambiental ofertado supera a DAP para a totalidade destes mesmos bens e serviços quando ofertados em conjunto. Os entrevistados podem superestimar sua DAP ao considerar que estejam resolvendo problemas ambientais globais (todo) e não somente problemas ambientais específicos (parte), do ponto de vista geográfico (*geographic part-whole bias*), de benefício (*benefit part-whole bias*) ou de abrangência institucional (*policy package part-whole bias*). Tal comportamento decorre do fato de que questões ambientais estão ligadas sentimentalmente às pessoas, sejam por crenças religiosas, sejam por posturas morais ou filosóficas.

A pesquisa sobre a disposição a pagar possui a limitação de somente fornecer resultados confiáveis para populações, cuja faixa de renda permite incorrer em gastos desta natureza. Assim, frequentemente, é acusado de ser um método direcionado aos ricos. Além disso, a confiabilidade das respostas depende muito do grau de informação que possuem os entrevistados sobre a espécie ou a área em questão.

Nem todos os indivíduos ou entidades que se beneficiam da conservação de áreas naturais têm a disposição a pagar por estas. No caso de valores de existência, devido à natureza de um bem e dos benefícios destas áreas serem intangíveis, não há muito incentivo para que os indivíduos ou grupos paguem por este bem ou serviço, uma vez que muitos se beneficiam indiretamente sem pagar. A disparidade entre o número de pessoas que se apropriam dos benefícios de não uso e o grupo que efetivamente os maneja e incorre nos custos da sua conservação significa que grande parte do seu valor de existência não está sendo considerado.

- *VIÉS DA INFORMAÇÃO*. A forma de apresentação e o nível de precisão da informação afetam as respostas de DAP e DAA dos cenários hipotéticos.

- *VIÉS DO ENTREVISTADO E DO ENTREVISTADOR.* O entrevistado pode sentir-se compelido a oferecer uma DAP maior em razão da presença física do entrevistador, que pode inibir o entrevistado. As pesquisas realizadas pelo correio resultam em problemas do tipo: baixo retorno dos questionários. Recomenda-se a utilização de entrevistadores profissionais que por treinamento e experiência podem apresentar-se de forma neutra e oferecem ao entrevistado alternativas de respostas previamente preparadas.
- *VIÉS DO VEÍCULO DE PAGAMENTO.* Este viés pode ocorrer em razão da escolha do veículo de pagamento. Por exemplo, os indivíduos podem preferir pagar uma taxa X para entrar em um parque a um aumento X em impostos. A alternativa é escolher uma forma de pagamento que tenha semelhança com sistemas utilizados em situações reais.
- *VIÉS DO PONTO INICIAL OU DO "ANCORAMENTO".* Este viés está associado ao uso do método referendado por intermédio do uso de cartões de pagamento, situação em que o entrevistado escolhe um lance entre vários apresentados numa escala de valores dada. Este método pode, no entanto, resultar no chamado "ancoramento" (vinculação *a priori*) da resposta à escala sugerida no cartão. Normalmente, a apresentação dos valores pelos questionários tende a induzir o entrevistado a optar pelo primeiro valor apresentado, considerado-o como o valor "correto".

Para minimizar este viés, há que se estimar da forma mais precisa possível os pontos máximos e mínimos da DAP ou DAA de forma tal que o menor lance apresentado seja aquele que será aceito por todos e o maior seja rejeitado por todos.

- *VIÉS DA OBEDIÊNCIA* (ou caridade) - Os indivíduos tendem a manifestar sua intenção em pagar por algo que consideram justo ou correto, embora não se disponham a pagar por algo que lhes seja cobrado. Uma forma de contornar este viés é forçar a assinatura de um termo de compromisso ou outro documento que o faça crer na efetividade da cobrança.

B) VALIDADE DO MÉTODO DE VALORAÇÃO CONTINGENTE

A validade diz respeito ao grau de veracidade dos resultados da pesquisa de valoração contingente. Há três categorias de testes de validade em pesquisas de valoração contingente: do conteúdo, do critério e do construto.

- *VALIDADE DO CONTEÚDO.* Afere-se a DAP estimada correspondente ao objeto em questão. As especificidades que envolvem grande parte dos bens ambientais tornam a avaliação da validade do conteúdo bastante subjetiva. Não existe uma regra predeterminada para a verificação, se num particular questionário de valoração contingente, as perguntas certas foram formuladas da maneira apropriada e se a DAP expressa realmente o quanto o entrevistado pagaria pelo bem ambiental, caso existisse um mercado para ele.

- *VALIDADE DO CRITÉRIO*. Compara-se a DAP obtida pela pesquisa - DAP hipotética - e a "verdadeira" - DAP real -, a fim de demonstrar que a DAP hipotética tem validade.
- *VALIDADE DO CONSTRUTO*. Consiste em verificar se o valor obtido com a valoração contingenciada está correlacionado com os valores obtidos por outros métodos para o mesmo objeto.

III - IMPLEMENTAÇÃO DE CATEGORIAS DE EMPREENDIMENTOS HIDRELÉTRICOS E TERMELÉTRICOS PARA A VALORAÇÃO DAS EXTERNALIDADES NO PLANEJAMENTO DO SETOR ELÉTRICO

1 – CLASSIFICAÇÃO DAS EXTERNALIDADES

Inúmeras são as externalidades provenientes da geração elétrica. No Anexo I são apresentadas as externalidades decorrentes dos impactos ambientais provenientes da geração hídrica e térmica identificadas como passíveis de serem valoradas no planejamento de longo prazo do Setor Elétrico.

A partir da sistematização dos aspectos e dos impactos, foram definidas as externalidades apropriadas à valoração e à incorporação no planejamento de longo prazo do Setor Elétrico, atendendo aos critérios de:

- grau de importância para o desenvolvimento sustentável da economia do país,
- dificuldade em extinguir a externalidade através da adoção de medidas de controle, compensação ou mitigação, e
- viabilidade da aplicação da valoração no planejamento de longo prazo a um custo não “proibitivo”.

Nesta seção, apresentaremos as externalidades que selecionamos para serem valoradas para efeito de planejamento de longo prazo do Setor Elétrico e, em seguida, indicaremos as categorias de empreendimentos hidrelétricos e termelétricos que estabelecemos para a aplicação da valoração pelo Setor.

1.a - Geração Hídrica

Dentre as externalidades ambientais provenientes da geração hídrica que devem ser valoradas e consideradas no planejamento de longo prazo pelo Setor Elétrico selecionamos:

- ***As perdas da biodiversidade em geral;***
- ***As perdas de benefícios provenientes de algumas atividades econômicas, como: a irrigação, a pesca, a produção agrícola, etc.;***
- ***Os danos sobre os recursos culturais, históricos (patrimônio cultural) e minerais encontrados no meio ambiente;***
- ***Os benefícios provenientes da criação de uma área de lazer como o lago do reservatório.***

A valoração dos danos causados à biodiversidade é justificada pela grande diversidade biológica presente no país e pelo valor econômico que representam. A estimativa dos valores de biodiversidade pode ser verificada nos exemplos ilustrados no Capítulo II deste trabalho.

Esta análise deve levar em conta tanto o uso comercial atual dos produtos da biodiversidade, como a madeira, borracha, fibras, castanha, frutas, alimentos fornecidos através da atividade de caça e pesca,...), como o seu uso para a medicina (produtos farmacêuticos) e para a pesquisa genética na agricultura, ambas de suma importância. As florestas também possuem um valor turístico. Conforme demonstrado no Capítulo II de classificação dos valores ambientais, estes são valores de uso direto.

Indiretamente, as florestas também são responsáveis pela manutenção dos processos e serviços ecológicos, como a proteção de mananciais evitando a sedimentação e o controle da erosão do solo. Conforme apresentado anteriormente, chamamos de valor de uso indireto, o que se refere a bens e serviços ambientais que são gerados por funções ecossistêmicas apropriadas e consumidos indiretamente hoje. A nível regional e global, destaca-se a função da manutenção do clima e seqüestro de carbono. Não se sabe ainda o quanto estas funções podem interferir no ecossistema, seja através do desmatamento ou outra atividade que venha alterar a biodiversidade da região; por isso, o interesse em fazer um estudo destas funções incorporando-as nos custos do empreendimento hidrelétricos.

A importância das florestas, principalmente, face aos investimentos em hidreletricidade não deve ser exagerada, mas também não deve ser subestimada. Há muitos exemplos de perdas econômicas consideráveis devido à sedimentação que reduz a capacidade geradora dos cursos d'água, prejudicando o desenvolvimento agrícola, o abastecimento doméstico e outros inúmeros usos da água. Isto vem acarretar a perda de investimentos e termina em aumentar o custo do desenvolvimento econômico futuro.

Surgem também alguns benefícios:

- a descoberta de sítios arqueológicos a partir da construção de uma hidrelétrica;
- os reservatórios que se formam a partir da inundação de áreas têm como uma das funções, servir de local turístico/ recreacional para os visitantes.

Os danos sofridos pela população que provocam a redução de bem-estar não serão mensurados, face às incertezas que relacionam estes danos com o impacto provocado pela instalação da hidrelétrica e a inundação de áreas.

Alguns equipamentos da usina que estão em contato direto com a água do reservatório têm seu funcionamento prejudicado; pois a água do reservatório vai se tornando ácida com a decomposição de vegetais e assim, dependendo do material do equipamento, este vai sendo corroído. Considera-se que possa haver mecanismos que protejam o material da corrosão, por isso, a opção por não valorar.

Não serão considerados também os deslocamentos populacionais que possam vir a ocorrer por conta da instalação da hidrelétrica, pois já estão incluídos nas contas ambientais do Referencial para Orçamentação dos Programas Sócio-Ambientais relativos a hidrelétrica.

1.b - Geração Térmica

As externalidades ambientais provenientes da geração térmica que selecionamos para serem valoradas e consideradas no planejamento de longo prazo pelo Setor Elétrico são:

- ***Os danos causados à saúde humana decorrentes de emissões atmosféricas de óxido de enxofre e material particulado***

Os efeitos adversos sobre a saúde humana - doenças e morte - ocasionados por emissões atmosféricas de óxido de enxofre e de material particulado são cientificamente comprovados. Inúmeros estudos epidemiológicos relacionando as concentrações destes poluentes com a saúde humana têm sido realizados e demonstrados. No Capítulo IV.2 são apresentados os resultados de alguns destes estudos e a nossa proposta para valoração desta externalidade pelo Setor.

- ***As emissões de dióxido de carbono contribuem para o aquecimento global da atmosfera***

A relevância desta externalidade é comprovada pelas inúmeras negociações internacionais relacionadas ao efeito estufa, onde se pretende estabelecer metas globais de emissão de gases , principalmente o CO₂, para todo o mundo. No Capítulo IV.2 será apresentada a nossa proposta para valoração desta externalidade pelo Setor.

Segue uma breve justificativa das razões por não inserirmos algumas das externalidades apresentadas no Anexo 1 deste trabalho para serem valoradas e incorporadas no planejamento de longo prazo do Setor.

Não é possível identificar e conseqüentemente valorar e incorporar ao planejamento de longo prazo os impactos causados pelos resíduos inadequadamente dispostos, pois estes tendem a ser eliminados pela adoção de ações de controle no longo prazo.

Para os efeitos econômicos decorrentes de vazamentos ou do uso inadequado de produtos perigosos ou danosos ao ambiente, sugerimos que seja feito um levantamento das probabilidades de ocorrência de acidentes e da ordem e magnitude destes, de modo a podermos avaliar a relevância em se incorporar estas externalidades no planejamento do Setor. Este trabalho não foi possível de ser efetuado durante a vigência desta pesquisa.

Os potenciais danos decorrentes dos ruídos oriundos da geração termelétrica são passíveis de controle. Entretanto, face aos elevados custos dos equipamentos de controle necessários à sua mitigação, estes nem sempre são adotados pelos empreendedores. Existe uma incerteza em relação a magnitude dos danos provocados ao meio ambiente no entorno e no interior da usina. No Anexo 2

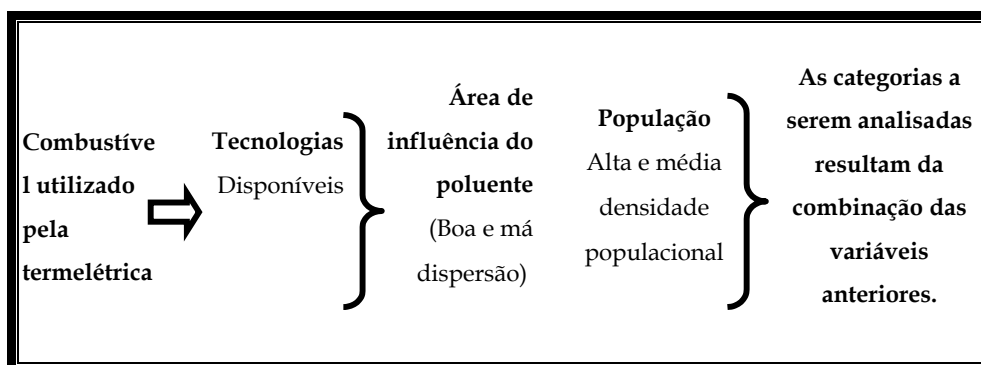
são apresentadas as considerações e as metodologias apropriadas para a valoração dos danos relativos a este impacto.

2 – ELABORAÇÃO DE TIPOLOGIA DOS EMPREENDIMENTOS DE GERAÇÃO TERMELÉTRICA E HIDRELÉTRICA NO LONGO PRAZO

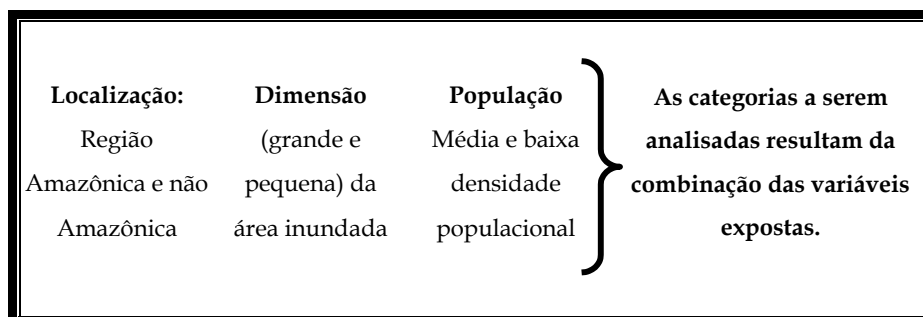
Na valoração econômica dos danos de um empreendimento, deve-se considerar as diversas variáveis associadas a dimensão da população que será atingida, as alternativas tecnológicas do empreendimento, as alternativas de recursos naturais e de localização existentes e passíveis de serem utilizadas para a geração de energia elétrica. Contudo, esta é uma tarefa difícil de se realizar no planejamento de longo prazo, já que não se conhece detalhes sobre os empreendimentos. Logo, torna-se necessário criar uma tipologia que permita classificar os empreendimentos conforme algumas variáveis relevantes em comum.

A tipologia proposta baseia-se em alguns atributos do empreendimento que são centrais para o processo de valoração, conforme descrito nos Quadros 19 e 20.

QUADRO 19 – DETERMINANTES DOS DANOS CAUSADOS PELAS EMISSÕES GASOSAS PROVENIENTES DE EMPREENDIMENTOS TERMELÉTRICOS



QUADRO 20 - DETERMINANTES DOS DANOS CAUSADOS EM EMPREENDIMENTOS HIDRELÉTRICOS

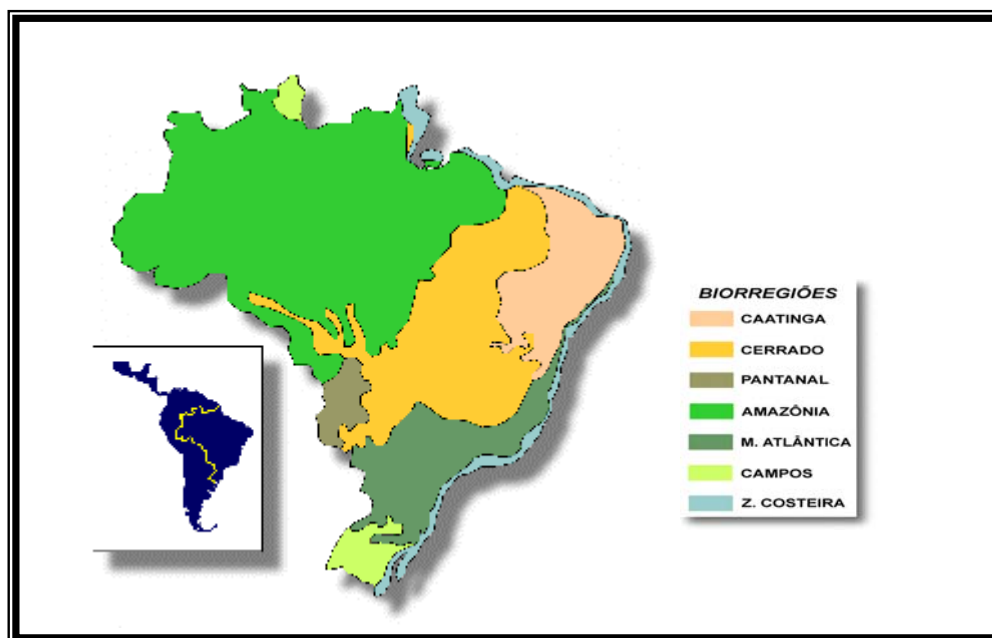


2.a – Geração Hídrica

O objetivo central do estabelecimento de categorias de empreendimentos hidrelétricos é permitir o cálculo de valores médios dos danos causados por estes empreendimentos, internalizando-os no planejamento de longo prazo do Setor Elétrico.

Para isso, o primeiro passo é classificar os empreendimentos hidrelétricos futuros, segundo a sua localização. Sugerimos classificar os empreendimentos em dois tipos de biorregiões: a biorregião da Amazônia e a biorregião fora da Amazônia. O Mapa 1 apresenta as regiões assumidas em cada uma das categorias, considerando os diferentes ecossistemas brasileiros.

MAPA 1 - OS ECOSISTEMAS BRASILEIROS DESCRITOS NAS CATEGORIAS DE EMPREENDIMENTOS HIDRELÉTRICOS



Fonte: WWF, 1999.

Observa-se no Mapa 1, que um dos maiores ecossistemas (em extensão) é a biorregião da Amazônia. As outras biorregiões compõem uma outra grande biorregião, que não pertence a Amazônia, com uma variedade de ecossistemas, dentre eles: a Caatinga, o Cerrado, o Pantanal, a Mata Atlântica, Campos e a Zona Costeira, segundo a WWF (1999). Em função da grande variedade de ecossistemas e da localização do potencial hidrelétrico¹⁷ nas bacias dos rios Tocantins, Araguaia, Xingú e Tapajós, optamos por considerar uma única biorregião fora da Amazônia que é caracterizada, principalmente, por dois ecossistemas, em conjunto: o Cerrado e a Mata Atlântica.

¹⁷ A estimativa do potencial hidrelétrico está sujeita a alterações, principalmente em decorrência dos impactos ambientais dos aproveitamentos hidrelétricos. A concepção dos diversos aproveitamentos deve ser modificada com o objetivo de reduzir os impactos ambientais. No entanto, a estimativa deste potencial constitui um referencial para o planejamento de longo prazo.

Deve-se ter em mente que esta hipótese não impossibilita (nem limita) a avaliação da biodiversidade (espécies vegetais e animais) contida na área onde se localizará o empreendimento hidrelétrico. Na realidade, a área a ser inundada deve ser conhecida previamente, para que seja possível levantar os dados essenciais para a futura aplicação da metodologia de valoração.

O Brasil, como toda a biorregião da Amazônica, é aclamado como o país de maior diversidade biológica do mundo, porém a riqueza da Amazônia tem estado constantemente ameaçada devido os desmatamentos e outras atividades econômicas que vêm contribuir. Este ecossistema é considerado frágil, pois a menor imprudência pode causar danos irreversíveis ao seu equilíbrio delicado.

Um dos problemas mais graves que surge na Amazônia é a devastação das florestas. Por apresentar uma extensão demasiadamente grande, tem sido muito difícil de bloquear a devastação. Contribuem para isto: a insuficiência de pessoal dedicado à fiscalização, as dificuldades em monitorar extensas áreas, a fraca administração das áreas protegidas e a falta de envolvimento das populações locais.

A classificação dos empreendimentos em dois tipos de biorregiões justifica-se pela importância ambiental atribuída à biorregião da Amazônia. Em função da grande extensão da biorregião da Amazônia e da presença de áreas que não sofreram desmatamentos, optou-se por subdividi-la em três áreas:

- **áreas fortemente ocupadas (A)**, que são áreas desmatadas ou alagadas utilizadas para as atividades que abrangem culturas agrossilvopastoris e também para a construção de hidrelétricas.
- **áreas de expansão de fronteira (B)**, que são áreas de transição entre duas áreas: as fortemente ocupadas e as áreas virgens, e localizam-se a oeste da área fortemente ocupada e
- **áreas virgens (C)**, que são áreas intocadas pelo homem e de alta diversidade ecológica, não considerando as reservas naturais¹⁸ nelas encontradas;

Cabe lembrar que o Brasil é um país rico em espécies vegetais e animais, e que esta diversidade de espécies aumenta na proporção da proximidade da linha do Equador. Assim, existe uma maior diversidade de vida biológica nos trópicos que nas regiões temperadas, como por exemplo, nas florestas tropicais, que são os ecossistemas mais diversos do planeta. As florestas tropicais também são chamadas de florestas "fechadas" por sua densidade, possuem mais da metade das espécies existentes no mundo, apesar de abranger somente 7% da extensão da superfície terrestre (Rosa, L.P., 1996).

¹⁸ Nas reservas naturais não é permitida a construção de hidrelétricas.

No Brasil foi realizado um estudo patrocinado pela Conservation International (COPPE/ELETOBRÁS, 1990) onde foi investigado as áreas de alta e baixa biodiversidade da região da Amazônia, considerando o grau de endemismo local, o tipo de solo e o relevo e as alterações antrópicas. Não podemos assegurar, com certeza, a existência de determinadas espécies em outras regiões brasileiras como também na Amazônia, ainda mais que torna-se difícil uma catalogação completa de espécies vegetais e animais.

Com vistas a um horizonte de planejamento de longo prazo, o Setor Elétrico deveria privilegiar os empreendimentos com menor impacto ambiental, considerando a peculiaridade da região na qual se inclui a biodiversidade. Na realidade, o que é preponderante na escolha de um empreendimento são seus custos, o que torna importante também considerar os custos ambientais no custo total do empreendimento. Para isso, havemos de implementar uma metodologia para a valoração destas externalidades.

A criação de um reservatório para a construção de uma hidrelétrica se dá através da inundação de áreas. Estas áreas podem apresentar uma certa biodiversidade, que se atingida em grande escala, trará grandes perdas para a sociedade.

Portanto, um outro atributo que deve ser considerado para classificar os empreendimentos são as **áreas de inundação**¹⁹. Distribuimos em duas categorias: as áreas inferiores a 250 km², que são classificadas como pequenas áreas inundadas e aquelas com áreas superiores a 250 km² que são as grandes áreas inundadas.

O tamanho da população atingida pela externalidade provocada pela presença da hidrelétrica é importante para os estudos aqui propostos. Cabe ressaltar que o Setor Elétrico já incorre em custos de compensação e de controle na remoção da população na fase prévia à implantação das usinas hidrelétricas.

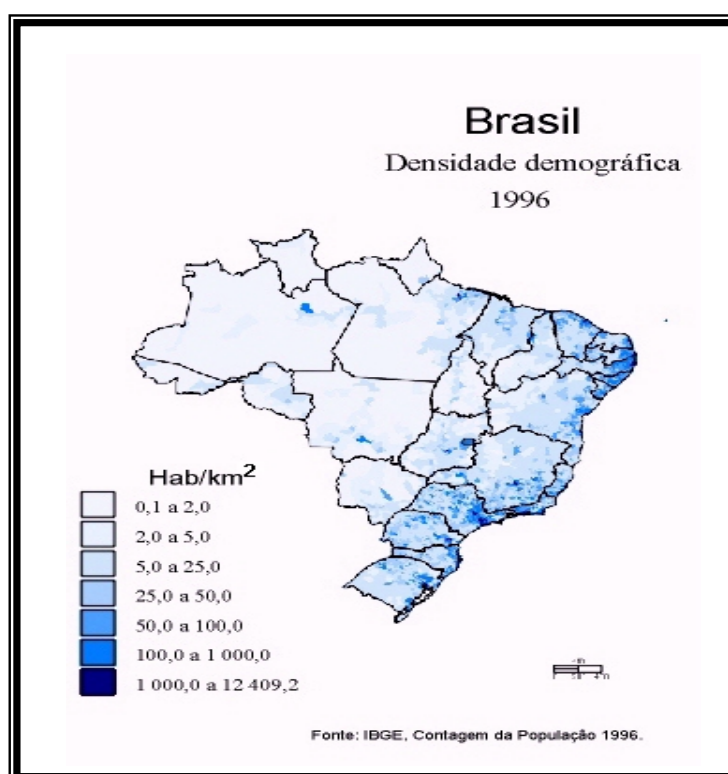
Em termos da **população atingida**²⁰ pelo empreendimento hidrelétrico, podemos dizer que para uma área de menos de 100 habitantes (baseando-se no Mapa 2, esta área corresponde a uma faixa de densidade de 0,1 - 100 hab/km² – baixa densidade populacional), incorrerá para o Setor Elétrico alguns gastos na construção de uma nova infra-estrutura para localizar esta população, indenizações por conta da perda de atividades de subsistência da população e alguns gastos com doenças. Enquanto que para uma área de mais de 100 habitantes e menos de 1000 habitantes por km² (baseando-se no Mapa 2, esta área corresponde a uma faixa de densidade acima de 100 hab/km² e abaixo de 1000 hab/km² – média densidade populacional), estes gastos seriam muito mais altos.

¹⁹ Os valores aqui considerados foram baseados nos estudos do Plano 2015 (Eletrobrás).

²⁰ Os valores aqui considerados foram baseados nos estudos do Plano 2015 (Eletrobrás).

O Mapa 2 abaixo apresenta as áreas de densidade demográfica distribuídas pelo país. O ideal seria obter um mapa que refletisse a densidade demográfica nos anos mais recentes (1997 em diante), e até em projeções futuras para se ter uma idéia das áreas que possuem (e continuam possuindo) uma área de baixa ou alta densidade. Entretanto, isto não é impedimento para uma futura avaliação. Em outras palavras, o que nos interessa aqui é orientar o planejador em sua decisão de implementar uma hidrelétrica a longo prazo numa região com média ou baixa densidade populacional, mesmo sabendo que terá que arcar com algumas despesas.

MAPA 2 - A DISTRIBUIÇÃO DAS DENSIDADES DEMOGRÁFICAS NO PAÍS (1996)



A combinação dos atributos apresentados ao longo do texto nos permite gerar uma tipologia de empreendimentos de hidrelétricos (Quadro 21). Essa tipologia é a base para a aplicação das metodologias de valoração das externalidades ambientais encontradas. Dependendo da categoria onde se insere o empreendimento hidrelétrico, a usina incorporará em seus custos uma maior ou menor carga de valor, que é proveniente da mensuração do dano ambiental devido a interferência desta.

**QUADRO 21 – TIPOLOGIA DE CATEGORIAS DE EMPREENDIMENTOS HIDRELÉTRICOS
PREVISTOS PARA O PAÍS**

Área de inundação	População atingida	Localização		
		Grande biorregião fora da Amazônia ⁽¹⁾	Área fortemente ocupada	Biorregião Amazônica Área de expansão de fronteiras virgens
Grande (> 250 km ²)	> 100 hab/km ²	7		
	< 100 hab/km ²	8	3	2 1
Pequena (< 250 km ²)	> 100 hab/km ²	9		
	< 100 hab/km ²	10	6	5 4

Nota:

1 - Optou-se por caracterizar a grande biorregião fora da Amazônia como um grande ecossistema composto por dois ecossistemas: Cerrado e Mata Atlântica, que é encontrado nas categorias de empreendimentos de 7 a 10.

A combinação dos três atributos (área de inundação, densidade populacional atingida e localização das biorregiões) nos permite definir 10 categorias de empreendimentos:

- 1) hidrelétricas em áreas virgens da biorregião Amazônica, que inundam uma grande área e atingem núcleos populacionais pequenos (<100 habitantes/km²).
- 2) hidrelétricas em áreas de expansão de fronteira da biorregião Amazônica, que inundam uma grande área e atingem núcleos populacionais pequenos (<100 habitantes/km²).
- 3) hidrelétricas em áreas fortemente ocupadas da biorregião Amazônica, que inundam uma grande área e atingem núcleos populacionais pequenos (<100 habitantes/km²).
- 4) hidrelétricas em áreas virgens da biorregião Amazônica, que inundam uma pequena área e atingem núcleos populacionais pequenos (<100 habitantes/km²).
- 5) hidrelétricas em áreas de expansão de fronteira da biorregião Amazônica, que inundam uma pequena área e atingem núcleos populacionais pequenos (<100 habitantes/km²).
- 6) hidrelétricas em áreas fortemente ocupadas da biorregião Amazônica, que inundam uma pequena área e atingem núcleos populacionais pequenos (<100 habitantes/km²).

- 7) hidrelétricas na biorregião fora da Amazônia, que inundam uma grande área e atingem núcleos populacionais médios (>100 habitantes/km²).
- 8) hidrelétricas na biorregião fora da Amazônia, que inundam uma grande área e atingem núcleos populacionais pequenos (<100 habitantes/km²).
- 9) hidrelétricas na biorregião fora da Amazônia, que inundam uma pequena área e atingem núcleos populacionais médios (>100 habitantes/km²).
- 10) hidrelétricas na biorregião fora da Amazônia, que inundam uma pequena área de inundação e atingem núcleos populacionais pequenos (<100 habitantes/km²).

2.b – Geração Térmica

As categorias a serem analisadas para os empreendimentos termelétricos são resultado da combinação das seguintes variáveis (Quadro 19):

- do tipo de combustível a ser utilizado,
- da opção tecnológica,
- da forma de dispersão dos poluentes e
- da densidade demográfica média da população.

Segue uma breve descrição dos atributos essenciais para compor as categorias de empreendimentos termelétricos.

Tipos de combustível

As características químicas dos combustíveis utilizados na geração térmica influenciam nos poluentes líquidos, sólidos e gasosos. Face às externalidades a serem valoradas, apenas os poluentes gasosos deverão ser considerados neste trabalho. Adicionalmente, optamos por analisar apenas os impactos ambientais decorrentes de geração termelétrica baseada em carvão mineral (nacional e importado), a gás natural (nacional e importado) e a óleo combustível. Apesar do crescente uso da biomassa na geração termelétrica, ainda há o desconhecimento quanto aos fatores de emissão destes, não viabilizando sua aplicação no modelo de valoração que será proposto. No que tange a geração nuclear, entendemos que esta possui uma representatividade pequena em nossa matriz energética.

O Quadro 22 apresenta as características físico-químicas dos combustíveis em relação a alguns componentes dos poluentes atmosféricos.

QUADRO 22: PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DOS COMBUSTÍVEIS

Combustível	Características Químicas (%)						Poder calorífico (kcal/kg)		Densidade Bruta (kg/m ³)
	C	H	S	N+O	Cinzas	Umidade	PCI ⁽¹⁾	PCS ⁽²⁾	
Carvão									
- Europeu	66	4.3	0.8	9.8	10	9	5850	6200	850-890
- Colombiano	65	n.d.	0.8	n.d.	8	11	6200	6450	850-900
- Nacional									
Valores médios	40-82	2-5	0.7-0.4	3-10	35-55	10-15	2700-6200	3100-6500	750-800
- Jazida de Candiota (RS)	27.5		1.9		52	15.5		3200	
- Jazida de Leão (RS)	27		1.8		51	10.5		3400	
- Jazida de Charqueadas (RS)	22		0.5		58.6	-		2780	
Óleo combustível									
- Pesado	86.0	11.4	4	1.0	0.04	< 0.5	9700	10350	970
- Leve	86.2	13.1	0.3	0.4	0.001	< 0.1	10200	11000	840
Gás natural	65	20-25	0	0-5	0	0	10000	11000	0.905 ⁽³⁾

Notas:
1- PCI - Poder Calorífico Inferior
2- PCS - Poder Calorífico Superior
3- Densidade do gás natural em kg/Nm³
Fonte: Elaboração própria a partir dos dados de WEC, 1988 e Eletrobrás, 1991.

Observa-se no Quadro 22 que o baixo poder calorífico e o alto teor de cinzas do carvão nacional indicam um alto índice de emissão por unidade de energia gerada em relação aos demais combustíveis apresentados.

O Quadro 23 apresenta as emissões atmosféricas específicas de CO₂ (dióxido de carbono), de SO₂ (dióxido de enxofre ou óxido de enxofre) e de PM (material particulado) por unidade de massa do elemento constituinte no combustível: carvão, óleo e gás natural.

QUADRO 23 - FORMAÇÃO DE POLUENTES DURANTE A QUEIMA DE COMBUSTÍVEIS

Elemento Constituinte	Poluente			Fração do elemento constituinte na exaustão da queima			Massa de poluente emitido por unidade de massa do elemento constituinte no combustível		
	EC Mol (M _{EC})	P Mol (M _p)	M _p /M _{EC}	Carvão	Óleo	Gás natural	Carvão	Óleo	Gás natural
C	12	CO ₂ 44	3.7	0.9-1.0	1.0	1.0	3.3-3.7	3.7	3.7
S	16	SO ₂ 32	2.0	0.9-1.0	1.0	1.0	1.8-2.0	2.0	2.0
Cinzas	-	MP -	1.0	0.7-0.9	1.0	1.0	0.7-0.9	1.0	1.0

Fonte: Rosa & Schechtman (1996)

Considera-se para o planejamento da geração térmica, **a fixação de normas regulamentadoras** visando a proteção e conservação dos recursos naturais no país.

Vale lembrar que os padrões de emissão de poluentes estabelecidos pelo Banco Mundial também serão considerados quando este for o organismo financiador das futuras usinas.

Normalmente os limites de emissão impostos pelas normas regulamentadoras são fixados por caloria consumida de combustível (g/kcal). Segundo Rosa & Schechtman (1996), “a avaliação de emissões de usinas nessa base pode induzir a resultados equivocados, uma vez que essas taxas não consideram a tecnologia de conversão utilizada e, portanto não levam em conta a eficiência da usina.”

A partir do que foi apresentado, sugerimos que para efeito de valoração dos danos provenientes de geração termelétrica seja considerada a emissão específica por unidade de energia gerada (Quadro 24) e as tecnologias e os combustíveis utilizados na geração.

O Quadro 24 apresenta os diferentes resultados para a emissão específica de poluentes para vários tipos de combustíveis que dependem da eficiência da tecnologia proposta. Observa-se que a emissão de dióxido de carbono por unidade de energia do combustível do carvão europeu é 80% superior a do gás natural, entretanto, ao se comparar a queima de carvão em ciclo a vapor convencional, com o uso de turbina a gás natural, a emissão do carvão passa a ser apenas 40% superior a do gás natural.

QUADRO 24 - EMISSÃO ESPECÍFICA DE POLUENTES PARA DIVERSOS COMBUSTÍVEIS E TECNOLOGIAS POR UNIDADE DE ENERGIA GERADA (G/KWH)

Combustível	Ciclo a vapor convencional			Turbina a gás			Ciclo Combinado		
	CO ₂	SO ₂	PM	CO ₂	SO ₂	PM	CO ₂	SO ₂	PM
Carvão									
- Europeu	872	6.2	32.1	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
- Colombiano	859	5.7	24.2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
- Nacional									
Valores médios	590-1248	5.7-68	119-390	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Óleo combustível									
- Pesado	675	16.9	0.09	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
- Leve	n.a.	n.a.	n.a.	900	2.2	0	607	1.5	0
Gás natural	493	0	0	622	0	0	438	0	0

Notas:

1- A eficiência com base no poder calorífico superior para carvões europeu e colombiano é de 38,8% e para carvões nacionais de 33%.

2- As emissões específicas apresentadas são resultado da razão entre a massa de poluente emitido por unidade de massa do elemento constituinte no combustível (Quadro 23) e o poder calorífico inferior ou superior do combustível (Quadro 22), pela eficiência de determinado combustível. Estes resultados não consideram o consumo específico de calor das tecnologias específicas utilizadas pelas usinas, portanto, optou-se por um consumo específico médio de 860 kcal/kWh.

3- n.a. significa não encontrado.

Fonte: Rosa & Schechtman (1996)

Observa-se que as emissões de poluentes atmosféricos podem ser estimadas através do uso de fatores de emissões existentes na literatura ou quantificadas por medições reais na própria chaminé. No planejamento de longo prazo como não se conhece ainda o empreendimento, é necessário o uso de dados existentes na literatura.

Os fatores de emissão desenvolvidos especificamente para uma termelétrica podem ser utilizados para estimar as emissões atmosféricas das usinas que tenham processos de geração similares em outros locais. Raramente utilizam-se os fatores de emissões para emissões líquidas, sonoras e de resíduos. Neste caso, seria necessário conhecer as características específicas dos combustíveis e das tecnologias de geração e de controle das usinas de energia elétrica.

No Brasil, os órgãos de controle ambiental e empresas de consultoria utilizam os fatores de emissão da EPA para estimar as emissões de poluentes de fontes estacionárias. Este documento elaborado pela EPA usualmente é tomado como base para o inventário e determinação das emissões de poluentes provenientes dos processos e operações industriais nos EUA.

As Tecnologias de Geração de Energia Elétrica de Origem Térmica

Observou-se, a partir do Quadro 24, que as emissões atmosféricas de uma usina serão determinadas em função do conhecimento do regime operacional da usina, da composição do combustível e dos equipamentos de controle ambiental da usina.

Apresentamos aqui uma breve descrição das **tecnologias de geração de energia elétrica de origem térmica**, em estágio comercial e daquelas em estágio de pesquisas e desenvolvimento e, que portanto, poderão estar previstas no planejamento do parque geração elétrica.

A termelétrica a carvão nacional²¹

Atualmente, o aproveitamento do carvão nacional está limitado às regiões próximas às suas jazidas, que estão localizadas na região sul do país, face aos altos custos de transporte e aos elevados teores de cinzas desse combustível.

Para os combustíveis considerados de má qualidade, com alto teor de inertes, é crescente a utilização da combustão de leito fluidizado para a geração termelétrica.

As caldeiras em leito fluidizado apresentam variações quanto à pressão de operação e à velocidade do ar de fluidização. Com o aumento da velocidade do ar no leito, há uma mudança de leitos fixos para leitos borbulhantes e circulantes. Destacando-se as caldeiras de leito fluidizado pressurizado (Pressurized Fluidized Bed Combustion - PFBC) e a de leito atmosférico (AFBC). As restrições ao desenvolvimento do processo estão na elaboração do projeto e nos materiais resistentes às condições da caldeira.

A tendência destas tecnologias é avançar no sentido de reduzir os impactos ambientais e o desenvolvimento de equipamentos de controle ambiental de emissão de gases de óxidos de enxofre, óxidos de nitrogênio e materiais particulados.

A longo prazo, considera-se a alternativa de programas a ciclo combinado com carvão e gás natural, em função da disponibilidade do combustível.

Seguem as categorias de empreendimentos termelétricos que utilizam o carvão nacional e que devem ser objeto de valoração e incorporação no planejamento de longo prazo pelo pelo Setor Elétrico (Quadro 25).

QUADRO 25 - TIPOLOGIA DE EMPREENDIMENTOS TERMELÉTRICAS A CARVÃO NACIONAL

Combustível	Tecnologia	Dispersão	População atingida	
			Alta densidade demográfica	Média densidade demográfica
Carvão nacional	Convencional com caldeira a carvão pulverizado	Alta dispersão		1A
		Baixa dispersão		1B
	Leito fluidizado	Alta dispersão	2A	2B
		Baixa dispersão	2C	2D

Nota:

Face à elevada emissão de poluentes para as termelétricas a carvão nacional, acredita-se que estas não serão construídas em locais próximos a grandes centros urbanos. As categorias apresentadas neste quadro surgiram a partir de estudos realizados pelos autores.

Do resultado da combinação dos três atributos, apresentamos algumas situações peculiares que são definidas:

1^A - Termelétricas a carvão nacional, que utilizam tecnologia convencional, estão localizadas em um local de alta dispersão atmosférica e atingem núcleos populacionais de densidade demográfica média.

²¹ Texto baseado em Rosa & Schechtman (1996), Eletrobrás (1993) e Krause (1990).

1^B - Termelétricas a carvão nacional, que utilizam tecnologia convencional, estão localizadas em um local de baixa dispersão atmosférica e atingem núcleos populacionais de densidade demográfica média.

2^A - Termelétricas a carvão nacional, que utilizam tecnologia a leito fluidizado, estão localizadas em um local de alta dispersão atmosférica e atingem núcleos populacionais de densidade demográfica alta.

2^B - Termelétricas a carvão nacional, que utilizam tecnologia a leito fluidizado, estão localizadas em um local de alta dispersão atmosférica e atingem núcleos populacionais de densidade demográfica média.

2^C - Termelétricas a carvão nacional, que utilizam tecnologia a leito fluidizado, estão localizadas em um local de baixa dispersão atmosférica e atingem núcleos populacionais de densidade demográfica alta.

2^D - Termelétricas a carvão nacional, que utilizam tecnologia a leito fluidizado, estão localizadas em um local de baixa dispersão atmosférica e atingem núcleos populacionais de densidade demográfica média.

A termelétrica a carvão importado²²

Com os grandes avanços na área de "tecnologia de carvão limpo", o uso do carvão energético tem reduzido o impacto ao meio ambiente, além de viabilizar a implantação de usinas termelétricas convencionais a carvão.

Os projetos sobre a "tecnologia do carvão limpo" consideram a redução de emissões de particulados, as melhorias de eficiência da planta, a flexibilidade de combustível e a redução dos custos de investimentos. Após o beneficiamento do carvão, o mesmo é gaseificado através de várias tecnologias, dentre as quais, destacam-se:

- ***a tecnologia com caldeira convencional a carvão pulverizado,***
- ***a tecnologia da combustão em leito fluidizado e***
- ***a tecnologia do ciclo combinado.***

A seguir são descritas as opções tecnológicas utilizadas pela geração termelétrica a base de carvão mineral, segundo Plano 2015 (Eletrobrás):

²² Texto baseado em Rosa & Schechtman (1996), Eletrobrás (1993) e Codeceira (1993).

Para as usinas **termelétricas com caldeira convencional a carvão pulverizado**, existem três tipos distintos de tecnologias de controle ambiental, a seguir descritas:

- A combustão convencional com queimadores de baixo NO_x que se baseia na queima do carvão pulverizado com chama difusa, visando reduzir a formação de NO_x .
- A combustão convencional com dessulfurização do carvão pré-combustão, através de operação de beneficiamento que consiste na operação de retirada de enxofre do combustível a partir de processos físicos, químicos microbiológicos,
- A combustão convencional e dessulfurização dos gases da combustão que consiste na redução das emissões de enxofre nos gases da combustão, através de uma planta de "lavagem dos gases", além de permitir altos índices de retenção do SO_x .

As usinas **termelétricas com caldeiras de combustão de carvão em leito fluidizado atmosférico/pressurizado** trabalham em temperaturas controladas e abaixo do ponto de fusão das cinzas (850°C), reduzindo os valores de emissão de cinzas. O objetivo deste tipo de tecnologia é manter o maior tempo em contato o combustível e o reagente na câmara de combustão. Esta tecnologia passou a ter seu desenvolvimento viabilizado a partir do crescimento dos custos de investimento e operação das usinas termelétricas a carvão pulverizado.

E o processo de **geração térmica que utiliza o princípio do ciclo combinado** visa a redução do consumo específico de combustível o que possibilita dentre outros benefícios a redução do lançamento de CO_2 na atmosfera. Dois processos destacam-se:

- A combustão fluidizada a alta pressão (PFBC) que está em processo de desenvolvimento em usinas nos Estados Unidos, Suécia e Espanha.
- A ciclo combinado com gaseificador integrado (IGCC), também em desenvolvimento a nível mundial. Considera duas tecnologias básicas, a gaseificação e a combustão fluidizada que são aplicadas a este processo de conversão do carvão a energia elétrica. Trata-se de um processo que utiliza o calor residual proveniente dos gases de exaustão da turbina a gás numa caldeira de recuperação de calor, para produção de vapor, o qual serve para acionar uma turbina a vapor, também acoplada a um gerador elétrico.

Seguem as categorias de empreendimentos termelétricos que utilizam o carvão importado e que devem ser objeto de valoração e incorporação no planejamento de longo prazo pelo pelo Setor Elétrico (Quadro 26).

QUADRO 26 - TIPOLOGIA DE EMPREENDIMENTOS TERMELÉTRICAS A CARVÃO IMPORTADO

Combustível	Tecnologia	Dispersão	População atingida	
			Alta densidade demográfica	Média densidade demográfica
Carvão importado	Convencional com caldeira a carvão pulverizado	Alta dispersão	3A	3C
		Baixa dispersão	3B	3D
	Leito fluidizado/Ciclo combinado	Alta dispersão	4A	4C
		Baixa dispersão	4B	4D

Nota:

As categorias apresentados neste quadro surgiram a partir de estudos realizados pelos autores.

Do resultado da combinação dos três atributos, apresentamos algumas situações peculiares que são definidas:

3^A - Termelétricas a carvão importado, que utilizam tecnologia convencional, estão localizadas em um local de alta dispersão atmosférica e atingem núcleos populacionais de densidade demográfica alta.

3^B - Termelétricas a carvão importado, que utilizam tecnologia convencional, estão localizadas em um local de baixa dispersão atmosférica e atingem núcleos populacionais de densidade demográfica alta.

3^C - Termelétricas a carvão importado, que utilizam tecnologia convencional, estão localizadas em um local de alta dispersão atmosférica e atingem núcleos populacionais de densidade demográfica média.

3^D - Termelétricas a carvão importado, que utilizam tecnologia convencional, estão localizadas em um local de baixa dispersão atmosférica e atingem núcleos populacionais de densidade demográfica média.

4^A - Termelétricas a carvão importado, que utilizam tecnologia de leito fluidizado/ciclo combinado, estão localizadas em um local de alta dispersão atmosférica e atingem núcleos populacionais de densidade demográfica alta.

4^B - Termelétricas a carvão importado, que utilizam tecnologia de leito fluidizado/ciclo combinado, estão localizadas em um local de baixa dispersão atmosférica e atingem núcleos populacionais de densidade demográfica alta.

4^C - Termelétricas a carvão importado, que utilizam tecnologia de leito fluidizado/ciclo combinado, estão localizadas em um local de alta dispersão atmosférica e atingem núcleos populacionais de densidade demográfica média.

4^D - Termelétricas a carvão importado, que utilizam tecnologia de leito fluidizado/ciclo combinado, estão localizadas em um local de baixa dispersão atmosférica e atingem núcleos populacionais de densidade demográfica média.

Termelétrica à gás natural²³

A utilização de combustíveis gasosos (gás natural ou gases oriundos de processo - refinarias/siderurgia, ou da gaseificação de combustíveis sólidos) pode ocorrer **via queima em caldeiras, em turbinas de combustão ou em motores de combustão interna** (ciclo Otto e Diesel), como também através de **ciclo combinado**.

O gás natural está ampliando sua participação no mercado pois inicia-se um ciclo de investimentos privados na geração de eletricidade a partir do gás natural, a exemplo do que vem sendo observado em quase todo o mundo.

Uma vantagem relacionada às turbinas a gás refere-se à variedade de combustíveis líquidos e gasosos - gás natural, óleo diesel, gás de turfa, álcool, biogás e outros possíveis de serem utilizados.

Dentre as vantagens associadas a uma planta de geração elétrica utilizando ciclo combinado, são observadas as seguintes:

- prazo de implantação relativamente curto;
- o custo inferior ao ciclo vapor de mesma capacidade;
- a partida rápida da parte da instalação relativa à turbina a gás;
- a eficiência global elevada de aproximadamente 50%;
- o baixo nível de emissão de poluentes, similar à turbina a gás;
- o espaço ocupado relativamente pequeno e
- os altos índices de disponibilidade e confiabilidade.

²³ Texto baseado em Rosa & Schechtman (1996), Eletróbrás (1993) e Krause (1990).

Seguem as categorias de empreendimentos termelétricos que utilizam gás natural que devem ser objeto de valoração e incorporação no planejamento de longo prazo pelo pelo Setor Elétrico (Quadro 27).

QUADRO 27 - TIPOLOGIA DE EMPREENDIMENTOS TERMELÉTRICAS A GÁS NATURAL

Combustível	Tecnologia	Dispersão	População atingida	
			Alta densidade demográfica	Média densidade demográfica
Gás natural	Convencional com caldeira, em turbinas de combustão ou de motores de combustão interna	Alta dispersão	5A	5C
		Baixa dispersão	5B	5D
	Ciclo combinado	Alta dispersão	6A	6C
		Baixa dispersão	6B	6D

Nota:

As categorias apresentadas neste quadro surgiram a partir de estudos realizados pelos autores.

Do resultado dos cruzamentos dos três atributos, apresentamos as situações que se seguem:

5^A - Termelétricas a gás natural, que utilizam tecnologia convencional, estão localizadas em um local de alta dispersão atmosférica e atingem núcleos populacionais de densidade demográfica alta.

5^B - Termelétricas a gás natural, que utilizam tecnologia convencional, estão localizadas em um local de baixa dispersão atmosférica e atingem núcleos populacionais de densidade demográfica alta.

5^C - Termelétricas a gás natural, que utilizam tecnologia convencional, estão localizadas em um local de alta dispersão atmosférica e atingem núcleos populacionais de densidade demográfica média.

5^D - Termelétricas a gás natural, que utilizam tecnologia convencional, estão localizadas em um local de baixa dispersão atmosférica e atingem núcleos populacionais de densidade demográfica média.

6^A - Termelétricas a gás natural, que utilizam tecnologia de ciclo combinado, estão localizadas em um local de alta dispersão atmosférica e atingem núcleos populacionais de densidade demográfica alta.

6^B - Termelétricas a gás natural, que utilizam tecnologia de ciclo combinado, estão localizadas em um local de baixa dispersão atmosférica e atingem núcleos populacionais de densidade demográfica alta.

6^C - Termelétricas a gás natural, que utilizam tecnologia de ciclo combinado, estão localizadas em um local de alta dispersão atmosférica e atingem núcleos populacionais de densidade demográfica média.

6^D - Termelétricas a gás natural, que utilizam tecnologia de ciclo combinado, estão localizadas em um local de baixa dispersão atmosférica e atingem núcleos populacionais de densidade demográfica média.

Termelétrica a combustíveis líquidos²⁴

Os combustíveis líquidos para geração de eletricidade compreendem os derivados de petróleo - óleo combustível, óleo diesel, resíduos ultraviscosos do refino (RASF/RESVAC). Em geral, o óleo diesel e o óleo combustível são utilizados nos sistemas isolados de pequeno porte. Sua utilização ocorre através de caldeiras e em turbinas de combustão.

O óleo combustível padrão não é apenas utilizado em sistemas isolados, mas também na complementação térmica de sistemas interligados.

Quanto aos resíduos ultraviscosos (RASF e RESVAC) – óleo combustível pesado, alguns problemas ocorrem devido à presença nestes resíduos de altos teores de enxofre e de metais pesados, dificultando seu uso principalmente em turbinas de combustão e motores ciclo Diesel, além das dificuldades inerentes à viscosidade (armazenamento, transporte e queima propriamente dita). Em decorrência destas dificuldades, a sua comercialização deve ser feita junto às refinarias, com a instalação de usinas térmicas nos locais de produção do combustível. Estudam-se alternativas para a queima destes resíduos na fase sólida via combustão em leito fluidizado.

Seguem as categorias de empreendimentos termelétricos que utilizam o óleo combustível e que devem ser objeto de valoração e incorporação no planejamento de longo prazo pelo pelo Setor Elétrico (Quadro 28).

²⁴ Texto baseado em Rosa & Schechtman (1996), Eletrobrás (1993) e Krause (1990).

Combustível	Tecnologia	Dispersão	População atingida	
			Alta densidade demográfica	Média densidade demográfica
Gás natural	Turbinas a gás	Alta dispersão	7A	7C
		Baixa dispersão	7B	7D
	Convencional	Alta dispersão	8A	8C
		Baixa dispersão	8B	8D

Nota:

As categorias apresentadas neste quadro surgiram a partir de estudos realizados pelos autores.

Do resultado dos cruzamentos dos três atributos, apresentamos algumas situações peculiares que são definidas:

7^A - Termelétricas a óleo combustível, que utilizam tecnologia de turbinas a gás, estão localizadas em um local de alta dispersão atmosférica e atingem núcleos populacionais de densidade demográfica alta.

7^B - Termelétricas a óleo combustível, que utilizam tecnologia de turbinas a gás, estão localizadas em um local de baixa dispersão atmosférica e atingem núcleos populacionais de densidade demográfica alta.

7^C - Termelétricas a óleo combustível, que utilizam tecnologia de turbinas a gás, estão localizadas em um local de alta dispersão atmosférica e atingem núcleos populacionais de densidade demográfica média.

7^D - Termelétricas a óleo combustível, que utilizam tecnologia de turbinas a gás, estão localizadas em um local de baixa dispersão atmosférica e atingem núcleos populacionais de densidade demográfica média.

8^A - Termelétricas a óleo combustível, que utilizam tecnologia convencional, estão localizadas em um local de alta dispersão atmosférica e atingem núcleos populacionais de densidade demográfica alta.

8^B - Termelétricas a óleo combustível, que utilizam tecnologia convencional, estão localizadas em um local de baixa dispersão atmosférica e atingem núcleos populacionais de densidade demográfica alta.

8^C - Termelétricas a óleo combustível, que utilizam tecnologia convencional, estão localizadas em um local de alta dispersão atmosférica e atingem núcleos populacionais de densidade demográfica média.

8^D - Termelétricas a óleo combustível, que utilizam tecnologia convencional, estão localizadas em um local de baixa dispersão atmosférica e atingem núcleos populacionais de densidade demográfica média.

As concentrações médias das emissões da usina

As concentrações dos poluentes atmosféricos à nível do solo para cada categoria de empreendimento decorrem dos fatores de emissão dos poluentes atmosféricos, da concentração de gases já existentes na área de influência da usina e das características meteorológicas que existem no local das futuras usinas. Em geral, estas variáveis são incorporadas em modelos que simulam as concentrações médias dos poluentes atmosféricos para cada categoria de usina termelétrica.

Determinação da Área de Influência dos Poluentes

A determinação da área de influência dos poluentes é, em geral, estabelecida através de modelos que simulam o mecanismo de transporte e de difusão dos poluentes, ou seja, de dispersão dos poluentes. Estes devem se aproximar, ao máximo da situação real. A escolha do modelo deve levar em conta os seus objetivos, as suas limitações e a disponibilidade de dados.

Dentre as variáveis necessárias para alimentar um modelo que simula o transporte e a difusão dos poluentes atmosféricos, destacam-se:

- a taxa de emissão das plumas emitidas pelas chaminés;
- a altura e o diâmetro da chaminé;
- a velocidade e a temperatura do gás da chaminé;
- as propriedades físico-químicas dos gases que são lançados e que se encontram nos pontos receptores;
- as condições meteorológicas em torno da usina termelétrica, tais como: a velocidade e a direção do vento, a estabilidade atmosférica, a temperatura e a altura de mistura; e
- as condições topográficas no entorno da usina.

A difusão ocorre devido à diferença de concentração do poluente em diferentes pontos. Já o transporte é devido ao arraste do poluente pelo vento médio e pela turbulência atmosférica. Observa-

se que a capacidade de dispersão está diretamente relacionada com a intensidade de turbulência atmosférica, que pode ser indicada por vários parâmetros meteorológicos. A turbulência atmosférica pode ser classificada em dois tipos: mecânica e térmica. A turbulência mecânica deve-se à presença de objetos na direção do vento, tal como a rugosidade da superfície da terra ou dos edifícios. Já a térmica ocorre devido ao gradiente vertical da temperatura (Rebello, 1999).

Portanto, para se analisar a área de influência de uma usina termelétrica específica, é necessário conhecer a altura efetiva de emissão do poluente lançado pelas chaminés e as características climatológicas da região de localização da usina.

A altura efetiva de emissão do poluente é função da altura física da chaminé e da elevação dos efluentes gasosos após sua liberação, ou seja, da elevação de uma pluma e conseqüentemente da mistura da pluma.

Quanto aos dados climatológicos, deve-se conhecer:

- o regime dos ventos, ou seja, como se dá o deslocamento da massa de ar;
- a estabilidade atmosférica, que é função da variação da temperatura com a altitude. Deve-se avaliar a partir das condições meteorológicas, a intensidade da radiação solar, a velocidade do vento e a nebulosidade média. Como a pressão atmosférica cai com a altitude, se tivermos condições adiabáticas, onde não ocorre troca de calor com o meio ambiente, haverá correspondentemente um gradiente de temperatura. Rebello (1999) relaciona os vários métodos de classificação da estabilidade existentes, como: o Método Pasquill, o Método do Gradiente Vertical e o Método da Flutuação da Direção do Vento;
- a temperatura das redondezas da termelétrica, que varia sazonalmente.

Dentre os modelos usados para avaliar o impacto de emissões atmosféricas de poluentes não reativos, destaca-se o modelo gaussiano. O modelo de pluma gaussiano admite que a dispersão da pluma tem uma distribuição normal ou gaussiana em ambas as direções, horizontal e vertical.

Rosa & Schechtman (1996) utilizaram o modelo gaussiano proposto por Gifford (1968) que estabelece a concentração instantânea a nível do solo, a uma distância (s) da fonte emissora, para uma emissão que possa ser considerada contínua, conforme apresentado na equação III.1:

$$C_{(x,y,z=0)_n} = \frac{10^6 \cdot Q \cdot E_{in}}{2\pi \cdot s \cdot u \cdot \sigma_y \sigma_z} \cdot \exp \left(-\frac{1}{2} \left(\frac{H}{\sigma_z} \right)^2 - \frac{1}{2} \left(\frac{y}{\sigma_y} \right)^2 \right) \quad (\text{Eq. III.1})$$

Onde,

$C_{(x,y,z=0)n}$ corresponde a concentração do poluente a nível do solo para cada categoria de empreendimento n ($\mu\text{g}/\text{m}^3$);

E_{in} corresponde a taxa de emissão do poluente (i) para cada categoria de empreendimento n (g/ano);

H corresponde a altura efetiva da liberação de poluentes (m);

u corresponde a velocidade média do vento (m/s);

s corresponde a distância da fonte emissora (km);

Q corresponde ao fator de conversão das unidades;

σ_y e σ_z correspondem aos desvios padrões da distribuição gaussiana nas direções transversais ao vento (y) e vertical (z) (m).

Os autores afirmam que a equação acima é válida para as emissões contínuas, de longa duração e em terrenos planos, tal que a distribuição do poluente pode formar uma pluma gaussiana.

Para a determinação de impactos ambientais sobre a saúde humana, o interesse maior reside no cálculo da concentração média anual a nível do solo, para cada poluente e em cada ponto do espaço. Esta concentração é determinada, segundo Rosa & Schechtman (1996), através da integração da Equação III.1 para todas as velocidades de vento (u) e desvios padrões y e z , que ocorrem ao longo do tempo. Esta integração é bastante complexa e para simplificá-la, adota-se uma integração numérica aproximada, baseada numa discretização espacial ao redor da usina.

Essa integração numérica resulta na seguinte Equação III.2:

$$C_{\text{média anual}}(x^*, w) = \sum f_w(u) \left\{ \sum g_w(\sigma_w, \sigma_z) \left[\frac{n}{2\pi x^*} \int_{-y_1}^{y_1} C(x, y, 0) dy \right] \right\}$$

Onde,

$C_{\text{média anual}}(x^*, w)$ corresponde a concentração média anual do poluente a nível do solo (g/m) em um bloco de malha espacial distante (s) da fonte emissora, localizado no setor i da rosa dos ventos ($i = N, NE, E, SE, \text{etc.}$), $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - ano;

$f_w(u)$ corresponde a distribuição anual do vento segundo a direção w ;

$g_w(\sigma_w, \sigma_z)$ corresponde a distribuição anual dos desvios padrões σ_y, σ_z segundo uma direção w ;

n corresponde ao número de divisões da rosa dos ventos;

$y_1 = x^* \sin(2\pi/n)$.

Para efeito do cálculo do valor do dano médio em cada uma das categorias de empreendimentos termelétricos passíveis de serem construídos no futuro, sugere-se que seja aplicada a equação III.2 indicada por Rosa & Schechtman (1996) para determinar a concentração dos poluentes no solo, com as simplificações propostas em IV.2.

Os Núcleos Populacionais

Os núcleos populacionais que são afetados pelas externalidades provocadas pela construção da usina termelétrica, normalmente estão situados em municípios - centros consumidores – inseridos na área de influência das usinas.

No planejamento de longo prazo do Setor Elétrico, não se sabe o local exato da usina e conseqüentemente, a população a ser atingida por esta, mas tem-se uma referência quanto a possível localização desta, ou seja, se fica próxima a núcleos urbanos ou rurais ou de capitais populosas. Por isso, adotamos três faixas de densidade demográfica onde as novas usinas termelétricas poderão se situar. Entretanto, consideramos que a externalidade proveniente das referidas usinas somente deverá ser valorada quando estas se localizarem em regiões de alta e de média densidade demográfica.

- empreendimentos situados em regiões de alta densidade demográfica (área com mais de 1000 habitantes por km²),
- empreendimentos situados em regiões de média densidade demográfica (área com mais de 100 habitantes por km² e menos de 1000 habitantes por km²),
- empreendimentos situados em regiões de baixa densidade demográfica (área com menos de 100 habitantes por km²).

IV - METODOLOGIAS PROPOSTAS PARA A VALORAÇÃO DAS EXTERNALIDADES

Apresentaremos, neste capítulo, as externalidades a serem valoradas pelo Setor Elétrico, acompanhadas dos métodos de valoração propostos. Vale ressaltar que no Capítulo III.1 já foram apresentadas as externalidades selecionadas e justificadas.

Procuramos itemizar os métodos de valoração, de modo a auxiliar o Setor na implementação de uma hidrelétrica ou termelétrica no longo prazo com base nas categorias de empreendimentos elaboradas no Capítulo III.2. Entretanto, algumas dificuldades podem ser encontradas durante a aplicação da metodologia, dentre as quais, destacam-se:

- a incerteza quanto à localização das prováveis usinas;
- a forma mais adequada de se adotar os procedimentos;
- a identificação da população/ área/ atividade atingida pela externalidade e
- as dificuldades inerentes a aplicação dos métodos.

Sempre que possível, estabelecemos os passos a serem seguidos, de modo claro e objetivo, deixando para o Setor a tarefa de implementar a valoração para chegar ao valor do dano/benefício ambiental.

Adicionalmente a cada método de valoração, são fornecidas as incertezas e as dificuldades inerentes ao método a fim de que o empreendedor responsável pela implementação do método tenha conhecimento do que pode aplicar ou não.

1 – GERAÇÃO HÍDRICA

1.a - Danos causados à biodiversidade - espécies vegetais e animais

A avaliação dos custos de degradação ambiental durante a construção e operação das usinas hidrelétricas é algo complexo que deve ser bem estudado, principalmente quando se faz referência à biodiversidade presente no país.

A biodiversidade é definida como a variedade das espécies existentes no mundo, incluindo a diversidade genética e as comunidades que estes organismos compõem. Geralmente, a biodiversidade, também chamada de diversidade biológica, é considerada em três níveis: diversidade genética, diversidade de espécies e diversidade de ecossistemas. Para a avaliação dos danos que será realizada sobre a biodiversidade, o foco central serão as espécies vegetais e animais presentes nos ecossistemas brasileiros.

Muitas espécies de animais raras e comuns são encontradas em diversas partes do país. As espécies raras ou endêmicas, como o mico-leão e a onça-pintada, são originárias de determinados locais, como a Mata Atlântica. As espécies comuns, ao contrário, são encontradas em grande quantidade por todo o território. Nos trópicos, principalmente nas florestas tropicais, encontra-se a maior variedade de espécies de plantas do mundo (Wilson, 1988). Daí, a importância do estudo.

A diversidade de espécies é um bem valioso demais para ser perdido. Por isso, a preocupação do Setor Elétrico com os impactos sobre a flora e a fauna, decorrentes da construção e operação das usinas para o planejamento de longo prazo.

O estabelecimento de áreas de conservação da biodiversidade tem ganhado importância face à conscientização da comunidade científica do valor intrínseco às espécies animais e vegetais, muitas das quais ainda não conhecidas, e à velocidade com que a diversidade biológica do planeta vem sendo minada. Assim, existe um valor associado à preservação da biodiversidade (vide Capítulo II).

Com relação aos impactos provenientes da geração hídrica sobre a variabilidade de espécies, é bom lembrar que os ecossistemas naturais sofrem distúrbios que podem ser irreversíveis. Os danos sofridos por estas espécies aumentam com a inundação de áreas para a formação de reservatórios e com os desmatamentos de áreas onde se encontram esta diversidade de espécies. Dentre as alternativas de desmatamentos encontradas (simples afogamento da vegetação, desmatamento seletivo, desmatamento zoneado e desmatamento total), a que provoca alterações mais profundas nos ecossistemas brasileiros é o desmatamento total.

A perda deste patrimônio genético (espécies vegetais e animais) ocorre também com:

- a mudança na hidrologia através da tendência de regularização da vazão dos rios;
- a alteração no microclima, a qual produz condições desfavoráveis ao habitat de algumas espécies vegetais e animais;
- a inundação de uma área para criação de um reservatório, a qual torna este lugar um ecossistema impróprio à sobrevivência das espécies. Os efeitos da erosão em um reservatório gera um fluxo de sedimentos que se deposita no fundo do reservatório. A temperatura no fundo do reservatório é mais fria do que no rio inalterado. A água no fundo do reservatório torna-se anóxica criando condições para a produção de compostos (gás sulfídrico e metano) com efeitos nocivos às espécies presentes, a partir de reações químicas.

1.a.1 - APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE VALORAÇÃO CONTINGENTE PARA O DANO CAUSADO ÀS ESPÉCIES VEGETAIS E ANIMAIS PELAS HIDRELÉTRICAS

O método de valoração contingente²⁵ é o mais apropriado para estimar o valor (de existência) que os habitantes de um país atribuem à preservação de um ecossistema. Serão apresentadas as etapas necessárias à aplicação deste método na valoração dos danos causados pelas hidrelétricas às espécies vegetais e animais.

Como apresentado no Capítulo II, a valoração contingente é um método que usa mercados hipotéticos e é aplicado através do uso de um questionário que tem por objetivo identificar a disposição que o indivíduo tem a pagar pela preservação de espécies vegetais e animais.

Conforme salientado no Capítulo II, este questionário é elaborado e aplicado através de critérios rigorosos, de modo a minimizar ao máximo a incerteza inerente ao método.

1ª Etapa: Deve-se *identificar o "objeto" a ser valorado*. Em se tratando do valor de existência da biodiversidade é importante que seja analisada a sua importância para a região a ser impactada e para o país. Exemplificando com algumas espécies que podem vir a ser descobertas e contribuem no avanço de drogas medicinais, como também para a agricultura moderna no desenvolvimento de novas variedades.

O ecossistema que está sendo analisado pode ter funções ecossistêmicas importantes, tais como, na regulação climática em nível local e global, no controle de temperatura, na remoção de poluentes da água, ar e solo, na formação do solo e na manutenção da fertilidade que é fundamental para a vida das espécies animais e vegetais.

Assim, é necessário que sejam fornecidas ao entrevistado as informações relativas à necessidade de manter esta variabilidade genética. Para atender este quesito sugere-se que na etapa de aplicação

²⁵ Esta metodologia baseia-se nos estudos realizados por Furtado (1996) e Seroa da Motta (1998).

do método sejam apresentados cartões com imagens e descrições biológicas de algumas espécies que seriam afetadas pela construção da hidrelétrica.

Considerando o risco que o ecossistema assume com a construção das hidrelétricas, deve ser elaborado um cenário que identifique os seus possíveis impactos ambientais e efeitos econômicos. Essas análises devem ser realizadas a partir de mapas e fotografias da região onde se localizará a atividade impactante, considerando as características do empreendimento que vem impactar o meio ambiente.

Prosseguindo na primeira etapa, deve-se ter cuidado para que o entrevistado não atribua uma relevância artificial à preservação do ecossistema diante do simples fato dele estar sendo pesquisado. Por isso, os entrevistados devem ser questionados sobre o conhecimento de algumas políticas públicas que se refiram ao meio ambiente, e em seguida sobre o ecossistema em si e os problemas ambientais que mais os preocupam.

Antes da aplicação de perguntas sobre a disposição a pagar, os entrevistados devem ser lembrados de que não apenas existe esta atividade e/ou empreendimento que está impactando o meio ambiente, porém esta é apenas uma no meio de muitas que podem custar dinheiro para o entrevistado, indiretamente.

Para que a metodologia de valoração contingente possa ser utilizada no planejamento de longo prazo do Setor Elétrico, foram criadas dez categorias de empreendimentos hidrelétricos. A biodiversidade (espécies vegetais e animais, principalmente) é diferenciada para cada ecossistema presente no país e pode ser observada em cada categoria.

De acordo com a tipologia elaborada, existem seis categorias de empreendimentos (1 a 6, segundo o Quadro 21 no Capítulo III.2.a) que compõem a biorregião da Amazônia. A biorregião fora da Amazônia abrange, principalmente, um conjunto de dois ecossistemas, que são o Cerrado e a Mata Atlântica, que dizem respeito a outras quatro categorias (7, 8, 9 e 10) da tipologia. A seguir, fazemos uma descrição da biodiversidade para os ecossistemas citados.

As categorias de empreendimentos hidrelétricos de 1 a 6 se encontram na biorregião da Amazônia Brasileira. Esta biorregião abriga e reproduz mais de um terço das espécies existentes no planeta. São 30 mil espécies de plantas e uma vasta classe de espécies animais (insetos, aves, anfíbios, mamíferos, roedores, etc.). Os animais rastejadores, os anfíbios e aqueles com capacidade para subir em locais íngremes, como o esquilo, exploram os níveis baixos e médios da floresta. Os locais mais altos são explorados por beija-flores, araras, papagaios e periquitos à procura de frutas, brotos e castanhas. Os tucanos, voadores de curta distância, exploram as árvores altas. O nível intermediário é habitado por jacus, gaviões, corujas e centenas de pequenas aves. No extrato terrestre, estão os jabutis, cutias, pacas, antas, etc. Os mamíferos aproveitam a produtividade sazonal dos alimentos,

como os frutos caídos das árvores. Esses animais, por sua vez, servem de alimentos para grandes felinos e cobras de grande porte (WWF, 1999).

A Amazônia é um “gigante” tropical de 5,5 milhões de km², dos quais 60% estão em território brasileiro, porém mais de 12% da área original da Floresta já foram destruídos. São 2.500 espécies de árvores (um terço da madeira tropical) e 175 milhões de litros de água, o que corresponde a 20% da vazão conjunta de todos os rios da Terra, onde se encontra o maior peixe de água doce do mundo: o pirarucu, que atinge até 2,5 metros (WWF, 1999).

Em função da grande extensão da biorregião da Amazônia e da presença de áreas que não sofreram desmatamentos, optou-se por dividir a biorregião da Amazônia em três áreas: a área virgem, a área de expansão de fronteira e a área fortemente ocupada. Para cada uma destas áreas, consideramos duas categorias de áreas de inundamento: uma grande área de alagamento (acima de 250 km²) e uma pequena área de alagamento (abaixo de 250 km²)

A rica biodiversidade é encontrada, com mais certeza, nas áreas virgens, que são áreas ainda intocadas pelo homem, não considerando as reservas naturais²⁶. Portanto, para as áreas com esta característica, existe uma certa probabilidade de se perder espécies vegetais e animais na implementação de um empreendimento hidrelétrico. A probabilidade de perda pode ser maior ou menor em decorrência da dimensão da área alagada/inundada. Para facilitar o entendimento, denominaremos de α_n - a probabilidade de perda de espécies vegetais e animais (biodiversidade) para cada categoria n de empreendimentos hidrelétricos.

Portanto, α_n será o cenário que constará na pesquisa para o qual os entrevistados irão revelar sua disposição a pagar. Para cada magnitude de α_n teremos, assim, um valor médio de disposição a pagar.

Nos estudos de valoração para a perda da biodiversidade, utilizaríamos então, várias situações que reflitam as possibilidades médias de perdas de acordo com a localização e tamanho do empreendimento.

Dessa forma, para as **áreas virgens** da biorregião da Amazônia, encontraremos duas probabilidades de perda de espécies vegetais e animais em função da área alagada:

- na categoria 1 que compreende uma grande área alagada, encontramos uma probabilidade de perda que é igual a (α_1) e
- na categoria 4 que compreende uma pequena área alagada, encontramos uma outra probabilidade de perda que é igual a (α_4).

²⁶ Nas reservas naturais não é permitido a construção de hidrelétricas.

A ocupação contínua do solo de forma desorganizada, as políticas governamentais inadequadas e a pressão econômica, principalmente nas áreas fortemente ocupadas, levam a uma preocupação constante com as espécies vegetais e animais ainda encontradas. As condições que caracterizam as **áreas de expansão de fronteira** podem ser encontradas na transição de duas áreas: áreas fortemente ocupadas e áreas virgens.

Portanto, nas duas outras áreas da biorregião da Amazônia – **áreas fortemente ocupadas e de expansão de fronteira**, a probabilidade de se encontrar algumas espécies é menor que nas áreas virgens. Pode-se analisar, também, esta probabilidade em função da área alagada (maior ou menor que 250 km²).

Para as **áreas fortemente ocupadas**, assumiremos que α_n é desprezível e, assim, nenhum valor de existência seria internalizado.

Podemos dizer que para estas duas outras áreas da biorregião da Amazônia, encontramos quatro possibilidades de perda de biodiversidade:

- nas áreas fortemente ocupadas (categorias 3 e 6), a probabilidade de se perder espécies em uma grande área alagada é igual a (α_3) e numa pequena área alagada é igual a (α_6), e
- nas áreas de expansão de fronteira (categorias 2 e 5); a probabilidade de se perder espécies em uma grande área alagada é igual a (α_2) e numa pequena área alagada é igual a (α_5).

As demais categorias (7 a 10) de nossa tipologia correspondem a empreendimentos a serem implantados no conjunto dos dois outros ecossistemas fora da biorregião da Amazônia.

Vale ressaltar que a hipótese de perda de biodiversidade também é feita para a biorregião fora da Amazônia. Neste caso, o que pode alterar a estimativa desta perda é a área de alagamento, que pode ser maior ou menor, e a proximidade de áreas povoadas. Em relação à biodiversidade encontrada nesta biorregião, assumimos que, de maneira geral, é uma região mais "homogênea" que a biorregião da Amazônia, que é composta por três áreas - virgem, de expansão de fronteira e fortemente ocupadas - que diferem conforme o número maior ou menor de espécies encontradas.

Portanto, para esta biorregião fora da Amazônia, encontraremos quatro probabilidades de perda de biodiversidade para cada categoria:

- para as categorias (7 e 8) que se inserem em áreas inundadas maiores que 250 km², a probabilidade de perda de espécies para áreas com uma densidade demográfica baixa é igual a (α_7) e para áreas com uma densidade demográfica média é igual a (α_8) e

- para as categorias (9 e 10) que se enquadram em situações que terão áreas inundadas menores que 250 km², a probabilidade de perda de espécies para áreas com uma densidade demográfica baixa é igual a (α_9) e para áreas com uma densidade demográfica média é igual a (α_{10}).

Cabe descrevermos as características deste grande ecossistema, fora da Amazônia, para o caso de analisarmos uma área com espécies vegetais e animais específicas.

A Mata Atlântica e o Cerrado

A Mata Atlântica é uma das florestas tropicais mais ameaçadas do mundo. Na época do descobrimento do Brasil, a Mata cobria 12% do território nacional. Hoje, está reduzida a 7% de sua área original. Apesar da devastação, a riqueza das espécies animais e vegetais que ainda se abrigam na Mata é enorme. Em alguns trechos remanescentes da floresta, os níveis de biodiversidade são considerados os maiores do planeta. Em contraste com essa exuberância, as estatísticas indicam que mais de 70% da população brasileira vivem na região da Mata onde estão a maioria das cidades e regiões metropolitanas do país, os pólos industriais e áreas portuárias (WWF, 1999).

A Mata possui espécies de árvores imponentes, como o jequitibá-rosa, de 40 metros de altura e 4 metros de diâmetro. Outras espécies também se destacam, como o pinheiro-do-paraná, o cedro, as figueiras, os ipês, a braúna e o pau-brasil, entre muitas outras. Paralelamente à riqueza vegetal, a fauna é o que mais impressiona na região. A maior parte dos animais brasileiros ameaçados de extinção são originários da Mata Atlântica, como os micos-leões, a lontra, a onça-pintada, o tatu-canastra e a arara-azul pequena. Existem muitas organizações em defesa da Mata Atlântica, como o WWF, que desenvolvem projetos de recuperação de florestas degradadas, estudos de ecologia e monitoramento de espécies em via de extinção, como o mico-leão, entre outros. Também existem outras espécies não em via de extinção que vivem nestas áreas, como os gambás, tamanduás, preguiças, antas, veados, cotias, quatis, etc. (WWF, 1999).

Uma outra extensa região do Brasil central compõe-se de um mosaico de tipos de vegetação, solo, clima e topografia bastante heterogêneos, é o que chamamos de Cerrado. O Cerrado é a segunda maior formação vegetal brasileira, superado apenas pela Floresta Amazônica. O Cerrado é uma savana tropical na qual a vegetação herbácea coexiste com mais de 420 espécies de árvores e arbustos esparsos. O Cerrado tem a seu favor o fato de se cortado por três das maiores bacias hidrográficas da América do Sul (Tocantins, São Francisco e Prata), favorecendo a manutenção de uma biodiversidade surpreendente. Estima-se que a flora da região possua 10 mil espécies de plantas diferentes de muitos usos (na produção de cortiça, fibras, óleos, etc.) paralelamente, encontramos 400 espécies de aves, 67 gêneros de mamíferos e 30 tipos de morcegos catalogados na área. O número de insetos é surpreendente: apenas na área do Distrito Federal, há 90 espécies de cupins, 1000 espécies de borboletas e 500 tipos diferentes de abelhas e vespas (WWF, 1999).

Por esta descrição realizada, podemos perceber a grande biodiversidade presente nesta região de aproximadamente 1.500 mil km². O conhecimento desta biodiversidade é necessário para que possamos identificar, com precisão (se possível), as espécies vegetais ou animais que sofrerão danos (ou serão perdidas) durante o alagamento. Em função da grande variedade, sugere-se uma pesquisa sobre as espécies presentes nas futuras áreas alagadas, através de relatórios de impactos ambientais, a fim de certificarmos do que existe, ou seja, realizar um tipo de catalogação das espécies para cada categoria de empreendimento encontrada na área da Amazônia e fora da Amazônia.

2ª Etapa. Após a escolha do melhor indicativo de disposição que o entrevistado tem a pagar ou aceitar, **analisa-se o veículo ou o instrumento de pagamento ou compensação** com que a medida de DAP ou DAA, respectivamente, será instituída para preservar o objeto a ser valorado. Este instrumento deve ser o mais neutro possível para passar credibilidade ao entrevistado.

Um dos tipos de veículo de pagamento utilizados são os tributos (taxas ou tarifas). Para o caso do Setor Elétrico, falamos em tarifa de energia elétrica. As cobranças de tributos podem produzir alguns problemas para o entrevistado e para quem está elaborando a pesquisa. Na verdade, na maioria das vezes, os entrevistados até aceitam pagar uma quantia considerável, mas afirmam não ter renda para sua cobrança.

3ª Etapa. Deve-se **escolher o método de eliciação ou de resposta** que será utilizado no questionário. A literatura tem sugerido a adoção do método dicotômico, onde os entrevistados são questionados quanto a sua disposição a pagar por uma quantia X pré-determinada para evitar a perda α_n de preservar as espécies daquela área.

4ª Etapa. Enfim, deve-se **elaborar o questionário de pesquisa**. A partir das informações recolhidas nas etapas anteriores, o questionário deve conter perguntas que identifiquem os dados sócio-econômicos, os hábitos dos entrevistados, as opiniões sobre as questões relacionadas com o responsável pelo dano e outras sobre os desmatamentos (ou qualquer outro impacto). Mais detalhes sobre a composição do questionário, deve ser verificado na apresentação da metodologia de valoração contingente (Capítulo II).

Sugere-se que seja feito um questionário para cada biorregião identificada na tipologia de categorias de empreendimentos - a biorregião da Amazônia e a biorregião fora da Amazônia (vide Quadro 21 do Capítulo III.2.2.a) a fim de avaliar a disposição a pagar pelo objeto a ser valorado - espécies vegetais e animais - proveniente daquela biorregião. Um exemplo de questões para um modelo de questionário pode ser encontrado no Capítulo II.2.a.

5ª Etapa. Devem-se elaborar os **procedimentos prévios à aplicação do questionário**. Realiza-se uma pesquisa teste com uma versão preliminar do questionário aplicado num pequeno grupo. Este

procedimento é necessário para a eficácia da pesquisa, pois em geral demonstra a necessidade de algumas modificações no questionário através de reformulações nas perguntas e nas opções de respostas.

O trabalho deve ser administrado por uma confiável empresa de pesquisa de opinião pública que já tenha experiência no ramo e dê credibilidade e segurança ao entrevistado. Se possível, as entrevistas devem ser domiciliares com apenas uma pessoa por família selecionada, que tenha pelo menos idade igual ou superior a 18 anos.

É recomendável que o questionário seja aplicado a pessoas não impactadas da região, dado que se quer estimar, neste caso, o valor de existência e não os valores de uso. A pesquisa seria aplicada em algumas capitais do Brasil e seus resultados extrapolados para todo o país com ajustes das variáveis sócio-econômicas de cada região internalizadas nas funções estimada na pesquisa.

Em relação ao treinamento do entrevistador, é importante também que este seja neutro em suas opiniões. A aplicação dos questionários não deve levar mais do que 30 minutos, em média.

Após aplicada a pesquisa, os dados recolhidos no questionário passarão por uma análise estatística detalhada a fim de obter um valor médio ou mediano da disposição a pagar. Para os questionários que utilizaram o método de resposta do tipo referendo, utiliza-se um modelo logístico que relaciona a probabilidade de uma resposta "sim" para cada quantia sugerida com as variáveis explicativas (renda, fatores sociais, etc.) e utilizando seus coeficientes numa função logística que reflita uma forma de função utilidade.

A partir do valor médio ou mediano encontrado que reflete a disposição a pagar pela biodiversidade e da população representativa da amostra, obtemos a estimativa dos benefícios da preservação da biodiversidade.

6ª Etapa. Nesta etapa, estima-se o **valor econômico do recurso ambiental** (unidades monetárias) com base nas preferências expressas por indivíduos potenciais, a partir de uma função de demanda que revela a disposição a pagar do usuário ou habitante em função da disponibilidade do recurso ambiental que deseja preservar.

O valor da disposição a pagar (V_{cn}), que se procura encontrar, deve refletir a probabilidade de perda definitiva de biodiversidade (α_n) para cada categoria de empreendimento. Podemos expressar esta afirmação através da seguinte equação IV.1:

$$V_{cn} = f(\alpha_n)$$

(Eq. IV.1)

Este valor ($V_{C,n}$) pode ser melhor visualizado para cada uma das 10 categorias de empreendimentos hidrelétricos construídas a partir da combinação de alguns atributos (Quadro 29), considerando que a probabilidade de perda será diferente para cada categoria elaborada. Portanto, encontraremos n probabilidades de perdas de biodiversidade (α_n) conforme o número de categorias apresentadas.

Para as categorias que se enquadram nas áreas fora da biorregião da Amazônia que apresentam uma densidade demográfica média (maior que 100 hab/km² e menor que 1000 hab/km²) – categorias 8 e 10 - e as que se enquadram nas áreas fortemente ocupadas e exploradas na biorregião da Amazônia – categorias 3 e 6, a possibilidade de encontrarmos espécies vegetais e animais nestas categorias é praticamente nula em relação a uma área virgem (categorias 1 e 3 na biorregião da Amazônia) que possui um número grande de espécies vegetais e animais.

O Quadro 29 faz algumas hipóteses para o valor do dano sobre as espécies vegetais e animais encontradas para cada categoria de empreendimento.

**QUADRO 29 - O VALOR DO DANO AMBIENTAL SOBRE A BIODIVERSIDADE (ESPÉCIES VEGETAIS E ANIMAIS)
PARA AS DIFERENTES CATEGORIAS ELABORADAS PARA A GERAÇÃO HÍDRICA UTILIZANDO O MÉTODO DE
VALORAÇÃO CONTINGENTE**

Categorias		Características das categorias	Valor do dano ambiental
Biorregião da Amazônia ⁽¹⁾	Categoria 1	Assume-se para estas categorias,	V_{C1}
	Categoria 2	uma faixa de área inundada	V_{C2}
	Categoria 3	maior que 250 km ² o que corresponde a uma grande área de alagamento/ inundação	0 (nota 2)
	Categoria 4	Assume-se para estas categorias,	V_{C4}
	Categoria 5	uma faixa de área inundada	V_{C5}
	Categoria 6	menor que 250 km ² o que corresponde a uma pequena área de alagamento/ inundação	0 (nota 2)
Biorregião fora da Amazônia ⁽¹⁾	Categoria 7	Assume-se para estas categorias,	V_{C7}
	Categoria 8	uma faixa de área inundada maior que 250 km ² o que corresponde a uma grande área de alagamento/ inundação	0 (nota 2)
	Categoria 9	Assume-se para estas categorias,	V_{C9}
	Categoria 10	uma faixa de área inundada menor que 250 km ² o que corresponde a uma pequena área de alagamento/ inundação	0 (nota 2)

Notas:

1 - O valor econômico que um indivíduo está disposto a pagar para preservar um grupo de espécies vegetais e animais encontradas nas categorias da biorregião da Amazônia ou fora da biorregião da Amazônia reflete a probabilidade de perda destas espécies. Esta perda pode ser mais ou menos acentuada conforme o tamanho da área alagada e o número de espécies encontradas. No caso da biorregião da Amazônia, esta biodiversidade varia em função de três áreas apresentadas: áreas virgens, fortemente ocupadas e de expansão de fronteira.

Para a biorregião fora da Amazônia, a probabilidade de perda varia em função do tamanho da área alagada e da proximidade de áreas já ocupadas (povoadas).

2 – Considerou-se que a probabilidade definitiva de perda das espécies nestas categorias é praticamente total, pois a chance de encontrar espécies em áreas fortemente exploradas (categorias 3 e 6) na biorregião da Amazônia e em áreas com densidade demográfica média (categoria 8 e 10) é muito pequena. Logo, o valor econômico do recurso natural é nulo.

1.a.3 - RESSALVAS À APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE VALORAÇÃO CONTINGENTE PARA O DANO CAUSADO ÀS ESPÉCIES VEGETAIS E ANIMAIS PELA HIDRELÉTRICA

Por conta da dificuldade das pessoas em responder o questionário de valoração contingente, um dos métodos de resposta mais indicado é do tipo referendo, pois apresenta uma quantia sobre a disposição a pagar. Uma variação deste método é o método de eliciação do tipo referendo com acompanhamento que fornece mais informações sobre a disposição a pagar dos entrevistados do que do tipo referendo com apenas uma escolha dicotômica. Isto faz com que as estimativas encontradas sejam mais precisas do que aquelas que seriam apresentadas com a escolha dicotômica simples, considerando o tamanho da amostra como dado. Entretanto, isto pode vir a se alterar dependendo do caso a ser analisado. Faz-se necessário avaliar cada caso na aplicação do método.

Dúvidas poderão vir a surgir quanto ao entendimento dos entrevistados sobre a forma de pagamento. Deve-se deixar claro se a disposição a pagar refere-se a um pagamento anual ou um pagamento único, o qual seria feito para o resto da vida. Não existindo nada que garanta o fluxo de pagamentos anuais, tal mecanismo de pagamento pode não durar. Em muitos casos, a melhor idéia seria adotar um pagamento de uma vez só, sem anuidades.

Os questionários sobre o recurso a ser valorado devem descrever claramente o bem para que os entrevistados tenham conhecimento do que se está valorando, já que se referem a situações hipotéticas.

Na valoração por existência, o indivíduo não “consome fluxo” e sim percebe o estoque de vidas animais e vegetais. É mais interessante verificar as espécies que serão perdidas por complexidade, ou seja, espécies endêmicas e não-endêmicas. Portanto, o ideal para este tipo de valoração é realizar uma CVM (método de valoração contingente) por espécie para cada caso.

1.b - Danos causados aos recursos históricos e culturais

Um outro impacto que surge por conta da inundação de áreas e da construção e operação das hidrelétricas são os impactos sobre os recursos culturais e históricos.

É necessário realizar um estudo das áreas para o estabelecimento das hidrelétricas. Este inventário de áreas, seguido de uma exploração a nível geológico, permite que se descubram os recursos culturais e/ou os sítios arqueológicos de povos que habitavam a região. Portanto, a exploração de áreas pode contribuir na descoberta de objetos/ peças arqueológicas.

Por outro lado, a exploração de áreas também leva a uma alteração de habitats naturais e produz efeitos adversos aos recursos culturais e históricos da área determinada. A consequência direta é a perda de recursos naturais que compõem a paisagem (uma beleza estética).

1.b.1 – APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE VALORAÇÃO CONTINGENTE PARA OS DANOS CAUSADOS AOS RECURSOS HISTÓRICOS E CULTURAIS PELA HIDRELÉTRICA

A metodologia de valoração contingente pode ser utilizada para mensurar os danos causados a estes recursos. Esta metodologia pressupõe que os indivíduos tenham uma disposição a pagar por recursos que possam refletir um costume ou uma tradição.

As perdas dos recursos culturais e históricos são difíceis de quantificar e de mensurar porque levam em consideração à percepção da perda destes, que é dependente de valores culturais de um determinado local.

Para mensurarmos os danos causados aos recursos históricos e/ou culturais, o primeiro passo que deve ser adotado pelo Setor Elétrico é identificar aonde possam ser encontrados estes recursos no território brasileiro. Devido as poucas pesquisas realizadas para se descobrir sítios arqueológicos, torna-se difícil a identificação exata destes locais. Por isto, assumimos a hipótese de que onde houver uma rica e diferenciada biodiversidade ainda intacta, é que existe a possibilidade de encontrarmos os vestígios de povos que viveram nestes locais, os sítios arqueológicos, etc. A existência de áreas que possuem uma cobertura vegetal que já foi devastada indica que o homem ocupou a área e reduziu (ou acabou) com qualquer probabilidade de encontrar qualquer tipo de recurso cultural e/ou histórico. A caracterização de cada categoria de empreendimento para a valoração deste tipo de recurso se dá, portanto, em função da biodiversidade que se encontra lá.

Após a identificação dos recursos históricos e culturais em cada categoria, o Setor Elétrico pode realizar a aplicação da metodologia de valoração contingente, através de um questionário que avalia a disposição a pagar do entrevistado em preservar os recursos culturais e/ou históricos encontrados em cada categoria de empreendimento hidrelétrico.

A preparação do questionário de pesquisa para a valoração contingente inclui, portanto, todo um roteiro já comentado quando da aplicação desta metodologia para a biodiversidade (Capítulo IV.1.a.1). O que difere na aplicação do método é, principalmente, o “objeto” a ser valorado e as questões formuladas acerca do conhecimento do entrevistado sobre os possíveis recursos

encontrados e os impactos sofridos por estes face à construção da hidrelétrica. As outras considerações realizadas na etapa da valoração contingente para a biodiversidade se inserem para este caso.

Apresentamos a seguir alguns tipos de questões que podem ser encontradas no questionário:

- (a) Se o indivíduo entrevistado tem conhecimento dos recursos culturais e históricos encontrados? Se ele sabe qual é a importância em preservá-los? Qual é a sua opinião pessoal?
- (b) Se já ouviram falar em alguma expedição para encontrar objetos ou sítios arqueológicos?
- (c) Quanto o indivíduo estaria disposto a pagar por um local que possui tais recursos?

O valor econômico dos recursos culturais e históricos (V_{Rn}) encontrados em cada n categoria de empreendimento também deve refletir a probabilidade de perda destes. Este valor é obtido através de uma função de demanda que demonstra a disposição a pagar do entrevistado pela disponibilidade deste bem natural.

Portanto, cada categoria de empreendimento apresenta um novo valor econômico (V_{Rn}) que é função da probabilidade de perda definitiva dos recursos culturais e históricos (β_n) (Mesmo raciocínio da Equação IV.1). As considerações realizadas acerca da probabilidade de perda destes recursos também devem se alterar em função da dimensão da área alagada, da proximidade de uma área povoada (média densidade demográfica ou fortemente ocupada) e do maior ou menor número de recursos encontrados. A maneira como se aplica estas condições é a mesma adotada para a valoração da biodiversidade nas biorregiões da Amazônia e fora da Amazônia. Este valor pode ser melhor visualizado para cada uma das 10 categorias construídas a partir da combinação de alguns atributos (Quadro 30).

QUADRO 30 - O VALOR DO DANO AMBIENTAL SOBRE OS RECURSOS CULTURAIS E HISTÓRICOS PARA AS DIFERENTES CATEGORIAS ELABORADAS PARA A GERAÇÃO HÍDRICA UTILIZANDO O MÉTODO DE VALORAÇÃO CONTINGENTE

Categorias		Características das categorias	Valor do dano ambiental
Biorregião da Amazônia ⁽¹⁾	Categoria 1	Assume-se para estas categorias,	V_{R1}
	Categoria 2	uma faixa de área inundada	V_{R2}
	Categoria 3	maior que 250 km ² o que corresponde a uma grande área de alagamento/ inundação	0 (nota 2)
	Categoria 4	Assume-se para estas categorias,	V_{R4}
	Categoria 5	uma faixa de área inundada	V_{R5}
	Categoria 6	menor que 250 km ² o que corresponde a uma pequena área de alagamento/ inundação	0 (nota 2)
Biorregião fora da Amazônia ⁽¹⁾	Categoria 7	Assume-se para estas categorias,	V_{R7}
	Categoria 8	uma faixa de área inundada maior que 250 km ² o que corresponde a uma grande área de alagamento/ inundação	0 (nota 2)
	Categoria 9	Assume-se para estas categorias,	V_{R9}
	Categoria 10	uma faixa de área inundada menor que 250 km ² o que corresponde a uma pequena área de alagamento/ inundação	0 (nota 2)

Notas:

1 - O valor econômico que um indivíduo está disposto a pagar para preservar os recursos culturais e históricos encontrados nas categorias da biorregião da Amazônia ou fora da biorregião da Amazônia reflete a probabilidade de perda destes recursos. Esta perda pode ser mais ou menos acentuada conforme o tamanho da área alagada e o número de recursos encontrados. No caso da biorregião da Amazônia, a chance de encontramos estes recursos nas áreas virgens é maior que nas áreas fortemente ocupadas e de expansão de fronteira. Para a biorregião fora da Amazônia, a probabilidade de perda varia em função do tamanho da área alagada e da proximidade de áreas já ocupadas (povoadas).

2 – Considerou-se que a probabilidade de perda das espécies nestas categorias é praticamente total, pois a chance de encontrar alguns recursos em áreas fortemente ocupadas (categorias 3 e 6) na biorregião da Amazônia e em áreas com densidade demográfica média (categoria 8 e 10) é muito pequena, quase nula. Logo, o valor econômico do recurso natural é nulo.

1.b.2 – RESSALVAS À APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE VALORAÇÃO CONTINGENTE DOS DANOS CAUSADOS AOS RECURSOS HISTÓRICOS E CULTURAIS PELA HIDRELÉTRICA

O Brasil ainda não tem conhecimento sobre os lugares certos onde se podem encontrar seus recursos culturais e/ou históricos. Existe a necessidade de pesquisa para descobrir esses locais, porém o investimento é baixo. Isto pode tornar a mensuração em torno destes recursos incerta, por falta de dados para a avaliação.

1.c – Benefícios obtidos com a criação de reservatórios

A criação de reservatórios a partir da inundação de áreas contribui para o aparecimento de novas oportunidades de recreação. Os tipos de atividades recreativas que podem surgir a partir da criação destes reservatórios são: a balneabilidade (banhos de rio), a pesca esportiva, a navegação e a estética (criação de novas paisagens).

Sendo assim, o processo de valoração considera a presença do reservatório como uma estimativa de benefício ambiental.

1.c.1 - APLICAÇÃO DE UMA METODOLOGIA DE VALORAÇÃO PARA OS BENEFÍCIOS SURTIDOS COM A CRIAÇÃO DE UM RESERVATÓRIO PELA HIDRELÉTRICA

Para se estimar o valor total dos benefícios em uma área com propósitos recreacionais a partir da criação de um reservatório, apresentamos uma metodologia de valoração que utiliza o custo de oportunidade dos gastos em recreação da população beneficiada com as atividades recreacionais do reservatório.

Assim, podemos estimar um custo que demonstre o quanto os beneficiados gastam atualmente para usufruir das atividades recreacionais. Assumimos que este valor (V_B) corresponde a uma percentagem da renda média mensal da população beneficiada.

Para se estimar este valor em cada categoria de empreendimento, sugere-se adotar os percentuais de renda familiar gastos por classe de renda da população da região onde os projetos iriam se instalar. Estes percentuais podem ser estimados através da pesquisa orçamentária familiar feita por classe de renda, por exemplo, na Pesquisa de Orçamento Familiar (POF) do IBGE.

Para extrapolar estes percentuais para os novos projetos, identifica-se na região onde se pretende instalá-los uma desagregação da população (estimada em domicílios) beneficiada por classe de renda. Multiplicando os percentuais pela renda média de cada classe de renda da população a ser beneficiada, calculamos o valor (V_B) a partir da seguinte equação IV.2.

$$V_B = f (\% \text{ adotado por classe de renda } i \text{ vs. Renda familiar da população beneficiada por classe de renda } i)$$

(Eq. IV.2)

Note que a percentagem neste caso é inferida por classe de renda da região onde o projeto deve ser instalado. Assumimos que o reservatório nestas regiões irá oferecer atividades recreativas substitutas

para as atuais. Esta é certamente um hipótese forte, mas, pelo menos, assume que os gastos com recreação são fixos.

Devemos, em seguida, conhecer o número de famílias da população beneficiada nestas áreas. Acredita-se que nas áreas pouco povoadas (de densidade demográfica baixa) da biorregião fora da Amazônia e nas áreas virgens da biorregião da Amazônia, o número de pessoas que utilizam os benefícios do reservatório é muito pequeno e, portanto, será considerado nulo

Dessa forma, esta valoração somente será processada nas áreas povoadas (áreas fortemente ocupadas da biorregião da Amazônia e áreas com uma densidade demográfica média na biorregião fora da Amazônia).

O valor econômico total dos benefícios (V_{TB}) a partir da criação de um reservatório em cada categoria de empreendimento hidrelétrico é obtido a partir do produto de duas variáveis: o número de famílias beneficiadas por classe de renda vezes o respectivo valor (V_B). Expressamos este valor (V_{TB}) a partir da seguinte equação IV.3.

$$\mathbf{V_{TB} = \text{número de famílias beneficiadas} * V_B} \quad (\text{Eq. IV.3})$$

O Quadro 31 demonstra as possibilidades encontradas para o valor dos benefícios com a criação do reservatório para as biorregiões da Amazônia e fora da Amazônia.

QUADRO 31 - O VALOR DO BENEFÍCIO AMBIENTAL PROVENIENTE DO RESERVATÓRIO PARA AS DIFERENTES CATEGORIAS ELABORADAS PARA A GERAÇÃO HÍDRICA

Categorias		Características dos categorias	Valor do benefício ambiental
Bioregião da Amazônia ⁽¹⁾	Categoria 1	Para as áreas virgens – categorias 1 e 4 - assume que não existam pessoas dispostas a usufruir do benefício, enquanto que nas outras regiões, existe um número de beneficiados interessados.	$V_{TB1} = 0$ (nota 2)
	Categoria 2		$V_{TB2} = \text{número de famílias beneficiadas}_2 * V_{B2}$
	Categoria 3		$V_{TB3} = \text{número de famílias beneficiadas}_3 * V_{B3}$
	Categoria 4		$V_{TB4} = 0$ (nota 2)
	Categoria 5		$V_{TB5} = \text{número de famílias beneficiadas}_5 * V_{B5}$
	Categoria 6		$V_{TB6} = \text{número de famílias beneficiadas}_6 * V_{B6}$
Biorregião fora da Amazônia ⁽¹⁾	Categoria 7	Para regiões mais povoadas (média densidade demográfica – categorias 8 e 10), deve existir um número de pessoas dispostas a usufruir do benefício, enquanto que nas regiões de baixa densidade demográfica (categorias 7 e 9), isto já não acontece.	$V_{TB7} = 0$ (nota 2)
	Categoria 8		$V_{TB8} = \text{número de de famílias beneficiadas}_8 * V_{B8}$
	Categoria 9		$V_{TB9} = 0$ (nota 2)
	Categoria 10		$V_{TB10} = \text{número de famílias beneficiadas}_{10} * V_{B9}$

Notas:

1 - O valor econômico total dos benefícios (V_{TB}) é demonstrado a partir do resultado da equação IV.3 encontrada em cada categoria.

2 - Nas áreas pouco povoadas (de densidade demográfica baixa) da biorregião fora da Amazônia - categoria 7 e 9 - e nas áreas virgens da biorregião da Amazônia - categoria 1 e 4, o número de pessoas que utilizam os benefícios do reservatório é muito pequeno e, assim, considerado nulo; enquanto que nas áreas povoadas (áreas fortemente ocupadas da biorregião da Amazônia e áreas com uma densidade demográfica média na biorregião fora da Amazônia), estima-se que este número seja diferente de zero.

1.c.2 - RESSALVAS À APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE VALORAÇÃO DOS BENEFÍCIOS SURGIDOS COM A CRIAÇÃO DE UM RESERVATÓRIO PELA HIDRELÉTRICA

Deve ser lembrado que utilizamos uma simplificação para valorar os benefícios provenientes da criação de um reservatório. Estimamos o valor gasto para usufruir dos benefícios e o número de visitantes em uma área através de uma aproximação feita com as hidrelétricas já existentes que fornecem benefícios semelhantes e de uma idéia que os visitantes identificados nestas áreas tenham a mesma opção de benefícios que os visitantes que irão usufruir de uma futura área.

1.d - Danos causados aos produtos extrativos madeireiros e não madeireiros

A perda gradativa da diversidade biológica do nosso planeta tem repercussões tão sérias quanto a maior parte dos outros problemas ambientais que aparecem. Apesar de sua importância, o conhecimento humano sobre os recursos biológicos é pequeno. Não se sabe ao certo a ordem de grandeza do número de espécies presentes na Terra.

Embora apresentem uma riqueza de espécies, as florestas tropicais são ecossistemas muito frágeis. Os solos dessas florestas são pobres, ao contrário da vegetação presente. São solos lateríticos, tipicamente pobres e constantemente lixiviados pela ação da água da chuva.

Quando a floresta é derrubada através de desmatamentos ou queimadas, existe um declínio natural na quantidade de nutrientes e o solo vai ficando empobrecido. A regeneração destas florestas é delicada e difícil. Algumas áreas de culturas madeireiras mostram que a regeneração destas florestas pode levar anos ou simplesmente não ocorrer, se o dano for extenso.

As áreas de florestas tropicais apresentam vários usos, como a extração de madeira de valor comercial, a rotação de culturas e a pecuária - que provavelmente não são sustentáveis. Mesmo que seja feita de forma seletiva, a extração da madeira danifica a cobertura vegetal e deixa a floresta suscetível a ocorrência de incêndios.

A perda de produtos extrativos madeireiros e não madeireiros também está relacionada com a inundação de áreas para a criação de reservatórios e o estabelecimento de uma infra-estrutura hidráulica. A submersão de grandes massas vegetais sujeitas à oxidação na água represada pode causar grandes danos a equipamentos da própria hidrelétrica (por exemplo, as turbinas). O estabelecimento de uma infra-estrutura hidráulica influencia o uso do solo, provocando a redução de superfícies com vegetação natural. Esta exploração intensifica as atividades ligadas à extração da madeira, porém prejudica outras atividades, como as atividades dependentes do solo.

A manutenção da flora terrestre nas margens do reservatório é essencial para que se evite danos à piscicultura, ao abastecimento d'água, à navegação, à recreação, ao turismo, à proliferação de doenças transmitidas por vetores aquáticos, deslizamentos e desmoronamentos.

1.d.1 - APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DA PRODUTIVIDADE MARGINAL PARA A VALORAÇÃO DOS DANOS CAUSADOS A PRODUTOS EXTRATIVOS MADEIREIROS E NÃO MADEIREIROS PELA HIDRELÉTRICA

As florestas tropicais devem ser vistas como bens econômicos. Estas fornecem bens de valor comercial imediato, dos quais são extraídos diretamente, a madeira e outros produtos da silvicultura, considerados "secundários", tais como, látex, nozes, frutas, etc.

Em termos econômicos, o que diferencia os subprodutos da floresta dos produtos comercializados pelo mercado, como a madeira, são: (Panayotou & Ashton, 1992)

- a maior variedade de espécies e de produtos;
- a menor frequência dos ciclos das colheitas;
- a menor colheita por unidade de floresta natural;
- a vulnerabilidade com relação à substituição por produtos plantados artificialmente ou sintetizados em laboratório.

A valoração dos recursos florestais madeireiros e não-madeireiros concentra-se na mensuração do valor de uso direto dos indivíduos, associados à exploração sustentável das florestas tropicais.

Este estudo busca apresentar estimativas relativas à capacidade de uma área de floresta tropical prover bens com valor de mercado, através da utilização do método da produtividade marginal. Na verdade, busca-se mensurar a magnitude do valor monetário que pode ser extraído da venda de produtos gerados em uma área de floresta.

O método da produtividade marginal assume que os preços permanecerão constantes perante as mudanças na provisão do insumo ou fator de produção ambiental. Para modular esta hipótese, busca-se a utilização de um horizonte temporal de no mínimo dois anos, que representa o tempo relevante para a tomada de decisão do produtor local (Peters et al., 1989). Acredita-se que os cálculos realizados com o valor presente líquido, baseados em preços constantes, funcionem como úteis indicadores econômicos para a comparação de opções de uso da terra para as florestas.

A seguir serão demonstradas as etapas para se chegar ao valor econômico do recurso ambiental. A metodologia sugerida é baseada no estudo de Peters et al., 1989 e Pinedo-Vasquez et al., 1992.

1ª Etapa: O primeiro passo para mensurar o valor dos recursos não-madeireiros e madeireiros é **realizar um inventário de recursos madeireiros e não madeireiros na região a ser impactada**. Este inventário consiste em reunir os dados quantitativos sobre as espécies vegetais estimadas na área a ser inundada. Para a exploração e uso dos recursos madeireiros, deve-se inventariar as

árvores com um determinado diâmetro mínimo que é estabelecido pela instituição responsável em preservar os recursos naturais da área.

Deve-se coletar dados (quantidade) de espécies vegetais que produzem produtos extrativos não madeireiros com valor comercial (frutas comestíveis, etc.) dentro desta área. A quantidade de espécies varia de acordo com a área. O que interessa é que se consiga uma amostra representativa dos recursos madeireiros e não madeireiros.

2ª Etapa: O segundo passo é **verificar a taxa de produção anual** para todas as árvores frutíferas e palmeiras presentes na área de amostragem. O procedimento utilizado é a contagem e pesagem de todas as frutas produzidas por uma subamostra de árvores adultas. Na ausência ou na dificuldade de obter os dados de produção realiza-se entrevistas com coletores locais ou faz-se uma projeção da produção dos últimos cinco anos, por exemplo.

Para a madeira, o volume comercializado de cada árvore utilizada se dá através de equações que relacionam o diâmetro na altura do peito com a altura comercial. A extração periódica dos recursos madeireiros também deve ser estabelecida e equivalente a quantidade máxima que pode ser coletada de maneira sustentável e compatível com a exploração dos recursos não madeireiros.

3ª Etapa: A terceira etapa é **levantar o valor corrente de mercado** para todas as espécies. Os preços médios de revenda das diferentes frutas florestais podem ser obtidos pela realização de pesquisas mensais no mercado, onde é comercializado o produto.

Devem ser consideradas as estimativas relacionadas ao trabalho necessário para a produção das atividades extrativas, através de entrevistas e da observação direta das técnicas locais de extração, ou seja, quanto se paga por dia trabalhado, tendo como referência o salário mínimo praticado no país durante aquele ano.

Os dados relativos aos custos e preços dos recursos madeireiros podem ser conseguidos por meio de informações adquiridas nos órgãos competentes e de entrevistas com operadores independentes de serrarias na região a ser pesquisada.

4ª Etapa: Por fim, **o valor econômico do recurso ambiental** proveniente de atividades extrativas madeireiras e não madeireiras é a receita total líquida gerada para a exploração dos produtos em cada categoria de empreendimento. Sendo que a receita total líquida (unidades monetárias por área) é o resultado da quantidade total recolhida de produtos naquela área a ser impactada multiplicada pela diferença entre preço médio destes e os custos de coleta, transporte e de trabalhadores.

Logo, o valor econômico do recurso ambiental (VE_R) - Equação IV.4 - é

$$VE_R / \text{área} = (P_P - CT) * \Delta Q / \text{área}$$

(Eq. IV.4)

Onde,

P_p corresponde ao preço do produto P, que é igual a uma constante (unidades monetárias por quantidade de produto);

$\Delta Q/\text{km}^2$ corresponde ao estoque de produtos P face a variação na quantidade do recurso natural (quantidade de produto por área - km^2) na área a ser impactada;

CT corresponde aos custos de coleta, transporte, trabalhadores e etc. (unidades monetárias por quantidade de produto) .

Na verdade, a receita líquida gerada não pode ser calculada apenas num período. É necessário a inclusão das receitas líquidas futuras. Nesse sentido, deve-se adotar um modelo simples para calcular o valor presente líquido, onde a receita líquida produzida em cada ano é mensurada com base numa taxa de desconto livre de inflação.

No Quadro 32 apresentamos as hipóteses verificadas para a valoração dos produtos extrativos madeireiros e não madeireiros.

QUADRO 32 - O VALOR DO DANO AMBIENTAL SOBRE OS PRODUTOS EXTRATIVOS PARA AS DIFERENTES CATEGORIAS ELABORADAS PARA A GERAÇÃO HÍDRICA UTILIZANDO O MÉTODO DE PRODUTIVIDADE MARGINAL

Categorias		Características das categorias	Valor do dano ambiental
Biorregião da Amazônia ⁽¹⁾	Categoria 1	Assume-se para estas categorias, uma faixa (A_1) de área inundada maior que 250 km^2 o que corresponde a uma grande área de alagamento/ inundação	$(VE_{R1} / \text{área}) * A_1$
	Categoria 2		$(VE_{R2} / \text{área}) * A_1$
	Categoria 3		$(VE_{R3} / \text{área}) * A_1$
	Categoria 4	Assume-se para estas categorias, uma faixa (A_2) de área inundada menor que 250 km^2 o que corresponde a uma pequena área de alagamento/ inundação	$(VE_{R4} / \text{área}) * A_2$
	Categoria 5		$(VE_{R5} / \text{área}) * A_2$
	Categoria 6		$(VE_{R6} / \text{área}) * A_2$
Biorregião fora da Amazônia ⁽¹⁾	Categoria 7	Assume-se para estas categorias, uma faixa (A_1) de área inundada maior que 250 km^2 o que corresponde a uma grande área de alagamento/ inundação	$(VE_{R7} / \text{área}) * A_1$
	Categoria 8		$(VE_{R8} / \text{área}) * A_1$
	Categoria 9	Assume-se para estas categorias, uma faixa (A_2) de área inundada menor que 250 km^2 o que corresponde a uma pequena área de alagamento/ inundação	$(VE_{R9} / \text{área}) * A_2$
	Categoria 10		$(VE_{R10} / \text{área}) * A_2$

Notas:

1 - O valor econômico de um produto proveniente de uma determinada área que será inundada nas biorregiões da Amazônia e fora da Amazônia é expresso pela equação IV.4. Portanto, este valor é igual a VE_R unidades monetárias por área e equivale a variação na quantidade do recurso natural multiplicada pela diferença entre o preço do produto e os custos de coleta, etc. Para as três primeiras categorias da biorregião da Amazônia, considera-se que a faixa de área inundada é maior que 250 km^2 e para o restante das categorias nesta biorregião, temos uma faixa de área inundada menor 250 km^2 . Assim, teremos para esta biorregião seis diferentes valores de dano ambiental pois o valor econômico do produto é diferente para cada categoria.

Para a biorregião fora da Amazônia, verificamos que as duas primeiras categorias (7 e 8) se inserem numa faixa de área inundada maior que 250 km^2 , enquanto que nas duas últimas categorias, uma faixa menor que 250 km^2 .

1.d.2 - RESSALVAS À APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE PRODUTIVIDADE MARGINAL PARA O DANO CAUSADO ÀS ESPÉCIES EXTRATIVAS PELA HIDRELÉTRICA

A imprevisibilidade da oferta de alguns dos produtos extrativos da floresta dificulta a sua comercialização por parte dos agentes econômicos constituídos, principalmente os produtos perecíveis, como as frutas e as nozes e a caça e pesca selvagem que sofrem desta limitação. Não há suficiente volume de produção por área para garantir uma oferta regular.

Existe uma dificuldade na obtenção do valor de mercado para estes produtos, em decorrência da (Rosa, L.P., 1996):

- distribuição das espécies de árvores produtoras pela floresta ser muito espaçada, o que dificulta o desenvolvimento de mercados para estes produtos e a manutenção de padrões de qualidade.
- alguns produtos são processados e comercializados apenas localmente, outros têm expressão nacional e outros, ainda, como é o caso da castanha-do-pará, servem a todos os mercados e são até exportados. O fato desses subprodutos não ingressarem nas estatísticas oficiais já é o indicador da subestimação da importância atribuída a eles na economia local e nacional (por exemplo, o babaçu).
- a existência de uma distorção no preço da madeira e de outros produtos extrativos.

A causa das distorções atualmente presentes no preço da madeira decorre das muitas políticas governamentais equivocadas surgidas a partir da não valoração de um bem, como por exemplo (Rosa, L.P., 1996):

- as florestas fornecem uma grande variedade de subprodutos; mesmo quando gerenciadas para apenas um fim, seja por exemplo para produção de madeira, ou fornecem outros subprodutos, que não estão adequadamente refletidos no preço da madeira;
- a madeira e outros produtos florestais requerem muito tempo para regeneração, e são resultado de lentos e complexos processos biológicos. O mercado não é capaz de lidar com horizontes de tempo tão longos;

- existe pouco conhecimento e pesquisa científica sobre as utilidades potenciais da maioria dos produtos florestais, principalmente das florestas tropicais;
- os benefícios advindos dos produtos florestais, principalmente os extrativos não madeireiros, são auferidos pelas populações locais, em sua maior parte compostas de trabalhadores rurais, colonos pobres e populações indígenas, cujas demandas encontram-se fora dos mercados tradicionais (Rosa, L.P., 1996).

Ilustramos aqui um exemplo da importância de se estudar as atividades extrativas não madeireiras. Há muitas vantagens na manutenção das atividades extrativas para gerar renda que seja comparável a outras atividades econômicas. Um estudo de Myers (1986) da Amazônia concluiu que 1 km² de floresta úmida, se gerenciado de forma sustentável, poderia gerar uma renda da ordem de pelo menos US\$ 20.000 anuais, ou US\$ 200 por hectare, apenas a partir de produtos extrativos. A curto prazo, uma única coleta de toras de madeira de qualidade demonstrou ter um valor muito maior do que este. A longo prazo, o investimento proveniente de atividades extrativas tem potencialmente maior retorno do que a atividade madeireira, que depende de longos períodos de regeneração e é insustentável, ou seja, termina por exaurir a base do recurso natural. Além disso, mesmo as atividades comprovadamente lucrativas, como a agricultura e a pecuária, tornam-se economicamente inviáveis na Amazônia, devido ao clima e aos altos custos de fertilização (Fearnside, 1990).

1.e - Danos causados às espécies vegetais²⁷ - plantas medicinais - que contribuem para o desenvolvimento de novas drogas

A descoberta de novos recursos genéticos²⁸, provenientes de florestas de áreas tropicais, permite o desenvolvimento de novos produtos farmacêuticos e sementes agrícolas.

Com a variedade de espécies vegetais presentes, principalmente na Amazônia (Quadro 33), novas fronteiras de pesquisa devem ser abertas.

QUADRO 33 – ESPÉCIES VEGETAIS ENCONTRADAS NA AMAZÔNIA²⁹

Plantas com potencial medicinal e/ou industrial		
Abricó - <i>Mammea americana</i>	Curuá piranga - <i>Attaleas spectabilis</i>	Paca-pia - <i>Favillea trilobata</i>
Andiroba - <i>Carapas guianensis</i>	Curuá pixuna - <i>Orbignia pixuna</i>	Pajurá - <i>Rosa coupeira bracteosa</i>
Andorinha - <i>Amonea</i>	Curuá-y - <i>Atalea agrestis</i>	Patauá - <i>Oenocarpus batauá</i>
Assacú - <i>Hura crepitans</i>	Curupira - <i>Rosa couepia</i> (espécie não identificada)	Pente de macacaco - <i>Tilia apeiba tibourbou</i>
Açaí - <i>Palmae euterpe oleracea</i>	Fava de arara - <i>Hippocrata hipocratea volubilis</i>	Piassavas - <i>Attaleas funifera</i>
Babaçú - <i>Orbignia speciosa</i>	Fava de empinagem - <i>Vatairea guianensis</i>	Piquiá - <i>Caryocar villosum</i>
Bacaba - <i>Oenocarpus distichus</i>	Fel de paca - <i>Curcubita favillea tribolata</i>	Piquiarana - <i>Caryocar glabrum</i>
Bacabinha - <i>Oenocarpus minor</i>	Inajá'y - <i>Cocos inajá</i>	Piririma - <i>Cocos syagrus</i>
Bacuri-Platonia - <i>Insigninis</i>	Inajá - <i>Maximiliana regia</i>	Pracachy - <i>Pentacletrha filamentosa</i>
Bacuripari - <i>Rheedia macrophylla</i>	Indaya-Assú - <i>Orbignia macrocarpa</i>	Pupunha - <i>Guiljelma speciosa</i>
Baratinha - <i>Caraipa minor</i>	Indaya Verdadeira - <i>Orbignia campestris</i>	Pupunha de Porco - <i>Cocos aequatorialis</i>
Breú - <i>Protium heptaphyllum</i>	Jaboti - <i>Erisma calcaratum</i>	Jacitara - <i>Desmoncus paraensis</i>
Burití - <i>Mauritia vinifera</i>	Jareua - <i>Cocos syagrus inaja-í</i>	Pupunha Rana - <i>Cocos speciosa</i>
Cabeça de Urubú - <i>S.theobroma obovatum</i>	Jatahy - <i>Cocos jatahy</i>	Quaruba - <i>Erisma uncinatum</i>
Cacaú do Perú - <i>S.theobroma bicolor</i>	Jauari - <i>Astrocaryum jauary</i>	Saboneteiro - <i>Sapinda sapindus saponaria</i>
Cacau azul - <i>S.theobroma spruceanum</i>	Jarai Uva - <i>Cocos leopoldinia pulchra</i>	Sapucaia - <i>Lecythida Lecythis usitata</i>
Cacau-i - <i>S. theobroma speciosum</i>	Jorro-Jorro - <i>Thevita nereifolia</i>	Sapucaí assú - <i>L. lecythis paraensis</i>
Cacau quadrado - <i>S.theobroma atrorubens</i>	Jupaty - <i>Raphia vinifera</i>	Seringueira - <i>Heveas brasiliensis</i>
Caiaué - <i>Elaeis melanococca</i>	Mamorana - <i>Bomba bombax aquaticum</i>	Sumaumá - <i>Bomba ceiba pentandra</i>
Cajú - <i>Anacardium anacardium occidentale</i>	Mamorana Grande - <i>B. bombax spruceanum</i>	Tacacazeiro - <i>Sterculia speciosa</i>
Cajú do mato - <i>A. anacardium giganteum</i>	Mamorana Pequena - <i>B. paquira insignis</i>	Tamaquaré - <i>Caraipa lacerdae Barb</i>
Cajú assu - <i>A. anacardium spruceanum</i>	Marajá - <i>Bactrix marajá</i>	Taquari - <i>Mabea</i>
Caraná- <i>Mauritia martiana</i>	Marajássú - <i>Bactrix marajá assú</i>	Tucumã - <i>Astrocariuyum tucumã e A. vulgare</i>
Castanha de anta - <i>Rosa couepia</i> (espécie não identificada)	Marajá da Mata - <i>Bactrix pirenga</i>	Uanani - <i>Symphonia globulifera</i>
Castanha de arara - <i>Joannesia heveoides</i>	Marajárana - <i>Bactrix granurioscarpa</i>	Uchí - Pucú - <i>Humiria saccoglottis uch</i>
Castanha de macaco - <i>Salacia</i>	Marfinzeiro - <i>Agronandra brasiliensis</i>	Uchi - Curuá - <i>H. sacoglosttis verrucoso</i>
Castanha do Pará - <i>Lecythida bertholletia excelsa</i>	Mari-rana - <i>Rosa couepia subcordata</i>	Ucuhúba Branca - <i>Virola</i>
Churu - <i>Goeldina excelsa</i>		
Ciambo - <i>Oenocarpus multicaulis</i>		
Comaca-y - <i>Thymela lophostoma calophiloides</i>		
Comadre do Azeite - <i>Onphalea diandra</i>		
Compadre do Azeite - <i>Elaophora abutaefolia</i>		

²⁷ Podemos também nos referir a espécies animais.

²⁸ O nome deste processo é bioprospecção.

²⁹ Escolheu-se as espécies encontradas na Amazônia em decorrência da literatura vasta.

<p>Cumarú - <i>Coumarouma odorata</i> Cumarú sem cheiro - <i>Coumarouma polyphylla</i> Cumarurana - <i>Taralia oppositifolia</i> Cupuaçu - <i>Sterculia theobroma grandiflorum</i> Cupuaçu-Rana - <i>Bomba matisia</i> Cupuí - <i>S. theobroma subincanum</i> Curuátinga - <i>Attalea monosperma</i> Breu branco - <i>Protim heptaphyllum</i> Copaiba - <i>Copaiphera multijuga</i></p>	<p>Mahuba - <i>Clinostemon mahuba</i> Miriti - <i>Mauritia flexuosa</i> Mucajá - <i>Acrocomia sclerocarpa</i> Mumbaca - <i>Astrocaryum mumbaca</i> Mumbacassu - <i>Astrocarium rodriguesii</i> Munguba - <i>Bomba bombax munguba</i> Murumurú - <i>Astrocarium murumuru</i> Murumurú-iry - <i>Astrocarium farinosum</i></p>	<p><i>surinamensis</i> Ucuhúba Vermelha - <i>Virola sebifera</i> Ucuhúba-Rana - <i>Iryanthera sagostiana</i> Umarí - <i>Icacina poraqueiba paraensis</i> Umarí do Amazonas - <i>I. poraqueiba serica</i> Umarí bravo - <i>I. poraqueiba guianensis</i> Urucurí - <i>Attalea excelsa</i> Uacú - <i>Monopterix uacú</i></p>
---	--	--

Fonte: Pavarini, 1998.

Muitos produtos farmacêuticos são derivados de substâncias advindas de artrópodes e da fauna marinha venenosa e possuem qualidade anti-microbiana, anti-virais e cardioativas. A partir de fungos e micróbios é que foram desenvolvidos os antibióticos (mais de 300). Portanto, a utilização da biodiversidade para fins medicinais não apenas se restringe às plantas.

A relação de produtos farmacêuticos de sucesso derivados de compostos naturais é imensa. Os mais conhecidos são:

- Augmentin, um antibiótico e a oitava droga mais vendida no mundo em 1996,
- Mevacor, um redutor de colesterol, é um dos principais medicamentos da Merck,
- Ceclor, Rocephin, entre vários outros.

Os desmatamentos, as inundações de áreas para a criação de reservatórios e a implementação de uma infra-estrutura hidráulica que ocorrem no meio natural vem excluir e reduzir o número de espécies vegetais.

Existe a necessidade de se manter um acervo de recursos genéticos para o desenvolvimento futuro da pesquisa de novas drogas, novas curas e sementes agrícolas. O valor intrínseco encontrado nessas espécies chamamos de valor de opção (vide Capítulo II).

A indústria farmacêutica é a que mais se utiliza da bioprospecção e tem feito associações com institutos de pesquisa ou empresas que lhes permitam ter acesso direto à biodiversidade ou à biblioteca de compostos naturais já pesquisados.

Também, encontramos alguns resultados de melhoria da produtividade na agricultura através da pesquisa de recursos genéticos selvagens. Os avanços biotecnológicos permitem os cientistas testarem e manufaturarem os produtos sintéticos a partir dos recursos genéticos *in natura*.

1.e.1 – APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE VALORAÇÃO ECONÔMICA DECORRENTE DAS PERDAS DE ESPÉCIES VEGETAIS QUE POSSAM CONTRIBUIR PARA A ELABORAÇÃO DE NOVAS DROGAS

O valor de mercado dos produtos obtidos através da bioprospecção não é a melhor maneira de expressar de forma realista o valor dos recursos genéticos na natureza, mas é a única até então. Na verdade, o valor destes recursos está na manipulação do material genético que tem por finalidade fornecer produtos para serem usados pelos seres humanos.

Os lucros justificam as grandes despesas realizadas com a pesquisa e desenvolvimento (P&D) antes da comercialização efetiva do produto.

A seguir, apresentamos as etapas para mensurar o valor de mercado dos recursos (espécies vegetais) que contribuem para novas drogas. A metodologia sugerida baseia-se nos estudos de Pavarini (1998) e Pearce & Moran (1994).

Para valorar os danos sofridos pelas plantas medicinais, o primeiro passo é identificar a variedade de espécies presentes nas biorregiões da Amazônia e fora da Amazônia que possam permitir o desenvolvimento de novas drogas. Sugere-se fazer um levantamento das espécies que possam vir a ser insumos de novos produtos nos institutos de pesquisas. O Quadro 35 do apresentou um grupo de espécies vegetais (110 espécies) encontradas na Amazônia apropriadas para o desenvolvimento destes novos produtos.

Faz-se necessário conhecer e levantar os investimentos em P&D para obter novos produtos, considerando que deve-se conservar os recursos genéticos intocados na natureza. Uma vez que sem estes, o desconhecimento acerca de seu valor certamente levaria à subvalorização, gerando um desencadeamento da sobre-exploração e incentivando a destruição das espécies. Assim sendo, diz-se que a valorização de recursos genéticos depende diretamente do tamanho do orçamento dedicado à P&D, tanto pela iniciativa privada quanto através dos órgãos de governo.

Deve-se conhecer a maneira como se faz os pagamentos sobre as companhias que exploram a biodiversidade para produzir novas drogas aos institutos responsáveis pela conservação. Isto indica que a comercialização do material biológico deve ser regulado por acordos bilaterais.

Segundo a pesquisa realizada por Pavarini (1998), os pagamentos realizados costumam ser de US\$ 50 a US\$ 200 por exemplar, valores muito abaixo dos conseguidos pelo Instituto Nacional de Biodiversidade da Costa Rica - INBio³⁰, calculados em torno de US\$ 500 por exemplar. Porém, estes valores não mostram todo o potencial que a bioprospecção pode proporcionar, em termos de arrecadação.

³⁰ Esta instituição tem como objetivo inventariar a biodiversidade nacional (Costa Rica), buscando meios para conservá-la e promover seu desenvolvimento sustentável.

Com a crescente agregação de valor, através de pesquisas mais aprofundadas pelos países de origem, estima-se que possam ser obtidos *royalties* de indústrias farmacêuticas, no caso dos produtos chegarem a ser comercializados, de acordo com o Quadro 34.

QUADRO 34 - PARTICIPAÇÃO DAS VENDAS LÍQUIDAS DOS PRODUTOS FARMACÊUTICOS

Condições dos exemplares	% das vendas líquidas
Sem pesquisa alguma	1 - 6
Informações pré-clínicas	5 - 10
Identificado e com dados sobre sua eficácia	10 - 15

Fonte: Beese (1996)

Apresentamos a seguir as etapas para a valoração das perdas de espécies vegetais que contribuem para a elaboração de novas drogas.

1ª Etapa: Para **estabelecer a projeção de receitas (Receitas) para a bioprospecção**, deve-se fazer estimativas, considerando a probabilidade de descoberta de novas drogas a partir de compostos naturais, os pagamentos por exemplares, os *royalties*, as taxas de juros e os prazos de desenvolvimento dos produtos. Logo:

Receitas = f (probabilidade de novas descobertas, pagamentos por exemplares, royalties, taxa de juros e prazos de desenvolvimento dos produtos)

Observamos no Quadro 34, três faixas de recebimentos de *royalties* pagos por empresas farmacêuticas que participariam do processo de pesquisa e teriam a patente do produto. As outras variáveis serão consideradas fixas, conforme verifica-se no Quadro 35 a seguir.

QUADRO 35 - ESTIMATIVA DE VARIÁVEIS PARA CENÁRIOS A LONGO PRAZO

Premissas básicas	Valores usados nas projeções	Faixa de variação
Tempo de pesquisa	12 anos	9 - 15 anos
Pagamento por composto	R\$ 200,00	R\$ 50 - R\$ 200
<i>Royalties</i>	5%	1% - 5%
	10%	5% - 10%
	15%	10% - 15%
Taxa de juros no Brasil	20%	15% - 25%
Vendas anuais com a droga	R\$ 500 milhões	R\$ 100 milhões a R\$ 2 bilhões
Probabilidade de sucesso em números de compostos	1/12.000	1/10.000 - 1/15.000

Fonte: Pavarini, 1998.

2ª Etapa: Portanto, para **calcularmos o valor presente dos royalties resultantes de uma bioprospecção** envolvendo um número n de compostos em uma determinada área para o desenvolvimento de um medicamento com vendas anuais após anos de pesquisa; sugere-se o seguinte procedimento:

- **verifica-se o valor pago por composto**
- **calculam-se os royalties totais pagos até o prazo final da pesquisa**

$$= (\% \text{ de royalties pagos}) \cdot (\text{total de vendas anuais com a droga}) \cdot (\text{probabilidade de sucesso com novas drogas})$$

- **calcula-se o valor presente dos royalties**

$$= (\text{royalties totais pagos até o prazo final da pesquisa}) / (1 + i)^n$$

Onde,

i corresponde a taxa de juros no Brasil (%);

n corresponde ao prazo de pesquisa (anos)

- **calcula-se o valor presente esperado para um conjunto de n compostos (V_D) de uma determinada área** que é a soma do valor presente dos royalties e o valor do composto no primeiro ano. Este resultado é multiplicado pelo número total de compostos, como é apresentado na equação IV.5.

$$= [(\text{valor presente dos royalties}) + \text{valor pago por composto}] \cdot \text{número total de compostos}$$

O Quadro 36 demonstra o valor do dano ambiental para as espécies que permitem o desenvolvimento de novas curas em cada categoria de empreendimento.

QUADRO 36 - O VALOR DO DANO AMBIENTAL SOBRE AS PLANTAS MEDICINAIS PARA AS DIFERENTES CATEGORIAS ELABORADAS PARA A GERAÇÃO HÍDRICA

Categorias		Características das categorias	Valor do dano ambiental
Biorregião da Amazônia ⁽¹⁾	Categoria 1	Assume-se para estas categorias,	$(V_{D1} / \text{área}) * A_1$
	Categoria 2	uma faixa (A_1) de área inundada	$(V_{D2} / \text{área}) * A_1$
	Categoria 3	maior que 250 km ² o que corresponde a uma grande área de alagamento/ inundação	$(V_{D3} / \text{área}) * A_1$
	Categoria 4	Assume-se para estas categorias,	$(V_{D4} / \text{área}) * A_2$
	Categoria 5	uma faixa (A_2) de área inundada	$(V_{D5} / \text{área}) * A_2$
	Categoria 6	menor que 250 km ² o que corresponde a uma pequena área de alagamento/ inundação	$(V_{D6} / \text{área}) * A_2$
Bioregião fora da Amazônia ⁽¹⁾	Categoria 7	Assume-se para estas categorias,	$(V_{D7} / \text{área}) * A_1$
	Categoria 8	uma faixa (A_1) de área inundada maior que 250 km ² o que corresponde a uma grande área de alagamento/ inundação	$(V_{D8} / \text{área}) * A_1$
	Categoria 9	Assume-se para estas categorias,	$(V_{D9} / \text{área}) * A_2$
	Categoria 10	uma faixa (A_2) de área inundada menor que 250 km ² o que corresponde a uma pequena área de alagamento/ inundação	$(V_{D10} / \text{área}) * A_2$

Notas:

1 - O valor econômico de um bem natural em uma determinada área que produz um produto que possibilite o desenvolvimento de novas drogas é de V_D unidades monetárias por área. Este cálculo deve ser verificado para cada categoria de empreendimento. Para as três primeiras categorias da biorregião da Amazônia, considera-se que a faixa de área inundada é maior que 250 km² e para o restante das categorias nesta biorregião, temos uma faixa de área inundada menor 250 km². Assim, teremos para esta biorregião seis diferentes valores de dano ambiental pois o valor econômico do produto é diferente para cada categoria.

Para a bioregião fora da Amazônia, verificamos que as duas primeiras categorias (7 e 8) se inserem numa faixa de área inundada maior que 250 km², enquanto que nas duas últimas categorias, uma faixa menor que 250 km².

1.e.2 - RESSALVAS À APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE VALORAÇÃO PARA O DANO CAUSADO ÀS ESPÉCIES VEGETAIS QUE CONTRIBUEM PARA NOVAS DROGAS PELA HIDRELÉTRICA

Deve-se tomar muito cuidado ao utilizar os parâmetros necessários para a projeção da receita gerada pelos compostos, pois as variações nas premissas podem modificar completamente os resultados. Isto pode ser verificado na diferença entre os valores encontrados nos compostos que oferecem maiores valores agregados, podendo gerar até mais do que o dobro da receita gerada pelos compostos básicos. A diferença entre eles está exatamente na qualidade e na quantidade de pesquisa embutida nos compostos ofertados. Logo, a estimativa da projeção de receitas é muito arriscado, ainda mais considerando o longo prazo de desenvolvimento dos medicamentos.

Os *royalties* diferem amplamente nos contratos entre as instituições. Por exemplo, quando se compara os valores dos contratos entre o INBio e a Merck, e o da AMRAD e a Rhône-Poulanc Rorer. Enquanto o INBio recebe US\$ 1 milhão por cada dois anos o que corresponde a 2 - 6% de vendas do medicamento, a AMRAD receberá US\$ 9,3 milhões em cinco anos (Pavarini, 1998).

As companhias multinacionais têm grande poder no mercado e investem na elaboração de novos produtos. Isto acaba por estabelecer direitos sobre os recursos genéticos na ausência de estruturas organizadas, legislações e contratos rígidos.

1.f - Danos causados à biodiversidade – funções ecossistêmicas: seqüestro de carbono

Mais uma vez, a biodiversidade participa do sistema produtivo. Especificamente, analisamos o papel que um determinado serviço ambiental provido pela biodiversidade, é desempenhado como sendo uma função de suporte e proteção às atividades econômicas.

O valor deste serviço provém de áreas intocadas ou ainda em estado quase natural. Por isso, a preocupação com os impactos que porventura surjam com a inundação de áreas para a criação de reservatórios e a construção de hidrelétricas.

Há espécies vegetais que podem ser extraídas ou utilizadas, sem prejuízo para o funcionamento do ecossistema, e outras cuja perda causarão uma lesão no equilíbrio ecológico.

Do ponto de vista econômico, podemos verificar a importância de uma das funções ecossistêmicas da floresta tropical em relação ao valor econômico total deste recurso ambiental (Quadro 37). Em nível local e global, a floresta é utilizada como estoque de carbono. Na verdade, estamos estimando o valor econômico deste serviço ambiental, ou seja, atribuímos um valor de uso relacionado ao papel da biodiversidade como prestadora de um serviço ambiental.

QUADRO 37 - VALORES DO ECOSISTEMA - FLORESTA TROPICAL (US\$/HA)

(VALOR PRESENTE PARA UMA TAXA DE DESCONTO DE 5% AO ANO E DURANTE 20 ANOS)

Benefícios	Local	Global	Local e Global
Valor de uso direto			
▪ Plantas medicinais	250 - 750	12 - 250	262 - 1000
▪ Turismo	20 - 1250		20 - 1250
▪ Produtos "menores" do extrativismo	> 0 - 7000		> 0 - 7000
Valor de uso indireto			
▪ Estoque de carbono	0	1000 - 4000	1000 - 4000
▪ Controle da vazão de água	23		23
Valor de não-uso		5	5
Total	> 293 - 9023	1017 - 4255	1310 - 13278

Fonte: Pearce, D.& Moran, D., 1994.

Esta função adquire tal relevância a partir de projetos de reflorestamento de múltiplos usos, da conservação de florestas primárias, da recuperação e manejo de florestas secundárias e das mudanças no uso do solo. Considerando estas atividades, o Brasil se torna o país que possui as maiores possibilidades para contribuir com o seqüestro de carbono e/ou gás carbônico em larga escala.

A substituição da cobertura vegetal natural de um ecossistema, seja por culturas agrícolas, por pastagens, por florestas plantadas, por atividades madeireiras ou até mesmo pela remoção total para dar lugar ao reservatório de uma hidrelétrica, resulta em alterações na quantidade de biomassa atual

em relação à biomassa original. A redução do estoque de biomassa original implica na emissão líquida do gás carbônico, que é um dos principais gases que causam o efeito estufa para a atmosfera.

Portanto, uma forma de avaliar a quantidade de carbono liberado na conversão da floresta em uma das atividades econômicas (Quadro 38) é determinar a diferença entre o valor do carbono estocado de uma floresta virgem e a quantidade de biomassa perdida como resultado de cada uso do solo. No caso da remoção total da cobertura vegetal, o carbono liberado equivale a quantidade de carbono original da floresta disseminada.

QUADRO 38 - EMISSÃO DE CARBONO A PARTIR DA CONVERSÃO DE FLORESTAS TROPICAIS (TC/HA).

	Quantidade de carbono	Agricultura rotativa	Agricultura permanente	Pecuária	Exploração da madeira (intensiva)	Exploração da madeira (extensiva)
Quantidade de carbono		79	63	63	107	146
Floresta primária fechada	283	- 204	- 220	- 220	- 176	- 137
Floresta secundária fechada	194	- 115	- 131	- 131	- 87	-48
Floresta aberta	115	- 36	- 52	- 52	- 8	31

Fonte: Elaboração própria a partir de Pearce & Moran (1994) e Pearce et al.(1995)

O valor negativo no Quadro 38 representa a emissão (perda ou liberação) de carbono a partir da implementação de uma atividade em substituição a floresta original, enquanto que os valores positivos (sem sinal) significam o estoque original de carbono. A queima da cobertura vegetal produz uma imediata liberação de gás carbônico.

Por outro lado, o incremento do estoque de biomassa de uma determinada área leva ao seqüestro ou à incorporação do gás carbônico na biomassa vegetal. Do ponto de vista do balanço global das emissões, esta última função é uma das possibilidades que permite a manutenção deste balanço ou mesmo a redução das concentrações atuais na atmosfera. Podemos dizer então que, na verdade, as florestas possuem duas funções no balanço climático global, de sumidouro e também de fonte de emissão de carbono.

Muitos autores consideram as florestas boreais e temperadas como sumidouros de carbono (Dixon, J.A. et al. 1994). Por outro lado, as florestas tropicais são consideradas como fonte de aumento do efeito estufa, pois emitem grandes quantidades de gás carbônico devido ao desmatamento (Salati, 1998).

O Brasil com sua extensão (8,45 milhões de km²) apresenta grandes áreas cobertas por florestas tropicais nativas e florestas implantadas de múltiplos usos e possui um papel de grande relevância no balanço de gás carbônico global. Portanto, o país pode contribuir com alternativas concretas para

mitigação do efeito estufa através do seqüestro de carbono com a diminuição das taxas de desmatamento.

1.f.1 – APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE VALORAÇÃO DOS DANOS CAUSADOS À BIODIVERSIDADE – FUNÇÕES ECOSISTÊMICAS: SEQÜESTRO DE CARBONO

As etapas para a valoração deste serviço ambiental específico das florestas são demonstradas a seguir. Os procedimentos para esta valoração foram baseados nos estudos de Salati (1998) e Pearce et all. (1994).

Para este tipo de mensuração, deve-se ter uma boa idéia do que ainda resta de cobertura vegetal nos ecossistemas brasileiros, ou seja, o que ainda não foi desmatado pelo homem. A cobertura vegetal tem uma grande importância na função de suporte e proteção às atividades econômicas, de equilíbrio ecológico e de atuar como estoque de carbono. Esta última função permite estabelecer o equilíbrio global do gás carbônico no planeta, evitando o acúmulo deste gás na atmosfera, o que contribuiria para o efeito estufa.

A metodologia de valoração dos danos à biodiversidade a partir da determinação da quantidade de carbono existente na biomassa vegetal, ou melhor, da quantidade de carbono que foi liberada quando houve a devastação da biomassa existente em uma área é aplicada em etapas a seguir.

1ª Etapa. Deve-se **determinar a quantidade de carbono liberado na conversão da floresta em uma atividade econômica**. O carbono será liberado em diferentes taxas (tonelada de carbono por área – tC/km²) de acordo com o método de substituição da floresta tropical (primária fechada, secundária fechada ou floresta aberta) por uma atividade de uso e ocupação do solo (agricultura extensiva ou pecuária ou agricultura rotativa ou outras atividades). O Quadro 40 apresentou as diferentes taxas de tonelada de carbono liberado por hectare.

O Quadro 39 apresenta uma maneira geral de se calcular a quantidade de carbono liberado por área:

QUADRO 39: DESFLORESTAMENTO E EMISSÕES DE DIÓXIDO DE CARBONO

A contribuição do desflorestamento (ou desmatamento) para a emissão de carbono ou gás carbônico depende das taxas de desflorestamento (em ha/ano) - T_D e das taxas de emissão de Carbono (em tC/ano) - T_E , que, por sua vez, dependem das hipóteses feitas em relação:

- a) a densidade de biomassa seca da floresta (t./ha) - a_1 ;
- b) ao percentual queimado da biomassa (em %) - a_2 ;
- c) ao percentual de carbono na composição da biomassa (em %) - a_3 ; e
- d) à taxa de regeneração da biomassa - a_4 ,

Dessa forma, podemos formular uma equação a partir dos dados acima para a estimativa das taxas de emissão de carbono.

$$T_E = a_1 * a_2 * a_3 * a_4 * T_D$$

Muitas suposições são feitas a cerca do conteúdo de biomassa da vegetação que varia em torno de 280 - 400 t./ha para a região, a biomassa que é totalmente queimada, estima-se que existe 50% de carbono na composição da biomassa e a taxa de regeneração é um. Portanto, as taxas de emissão causadas pelo desflorestamento da Amazônia estariam situadas entre 90,8 e 223 t./ha. de carbono (Reis & Margulis, 1991).

As emissões causadas pelo desflorestamento da Amazônia estariam, portanto, entre 0,30 e 0,43 Giga toneladas por ano de CO_2 . Como as emissões anuais globais de CO_2 para a atmosfera são estimadas em 7,2 Giga toneladas por ano, sua contribuição percentual para essas emissões de CO_2 estaria entre 4,2 e 6,0% (as estimativas do WRI 1989 são de 4,7%).

Cumulativamente, de 1975 a 1989, foram desflorestadas 28,5 milhões de hectares da Amazônia, causando emissões de 5,7 Giga toneladas de CO_2 ; no mesmo período, o consumo de combustíveis fósseis emitiu, aproximadamente, 84 Giga toneladas por ano de CO_2 ; adicionalmente, supondo-se que o uso do solo em outros países respondeu somente pelo dobro do CO_2 emitido pelo desflorestamento da Amazônia (Houghton & Myers, 1990), obtém-se a cifra de 5,6% como contribuição da Amazônia para a concentração de dióxido de carbono na atmosfera.

Fonte: Margulis & Reis, 1991.

2ª Etapa: Conhecidas as quantidades de carbono ou CO_2 liberado em decorrência do desmatamento e da implantação de atividades agro-silvo-pastoris (ou outras atividades), pode-se estabelecer a correlação em termos de unidades monetárias por área afetada por esse efeito. Para tanto, torna-se necessário **investigar e conhecer o custo ambiental provocado pelo lançamento de 1 tonelada de carbono ou CO_2 na atmosfera (unidades monetárias por tonelada de carbono).**

"Dentre as muitas propostas que surgiram atualmente para redução da emissão de gás carbônico, uma tem sido a de utilizar a floresta como reservatório de carbono, através da redução dos desmatamentos. Schneider, avaliando o retorno econômico por hectare da agricultura da Amazônia e

comparando com o custo para a redução de emissão de gás carbônico nos países do norte, mostra que a troca é vantajosa para ambos os lados (tanto para os países em desenvolvimento que sofrem o desmatamento quanto para aqueles que investem na Amazônia - países desenvolvidos) considerando o valor entre US\$ 3,75 e US\$ 43,70 por tonelada de carbono emitida." (Almeida e Uhl, 1995).

Em outras palavras, devemos conhecer **o custo de oportunidade de captura de carbono em florestas que serão convertidas. Isto seria o retorno econômico (receita líquida de todos os custos operacionais e de capital) das atividades para as quais as florestas serão convertidas.**

No estudo da estimativa do custo da tonelada de carbono (US\$/tC) presente nas florestas, deve ser levado em consideração a disponibilidade e a utilidade da área, a quantidade de carbono por hectare e os custos de manutenção do terreno. Chegamos a vários resultados para três tipos de florestas, conforme a apresentação do Quadro 40.

QUADRO 40 - CUSTOS DE SEQÜESTRO DE CARBONO ATRAVÉS DE PROJETOS DE MITIGAÇÃO DE FLORESTAS (US\$/tC)

Fontes	Tropical		Monocultura externa (região temperada)	Boreal	
	Agroflorestal	Monocultura externa		Monocultura externa	Floresta Energética
Andrasko (1993)	3-5	3-6	0-2		
Dixon <i>et al.</i> (1993)	4-16	6-60	2-50	3-27	1-4
Krankina and Dixon (1993)			1-7	1-8	1-3
Houghton <i>et al.</i> (1993)	3-12	4-37			

Fonte: UNEP/ IPCC, 1995.

3ª Etapa: Logo, **o valor do custo ambiental médio relativo a liberação do carbono para a atmosfera - V_{sc} (unidades monetárias)** por área devido à substituição de florestas por uma atividade econômica em cada categoria de empreendimento é expresso da seguinte maneira - Equação IV.6:

$$V_{sc} / \text{área} = (\text{tC} / \text{área}) \cdot (\$ / \text{tC}) \quad (\text{Eq. IV.6})$$

Onde,

tC / área corresponde à quantidade de carbono liberado na conversão da floresta em uma atividade econômica para determinada área;

\$ / tC corresponde ao custo ambiental provocado pelo lançamento de 1 tonelada de carbono na atmosfera

Para chegar ao custo total, multiplique o custo ambiental médio relativo à liberação do carbono pela área total para um ano. Para estimar o valor presente deste custo, considera-se o custo total da liberação de carbono e o prazo de tempo necessário para implantação da atividade econômica, segundo o estudo de Salati (1998).

Estas duas etapas são suficientes para chegarmos ao valor do dano ambiental relativo à liberação do carbono por inundamento de uma área onde existia uma cobertura florestal.

O Quadro 41 visualiza o valor deste dano a partir das considerações acima realizadas para cada categoria de empreendimento.

QUADRO 41 - O VALOR DO DANO AMBIENTAL SOBRE O SEQÜESTRO DE CARBONO PARA AS DIFERENTES CATEGORIAS ELABORADAS PARA A GERAÇÃO HÍDRICA

Categorias		Características das categorias	Valor do dano ambiental
Biorregião da Amazônia ⁽¹⁾	Categoria 1	Assume-se para estas categorias, uma faixa (A ₁) de área inundada maior que 250 km ² o que corresponde a uma grande área de alagamento/ inundação	$(V_{SC1} / \text{área}) * A_1$
	Categoria 2		$(V_{SC2} / \text{área}) * A_1$
	Categoria 3		$(V_{SC3} / \text{área}) * A_1$
	Categoria 4	Assume-se para estas categorias, uma faixa (A ₂) de área inundada menor que 250 km ² o que corresponde a uma pequena área de alagamento/ inundação	$(V_{SC4} / \text{área}) * A_2$
	Categoria 5		$(V_{SC5} / \text{área}) * A_2$
	Categoria 6		$(V_{SC6} / \text{área}) * A_2$
Biorregião fora da Amazônia ⁽¹⁾	Categoria 7	Assume-se para estas categorias, uma faixa (A ₁) de área inundada maior que 250 km ² o que corresponde a uma grande área de alagamento/ inundação	$(V_{SC7} / \text{área}) * A_1$
	Categoria 8		$(V_{SC8} / \text{área}) * A_1$
	Categoria 9	Assume-se para estas categorias, uma faixa (A ₂) de área inundada menor que 250 km ² o que corresponde a uma pequena área de alagamento/ inundação	$(V_{SC9} / \text{área}) * A_2$
	Categoria 10		$(V_{SC10} / \text{área}) * A_2$

Notas:

1 - O valor do custo ambiental médio relativo a liberação de carbono em uma determinada área que tenha sido alagada para a implementação de uma hidrelétrica equivale a V_{SCA} unidades monetárias por área. Para as três primeiras categorias da biorregião da Amazônia, considera-se que a faixa de área inundada é maior que 250 km² e para o restante das categorias nesta biorregião, temos uma faixa de área inundada menor 250 km². Assim, teremos para esta biorregião seis diferentes valores de dano ambiental pois o valor econômico do produto é diferente para cada categoria.

Para a biorregião fora da Amazônia, verificamos que as duas primeiras categorias (7 e 8) se inserem numa faixa de área inundada maior que 250 km², enquanto que nas duas últimas categorias, uma faixa menor que 250 km².

Verificam-se a seguir três quadros (Quadros 42, 43 e 44) que demonstram exemplos de balanços de carbono a partir da substituição da cobertura vegetal da região brasileira por atividades econômicas:

- (a) o carbono liberado na substituição das matas nativas por florestas energéticas (Quadro 42),
- (b) o carbono liberado na substituição de matas nativas por culturas de grãos, como milho e soja, nas condições da região em questão (Quadro 43), que compreende quase todo estado de Minas Gerais (principalmente as regiões Norte e Noroeste desse estado), o Norte da Bahia, partes de Goiás e do Mato Grosso do Sul, e
- (c) o Quadro 44 mostra o balanço de carbono para a substituição das matas nativas por pastagens.

QUADRO 42 - BALANÇO DE CARBONO NA ATIVIDADE DE REFLORESTAMENTO COM EUCALIPTO EM RELAÇÃO À BIOMASSA ORIGINAL E ÀS DIFERENTES TIPOLOGIAS DE MATAS NATIVAS.

Tipologias vegetais	Participação na área desmatada (%)	Estoque original de carbono* (t/ha)	Imobilização de Carbono na floresta de eucalipto** (t/ha)	Carbono liberado (t/ha)
Campo	19	12,1	7,4	4,7
Caatinga	3	26,6	7,4	19,2
Cerradinho	17	12,1	7,4	4,7
Mata	4	90,5	7,4	83,1
Cerradão	1	59,2	7,4	51,8
Cerrado	56	24,2	7,4	16,8
Média ponderada para tipologias		23,0	7,4	15,6

Notas:

* Refere-se a florestas nativas em clímax

** Refere-se aos estoques médios anuais ao longo de um ciclo de 21 anos, com cortes no 8º, 15º e 21º ano. Foram considerados os seguintes parâmetros: um incremento médio de 25 m³ st/ha; densidade aparente da lenha de matas úmidas - 0,7 t/m³, de cerradões - 0,55 t/m³, de cerrados e outros - 0,45 t/m³ e de eucalipto - 0,55 t/m³, coeficiente lenha/biomassa aérea - 0,65.

Fonte: Medeiros, J.X., 1995.

QUADRO 43 - BALANÇO DE CARBONO NA ATIVIDADE AGRÍCOLA, CULTIVO DE MILHO SEGUIDO DE SOJA EM RELAÇÃO À BIOMASSA ORIGINAL E ÀS DIFERENTES TIPOLOGIAS DE MATAS NATIVAS.

Tipologias vegetais	Participação na área desmatada (%)	Estoque original de carbono * (t/ha)	Imobilização de Carbono em Exploração Agrícola ** (t/ha)	Carbono liberado (t/ha)
Campo	19	12,1	7,2	4,9
Caatinga	3	26,6	7,2	19,4
Cerradinho	17	12,1	7,2	4,9
Mata	4	90,5	7,2	83,3
Cerradão	1	59,2	7,2	52
Cerrado	56	24,2	7,2	17,0
Média ponderada para tipologias		23,0	7,2	15,8

Notas:

* Refere-se a florestas nativas em clímax

** Considera a biomassa produzida em termos de matéria seca (grãos + resíduos agrícolas) durante um ciclo anual com a cultura de milho seguida de soja. Considerou-se a produtividade média do milho de 5.000 kg/ha e de soja 1.800 kg/ha. A correlação entre grãos e resíduos agrícolas utilizou o coeficiente médio sugerido em national Academy of Science (1977:39).

Fonte: Medeiros, J.X., 1995.

QUADRO 44 - BALANÇO DE CARBONO PARA A ATIVIDADE PECUÁRIA, CULTIVO DE PASTAGENS EM RELAÇÃO À BIOMASSA ORIGINAL E ÀS DIFERENTES TIPOLOGIAS DE MATAS NATIVAS.

Tipologias vegetais	Participação na área desmatada (%)	Estoque original de carbono * (t/ha)	Imobilização de Carbono no cultivo de pastagens ** (t/ha)	Carbono liberado (t/ha)
Campo	19	12,1	6,1	6,0
Caatinga	3	26,6	6,1	20,5
Cerradinho	17	12,1	6,1	6,0
Mata	4	90,5	6,1	84,4
Cerradão	1	59,2	6,1	53,1
Cerrado	56	24,2	6,1	18,1
Média ponderada para tipologias		23,0	6,1	16,9

Nota:

* Refere-se a florestas nativas em clímax

** Considera o carbono contido na matéria seca produzida, referente a um pasto zootecnicamente bem manejado, em termos médios para as principais gramíneas utilizadas na região (Pupo, 1981:20).

Fonte: Medeiros, J.X., 1995.

Por exemplo, para se chegar ao valor de um hectare afetado por estes efeitos, suponha um valor intermediário do custo de oportunidade de captura de carbono na ordem da ordem de US\$ 24 por tonelada de carbono (Medeiros, J.X., 1995), no caso de atividades agro-silvo-pastoris na região dos cerrados (Quadro 45).

**QUADRO 45 - QUANTIDADE DE CARBONO E CO₂ LIBERADO ANUALMENTE PARA A ATMOSFERA NA
SUBSTITUIÇÃO POR ATIVIDADES AGRO-SILVO-PASTORIS**

Destinação de uso do solo	Área (ha/ano)	Carbono liberado para a atmosfera(t/ha)	
		C - (t/ha)	CO ₂ - (t/ha)
Agricultura	225.000	15.8	57.9
Eucalipto	200.000	15.6	57.2
Pastagens	225.000	16.9	62.0
Média ponderada *		16.2	59.4

Nota:

* Média ponderada em relação às áreas destinadas a cada um dos usos do solo para o total dos 650.000 hectares desmatados por ano no Brasil para fins de carvoejamento.

Fonte: Medeiros, J.X., 1995.

Portanto, o custo ambiental médio decorrente da liberação do carbono para atmosfera, devido à substituição de matas nativas por atividades agro-silvo-pastoris (agricultura, eucalipto e pastagens), exploradas para carvoejamento é de US\$ 388,80 por hectare (16,2 toneladas de carbono por hectare para um custo de US\$ 24 por tonelada de carbono) (Medeiros, J.X., 1995).

1.f.3 – RESSALVAS À APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE VALORAÇÃO DOS DANOS CAUSADOS À BIODIVERSIDADE – FUNÇÕES ECOSISTÊMICAS: SEQÜESTRO DE CARBONO

No Brasil, as estimativas mais pessimistas de seqüestro de gás carbônico por florestas plantadas de rápido crescimento variam entre 25,5 a 26,4 tCO₂/ha ao ano, sendo que existem sítios florestais com capacidade de seqüestro de gás carbônico superior à 50 toneladas por hectare. Porém a maior parte dos inventários das emissões de CO₂ mundiais não levam em conta o potencial de seqüestro de CO₂ pela regeneração secundária das florestas tropicais, cujo ritmo de crescimento anual varia entre 7 a 30 m³ por ano (Salati, 1998).

Na ótica do investidor, as florestas intactas não geram impostos nem empregos. Uma solução mais razoável seria um acordo em que os países desenvolvidos pagassem pelo carbono estocado após a exploração florestal. Considerando que o município de Paragominas (PA) possui 1,6 milhões de hectares, a renda gerada por este estoque equívale a US\$ 876 milhões (US\$ 3,75 por tonelada de carbono * 1,6 milhões de hectares * 146 toneladas de carbono estocado) ou caso fosse adotada a exploração com manejo florestal seria de US\$ 642 milhões (US\$ 3,75 por tonelada de carbono * 1,6 milhões de hectares * 107 toneladas de carbono estocado) (Salati, 1998).

Países como Noruega, Suécia e Finlândia já consideram a valoração de suas florestas como estoques de carbono para fins de mitigação (Salati, 1998), e especialmente o setor florestal da Finlândia prevê o pagamento de subsídios para os proprietários de florestas que deixam de cortá-las ou mesmo que usam a madeira em produtos com ciclo de vida longo (acima de 25 anos).

Vale destacar que a conservação dos estoques de carbono, como mais um serviço ambiental prestado pelos países possuidores de florestas, também incorpora um outro valor ambiental importante que é a conservação da biodiversidade. Desta forma, países como o Brasil poderiam se candidatar a receberem incentivos à manutenção dos estoques de carbono.

1.g - Perda de benefícios provenientes das atividades econômicas dependentes do corpo receptor face à erosão do solo

Um outro impacto que surge durante a construção e a operação das hidrelétricas são os efeitos da erosão no corpo receptor a montante do reservatório. A aplicação da metodologia de valoração ocorre para mensurar os usos diretos a partir dos corpos d'água.

O desmatamento e a inundação de áreas para criar um reservatório, aliado aos processos naturais como a chuva, aceleram a erosão do solo. O solo erodido é transportado até o reservatório, e sedimenta-se. Com o aumento da sedimentação, ocorrerá a redução da capacidade de estocagem de água do reservatório, o que implica na redução dos benefícios econômicos por eles gerados. Os benefícios que podem ser considerados são a geração de energia, a provisão de água para irrigação, o controle de enchentes e a produção pesqueira.

1.g.1 – APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE PRODUTIVIDADE MARGINAL SOBRE OS BENEFÍCIOS PROVENIENTES DO CORPO RECEPTOR FACE À EROSÃO DO SOLO PELA HIDRELÉTRICA

Este estudo busca correlacionar os efeitos da erosão do solo a montante com a produtividade das atividades econômicas localizadas à jusante do reservatório. Para isso, adota-se o método de produtividade marginal, enfocando o impacto da erosão na magnitude dos benefícios destas atividades.

As etapas para valorar os benefícios provenientes do corpo receptor serão demonstradas a seguir. A metodologia sugerida é baseada no estudo de caso “The Nan Pong Water Resources Project in Thailand” de Srivardhana, R. (Dixon, J.A., 1989).

1ª Etapa: Para este processo de valoração, o primeiro passo a ser adotado é **a identificação e a localização das atividades econômicas** que tende a gerar benefícios no território nacional. Dentre as atividades econômicas que sofreram impactos (erosão do solo) decorrentes do alagamento do solo, temos a irrigação, a pesca, a agricultura, a abastecimento, etc. que podem ser encontradas tanto nas áreas de pequeno adensamento populacional como em médios adensamentos populacionais.

Diferente do que estávamos realizando para as mensurações dos danos ambientais anteriormente vistos, torna-se necessário verificar a adequação de cada etapa sugerida na valoração para cada categoria de empreendimento criada para a geração hídrica.

A **2ª Etapa** corresponde a **construção de uma função dose-resposta** capaz de correlacionar a erosão do solo com um grande número de variáveis representativas do uso do solo (exemplo na

equação a seguir). Na falta de análise de erosão do solos específica para a região estudada,, podemos identificar as taxas anuais de erosão a partir da Equação Universal de Perda de Solo (Wischmeyer e Smith, 1961; citado por Iturri, 1975). Logo, a perda média anual de solo³¹ em toneladas por unidade de área (PA_s) - Equação IV.7 é:

$$PA_s = R \times K \times LS \times C \times P$$

(Eq. IV.7)

Onde,

PA_s corresponde a perda média anual de solo em toneladas por área;

R corresponde ao fator de erosividade³² da chuva;

K corresponde ao fator de erodibilidade³³ do solo;

LS corresponde ao fator de declividade do terreno;

C corresponde ao fator de preparo e cobertura do solo;

P corresponde ao fator de práticas (de atividades econômicas) conservacionistas.

Após a localização das atividades em cada categoria de empreendimento, o segundo passo é construir uma função dose-resposta, que é dependente de algumas variáveis. O fator de erosividade da chuva (R), que é a capacidade de um agente (chuva) provocar erosão, deve ser mais acentuado nas regiões com maior incidência de chuvas, destacando-se a biorregião da Amazônia. Em geral, podemos dizer que os ecossistemas presentes na biorregião fora da Amazônia quanto na biorregião da Amazônia são frágeis, em função da ação do homem para se fixar no solo e sobreviver às custas de suas atividades econômicas praticadas durante muito tempo. O equilíbrio destes ecossistemas se altera no menor dano acarretado tanto pelo homem quanto pela natureza, através de chuvas torrenciais. Verifica-se na Amazônia, que as chuvas são abundantes e o ambiente é muito úmido. Assumimos que nesta região (categorias de 1 a 6), a pluviosidade, em média, é 2,5 vezes maior que na biorregião fora da Amazônia (categorias de 7 a 10) (IBGE, 1997).

Em relação ao fator de erodibilidade do solo (K), ou seja, a susceptibilidade que os solos têm em ser erodidos, podemos dizer que a probabilidade de ocorrer a erosão é igual para todo o território brasileiro, em decorrência da ação do homem na busca de áreas para a prática das atividades econômicas de subsistência, principalmente. Dessa maneira, o fator relacionado às práticas (de atividades econômicas) conservacionistas (P) será igual para todas as categorias, como também o fator de preparo e cobertura do solo (C).

³¹ Na verdade, as taxas de erosão calculadas por esta equação podem ser omitidas, em favor da extrapolação de taxas de erosão através do cálculo de uma média de várias áreas da região. Porém, deve-se ter cuidado com a extrapolação de dados das taxas de erosão com base em pesquisas de solo de algumas áreas para a região total do estudo.

³² É a capacidade de um agente (chuva, vento, etc.) provocar a erosão. (Lima e Silva, 1999).

³³ É a susceptibilidade que os solos têm em ser erodidos (Lima e Silva, 1999).

Observa-se que a biorregião da Amazônia é caracterizada por grandes planícies, enquanto que a maior parte da biorregião fora da Amazônia é caracterizada por muitos planaltos. Portanto, o fator de declividade do terreno (LS) na biorregião fora da Amazônia tende a ser maior que na biorregião da Amazônia. A diferença observada neste fator entre as duas biorregiões é compensada com a diferença observada no fator de erosividade da chuva (R).

O Quadro 46 abaixo demonstra a variação ou não verificada para cada fator que contribui na construção da função dose-resposta.

QUADRO 46 – VARIÁVEIS ÚTEIS PARA A CONSTRUÇÃO DA FUNÇÃO DOSE-RESPOSTA

Categorias de empreendimentos	Fator de erosividade da chuva	Fator de erodibilidade do solo	Fator de declividade do terreno	Fator de preparo e cobertura do solo	Fator de práticas conservacionistas	Resultado do produto das variáveis
Categoria 1	+	0	-	0	0	0
Categoria 2	+	0	-	0	0	0
Categoria 3	+	0	-	0	0	0
Categoria 4	+	0	-	0	0	0
Categoria 5	+	0	-	0	0	0
Categoria 6	+	0	-	0	0	0
Categoria 7	-	0	+	0	0	0
Categoria 8	-	0	+	0	0	0
Categoria 9	-	0	+	0	0	0
Categoria 10	-	0	+	0	0	0

Nota: Os sinais + e - significam maior e menor incidência de um fator em uma categoria mais ou menos do que a outra. O zero (0) significa uma incidência igual entre as categorias.

3ª Etapa: Estimar a perda anual total de solo (PA_T) que é resultado do produto da unidade de área de perda média anual de solo (por cada tipo de uso da terra) pela área total média inundada (Equação IV.8). Logo:

$$PA_T = PA_s \cdot \text{área total}$$

(Eq. IV.8)

Onde,

PA_s corresponde a perda média anual de solo em toneladas por área.

Para o caso de grandes áreas alagadas, assumimos uma faixa de área maior que 250 km² (A₁) e para as pequenas áreas alagadas, uma faixa de área menor que 250 km² (A₂) (Quadro 47).

QUADRO 47 – ESTIMATIVA DAS PERDAS ANUAIS TOTAIS DO SOLO

Categorias de empreendimentos	Estimativa das perdas anuais total do solo (tonelada)
Categoria 1	$PA_{T1} = PA_{s1} * A_1$
Categoria 2	$PA_{T2} = PA_{s2} * A_1$
Categoria 3	$PA_{T3} = PA_{s3} * A_1$
Categoria 4	$PA_{T4} = PA_{s4} * A_2$
Categoria 5	$PA_{T5} = PA_{s5} * A_2$
Categoria 6	$PA_{T6} = PA_{s6} * A_2$
Categoria 7	$PA_{T7} = PA_{s7} * A_1$
Categoria 8	$PA_{T8} = PA_{s8} * A_1$
Categoria 9	$PA_{T9} = PA_{s9} * A_2$
Categoria 10	$PA_{T10} = PA_{s10} * A_2$

4ª Etapa: Definir a quantidade de material erodido que sedimenta-se no reservatório (S). Calculado pela seguinte expressão (Equação IV.9), que por sua vez, dependerá de outras variáveis.

$$S = (PA_T + E + B) \times D$$

(Eq. IV.9)

Onde,

S corresponde a sedimentação anual do reservatório³⁴ em m³;

PA_T corresponde a perda anual total do solo em toneladas;

E corresponde a erosão dos canais do reservatório;

B corresponde a ocupação do leito pelos sedimentos³⁵;

D corresponde a taxa de despejo de sedimentos.

³⁴ O resultado em toneladas é convertido em m³, multiplicando-o por 0,67.

³⁵ No estudo de caso da Tailândia, a capacidade efetiva de armazenamento inicial do reservatório de 1650 milhões de m³ é afetada em apenas 75% do volume de sedimentos, sendo assim a redução efetiva na capacidade de armazenamento do reservatório é função da erosão a jusante (Dixon & Hufschmidt, 1990).

Os fatores necessários a composição da equação anterior (IV.9), como a erosão dos canais, a ocupação do leito pelos sedimentos e a taxa de despejo de sedimentos se alteram em função da mudança de categorias.

5ª Etapa: Depois de calculadas as taxas de erosão, através da função dose-resposta, o quinto passo é **determinar o impacto da sedimentação no reservatório**. As perdas sofridas pela capacidade de geração de energia elétrica ou pelo controle de enchentes ou pela produção pesqueira, em nível econômico, são resultantes da sedimentação do reservatório. Estas perdas serão estimadas em função da redução do nível do reservatório. Para um planejamento a longo prazo, o cálculo do nível do reservatório pode ser estimado para uma mesma usina que tenha as mesmas dimensões e características daquela que está sendo analisada.

Portanto, os benefícios anuais brutos (BE) variam em função da capacidade efetiva de armazenamento e dos benefícios anuais brutos, como apresenta a equação³⁶ abaixo (Equação IV.10).

$$BE = BE_o - D \cdot (CE - CR)$$

(Eq. IV.10)

Onde,

BE corresponde aos benefícios anuais brutos (unidades monetárias) para uma capacidade de armazenamento remanescente do reservatório;

BE_o corresponde aos benefícios anuais brutos (unidades monetárias) para uma capacidade de armazenamento efetiva ótima que não é alterada pela sedimentação;

D corresponde a taxa de despejo de sedimentos;

CE corresponde a capacidade efetiva ótima do reservatório (m³);

CR corresponde a capacidade remanescente de armazenamento (m³);

(CE-CR) corresponde a redução acumulada na capacidade efetiva (m³).

A equação IV.10 traduz um aumento da sedimentação. Logo, ocorreram perdas nos benefícios das atividades relacionadas com o reservatório, devido a alteração da capacidade de armazenamento.

Verifica-se no Quadro 48, que a estimativa do valor dos benefícios provenientes das atividades econômicas é função da taxa dos benefícios anuais brutos (BE_o), do despejo de sedimentos (D) e da capacidade do reservatório (CE e CR). A determinação desta última variável depende das características da hidrelétrica a ser realizada.

³⁶ Esta equação se baseia no estudo de Dixon & Hufschmidt (1990).

QUADRO 48 – OS BENEFÍCIOS OBTIDOS COM AS ATIVIDADES ECONÔMICAS PERANTE OS EFEITOS DA EROSÃO

Categorias de empreendimentos	Estimativa dos benefícios (unidades monetárias)
Categoria 1	$BE_1 = f (BE_0, D, CE, CR)$
Categoria 2	$BE_2 = f (BE_0, D, CE, CR)$
Categoria 3	$BE_3 = f (BE_0, D, CE, CR)$
Categoria 4	$BE_4 = f (BE_0, D, CE, CR)$
Categoria 5	$BE_5 = f (BE_0, D, CE, CR)$
Categoria 6	$BE_6 = f (BE_0, D, CE, CR)$
Categoria 7	$BE_7 = f (BE_0, D, CE, CR)$
Categoria 8	$BE_8 = f (BE_0, D, CE, CR)$
Categoria 9	$BE_9 = f (BE_0, D, CE, CR)$
Categoria 10	$BE_{10} = f (BE_0, D, CE, CR)$

Nota: A equação IV.10 define esta função.

Vale ressaltar que os benefícios obtidos com a atividade econômica que está sendo afetada pela erosão (BE) correspondem ao valor econômico do uso do corpo receptor que é afetado pela redução da capacidade do reservatório face à erosão do solo.

Os benefícios estimados nesta metodologia podem ser expandidos para quaisquer atividades econômicas que estejam associadas ao corpo receptor, por exemplo, agricultura, navegação e outras atividades que não foram citadas no método.

Neste estudo pode ser considerado os custos de gerenciamento dos corpos d'água que têm por objetivo atenuar a erosão dos solos vizinhos. Seguindo este raciocínio, então os benefícios brutos teriam uma dedução relativa aos custos de gerenciamento, caso sua presença seja identificada.

1.g.2 – RESSALVAS À APLICAÇÃO DA METODOLOGIA ATRAVÉS DE UMA ALTERNATIVA DE VALORAÇÃO DAS ATIVIDADES PROVENIENTES DO CORPO RECEPTOR FACE À EROÇÃO DO SOLO PELA HIDRELÉTRICA

Os corpos d'água também podem ser valorados de outra maneira, adotando o método da valoração contingente. Neste caso, valora-se o uso do reservatório quando da redução da sedimentação do reservatório e/ou contaminação deste. O valor deste benefício pode ser estimado a partir de uma pesquisa de valoração contingente com a aplicação de questionários a habitantes da bacia dos rios onde se localiza o reservatório.

O questionário deve ser elaborado de maneira tal que os malefícios impostos ao entrevistado pela atual condição ambiental dos rios pudessem ser por ele visualizados. Então, as perguntas praticamente abordariam as questões sobre as perdas de bem-estar, tais como, o eventual mal cheiro da redondeza, a ocorrência de vetores: as doenças, as cheias, os desabamentos e outras. Baseado nestas questões, o entrevistado pode calcular suas perdas econômicas conseqüentes.

Para a metodologia da valoração contingente, seriam utilizados também questionários do tipo referendo com acompanhamento para aferir o valor da perda, através de questões sobre a disponibilidade a pagar pelos tratamentos e/ou construções realizados na área.

1.h - Danos causados aos recursos minerais

Um outro efeito proveniente da construção das hidrelétricas e da inundação de áreas são as perdas dos recursos minerais (metálicos e não metálicos).

1.h.1 – APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE VALORAÇÃO DOS DANOS CAUSADOS AOS RECURSOS MINERAIS PELA HIDRELÉTRICA

O objetivo de valorar este tipo de recurso é alcançar uma estimativa da dimensão intertemporal da exaustão dos recursos minerais, ou seja, a estimativa das perdas ambientais resultantes do esgotamento destes recursos e a sua não disponibilidade para gerações futuras, de forma a manter constante o nível de geração de bens e serviços econômicos.

O método utilizado é o método do custo de uso que admite a possibilidade de que os recursos exauríveis, que são ativos não-produzidos, venham a ser substituídos por ativos produzidos a fim de garantir rendimentos para as gerações futuras. Assim, o desinvestimento ocasionado pelo esgotamento pode ser compensado por investimentos em bens de capital que tenham a mesma capacidade esperada de gerar receitas no futuro. A parcela de capital deve corresponder, portanto, à parte da receita que deve ser convertida em um fundo de investimento capaz de gerar uma série infinita de renda verdadeira, de modo que o valor presente de ambos seja igual. O custo de uso (U) é estimado segundo a expressão (Equação IV.11):

$$U = \frac{RL}{(1+r)^n} \quad (\text{Eq. IV.11})$$

Onde,

r corresponde a taxa média de retorno do capital na economia (%);

n corresponde ao tempo de esgotamento do recurso considerando a taxa anual de exploração (anos);

RL corresponde a receita líquida da exploração do recurso natural em unidades monetárias.

Dessa forma, a valorização econômica dos recursos exauríveis é função do fluxo de rendimentos que se espera obter até a extinção do recurso, do período de vida útil desejada das reservas e da taxa de retorno dos investimentos na economia em questão.

A seguir, demonstra-se as etapas para a mensuração deste recurso. A metodologia sugerida é baseada nos estudos de El Serafy (1989) e Hartwick & Hageman (1991)³⁷.

1ª Etapa: Faz-se necessário para aplicação da metodologia de valoração, **conhecer os minerais que estão em via de esgotamento na região onde será implementada a hidrelétrica**. O DNPM apresenta as áreas onde podem ser encontrados estes minerais.

³⁷ Ver Seroa da Motta (1995) para uma discussão metodológica mais detalhada.

2ª Etapa: Pode-se fazer uma *primeira aproximação da receita líquida (RL)* para cada categoria de empreendimento. Esta é obtida subtraindo-se da receita bruta relativa aos recursos minerais (RB_m) o consumo intermediário, a remuneração ao fator trabalho e o retorno do capital para um estoque de capital fixo acumulado para realizar a produção (Equação IV.12). Logo,

$$RL = RB_m - (CI + R_{FT} + CF)$$

(Eq. IV.12)

Onde,

RB_m corresponde a receita bruta (valor de produção em bases monetárias);

CI corresponde ao consumo intermediário em bases monetárias;

R_{FT} corresponde a remuneração ao fator trabalho em bases monetárias;

CF corresponde ao retorno do capital para um estoque fixo acumulado (de capital) para a realização da produção em bases monetárias.

Em suma, os dados de valor de produção (RB_m) podem ser obtidos nos anuários do DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral, com exceção do petróleo, que recebe tratamento especial. Assume-se que este valor seja proporcional a quantidade de minerais encontrada para cada área; para isso, consideramos um mesmo preço para todos os minerais.

Os valores de consumo intermediário (CI) e remuneração ao fator trabalho (R_{FT}) são obtidos a partir das séries de despesas com operações industriais e do total de salários para os estabelecimentos da indústria extrativa mineral disponíveis.

A estimativa do retorno “normal” do capital (CF) exige um procedimento mais elaborado. Deve-se construir uma série de estoques de capital para cada minério selecionado através do “método do inventário perpétuo³⁸”. Utilizamos os dados de investimento em prospecção e extração dos relatórios anuais de lavra do DNPM (Seroa da Motta, 1995).

De posse do valor de produção (RB_m) mais o consumo intermediário (relativo às despesas com operações industriais), a remuneração ao fator trabalho (salários dos empregados que trabalham nas atividades minerais) e o retorno do capital para um estoque fixo (de capital) acumulado, podemos calcular a receita líquida obtida a partir do uso destes recursos. As três últimas variáveis são atributos intrínsecos à cada hidrelétrica; considera-se portanto, que não se alteram entre as categorias elaboradas. O Quadro 49 apresenta a estimativa da receita líquida obtida para cada cenário.

³⁸ Sugere-se obter mais informações em Seroa da Motta (1995).

QUADRO 49 – A ESTIMATIVA DA RECEITA LÍQUIDA OBTIDA PELO USO DOS RECURSOS MINERAIS

Categorias de empreendimentos	Estimativa da receita líquida (unidades monetárias por área)
Categoria 1	$RL_1 = f(RB_m, CI, R_{FT}, CF)$
Categoria 2	$RL_2 = f(RB_m, CI, R_{FT}, CF)$
Categoria 3	$RL_3 = f(RB_m, CI, R_{FT}, CF)$
Categoria 4	$RL_4 = f(RB_m, CI, R_{FT}, CF)$
Categoria 5	$RL_5 = f(RB_m, CI, R_{FT}, CF)$
Categoria 6	$RL_6 = f(RB_m, CI, R_{FT}, CF)$
Categoria 7	$RL_7 = f(RB_m, CI, R_{FT}, CF)$
Categoria 8	$RL_8 = f(RB_m, CI, R_{FT}, CF)$
Categoria 9	$RL_9 = f(RB_m, CI, R_{FT}, CF)$
Categoria 10	$RL_{10} = f(RB_m, CI, R_{FT}, CF)$

3ª Etapa: Assim, afim de garantir rendimentos para as gerações futuras, **o custo de uso dos recursos minerais em vias de esgotamento (U)** para cada categoria de empreendimento é expresso por (Equação IV.13):

$$U = \frac{RL}{(1+r)^n} \quad (\text{Eq. IV.13})$$

Onde,

r corresponde a taxa de retorno do capital na economia (%);

n corresponde ao tempo de esgotamento do recurso, considerando a taxa anual de exploração (anos)³⁹;

RL corresponde a receita líquida da exploração do recurso natural em unidades monetárias.

Podemos apresentar no Quadro 50, o custo de uso dos recursos minerais (U) que varia proporcionalmente a receita líquida gerada.

³⁹ O período de exaustão reflete o tempo de vida útil das reservas caso a extração se mantenha permanentemente ao nível observado no ano corrente. É obtido pela razão entre a Reserva Base do minério (soma das Reservas Medida e Indicada pelo DNPM) e a quantidade extraída de minério bruto observada para o mesmo ano. (Seroa da Motta, 1995).

Categorias de empreendimentos	Estimativa do custo de uso (unidades monetárias por área)
Categoria 1	$U_1 = f(RL)$
Categoria 2	$U_2 = f(RL)$
Categoria 3	$U_3 = f(RL)$
Categoria 4	$U_4 = f(RL)$
Categoria 5	$U_5 = f(RL)$
Categoria 6	$U_6 = f(RL)$
Categoria 7	$U_7 = f(RL)$
Categoria 8	$U_8 = f(RL)$
Categoria 9	$U_9 = f(RL)$
Categoria 10	$U_{10} = f(RL)$

1.h.2 – RESSALVAS À APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE VALORAÇÃO DO CUSTO DE USO DOS RECURSOS MINERAIS PELA HIDRELÉTRICA

Uma primeira dificuldade que pode ser encontrada está na obtenção de uma série não subestimada do valor de produção, em decorrência da incidência de impostos sobre os minerais, o que leva a uma sub-avaliação dos preços de transferência do minério. Por conseguinte, o montante total da receita líquida obtida pelo minerador não é captada ao menos integralmente nas séries disponíveis de valor da produção das atividades especificamente extrativas.

Pode ser utilizado também para mensurar este recurso, a abordagem do preço líquido (Seroa da Motta, 1998) que tem a propriedade de corrigir a renda convencional calculada pelas variações líquidas das reservas. Esta metodologia é adotada por institutos conhecidos que se baseia na variação física do estoque não renovável e no preço de mercado do recurso. Às vezes, este método pode apresentar um comportamento inexato das avaliações das reservas minerais, em que estas podem ser subestimadas ou superestimadas.

Portanto, sugerimos que os danos previstos para cada uma das categoria de empreendimentos hidrelétricos devam ser objeto de valoração a serem inseridos no planejamento do Setor, considerando, principalmente:

- Os danos causados à biodiversidade - espécies vegetais e animais;
- Os benefícios obtidos com a criação de reservatórios;
- Os danos causados a produtos extrativos madeireiros e não madeireiros;
- Os danos causados às espécies vegetais - plantas medicinais - que contribuem para o desenvolvimento de novas drogas;

- Os danos ambientais sobre o seqüestro de carbono;
- A perda de benefícios provenientes das atividades econômicas dependentes do corpo receptor face à erosão do solo;
- Os danos causados aos recursos históricos e culturais e
- Os danos causados aos recursos minerais.

O Quadro 51 apresenta os custos de degradação ambiental dos danos provocados pelas hidrelétricas para cada categorias de empreendimento hidrelétrico.

QUADRO 51 – CUSTOS TOTAIS DE DEGRADAÇÃO PARA CADA CATEGORIA DE EMPREENDIMENTO

Categoria de Empreendimentos	Custos dos diversos danos/benefícios provocados pelas hidrelétricas							
	Espécies vegetais e animais	Recursos culturais e históricos	Produtos extrativos madeireiros e não madeireiros	Plantas medicinais	Seqüestro de carbono	Atividades econômicas associadas ao corpo receptor	Criação de reservatórios	Recursos minerais
Categoria 1	V_{C1}	V_{R1}	$(VE_{R1} / \text{área}) * A_1$	$(V_{D1} / \text{área}) * A_1$	$(V_{SC1} / \text{área}) * A_1$	$BE_1 = f(BE_o, D, CE, CR)$	0	$U_1 = f(RL)$
Categoria 2	V_{C2}	V_{R2}	$(VE_{R2} / \text{área}) * A_1$	$(V_{D2} / \text{área}) * A_1$	$(V_{SC2} / \text{área}) * A_1$	$BE_2 = f(BE_o, D, CE, CR)$	número de famílias beneficiadas ₂ * V_{B2}	$U_2 = f(RL)$
Categoria 3	0	0	$(VE_{R3} / \text{área}) * A_1$	$(V_{D3} / \text{área}) * A_1$	$(V_{SC3} / \text{área}) * A_1$	$BE_3 = f(BE_o, D, CE, CR)$	Número de famílias beneficiadas ₃ * V_{B3}	$U_3 = f(RL)$
Categoria 4	V_{C4}	V_{R4}	$(VE_{R4} / \text{área}) * A_2$	$(V_{D4} / \text{área}) * A_2$	$(V_{SC4} / \text{área}) * A_2$	$BE_4 = f(BE_o, D, CE, CR)$	0	$U_4 = f(RL)$
Categoria 5	V_{C5}	V_{R5}	$(VE_{R5} / \text{área}) * A_2$	$(V_{D5} / \text{área}) * A_2$	$(V_{SC5} / \text{área}) * A_2$	$BE_5 = f(BE_o, D, CE, CR)$	Número de famílias beneficiadas ₅ * V_{B5}	$U_5 = f(RL)$
Categoria 6	0	0	$(VE_{R6} / \text{área}) * A_2$	$(V_{D6} / \text{área}) * A_2$	$(V_{SC6} / \text{área}) * A_2$	$BE_6 = f(BE_o, D, CE, CR)$	Número de famílias beneficiadas ₆ * V_{B6}	$U_6 = f(RL)$
Categoria 7	V_{C7}	V_{R7}	$(VE_{R7} / \text{área}) * A_1$	$(V_{D7} / \text{área}) * A_1$	$(V_{SC7} / \text{área}) * A_1$	$BE_7 = f(BE_o, D, CE, CR)$	0	$U_7 = f(RL)$
Categoria 8	0	0	$(VE_{R8} / \text{área}) * A_1$	$(V_{D8} / \text{área}) * A_1$	$(V_{SC8} / \text{área}) * A_1$	$BE_8 = f(BE_o, D, CE, CR)$	Número de famílias beneficiadas ₈ * V_{B8}	$U_8 = f(RL)$
Categoria 9	V_{C9}	V_{R9}	$(VE_{R9} / \text{área}) * A_2$	$(V_{D9} / \text{área}) * A_2$	$(V_{SC9} / \text{área}) * A_2$	$BE_9 = f(BE_o, D, CE, CR)$	0	$U_9 = f(RL)$
Categoria 10	0	0	$(VE_{R10} / \text{área}) * A_2$	$(V_{D10} / \text{área}) * A_2$	$(V_{SC10} / \text{área}) * A_2$	$BE_{10} = f(BE_o, D, CE, CR)$	Número de famílias beneficiadas ₁₀ * V_{B10}	$U_{10} = f(RL)$

2 – GERAÇÃO TÉRMICA

2.a - Danos causados à saúde humana face às emissões atmosféricas de dióxido de enxofre (SO₂) e material particulado (PM₁₀)

Baseando-se em Rebello (1999), as termelétricas emitem diversos poluentes atmosféricos que têm diferentes impactos sobre:

- **Os animais:** Segundo Epsteis (1980), os sulfatos podem causar problemas aos animais, por exemplo, o gado gordo, cujas reservas respiratórias são reduzidas devido à gordura. No que diz respeito ao óxido de enxofre, é necessário que haja um aumento excessivo da concentração de óxido de enxofre para que os animais de pequeno porte sejam mortos.
- **Os bens materiais:** A poluição atmosférica pode danificar os bens materiais (equipamentos, construções, monumentos, etc.) através de mecanismos distintos, são eles:
 - **abrasão** que ocorre sobre os bens materiais quando as partículas de grande diâmetro são transportadas a uma alta velocidade. Como este fenômeno não ocorre com frequência, observa-se que a maioria dos poluentes atmosféricos não causa abrasão, com exceção das partículas do solo em ventanias. Em geral, quando as pequenas partículas se depositam na superfície de bens materiais, elas apenas ocasionam uma deterioração estética e não material;
 - **deposição e remoção:** a deposição ocorre quando as pequenas partículas são depositadas sobre os bens materiais, produzindo um efeito estético indesejável. No momento da remoção destas partículas é que ocorre a deterioração do material;
 - **ataque químico direto** ocorre face ao processo de solubilização, de reações de redução e de oxidação dos poluentes, dentre outros processos. Um exemplo é o que ocorre quando o SO₂ e o SO₃ em presença de água reagem com o carbonato de cálcio (CaCO₃) para formar o sulfato de cálcio (CaSO₄) que é muito solúvel em água e é lixiviado na presença de chuva, deteriorando prédios e monumentos;
 - **O ataque químico indireto** ocorre quando o poluente é absorvido e reage com algum componente do absorvente formando um produto destrutivo. Por exemplo, o couro tende a se tornar quebradiço após absorver o óxido de enxofre, que reage e forma H₂SO₄, devido a presença da água e de pequenas quantidades de ferro que existem no couro e que catalisam a reação.
 - **corrosão eletrolítica** que causa diferenças químicas e físicas na superfície dos metais, que formam ânodos e cátodos.

Os danos ocorridos sobre os bens materiais aqui apresentados sugerem a necessidade de pintura na fachada de prédios, nas obras de arte e nos monumentos com maior frequência, além da troca de cabos de eletricidade. Estes danos são de difícil quantificação. Como não há nenhuma relação

causa-efeito na literatura estabelecida entre os poluentes atmosféricos e o dano causado aos materiais específicos, a valoração desta externalidade para efeito de planejamento do Setor não será efetuada no presente momento.

- **A vegetação:** Segundo Mackenzie, D.L. e Coenwell, D.A., (1991), o dano à vegetação ocasionado pela poluição atmosférica é muito mais que um aparente dano superficial nas folhas, é uma redução no crescimento da planta e do fruto, que é verificado com o tempo.

O SO₂ provoca a redução no crescimento das plantas quando a concentração deste poluente se aproxima de 0,3 ppm por cerca de 8 horas. Experiências de laboratório demonstraram que quanto menor o tempo de exposição e menor a concentração do poluente que a planta está exposta, menos graves serão os danos. Não obstante a constatação do impacto, é amplamente aceito que para um nível inferior a 0,2 ppm de SO₂ (500 µg/m³), a maior parte das plantas não sofrerá danos mesmo após longa exposição. Assim sendo, este tipo de externalidade somente ocorrerá no caso em que a concentração da termelétrica for superior a 0,3 ppm de SO₂ e a dispersão do poluente não for adequada.

Por outro lado, as culturas de milho, de girassol, de algodão e de tabaco são beneficiadas por concentrações de SO₂, pois estas funcionam como fertilizantes para as culturas.

Recomenda-se que o Setor Elétrico empreenda estudos para o estabelecimento de uma função dose-resposta entre a emissão de SO₂ decorrente da termelétrica e a resposta destas culturas, de modo a incorporar a externalidade no planejamento do Setor, caso a resposta obtida com os estudos seja relevante.

- **A visibilidade** (a capacidade de se distinguir objetos de cores situados a grande distâncias): A diminuição da visibilidade está relacionada com a oxidação do SO₂ para a formação de sulfatos. Aerossóis contendo sulfato têm dimensões da ordem de 0,1 a 1,0 micron. Como a luz tem comprimento de onda com estas dimensões, ela é fortemente espalhada pelos sulfatos, reduzindo a visibilidade. Este fato faz com que uma bruma emitida a centenas ou milhares de quilômetros numa região, onde esteja presente SO₂, torne difícil a identificação de outras fontes poluidoras. Observa-se que o poder espalhador dos aerossóis está relacionado com a umidade do ar e sua composição química. Os efeitos óticos devidos ao SO₂ e aos sulfatos não devem ser confundidos com as alterações na atmosfera ocorridas devido a outros poluentes. Esta é uma externalidade difícil de ser mensurada, pois apresenta características distintas de acordo com a região onde a termelétrica será implantada e os efeitos econômicos dela decorrentes não são claros.
- **A saúde humana:** Os efeitos adversos sobre a saúde humana - doenças e morte - ocasionados por emissões atmosféricas de óxido de enxofre, de óxido de nitrogênio e de material particulado, dentre outros, são cientificamente comprovados. A literatura apresenta inúmeros estudos de

dose-resposta destes poluentes na atmosfera que podem ser verificados nos Quadros 52, 53, 54 e 55. Estes estudos são chamados de estudos epidemiológicos, que foram desenvolvidos com o objetivo de identificar a relação causa-efeito (dose – resposta) entre os poluentes atmosféricos e a saúde humana.

QUADRO 52 - ESTUDOS REFERENTES A VARIAÇÃO DO NÚMERO DE MORTES FACE À VARIAÇÃO DE $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ DE PM_{10}

Estudo/Cidade, Região, País, Data	(Evento/pessoa)/($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
	Limite superior	Estimativa central	Limite inferior
Schwartz and Marcus, London UK, série temporal 1958-1972 (adaptada de Ostro)	$3.1 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-6}$	$2.9 \cdot 10^{-6}$
Plagiannakos and Parker, Ontario Canadá, Série temporal 1976-82 (adaptada de Ostro)	$1.6 \cdot 10^{-5}$	$9.8 \cdot 10^{-6}$	$4.9 \cdot 10^{-6}$
Schwartz and Dokery, Steubenville Ohio, séries temporais	$1.0 \cdot 10^{-5}$	$6.0 \cdot 10^{-6}$	$4.0 \cdot 10^{-6}$
Schwartz, Birmingham AL, série temporal	$1.3 \cdot 10^{-5}$	$1.1 \cdot 10^{-5}$	$1.0 \cdot 10^{-5}$
Dockery et al, St. Louis, série temporal	$2.3 \cdot 10^{-5}$	$1.6 \cdot 10^{-5}$	$1.4 \cdot 10^{-5}$
Pope et al, Utah Valley, UT	$1.8 \cdot 10^{-5}$	$1.6 \cdot 10^{-5}$	$1.4 \cdot 10^{-5}$
Schwartz and Dockery, Philadelphia PA, série temporal	$1.5 \cdot 10^{-5}$	$1.3 \cdot 10^{-5}$	$1.0 \cdot 10^{-5}$
Fairley, Santa Clara County CA, série temporal 1980-86(adaptada de Ostro)	$1.6 \cdot 10^{-5}$	$1.2 \cdot 10^{-5}$	$7.0 \cdot 10^{-6}$
Ozkaynak and Thurston, 100 met. Areas nos EUA, estudos cruzados, 1980, adaptada de Ostro	$2.2 \cdot 10^{-5}$	$1.6 \cdot 10^{-5}$	$1.0 \cdot 10^{-5}$
ECO Nortwest, Canadá (in Rosa & Schechtman,1996) – média de 1987 a 1993		$1.0 \cdot 10^{-6}$	
Pope et al, 151 cidades dos EUA,1996	$6.3 \cdot 10^{-5}$	$4.2 \cdot 10^{-5}$	$2.3 \cdot 10^{-5}$
Ostro et al, Chile, 1996 (assume que 0,55 das partículas totais em suspensão são PM_{10})	$2.2 \cdot 10^{-5}$	$1.1 \cdot 10^{-5}$	$0.6 \cdot 10^{-5}$
Mendes, Ana, São Paulo, 1983 a 1991		$1.6 \cdot 10^{-5}$	
Sala, 1999 (São Paulo)	$1,56 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$0,66 \cdot 10^{-5}$

Fonte: Elaboração própria a partir de Ostro, 1994; Seroa da Motta, 1995 e Sala, 1999.

QUADRO 53 - ESTUDOS DE OCORRÊNCIA DE DOENÇAS FACE À VARIAÇÃO DE $1\mu\text{G}/\text{M}^3$ DE PM_{10}

Estudo/Data	Doença	(Evento/pessoa)/($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
		Limite superior	Estimativa central	Limite inferior
Ostro, 1994	Bronquite crônica em adultos	$9.3 \cdot 10^{-6}$	$6.1 \cdot 10^{-5}$	$3.0 \cdot 10^{-5}$
	Sintomas respiratórios diversos (tosse, desconforto na garganta, irritação nos olhos)	0.2555	0.1679	0.0803
	Visitas de emergência	$3.54 \cdot 10^{-4}$	$2.373 \cdot 10^{-4}$	$1.17 \cdot 10^{-4}$
	Ataques de asma	0.1971	0.0584	0.3285
	Dias de trabalho parados	0.09125	0.0584	0.0292
	Admissão em hospital por problemas respiratórios	1.75	1.204	6.57
	Bronquite aguda em crianças	0.0024	0.0016	0.0008
ECO Northwest, 1987 e 1993	Bronquite		$3,6 \cdot 10^{-4}$	
	Doenças Agudas		$7,0 \cdot 10^{-6}$	
Sala, 1999 (São Paulo)	Admissão hospitalar por doenças respiratórias		$2,45 \cdot 10^{-5}$	
	Dias de atividades restritas por doenças respiratórias (Nota 1)	0,09	0,057	0,04

Nota

1- Considera-se apenas população acima de 18 anos.

Fonte: Elaboração própria a partir de Pearce et al., 1995; Rosa & Schechtman, 1996 e Sala, 1999

QUADRO 54 - ESTUDOS DE OCORRÊNCIA DE MORTES E DOENÇAS FACE À VARIAÇÃO DE $1\mu\text{G}/\text{M}^3$ NA CONCENTRAÇÃO DE SO_2

Estudo/Data	Evento	(Evento/pessoa)/($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
		Limite superior	Estimativa central	Limite inferior
Hatzakis et al, série temporal, 1972-82, Atenas (1)	Mortalidade	$1.32 \cdot 10^{-5}$	$5.23 \cdot 10^{-6}$	$2.18 \cdot 10^{-6}$
Schwartz et al., série temporal, Harvard (1)	Sintomas respiratórios / 1000 crianças /dia	0.026	0.018	0.010
Schwartz et al., série temporal, Los Angeles (1)	Disconforto na garganta/ adulto/ ano	0.015	0.010	0.005
ECO Northwest, 1987 e 1993	Pneumonia		$5,0 \cdot 10^{-4}$	
	Bronquite		$4,5 \cdot 10^{-3}$	
	Doenças do Aparelho Respiratório Inferior		$7,9 \cdot 10^{-4}$	
	Doenças Agudas		$4,5 \cdot 10^{-6}$	

Fonte: Elaboração própria a partir de Ostro, 1994 apud Pearce et al., 1995 e Rosa & Schechtman, 1996

QUADRO 55 - ESTUDOS DE OCORRÊNCIA DE MORTES E DOENÇAS FACE À CONCENTRAÇÃO ELEVADA DE OZÔNIO

Estudo	Evento	(Evento/ pessoa)/ppm		
		Limite superior	Estimativa central	Limite inferior
Kinney and Ozkaynak – 1991,1992	Mortalidade	$2.4 \cdot 10^{-3}$	$1.2045 \cdot 10^{-3}$	0
Thurston et al – 1992	Admissões em hospital por problemas respiratórios	$19 \cdot 10^{-6}$	$13.7 \cdot 10^{-6}$	$8.4 \cdot 10^{-6}$
Whittmore and Korn (1980), Stock et al. (1988)	Ataques de asma	0.520	0.188	0.106
Ostro and Rothschild (1989)	Dias de trabalho parados	$7.4 \cdot 10^{-2}$	$4.67 \cdot 10^{-2}$	$1.93 \cdot 10^{-2}$
Krupnick et al (1990)	Sintomas respiratórios agudos	0.204	0.137	0.07

Fonte: Elaboração própria a partir de Ostro, 1994 apud Pearce et al., 1995.

A partir dos dados de coeficientes de dose-resposta obtidos nos Quadros 52, 53, 54 e 55, a função dose-resposta pode ser obtida para avaliar a variação na frequência de ocorrência de uma doença específica em uma população devido a variação na concentração do poluente.

Os coeficientes são obtidos a partir de uma relação estatística⁴⁰ significativa entre os efeitos sobre a saúde humana e a concentração de poluentes. Entretanto, os estudos não provam que esta relação é causal, uma vez que o mecanismo biológico exato que rege os efeitos sobre a saúde humana não foi, em tal momento, estabelecido. Desta forma, o conhecimento da curva dose-resposta pode não ser exato, mas é na realidade, uma curva de dose-resposta simplificada.

Face às incertezas inerentes às pesquisas de biologia humana, a relação estatística entre os poluentes atmosféricos e a mortalidade ou a morbidade em variadas circunstâncias é tida como verdade baseada em bases plausíveis causais. Neste caso, os caminhos das pesquisas biológicas relativos aos efeitos da poluição sobre a mortalidade e a morbidade não estão resolvidos. Por isso, surgem os estudos epidemiológicos consistentes que descobrem as relações significativas. A habilidade de replicar os casos destas relações estatísticas para as diferentes populações em diferentes momentos é ainda muito questionado.

Não há evidência de que possa adaptar os referidos estudos de uma população para outra, pois as características sócio-econômicas e físicas peculiares a populações locais influenciam os resultados da relação poluente atmosférico – efeito sobre a saúde humana. Assim sendo, sugere-se que sejam

40 As estatísticas referem-se a “multi-collinearity” entre variáveis explicativas. Se todos os poluentes estiverem incluídos na regressão, o risco de atribuir um excesso de importância erradamente a uma determinada substância é claramente reduzido. Entretanto, é difícil atribuir o real efeito de cada poluente (coeficiente) sobre o dano.

estabelecidos estudos que relacionem estas variáveis nas áreas aonde se planeje implantar as usinas termelétricas.

É importante ressaltar que os efeitos ocasionados pelos poluentes variam de acordo com a combinação de suas concentrações, isto é, o efeito do dióxido de enxofre ou das demais toxinas sobre a saúde humana tende a ser mais representativo quando em conjunto com materiais particulados.

Um certo desconhecimento da população em relação ao real dano apresentado pela poluição atmosférica indica que o uso da função dose-resposta para valorar esta externalidade é mais adequado que a aplicação da valoração contingente. Adicionalmente, o custo financeiro de se elaborar uma pesquisa, via questionário, que seja ao mesmo tempo imparcial, exclui a possibilidade do uso deste método pelo Setor Elétrico brasileiro para os danos citados. Esta opção está consubstanciada nos resultados apresentados no Quadro 56.

QUADRO 56 - COMPARAÇÃO DA PERCEPÇÃO DO RISCO: EXPERT VERSUS PÚBLICO

Prioridades relacionadas pela EPA	Pesquisa de opinião pública	
	US, março 1990 “muito sério”	UK, maio 1989 “muito preocupado”
Riscos ecológicos (%)		
- Mudanças climáticas	48	44
- Camada de ozônio	60	56
- Mudanças no habitat	42	45
- Perdas da biodiversidade	n.a.	45
Riscos a saúde (%)		
- Poluição atmosférica tóxica	50	33
- poluição atmosférica interior	22	n.a.
- água potável	46	41
- pesticidas	52	46
Elementos vistos ⁽¹⁾ como importantes pelo público, e não pelos experts (%)		
- derramamentos de óleo	60	53
- locais de disposição de resíduos	66	n.a.
- poluição industrial da água	63	n.a.
- acidentes nucleares	60	n.a.
- acidentes de poluição industrial	58	64
- despejos radioativos	58	58
- tanques subterrâneos	54	n.a.
- água de banho contaminada	n.a.	59

Notas:

É importante ressaltar a diferença entre risco e incerteza: o risco ocorre quando há uma probabilidade associada a um acontecimento/fato a incerteza ocorre quando nem esta probabilidade é factível de ser apresentada.

1- Estes itens são claramente reconhecidos como relevantes, apesar da probabilidade de ocorrerem é menor que dos itens relacionados acima, seja pelo conhecimento e uso da gestão

do risco e de tecnologias de controle que possibilitam que estes tenham uma importância menor que os demais nos dias atuais.

Fonte: Turner, R.K. Pearce, D. & Bateman, I, 1994.

Verifica-se no Quadro 56, que apesar da importância atribuída pela comunidade científica aos riscos causados por poluentes atmosféricos, não é significativa a percepção da sociedade americana e britânica em relação a estes. Estes resultados confirmam a nossa opinião de que, o uso de técnicas de valoração baseadas na função de demanda para valorar os danos causados à saúde humana pela poluição atmosférica implicam em resultados pouco confiáveis, principalmente se considerarmos a sociedade brasileira. Infelizmente, o Brasil não tem nenhuma evidência cientificamente comprovada da percepção do dano. Por isso, partimos do princípio que a sociedade americana e britânica têm uma percepção maior que a sociedade brasileira em relação aos riscos à saúde humana ocasionados pela poluição atmosférica.

O Quadro 57 a seguir apresenta um resumo dos impactos ocasionados pelos poluentes provenientes das termelétricas.

QUADRO 57 – IMPACTO DOS POLUENTES INCLUÍDOS NO PRESENTE MODELO

	Impacto direto sobre a mortalidade humana	Impacto direto sobre a morbidade humana	Impacto indireto sobre a mortalidade humana	Impacto indireto sobre a morbidade humana
PM_{2,5}	X	X		
PM₁₀	X	X	X	X
SO_x	X	X		
NO_x		X		
PM₁₀ e ozônio			X	X
Benzeno	X	X		

Fonte: Davis, D.L. et al., 1997.

2.a.1 - APLICAÇÃO DA FUNÇÃO DOSE-RESPOSTA EM ESTUDOS PARA A DETERMINAÇÃO DO EFEITO DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA SOBRE A POPULAÇÃO AFETADA

Estudos realizados em Londres, na década de sessenta, apresentaram evidências de impactos de poluição atmosférica com a incidência da mortalidade e de morbidades.

Martin & Bradley (1960) apresentaram um trabalho com este tipo de enfoque, explorando o “smog” londrino. Constatou-se que no inverno de 1958 e 1959, a poluição era muito elevada. A partir daí,

buscou-se uma associação positiva e estatisticamente significativa entre a concentração de partículas e o número diário de óbitos. Também foi encontrada uma associação positiva, porém relativamente menos significativa, entre a concentração de dióxido de enxofre e a incidência diária de mortalidade. Alguns dos estudos analisados⁴¹ para estimar a relação entre os poluentes atmosféricos e a mortalidade analisaram não apenas os parâmetros de poluição atmosférica, mas também as variáveis meteorológicas e sócio-econômicas. Isto indica que existe uma associação estatisticamente significativa entre a incidência de mortalidade e a concentração de sulfatos, e entre a incidência de mortalidade por doenças respiratórias e as concentrações de partículas em suspensão e sulfatos.

O estudo desenvolvido por Ostro (1994) transformou a relação de mortalidade com partículas totais em suspensão para uma relação de mortalidade com PM₁₀. Acredita-se que este tipo de transformação gere alguns erros, devido a incerteza destas transformações. Ele chegou a relação de que a cada alteração de 10 µg/m³ de PM₁₀ corresponderia a uma alteração de 0,98% na mortalidade.

No estudo de Pope e Dockery (1994), um aumento de 10 µg/m³ em PM₁₀ está correlacionado com um aumento de 3,4% na mortalidade respiratória e 1% na mortalidade cardiovascular. Observa-se que este estudo verificou o risco à mortalidade, isolando influências decorrentes das diferenças na massa corporal, das exposições ocupacionais, do tabagismo (presente e passado), do uso de álcool, da idade e do gênero. Os resultados apresentaram robustez e uma associação estatisticamente significativa entre a exposição ao material particulado e a mortalidade.

No Brasil, ainda que com uma frequência incipiente, alguns estudos tentaram relacionar a poluição atmosférica aos danos causados à saúde humana.

Conforme relata Sala (1999), Ribeiro (1971) foi um dos pioneiros no estudo da epidemiologia da poluição do ar na Região Metropolitana de São Paulo. Neste trabalho, o autor procurou verificar a associação entre o número de atendimentos por infecções das vias aéreas superiores e por bronquite asmática em crianças com menos de doze anos, através dos registros dos postos de saúde concentrados na região de Santo André, e as taxas mensais de sulfatação e poeiras em suspensão, por um período de dois anos (agosto de 1967 a agosto de 1969). Foram constatadas correlações significativas entre a frequência anual de infecções das vias respiratórias e as taxas médias anuais de sulfatos, assim como entre a incidência da bronquite e os níveis de poeiras de partículas sedimentáveis. A velocidade dos ventos e o percentual de calmarias estiveram associados aos problemas respiratórios, o que indica que quanto mais parado o ar, pior é a dispersão dos poluentes e conseqüentemente, mais graves serão os problemas respiratórios.

Em um outro estudo de Ribeiro (1976) foi feita uma comparação entre duas áreas distintas de São Paulo para dois mil estudantes de 7 a 12 anos. Parte vivia em São Caetano do Sul, uma região

⁴¹ Dos estudos analisados destacam-se os realizados por Chinn, 1981 apud Ostro, 1994; Derrienis, 1989 apud Ostro 1998; Katsowiyanni, 1993 apud Ostro, 1994; Spix, 1993 apud Ostro, 1994; Salinas, 1995 apud Ostro, 1996 e Xu, 1994 apud Ostro 1996. Os resultados desses estudos encontram-se listados nos Quadros 53, 54, 55 e 56.

altamente industrializada e poluída, e a outra em Embu-Guaçu, uma área semi-rural. O estudo resultou em maiores índices de doenças pulmonares crônicas nas crianças da primeira região, e mesmo com o controle das variáveis sócio-econômicas, as diferenças permaneciam fortes.

Mendes & Wakamatsu (1976) registraram os efeitos agudos de três episódios críticos de poluição ocorridos em São Caetano do Sul em junho de 1976. Eles revisaram cerca de 8 mil atendimentos médicos realizados no mês de junho e observaram que os picos de morbidade coincidiam com os picos de poluição por partículas em suspensão e dióxido de enxofre. Além disto, o aumento dos casos de doenças respiratórias e cardiovasculares foi superior ao atendimento por outras causas. Foi observado, ainda, que as crianças de um a quatro anos foram mais atingidas por estas doenças, caracterizando-se como um grupo de risco.

Segundo estudos realizados na Faculdade de Medicina da USP, no período de 1991 a 1993, os modelos estatísticos estimaram que cerca de 15% a 20% das internações respiratórias de crianças na cidade de São Paulo são promovidas pela poluição atmosférica (Saldiva, 1996).

Chin (1997) verificou que, no período de maio de 1991 a abril de 1993, um aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} corresponderia a um aumento de 3,9% em admissões hospitalares por doenças respiratórias, a partir de crianças com idade inferior a 13 anos.

Sala (1999) e Mendes (1993) estabeleceram, através da aplicação de modelos econométricos, a relação entre o nível de concentração atmosférica de SO_2 e PM_{10} e a incidência de morbidade e de mortalidade para a cidade de São Paulo. O objetivo dos dois trabalhos foi buscar o valor das externalidades à saúde humana ocasionadas pela concentração de poluentes atmosféricos. Ambos os modelos apresentaram robustez. Mendes também efetuou seu estudo para as cidades de Belo Horizonte e Cubatão. Ele determinou os coeficientes dose-resposta que permitiram identificar a percentagem de variação no número de mortes/doenças face a variação de SO_2 e PM_{10} (Quadros 53, 54 e 55).

2.a.2 - VALORAÇÃO DO DANO CAUSADO À SAÚDE HUMANA PELA GERAÇÃO TERMELÉTRICA

Para a valoração dos danos causados à saúde humana pela geração termelétrica, recomenda-se a adoção e adaptação da metodologia sugerida por Szklo (1997) que se baseia em estudos já realizados, dentre os quais, o ECO Northwest (1983, 1986, 1987) e o estudo da EPA (1997) para o sulfato. Observa-se que para esta tarefa é necessário estabelecer algumas simplificações e hipóteses que não invalidam a aplicação da metodologia.

Constataremos que os impactos causados pela variação na concentração de um poluente atmosférico proveniente das termelétricas decorrem da quantidade emitida, da sua dispersão e da concentração de poluentes já existentes na área de influência da termelétrica (poluição-de-fundo).

As etapas para esta aplicação são apresentadas a seguir.

1ª Etapa: Estimar as emissões dos poluentes provenientes das termelétricas a serem planejadas pelo Setor

Estas emissões são função da potência estimada, da tecnologia, do nível de operação e do combustível utilizado na geração de energia. Portanto, sugere-se que seja feito um levantamento das termelétricas a serem construídas, identificando a sua potência, a tecnologia e o combustível a serem adotados, bem como suas estratégias operacionais e de manutenção.

O Quadro 58 apresenta algumas categorias de termelétricas que provocam danos ambientais e que podem ser valoradas em função dos gases emitidos.

QUADRO 58- OS POTENCIAIS POLUENTES DA GERAÇÃO TERMELETRICA

Tecnologia/Combustível	Insumos	Potenciais emissões atmosféricas
Convencional/ carvão	Carvão, água desmineralizada, combustíveis auxiliares (óleo combustível, gás natural, <i>briquetes</i>), lubrificantes, desengorduradores, substâncias de tratamento químico da água	NO _x , CO, SO _x , CO ₂ , particulados (incluindo PM ₁₀), emissões fugitivas, orgânicos voláteis e traços de metal
Convencional/ gás natural	Gás natural, combustíveis auxiliares (óleo combustível, destilados) água desmineralizada, desengorduradores, lubrificantes, substâncias de tratamento químico da água	NO _x , CO, CO ₂ , PM ₁₀ , orgânicos voláteis, cloro e traços de metal
Convencional/óleo	Óleo combustível, combustíveis auxiliares (gás natural, destilados), água desmineralizada, lubrificantes, desengorduradores	NO _x , CO, CO ₂ , SO _x , particulados (incluindo PM ₁₀), orgânicos voláteis, cloro e traços de metal
Turbina a gás/gás natural	Gás natural, combustível auxiliar (destilado), lubrificantes, desengorduradores	NO _x , CO, CO ₂ , orgânicos voláteis e traços de metal

Fonte: Electricity Supply Association of Australia, 1999.

Observa-se no Quadro 58 que os poluentes emitidos variam de acordo com o combustível, o tipo de processo e a tecnologia de controle. A tecnologia de controle de poluentes, a potência e o regime operacional das usinas também influenciarão no volume de poluentes emitidos.

Para estimar as emissões dos poluentes provenientes de cada categoria de empreendimento de termelétrica (E_{in}), sugere-se que se aplique a equação IV.14 abaixo:

$$E_{in} = PE \cdot f_{in} \cdot (1 - (r_{in} / 100))$$

(Eq. IV.14)

Onde,

E_{in} corresponde a taxa de emissão do poluente atmosférico (i) para uma categoria de empreendimento n (g de poluente por ano);

PE corresponde a produção anual de energia do empreendimento (kWh);

f_{in} corresponde ao fator de emissão^{42 43} do poluente (i) não controlado para cada categoria de empreendimento n (g/kWh);

r_{in} corresponde a eficiência no controle do poluente (i) para cada categoria de empreendimento n (%).

Na etapa prévia ao planejamento, existe uma incerteza quanto à tecnologia adicional para o controle de poluição a ser usada em cada categoria de empreendimento, isto é, não se sabe se serão usados filtro-mangas ou precipitadores eletrostáticos, dentre outros, para diminuir as emissões das futuras usinas. Assim sendo, sugere-se que se adote a hipótese de que não serão utilizados equipamentos de controle de poluentes atmosféricos para cada categoria de empreendimento, de modo que a eficiência⁴⁴ no controle de poluição seja considerada como nula para a identificação das emissões atmosféricas provenientes das usinas planejadas pelo Setor. Esta hipótese estará, em alguns casos, superestimando os efeitos danosos à saúde humana para cada categoria de empreendimento, a não ser que a presença do controle (custo de controle elevado) reduza os custos dos danos. Observa-se que a experiência mostra que o dados de projeto servem (após simulação e comparação com os níveis de concentração máximo determinados e comparados com os padrões) para aprimorar a tecnologia de controle, adequando as concentrações máximas ao nível da superfície a legislação vigente.

Para a valoração dos danos causados à saúde humana decorrentes dos poluentes atmosféricos (i), deverão ser considerados apenas o SO₂ e o PM₁₀. Portanto, para cada uma das nove categorias de empreendimentos relacionadas no Quadro 59, será calculada a emissão anual (E_{in}) para cada um dos poluentes (i) aqui relacionados. Observa-se que no caso de estação termelétrica a gás natural, os níveis de material particulado são praticamente desprezíveis, enquanto que os mais relevantes são

⁴² No capítulo III são dadas explicações detalhadas relativas aos coeficientes de emissão. Sugere-se que o Setor Elétrico faça uso dos fatores de emissão compilados pela Environmental Protection Agency. "Compilation of Air Pollutant Emissions Factors". In: Station Point and Area Sources AP-42 (www.epa.org).

⁴³ Os fatores de emissão são baseados tanto no consumo de combustível (kg de poluente por tonelada de combustível consumido) quanto no consumo de energia (kg/PJ ou t/PJ de energia gerada). Quando o fator de emissão for baseado no consumo de energia, sugere-se que seja utilizado: consumo de energia (PJ/ano) = consumo de combustível (tonelada/ano) * poder calorífico (MJ/kg) / 10⁶.

⁴⁴ Considera-se que o controle de poluição já esteja implícito no processo de geração térmica, não necessitando da adição de equipamentos de controle.

os de NOx. As emissões de SO₂ também seriam muito baixas. Normalmente, a operação prevê anualmente uma manutenção, o que pode levar ao uso temporário, de não mais de 3-4 dias, de óleo combustível para a geração de energia. Esse caso, a determinação dessa situação deve ser considerada na modelagem, valorizando-se portanto os impactos de SO₂.

O Quadro 59 apresenta também os fatores de emissão que sugerimos serem utilizados. Estes correspondem a uma média dos fatores originalmente apresentados em Rosa & Schechtman (1996) (vide Quadro 30 no Capítulo III) e no documento “*Emission Estimation Technique Manual for Fossil Fuel Electric Power Generation*” desenvolvido para o “*National Pollutant Inventory*” pela “*Electricity Supply Association of Australia Ltd*” por interesse do “*Commonwealth Government*” da Austrália em março de 1999.

QUADRO 59 - FATORES MÉDIOS DE EMISSÃO DOS POLUENTES (SO₂, CO₂ E PM) PARA CADA CATEGORIA DE EMPREENDIMENTO TERMELETRICO

Combustível	Categoria de Empreendimento	Tecnologia	Fator de Emissão do Poluente (g/kWh) ⁴⁵		
			SO ₂	CO ₂	PM ₁₀
Carvão Nacional	1	Ciclo a Vapor Convencional ¹	36,85	919	254,5
	2	Leito Fluidizado ²	31,32	n.a.	n.a.
Carvão Internacional	3	Ciclo a Vapor Convencional com caldeira a carvão pulverizado	5,95	865	28,15
	4	Leito Fluidizado/ Ciclo combinado	0,91	n.a.	n.a.
Gás Natural	5	Convencional	0,13	493	0,65
	6	Ciclo Combinado	0	438	0
Óleo Combustível Padrão	7	Turbina à gás	2,2	900	0
Óleo Combustível Pesado	8	Convencional	16,9	675	0,09

Notas:

n.a.: a informação não está indisponível. Sugere-se a busca da referida informação pelo Setor para efeito de valoração do custo de degradação ambiental.

1- As referidas emissões variam entre 5,7 e 68 g/kWh para SO₂, entre 590 e 1248 ppm/kWh para CO₂ e entre 119 e 390 g/kWh para PM₁₀, de acordo com o tipo de carvão a ser usado.

2- Segundo Rosa & Schechtman (1996), a tecnologia de geração leito fluidizada captura entre 80% e 90% das emissões de SO_x em relação a tecnologia convencional.

Fonte: Elaboração própria a partir de dados fornecidos por Rosa & Schechtman (1996) e do Electricity Supply Association of Australia (1999).

A produção de energia (PE) de cada usina pode ser estimada a partir da potência e de um fator de carga médio (variáveis conhecidas no planejamento de longo prazo).

O Quadro 60 apresenta as simulações dos resultados da taxa de emissão do poluente atmosférico (E_{in}) para cada categoria de empreendimento indicada a partir da tecnologia e do combustível utilizado. Vale lembrar que esta taxa de emissão é função da atividade da usina (PE), da eficiência no controle de poluição (r_{in}) e do fator de emissão (f_{in}).

QUADRO 60 - SIMULAÇÃO DA TAXA DE EMISSÃO DO POLUENTE PARA CADA CATEGORIA DE EMPREENDIMENTO

Categoria de Empreendimento	Taxa de Emissão (g de poluente por ano)
Categoria 1	$E_{i1} = f_{i1} * PE$
Categoria 2	$E_{i2} = f_{i2} * PE$
Categoria 3	$E_{i3} = f_{i3} * PE$
Categoria 4	$E_{i4} = f_{i4} * PE$
Categoria 5	$E_{i5} = f_{i5} * PE$
Categoria 6	$E_{i6} = f_{i6} * PE$
Categoria 7	$E_{i7} = f_{i7} * PE$
Categoria 8	$E_{i8} = f_{i8} * PE$

Notas:

A variável r_{in} não é considerada na etapa de planejamento do Setor, pois esta é uma variável relacionada a projeto de geração termelétrica.

2ª Etapa: Estimar a dispersão do poluente emitido pela usina, segundo os modelos matemáticos que consideram as características individuais de emissão e resultam nas estimativas de máximas concentrações dos poluentes mais relevantes ao nível da superfície do solo. Deve-se levar em conta, também, as diversas épocas do ano e as condições atmosféricas típicas, que permitem determinar a(s) área(s) de influência(s) direta dos poluentes gerados pela atividade em um determinado local.

Para estimar a concentração de poluentes na área de influência de uma usina térmica é necessário conhecer as características físicas, atmosféricas e a concentração de poluentes existente no entorno das usinas, assim como os poluentes emitidos (apurados na primeira etapa).

Nesta segunda etapa, é necessário estabelecer a área de influência das termelétricas. Pesquisamos algumas hipóteses, dentre elas:

- Estudos americanos para uma termelétrica de 650 MW com uma taxa anual de emissão de SO_2 de 13,4 mil toneladas por ano definem um raio de 150 km como um raio relevante para a determinação dos impactos econômicos diretos da poluição em função da emissão de SO_2 (ECO Northwest, 1983). A partir de contatos mantidos com especialistas em dispersão atmosférica, concluiu-se que o valor deste raio é válido apenas para regiões de vento forte e de planície, ou seja, no caso brasileiro para as termelétricas situadas na região sul do país. No caso de

⁴⁵ Emissão específica por unidade de energia gerada.

termelétricas instaladas em latitudes mais baixas e em áreas mais continentalmente adentradas, os regimes de ventos e, por conseguinte, de dispersão de poluentes são mais limitados. Em áreas mais litorâneas, por sua vez, os efeitos de circulações termicamente induzidos (brisas marítimas) podem criar mecanismos mais favoráveis ao transporte mais eficiente e maior dispersão dos poluentes. Há que se observar, contudo, em qualquer situação, as trajetórias médias e eventuais das plumas de poluição que serão geradas pela operação de uma termelétrica. Maiores cuidados devem ser tomados quando o empreendimento encontra-se próximo a uma fronteira, o que pode resultar, dependendo dos mecanismos de circulação característicos, na impactação da qualidade do ar em áreas de países vizinhos, e conseqüentemente, inclusive, a crises internacionais.

- Rosa & Schechtman (1996) selecionaram um raio de 65 km em um estudo para valorar os danos causados à saúde humana decorrente das emissões da usina do Complexo Termelétrico de Jorge Lacerda em Santa Catarina. A justificativa pela escolha deste valor deveu-se principalmente à limitação das informações cartográficas disponíveis. Os resultados obtidos com base neste raio certamente subestimariam os custos de degradação do Complexo.
- No estudo empreendido por Rebello (1999) para a termelétrica de Santa Cruz, mensurou-se os custos associados aos problemas com a saúde humana decorrentes de emissões atmosféricas nas cidades ao redor da usina e determinou-se um raio de 21 km distante da fonte emissora como determinante da área de influência da usina. Este raio foi estabelecido de acordo com a presença de formações rochosas identificadas através de mapas da região.

Sugerimos que sejam considerados dois raios médios que possam mapear a área de influência das usinas planejadas para o longo prazo pelo Setor, são eles: 21 km para usinas localizadas em áreas com formações rochosas ou próximas a grandes centros industriais e urbanos e 150 km para usinas localizadas em regiões de planícies. Estes raios simulam a distância máxima que os poluentes percorrem a partir da fonte emissora.

Quando se pensa em planejamento a longo prazo, não se conhece a localização certa das novas usinas, muito embora se tenha o conhecimento genérico das características atmosféricas da região em si, cabendo o refinamento climatológico após a definição exata do local a ser implantado o empreendimento. Assim, fica mais difícil de obter todas as variáveis necessárias para o conhecimento dos efeitos sinérgicos entre os poluentes das termelétricas nas diferentes bacias aéreas. O estabelecimento de modelos de dispersão possibilita a identificação da variação da concentração dos poluentes emitidos pelas usinas termelétricas a nível do solo e seu comportamento diante dos obstáculos naturais (topografia) e construídos (estruturas e edificações).

Para se conhecer a concentração dos poluentes a nível do solo nos dois raios de abrangência da área de influência das térmicas, é necessário adotar as algumas simplificações aqui sugeridas:

- Considerar a primeira direção predominante do vento, de modo que a dispersão da pluma emitida pela chaminé da usina se constitua numa única direção. No caso da segunda direção predominante do vento deve-se apresentar uma frequência de ocorrência próxima a da primeira predominância, considerando as duas direções nas simulações e cálculos associados.
- Considerar uma faixa de velocidade média de vento⁴⁶ para cada categoria de dispersão dos poluentes:
 - A uma faixa de velocidade média de vento de 0,5 a 3,0 m/s, associamos uma baixa dispersão de poluentes atmosféricos, com a ocorrência de núcleos de máximas concentrações relativamente mais próximos às fontes emissoras, e
 - A uma faixa de velocidade média de vento de 3,5 a 6,0 m/s, associamos uma alta dispersão de poluentes atmosféricos. Nesse caso, normalmente, os núcleos onde se dão as máximas concentrações encontram-se relativamente mais afastados do que no primeiro caso.

Observa-se que estamos analisando a concentração no solo para faixas que variam entre 21 km e 150 km ao longo do ano. Face às simplificações que estão sendo feitas, sugere-se que seja adotada a velocidade média de 3,0 m/s para ambas as faixas. Para a obtenção de dados mais acurados, caso o Setor tenha conhecimento do local onde estarão situadas as novas usinas durante a etapa de implementação da metodologia de valoração, devem ser consideradas as direções predominantes dos ventos e velocidades médias, sazonalmente, para o referido local.

A velocidade média é quantificada no “Atlas de Potencial Eólico Nacional” da ELETROBRÁS (1988) por sub-regiões geográficas. Estas sub-regiões apresentam condições semelhantes de relevo, direção e velocidade média dos ventos e circulação atmosférica, em relação a uma Estação Matriz (Estação com 24 dados diários). Contudo, a maior parte do Brasil encontra-se descoberta em termos de informações meteorológicas ao nível da superfície, o que sugere a busca de alternativas que preencham os espaços vazios – hoje em dia isso é possível a partir de informações geradas por satélites, tendo como elementos de ajuste as informações de longo período obtidas por diversos tipos de monitoramento.

- Não considera em primeira instância algumas variáveis meteorológicas que influenciam na dispersão da pluma, como a estabilidade atmosférica, a altura da camada de mistura e a variação da temperatura, haja vista o grau de dificuldades em obtê-las, exceto a partir de monitoramento de longo período incorporando informações provenientes do sensoriamento remoto da atmosfera (maiores detalhes quanto a influência destas variáveis estão no Capítulo III).

⁴⁶ Considerou-se uma velocidade média do vento como característica da dispersão dos poluentes, mas é importante ressaltar que esta varia durante o ano para as diversas áreas do País.

A altura da chaminé não será considerada, pois esta é uma variável intrínseca ao projeto e costuma ser determinada em função das características meteorológicas e físicas da região, de modo a causar a menor degradação possível ao ambiente à sotavento dos ventos predominantes.

- Considerar que nas áreas de baixa dispersão potencial, o poluente poderá causar danos à saúde humana numa distância de até 21 km da fonte emissora, enquanto numa faixa de alta dispersão, o poluente poderá percorrer uma distância de até 150 km, causando impacto direto à saúde humana.

Portanto, sugere-se duas áreas de influência cujas faixas de dispersão sejam caracterizadas por:

- Baixa dispersão: velocidade média do vento em torno de 3,0 m/s e distância percorrida pelos poluentes de até 21 km;
- Alta dispersão: velocidade média do vento em torno de 3,0 m/s e distância percorrida pelos poluentes de até 150 km

Após algumas simplificações, podemos determinar a concentração dos poluentes a nível do solo para cada categoria de empreendimento a partir da Equação⁴⁷ IV.15 abaixo:

$$C_{(x,y,z=0)n} = \frac{10^6 \cdot Q \cdot E_{in} \cdot \exp(-1/2 (H / \sigma_z)^2 - 1/2 (y / \sigma_y)^2)}{2\pi \cdot s \cdot u \cdot \sigma_y \sigma_z} \quad (\text{Eq. IV.15})$$

Onde,

$C_{(x,y,z=0)n}$ corresponde a concentração do poluente (i) a nível do solo para cada categoria de empreendimento n ($\mu\text{g}/\text{m}^3$);

E_{in} corresponde a taxa de emissão do poluente (i) para cada categoria de empreendimento n (g/ano) (definido na 1ª etapa);

H corresponde a altura efetiva da liberação de poluentes⁴⁸ (m);

u corresponde a velocidade média do vento (m/s);

s corresponde a distância da fonte emissora (km);

Q corresponde ao fator de conversão das unidades;

σ_y e σ_z correspondem aos desvios padrões da distribuição gaussiana nas direções transversais ao vento (y) e vertical (z) (m).

⁴⁷ Esta equação foi utilizada no estudo de Rosa & Schechtman, 1996.

⁴⁸ Como fora apresentado nas simplificações anteriormente apresentadas, esta variável não será considerada para efeito de valoração do dano causado pelo planejamento de longo prazo.

Portanto, adota-se a seguinte simplificação: a variação na concentração de um poluente (C_{in}) na área de influência depende das emissões dos poluentes (E_{in}), da velocidade média do vento (u) e da distância do ponto de emissão do poluente (s), conforme apresentado na Equação IV.16 a seguir:

$$C_{in} = \frac{10^6 \cdot Q \cdot E_{in}}{2\pi \cdot s \cdot u} \quad (\text{Eq. IV.16})$$

O Quadro 61 demonstra a simulação da concentração de um poluente a nível do solo para cada categoria de empreendimento de termelétrica, a partir das simplificações propostas.

QUADRO 61 - SIMULAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO A NÍVEL DO SOLO DO POLUENTE

Categoria de Empreendimento	Estimativa da concentração a nível do solo	
	s = 21 km e s = 150 km	
	Baixa dispersão s varia de 1 a 21 Km u = 3,0 m/s	Alta dispersão s varia de 1 a 150 km u = 3 m/s
Categoria 1	$C_{i1} = \frac{10^6 Q E_{i1}}{6\pi \cdot s}$	$C_{i1} = \frac{10^6 Q E_{i1}}{6\pi \cdot s}$
Categoria 2	$C_{i2} = \frac{10^6 Q E_{i2}}{6\pi \cdot s}$	$C_{i2} = \frac{10^6 Q E_{i2}}{6\pi \cdot s}$
Categoria 3	$C_{i3} = \frac{10^6 Q E_{i3}}{6\pi \cdot s}$	$C_{i3} = \frac{10^6 Q E_{i3}}{6\pi \cdot s}$
Categoria 4	$C_{i4} = \frac{10^6 Q E_{i4}}{6\pi \cdot s}$	$C_{i4} = \frac{10^6 Q E_{i4}}{6\pi \cdot s}$
Categoria 5	$C_{i5} = \frac{10^6 Q E_{i5}}{6\pi \cdot s}$	$C_{i5} = \frac{10^6 Q E_{i5}}{6\pi \cdot s}$
Categoria 6	Nota 1	Nota 1
Categoria 7	$C_{i7} = \frac{10^6 Q E_{i7}}{6\pi \cdot s}$	$C_{i7} = \frac{10^6 Q E_{i7}}{6\pi \cdot s}$
Categoria 8	$C_{i8} = \frac{10^6 Q E_{i8}}{6\pi \cdot s}$	$C_{i8} = \frac{10^6 Q E_{i8}}{6\pi \cdot s}$

Nota:

1- Como as usinas de ciclo combinado a gás natural apresentam fatores de emissão nulo para o SO₂ e o PM₁₀, estas não impactam a saúde humana, e esta categoria de empreendimento não será aqui considerada.

Para estabelecer a área de influência de usinas termelétricas com maior acurácia, sugere-se que o Setor realize estudos que defina um raio relevante para a determinação dos impactos à saúde humana provenientes das emissões atmosféricas.

O efeito dos poluentes emitidos sobre a saúde humana é cumulativo, de modo que sugere-se considerar o incremento da concentração anual do poluente, que é calculada pela integração numérica das concentrações instantâneas dos poluentes obtidas.

3ª Etapa: Estimar o risco associado à população exposta a cada poluente

Para toda externalidade decorrente dos poluentes existe um risco associado. O risco incremental individual é determinado pela equação IV.17 abaixo:

$$\Delta r_{s,jn} = C_{s,in} \cdot b_{ij}$$

(Eq. IV.17)

Onde,

$\Delta r_{s,jn}$ corresponde ao risco incremental individual ao dano (j) decorrente do poluente (i) no ponto (s) da região (evento);

b_{ij} corresponde ao coeficiente dose-resposta, para uma variação da concentração do poluente (i) no ponto (s) da região - ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (vide Quadros 52, 53 e 54);

$C_{s,in}$ corresponde a variação anual da concentração do poluente no ponto (s) da região para cada categoria de empreendimento termelétrico n

Observa-se a partir dos resultados apresentados nos Quadros 52, 53 e 54 que os coeficientes de dose-resposta variam de acordo com a população pesquisada. Não há evidência de que possa adaptar os referidos estudos de uma população para outra, pois as características sócio-econômicas e físicas peculiares a populações locais influenciariam os resultados obtidos. Entretanto, como pretendemos identificar o custo de degradação proveniente de usinas termelétricas, sugere-se que inicialmente sejam usados os coeficientes aplicados por Sala (1999), referentes a estudos feitos com a população de São Paulo relativos a PM_{10} , e por Rosa & Schechtman (1996) para o SO_2 .

Salienta-se que a validade da utilização dos coeficientes de dose-resposta depende das seguintes hipóteses:

- Uma relação linear entre a concentração do poluente e seus efeitos nocivos, sem a existência de um limiar abaixo do qual não há efeito;
- Não há efeito sinérgico dos diversos tipos de poluentes;

- Há efeito cumulativo dos poluentes sobre os indivíduos para cada evento considerado;
- As variáveis atmosféricas, físicas e econômicas dos locais não são relevantes, de modo que possamos aplicar os coeficientes de dose-resposta estimados para populações de locais distintos.

Dessa maneira, podemos traçar algumas hipóteses relativas ao risco associado às populações (Quadro 62).

QUADRO 62 - SIMULAÇÃO DO RISCO ASSOCIADO À POPULAÇÃO EXPOSTA A CADA POLUENTE

Categoria de Empreendimento	Estimativa do risco associado à população exposta a cada poluente (i) no ponto (s) da região	
	Baixa dispersão s = 1 a 21 km	Alta dispersão s = 1 a 150 km
Categoria 1	$\Delta r_{s,1j} = C_{s,i1*} b_{ij}$	$\Delta r_{s,1j} = C_{s,i1*} b_{ij}$
Categoria 2	$\Delta r_{s,2j} = C_{s,i2*} b_{ij}$	$\Delta r_{s,2j} = C_{s,i2*} b_{ij}$
Categoria 3	$\Delta r_{s,3j} = C_{s,i3*} b_{ij}$	$\Delta r_{s,3j} = C_{s,i3*} b_{ij}$
Categoria 4	$\Delta r_{s,4j} = C_{s,i4*} b_{ij}$	$\Delta r_{s,4j} = C_{s,i4*} b_{ij}$
Categoria 5	$\Delta r_{s,5j} = C_{s,i5*} b_{ij}$	$\Delta r_{s,5j} = C_{s,i5*} b_{ij}$
Categoria 6	$\Delta r_{s,6j} = C_{s,i6*} b_{ij}$	$\Delta r_{s,6j} = C_{s,i6*} b_{ij}$
Categoria 7	$\Delta r_{s,7j} = C_{s,i7*} b_{ij}$	$\Delta r_{s,7j} = C_{s,i7*} b_{ij}$
Categoria 8	$\Delta r_{s,8j} = C_{s,i8*} b_{ij}$	$\Delta r_{s,8j} = C_{s,i8*} b_{ij}$

4ª Etapa: Estimar os danos causados à população exposta ao poluente.

Primeiramente, é necessário determinar a dimensão da população que reside na área de influência de cada uma das categorias de empreendimentos termelétricos. No capítulo III.2.b, apresentamos as três faixas de densidade demográfica para efeito de valoração dos danos para cada categoria de termelétrica, como:

- empreendimentos situados em regiões de alta densidade demográfica (área com mais de 1000 habitantes por km²);
- empreendimentos situados em regiões de média densidade demográfica (área com mais de 100 habitantes por km² e menos de 1000 habitantes por km²);
- empreendimentos situados em regiões de baixa densidade demográfica (área com menos de 100 habitantes por km²).

Uma vez identificada a densidade demográfica média por região, é possível obter uma referência da população que residirá na área de influência da usina (raio igual a 21 km ou raio igual a 150 km).

Assim sendo, estabelecemos a relação impacto-dano à saúde humana (função dose-resposta) para a população residente na área de influência da termelétrica. O impacto na saúde humana da população ($\Delta S_{s,in}$) que habita na área de influência da termelétrica provocado pelas variações das concentrações dos poluentes atmosféricos (i) é determinado pela equação IV.18:

$$\Delta S_{s,in} = \Delta r_{s,ij} \cdot \text{Pop}_{s,i} \quad (\text{Eq. IV.18})$$

Onde,

$\Delta S_{s,in}$ corresponde a doenças ou mortes ocasionadas pela variação na concentração do poluente (i) sobre a população residente na área de influência (s) de uma categoria de termelétrica n;

$\Delta r_{s,ij}$ corresponde ao risco incremental individual ao dano (j) decorrente do poluente (i) no ponto (s) da região(evento) (vide etapa 3);

$\text{Pop}_{s,i}$ corresponde a população exposta ao risco do poluente (i) em (s).

Para que se conheça o dano total sobre à saúde da população atingida, sugere-se que $\Delta S_{s,in}$ seja identificada anualmente durante o período de vida útil médio para cada categoria de empreendimento.

Para a área de baixa dispersão, teremos a equação IV.19:

$$\Delta S_{s,in} = \sum_{s=1}^{s=21} \Delta r_{s,ij} \cdot \text{Pop}_{s,i} \quad (\text{Eq. IV.19})$$

Para a área de alta dispersão, teremos a Equação IV.20:

$$\Delta S_{s,in} = \sum_{s=1}^{s=150} \Delta r_{s,ij} \cdot \text{Pop}_{s,i} \quad (\text{Eq. IV.20})$$

Dentre as simplificações e aproximações adotadas nesta etapa, é importante ressaltar que a população na área de influência da usina receba a mesma dose de poluente. Estas simplificações ocorrem devido às variações nas concentrações de poluentes, que são influenciadas pela velocidade do vento, pela altura das chaminés e pelo relevo topográfico da região.

O Quadro 63 apresenta as simulações dos impactos na saúde humana ($\Delta S_{s,in}$) para cada categoria de empreendimento que variam conforme os coeficientes de dose-resposta (b_{ij}), da população localizada

($pop_{s,i}$) na área de influência da usina e a variação de concentração do poluente emitido ($C_{s,in}$) para cada categoria de empreendimento.

QUADRO 63 - DANOS TOTAIS CAUSADOS À POPULAÇÃO EXPOSTA AO POLUENTE

Categoria de Empreendimento	Média densidade demográfica		Alta densidade demográfica	
	Baixa dispersão s = 1 a 21 km	Alta dispersão s = 1 a 150 km	Baixa dispersão s = 1 a 21 km	Alta dispersão s = 1 a 150 km
Categoria 1	$\Delta S_{s,i1} = 150 \sum_{s=1}^{s=21} b_{ij} \cdot C_{s,i1}$	$\Delta S_{s,i1} = 150 \sum_{s=1}^{s=150} b_{ij} \cdot C_{s,i1}$	Nota 1	Nota 1
Categoria 2	$\Delta S_{s,i2} = 150 \sum_{s=1}^{s=21} b_{ij} \cdot C_{s,i2}$	$\Delta S_{s,i2} = 150 \sum_{s=1}^{s=150} b_{ij} \cdot C_{s,i2}$	$\Delta S_{s,i2} = 1500 \sum_{s=1}^{s=21} b_{ij} \cdot C_{s,i2}$	$\Delta S_{s,i2} = 1500 \sum_{s=1}^{s=150} b_{ij} \cdot C_{s,i2}$
Categoria 3	$\Delta S_{s,i3} = 150 \sum_{s=1}^{s=21} b_{ij} \cdot C_{s,i3}$	$\Delta S_{s,i3} = 150 \sum_{s=1}^{s=150} b_{ij} \cdot C_{s,i3}$	$\Delta S_{s,i3} = 1500 \sum_{s=1}^{s=21} b_{ij} \cdot C_{s,i3}$	$\Delta S_{s,i3} = 1500 \sum_{s=1}^{s=150} b_{ij} \cdot C_{s,i3}$
Categoria 4	$\Delta S_{s,i4} = 150 \sum_{s=1}^{s=21} b_{ij} \cdot C_{s,i4}$	$\Delta S_{s,i4} = 150 \sum_{s=1}^{s=150} b_{ij} \cdot C_{s,i4}$	$\Delta S_{s,i4} = 1500 \sum_{s=1}^{s=21} b_{ij} \cdot C_{s,i4}$	$\Delta S_{s,i4} = 1500 \sum_{s=1}^{s=150} b_{ij} \cdot C_{s,i4}$
Categoria 5	$\Delta S_{s,i5} = 150 \sum_{s=1}^{s=21} b_{ij} \cdot C_{s,i5}$	$\Delta S_{s,i5} = 150 \sum_{s=1}^{s=150} b_{ij} \cdot C_{s,i5}$	$\Delta S_{s,i5} = 1500 \sum_{s=1}^{s=21} b_{ij} \cdot C_{s,i5}$	$\Delta S_{s,i5} = 1500 \sum_{s=1}^{s=150} b_{ij} \cdot C_{s,i5}$
Categoria 6	$\Delta S_{s,i6} = 150 \sum_{s=1}^{s=21} b_{ij} \cdot C_{s,i6}$	$\Delta S_{s,i6} = 150 \sum_{s=1}^{s=150} b_{ij} \cdot C_{s,i6}$	$\Delta S_{s,i6} = 1500 \sum_{s=1}^{s=21} b_{ij} \cdot C_{s,i6}$	$\Delta S_{s,i6} = 1500 \sum_{s=1}^{s=150} b_{ij} \cdot C_{s,i6}$
Categoria 7	$\Delta S_{s,i7} = 150 \sum_{s=1}^{s=21} b_{ij} \cdot C_{s,i7}$	$\Delta S_{s,i7} = 150 \sum_{s=1}^{s=150} b_{ij} \cdot C_{s,i7}$	$\Delta S_{s,i7} = 1500 \sum_{s=1}^{s=21} b_{ij} \cdot C_{s,i7}$	$\Delta S_{s,i7} = 1500 \sum_{s=1}^{s=150} b_{ij} \cdot C_{s,i7}$
Categoria 8	$\Delta S_{s,i8} = 150 \sum_{s=1}^{s=21} b_{ij} \cdot C_{s,i8}$	$\Delta S_{s,i8} = 150 \sum_{s=1}^{s=150} b_{ij} \cdot C_{s,i8}$	$\Delta S_{s,i8} = 1500 \sum_{s=1}^{s=21} b_{ij} \cdot C_{s,i8}$	$\Delta S_{s,i8} = 1500 \sum_{s=1}^{s=150} b_{ij} \cdot C_{s,i8}$

Nota

1- Esta categoria de empreendimento não será objeto de valoração, pois não se considera a possibilidade de que no futuro seja implementada uma termelétrica a carvão nacional que utilize tecnologia convencional em área de alta densidade demográfica.

6ª Etapa: Estimar o valor econômico das alterações dos serviços ambientais:

Após a identificação da população que foi impactada pelos poluentes atmosféricos, sugerimos ao Setor Elétrico que valora monetariamente o dano segundo os procedimentos abaixo.

Valoração Monetária da Morbidade ⁴⁹

Uma primeira aproximação dos custos de morbidade pode ser medida pelas despesas de saúde (gastos hospitalares, remédios, etc.) e pela perda de produtividade devido a doença.

Por vezes, não é possível identificar os gastos com medicamentos decorrentes de doenças causadas pela poluição atmosférica, pois não há estatística para tanto. Para isso, sugere-se ao Setor que encomende uma pesquisa referente aos gastos com medicamentos para cada região.

De acordo com o IBGE (1997), o maior número de internações é devido a complicações no parto e a segunda maior causa é devido as doenças do aparelho respiratório. Do total de internações, aproximadamente 16% são por problemas respiratórios. A média de permanência em hospitais por doenças do aparelho respiratório no país é de 5,7 dias, variando de 5,5 dias para hospitais públicos e privados e 8,1 dias para hospitais universitários (IBGE, 1997).

Constata-se que o valor das internações pagas pelo SUS no Brasil é muito baixo (IBGE, 1997). Os valores referentes às hospitalizações em hospitais privados, aos gastos com medicamentos e aos dias parados de trabalho proporcionam um custo de degradação mais acurado, apesar de não haver informação oficial suficiente para que estes valores sejam utilizados pelo Setor.

Apresentamos no Quadro 64, um exemplo dos gastos com doenças respiratórias provocadas por poluentes.

QUADRO 64 - ADMISSÃO HOSPITALAR POR DOENÇAS RESPIRATÓRIAS⁵⁰
MÉDIA DE ESTADIA: 14,8 DIAS
CUSTO MÉDIO DE ESTADIA: R\$ 263 POR INTERNAÇÃO
TAXA DE PERDA DE SALÁRIO DIÁRIO: R\$ 40 POR DIA DE ATIVIDADE RESTRITA
CADA ADMISSÃO HOSPITALAR POR DOENÇA RESPIRATÓRIA CUSTA: US\$ 855,00 = (263 + 14,8 x 40)
FONTE: SALA, 1999.

⁴⁹ Texto baseado em Sala, 1999.

Valoração Monetária da Mortalidade⁵¹

Para a valoração da vida humana é importante distinguir entre o valor da vida estatística e o valor da vida de um dado indivíduo. O valor da vida estatística é o valor relacionado a uma mudança nos riscos associados a um membro de um grande grupo de pessoas que estão morrendo. Fornecer um valor monetário à vida devido ao risco de morte ou de doença num grande grupo é algo que a sociedade tem que tratar rotineiramente em algumas atividades, como, os projetos de construção, os projetos automobilísticos e outros produtos de consumo, assim, como na determinação da extensão do abatimento da poluição.

Este tipo de valoração é conhecido a partir da identificação do dano causado à saúde humana da população provocada pela usina, através das técnicas apresentadas anteriormente.

Por exemplo, uma das formas de valorar a vida, ainda que possua problemas em suas considerações, é o método da disposição a pagar ou a aceitar que refere-se ao valor que a sociedade está disposta a pagar para reduzir a probabilidade de morte ou reduzir o risco de morte prematura. Esta disposição pode ser calculada com base em preços hedônicos ou valoração contingente (ver método no Capítulo II).

A valoração das externalidades é um meio de análise que fornece ao tomador de decisão informações sobre os danos a serem mensurados em base econômica.

A questão da valoração é muito delicada, principalmente quando se tenta valorar a vida humana. Este tipo de valoração é especialmente controversa por questões éticas, morais e religiosas. Há um certo desconforto em citar valores ou fórmulas para o cálculo destes. A valoração das doenças sofridas pelo homem também é difícil. Os gastos relacionados as doenças, normalmente baseiam-se em gastos remédios e na hospitalização.

Os valores da vida estatística podem ser calculados baseados em estudos de risco ocupacional⁵². (Quadro 65)

⁵⁰ As estimativas com gastos com internações realizadas pelo SUS devido a poluição atmosférica é um valor baixo, em decorrência principalmente dos baixos valores pagos pelo SUS para estas internações.

⁵¹ Texto baseado em Sala (1999).

⁵² Os estudos de risco ocupacional são realizados para que empresas conheçam e mitiguem os riscos de acidentes e de doenças provenientes das atividades das empresas.

QUADRO 65 - VALOR DA VIDA ESTATÍSTICA BASEADO EM ESTUDOS DE RISCO OCUPACIONAL

Estudos	País	Valor da Vida (US\$ - 1989)
Arnould-Nichols (1983)	EUA	870.000
Dillinharn (1979)	EUA	550.000
Olson (1981)	EUA	9.680.000
Smith, R. (1974)	EUA	10.220.000
Smith, R. (1975)	EUA	4.500.000
Thaler Rosen (1976)	EUA	780.000
Viscusi (1978)	EUA	3.950.000 - 5.320.000
Viscusi (1981)	EUA	9.540.000 - 14.990.000
Marin-Psacharopoulos (1982)	UK	4.090.000
Veijanovski (1980)	UK	8.450.000 - 11.440.000
Needlernan (1979)	UK	320.000 - 1.790.000

Fonte: Sala, 1999.

Em um outro estudo realizado sobre os valores da vida estatística, baseando-se no diferencial de salário nos EUA, chegou-se a um valor de US\$ 100 a US\$ 800 para um risco de mortalidade anual de 0,0001. Isto significa, US\$ 1 a US\$ 8 milhões por vida estatística (Fischer, 1984; Dixon, J.A., 1994).

No Brasil, pode-se fazer uma aproximação do custo da vida estatística, baseando-se no risco ocupacional. Segundo as Normas Regulamentadoras de Segurança do Trabalho, há um ganho diferencial por insalubridade, que varia de acordo com o risco. É um adicional de 10% sobre o salário mínimo quando o risco envolvido é de grau mínimo, 20% para o de grau médio e 40% para o de grau máximo.

Outra opção é a utilização do capital humano. Assume-se que o valor da vida estatística é equivalente ao valor presente da produção futura que é gerada pelo indivíduo que veio a falecer prematuramente. Assim, a produção sacrificada por morte prematura é função do número de óbitos associados à poluição do ar e o valor deste capital humano perdido (Seroa da Motta, R. e Mendes, A.P., 1994).

De acordo com a teoria do capital humano, o óbito precoce de crianças não ocasionaria uma perda da produção futura, pois não houve investimentos em educação e treinamento profissional.

O estudo de Seroa da Motta e Mendes (1994) identificou que o valor da vida estatística pela teoria do capital humano vale US\$ 7.720,16 (para uma taxa de desconto de 5%) e US\$ 3695,73 (para uma taxa de desconto de 15%) - dólar de 1989.

Todos os métodos de valoração baseados na renda individual podem levar a questionamentos acerca

do valor da vida estatística, principalmente quanto a questão da vida valer mais em países desenvolvidos (mais ricos) do que em países em desenvolvimento (mais pobres). Ainda sob este aspecto, o valor da vida de desempregados, inválidos e aposentados seria nulo (Dixon, J.A.;1994).

Spadaro et all. (1998) chegou a um valor da vida estatística estimado em 3,25 milhões de dólares. Este valor foi utilizado para a valoração das externalidades do setor de transportes na França. Um outro estudo realizado por Ottinger et all. (1990), recomenda um valor de US\$ 4 milhões para o risco incremental de morte.

Outra forma de mensurar a mortalidade é através dos gastos hospitalares por internação relativa a um óbito. Para tanto, é necessário saber a média de internações por óbito e o custo médio de internação para doenças respiratórias. Mendes (1993) verificou que o gasto hospitalar por óbito na cidade de São Paulo era de US\$ 5.647,00 - dólar de 1989.

Os benefícios para se prevenir de uma morte prematura são mensurados através do questionamento sobre quanto custaria salvar uma vida. É uma forma de análise de custo-efetividade para a vida estatística. Alguns tipos de intervenção podem ser utilizados, como a imunização de crianças através de vacinas ou o uso de terapia de re-hidratação oral para tratar pacientes com diarreia. Este tipo de custo pode ser bem pequeno.

Não foram apresentados aqui todos os métodos possíveis de valoração da vida. No entanto, estes métodos já mostram a dificuldade em obter um valor único para este "bem". De acordo com as premissas adotadas nos diferentes métodos, chega-se a valores muito diferentes.

O custo de degradação de cada uma das nove categorias de empreendimento aqui propostas considera os aspectos relacionados a dispersão dos poluentes emitidos e a densidade demográfica da área onde a usina está localizada. Isto corresponde ao somatório do valor monetário da morbidade e da mortalidade atribuído a cada uma das categorias de empreendimentos para um conjunto de dois poluentes: SO₂ e PM₁₀, conforme a Equação⁵³ IV.21 apresenta:

$$(VDSH_{s,in,p}) = VM_n * \sum (\Delta S_{s\ SO_2,n} (mortes) + \Delta S_{s\ PM,n} (mortes)) + VMB_n * \sum (\Delta S_{s\ SO_2,n} (doenças) + \Delta S_{s\ PM,n} (doenças))$$

⁵³ Ressalta-se que o custo de degradação das termelétricas deverá ser valorado considerando o período de vida útil médio de cada uma das categorias de empreendimento aqui propostas e por isto a fórmula apresenta (Σ)

Onde,

$VDSH_{s,in,p}$ corresponde ao valor total do dano causado à saúde humana durante a vida útil de um empreendimento numa área de dispersão atmosférica (s) com uma densidade demográfica p (em bases monetárias);

VM_n corresponde ao valor atribuído à vida humana (em bases monetárias);

VMB_n corresponde ao valor atribuído à morbidade (em bases monetárias);

$\Delta S_{si,n} \text{ (doenças)}$ corresponde as doenças provocadas pela variação na concentração do poluente (i) sobre a população residente na área de influência (s) de uma categoria de termelétrica (em bases monetárias);

$\Delta S_{si,n} \text{ (mortes)}$ corresponde as mortes ocasionadas pela variação na concentração do poluente (i) sobre a população residente na área de influência (s) de uma categoria de termelétrica (em bases monetárias).

Sugere-se portanto, que o setor atribua o valor do dano causado à saúde humana para vinte e seis categorias de empreendimento termelétrico, de modo a incorporá-los na etapa de planejamento.

2.a.3 - RESSALVAS A APLICAÇÃO DA FUNÇÃO DOSE-RESPOSTA PARA VALORAR OS DANOS CAUSADOS À SAÚDE HUMANA DECORRENTES DAS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

No Capítulo II deste trabalho foram apresentados os vieses do métodos de produtividade marginal - função dose-resposta. Assim, as ressalvas ali apresentadas aos estudos epidemiológicos e às funções dose-resposta são cabíveis a este caso. Adicionalmente, o coeficiente de dose-resposta utilizado tem especificidades que não são perfeitamente adaptadas para diferentes populações e localizações.

A valoração dos danos à saúde humana para uma etapa prévia ao planejamento não permite obter, com maior clareza, as características técnicas, locacionais, etc. das futuras usinas. A curto prazo, é possível estimar as emissões relativas as usinas planejadas. As informações meteorológicas relativas ao local onde as termelétricas se localizam determinam a concentração do poluente conforme a distância percorrida por este e também a população que será atingida.

Os efeitos provocados pelos poluentes variam de acordo com a combinação de suas concentrações. O efeito do dióxido de enxofre (ou das demais toxinas) sobre a saúde humana tende a ser mais representativo quando em conjunto com materiais particulados. Adicionalmente, embora haja estudos para diferentes poluentes, observa-se que há muitas associações significativas entre as partículas em suspensão (partículas totais, partículas inaláveis e partículas finas). Estas considerações não foram passíveis de ser identificadas.

2.b - O aquecimento global provocado pelas emissões de dióxido de carbono (CO₂) por termelétricas ⁵⁴

O efeito estufa é um fenômeno natural. Entretanto, as atividades antropogênicas estão acelerando as emissões de gases que provocam o efeito estufa e conseqüentemente, o aquecimento global. Considera-se que os principais gases que provocam o efeito estufa são o dióxido de carbono, o metano e o óxido de nitrogênio. Adicionalmente, outros gases também contribuem para o efeito estufa, como o ozônio e o CFC.

O dióxido de carbono é considerado um dos principais responsáveis pelo efeito estufa, contribuindo em cerca de 50%, enquanto que o metano e o óxido de nitrogênio com cerca de 23-25%. As emissões de dióxido de carbono são provenientes principalmente da queima de combustíveis fósseis e de florestas tropicais. Há controvérsias quanto a relação entre ambas, mas acredita-se que cerca de 80% das emissões de CO₂ provêm da queima dos combustíveis fósseis e 20% das queimadas das florestas tropicais.

Apesar disto, estudos e acordos têm sido realizados com o objetivo de estabelecer uma política internacional para a redução dos impactos antropogênicos sobre o efeito estufa. Neste contexto existem duas correntes de estudos e políticas internacionalmente em andamento: a de análise dos custos e benefícios e a da sustentabilidade.

A primeira corrente estabelece que os danos futuros devem ser medidos, avaliados e comparados aos custos a serem incorridos pelas populações atuais na adoção de medidas de controle, neste contexto estas podem ser avaliadas através de análise custo-benefício que não reduza os ganhos e perdas das gerações presentes e futuras a uma mesma unidade ou através de análise custo benefício monetária, quando for possível monetizar o dano/benefício.

A segunda corrente estabelece que deve-se evitar o dano às futuras gerações e portanto, evitá-lo independente das incertezas científicas e inerentes a ações futuras.

Neste contexto, enquanto a primeira corrente acredita que ao medir a escala do dano é possível identificar se este será significativo, a segunda corrente indica que a ação deve ser evitada e portanto não é necessário quantificar seus danos.

Observa-se que independente das correntes apresentadas, existe uma tendência de estabelecimento de acordos internacionais que permitem estabelecer metas globais de emissão de gases para todo o mundo. Neste sentido, a valoração das emissões de carbono provenientes das usinas termelétricas no país torna-se uma ferramenta importante no planejamento do Setor Elétrico.

⁵⁴ Este item se baseou em (Pearce, D. et al.1995), (Pearce, D. et all.1993) e (UNEP/IPCC, 1995).

A valoração do dano proveniente do aquecimento global é um assunto de muitas controvérsias. Alguns problemas globais, por exemplo, o aquecimento global, podem produzir mudanças “não marginais” no bem-estar humano, que dificilmente são captadas pelas metodologias de valoração. Apesar disto, existem várias tentativas de valorar o dano provocado pelo aquecimento global, com o objetivo de auxiliar no estabelecimento de metas para a redução dos gases que induzem o aquecimento global.

O dano provocado pelo aquecimento global é demonstrado através da análise do seu impacto nas Contas Nacionais dos Países. A maior parte das estimativas de danos está relacionada a impactos decorrentes de mudanças climáticas provenientes da duplicação da concentração de dióxido de carbono pré-industrial equivalente de todos os gases do efeito estufa (referido como o *benchmark* aquecimento).

O Quadro 66 sumariza as principais estimativas existentes relativas ao dano proveniente do aquecimento global para as diferentes regiões do mundo. Valores monetários para os danos decorrentes da duplicação de CO₂ foram estimadas para inúmeros setores da economia.

QUADRO 66 : VALOR MONETÁRIO DO DANO CAUSADO PELA DUPLICAÇÃO DE CO₂ EM DIFERENTES REGIÕES DO

MUNDO

Países	Fankhauser (1995)		Tol (1994)	
	bn\$	%GDP nota1	bn\$	%GDP nota1
União Européia	63.6	1.4		
Estados Unidos	61.0	1.3		
Outros países da OCDE	55.9	1.4		
OCDE			74.2	1.5
Países europeus da OCDE			56.5	1.3
Países do Pacífico da OCDE			59.0	2.8
Total da OCDE	180.5	1.3	189.5	1.6
Europa do Leste/Antiga URSS	18.2	0.7 ^{nota2}	-7.9	-0.3
Ásia Central	16.7 ^{nota 3}	4.7 ^{nota 3}	18.0	5.2
Ásia do Sul e do Sudeste			53.5	8.6
África			30.3	8.7
América do Sul			31.0	4.3
Oriente Médio			1.3	4.1
Total países não-OCDE	89.1	1.6	126.2	2.7
Mundo	269.6	1.4	315.7	1.9

Nota 1: notar que a base do PIB pode diferir entre os estudos

Nota 2: apenas a antiga URSS

Nota 3: apenas China

Fonte: Pearce et all, 1995 .

Diferentes estudos realizados para os Estados Unidos indicam que, perdas decorrentes do aquecimento global proveniente da duplicação do CO₂ – equivalente, apresentam diferentes resultados. Assim, estas perdas correspondem a uma perda “pouco” superior a 1% do PIB americano, nos estudos realizados por Cline, Frankhauser e Tol e a uma perda de cerca de 2,5% na estimativa central de Titus, que especifica uma faixa inferior e superior de perda, que é 0,8% e 5,4% do PIB americano respectivamente. As estimativas realizadas para a maioria dos países da OCDE estão na mesma ordem de magnitude dos estudos anteriores, isto é, entre 1% e 2% do PIB nacional.

Em geral, as estimativas apresentadas indicam que existe uma faixa relativamente estreita para o cálculo dos danos relativos aos Estados Unidos e aos países em desenvolvimento, que pode levar a uma convergência entre estes. Face a esta convergência, é possível extrapolar os valores aplicáveis aos Estados Unidos para outras regiões do mundo, considerando algumas aproximações.

O preço de uma tonelada de carbono é de cerca de US\$ 9 por tonelada (Pearce, D.W., 1993). Esta estimativa faz parte de trabalhos de valoração dos efeitos decorrentes das mudanças climáticas e pode ser utilizada como um subsídio para os diversos países e setores da economia destes. O valor presente da estimativa é obtido considerando uma taxa de desconto de 1%.

O Quadro 67 a seguir sumariza as estimativas monetárias do dano total de uma tonelada de carbono emitida nos dias atuais e acumulada na atmosfera ao longo do tempo. Segundo Pearce, a estimativa mais sofisticada, dentre todas apresentadas, é a realizada por Frankhauser. De modo que, ele considera que o custo médio global de uma tonelada de carbono estaria na ordem de US\$ 20 por tonelada de carbono.

QUADRO 67: O CUSTO DO DANO DAS EMISSÕES DE CO₂ (VALOR CORRENTE DE (US\$ 1990)/TC)

Estudo	Tipo	1991-2000	2001-2010	2011-2020	2021-2030
Nordhaus (1991)	MC	7.3 (0.3 – 65.9)			
Ayres and Walter (1991)	MC	30 - 35			
Nordhaus (1994) - certeza/melhor estimativa - incerteza/valor esperado	CBA	5.3	6.8	8.6	10.0
		12.0	18.0	26.5	n.a
Cline (1991)	CBA	5.8 - 124	7.6 - 154	9.8 - 186	11.8 - 221
Peck and Teisburg (1992)	CBA	10 - 12	12 - 14	14 - 18	18 – 22
Frankhauser (1994)	MC	20.3 (6.2 – 45.2)	22.28 (7.4 – 52.9)	25.3 (8.3 – 58.4)	27.8 (9.2 – 64.2)
Maddison (1994)	CBA/ MC	5.9 – 6.1	8.1 – 8.4	11.1 – 11.5	14.7 – 15.2

Nota: MC = estudo do custo marginal do dano

CBA = preço – sombra num estudo de custo-benefício

Os números entre parênteses apresentam intervalo de confiança de 90%.

Fonte: Pearce et al, 1995.

Portanto, sugerimos que inicialmente o dano causado pelas emissões de CO₂ provenientes de cada uma das categorias de termelétricas seja calculado através do produto da taxa de emissão de CO₂ para cada categoria de empreendimento n (g de poluente por ano) durante o período de vida útil destas pelo valor adotado de US\$ 20 por tonelada de carbono emitido. Assim, a Equação IV.22 é representada por:

$$VD_{CO_2 n} = US\$ 20 /tC * \sum E_{CO_2 n} \quad (\text{Eq. IV.22})$$

Onde,

VD_{CO₂ n} corresponde ao valor do dano causado face o aquecimento global provocado pelas emissões de dióxido de carbono provenientes de cada categoria de empreendimento (em bases monetárias);

E_{CO₂ n} corresponde as emissões totais de dióxido de carbono de cada categoria de empreendimento durante a sua vida útil (toneladas de carbono).

Portanto, sugerimos que os danos provenientes das usinas termelétricas devam ser objeto de valoração a serem inseridos no planejamento do Setor, considerando, principalmente:

- Os danos causados à saúde humana face às emissões atmosféricas de óxido de enxofre (SO₂) e material particulado (PM₁₀) – (VDSH_{s,in,p})
- Os danos decorrentes do aquecimento global provocado pelas emissões de dióxido de carbono (CO₂) por termelétricas – (VD_{CO₂ n})

Em resumo, o valor total da degradação (VDT_n) ambiental de cada categoria de usina termelétrica é obtido através da Equação IV.23:

$$VDT_n = VDSH_{s,in,p} + VD_{CO_2 n} \quad (\text{Eq. IV.23})$$

V- CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho constitui-se num primeiro passo para o aperfeiçoamento da internalização das externalidades ambientais provenientes de empreendimentos no planejamento de longo prazo do Setor Elétrico.

No que diz respeito à escolha das externalidades decorrentes de empreendimentos de geração hidrelétrica e termelétrica, foram considerados alguns danos e/ou benefícios que possuíssem um grau de importância que espelhasse a preocupação futura com os recursos ambientais e com o bem-estar do ser humano. Face à subjetividade dos efeitos e à incerteza inerente ao planejamento de longo prazo, torna-se difícil valorá-los devido a ausência/ incerteza de informações específicas a eles relacionados para a aplicação das metodologias de valoração apropriadas.

Identificadas as externalidades, elaborou-se uma tipologia de categorias de empreendimentos de geração elétrica que deverão ser implementadas no país. No planejamento de longo prazo, não se conhece detalhes dos empreendimentos. Estes são, em geral, necessários para a aplicação das metodologias de valoração ambiental existentes. Estas tipologias permitem que sejam realizadas simplificações para a aplicação dos referidos métodos.

Algumas críticas podem ser feitas à aplicação dos métodos aqui propostos para o longo prazo, dentre elas destacam-se:

- as metodologias de valoração ambiental são, em geral, aplicadas a casos específicos para a identificação do custos/ benefícios das externalidades provenientes de atividades antropogênicas, onde as variáveis que implicarão nos resultados são previamente conhecidas. Desta forma, a crítica relacionada aos métodos aqui apresentados baseiam-se principalmente nas adaptações do arsenal teórico necessário a sua aplicação e na incerteza relacionada a atribuição de valores às referidas externalidades.
- no planejamento de longo prazo, tem-se uma idéia de quais são as variáveis que influenciarão nas externalidades, mas não se conhece todos os seus valores. Será necessário fazer aproximações, que adicionadas às incertezas inerentes ao planejamento, poderão apresentar-se aos céticos para com a valoração ambiental como resultados pouco confiáveis. É importante ressaltar que apesar das mencionadas incertezas, a valoração trará subsídios que auxiliarão na tomada de decisão de modo que a variável ambiental não seja considerada como nula ou com valores incorretos.

Estas críticas não invalidam a aplicação dos métodos, cujo objetivo está vinculado à atribuição de valor aos recursos ambientais e ao bem-estar dos impactados pelos empreendimentos, para

incorporá-los no arsenal que será analisado pelos tomadores de decisão. Elas apenas demonstram que os valores obtidos deverão ser considerados com as devidas precauções.

Entende-se que a aplicação dos métodos propostos para cada uma das tipologias apresentadas permitirá ao Setor Elétrico aperfeiçoá-las ao longo do tempo.

Ressalta-se que a valoração das externalidades ambientais está diretamente vinculada à análise custo-benefício, que é uma das ferramentas utilizadas pelos planejadores. Apesar de útil, ela não será a única ferramenta a ser utilizada para a incorporação da variável ambiental no planejamento de longo prazo. Não obstante, ela representará um inovador avanço neste sentido.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, O.T. & UHL, C., *Desenvolvendo um modelo para planejamento do uso do solo na Amazônia Oriental com uma base de dados quantitativos: O Caso Paragominas*, In: MAY, P., *Economia Ecológica: Aplicações no Brasil*. Rio de Janeiro, 1995.
- BANCO MUNDIAL, Home page <http://www.worldbank.org>, 1999.
- BARDES, J., *Economie et Politique de l'environnement*. Presses Universitaires de France, 1992.
- BEESE, 1996 apud PAVARINI, M.F., 1998.
- BICKMORE, C.J. et al, *Mersey Barrage feasibility study: a practical application of environmental economics*. In: MUNASINGHE, M. & MCNEELY, J. *Protected Area economics and policy: Linking Conservation and Sustainable Development*. World Bank, Washington D.C., Pp. 221-232, 1994.
- BROWN, K. & PEARCE, D. W. (eds), *The Causes of Deforestation: The Economic and Statistical Analysis of the Factors Giving Rise to the Loss of the Tropical Forests*. Univesity College Press, London, and the University of British Columbia Press, Vancouver, 1994.
- CARSON, R.T. et al, *Valuing the preservation of Australia's Kakadu Conservation Zone*. Oxford Economic Papers. Volume 46, Special Issue on Environmental Economics, Pp. 727 - 750, Outubro 1994.
- CEPEL/PPE/COPPE/UFRJ, *Incorporação da Metodologia para Análise Integrada de Impactos de Usinas Hidrelétricas ao "Manual de Inventário Hidrelétrico de Bacias Hidrográficas*. Workshop: A Dimensão Ambiental nos Estudos de Inventário Hidrelétrico de Bacias Hidrográficas, Rio de Janeiro, 1997.
- CGPS/ELETOBRAS/MMA, *Plano Decenal de Expansão 1999/2008*. Rio de Janeiro. Julho de 1999.
- CHIN AN LIN, *Efeitos da poluição atmosférica sobre a morbidade respiratória aguda na população infantil de São Paulo*. Tese de doutorado. Faculdade de Medicina/USP, 1997.
- CODECEIRA, A. *Carvão mineral importado – Competitividade para Geração de Energia Elétrica no Nordeste*. CHESF. In: VI Congresso Brasileiro de Energia e I Seminário Latino Americano de Energia. Volume I, 1993.

- COHEN, C.; MACHADO, G.; TOLMASQUIM, M., *Avaliação Econômica de Impactos de Projetos sobre a Vida Humana: Uma Análise da Teoria do Capital Humano*. Anais do II Encontro Nacional da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica – *A Economia Ecológica e os Instrumentos e Políticas para uma Sociedade Sustentável*. São Paulo. Pp. 174 a 193, 1993
- COMMON, M.S., *Environment & Resources Economic: An Introduction*. Longman Singapore Publishers Ltd., 2 nd., 1996.
- CONAMA, Home page <http://www.mma.gov.br>
- COPPE/ELETROBRÁS, *Projeto Ambiental das Hidrelétricas na Amazônia - Geração Hidrelétrica e Biodiversidade*. Março de 1990.
- CUMMINGS, R. G., BROOKSHIRE, D. S., SCHULZE, W. D., *Valuing Environmental Goods: an Assessment of the Contingen Valuation Method*, Totowa, N.J.: Rowman & Allanheld, 1986.
- DAVIS, D. L., SALDIVA, P. H. N., *Urban Air Pollution Risks to Children: A Global Environmental Health Indicator*. World Resouces Institute, Washington D.C., 1999.
- DAVIS, D. L. et all, *Short-term Improvements in Public Health from Global - Climate Policies on Fossil-Fuel Combustion: an Interim Report*, The Lancet, November 1997.
- DELGADO, M. A. P., *Determinação da Redução de SO₂, SO₄, CO₂ e Material Particulado, bem como dos Custos Ambientais Ocasionados pela Substituição de Óleo Combustível por Gás Natural para a Geração de Energia Térmica das Empresas Situadas na Cidade de Juiz de Fora – MG*. Trabalho de Curso. PPE/COPPE/UFRJ, 1997.
- DIXON, J.A. et all., *Economic Analysis of Environmental Impacts*. Earthscan Publications Ltd, London, 1994.
- DIXON, J.A. & HUFSCHMIDT, M.M., *Economic Valuation Techniques for the Environment: A Case Study Workbooks* The Johns Hopkins Press Ltd. London, 1990.
- DUBEUX, C.B.S., *A Valoração Econômica como Instrumento de Gestão Ambiental - O caso da Despoluição da Baía de Guanabara*. Tese de Mestrado. PPE/COPPE/UFRJ, 1999.
- ECO NORTHWEST, *Estimating Environmental Costs and Benefits for five Generating Resources, their Likely Significant Environmental Effects*, Eco Northwest, 1986.

- ECO NORTHWEST, *Generic Coal Study – Quantifications and Valuations of Environmental Impacts*, Eco Northwest, Submitted to BPA, 1987.
- ECO NORTHWEST, *Economic Analysis of the Environmental Effects of the Coal-fired Electric Generator at Boardman Oregon*, Eco Northwest for BPA., 1983.
- ELECTRICITY SUPPLY ASSOCIATION OF AUSTRALIA, *Emission Estimation Technique Manual for Fossil Fuel Electric Power Generation. Austrália*, National Pollutant Inventory 1999.
- ELETROBRAS, *PLANO 2015 – Relatório Executivo - Síntese*, Plano Nacional de Energia Elétrica 1993-2015. Volume 1. Rio de Janeiro, 1994.
- ELETROBRAS, *PLANO 2015 Projeto 7 - A Questão Ambiental e o Setor Elétrico - Sistemas de Transmissão*, Plano Nacional de Energia Elétrica 1993-2015. Rio de Janeiro. Dezembro de 1993.
- ELETROBRÁS, *Anais dos Seminários Temáticos: Utilização da Termoeletricidade*, Eletrobrás. Rio de Janeiro (Cadernos do Plano 2015), 1991.
- ELETROBRÁS, *Atlas Potencial Eólico Nacional*, Rio de Janeiro, 1988.
- ELETROBRAS, COMASE, *Legislação Ambiental de Interesse do Setor Elétrico*. ELETROBRAS. Rio de Janeiro, 1999.
- ELETROBRÁS, COMASE, *Referencial para Orçamentação dos Programas Sócio-Ambientais*, Rio de Janeiro. Volumes 1 e 2. Outubro de 1994.
- ELETROBRÁS, COMASE, *Considerações para a Análise de Custos e Benefícios Sócio-Ambientais do Setor Elétrico*, Rio de Janeiro, 1993.
- EL SERAFY, J., LUTZ, E., *Environmental and Resource Accounting: an Overview*. In: AHMAD, Y. et al. (eds.). *Environmental Accounting for Sustainable Development*. Washington, D.C.: World Bank/UNEP, 1989.
- ENERSUL, *Usina Termoelétrica Campo Grande. Estudo de Impacto Ambiental - EIA*. Mato Grosso do Sul, Outubro de 1998.
- EPA, *Environmental Investments: The Cost of a Clean Environment – A Summary*. 1990.
- EPA, *Office of Compliance Sector Notebook Project, Profile of the Fossil Fuel Electric Power Generation Industry*. Washington, D.C., 1997.

- EPA, *The Benefits and Costs of the Clean Air Act, 1970 to 1990*, Washington, D.C., 1997.
- EPSTEIS, M.. *Impacto Ambiental das Emissões Aéreas de Usinas Termoelétricas – Emissões de SO₂*. In: Revista Brasileira de Energia. Volume 1 n° 2. Rio de Janeiro, 1980.
- FEARNSIDE, P., *Predominant Land Uses in Brazilian Amazonia*. In: ANDERSON, A., (ed) *Alternatives to Deforestation – Steps towards sustainable use of the Amazon Rain Forest*. Columbia University Press, 1990.
- FIELD, B.C., *Environmental Economics – An Introduction*. McGraw-Hill International Editions, 1994.
- FISCHER, *Resource and environmental economics*. Cambridge University-Press, Cambridge, 1984.
- FREEMAN, A.M., *The Benefits of Environmental Improvements. Theory and Practice*. The John Hopkins University Press, Baltimore, 1979.
- FREEMAN, A.M., *The Measurement of Environmental and Resource Values: Theory and Methods, resources for the future*. Washington, D.C., 1993.
- FURTADO, R.C., *The Incorporation of Environmental Costs into Power System Planning in Brazil*. Tese de Doutorado. University of London. London, 1996.
- GARROD, G.E. et all, *The environmental economic impact of woodland: a two-stage hedonic price model of the amenity value of forestry in Britain*. Applied Economics. Volume 24, Pp. 715-728, 1992.
- GIFFORD Jr., F. A., *An Outline of Theories of Diffusion in the Lower Layers of the Atmosphere*, Capítulo 3, Meteorology and Atomic Energy, 1968, Atomic Energy Commission, Report, EUA Julho 1968.
- GRASSO, M. et all, *Aplicações de Técnicas de Avaliação Econômica do Ecossistema Manguezal*. In: MAY, P., *Economia Ecológica: Aplicações no Brasil*. Rio de Janeiro, Pp. 49 – 81, 1995.
- HANEMANN, W.M., *Contigent Valuation and Economics*. In: WILLIS, K. G. e CORKINDALE, J. T. (eds) *Environmental Valuation: New Perspectives*. CAB International, Wallingford, 1995.
- HARTWICK, J. M. & HAGEMAN, A.P., *Economic Depreciation of Mineral Stocks and the Contribution of El Serafy*. Washington, D.C.: The World Bank, 1991, mimeo.

- HODGSON, G. & DIXON, J.A.. *Logging versus Fisheries and Tourism in Palawan: An Environmental and Economic Analysis, Resources and Environmental in Asia's Marine Sector*, ed. J.B. March. New York: Taylor and Francis,. 1992.
- HUFSCHMIDT, M.M.; JAMES, D.E. et al., *Environment Natural Systems and Development: An Economic Valuation Guide*. The Johns Hopkins Press Ltd. London, 1988.
- HWANG, R.; MILLER, M.; THORPE, A.; LEW, D., *Driving Out Pollution: The Benefits of Electric Vehicles*, *Union of Concerned Scientists*, Novembro de 1994.
- IBGE, Home page <http://www.censo.ibge.gov.br/geocientifica>. 1999.
- IBGE, Anuário Estatístico do Brasil, 1997.
- IBGE, Contagem da População, 1996.
- KIM, S.H. & DIXON, J.A. *Economic Valuation of Environmental Quality Aspects of Upland Agricultural Projects in Korea*, In: DIXON, J.A. & HUFSCHMIDT, M.M., *Economic Valuation Techniques for the Environment: A Case Study Workbook*. ed. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1986.
- KOPP, RAYMOND & SMITH, *Valuing Natural Assets - The Economics of Natural Resource Damage Assessment*, Washington, D.C., 1996.
- KRAMER, R.A. et al, *Valuing Tropical Forests: Methodology and Case Study of Madagascar*. Union World Bank Environment Paper nº 13, Washington, D.C., 1995.
- KRAUSE, G.G., *Avaliação da Tecnologia de Sistemas Integrados Gaseificação – Ciclo combinado para geração termelétrica no Brasil*. Tese de Mestrado. PPE/COPPE/UFRJ, 1990.
- LIMA E SILVA, P.P.; GUERRA, A.J.T. et al, *Dicionário Brasileiro de Ciências Ambientais*, Rio de Janeiro, 1999.
- MACKENZIE, D.L. & COENWELL, D.A., 1991 apud SALA, 1999.
- MADDISON, D. et al, *Blueprint 5: The True Costs of Road Transport*. CSERGE, Earthscan Publications Ltd., London, 1996.
- MARGULIS, S., *Meio Ambiente: Aspectos Técnicos e Econômicos*, IPEA, Rio de Janeiro, Pp. 109-129. 1996.

- MARGULIS, S. & REIS, E.J., *Perspectivas Econômicas do Desflorestamento da Amazônia*. Texto para discussão nº 215. IPEA, 1991
- MARTIN & BRADLEY, *Mortality, fog and atmospheric pollution: an investigation during the winter of 1958/1959*. Monn. Bull. Minist. Health - Public Health Lab. Serv. Volume 19, 1960.
- MAY, P.H., *Economia Ecológica: Aplicações no Brasil*. Editora Campus. Rio de Janeiro, 1995.
- MEDEIROS, J.X., *Análise sócio-econômica e ambiental da produção e utilização do carvão vegetal na siderurgia*. Tese de Doutorado, UNICAMP, Campinas, 1995.
- MENDES, A. P.F., *Uma avaliação do impacto ambiental no Brasil: poluição do ar e mortalidade*. Tese de Mestrado. Instituto de Economia da UFRJ, 1993.
- MENDES & WARAMATSU, 1976 apud SALA, 1999.
- MENKES, M.; *Metodologias de Avaliação de Impactos e de Custos Ambientais*. Caderno de Leituras. Novembro de 1995.
- MME/ELETOBRÁS/DNAE, *Manual de Inventário Hidrelétrico de Bacias Hidrográficas*. Novembro de 1997.
- MONTEIRO, A.G.; RODRIGUES, R., *Estratégia de Abatimento das Emissões de Dióxido de Carbono provenientes das Atividades Extrativas Madeireiras*. Anais do X CBMET - Brasília., Outubro de 1998.
- MOOR, A.; CALAMAI, P., *Subsidizing Unsustainable Development – Undermining the Earth with Public Funds*. Earth Council. 1997.
- MORAN, D. & MORAES, A.S., *Complex goods and contingent values: valuing uncertainty environmental change in the Pantanal*; Proceedings of the SCOPE Workshop on Integrated Adaptive Ecological Modelling, Pantanal, Novembro 1995.
- NUNES, L. M. P., *Modelagem Numérica para Valoração de Dano Ambiental por Óleo: Aplicação para a Bacia de Campos – RJ*. Tese de Mestrado. PPE/COPPE/UFRJ. 1999.
- OTTINGER, R.L. et al, *Environmental Costs of Electricity*, Pace University Center for Environmental Legal Studies, preparado para o New York State Research and Development Authority e U.S. Department of Energy, Oceana Publications Inc., 1990.

- OSTRO, B.. *Estimating Health Effects of Air Pollutants with an Application to Jakarta*. Policy Research Working Paper 1301. Washington, D.C.: The World Bank. 1994.
- PAIVA, M.P., *Grandes Represas do Brasil*, Brasília, 1982.
- PANAYOTOUS & ASHTON, *Economics and ecology for Sustaining Tropical Forests*. Estudo encomendado ao Instituto para o Desenvolvimento Internacional da Universidade de Harvard pela Organização Internacional de Madeira Tropical, 1992.
- PAVARINI, M.F.; MAIMON, D., *Estudo de Mercado*, PROBEN/Amazônia, Brasília, 1998.
- PEARCE, D. et all, *Blueprint 4: Capturing Global Environmental Value*. CSERGE, Earthscan Publications Ltd., London, 1995.
- PEARCE, D. et all, *Blueprint 2: Greening the World Economy*. CSERGE, Earthscan Publications Ltd., London, 1994.
- PEARCE, D. et all, *Blueprint 3: Measuring Sustainable Development*. CSERGE, Earthscan Publications Ltd., London, 1993
- PEARCE, D. W., *Economics Values and The Natural World*. MIT Press Edition, 1993.
- PEARCE, D & MORAN, D, *The Economic Value of Biodiversity*. In: Association with the Biodiversity Programme of IUCN. Earthscan Publications Ltd, London, 1994.
- PETERS et all, *Valuation of an Amazonian Rainforest*. NATURE. Volume 339, Junho 1989.
- PINDICK , R.S., *Microeconomia*, Makron Books do Brasil Ltda, 1994.
- PINEDO-VASQUEZ et all., *Economic returns from forest conversion in the Peruvian Amazon*. Ecologic Economics. Volume 6, nº 2, 1992.
- REBELLO, R. B. M., *Metodologia para Valoração de Custos Associados a Problemas de Saúde Humana decorrentes de Emissões Aéreas em Empreendimentos Termelétricos – Estudo de Caso: Usina Termelétrica de Santa Cruz*. Tese de Mestrado. PPE/COPPE/UFRJ. 1999.
- RIBEIRO, H.P., *Estudo das correlações entre infecções das vias aéreas superiores, bronquite asmática e poluição do ar em menores de 12 anos em Santo André*. Pediatría Prática. Volume 42, nº 9, 1971.

- ROSA, L.P., *Estudos dos Custos Ambientais do Impacto de Usinas Hidrelétricas na Biodiversidade da Região Amazônica*. In: Diagnóstico ambiental e projeto energético das hidrelétricas na Amazônia. ENERGE. Volume I. Cadernos de Energia nº 9, 1996.
- ROSA, L.P. & SCHECHTMAN, R., *Avaliação de Custos Ambientais da Geração Termelétrica: Inserção de variáveis ambientais no planejamento da expansão do setor elétrico*. In: Diagnóstico ambiental e projeto energético das hidrelétricas na Amazônia. ENERGE. Volume II Cadernos de Energia nº 9, 1996.
- ROSA, L.P., *Estado, Energia Elétrica e Meio Ambiente. O Caso das Grandes Barragens*, 1995.
- ROVERE, E.L., *Definição de Indicadores de Impactos Ambientais Evitados pela Conservação de Energia Elétrica no Brasil*, Projeto: Benefícios Sócio-Ambientais do PROCEL e Cenários para sua Evolução Futura. PROCEL/ELETROBRAS. Rio de Janeiro, 1996.
- ROWE, *The New York Environmental externalities Cost Study: Summary of Approach and Results*. Paper para Workshop on the External Cost of Energy. Bruxelas, Bélgica, 1995
- SALA, J.F., *Valoração dos Custos Ambientais Relacionados à Saúde - Estudo de Caso: Setor Transportes da Cidade de São Paulo*. Tese de Mestrado. PPE/COPPE/UFRJ. 1999.
- SALATI, E. *Aquecimento global e seqüestro de carbono. Potencialidade brasileira para investimentos e ações ligadas ao Clean Development Mechanism*. Trabalho apresentado em Cambridge, 1998
- SALDIVA, P.; POPE, C.; SHWARTZ, J.; DOCKERY, D.; LICHTENFELS, A.; BARONE, I.; BOHM, G. *Air Pollution and Mortality in Elderly People: A Time-Series Study in São Paulo, Brazil*. Archives of Environmental Health. Volume 50, nº 2, 1995.
- SANTOS, R.M.G. dos, *Análise da Dispersão Atmosférica e Impacto das Emissões de Usinas Térmicas a Carvão*. Tese de Mestrado. Engenharia Nuclear. COPPE/UFRJ. 1985.
- SCHAEFFER, R., *Impactos Ambientais de Grandes Usinas Hidrelétricas no Brasil*, Tese de Mestrado. PPE/COPPE/UFRJ. 1986.
- SCHECHTMAN, R.; CECCHI, J.C., *Impactos Macroecômicos Decorrentes da Expansão do Sistema Elétrico em termelétricas: efeitos da importação de tecnologia e de combustíveis*, Volume 2. Cadernos de Energia nº. 9. Edição Especial., 1996.
- SEROA DA MOTTA, R., *Manual para Valoração Econômica de Recursos Ambientais*. IPEA/MMA/PNUD/CNPq. Brasília, 1998.

- SEROA DA MOTTA, R. (Coord), *Contabilidade Ambiental: Teoria, Metodologia e Estudos de Casos no Brasil*. IPEA/DIPES. Rio de Janeiro, 1995.
- SEROA DA MOTTA & MENDES, *Perdas e serviços ambientais do recurso água para uso doméstico no Brasil*. Pesquisa e Planejamento econômico. Volume 24, nº 1, abril 1994.
- SMITH, *Measuring water quality benefits*. Kluwer and Nijhoff, Boston, 1989.
- SPADARO, J.V.; RABL, A; COUSSY,P.; JOURDAIN, E, *Coûts externes de la pollution de l'air: étude de cas et résultats pour le trajet Paris-Lyon*. In *Tentative d'évaluation monétaire des coûts externes liés à la pollution automobile: difficultés méthodologiques et étude de cas*. Artigo 2. École du pétrole et des Moteurs. Centre Économie et Gestion, 1998.
- SZKLO, A.S., *Incertezas na avaliação dos custos ambientais da poluição atmosférica da geração termelétrica*. Trabalho de Curso. PPE / COPPE / UFRJ, 1997.
- TOLMASQUIM, M. T., *Economia do Meio Ambiente: Forças e Fraquezas*. In: CAVALCANTE, C. (coord), *Desenvolvimento e Natureza: Estudo para uma Natureza Sustentável*. Recife, 1995.
- TURNER, R.K.; PEARCE, D.; BATEMAN, I., *Environmental Economics – An Elementary Introduction*. Harvester Wheatsheaf, 1994.
- UNEP/IPCC. *Climate Change 1995 – Economic and Social Dimensions of Climate Change*. Contribution of Working Group III to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Editors: J.J. Houghton. L.G. Meiro Filho, 1996.
- XAVIER, E. E.; NICHIOKA, J., *Avaliação dos Benefícios Ambientais advindos da Mudança de Combustível na Usina Termoelétrica de Campos*. Trabalho de Curso, PPE/COPPE/UFRJ, 1998.
- WEC, *The Environmental Effects Arising from Electricity Supply and Utilisation and the Resulting Costs to the Utility*, The World Energy Conference, London, Grã Bretanha, 1988.
- WISCHMEYER & SMITH, 1961 apud ITURRI, P.M., *Guia para el planeamiento del uso de las tierras agrícolas em las zonas de lluvia del Peru*. Universidad Nacional Agraria “La Molina”. Departamento de Recursos de Água y Tierra. Lima, 1975
- WIJETILLEKE, L. et all, *Air quality management: considerations for developing countries*. World Bank Technical Paper nº 278. Energy Press, Washington, D.C., 1995.

WILSON, E.O., *The Current State of Biological Diversity*. In: WILSON, E.O.(ed), *Biodiversity National Academy Press*, 1988.

WWF, Home page <http://www.wwf.org/> .1999.

VII – ANEXOS

Anexo 1

Escolha dos Efeitos Econômicos e as Técnicas de Valoração mais apropriadas

As Tabelas 1 A e 1 B resultam da tentativa de identificar os efeitos econômicos nem sempre incorporados aos empreendimentos (externalidades), decorrentes dos impactos ambientais provenientes da geração hidrelétrica e da geração termelétrica a combustíveis fósseis. Este anexo não pretende apresentar de modo exaustivo a totalidade das externalidades, limitando-se àquelas identificadas como passíveis de serem valoradas no planejamento de longo prazo do setor. Estas são seguidas dos seus impactos ambientais e aspectos causadores.

TABELA 1 A: EFEITOS ECONÔMICOS DAS HIDRELÉTRICAS A SEREM VALORADOS

EFEITO ECONÔMICO		IMPACTO AMBIENTAL	ASPECTO GERADOR
Perdas de benefícios provenientes de atividades econômicas	Pesca	<ul style="list-style-type: none"> • Alteração do regime hídrico • Assoreamento do reservatório e erosão das encostas • Alteração na qualidade do recurso hídrico (água) • Interferência na flora e fauna aquática • Interferência na flora terrestre 	<ul style="list-style-type: none"> • Área inundada
	Agricultura	<ul style="list-style-type: none"> • Alteração do regime hídrico • Assoreamento do reservatório e erosão das encostas 	<ul style="list-style-type: none"> • Área inundada

TABELA 1 A: EFEITOS ECONÔMICOS DAS HIDRELÉTRICAS A SEREM VALORADOS

EFEITO ECONÔMICO		IMPACTO AMBIENTAL	ASPECTO GERADOR
Perdas de benefícios provenientes de atividades econômicas	Navegação	<ul style="list-style-type: none"> • Alteração do regime hídrico • Interferência na flora terrestre • Interferência na fauna e flora aquática 	• Área inundada
	Irrigação	<ul style="list-style-type: none"> • Alteração do regime hídrico • Assoreamento do reservatório e erosão das encostas à jusante e à montante e das margens 	• Área inundada

TABELA 1 A: EFEITOS ECONÔMICOS DAS HIDRELÉTRICAS A SEREM VALORADOS

EFEITO ECONÔMICO		IMPACTO AMBIENTAL	ASPECTO GERADOR
Perdas de benefícios provenientes de atividades econômicas	Abastecimento	<ul style="list-style-type: none"> • Alteração do regime hídrico • Assoreamento do reservatório e erosão de encostas • Interferência na flora terrestre • Interferência na fauna e flora aquática 	<ul style="list-style-type: none"> • Área inundada

TABELA 1 A: EFEITOS ECONÔMICOS DAS HIDRELÉTRICAS A SEREM VALORADOS

EFEITO ECONÔMICO		IMPACTO AMBIENTAL	ASPECTO GERADOR
Perdas de benefícios provenientes de atividades econômicas	Extração da madeira	<ul style="list-style-type: none"> • Interferência na flora terrestre • Alteração no uso do solo 	<ul style="list-style-type: none"> • Área inundada
Danos sobre os recursos minerais		<ul style="list-style-type: none"> • Interferência nos sítios minerais 	<ul style="list-style-type: none"> • Área inundada

TABELA 1 A: EFEITOS ECONÔMICOS DAS HIDRELÉTRICAS A SEREM VALORADOS

EFEITO ECONÔMICO		IMPACTO AMBIENTAL	ASPECTO GERADOR
Benefícios provenientes da criação de uma área de lazer	Atividades recreacionais	<ul style="list-style-type: none"> • Alteração do regime hídrico • Alteração na qualidade do recurso hídrico (água) • Interferência na flora e fauna aquática / flora terrestre 	• Área inundada
Danos sobre os recursos culturais e históricos	Patrimônio cultural	<ul style="list-style-type: none"> • Interferência em núcleos urbanos • Interferência em núcleos rurais • Interferência em populações indígenas • Interferência em sítios arqueológicos 	• Área inundada

TABELA 1 A: EFEITOS ECONÔMICOS DAS HIDRELÉTRICAS A SEREM VALORADOS

EFEITO ECONÔMICO		IMPACTO AMBIENTAL	ASPECTO GERADOR
Perdas da biodiversidade em geral	Patrimônio genético (animal e vegetal)	<ul style="list-style-type: none"> • Alteração do regime hídrico • Assoreamento do reservatório e erosão das encostas • Alteração no microclima local • Alteração na qualidade do recurso hídrico (água) • Interferência na flora e fauna aquática / flora terrestre / fauna terrestre e alada 	<ul style="list-style-type: none"> • Área inundada

Fonte: Elaboração própria a partir da Eletrobras /COMASE (1993)

TABELA 1 B: EFEITOS ECONÔMICOS DAS TERMELÉTRICAS A SEREM VALORADOS

EFEITO ECONÔMICO		IMPACTO AMBIENTAL ⁵⁵	ASPECTO GERADOR
Perdas de benefícios provenientes de atividades econômicas	Pesca	<ul style="list-style-type: none"> • Alteração na qualidade do recurso hídrico (água) • Alteração da flora e fauna aquática 	<ul style="list-style-type: none"> • Emissão aérea de: óxido de enxofre, de nitrogênio, de carbono e hidrocarbonetos • Vazamentos involuntários do sistema de manuseio e estocagem dos combustíveis líquidos • Percolação da água da chuva nas áreas de estocagem de combustível sólido
	Agropecuária	<ul style="list-style-type: none"> • Alteração na qualidade do recurso hídrico (água) e do solo • Alteração da Flora e Fauna 	<ul style="list-style-type: none"> • Emissão aérea de: óxido de enxofre, de nitrogênio e hidrocarbonetos • Vazamentos involuntários do sistema de manuseio e estocagem dos combustíveis líquidos • Percolação da água da chuva nas áreas de estocagem de combustível sólido • Ocupação da área, (desmatamento e terraplanagem)
Exaustão dos recursos minerais		• Alteração no uso de combustível	• Extração mineral

⁵⁵ O impacto causado dependerá do grau de concentração de substâncias químicas existente no corpo receptor e da magnitude das emissões (líquidas, atmosféricas e sólidas) e dos vazamentos dentre outros.

TABELA 1 B: EFEITOS ECONÔMICOS DAS TERMELÉTRICAS A SEREM VALORADOS

EFEITO ECONÔMICO	IMPACTO AMBIENTAL	ASPECTO GERADOR
Alteração na atividade abastecimento de água	<ul style="list-style-type: none"> Alteração da qualidade do recurso hídrico (água) 	<ul style="list-style-type: none"> Emissão aérea de: óxidos de enxofre, de nitrogênio, de carbono e hidrocarbonetos Vazamentos involuntários do sistema de manuseio e estocagem dos combustíveis líquidos Percolação da água da chuva nas áreas de estocagem de combustível sólido
Alteração na vida útil de equipamentos, construções, etc.	<ul style="list-style-type: none"> Contribuição para a chuva ácida 	<ul style="list-style-type: none"> Emissão aérea de: óxidos de enxofre e de nitrogênio e hidrocarbonetos.
Alteração nos gastos hospitalares com médico e remédios Danos às atividades econômicas e ao bem estar humano	<ul style="list-style-type: none"> Efeito na saúde humana 	<ul style="list-style-type: none"> Emissão aérea de material particulado, de óxidos de enxofre, de carbono, de nitrogênio e hidrocarbonetos Ocupação da área (desmatamento e terraplanagem) Resíduos sólidos, filtros, panos , estopas e borras
Danos às atividades econômicas e ao bem estar humano	<ul style="list-style-type: none"> Contribuição para Efeito Estufa 	<ul style="list-style-type: none"> Emissões aéreas de dióxido de carbono

Fonte: Elaboração própria a partir da Eletrobras /COMASE (1993)

Anexo 2

Externalidades provenientes de Emissões Sonoras de Usinas Termelétricas e as Metodologias apropriadas para a valoração

Emissões sonoras das usinas termelétricas

A Unidade Termelétrica que opera segundo o arranjo do ciclo de combustão a gás tende a gerar mais ruído do que suas predecessoras, em função da mais alta potência de saída e do aumento da velocidade. Inúmeras são as fontes de ruídos presentes nesta tipologia de termelétrica, devendo assim ser melhor compreendida, como um sistema de fontes do que como uma única fonte de ruído (fonte pontual). As principais fontes de ruído são:

- as entradas e saídas de ar, tanto para a alimentação da turbina a gás quanto para o sistema de resfriamento do compartimento da turbina e do gerador;
- o sistema de enclausuramento da turbina e do compressor;
- o sistema de escapamento de gases;
- as unidades dirigidas pela turbina a gás.

O espectro do ruído produzido por uma turbina de combustão estacionária é similar ao de uma turbina de avião: largo por natureza, contendo componentes de alta frequência, causado pelo compressor e pela turbina, assim como componentes de baixa frequência, resultado do processo de combustão e do fluxo de exaustão. Para se ter uma idéia, a audição humana encontra-se compreendida numa faixa que vai do zero decibel (0 dB), que corresponde ao menor som audível numa frequência de 1.000 Hz e a uma pressão sonora de 2×10^{-5} N/m equivalente no ar a uma intensidade de 10^{-12} W/m², a 140 dB que corresponde a uma pressão sonora de 200 N/m², onde provavelmente ocorre ruptura do tímpano, lesando definitivamente o aparelho auditivo.

As tabelas a seguir apresentam os espectros por faixa de oitavas das principais fontes de ruído de um turbo-gerador de uma Unidade Termelétrica já dotada de alguns dispositivos de controle de ruído:

Tabela 1 - PWL compartimento da turbina

dB(A)	31.5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8K
115	119	118	120	113	110	108	107	106	102

TABELA 2 - PWL GERADOR T600

dB(A)	31.5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8K
107	113	117	120	108	97	95	95	91	89

TABELA 3 - PWL RESIDUAL DA ADMISSÃO DE AR**FILTRO ESTÁTICO COM PERSIANAS**

dB(A)	31.5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8K
98	116	109	101	84	92	90	92	90	86

TABELA 4 - PWL IRRADIADA PELO DUTO DE ADMISSÃO

dB(A)	31.5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8K
101	103	105	100	94	90	86	98	95	93

TABELA 5 - PWL DA VENTILAÇÃO DOS COMPARTIMENTOS

dB(A)	31.5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8K
97	105	104	102	98	93	92	89	87	80

TABELA 6 - IRRADIAÇÃO DO DUTO DE TRANSIÇÃO E**DO SILENCIADOR DE DEZ PÉS VERTICAIS**

dB(A)	31.5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8K
103	118	113	108	102	96	97	97	91	93

TABELA 7 - PWL NO PLANO DE SAÍDA DO SILENCIADOR DE DEZ PÉS VERTICAIS**com efeito de diretividade de 90°**

dB(A)	31.5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8K
115	130	126	123	114	111	109	108	101	93

TABELA 8 - PWL REFRIGERAÇÃO COM QUATRO VENTILADORES 860 RPM/MN (60Hz)

PWL	dB(A)	63	125	250	500	1k	2k	4k	8K
Aspiração	112	86	95	101	107	107	104	100	92
Exaustão	107	81	90	96	102	102	99	95	87

TABELA 9 - PWL CONSIDERANDO TODAS AS PRINCIPAIS FONTES DE RUÍDOS

dB(A)	31.5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8K
119	131	127	126	117	115	113	112	108	104

A Tabela 9 apresenta os níveis de ruído por faixas de oitavas calculados a partir dos espectros apresentados nas Tabelas 1 a 8. Pode-se verificar que um único turbo-gerador já dotado de silenciadores tanto no sistema de entrada de ar e de exaustão, além de um enclausuramento, possui um nível de potência acústica instalada (PWL) de 119 dB(A) que corresponde a um nível de pressão sonora de 111 dB(A) à distância de 1 metro do mesmo. Caso a Unidade Termelétrica seja constituída de dois turbo-compressores deste tipo, por exemplo, o nível de potência acústica instalada é de 122 dB(A) que corresponde a um nível de pressão sonora de 114 dB(A) à distância de 1 metro do mesmo. Ao interpretar o espectro por faixas de oitavas demonstrado na referida Tabela, pode-se constatar que as turbinas a gás possuem uma contribuição significativa nas baixas frequências devido principalmente ao sistema de exaustão. Este tipo de ruído, pouco atenuado pela absorção do ar em função de seu comprimento de onda, se propaga a grandes distâncias. Conseqüentemente, se não atenuado adequadamente, pode-se constituir em uma particular fonte de incômodo.

Atendimento à Legislação x Tecnologias Disponíveis de Controle de Ruído

Pode-se dizer que os níveis de ruído emitidos por uma Unidade Termelétrica a gás são considerados bem altos, necessitando da adoção de tecnologias de controle de ruído para minimizar o impacto ambiental sonoro.

O atendimento à legislação com relação à proteção dos trabalhadores contra os riscos relacionados à exposição ao ruído nos ambientes de trabalho, bem como o atendimento à legislação ambiental sonora com relação ao incômodo causado a comunidade são essenciais para o estabelecimento das especificações das tecnologias de controle de ruído a serem empregadas. Cabe ressaltar que, apesar de não existir uma legislação que contemple um critério para estabelecer um nível de ruído internacional de forma a proteger a fauna, é necessário realizar um estudo, notadamente, quando da implantação de uma Unidade Termelétrica em uma área rural e em locais próximos a áreas de proteção ambiental.

A norma ISO 9612 - "*Acoustics - Guidelines for measurement and assessment of exposure to noise in a working environment*" - descreve a determinação das quantidades acústicas, especialmente o tipo e a locação dos pontos de medição de nível de pressão sonora que devem ser selecionados, o tempo de amostragem e a análise da frequência requerida, além das características especiais do ruído a ser considerado, com o propósito de permitir uma avaliação da exposição do ruído nos ambientes de trabalho, considerando os vários efeitos desencadeados sobre o trabalhador como resultado da exposição cotidiana ao ruído. Entretanto, esta norma não especifica níveis limites de ruído com relação à exposição diária permissível, visto que envolve fatores políticos, sociais e econômicos. Em geral, a maioria dos países apresenta um limite para exposição de 85 dB(A) e uma taxa de mudança (alteração permitida do nível de pressão sonora para o dobro ou a metade do tempo de exposição) de 3 dB(A). Entretanto, países como Brasil, Chile, Estados Unidos e Israel adotam uma taxa de 5 dB(A). A exposição ao ruído com características impulsivas é tratada

separadamente da exposição contínua durante 8 (oito) horas e o nível máximo permitido, sem considerar sua duração, e situa-se, geralmente, na faixa de 115 dB (curva “A”, fast) a 140 dB (curva “C”, peak).

No Brasil, a NR 15 - Atividades e Operações Insalubres - das Normas Regulamentadoras de Segurança e Saúde do Trabalhador do Ministério do Trabalho estabelece os níveis de ruído em dB(A) para a máxima exposição diária permissível a níveis de ruído contínuo ou intermitente. Estes níveis variam de 85 dB(A) para uma exposição de 8 horas e de 115 dB(A) para 7 minutos, conforme apresentado na Tabela 10, não sendo permitida uma exposição acima deste último valor para indivíduos que não estejam adequadamente protegidos. Com relação aos ruídos de impacto, o limite de tolerância é de 130 dB (linear).

TABELA 10 - LIMITES DE TOLERÂNCIA PARA RUÍDO CONTÍNUO OU INTERMITENTE

Nível de ruído dB(A)	MÁXIMA EXPOSIÇÃO DIÁRIA PERMISSÍVEL
85	8 horas
86	7 horas
87	6 horas
88	5 horas
89	4 horas e 30 minutos
90	4 horas
91	3 horas e 30 minutos
92	3 horas
93	2 horas e 40 minutos
94	2 horas e 15 minutos
95	2 horas
96	1 hora e 45 minutos
98	1 hora e 15 minutos
100	1 hora
102	45 minutos
104	35 minutos
105	30 minutos
106	25 minutos
108	20 minutos
110	15 minutos
112	10 minutos
114	8 minutos
115	7 minutos

A norma ISO 1996 - Partes 1 (*“Guide to quantities and procedures”*), 2 (*“Guide to the acquisition of data pertinent to land use”*) e 3 (*“Guide to application to noise limits”*), apresentam respectivamente, um guia para quantidades e procedimentos, um guia para a aquisição de dados pertinentes ao uso do solo e um guia para a aplicação de níveis de ruído limites. Estas normas, similarmente, a norma ISO 9612 não definem níveis limites.

A Organização Mundial da Saúde (OMS) e a OCDE, considerados os principais organismos de coleta de dados, desenvolveram métodos de avaliação dos efeitos da exposição ao ruído ambiente. Fundamentados nestas avaliações, sugeriram valores para diferentes períodos do dia e para distintas situações, conforme apresentados a seguir.

A OCDE (1986) apresentou os seguintes níveis como limiares de incômodo (LAeq) para o período diurno:

- a partir de 55-60 dB(A) o ruído causa incômodo;
- entre 60-65 dB(A) o incômodo aumenta consideravelmente;
- a partir dos 65 dB(A) surgem perturbações dos padrões de comportamento sintomáticas de danos graves causados pelo ruído.

A OMS (1995) sugeriu um valor de orientação padrão de 55 dB(A)Leq e 50 dB(A)Leq, respectivamente, para prevenir qualquer significativo incômodo na comunidade durante o período do dia e incômodo moderado para o mesmo período. Níveis de pressão sonora, durante o período noturno, não poderão exceder a 45 dB(A)Leq. Entretanto, níveis de pressão sonora mais baixos podem perturbar o sono, dependendo da fonte de ruído, além de outras características.

No Brasil, a Resolução CONAMA 01/90, remete para a Norma NBR 10151 da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) - "Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas Visando o Conforto da Comunidade"- que fixa as condições exigíveis para a avaliação da aceitabilidade do ruído em comunidades. Ela especifica um método para a medição de ruído, a aplicação de correções nos níveis medidos (de acordo com a duração, a característica espectral e o fator de pico) e uma comparação dos níveis corrigidos, com um critério que leva em conta os vários fatores ambientais. Ela estabelece um critério geral que apresenta um critério básico de 45 dB(A) para áreas residenciais ao qual são acrescidas correções em função do período do dia e do uso do solo local (zoneamento) que pode ser resumido na Tabela 11, e um critério com relação ao nível de ruído de fundo com relação a casos especiais. Pode-se observar nesta Tabela que não existe nível máximo permitido para áreas rurais, devendo ter cuidado diante destes casos, visto que utilizando o nível de ruído de fundo como critério, pode-se inviabilizar o desenvolvimento futuro da região considerada. Assim, torna-se necessário analisar o Plano Diretor local, quando existir. É importante mencionar que esta norma sofreu revisão e que atualmente se encontra em processo de votação na ABNT.

Tabela 11 - Níveis critério extraídos da NBR 10151

Tipos de Zona	Níveis máximos em dB(A)	
	Diurno	Noturno
Hospitalar	45	45
Residencial urbana	55	50
Centro de cidade (negócios, comércio, administração)	65	60
Predominantemente industrial	70	65

A competência no controle do uso do solo é atribuída ao município e a maioria das legislações ou recomendações estabelecem níveis limites de emissão para a exposição ao ruído atreladas ao zoneamento. Muitos municípios criaram sua própria legislação ambiental sonora. Nestes casos, deve-se optar pela legislação mais restritiva dentre a federal e a municipal.

Atualmente, com as tecnologias disponíveis de controle de ruído, é possível implantar uma Unidade Termelétrica de forma a atender aos requisitos impostos tanto pela legislação trabalhista, no que se refere à exposição ao ruído, quanto pela legislação ambiental sonora, no que se refere ao incômodo causado à comunidade localizada nas redondezas da UTE. Estas tecnologias compreendem silenciadores a serem implantados no sistema de escape, de refrigeração e enclausuramento do compartimento da turbina.

Danos causados pelo ruído provocado pelas turbinas das termelétricas

Uma das conseqüências das muitas ações governamentais ou da execução de projetos públicos e privados é a alteração do meio ambiente, em particular, provocada pelas vibrações produzidas em áreas vizinhas ao empreendimento (EPA, 1982).

Em áreas urbanas, a implementação de uma determinada atividade, que gera ruído, pode induzir uma modificação no ambiente, o que provoca uma alteração do uso do solo urbano e promove um acréscimo ou uma redução nas facilidades (infra-estrutura e recursos) existentes em torno da usina. Conseqüentemente, haverá uma intervenção na dinâmica populacional local, aumentando ou não o número de pessoas expostas ao ruído (EPA, 1982).

Em áreas rurais, um aumento no nível do ruído sobre certas condições existentes irá provavelmente constituir um impacto ambiental sonoro. O meio ambiente pode vir a ser degradado por vários motivos:

- pelo aumento do nível sonoro afetando a vida animal,
- pela destruição da tranqüilidade de áreas inabitadas ou fracamente habitadas, para quais os habitantes urbanos gostam de se refugiar a fim de escapar do ruído das grandes cidades,
- pela inapropriação de uma área para uso residencial ou para outros usos do solo que contemplem atividades sensíveis ao ruído (EPA, 1982).

Assim sendo, a implantação de uma Unidade Termelétrica (UTE) que, usualmente, é construída em locais onde se verifica a necessidade de suprir uma deficiência no atendimento à demanda de energia ou em áreas que precisam se desenvolver, pode causar um impacto ambiental sonoro significativo. Este impacto tem seu potencial aumentado, quando as medidas de controle de ruído, que atendem a legislação ambiental sonora vigente e as normas relativas à saúde e à segurança dos

operadores da UTE, não são incorporadas ainda na fase de elaboração do projeto, onde os melhores resultados podem ser obtidos.

No Brasil, ainda se verificam alguns casos de UTE, que após a implantação, constituem uma grande fonte de incômodo para a população em torno da usina. A necessidade da introdução de medidas mitigadoras de elevado custo, cujos resultados obtidos nem sempre serão os desejados, ainda faz o incômodo persistir. Este incômodo corresponde a uma externalidade ambiental a ser valorada pelo Setor na etapa de planejamento de longo prazo.

Aplicação das metodologias de valoração para os danos causados pelo ruído provocado pelas turbinas das termelétricas

Dentre os métodos normalmente utilizados para medir as externalidades causadas pelo aumento do ruído ambiental, destacam-se:

- Método de valoração contingente (disponibilidade a pagar);
- Método de preços hedônicos (perda no valor da propriedade);
- Despesas de proteção (custos das medidas de redução de ruído);
- Despesas de prevenção/mitigação de ruídos;
- Custo com cuidados médicos e custos das perdas de produtividade.

A maioria das estimativas realizadas sobre os custos de ruído limita-se ao ruído proveniente do setor de transportes, notadamente, rodoviário e aeronáutico.

Similarmente na Europa, segundo o Green Paper da Comunidade Européia (1996), os custos econômicos do ruído ambiental foram examinados sob diversas óticas nos países da Comunidade, não existindo referências para uma avaliação normalizada dos custos. A maior parte dos estudos realizados também limitou-se à questão do ruído de transportes. Em 1993, uma análise comparativa destes estudos concluiu que a estimativa dos custos de poluição sonora varia entre 0,2 e 2% do PIB.

Outro estudo realizado pelo INFRAS/IWW (1994) no Green Paper (1996) apresentou uma estimativa global para 17 países europeus (15 países da União Européia mais a Noruega e a Suíça), com base na valoração contingente, que revelou um custo anual total do ruído provocado pelos transportes equivalente a 0,65% do PIB.

Com relação à desvalorização do preço dos imóveis, em função da exposição ao ruído, foram realizados estudos baseados nos preços hedônicos para diversos países ao longo dos últimos 25 anos. Estes demonstraram que na década de 80, a taxa média de desvalorização podia ser calculada em torno de 1% por dB(A), se o nível de ruído excedesse a 55 dB(A); enquanto que outros

estudos (década de 70) mostraram uma taxa de desvalorização de 0,3 a 0,8% por dB(A) (INRETS (1994) citado no Green Paper (1996)).

Com relação aos custos reais dos prejuízos devidos ao ruído, em termos de saúde, existem poucos dados na Comunidade Européia (Green Paper, 1996).

A utilização de instrumentos econômicos para a redução do ruído não é muito comum na Europa. O único instrumento econômico bastante utilizado é a incorporação de um componente do ruído na taxa de aterrissagem paga pelas aeronaves nos aeroportos. Os rendimentos provenientes desta taxa são aplicados no financiamento de programas de isolamento acústico nas imediações dos aeroportos. Contudo, segundo a OCDE (1990), o impacto deste instrumento em termos de redução do ruído é discutível, sendo de baixa eficácia durante a escolha das aeronaves pelas companhias aéreas (Green Paper, 1996).

A Comissão reconhece que o estabelecimento de legislações ambientais sonoras não é suficiente, sendo necessário ampliar a gama de instrumentos, dentre estes, a relação custo-eficácia e o princípio poluidor-pagador.

Em se tratando de uma UTE, caso os requisitos legais não sejam atendidos, a avaliação dos custos ambientais decorrentes da construção e operação das mesmas devem ser estudados. As principais externalidades identificadas para serem valoradas compreendem:

- **Danos no âmbito interno aos limites da UTE**

- a- os danos à saúde dos trabalhadores que a operam.**

A exposição diária dos operadores da UTE ao ruído, quando submetidos a altos níveis, pode causar danos à sua saúde, em particular, a perda da audição que é uma doença profissional muito freqüente, antiga e reconhecida por estar associada ao ruído.

Além do mais, a exposição ao ruído pode provocar modificações em numerosas funções fisiológicas, dentre as quais, podemos citar:

- as alterações produzidas sobre o sistema cardiovascular, neuroendócrino, digestivo, respiratório, ocular;
- os acidentes de trabalho decorrentes da impossibilidade de escutar qualquer sinal de alerta diante de situações que possam envolver perigo;
- as perdas de produtividade, seja em função da ausência do operador do seu posto de trabalho para ir ao médico, seja porque o ruído também pode causar estresse e reduzir sua produtividade.

Os danos à saúde dos trabalhadores provocados pela exposição diária aos altos níveis de ruído dentro dos limites da UTE podem ser valorados através da análise dos custos envolvidos com hospitalização, diagnóstico e tratamento da doença.

Os custos com a perda de produtividade está diretamente relacionado ao custo dos dias de trabalho perdidos, a partir da observação do salário atribuído ao trabalhador ou dos dias de atividade restringida, onde a prática tradicional atribui uma percentagem do salário.

- **Danos no âmbito externo aos limites da UTE**

- a- **o incômodo refletido na comunidade em torno da usina, principalmente em áreas, cujo o uso do solo é residencial,**
- b- **a desvalorização imobiliária das propriedades, seja em áreas urbanas ou rurais,**
- c- **os efeitos na vida animal em áreas rurais ou próximas a áreas de proteção ambiental.**

Segue uma breve descrição dos métodos de valoração que poderão ser utilizados para valorar as externalidades acima relacionadas.

- a- **O incômodo refletido na comunidade em torno da usina, principalmente em áreas, cujo o uso do solo é residencial**

Sugere-se que seja utilizado o método de despesas de proteção ou o método de valoração contingente para valorar esta externalidade.

No caso em que os dispositivos de controle não sejam instalados, ou quando instalados se apresentarem insuficientes, os níveis de ruído emitidos por uma UTE para o seu exterior, indubitavelmente irá gerar distintos efeitos sobre o homem, como por exemplo, a interferência na comunicação, as perturbações no sono e as alterações no sistema cardiovascular que podem ser traduzidas por sensações de incômodo como resposta de uma comunidade localizada em torno da usina.

Segundo Vallet (1983), o incômodo pode ser definido como sendo “uma sensação perceptiva e afetiva negativa expressa pelas pessoas que entendem o ruído”.

Internacionalmente, tentou-se estabelecer uma equivalência entre o aumento nos níveis de ruído e o incômodo impetrado à comunidade, o que possibilita o estabelecimento de diferentes legislações ambientais sonoras tendo como base o incômodo.

Partindo deste pressuposto, a Organização Mundial da Saúde (1995) afirma que “são desejáveis níveis de ruído no exterior inferiores a 55 dB (A) para prevenir qualquer significativo incômodo na

comunidade". Níveis de pressão sonora durante o período noturno poderão ser de 5 ou 10 dB mais baixo do que o período diurno. Essa diferença representa uma média geral que pode ser observada a partir de um grande número de situações correntes.

Para ruídos intermitentes, é necessário considerar o nível máximo e o número de eventos do ruído dentro do período em questão.

Uma forma de valorar economicamente este dano (incômodo) é através do método das **despesas de proteção** - relacionados à implementação de medidas de isolamento da edificação para minimizar o impacto sonoro e do **método da valoração contingente** - considera a disposição a pagar dos indivíduos com relação a um bem.

Através das **despesas de proteção**, valora-se o dano ambiental provocado pelo ruído computando os gastos necessários para reduzir o impacto a fim de manter um nível aceitável de poluição sonora. Assim, do ponto de vista acústico, este método considera os custos incorridos no isolamento de uma residência para reduzir os níveis de ruído produzidos no exterior que chegam ao interior da edificação e são suscetíveis a causar incômodo. Normalmente, este isolamento consiste na melhoria da vedação das esquadrias ou substituição das mesmas por outras de qualidade acústica melhor.

Entretanto, as medidas de proteção sonora adotadas podem não devolver a situação ao seu nível original (nível de ruído antes da construção e operação da atividade); pior, podem incorrer em outros efeitos negativos sobre o bem-estar, como por exemplo, dificultar a ventilação natural.

Para a aplicação do **método de valoração contingente** sobre este dano, sugere-se que o Setor estabeleça um questionário aos moldes do que fora proposto para a valoração da biodiversidade, considerando a externalidade provocada pela poluição sonora.

Com relação ao ruído, o método da valoração contingente tem por objetivo fornecer medidas condizentes com a disposição a pagar dos habitantes de uma localidade a fim de garantir um nível de ruído aceitável ou para preservar o ambiente acústico em uma determinada área, em função da implantação de uma nova atividade.

Contudo, existem problemas inerentes a este método. Dentre estes, cita-se que a maioria dos indivíduos a serem entrevistados pode não estar familiarizada com o decibel (dB).

b- Desvalorização imobiliária das propriedades, seja em áreas urbanas ou rurais

O método sugerido para valorar esta externalidade é o de **preços hedônicos**.

A implantação de uma UTE, como qualquer outra atividade que gere ruído sem qualquer ou insuficiente controle de ruído, pode culminar na desvalorização no preço das propriedades

localizadas nas redondezas da usina. Este problema pode inviabilizar o uso do solo para áreas residenciais ou mesmo para outras que possam contemplar atividades sensíveis ao ruído, seja em áreas rurais e urbanas, conforme já abordado.

O método de preços hedônicos apresenta-se como sendo o mais indicado na literatura para valorar as externalidades descritas no parágrafo anterior. O objetivo é revelar todos os atributos de um bem, de modo a justificar seu preço e discriminar a importância quantitativa de cada um deles. Em outras palavras, o preço de mercado de uma propriedade é função dos atributos atribuídos a ela própria, das características da vizinhança, das taxas locais, dos serviços disponíveis no local e das variáveis que descrevem a qualidade ambiental, dentre estas, o ruído.

Assim, pode-se estabelecer uma função de preços hedônicos (P_i), a partir deste conjunto de características, cuja equação pode ser assim definida:

$$P_i = F(a_{i1}, a_{i2}, a_{i3}, \dots, R_i)$$

Onde,

a_{ij} corresponde aos atributos da propriedade i ,

R_i corresponde ao nível do bem ou serviço ambiental R da propriedade i .

Uma vez especificada a função, indicamos a disposição marginal a pagar por unidade adicional da mesma - seu preço implícito. Mais detalhes, veja o método de preços hedônicos no Capítulo II.

c- Efeitos na vida animal em áreas rurais ou próximas a áreas de proteção ambiental

Para se valorar os danos advindos do ruído neste caso, utiliza-se as funções de dose-resposta que informam sobre a incidência que uma mudança na variável de estudo tem sobre um receptor determinado. Entretanto, pelos motivos que serão aqui apresentados, não se recomenda que esta externalidade seja valorada pelo Setor.

O ruído produz nos animais os mesmos efeitos verificados nos seres humanos - a perda da audição, a não percepção de sinais auditivos, os efeitos fisiológicos não-auditivos e as mudanças comportamentais.

A perda de audição e a não percepção de sinais auditivos podem complicar os esforços dos animais para identificar as suas crias, detectar e localizar as suas presas, bem como prejudicar a fuga de eventuais predadores.

Os níveis de ruído estabelecidos para a proteção da audição humana aplica-se para muitos mamíferos terrestres, visto que baseiam-se em estudos realizados em laboratórios com animais (ratos, chinchilas, hamsters e gatos).

Os efeitos fisiológicos da exposição ao ruído, como por exemplo, as alterações da pressão sanguínea, do balanço hormonal e da reprodução foram demonstrados em pesquisas realizadas com animais de laboratórios e de fazendas, e dificilmente poderiam ser estudados em animais selvagens. Outrossim, a adaptabilidade fisiológica e comportamental em resposta ao estímulo sonoro também não é conhecida.

Entretanto, o maior efeito observado do ruído sobre os animais parece ser comportamental. E a resposta correspondente ao incômodo no homem é a aversão.

Várias pesquisas precisam ser ainda desenvolvidas antes de estabelecer alguns critérios definitivos, conforme descrito abaixo:

- Mais investigações cruzadas, a fim de determinar o ponto em que várias espécies incorrem em perda auditiva;
- Estudos para determinar os efeitos do ruído sobre os animais, assim como a exposição crônica ao ruído;
- Estudos para melhor compreender os efeitos do ruído sobre os animais em seu habitat natural. Algumas variáveis como, a extensão das reações adversas, as mudanças fisiológicas e a relação predador-presa devem ser examinadas;

Enquanto não existirem informações suficientemente completas, a avaliação do impacto ambiental sonoro sobre a fauna deve ser baseada nas informações existentes, apesar destas serem incompletas.

Pelo exposto acima, a implantação de uma determinada atividade em áreas rurais ou próximas a áreas de proteção ambiental merece cuidados especiais, principalmente no que se refere à avaliação dos impactos sonoros causados à vida animal.

As atividades que ocorrem em uma termelétrica com turbinas a gás possuem uma contribuição significativa nas baixas frequências, devido principalmente ao sistema de exaustão. Este tipo de ruído, pouco atenuado pela absorção do ar em função de seu comprimento de onda, é transmitido mais eficientemente. Conseqüentemente, se não atenuado adequadamente, pode vir a constituir uma particular fonte de incômodo para determinadas espécies animais, como por exemplo, alguns pássaros, mamíferos aquáticos e peixes. Existem pássaros que podem detectar ruídos de baixa frequência transmitidos através do solo, antes mesmo dele chegar no ar.

Aplicação da metodologia de valoração que utiliza a função dose-resposta para valorar o dano causado pela poluição sonora à saúde dos trabalhadores

Entende-se que na etapa de planejamento do Setor Elétrico seja necessário valorar a externalidade. Sabe-se que as medidas de controle adotadas para mitigá-la têm conseguido resultados significativos, mesmo assim ainda persistem alguns casos de externalidade que devam ser valoradas.

A seguir são descritas as etapas para a valoração deste dano. A fim de obter mais detalhes sobre a aplicação deste método (a função dose-resposta), deve-se procurar neste Capítulo o exemplo do dano à saúde provocado pelas emissões atmosféricas.

1ª Etapa: Estimar as emissões sonoras de uma planta de geração térmica em seu interior, específica ou hipotética dependendo do escopo da avaliação.

2ª Etapa: Identificar a função dose-resposta apropriada para ser utilizada a partir dos níveis de decibéis a serem emitidos. Sugere-se que o Setor encomende estudos de função dose-resposta para os níveis de decibéis emitidos.

3ª Etapa: Identificar o número de trabalhadores a ser impactado. Nesta etapa, é necessário que o Setor identifique o número médio de trabalhadores que atuam em usinas dos tipos propostos em nosso cenário.

4ª Etapa: Estabelecer o impacto à saúde provocado pelo dano ambiental através da equação a seguir.

$$S_{in} = b_i \cdot (C_{in}) \cdot (Pop_{in})$$

Onde,

S_{in} corresponde as doenças ocasionadas pela variação do ruído i sobre os trabalhadores da usina para cada categoria de empreendimento n ;

b_i corresponde ao coeficiente da função dose-resposta, indicando o efeito à saúde esperado por unidade de decibéis emitidos;

C_{in} corresponde a emissão sonora proveniente da operação da geração térmica no interior da usina para cada categoria de empreendimento n ;

Pop_{in} corresponde a população exposta ao ruído i para cada categoria de empreendimento n .

5ª Etapa: *Estimar o valor econômico das alterações dos serviços ambientais*

Nesta etapa, sugere-se que seja realizado uma pesquisa para identificar os gastos incorridos com os danos à saúde dos trabalhadores causado pela exposição diária aos altos níveis de ruído dentro dos limites da UTE.

Este dano pode ser valorado através da análise dos custos envolvidos com a hospitalização, o diagnóstico e o tratamento da doença. Em seguida, este valor deverá ser aplicado ao resultado obtido na quarta etapa, ou seja, uma vez identificada a variação no número de doenças provocadas pela usina, é estabelecido o gasto a ser incorrido para tratá-las.

Ressalvas a aplicação da metodologia que utiliza a função dose-resposta para valorar o dano causado pela poluição sonora à saúde dos trabalhadores

Os vieses apresentados no Capítulo II para os estudos epidemiológicos e para as funções dose-resposta também se aplicam para este caso.

As doenças de trabalhadores decorrentes de ruídos estão ligadas também a perda de produtividade destes e a problemas psíquicos que estes incorrem. Entretanto, estes danos não estão sendo aqui contemplados; por isso, sugere-se que seja estabelecida uma sistemática para identificar a melhor maneira de valorar estes danos que não conseguem ser aqui captados.