

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A REDAÇÃO FINAL DA
TESE DEFENDIDA POR Mariana Marques
Morelli E APROVADA
PELA COMISSÃO JULGADORA EM 22/12/2010


ORIENTADOR

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

Mariana Marques Morelli

**Avaliação Energética e Emergética de Usina
Hidrelétrica – Estudo de Caso: Complexo
Hidrelétrico de Belo Monte - Rio Xingu**

07/2011

Mariana Marques Morelli

Avaliação Energética e Emergética de Usina Hidrelétrica – Estudo de Caso: Complexo Hidrelétrico de Belo Monte - Rio Xingu

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Planejamento de Sistemas Energéticos.

Orientador: Prof. Dr. José Tomaz Vieira Pereira

Campinas
2010

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

M815a Morelli, Mariana Marques
Avaliação energética e emergética de usina hidrelétrica - estudo de caso: complexo hidrelétrico de Belo Monte - Rio Xingu / Mariana Marques Morelli. -- Campinas, SP: [s.n.], 2010.

Orientador: José Tomaz Vieira Pereira.
Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Usinas hidrelétricas - Xingu, Rio (MT e PA). 2. Análise energética. 3. Emergia. I. Pereira, José Tomaz Vieira. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. III. Título.

Título em Inglês: Energy and emergy evaluation of hydroelectric power plant - a case study: Belo Monte hydroelectric complex – Xingu River

Palavras-chave em Inglês: Hydroelectric power plants - Xingu River (MT, PA), Energy analysis, Emergy

Área de concentração: -

Titulação: Mestre em Planejamento de Sistemas Energéticos

Banca examinadora: Carla Kazue Nakao Cavaliero, Paulo Antonio de Almeida Sinisgalli

Data da defesa: 22/12/2010

Programa de Pós Graduação: Planejamento de Sistemas Energéticos

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENERGIA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADEMICO

**Avaliação Energética e Emergética de Usina
Hidrelétrica – Estudo de Caso: Complexo
Hidrelétrico de Belo Monte - Rio Xingu**

Autor: Mariana Marques Morelli
Orientador: Prof. Dr. José Tomaz Vieira Pereira

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Dissertação:



Prof. Dr. José Tomaz Vieira Pereira



Prof. Dr. Carla Kazue Nakao Cavaliero



Prof. Dr. Paulo Antonio de Almeida Sinisgalli

Campinas, 22 de Dezembro de 2010.

Dedico este trabalho à minha Melhor Amiga: Mamãe.

Agradecimentos

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, pela minha Vida, pela bênção de realizar este trabalho, pela força e inspiração a mim concedidas.

À minha família, por toda ajuda, apoio, carinho, dedicação e compreensão: ao meu pai, Wilson Tadeu Morelli, especialmente por toda disposição em me dar caronas; ao meu irmão, Marcelo Marques Morelli, especialmente pela amizade, torcida e ajudas computacionais; e mais do que especialmente à mulher mais linda deste mundo – mamãe, Abadia Aparecida Marques Morelli – por sempre estar ao meu lado, por todas as orações, pela infinita dedicação, pelo imensurável Amor, por sua grande generosidade, pela doçura, pelos conselhos, por me ajudar sempre, nos estudos e na Vida!

Ao Prof. Dr. Tomaz Vieira Pereira, por ter acreditado em mim, por todos os valiosos ensinamentos, pelo seu tempo precioso despendido em nossas reuniões, pela paciência. Agradeço a sugestão de um tema tão rico para pesquisa, tal como o método que me foi apresentado. Sou grata pelas conversas sábias e pela maneira que me auxiliou a conduzir meu mestrado, por ter sido como um “pai” acadêmico para mim. Agradeço ainda à sua esposa, a Matemática Arlete por ter sido tão querida levando lanchinhos em nossas reuniões conclusivas.

À Psicóloga MSc. Maria Helena Simões Barreira, pela amizade e dedicação; por todo o profissionalismo, me auxiliando em todos os momentos. Agradeço por toda sua doação, em termos de tempo e paciência. Pelo auxílio sobre como seguir na vida acadêmica da melhor maneira possível. Por me ajudar na organização da minha vida e na evolução do meu ser.

A todos os professores que me ajudaram direta ou indiretamente a concluir este trabalho, especialmente aos professores da UNESP, campus de Rio Claro e professores do Departamento de Energia da FEM – UNICAMP: as aulas, os trabalhos, os conhecimentos passados certamente contribuíram para a conclusão desta dissertação. Ao Prof. Dr. Paulo de Barros Correia, pelo apoio na conclusão deste trabalho. Aos professores que fizeram parte da minha vida acadêmica, em especial às professoras Lia (de Língua Portuguesa) e Cíntia (de Ciências), do SESI-403, e Teresa Cristina (de Química) da E.T.E. Bento Quirino, três das primeiras a contribuir para o meu despertar para a Pesquisa e a Ciência.

Ao pessoal da Shelter English School, principalmente aos Professores Raphael e Wilson, pela amizade, pelas ótimas aulas e pelo impecável ensino.

Aos amigos que fiz na FEM, em especial à Eng. Andrea Juliana Ortiz (e Dario, claro!), à Matemática Ana Paula Rodrigues Magalhães e ao Eng. MSc. Mauro Francisco Chávez Rodriguez, ao Eng. MSc. Johnathan Flores Arteaga, ao Bioquímico MSc. Gustavo A. Riveros, ao Eng. Arthur H. Gonçalves, pelos conhecimentos compartilhados, pelas ajudas nos estudos e pelos momentos divertidos que passamos; o curso de Mestrado com certeza tornou-se muito melhor com a companhia de vocês. Aos funcionários da FEM (especialmente Neusa e Denise), sempre solícitos.

Aos amigos da UNESP, que mesmo à distância, fazem toda a diferença! Em especial agradeço à Ecóloga Huang Shih Fang, pela amizade de sempre. À Ecóloga Meire Mateus de Lima, pela amizade, por estar sempre pronta a ajudar – inclusive aprendendo funções no ArcGis para depois me ensinar-!

À melhor amiga do SESI, R.P. Cíntia Floriano, pela amizade, apesar do tempo, e pelas alegres lembranças.

À Adm. Vanessa Maria, pela amizade antiga e de sempre!

Às bailarinas Lilian Judith, Camilla Etter, Meire Silva, Paula Oshiro, Joyce Tamires, Gabriela Matiuzzo e Mariane Cherryne, pela amizade, pelas risadas, pela força e pelos momentos maravilhosos que compartilhamos; no caso da também geógrafa, Paulinha, agradeço ainda por todas as dúvidas geográficas esclarecidas!

Ao pessoal do CEPAGRI e da FEAGRI – em especial à Rojane e ao Agmon - pelo esclarecimento de dúvidas sobre ciclo hidrológico e pela disponibilidade em me ajudar.

À CAPES, pelo suporte financeiro.

Ao Eng. Marcelo Salazar, pela atenção e pelo material disponibilizados.

A um amigo muito especial: Ivo Dias Gregório, por toda compreensão, carinho, bons conselhos, pela ajuda nos cálculos da área a montante. Agradeço também todo o afeto e todos os momentos divertidos que passamos juntos.

Por fim, a mais um amigo muito especial, por ter me apresentado o curso de Planejamento Energético e o meu orientador; por todas as dicas, apoio e incentivo: Adm. MSc. Joaquim Carlos

Dias. Ele, e todos aqui mencionados têm seu “input energético” na minha vida e consequentemente, nesta dissertação, e por isso eu presto esta homenagem.

“No mistério do sem-fim
equilibra-se um planeta.

E, no planeta, um jardim,
e, no jardim, um canteiro;
no canteiro uma violeta,
e, sobre ela, o dia inteiro,

entre o planeta e o sem-fim,
a asa de uma borboleta”

Cecília Meireles

Resumo

A região Amazônica é bastante conhecida por sua riqueza em termos de biodiversidade e de potencial energético advindo de sua extensa rede hidrográfica. Após um vasto histórico de tentativas de barramento de um de seus importantes afluentes -o rio Xingu-, fez-se um projeto para a construção do chamado Complexo Hidrelétrico de Belo Monte (CHE). O principal objetivo deste estudo é apresentar uma metodologia para avaliar um empreendimento hidrelétrico sob os aspectos Energéticos e Ambientais, valendo-se da Análise Energética, que inclui uma avaliação dos fluxos de energia e de emergia. Nesta dissertação o CHE de Belo Monte foi analisado energeticamente, a partir de duas linhas conceituais: a termodinâmica e a emergia. Primeiramente buscou-se dados referentes ao investimento energético no sistema de produção de eletricidade. Em seguida, converteu-se os dados energéticos em exergia e multiplicou-se os resultados obtidos pelas respectivas transformidades: fontes de energia renovável “gratuita” ($7,29E+05$ sej/ano), fonte de energia renovável comprada ($3,12E+03$ sej/ano), fontes de energia não renovável comprada ($1,39E+05$), fontes de energia não renovável “gratuita” ($9,40E+06$ sej/ano), fontes de energia não renováveis comprada ($1,39E+05$ sej/ano), energia referente aos impactos ambientais (biomassa perdida, $4,04E+05$ sej/ano), energia referente aos investimentos de R\$19, 25 e 30 bilhões ($5,7E+20$, $7,5E+20$ e $9E+20$ sej/ano). Optou-se por incluir análises considerando estes investimentos financeiros, os quais contemplam os dados do Investimento Físico pesquisados bem como aqueles que não foram possíveis de se quantificar fisicamente, tais como custos ambientais, sociais, alguns materiais e maquinários. A partir destes dados, foram calculados índices emergéticos (EIR, EYR, ELR, ESI e Tr). O CHE de Belo Monte relativamente eficiente mesmo em seu cenário de R\$30 bilhões, apresentando valor de Tr igual a $1,35E+04$ sej/J. Foi calculado ainda o Índice de Retorno Energético Sobre o Investimento, em duas situações: incluindo ou não a energia não-renovável gratuita (N). Como o EROI depende de todas as entradas energéticas e não particularmente de N, não houve grande diferença entre as duas situações analisadas.

Palavras-chave: hidrelétrica; Belo Monte; análise energética; emergia; impactos ambientais.

Abstract

This region is well known for its wealth of biodiversity and potential energy that comes from its extensive river system. After a long history of attempts barring one of its major tributaries – Xingu River - , it was conceived a project for building Belo Monte Hydroelectric Complex (CHE). The main goal of this study is to present a methodology for evaluating a hydroelectric project under the Energy and Environmental aspects, using Energy Analysis, which includes an evaluation about energy and emergy flows. In this dissertation CHE Belo Monte was analyzed energetically from two conceptual lines: thermodynamics and emergy. First data on the energy investment in the electricity production system were sought. Then data were converted from energy to exergy multiplied the results by their transformities, obtaining the following: “free” renewable energy sources ($7.29 \text{ E } +05 \text{ sej / year}$), renewable source of energy purchased ($3.12 \text{ E } +03 \text{ sej / year}$), non-renewable sources of energy purchased ($1.39 \text{ E } +05$), “free” non-renewable energy sources ($9.40 \text{ E } +06 \text{ sej / year}$), non-renewable sources of energy purchased ($1.39 \text{ E } +05 \text{ sej / year}$), energy related environmental impacts (biomass lost $4.04 \text{ E } +05 \text{ sej / year}$), energy related investments of \$ 19, 25 and 30 billion ($5.7 \text{ E } +20$ $7.5 \text{ E } +20 \text{ sej}$ and $9 \text{ E } +20 / \text{ year}$). It was include these investments, which contains data from the Investment Physical searched and those who were not physically possible to quantify, such as environmental costs, social, some materials and equipments. From these data, emergy indices (EIR, EYR, ELR, ESI and Tr) were calculated. Belo Monte CHE is relatively efficient even in your scenario of \$ 30 billion, with Tr equal to $1.35 \text{ E } +04 \text{ sej / J}$. Energy Rate of Return on Investment was calculated for two situations: with or without the non-renewable energy free (N). As the EROI depends on all the energy inputs and not particularly of N, there was no significant difference between the two situations analyzed.

Keywords: Hydroelectric, Belo Monte; energy analysis; emergy; environmental impacts.

Lista de Ilustrações

Figura 2.1. Potencial Hidrelétrico brasileiro por sub-bacia hidrográfica – situação em março de 2003	p. 22
Figura 2.2. Gráfico: Oferta interna de energia segundo natureza da fonte primária de geração no Brasil- 2008	p. 23
Figura 2.3. Esquema ilustrativo situando o Projeto do Complexo Hidrelétrico de Belo Monte	p. 35
Figura 2.4. O Barramento	p.44
Figura 2.5. Gráfico: Vazões indicadas a serem liberadas pelo menos a cada mês	p. 49
Figura 2.6. Gráfico: Carbono decomposto anaerobicamente no reservatório da calha	p. 60
Figura 2.7. Gráfico: Carbono decomposto anaerobicamente no reservatório dos canais	p. 60
Figura 2.8. Gráfico: Metano calculado a 30m profundidade no reservatório da calha	p. 61
Figura 2.9. Gráfico: Metano calculado a 30m profundidade no reservatório dos canais	p. 62
Figura 2.10. Gráfico: Emissões por caminho para o complexo Belo Monte/Babaquara	p. 63
Figura 3.1. Mapa dos Compartimentos da Bacia Hidrográfica do Xingu (quadriculado)	p. 67
Figura 3.2. Volume de Controle: sistema com o qual foram definidos os itens a serem considerados e quantificados	P. 68
Figura 3.3. Exemplo: balanço de massa do item “água”	p. 69
Figura 3.4. Exemplo de diagrama de fluxos complexo para uma bacia hidrográfica com aproveitamento hidrelétrico	p.77
Figura 3.5. Exemplo de Agregação de Fluxos	p. 78
Figura 3.6. Exemplo de Agregação Final de Fluxos	p. 78

Lista de Tabelas

Tabela 2.1. Vazões características do rio Xingu (m ³ /s)	p. 38
Tabela 2.2. Vazões indicadas a serem liberadas pelo menos em cada mês	p. 48
Tabela 4.1. Banco de Dados – Características técnicas do Projeto do CHE de Belo Monte e da Bacia do Rio Xingu	p. 79
Tabela 4.2. Planilha de Cálculo de Emergia	p. 83
Tabela 4.3. Avaliação Emergética	p. 90
Tabela 4.4. Avaliação Energética	p. 94

Lista de Abreviaturas

Abreviaturas

Desc. - Descrição

Ref. – Referência

Unid. – Unidade

Lista de Siglas

Siglas

AAI – Avaliação Ambiental Integrada
AHE – Aproveitamento Hidrelétrico
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
B.M. – Belo Monte
BEN- Balanço Energético Nacional
CHE – Complexo Hidrelétrico
DE – Departamento de Energia
EIA – Estudo de Impacto Ambiental **EIR** –
Taxa de Investimento Emergético **ELR** –
Taxa de Carga Emergética/Ambiental **EPE** –
Empresa de Pesquisa Energética
EROI – Retorno Emergético sobre o Investimento
ESI – Índice de Sustentabilidade Emergética
EYR – Taxa de Rendimento Emergético
FEM – Faculdade de Engenharia Mecânica
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change*
M.O. – Matéria orgânica
MMA – Ministério do Meio Ambiente
N.A. – Nível Altimétrico
PCI – Poder Calorífico Inferior
PCH – Pequena Central Hidrelétrica
PCS – Poder Calorífico Superior
RIMA – Relatório de Impacto Ambiental
TVR - Trecho de Vazão Reduzida
UHE – Usina Hidrelétrica

VC - Volume de controle

Y – Energia produzida

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	p. 01
1.1. Linha de Pesquisa: Energia, Sociedade e Meio Ambiente	p. 01
1.1.1. Aspectos energéticos	p. 02
1.1.2. Aspectos sociais	p. 02
1.1.3. Aspectos ambientais	p. 03
1.2. Objetivos	p. 05
1.2.1. Objetivo principal	p. 05
1.2.2. Objetivos específicos	p. 05
1.3. Justificativa da dissertação	p. 06
1.4. Estrutura da dissertação	p. 06
2 REVISÃO DA LITERATURA	p. 08
2.1. Introdução à Análise Energética	p. 08
2.1.1. Energia	p. 08
2.1.2. Primeira e Segunda Leis da Termodinâmica	p. 10
2.1.3. Exergia	p. 11
2.1.4. Conceitos Emergéticos	p. 13
2.2. Estudos envolvendo Análise Energética	p. 16
2.2.1. A bacia hidrográfica como sistema para Análise Energética	p. 16
2.2.2. Estudo de caso: Análise Emergética do Rio Mekong	p. 17
2.2.3. Avaliações emergéticas de sistema de produção de eletricidade	p. 19
2.2.4. Análise Emergética da Hidrelétrica de Tucuruí	p. 21
2.3. Matriz energética brasileira	p. 21
2.4. Impactos ambientais de hidrelétricas	p. 25

2.4.1. Relação entre energia hidrelétrica e mudanças climáticas globais	p. 25
2.5. Hidrelétricas na Região Amazônica	p. 29
2.6. Caracterização do objeto de estudo	p. 34
2.6.1. A bacia hidrográfica do rio Xingu	p. 35
2.6.2. Climatologia e hidrologia da bacia	p. 37
2.6.3. Histórico das tentativas de barramento do rio Xingu	p. 38
2.6.4. Complexo Hidrelétrico de Belo Monte	p. 41
2.6.5. Relação Produção de Energia por Área Inundada	p. 45
2.6.6. Adulteração da Volta Grande	p. 46
2.6.7. Vegetação envolvida na área do reservatório de Belo Monte	p. 49
2.6.8. Modificação da paisagem	p. 50
2.6.9. Pedologia e sedimentologia	p. 51
2.6.10. Acerca da fauna da bacia hidrográfica do rio Xingu	p. 52
2.6.11. O CHE de Belo Monte e as emissões de gases de efeito estufa	p. 59
2.6.12. O detalhamento das características do objeto de estudo	p. 63
3 METODOLOGIA	p. 65
3.1. Cálculo da área da bacia a montante de Belo Monte	p. 65
3.2. Expressão para cálculo de energia	p. 69
3.3. Expressão para cálculo de exergia	p. 70
3.4. Expressão para cálculo de fluxo energia a partir de um dado em Joules	p. 70
3.5. Expressão para cálculo de fluxo de energia a partir de um dado em gramas	p. 71
3.6. Índices emergéticos	p. 71
3.6.1. Taxa de Investimento Emergético (EIR)	p. 72

3.6.2. Taxa de Rendimento Emergético (EYR)	p. 72
3.6.3. Taxa de Carga Ambiental (ELR)	p. 73
3.6.4. Índice de Sustentabilidade Emergética (ESI)	p. 73
3.6.5. Transformidade (Tr)	p. 74
3.7. Cálculo do Retorno Sobre o Investimento Energético	p. 75
3.8. Avaliação pelo valor financeiro atribuído ao projeto	p. 75
3.9. Diagramas Emergéticos	p. 76
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	p. 80
4.1. Cálculos para determinação de energia	p. 80
4.2. Avaliação Emergética	p. 89
4.2.1 Cálculo dos Índices Emergéticos	p. 92
4.3. Avaliação Energética	p. 93
5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PRÓXIMOS TRABALHOS	p. 96
REFERÊNCIAS	p. 98
APÊNDICE A - Símbolos Emergéticos	p. 107
APÊNDICE B – Referências de Dados	p. 109
APÊNDICE C – Referências de Transformidades	p. 111
ANEXO A- Aspectos sociais da questão energética	p. 112
ANEXO B - Aspectos socioeconômicos da região da bacia hidrográfica do Rio Xingu	p. 114
ANEXO C - Aspectos Referentes às Outras Hidrelétricas na Região Amazônica	p. 117

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho se insere dentro da linha de pesquisa “energia, sociedade e meio ambiente”. Neste capítulo introdutório tal linha de pesquisa é abordada, bem como sua relação com a presente dissertação. É comentada a importância da análise energética para empreendimentos como o que está sendo estudado, ou seja, o Complexo Hidrelétrico (CHE) de Belo Monte no Rio Xingu. Também é ressaltada a influência das barragens nos ecossistemas em que serão inseridas, inclusive citando o aspecto social, que apesar de não ser o foco deste trabalho, é de fundamental importância na avaliação das consequências das construções de hidrelétricas do porte de Belo Monte. Ainda neste capítulo são apresentados os objetivos e justificativas desta dissertação, além do breve relato da estrutura geral da mesma, capítulo a capítulo.

1.1. Linha de Pesquisa: Energia, Sociedade e Meio Ambiente

A linha de pesquisa em questão trata de três assuntos bastante abrangentes e fortemente interligados. A sociedade humana está baseada em sistemas energéticos que estão intimamente vinculados aos sistemas socioeconômicos e ambientais. A questão energética deve ser avaliada, tanto em termos de demanda quanto em termos de produção, considerando seus vínculos com a sociedade e o meio ambiente. A metodologia da Análise Energética (que será utilizada no desenvolvimento desta dissertação) é adequada para incorporar todas as variáveis envolvidas no processo. Alguns detalhes deste método são apresentados no primeiro tópico do capítulo 2 “Revisão da Literatura”.

1.1.1. Aspectos energéticos

A energia utilizada pelo homem não se restringe àquela necessária para funcionamento do seu metabolismo. Toda a complexa sociedade humana depende de energia para seu maior conforto e desenvolvimento. Boa parte desta energia requerida necessita estar em forma de eletricidade, que em grande parte dos países é basicamente produzida a partir de energia fóssil.

A dependência mundial de energia fóssil é da ordem de 87%. No Brasil, o cenário é diferente; a geração de eletricidade se dá em 70% através de hidrelétricas (maiores informações sobre esta matriz energética encontram-se na “Revisão de Literatura”). Visando produzir mais energia de fontes renováveis, o governo brasileiro possui vários projetos de aproveitamento hidrelétrico na Amazônia, dentre eles o projeto do Complexo Hidrelétrico de Belo Monte no rio Xingu. O tópico denominado “Caracterização do Objeto de Estudo” da Revisão contém o histórico desta usina bem como sua localização, características do projeto e da área da bacia hidrográfica envolvida.

Este é um grande projeto envolvendo o alagamento de uma extensa área para construção de reservatórios. Caso seja concluído, o projeto se localizará em uma área da qual faz parte um ecossistema de grande biodiversidade e uma população ribeirinha que será deslocada devido à barragem, havendo ainda interferência na vida de populações indígenas cujo cotidiano é intensamente influenciado pelo rio.

Entretanto, o Brasil é um país que está em pleno desenvolvimento e precisa de mais energia no Sistema Interligado Nacional. Crescem as indústrias, o número de residências, áreas públicas, centros comerciais e com isso há também o aumento do consumo de eletricidade.

1.1.2. Aspectos sociais

Os aspectos sociais são extremamente importantes nesta linha de pesquisa, pois como já foi mencionado, a sociedade depende de eletricidade para se desenvolver e conforme se desenvolve, aumenta a demanda por eletricidade.

Quanto ao Projeto de Belo Monte, a questão social é ainda mais relevante: as populações da bacia hidrográfica do rio Xingu serão influenciadas pela usina, desde mudanças no microclima, até quanto à moradia, visto que as populações ribeirinhas atingidas pela barragem serão deslocadas.

Além disto, a mão-de-obra necessária para realização desta obra será em número tão grande que certamente interferirá no modo de vida da população local.

A questão social é bastante crítica neste Projeto e tem sido amplamente divulgada pela mídia. O Aproveitamento Hidrelétrico da bacia do rio Xingu começou a ser pensado há mais de três décadas e sempre foi motivo de fortes divergências. Ao mesmo tempo em que a energia a ser gerada é importante para o desenvolvimento do país, a geração de impactos significativos na biodiversidade e na sociedade local tem provocado intensa mobilização social, incluindo indígena e de ambientalistas, em torno do Projeto.

Embora a metodologia Emergética possibilite a inclusão do aspecto social, devido à complexidade de sua quantificação ele não será tratado neste trabalho. No Anexo A podem ser vistas mais informações sobre esta abordagem social inserida na linha de pesquisa “Energia, Sociedade e Meio Ambiente”.

1.1.3. Aspectos ambientais

O uso e o manejo dos suprimentos energéticos dependem de uma relação com os ecossistemas, do uso dos recursos naturais e até mesmo das conseqüências na natureza de ações antrópicas anteriormente estabelecidas. Tem-se, neste contexto, uma via de mão dupla: o

funcionamento de sistemas energéticos modifica os sistemas ecológicos ao mesmo tempo que dependem das condições destes para funcionarem.

Considerando que para o desenvolvimento econômico a energia é um dos insumos básicos, a abordagem energética tem um importante significado no debate do desenvolvimento sustentável e da questão ambiental.

Há uma relação de reciprocidade entre desenvolvimento e meio ambiente: atividades econômicas transformam o meio ambiente e o ambiente alterado constitui uma restrição externa para o desenvolvimento sócio-econômico. Uma vez utilizados no processo de desenvolvimento, os recursos naturais não mais estarão disponíveis para as estratégias de desenvolvimento

No Brasil, percebeu-se a emergência de uma preocupação com questões ambientais com a preparação e a realização da Rio-92. Observou-se, naquela época, a formação de coalizões transnacionais em volta de algumas questões específicas amazônicas, dentre elas, os impactos negativos de Balbina e outras. Uma vez reconhecida a elevada diversidade existente na floresta amazônica, Belo Monte torna-se um projeto bastante debatido.

No que concerne à questão ambiental, diversos desastres ecológicos e alterações no meio ambiente têm relação estreita com o suprimento de energia. Os impactos provocados pela construção de grandes barragens com o objetivo de gerar eletricidade, talvez não sejam sentidos diretamente por usuários que muitas vezes estão a centenas ou milhares de quilômetros do local de geração. Todavia, é de se esperar que programas governamentais de universalização do uso da energia elétrica possam contribuir com a inserção de componentes renováveis, através de elementos que permitam a difusão de tecnologias já disponíveis e que possa gerar eletricidade em localidades com usuários que registrem baixo consumo.

Mais especificamente quanto ao rio Xingu, tem-se que este é altamente sazonal e sua vazão natural será modificada, o que também poderá influenciar na sobrevivência de espécies e nas questões microclimáticas. Outra questão ambiental importante, também relativa à sazonalidade do rio, é a emissão de gases de efeito estufa, principalmente CO₂ e CH₄, por exemplo: a área inundada poderá liberar CH₄ na época de estiagem, devido à decomposição dos vegetais que foram inundados durante o período das chuvas.

A questão dos impactos ambientais de hidrelétricas será tratada com maiores detalhes no capítulo de “Revisão de Literatura”, e especificamente sobre Belo Monte na “Caracterização do Objeto de Estudo”.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo principal

O objetivo deste estudo é apresentar uma metodologia para avaliar um empreendimento hidrelétrico sob os aspectos Energéticos e Ambientais, utilizando a metodologia da Análise Energética, que inclui uma avaliação dos fluxos de energia e de emergia.

1.2.2. Objetivos específicos

Esta dissertação tem como objetivos específicos:

- mostrar o potencial desse tipo de análise (Energética incluindo Emergia), as complexidades e entraves para sua aplicação;
- avaliar o Retorno do Investimento Energético do Complexo Hidrelétrico de Belo Monte, no Rio Xingu (PA), a partir da metodologia da Análise Energética.

1.3. Justificativa da dissertação

Este trabalho tem seu diferencial justamente no fato de realizar uma Análise Energética incluindo a Engenharia Ecológica, isto é, o método emergético. Este permite além da avaliação energética tradicional (que em geral, vale-se somente da Termodinâmica), uma avaliação de impactos ambientais, através de uma mesma base. Assim, tem-se nesta análise energética uma contabilidade facilmente compreensível ao ser observada através do diagrama final, com seus diversos dados bastante plausíveis de serem comparados e analisados entre si.

Outro fator importante na Análise Energética incluindo energia utilizada é que diferentemente do método econômico de valoração ambiental, ela trata os recursos naturais, bem como os impactos ambientais sem utilizar-se de valores monetários para tal. Portanto, as variáveis são analisadas todos sob seu aspecto físico sendo possível conciliar numa mesma avaliação dados que possuem valorização (pagáveis, em termos de mercado) e dados gratuitos de um mesmo sistema.

O objeto escolhido para a Análise também tem sua razão de ser: como no Brasil a demanda por eletricidade vem aumentando e esta é gerada principalmente por usinas hidrelétricas, é importante avaliar os precedentes da energia obtida, visto que a hidroeletricidade já não mais tem sido intitulada como energia 100% limpa.

Assim, a Análise Energética e Emergética foi considerada adequada para cumprir o objetivo desta dissertação, o qual envolve este projeto tão complexo e ao mesmo tempo tão importante que é a geração de eletricidade através do barramento do Rio Xingu, na região amazônica, construindo a Hidrelétrica de Belo Monte.

1.4. Estrutura da dissertação

A seguir, a estrutura desta dissertação é apresentada sucintamente.

- Capítulo 1 “Introdução”: contém a contextualização da linha de pesquisa e da dissertação em geral; explicita a justificativa do trabalho e seus objetivos principais.

- Capítulo 2 “Revisão da literatura”: aborda literaturas relacionadas aos assuntos pertinentes à dissertação tais como a Introdução à Análise Energética, tópicos de Termodinâmica e de Energia; apresenta a compilação de dados referentes ao objeto de estudo que subsidiará o presente trabalho.

- Capítulo 3 “Metodologia”: mostra o método usado para chegar ao objetivo da dissertação, isto é, explica o modo de se determinar os balanços de massa, balanços energético, exergéticos e emergéticos.

- Capítulo 4 “Resultados e Discussão”: apresenta os resultados dos cálculos e realiza uma análise dos mesmos.

- Capítulo 5 “Considerações Finais e Recomendação para Trabalhos Futuros”: apresenta a conclusão obtida com o desenvolvimento da dissertação bem como recomendações para futuros trabalhos.

- O conteúdo referente aos Anexos representa um complemento e/ou aprofundamento de assuntos abordados nesta dissertação. Há ainda um Apêndice com o significado dos símbolos utilizados na Análise Energética, e outro com referências importantes de dados coletados.

2 REVISÃO DA LITERATURA

A Revisão da Literatura foi estruturada a partir das necessidades de dados e informações para atingir os objetivos deste trabalho. Assim, realizou-se uma pesquisa na literatura com todos os tópicos relacionados à Análise Energética e o Projeto do CHE de Belo Monte, considerados relevantes para esta dissertação.

Esta Revisão se estrutura nos seguintes tópicos:

- *Introdução à Análise Energética*, que explica sobre os principais tópicos de Análise Energética que introduzirão o leitor à esta metodologia;
- *Estudos de Análise Energética*, onde são apresentados exemplos de artigos que realizaram algum tipo de Análise Energética;
- *Matriz Energética Brasileira*, onde se têm em linhas gerais, aspectos sobre a principal fonte de eletricidade no Brasil.
- *Impactos ambientais de hidrelétricas*, onde são abordados os impactos atrelados a construções de usinas hidrelétricas, e alguns casos específicos na Amazônia, citando suas conseqüências.
- *Caracterização do Objeto de Estudo*, que detalha aspectos do Projeto do CHE Belo Monte e da Bacia Hidrográfica do Xingu.

2.1. Introdução à Análise Energética

2.1.1. Energia

A análise energética, como tratada neste trabalho, tem como fundamentos os conceitos termodinâmicos e os conceitos de energia. Os conceitos termodinâmicos fornecem o embasamento teórico para o estudo da energia e da exergia.

Os conceitos de energia têm como base a termodinâmica e relações entre as atividades humanas e atividades da natureza. Fornece elementos para avaliar as atividades humanas e da natureza em uma mesma base (energia). Pode-se denominar como Energia, a capacidade de provocar mudanças. Energia é o esforço físico ou mental despendido para se realizar coisas: quanto mais energia for empregada para se fazer um trabalho, maior o seu valor (PEREIRA, 2010, informação pessoal). Portanto, a energia está presente em todos os sistemas que envolvem algum processo de transformação, sejam eles naturais ou antropicamente induzidos.

Os processos metabólicos dos animais extraem dos alimentos a energia que necessitam, além das substâncias necessárias à vida. O que resta disto, isto é, matéria mais pobre em energia e em substâncias nutritivas, é restituído ao ambiente sob a forma de dejetos. Estes são posteriormente mineralizados por meio da atividade microbiana, tornando-se novamente disponíveis para o metabolismo vegetal. Deste modo, os seres vivos como um todo colhem energia da natureza segundo um ciclo que não deixa restos. Porém, a espécie humana em seu processo de desenvolvimento foi afastando gradualmente deste ciclo natural até o ponto de se julgar independente da natureza. Com o desenvolvimento da tecnologia, a interferência do homem na natureza passou a ser nociva para a vida, tanto do próprio homem como para o restante dos demais seres vivos. Nos últimos tempos a sociedade humana está tomando consciência desse processo e o cuidado com o meio ambiente tem estado presente na agenda da sociedade, assim como medidas de correção de rumo têm sido tomadas. Esse é um assunto complexo em termos de sociedade e o suprimento de energia está em seu centro (TRONCONI, *et alli*, 1991).

No decorrer do desenvolvimento da civilização o homem passou a aperfeiçoar a utilização de sua própria energia através do desenvolvimento de ferramentas e artefatos. Passou também a utilizar energia de animais que domesticava e de outros seres humanos que eram tomados como escravos. Poucas civilizações se desenvolveram sem o recurso da escravidão. Nos últimos milênios o homem também conseguiu utilizar energias exosomáticas como a energia das águas, dos ventos, e mais recentemente transformar energia térmica em energia mecânica e transformar energia mecânica em energia elétrica. O desenvolvimento tecnológico colocado a serviço da civilização humana tem sido cada vez mais rápido e como consequência a necessidade de mais energia cada vez mais intensa. O consumo voraz tem assumido aspectos verdadeiramente

predatórios nos quais as preocupações com o futuro não são tratadas com o devido cuidado. A metodologia empregada neste trabalho procura mostrar em termos quantitativos e qualitativos os impactos resultantes da exploração de um recurso que somente será renovável no longo prazo se aspectos globais forem considerados (PEREIRA, 2010, informação pessoal).

2.1.2. Primeira e Segunda Leis da Termodinâmica

A Termodinâmica é uma ciência que estuda a energia, sintetizando o conhecimento sobre as possibilidades de obtenção, conversão e utilização energética, podendo ser orientada por dois princípios fundamentais: a Primeira e a Segunda Lei (TRONCONI *et alli*, 1991).

Em estudos que abordam fluxos de entrada e saída de energia, tais como as análises energéticas, é fundamental que se delimite o sistema com qual se está trabalhando. Segundo Shapiro e Moran (2002), sistema é tudo aquilo que se tem por objetivo estudar. Há dois tipos básicos de sistemas: o sistema fechado [ou simplesmente sistema] e o volume de controle [ou sistema aberto]. O primeiro define-se por conter sempre a mesma quantidade de massa, ao passo em que o segundo é definido quando a massa escoar para dentro ou para fora cruzando a fronteira - (SHAPIRO E MORAN, 2002). Um exemplo de sistema fechado seria uma célula fotovoltaica; já como volume de controle, pode-se citar uma usina hidrelétrica, que é o caso da presente dissertação.

A Primeira Lei da Termodinâmica trata da conservação da energia, corroborando o fato de que esta pode ser convertida de uma forma a outra, mas não é possível criá-la ou destruí-la. Entretanto, se esta lei for tomada de maneira isolada, pode sugerir a idéia equivocada de uma possibilidade ilimitada de uso de recursos energéticos (TRONCONI *et alli*, 1991).

De acordo com Odum (1994 *apud* SINISGALLI, 2005), a energia é uma característica de toda a matéria, podendo ser usada como parâmetro de quantificação; existem diversas formas de energia, porém todas podem ser transformadas em calor, que é medido a partir da variação da atividade molecular de um corpo. Segundo este autor, nesta transformação não há perda, ou seja,

ela ocorre com 100% de eficiência, oferecendo uma forma adequada de medir energia. Entretanto esta é uma afirmação válida especificamente para o contexto da Primeira Lei.

Pela Segunda Lei da Termodinâmica, a energia de um corpo em alta temperatura tem uma capacidade de realizar trabalho que é função da diferença entre a temperatura do corpo e a temperatura ambiente. A temperatura de um corpo diminui quando ele troca energia na forma de calor com outro corpo que está numa temperatura mais baixa. Nessa transferência de energia sempre haverá uma perda da capacidade de produzir trabalho (MORAN E SHAPIRO, 2006),

Em suma, podemos considerar que, como afirma Odum (1996, p.4 e 6), o Primeiro Princípio afirma que a energia que adentra um sistema não é criada nem destruída. Todo o fluxo energético que entra em um sistema é estocado no próprio sistema ou transferido para o exterior. Apesar de a energia ser conservada, no trajeto por uma rede, as formas de energia são muito distintas e as calorias de diferentes tipos de energia não são equivalentes na capacidade de se fazer trabalho. Passando por um ralo, a energia utilizada não mais pode efetuar qualquer trabalho. Novos produtos são feitos com o trabalho da energia disponível, mas estes se constituem de uma nova forma de energia a qual se apresenta em menor quantidade. Quase todos os processos são acompanhados por esta dispersão de energia. Daí tem-se a Segunda Lei da energia, ou o princípio da depreciação universal. Tudo o que se conhece na biosfera possui uma tendência natural a se depreciar e ser disperso (ODUM, 1996, p.4 e 6). Outro modo de se explicar a Segunda Lei é através do *enunciado de Clausius* : “É impossível que para qualquer sistema operar de maneira que o único resultado seria a transferência de energia sob a forma de calor de um corpo mais frio para um corpo mais quente” (SHAPIRO E MORAN, 2002).

2.1.3. Exergia

A oportunidade de realizar trabalho existe sempre que dois sistemas em diferentes estados de equilíbrio são colocados em comunicação. Quando um dos sistemas é adequadamente idealizado é chamado de Ambiente De Referência Para Exergia, ou simplesmente Ambiente e o

outro é algum sistema de interesse. A Exergia é o máximo trabalho teórico que pode ser obtido quando esses sistemas interagem até atingir o equilíbrio (MORAN E SHAPIRO, 2006).

O conceito de exergia tem suas raízes na Termodinâmica Clássica. Em 1873, Gibbs definiu a função da chamada “energia disponível”. Outros autores usaram o termo “energia útil” como a diferença entre a entalpia e o produto de uma dada temperatura e a mudança em entropia. Gouy aplicou em seus trabalhos envolvendo máquinas térmicas, o conceito de trabalho dissipado, ou seja, destruição de exergia. A maturidade da teoria exérgica veio após 1970 devido à estimulante discussão promovida por alguns livros na década anterior e também pela crise de 1973, quando foram concentrando esforços na economia de energia (SCIUBBA E WALL, 2007).

Exergia é o máximo trabalho útil teórico obtido se um sistema S é trazido para o equilíbrio termodinâmico com o ambiente por meio de processos em que tal sistema interage somente com este ambiente. Caso o sistema S esteja no estado 0, sua exergia é igual a zero, pois exergia é um potencial termodinâmico, uma medida geral da diferença, e requer dois diferentes estados pela sua definição. No caso de uma transformação de um estado 1 para um estado 2 em que algum fluxo de calor Q passa por qualquer pequena, porém finita diferença de temperatura para dentro de S, a exergia do estado 2 é menor que a do estado 1, isto é, ela foi destruída no processo (SCIUBBA E WALL, 2007). Assim, segundo Shapiro e Moran (2002) uma análise de exergia é uma análise de disponibilidade, e constitui um método apropriado para maximizar o objetivo de um uso mais eficaz de energia, visto que permite a determinação de rejeitos e perdas em termos de sua localização, tipo e valores reais.

Alguns pesquisadores tentaram aplicar a função exérgica para a modelagem de sistemas ecológicos. O assunto ambiental é conectado ao conceito de sustentabilidade, contudo, a Segunda Lei da Termodinâmica nega a sustentabilidade. Assim esse tipo de aplicação é frequentemente manchado por uma mistura de considerações técnicas e não- técnicas. Joergensen e Mejer propuseram em 1981 o emprego da exergia como um indicador para processos biológicos. Muitas das aplicações biológicas da exergia dependem do princípio do equilíbrio e referem -se a seres vivos, que por definição são sistemas distantes do equilíbrio (SCIUBBA E WALL, 2007). Portanto, quando a questão ambiental é consideravelmente importante para a conclusão de uma análise energética, é fundamental a utilização de outras análises além da exérgica.

2.1.4. Conceitos Emergéticos

Com o passar dos anos, a preocupação com as questões sócio-ambientais se tornam cada vez mais evidentes, principalmente ao se levar em conta que o desenvolvimento real de um país está condicionado pela melhora da qualidade de vida das pessoas, garantindo qualidade também às gerações futuras. É notável a percepção de que o crescimento econômico por si só, pode estar repleto de desigualdades como as disparidades entre rendas de uma mesma população. Atualmente a sustentabilidade é uma busca nos diversos segmentos da sociedade humana, pois se tem a consciência de que todos os bens e serviços aproveitados pelo homem passam pela natureza, isto é, as atividades antrópicas, inclusive a economia, estão atreladas aos aspectos ambientais do Planeta Terra. Neste sentido, Howard T. Odum concebeu uma nova ciência, a Engenharia Ecológica, que se propõe a integrar, através da Teoria Geral de Sistemas, os conhecimentos da Ecologia e da Engenharia a fim de descrever o funcionamento energético de ecossistemas visando prever seu comportamento no decorrer do tempo.

Entretanto, esta nova ciência tem raízes anteriores aos estudos de H. T. Odum. Em 1896, Ludwig Boltzman afirmou que o sucesso das espécies poderia ser avaliado em termos de disponibilidade genética, ou seja, aprendizado do uso de fontes energéticas. Tal conceito foi o primeiro a relacionar a evolução das espécies com os princípios da termodinâmica, e Boltzman teve influência direta sobre Alfred Lotka, o qual foi o alicerce teórico da Ecologia de Sistemas, proposto por H. T. Odum (ODUM, E. P., 1968 *apud* MARTINEZ-ALIER, 1994 *apud* SINISGALLI, 2005).

Segundo Odum (1994 *apud* SINISGALLI, 2005), Wilhem Ostwal postulou que todas as transformações energéticas possíveis estavam associadas à transformação máxima em dado período de tempo. W. Ostwal também foi um autor importante na construção dos conceitos de Engenharia Ecológica, e de acordo com Sinisgalli (2005, p.51) inspirou A. Lotka, a estabelecer princípios que fundamentaram os postulados propostos por H.T. Odum e R. C. Pinkerton (1955). Para A. Lotka, todo o excedente de energia disponível que fosse adequadamente utilizado por

qualquer espécie, em sua reprodução, significaria vantagens adaptativas que tornariam possível a ampliação da sua população (MARTINEZ-ALIER, 1994 *apud* SINISGALLI, 2005).

Os estoques e estruturas que operam o mundo humano e ambiental são sustentados contra a depreciação da Segunda Lei pelos fluxos de entrada de produtividade para substituição e manutenção. Maximizar os serviços e produtos para crescimentos e suporte parece ser um princípio projetado de auto-organização como dado por A. Lotka como o *Maximum Power Principle* ou Princípio da Máxima Potência (ODUM, 1998).

De acordo com H.T. Odum e Pinkerton (1955), o *Maximum Power Principle*, se baseia na observação de sistemas naturais, onde aqueles que persistem são organizados a fim de garantir o retorno da energia para si, aplicando esta, na retroalimentação e, por conseqüência, trazendo mais energia, reforçando o processo (ODUM, 1994 *apud* SINISGALLI, 2005). A auto-organização desenvolve uma rede de transformações energéticas em uma série. Observa-se uma hierarquia de energia, desde que os fluxos sejam convertidos em cada passo para fazer menores fluxos de energia no próximo. Neste percurso a quantidade de energia decresce, mas a energia transformada aumenta sua capacidade de consolidar outras unidades do sistema, isto é, a qualidade da energia aumenta no decorrer do processo. Com a condição de que todos os processos conhecidos sejam capazes de se estar arranjado com cada outro e m rede de série, a hierarquia de energia parece ser uma lei universal. Isso pode ser exemplificado com as cadeias energéticas em organismos, ecossistemas, economia e processos terrestres (ODUM, 1998).

H.T. Odum e Pinkerton, em 1955, descreveram que a sucessão ecológica envolvia mudanças fundamentais nos padrões de fluxo de energia. Segundo eles, quando um ecossistema tende ao clímax, a razão entre produtividade e respiração aproxima-se de 100%, e a relação entre biomassa e produtividade, que pode ser associada com a respiração, cresce. De acordo com estes pesquisadores, tal fato sugere que o ecossistema otimize sua estrutura, tanto mais quanto o fluxo de energia disponível, em contrapartida à idéia de o ecossistema maximizar a eficiência na produção (ODUM, E.P. 1968 *apud* SINISGALLI, 2005, p.52). Tais definições subsidiaram a generalização posterior nas análises dos ecossistemas, visto que mostravam haver um evidente padrão de comportamento dos mesmos, baseado principalmente no fluxo de energia (SINISGALLI, 2005, p.52).

H.T. Odum e E.P. Odum provaram que as regras gerais mais importantes dos ecossistemas poderiam ser deduzidas através das medidas do metabolismo de uma comunidade, sem a necessidade de informações detalhadas sobre todos os componentes de sua população. Foram ainda, os responsáveis pela introdução do diagrama de fluxo de energia, derivado da física e engenharia, o qual se aprimorou ao longo dos anos (ODUM, E.P. 1968 *apud* SINISGALLI, 2005, p.52).

Considerando que muitos joules de energia disponível são requeridos para realizar as sucessivas transformações para formar alguns joules de energia no final do processo, é bastante inválido usar joules de um tipo de energia como o equivalente a joules de outro tipo para fins de avaliar contribuições. Portanto, pode-se expressar cada tipo de energia disponível em unidades de um tipo de energia disponível (ODUM, 1998) como a energia solar, por exemplo.

A análise emergética propõe avaliar os fluxos energéticos de um sistema utilizando-se uma base única.

Segundo Campbell (1996, p.268), Emergia é toda a energia disponível que foi usada no trabalho de confecção de um produto e expressa em unidades de um tipo de energia.

Há um tipo diferente de emergia para cada tipo de energia disponível: emergia solar, por exemplo, está em unidades de *solar emjoules*. Não há emergia na energia degradada, ou seja, energia sem capacidades de produzir trabalho. Como a energia, a emergia é medida em relação a um nível referencial (ODUM, 1998). A luz solar, combustível, eletricidade e serviço humano podem ser colocados em uma base comum, expressando os emjoules de energia solar correspondente a cada um destes itens. Neste caso [bem como no caso do presente estudo], o valor é uma unidade de emergia solar expressa em *solar emjoule* (sej) (ODUM *et alli*, 2000). Portanto, assim como ODUM (1996, p. 8) descreve, emergia solar é a energia solar disponível consumida direta ou indiretamente para fazer um serviço ou produto.

Um sistema energético compõe-se sempre de uma cadeia de conversores que deve satisfazer simultaneamente três requisitos no fornecimento de energia: qualidade, lugar e tempo. “A energia precisa estar disponível na quantidade e qualidade requeridas no tempo e local necessários. Por outro lado o sistema energético está associado a três outros sistemas: Social, Econômico e Ecológico” (PEREIRA, 2004). Para realizar a avaliação emergética é necessária a elaboração de diagramas, isto é, sistemas energéticos contendo símbolos que indicam interações,

ciclos materiais, carregamento de informações, sempre envolvendo alguma energia (ODUM, 1996, p.4). No apêndice da página 113, são dados os símbolos usados nos sistemas energéticos deste trabalho juntamente com seus respectivos significados.

Para que sejam colocados todos os fluxos energéticos de um sistema em uma mesma base, utiliza-se a transformidade, conceito definido por Odum (1996) como a energia (em emjoules) de um tipo de energia disponível requerida de maneira direta ou indireta (através de todos os caminhos requeridos) para transformar um joule de energia de outro tipo; é a taxa de energia por energia disponível. As unidades da transformidade são emjoules por joules. A transformidade solar é a energia solar requerida para fazer um joule de serviço ou produto e suas unidades são sej/J (ODUM, 1996, p.10). Por definição, a transformidade solar da luz solar absorvida pela Terra é 1,0 (ODUM *et alli*, 2000). Quanto mais transformações energéticas contribuem para a elaboração de um produto, maior é sua transformidade, pois a cada transformação a energia disponível é consumida para produzir uma menor quantidade de energia de outro tipo. Logo, a energia aumenta, mas a energia diminui, e assim, a energia por unidade de energia aumenta bruscamente (ODUM, 1996, p.11).

2.2. Estudos envolvendo Análise Energética

2.2.1. A bacia hidrográfica como sistema para Análise Energética

Com já foi brevemente dito no capítulo 1, a presente dissertação realizará Análise Energética de uma usina hidrelétrica e conseqüentemente, o objeto de estudo será delimitado pela bacia hidrelétrica em questão. Romitelli (2000) determinou uma metodologia energética para a realização do planejamento e a gestão de bacias hidrográficas. Tal estudo auxiliou na concepção de uma bacia como a unidade delimitadora do sistema, numa Análise Energética do rio e do projeto como um todo. O gerenciamento de recursos hídricos através de bacias hidrográficas foi incorporado à legislação federal brasileira de 1988. Cada vez mais as bacias hidrográficas têm

sido adotadas como unidades de administração geopolítica, principalmente para a gestão de recursos hídricos (ROMITELLI, 2000).

Nesta dissertação o sistema a ser estudado assemelha-se ao de Romitelli (2000): determinou-se que este seria a área de contribuição da bacia hidrográfica do rio Xingu, a partir da barragem de Belo Monte.

Para Romitelli (2000), uma adequada gestão e manejo dos recursos do sistema de uma bacia hidrográfica depende da compreensão do funcionamento do sistema. Este estudo sugere que o funcionamento das bacias hidrográficas seja avaliado, baseando-se simplesmente na estimativa do trabalho realizado pelas energias da água através da bacia. Foram mapeadas as energias geopotenciais e as químico-potenciais da água das chuvas e rios usadas em determinada área da bacia, permitindo a visualização espacial das intensidades dos processos geofísicos e bióticos ocorrendo na paisagem da bacia (ROMITELLI, 2000). A metodologia proposta por Romitelli (2000) foi aplicada para uma bacia norte-americana do rio Coweeta, localizada nas montanhas Apalaches da Carolina do Norte. A bacia foi caracterizada em termos de área, altitudes, índices pluviométricos, bioma e descrição de afluentes (ROMITELLI, 2000). Quanto ao sistema desta dissertação, composto por parte da bacia do rio Xingu, também se procurou avaliar seu funcionamento através de balanços de massa (inclusive o hídrico) e energéticos.

2.2.2. Estudo de caso: Análise Energética do Rio Mekong

Brown e McClanahan (1996) também realizaram uma análise energética em que um rio era o sistema. O estudo de Brown e McClanahan (1996) assemelha-se a presente dissertação por tratar de um caso de barragem de um rio em um país em desenvolvimento, analisado através de conceitos energéticos. Este estudo aborda questões homem x natureza, política pública e desenvolvimento sustentável, usando Energia para determinar quantitativamente como melhorar o manejo de recursos, populações e economias regionais. Visa-se demonstrar a análise energética e idéias a respeito da construção das barragens no Rio Mekong.

Após breve explicação sobre análise emergética, considerações acerca de taxas de rendimento emergético, energia de países em desenvolvimento exportadores de recursos naturais, características da Tailândia (energéticas, sociais, localização geográfica, clima, meio ambiente) e características do Rio Mekong (descarga, tributários, pesca, potencial hidroelétrico), Brown e McClanahan (1996) explicaram sua metodologia e começaram a desenvolver a pesquisa. Nesta dissertação sobre o rio Xingu também há uma explicação sobre análise emergética na Revisão de Literatura - “Conceitos Emergéticos”. À semelhança do artigo de Brown e McClanahan (1996), no capítulo 2 desta dissertação, foram considerados elementos de caracterização da região a ser estudada, como localização geográfica, características climáticas e ambientais.

A análise prévia utilizou-se da economia da Tailândia, incluindo fluxos monetários e avaliação custo/benefício de cada barragem, comparando uma à outra (BROWN E MCCLANAHAN, 1996). Já a presente dissertação não se utilizará de aspectos econômicos do Brasil ou mesmo da região do Xingu.

No artigo de Brown e McClanahan (1996), a taxa energia/valor monetário mostrou-se próxima à média mundial ($3,46.10^{12}$ sej/\$) mas sua taxa de energia per capita é baixa quando comparada a de países desenvolvidos: $2,98.10^{15}$ sej/ capita. Já o balanço emergético de pagamentos é negativo - a energia da Tailândia em exportações é praticamente o dobro de sua energia em importações- (BROWN E MCCLANAHAN, 1996).

As taxas de rendimento líquido das barragens propostas foram sensíveis à taxa de tratamento de sedimentos. As análises renderam altas taxas de rendimento líquido : 12,3/1 para Lower Pa Mong e 20,3/1 para Upper Chiang Khan, se os sedimentos forem excluídos; contudo, quando são inclusos, essas taxas caem para 1,4/1 e 1,3/1, respectivamente . Caso as duas barragens sejam construídas como uma cascata, a taxa de rendimento líquido foi de 2,5/1, incluindo os sedimentos. Se comparado aos combustíveis fósseis atuais como uma fonte primária de energia para a economia, a taxa de rendimento líquido de eletricidade gerada de duas barragens em cascata expressas como combustíveis fósseis foram 7,4/1. Estes resultados levam à conclusão de que no caso de somente uma das barragens for construída, esta não será competitiva, mas se ambas forem construídas em cascata, formará um sistema competitivo com as plantas de combustível fóssil (BROWN E MCCLANAHAN, 1996).

Caso somente uma das barragens for construída, ela não será competitiva atualmente, mas se ambas forem construídas em cascata, formará um sistema competitivo com as plantas de combustível fóssil (BROWN E MCCLANAHAN, 1996). No caso de Belo Monte, a construção de outras usinas no rio Xingu, mais a montante, tal como propuseram Babaquara, certamente otimizará a geração de eletricidade.

Nos capítulos “Metodologia” e “Resultados e Discussão” esta dissertação, também há a explicação e cálculo de índices energéticos para o CHE Belo Monte.

Por fim, os mesmos autores afirmam que os grandes rendimentos de eletricidade são quase compensados pela perda de sedimentos e a produtividade à jusante que eles suportam.

2.2.3. Avaliações energéticas de sistema de produção de eletricidade

Brown e Ulgiati (2002) realizaram uma pesquisa, em que dados de seis diferentes usinas de energia elétrica da Itália foram avaliados usando contabilidade energética, como uma abordagem complementar para outras metodologias mais utilizadas. Os sistemas de produção incluíram plantas que se utilizam de fontes de energia não renováveis – termoelétricas a gás natural, óleo e carvão – e as que se valem das chamadas fontes de energia renováveis – plantas geotérmicas, hidroelétricas e eólicas - (BROWN E ULGIATI, 2002). Os autores utilizam uma análise energética para verificar as diferenças de eficiência entre as várias formas de geração de eletricidade, incluindo a geração hidrelétrica, concluindo quais plantas seriam mais sustentáveis.

A avaliação das contribuições líquidas à economia que são feitas pelas fontes de energia deveria considerar todos os inputs energéticos incluindo serviços ambientais para os quais há uma capacidade finita. A inclusão de muitas formas diferentes de energia em avaliações de rendimento líquido requer que elas sejam expressas na mesma forma ou em forma equivalente de energia. Assim, elas devem ser combinadas e comparadas em uma base equivalente, como propõe a avaliação energética, gerando equivalência em unidades de energia (BROWN E ULGIATI, 2002).

Neste estudo, observa-se a utilização de índices emergéticos, assunto explicado no capítulo 3 desta dissertação. Índices emergéticos calculados da eficiência termodinâmica indicaram, nos estudos de Brown e Ulgiati (2002), que as usinas de geração eólica e as usinas de geração hidroelétrica têm a mais alta EYR (7,47/1 e 7,65/1, respectivamente), enquanto as plantas termoelétricas a óleo tiveram a menor (4,21/1). Um índice calculado de carga ambiental indicou quantitativamente que a eletricidade gerada por usinas de energia eólica, geotérmica e hídrica tiveram o menor impacto ambiental, enquanto as de combustíveis fósseis tiveram o maior impacto. Por fim, um índice de sustentabilidade baseado em energia indicou que plantas eólicas e de hidroeletricidade apresentaram a maior sustentabilidade – econômica e ecológica – sobre todos os agregados, seguida pela eletricidade geotérmica (BROWN E ULGIATI, 2002). Segundo os autores, deve-se ter ciência de que é improvável que as economias parem de usar estas plantas de conversão térmica para gerar eletricidade num futuro próximo.

Para Brown e Ulgiati (2002), o uso de indicadores de base emergética para monitorar mudanças de desempenho e melhorias tecnológicas em alguns ou em todos os passos dos processos de conversão poderia ser uma ferramenta política adicional. Agregados a outros indicadores de avaliação, eles formariam a base para a avaliação qualitativa e quantitativa de modos de produção de eletricidade, a fim de determinar o uso e investimentos apropriados. Decisões políticas a respeito de uso de energia e investimentos em energia requerem que os tomadores de decisão tenham a capacidade de comparar holisticamente os rendimentos líquidos, impactos ambientais e sustentabilidade. As avaliações de primeira lei da energia oferecem uma ferramenta para avaliar o custo de energia térmica da eletricidade produzida, enquanto as avaliações de segunda lei podem oferecer uma ferramenta apropriada para a otimização do desempenho na escala local da planta. Entretanto, na escala maior de planejar energia, não é suficiente avaliá-la em sua equivalente térmica e comparar os outputs com os inputs para tomadas de decisões a respeito de seu uso e de investimentos. Uma vez que todas as fontes de energia carregam impactos ambientais e requerem serviços ambientais gratuitos, as contribuições do meio ambiente devem ser inclusas. Sem tal inclusão, as decisões sobre energia consideram somente uma porção dos custos reais e não podem comparar realisticamente os benefícios líquidos das fontes, muito menos compará-las na base da sustentabilidade (BROWN E ULGIATI, 2002).

De fato, a presente dissertação considera a análise energética uma ferramenta importante para ser utilizada juntamente com a exergia, a fim de se ter uma avaliação mais completa, incluindo os custos ambientais envolvidos na produção de energia e conseqüentemente, na dinâmica da economia.

2.2.4. Análise Emergética da Hidrelétrica de Tucuruí

Brown (1986) realizou uma avaliação energética da hidrelétrica de Tucuruí no Rio Tocantins, através da análise de energia embutida nos combustíveis, bens e serviços utilizados para construir a barragem, bem como daquela utilizada para operação e manutenção da usina e ainda a energia embutida na produção bruta da floresta, madeira, solos e sedimentos comparada à produção energética do projeto.

Tal como Belo Monte, segundo Brown (1986), a barragem de Tucuruí também é bastante controversa em termos de seus efeitos ambientais, que incluem a grande área inundada, remoção de indígenas e potenciais problemas de qualidade de água.

A taxa de produção líquida para Tucuruí foi favorável em relação a fontes de energia alternativa como o etanol da cana-de-açúcar. Entretanto, quando sua taxa é comparada às produções líquidas de florestas nativas em uma base sustentável, tem-se a sugestão de que a inundação de grandes áreas de floresta pode não representar o melhor uso, e não vai competir no longo prazo (BROWN, 1986).

2.3. Matriz energética brasileira

Os rios, meios bioquímicos da vida estável de cada local, e da vida dos animais migratórios, fazem parte da obsessão da engenharia mundial em construir barragens, aproveitando quedas

d'água existentes ou construindo-as artificialmente a fim de instalar geradores e produzir energia elétrica (SWITKES e SEVÁ, 2005).

Como é possível notar na Figura 2.1, o fato do Brasil ter uma extensa rede de bacias hidrográficas, corresponde ao enorme potencial hidrelétrico do país.

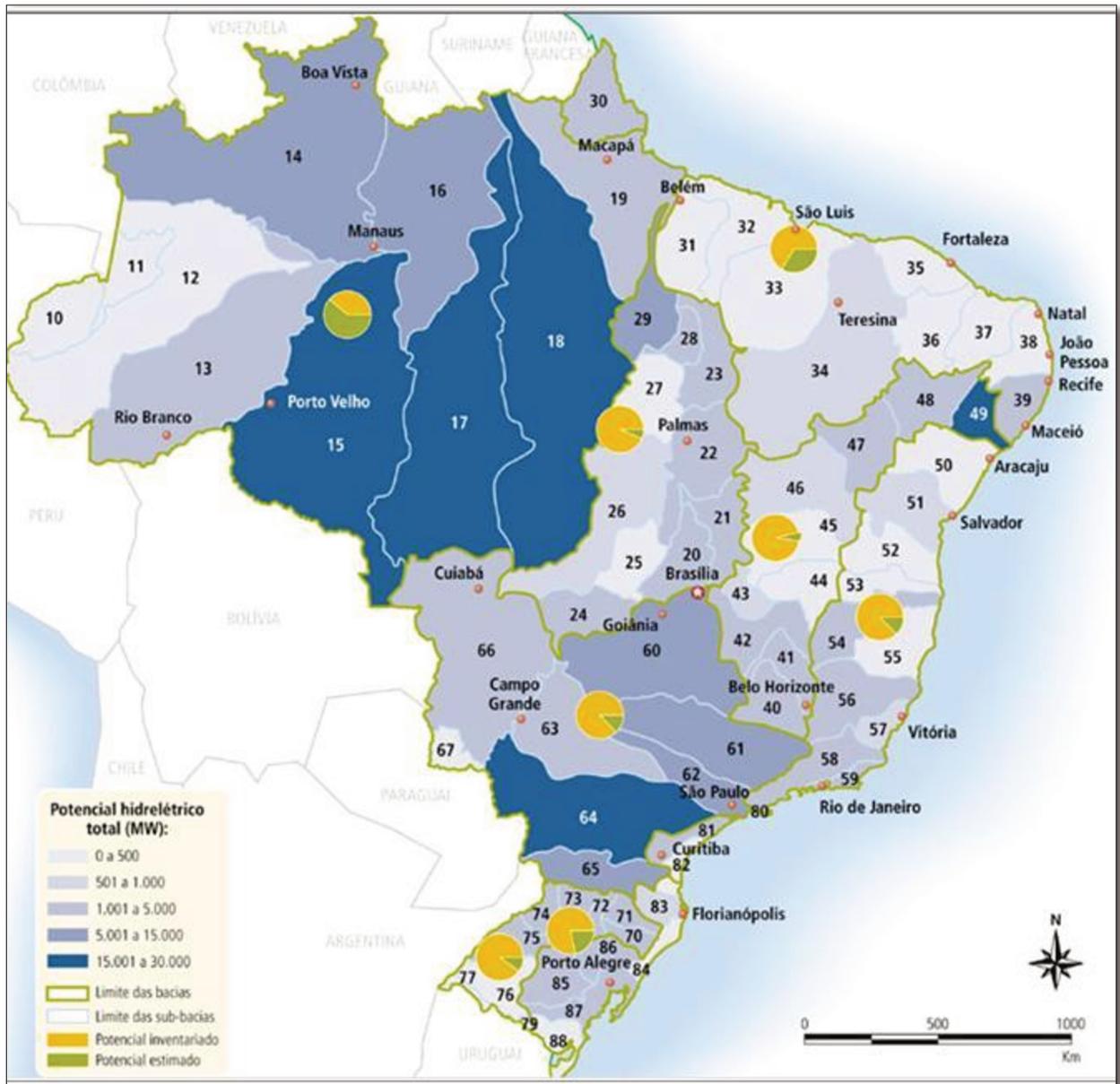


Figura 2.1. Potencial Hidrelétrico brasileiro por sub-bacia hidrográfica – situação em março de 2003.

Fonte: Modificado de CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS - ELETROBRAS. Sistema de informação do potencial hidrelétrico brasileiro - SIPOT. Rio de Janeiro, abr. 2003.

Nota: os números correspondem aos códigos das sub-bacias.

No Brasil, a principal contribuição para a geração de energia elétrica vem de centrais de serviço público, com 89,0% da geração total. Nestas, a energia hidráulica é a principal fonte, que apresentou queda de 1,4% de 2007 para 2008. A energia elétrica proveniente de hidrelétricas corresponde a 70% da geração total brasileira; já as PCH's (pequenas centrais hidrelétricas) contribuem com 3,4% da matriz elétrica do país. A geração elétrica em centrais de serviço público e autoprodutores chegou a 463,1 TWh em 2008, 4,2% a mais em comparação ao ano anterior. O consumo final total teve um aumento de 3,9% enquanto as perdas nos sistemas elétricos aumentaram 8,1% (EPE, 2009).

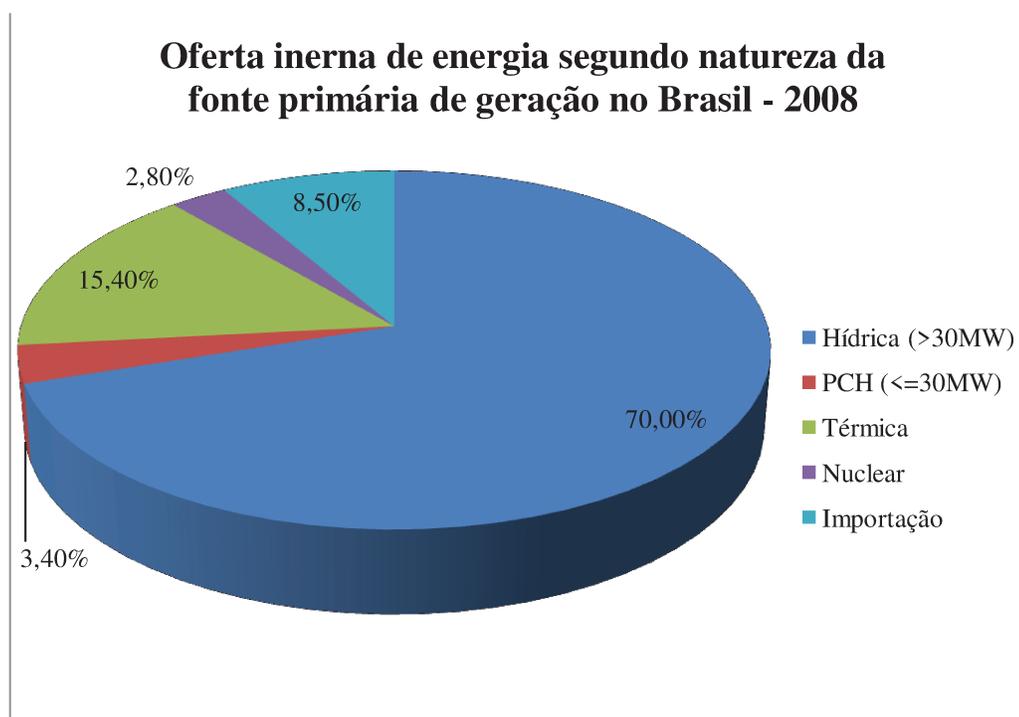


Figura 2.2. Gráfico: Oferta interna de energia segundo natureza da fonte primária de geração no Brasil- 2008

Fonte: Modificado de EPE – 2009.

Com estes números (Figura 2.2.) evidenciando a grande produção de energia elétrica advinda de fontes hídricas, bem como o crescente consumo de eletricidade por parte dos brasileiros, compreende-se o interesse do governo em aumentar a geração através da construção do Complexo Hidrelétrico de Belo Monte, no rio Xingu.

Apesar de a energia hidrelétrica ser gerada a partir de uma fonte renovável, sua geração pode apresentar importantes impactos que devem ser ponderados, verificando-se os reais benefícios e beneficiados.

A formação do reservatório da usina hidrelétrica representa uma alteração das características ecológicas do local, transformando um ambiente lótico¹ em lântico², criando um novo microclima, proporcionando o desenvolvimento de algumas espécies em detrimento das espécies já existentes no local. Já na fase de operação, a disponibilidade hídrica pode ser afetada no trecho original do rio, entre a barragem e a descarga do canal de fuga, sazonalmente. Dependendo do projeto e das exigências legais, pode existir um trecho entre a barragem e a descarga do canal, após as turbinas, que apresentará uma vazão reduzida ou, dependendo do período hidrológico, nenhuma vazão. *“Outro importante impacto ambiental negativo depende da operacionalidade da usina ou mesmo dos usos múltiplos definidos para o reservatório.”* Caso o reservatório seja responsável por acumular um volume de água a fim de, entre outras funções, assegurar a geração de energia ao longo de vários anos, bem como regularizar a vazão a jusante, amortizando a sazonalidade do regime hídrico, toda a bacia, a jusante da barragem, dependerá da sua regra operacional. Assim, a regra operacional da usina pode mudar toda a dinâmica do ecossistema a jusante, e quanto maior a variação sazonal do regime hidrológico e mais próximo das cabeceiras estiver o barramento, tão maior será o impacto sobre a dinâmica do rio e dos ecossistemas associados (SINISGALLI, 2005, p.66, 67).

Além de todas as questões ambientais, as grandes usinas hidrelétricas têm interferência também no social. O barramento de um rio pode atingir populações ribeirinhas que ali viviam, com inundação de cidades inteiras, com perda de seus monumentos histórico-culturais; povos

¹ Lótico: “Das águas correntes” (MICHAELIS, 2010). No caso do texto, “ambiente lótico” refere-se a ambiente de águas correntes.

² Lântico: “Que vive em águas paradas” (MICHAELIS, 2010). No caso do texto, “ambiente lântico”, significa, ambiente de águas paradas.

indígenas também podem ser afetados; essas pessoas precisam ser realocadas, muitas vezes contra sua vontade, porém sem alternativas, podendo até mesmo não ser beneficiadas pela energia gerada ali, caso o foco seja o suprimento de outros locais, indústrias eletrointensivas ou grandes centros urbanos. Maiores informações sobre aspectos sociais e energia encontram-se no Anexo A- “Aspectos sociais da questão energética”.

Portanto, uma análise cuidadosa deve ser feita previamente à implantação de uma nova usina hidrelétrica, com a participação da sociedade, com estudos técnicos criteriosos, principalmente quando se trata de um ecossistema denso, com grande biodiversidade, o que pode incluir espécies e nichos desconhecidos, bem como quando estão envolvidas tantas populações, cuja vida se restringia ao local a ser inundado.

2.4. Impactos ambientais de hidrelétricas

2.4.1. Relação entre energia hidrelétrica e mudanças climáticas globais

Freitas e Soito (2008) realizaram um estudo referente às vulnerabilidades, mitigações e ajustes referentes às questões de energia e recursos hídricos brasileiros frente à realidade das mudanças climáticas globais, questões importantes para a presente dissertação, visto que um relevante custo ambiental inerente à construção de hidrelétricas na região amazônica é o fato de que seus reservatórios são grandes emissores de metano.

Tendo em vista que as mudanças climáticas já são um fato, torna-se necessário associar às mitigações, às ações de adaptação. Este tipo de ação depende de cenários climáticos confiáveis, com expansão da base de conhecimento a respeito do clima, que ainda é bastante tímida (NOBRE, 2008).

Os riscos de mudanças climáticas globais futuras podem alterar os padrões de pressão atmosférica e de ventos, modificando o ciclo hidrológico e, por conseguinte, o regime e a disponibilidade hídrica nas bacias (FREITAS E SOITO, 2008). Como a matriz energética

brasileira é essencialmente hidráulica, pesquisas a respeito das bacias hidrográficas são imperativas para uma geração elétrica eficiente sem grandes prejuízos decorrentes de questões climáticas.

O padrão de distribuição da vulnerabilidade climática pode variar em magnitude e intensidade de acordo com o tempo, a localização geográfica, as condições socioeconômicas e ambientais e a infra-estrutura de cada local. O autor salienta a importância estratégica da adaptação, ou seja, alterações em processos, práticas e infra-estrutura para compensar potenciais danos ou, até mesmo, tirar vantagem de oportunidades associadas às mudanças climáticas (FREITAS E SOITO, 2008).

Os modelos referentes às anomalias de precipitação sobre as bacias hidrográficas são mais incertos no Hemisfério Sul pela observação hidrometeorológica ser menor e mais recente do que no Hemisfério Norte (FREITAS E SOITO, 2008), o que pode causar prejuízos até mesmo com relação às contribuições a relatórios internacionais. A questão climática é global, logo é fundamental que se tenha dados climáticos consistentes de cada região do planeta para que as decisões intergovernamentais sejam tomadas de forma coerente. O caso da presente dissertação é um bom exemplo de decisão política, isto é, decidir entre barrar ou não o rio Xingu, que necessita de muita pesquisa, teórica e de campo, visto que este rio está inserido em um ecossistema bastante complexo, o que inclui as peculiaridades de sua precipitação.

Segundo o relatório do IPCC de 2007, as vazões das Bacias Amazônica e do Tocantins seriam reduzidas -prejudicando novos empreendimentos hidráulicos- e ocorreria o inverso com a Bacia do Paraná – o que favoreceria o parque hidrelétrico ali existente. A máxima produção contínua de eletricidade depende muito da disponibilidade hídrica de médio e longo prazo. A interligação cada vez mais eficaz do sistema de geração de hidroeletricidade reduz os riscos de falta de atendimento da demanda. Entretanto, 55% das hidrelétricas estão sujeitas às mesmas variabilidades, pois se concentram na Bacia do Paraná, havendo assim, a necessidade da melhoria dos modelos de precisão de vazão de médio e longo prazo (FREITAS E SOITO, 2008).

O uso do potencial hidráulico brasileiro é influenciado pela grande diversidade de disponibilidade hídrica nas as regiões, que inclui as questões das secas no Nordeste, a poluição industrial e urbana juntamente com o assoreamento dos rios no Sudeste e a poluição advinda da agropecuária nos corpos hídricos do Sul do Brasil. São identificados problemas pontuais e

regionais relativos à água e a tendência é que a demanda por este recurso aumente em virtude do crescimento demográfico e do desenvolvimento econômico (FREITAS E SOITO, 2008). Verifica-se, neste quadro, a importância do planejamento, da pesquisa e das adaptações: o crescimento urbano, populacional e econômico exige um aumento na oferta de energia. Entretanto, se tal crescimento não for realizado de maneira adequada, considerando-se as questões socioambientais, a disponibilidade hídrica pode ser prejudicada, lesando então a geração de eletricidade.

Segundo os autores, um total de seis usinas hidrelétricas foi construído na Amazônia brasileira, o que corresponde a 6050 MW de potência instalada e uma área alagada de 7600 km². Um caso de grande significância foi o da Usina de Tucuruí, em 1976, que inundou 2800 km² e deslocou 4407 famílias para instalar 4240 MW de potência. A princípio, esse projeto tinha como meta a geração elétrica a fim de favorecer a ocupação e o desenvolvimento da Região Norte, além de viabilizar a navegação. Entretanto, o potencial mineralógico da região incitou para o local indústrias eletrointensivas, as quais começaram a demandar energia de Tucuruí. Hoje, 50% da geração supre a demanda das indústrias e o restante é consumido pelos centros urbanos do Pará e Maranhão. Na época, um dos impactos esperado era a perda da rica biodiversidade do local; contudo sucederam também diversos impactos então inesperados, dentre eles, a ocupação irregular e desordenada da região, o conflito no uso da água, proliferação intensa de mosquitos, a emissão de gases de efeito estufa a partir do lago, o suprimento de energia seletivo (sem atendimento à população atingida) e a oferta de empregos incompatíveis com a mão-de-obra atraída para a região (FREITAS E SOITO, 2008).

O caso de Belo Monte chama atenção pelo fato da emissão de gases de efeito estufa a partir do reservatório não ter sido um efeito esperado. Hoje, sabe-se que a energia proveniente de hidrelétricas não é totalmente limpa, justamente por essas emissões. *“Os reservatórios se tornam verdadeiras fábricas de metano, com o sobe e desce do nível de água no reservatório, alternadamente inundando e submergindo áreas grandes de terra ao redor da margem”*. Rapidamente, na lama exposta, ocorre o crescimento de uma vegetação, ou seja, através da captura do CO₂ atmosférico há crescimento de biomassa, a qual se decompõe sob condições anaeróbicas no fundo do reservatório quando a água sobe novamente. Há, portanto, uma conversão indireta do CO₂ atmosférico em metano, cujo impacto sobre o efeito estufa é muito

maior do que o equivalente referente ao CO₂ que foi retirado da atmosfera quando as plantas cresceram, isto é, 21 vezes mais por tonelada de gás (FEARNSIDE, 2004).

Represas hidrelétricas em áreas de florestas tropicais produzem emissões significativas de gases de efeito estufa: a emissão de Tucuruí no ano de 1990 equivale a $7,0-10,1 \times 10^6$ toneladas de carbono equivalente a CO₂, ou seja, uma quantidade substancialmente maior que a emissão de combustível fóssil da cidade de São Paulo (FEARNSIDE, 2002 a). Tomando-se como base o que já aconteceu com a hidrelétrica de Tucuruí, se todos os aproveitamentos hidrelétricos de grande porte que estão previstos na Amazônia forem concretizados, estima-se que serão emitidos cerca de 2.308,5 milhões de toneladas equivalentes de CO₂ nos primeiros dez anos após o início da operação das usinas, ou 231 milhões de toneladas equivalentes de CO₂ por ano. Assim, é importante refletir sobre como a geração de eletricidade nos rios tropicais pode contribuir para com o aquecimento climático global.

A Bacia Amazônica corresponde a aproximadamente 16% do estoque de água doce superficial do planeta, sendo de grande importância no regime de chuvas e evapotranspiração mundiais. Mudanças regionais e globais têm provocado alterações hidroclimáticas na região. Mudanças de temperatura podem resultar em modificações nos padrões de precipitação regional; o aquecimento anômalo da temperatura da superfície dos oceanos Pacífico e Atlântico deve reduzir as chuvas e, conseqüentemente, as vazões dos rios, tendendo a deixar mais vulnerável a geração hidrelétrica em anos de deficiência hídrica (FREITAS E SOITO, 2008).

O artigo de Freitas e Soito (2008) evidencia a preocupação de se aproveitar da melhor maneira possível as bacias hidrográficas brasileiras e seu potencial hidroelétrico, principalmente no que tange às alterações climáticas globais. São analisados os pontos mais suscetíveis, dos quais se releva a diminuição da disponibilidade hídrica de algumas regiões, devido à seca, grande demanda ou até mesmo à perda de qualidade dos corpos hídricos por poluição e assoreamento. Uma das soluções mais importantes é a citada integração entre bacias hidrográficas. Destacou-se o aumento da vazão dos rios em algumas regiões do país, que deve ser aproveitado com possíveis modificações e manutenções na infra-estrutura de hidrelétricas já existente.

É possível afastar as perspectivas de falta de energia para os próximos anos adotando-se soluções para aumentar a oferta que não a implantação de novos empreendimentos na Amazônia: reduzindo as perdas no sistema elétrico brasileiro; repotenciando as usinas com mais de 20 anos;

gerando energia em sistemas descentralizados através das PCH's e de usinas eólicas; aproveitando biomassa de bagaço de cana ou resíduos do papel e celulose em co-geração. Estas soluções disponibilizariam o equivalente a mais de 33% da capacidade de geração atualmente instalada (BERMANN, 2002). É possível afirmar que uma unidade de energia gerada em usinas hidrelétricas contém menor quantidade de gases de efeito estufa do que uma unidade de energia gerada em usinas termelétricas com combustíveis fósseis e, por este motivo, do ponto de vista de mudança do clima, as usinas hidrelétricas, principalmente as de pequena escala, são bem vindas (PEREIRA, 2002). Assim, apesar dos empreendimentos hidrelétricos não gerarem energia totalmente livre de poluentes, sua implantação ainda é menos nociva comparada às termelétricas a carvão, por exemplo.

No tópico 2.6.11, são exibidos e explicados, gráficos sobre as possíveis emissões de gases de efeito estufa referentes ao Complexo Hidrelétrico de Belo Monte.

2.5. Hidrelétricas na Região Amazônica

Como já mencionado no capítulo 1, o Projeto do Complexo Hidrelétrico de Belo Monte se localiza na bacia do rio Xingu, isto é, em meio à Floresta Amazônica, o que o torna questionável, não somente por sua localização ser uma área de extrema importância ambiental, bem como pelas dimensões do Projeto. O presente tópico pretende corroborar e explicar tal questionamento.

O poderoso volume dos grandes rios da Bacia Amazônica tem sido objeto de desejo dos construtores de represas brasileiros. Atualmente, após a maioria dos rios do Sul do Brasil já haverem sido explorados, dois terços do potencial hidrelétrico do país encontram-se nos rios da Amazônia (SWITKES, 2008, p. 20).

No caso da Amazônia central, região com rica diversidade biológica e baixa densidade populacional, os prejuízos ambientais mais notáveis promovidos pela instalação de hidrelétricas decorrem da formação de reservatórios, com o conseqüente alagamento e morte da floresta, seguida da instalação de condições altamente variáveis para os organismos aquáticos. Diante destas condições, algumas espécies desaparecem, enquanto outras se tornam raras e outras

prosperam localmente. *“Por se tratar de um sistema natural que funciona com perfeito sinergismo, tais variações acabam tendo uma relação direta com toda a bacia hidrográfica, com reflexos sobre as demais comunidades de organismos, a pesca e outras atividades humanas”* (SANTOS, 2008, p. 94).

As primeiras represas da Bacia Amazônica foram Coaracy Nunes, usina de 78 MW, no estado do Amapá e Curuá-Una, de 30 MW, no Pará, que proporcionaram energia para as cidades de Macapá e Santarém, respectivamente. Entretanto, o governo militar brasileiro tinha em mira projetos mais ambiciosos e, no final dos anos 70, iniciou uma série de maiores e polêmicas usinas hidrelétricas, que desencadearam reações tanto no Brasil como no exterior (SWITKES, 2008, p. 20).

A Amazônia brasileira possui hoje quatro barragens hidrelétricas consideradas de grande porte, ou seja, com mais de 10 MW de capacidade instalada: Curuá-Una, Pará (72 km², 40 MW, completado em 1977), Tucuruí, Pará (2.430 km², atualmente 4.000 MW, completado em 1984), Balbina, Amazonas (2.360 km², 250 MW, completado em 1987), e Samuel, Rondônia (540 km², 217 MW, completado em 1988) (FEARNSIDE, 2002 b).

Junk e Mello (1990) elaboraram um trabalho que prevê os principais problemas ecológicos decorrentes de empreendimentos hidrelétricos na região amazônica.

A respeito da perda de solo, Junk e Mello (1990) explicam que devido ao relevo pouco acidentado da região da Amazônia, a maioria das represas cobriria áreas de centenas de quilômetros quadrados com poucos metros de água.

Os autores tratam também da perda de espécies da flora e da fauna, afirmando que a maioria das áreas a serem inundadas possui cobertura de densa floresta tropical, ecossistema mais rico do planeta e cuja maioria das espécies é desconhecida pela ciência. Citando o caso de Tucuruí, os autores dizem que apesar de terem sido feitos extensos inventários botânicos e zoológicos, a área a ser levantada era muito ampla, com flora e fauna extremamente diversificadas, e o número de especialistas e o prazo para cumprimento do estudo era insuficientes para alcançar um nível satisfatório de conhecimento. Perdas de espécies são prováveis, mas não podem ser comprovadas definitivamente devido à falta de informações pormenorizadas (JUNK E MELLO, 1990).

Populações pequenas, restritas a áreas limitadas, podem ser salvas, quando houver habitats adequados e livres à disposição, para onde os animais possam ser transferidos. Contudo, em geral, o represamento procede na transferência ou na migração de animais para áreas já ocupadas, provocando uma superpopulação temporária e um stress para todo o sistema inteiro. Na melhor das hipóteses, isso pode gerar um aumento das populações anteriormente reduzidas por caçadores. Estas populações, entretanto, serão reduzidas rapidamente nos anos seguintes, caso não haja um controle rígido dos caçadores e uma proteção dos habitats naturais ao redor das represas. Na pior hipótese, o fácil acesso para áreas anteriormente inacessíveis e não-colonizadas nas beiras das represas acelerará a exploração indiscriminada de recursos naturais (JUNK E MELLO, 1990).

Plantas e animais aquáticos são adaptados às condições específicas de equilíbrio dinâmico de um rio (entre a sua descarga, velocidade média, carga sedimentar e a morfologia de seu leito). Seu represamento significa uma interrupção de um sistema aberto e de transporte por um sistema mais fechado e de acumulação. Logo, a construção de uma represa resulta um impacto fundamental para a geometria hidráulica de um rio, com fortes modificações hidrológicas, hidroquímicas e hidrobiológicas, que afetam a área do próprio reservatório, bem como a área abaixo da represa e, no caso da biota, até a área acima dela. *“Mudanças no regime hídrico influenciam fortemente a flora e a fauna adaptada a determinadas flutuações do nível e da correnteza”* (JUNK E MELLO, 1990).

De acordo com Junk e Mello (1990) um dos mais alarmantes fenômenos biológicos em represas tropicais é o desenvolvimento em massa de macrófitas aquáticas¹³. Muitos problemas estão relacionados com essa de macrófitas aquáticas, como por exemplo, o aparecimento de doenças (*Schistosomíasis*), a deterioração da qualidade da água pela grande produção e a decomposição de matéria orgânica, o impedimento da pesca e do tráfego, o entupimento de canais de irrigação, a interferência em plantações, o aumento da evapotranspiração, o impedimento de atividades turísticas, entre outros. Algumas das espécies mais daninhas em

³ Macrófita aquática: plantas aquáticas; vegetais que habitam desde brejos até ambientes totalmente submersos (PROBIO, 2010).

represas africanas e asiáticas são endêmicas⁴ na América do Sul tropical, como por exemplo, *Eichhornia crassipes*. O represamento de um rio num reservatório novo normalmente acarreta um aumento considerável do teor de nutrientes devido à lixiviação do solo inundado e à decomposição da vegetação terrestre afogada. Isto pode aumentar a concentração dos nutrientes até um ponto que resulta no crescimento maciço de macrófitas aquáticas, se existirem espécies adequadas presentes (JUNK E MELLO, 1990).

A finalidade da construção de uma represa hidrelétrica é a de aproveitar água de alto desnível em quantidade constante durante o ano todo. Ela nivela as flutuações naturais da descarga do rio e conseqüentemente, as flutuações do nível do rio abaixo da represa são modificadas (JUNK E MELLO, 1990). A redução da correnteza leva à deposição dos sedimentos dentro dos reservatórios. A carga sedimentar relativamente baixa de rios de água clara e rios de água preta garante aos reservatórios hidrelétricos amazônicos uma vida útil de centenas de anos, teoricamente. Todavia, estes tipos de rios são pobres em sedimentos por causa de uma floresta densa e quase contínua, que cobre as bacias hidrográficas e protege os solos contra a força erosiva de cerca de 2 mil mm/ano de chuva. Justamente esta proteção será eliminada em grande escala, devido aos grandes projetos de mineração, industriais e agropecuários a serem implantados em conseqüência da disponibilidade da energia hidrelétrica. Assim, são necessárias medidas rígidas e amplas para um controle da erosão em toda a bacia hidrográfica, a fim de se evitar que a vida útil real das represas reduza-se drasticamente. Caso não haja vegetação protetora nas margens, a erosão lateral dos reservatórios pode acelerar mais o seu aterro. A deposição dos sedimentos dentro dos reservatórios também aumenta a erosão no vale abaixo das represas, até chegar de novo ao equilíbrio determinado pela geometria hidráulica do rio, efeito este que pode até afetar o delta dos rios (JUNK E MELLO, 1990).

Águas paradas nos trópicos quentes normalmente apresentam uma hipoxia⁵ forte ou até anoxia nas camadas profundas, apesar de uma termoclina⁶ pouco pronunciada. Isto ocorre pelo

⁴ Endêmico: "Restrito a uma determinada região ou nela nativo" (MICHAELIS, 2010). No caso do texto "espécies endêmicas" são aquelas nativas e/ou restritas àquela região.

⁵ Hipoxia: "Deficiência de oxigênio no ar inspirado" (MICHAELIS, 2010). No caso do texto, "ar com forte hipoxia" quer dizer ar com grande déficit de oxigênio.

fato de que a solubilidade de oxigênio na água diminui com o aumento da temperatura, enquanto os processos de decomposição que consomem oxigênio se aceleram. Devido às altas taxas de biomassa no bioma amazônico (podendo chegar 600 t/ha), com decomposição da madeira debaixo d'água que pode durar décadas ou até centenas de anos, a demanda bioquímica de oxigênio é muito alta durante e pouco depois do represamento, diminuindo nos anos posteriores com a diminuição do material fácil a decompor-se. Os nutrientes liberados por causa da decomposição e lixiviados do solo inundado são usados pelo fitoplâncton, perifíton e macrófitas aquáticas, que produzem material de fácil decomposição. Enquanto o fitoplâncton e perifíton liberam oxigênio para dentro da água, a maior parte do oxigênio produzido pelas macrófitas aquáticas flutuantes e emergentes é liberada para o ar. Além disso, macrófitas aquáticas flutuantes atenuam as turbulências provocadas pelo vento, reduzindo o intercâmbio de gases entre a água e o ar. Assim, uma forte hipoxia e a formação de gás sulfídrico nas camadas inferiores são freqüentes em represas tropicais. A mortalidade de peixes que ocorre sempre no começo do represamento é consequência da falta de oxigênio para as espécies acostumadas a água corrente e bem oxigenada (JUNK E MELLO, 1990).

Segundo os autores, a má qualidade da água afeta não somente a biota como também as turbinas e as construções, gerando gastos elevados de manutenção. Como exemplo, citam o caso de Curuá-Uma, que após poucos anos de funcionamento, peças das turbinas tinham que ser substituídas por causa da corrosão. O sistema de refrigeração foi bloqueado por causa de um desenvolvimento em massa de bactérias, forçando a parada temporária das turbinas. (JUNK E MELLO, 1990).

Ao fim do estudo, Junk e Mello (1990) frisam que a construção de grandes represas hidrelétricas não resolve o problema energético da Amazônia em geral, mas apenas aquele dos centros urbanos e industriais. Alertam ainda sobre a ameaça das fascinantes possibilidades tecnológicas de grandes projetos industriais e de mineração se sobreporem às necessidades energéticas das áreas rurais. Segundo os autores, o desenvolvimento de tecnologias funcionais, baratas e adequadas para o abastecimento de pequenas comunidades rurais com energia elétrica e sua ampla distribuição é fundamental para o melhoramento da infra-estrutura rural.

⁶ Termoclina: “camada com uma variação rápida na temperatura da água” (PROPRIEDADES DA ÁGUA DO MAR, 2010).

Mais informações sobre hidrelétricas na região amazônica encontram-se no Anexo C – “Aspectos Referentes às Outras Hidrelétricas na Região Amazônica”.

2.6. Caracterização do objeto de estudo

Neste capítulo, a bacia hidrográfica do rio Xingu e o Projeto do Complexo Hidrelétrico de Belo Monte têm diversos de seus atributos descritos, com a principal finalidade de se obter dados para o desenvolvimento da análise energética. Informações adicionais sobre a região da bacia em questão são encontradas no Anexo B: “Aspectos Socioeconômicos da Região da Bacia Hidrográfica do Rio Xingu”.

2.6.1. A bacia hidrográfica do rio Xingu

O Projeto do Complexo Hidrelétrico de Belo Monte abrange a bacia hidrográfica do rio Xingu, como ilustra o esquema a seguir (Figura 2.3).

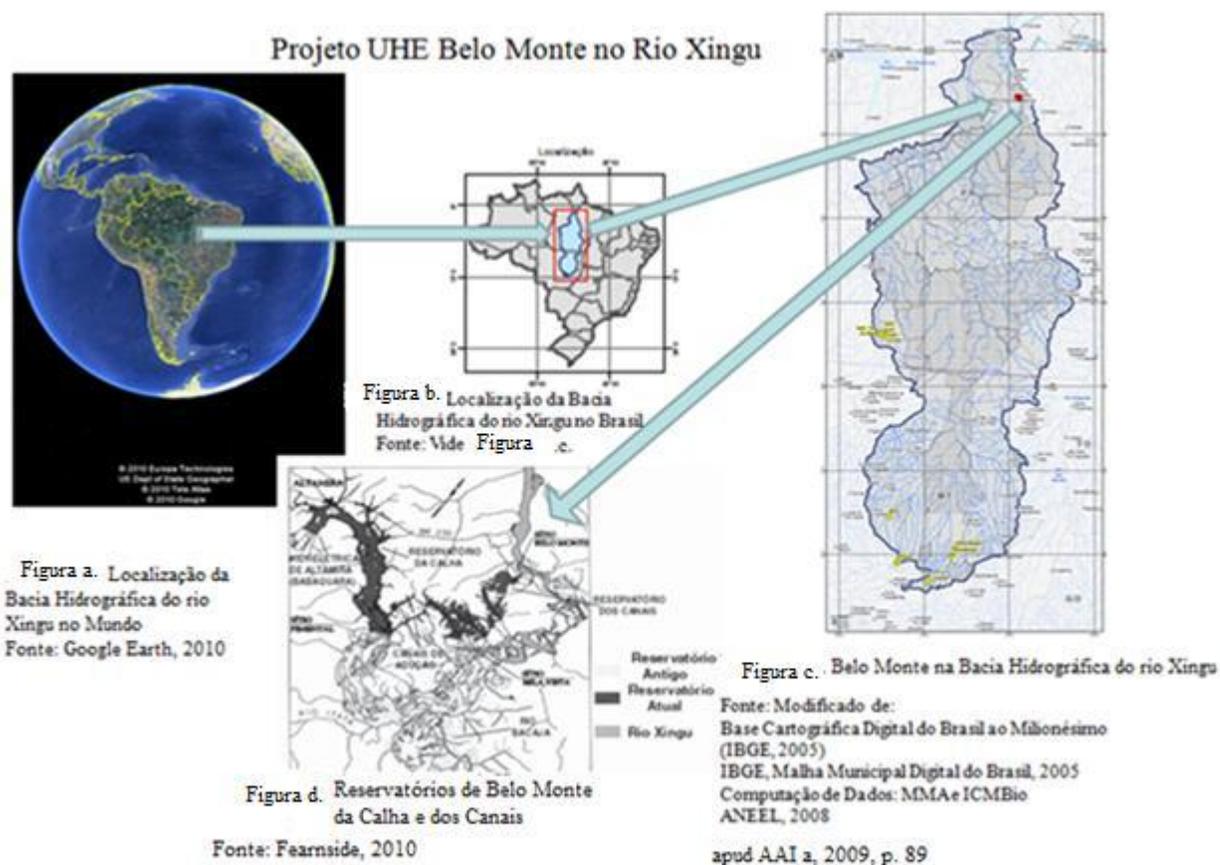


Figura 2.3. Esquema ilustrativo situando o Projeto do Complexo Hidrelétrico de Belo Monte.

A bacia do rio Xingu tem cerca de 509000 km² de área e se desenvolve desde a região Centro-Oeste, até a região Norte do Brasil. Está limitada pela bacia hidrográfica do rio Tapajós a oeste e pela bacia dos rios Araguaia e Tocantins, a leste (AAI a, 2009, p.22). Da área total, 40,8%

pertencem ao Estado do Mato Grosso, e a área restante pertence ao Estado do Pará, que ocupa uma área de aproximadamente 314427 km² correspondente a 25,1% da área do estado (LUCAS, 2007).

“As cabeceiras dos formadores do rio Xingu e seus principais afluentes encontram-se no setor norte do Estado de Mato Grosso, nos terrenos mais elevados situados ao sul dos divisores da Chapada dos Parecis.” (AAI a, 2009, p.22). Nesse trecho, o clima, fortemente estacional, condiciona a vegetação savânica, característica do bioma Cerrado; predominam formações de transição entre as savanas, que caracterizam as áreas das nascentes, e as extensas florestas ombrófilas presentes no médio e no baixo curso. *“Essa situação ecotonal traduz-se pela presença de extensas formações de contato floresta ombrófila/floresta estacional, esta última característica do limite entre os biomas Amazônia e Cerrado.”* (AAI a, 2009, p.22).

O rio Xingu possui extensas e complexas redes de ilhas, pedrais e florestas fluviais situadas entre a zona sedimentar da bacia amazônica ao norte e a zona do planalto central brasileiro, ao sul (SANTOS, G.M. a, 2009, p. 138).

As coordenadas geográficas da bacia do rio Xingu, de acordo com os seus pontos extremos são: ao norte, o rio Amazonas com latitude -01°23'24"N; ao sul, o estado do Mato Grosso com latitude -09°48'05"N; a leste, com longitude 50°19'44"W; e a oeste, com longitude de 55°15'06"W, pertencente a bacia do rio Tapajós (SECTAM, 2009).

O chamado Volta Grande do rio Xingu, é um trecho tão peculiar, que talvez seja único na Amazônia, nestas dimensões. O formato do rio indica isto: o Xingu vem de Mato Grosso, descendo do Planalto Central e seus patamares, num rumo geral para o Norte, para desembocar no rio Amazonas. Ao chegar a Altamira seu rumo encontra-se um pouco inclinado para a direita, no sentido Nordeste, e então o rio dobra quase 90 graus, como se tivesse que se desviar do escudo cristalino do Planalto Central Brasileiro, até encontrar passagens para atravessar esta beirada rochosa, esse degrau mais baixo do extenso planalto brasileiro, onde ele chega o mais perto possível da margem direita do rio Amazonas (SEVÁ, 2005, p.192).

Os desníveis e as distâncias percorridas pela vazão do rio são as seguintes: em Altamira a cota média é 93 metros de altitude; ao virar para o Sudeste e o Sul, o rio começa a descer; aproximadamente 40 km, na ilha Pimental, prevista para o barramento principal da represa da Eletronorte, a cota cai cerca de dez metros, e fica perto dos 83 metros (SEVÁ, 2005, p.193).

2.6.2. Climatologia e hidrologia da Bacia

“O tipo climático da parte norte da bacia apresenta média mensal de temperatura mínima superior a 18°C, tem uma estação seca de pequena duração e amplitude térmica inferior a 5°C entre as médias do mês mais quente e do mês menos quente. A temperatura do ar é sempre elevada, com média térmica anual de 26°C e valores médios para máxima de 31°C e para mínima de 26,5°C. A umidade relativa do ar apresenta valores acima de 80% em quase todos os meses do ano” (SECTAM, 2009).

A pluviosidade se aproxima de 2000 mm a 2500 mm anuais, mas é irregular durante o ano. A estação chuvosa sucede na época de dezembro a junho e a menos chuvosa de julho a novembro (SECTAM, 2009).

A seguir, a Tabela 2.1 apresenta as vazões características do rio Xingu, inclusive com os valores remanescentes para Volta Grande, isto é, resultado da adulteração da Volta Grande, explanada no tópico 2.6.6.

Tabela 2.1: Vazões características do rio Xingu (m³/s)

Vazões características do Rio Xingu (m³/s)					
Mês	Defluente¹	Q pro²	Q seco³	Q med⁴	Q hum⁵
Out	200	1121	715	1125	1325
Nov	250	1891	1378	1959	2209
Dez	325	3766	3643	3590	3915
Jan	500	7790	6867	7353	15641
Fev	1000	12876	7992	15047	16047
Mar	1500	18123	13361	15973	17473
Abr	2000	19942	12416	22744	24744
Mai	1300	15959	11274	16711	18011
Jun	550	7216	5594	6114	6664
Jul	300	2903	2225	2865	3165
Ago	250	1559	1100	1598	1848
Set	225	1068	778	1172	1397

Fonte: Fumeaux, 2005, p.202.

Notas: 1-“Defluente”: vazão remanescente para a “Volta Grande”

2- Q pro: Vazões promédios estatísticos série 1931-2000

3- Q seco: Valores ano seco (Out 98/Set99)

4- Q med: Valores ano médio (Out 96/Set97)

5- Q hum: Valores ano úmido (Out 77/Set78)

2.6.3. Histórico das tentativas de barramento do rio Xingu

Praticamente dois terços do potencial hidrelétrico brasileiro localizam-se na Região Amazônica, especialmente nos rios Tocantins, Araguaia, Xingu e Tapajós. As conseqüências sócio-ambientais da possibilidade de implantação dos empreendimentos hidrelétricos previstos na região, envolvendo questões como as relacionadas com reservatórios em terras indígenas ou a manutenção da biodiversidade, exigem atenção e cuidados que não estão sendo considerados (BERMANN, 2002.)

Há os que consideram o Xingu “um bom potencial” para se construir hidrelétricas. Entretanto uma das características mais importantes deste rio é que seu fluxo de água é exageradamente variável, ao longo dos meses, em intervalos de semanas, e até mesmo, de dias. É um rio que enche rápida e intensamente, proporcionalmente à área em que capta a sua água. Apesar do Xingu não ser o maior afluente do Amazonas, o patamar de seus números indica o dobro da vazão em relação às cheias do rio São Francisco e um patamar bem acima do que as do rio Paraná em Itaipu; seus picos de cheia registram mais de 30 mil m³/s (medido em Altamira/PA). Contudo, ele é um rio que seca rapidamente e pode permanecer cerca de quatro meses bem baixo, conforme os valores das médias mensais baixas, medidas em Altamira/PA: abaixo de 1.000 m³/s (SWITKES E SEVÁ Fº, 2005). Apesar de tal variabilidade, já houve três tentativas de barrar o Xingu, das quais a última, no segundo mandato do Governo Lula, confirmou a construção da Hidrelétrica de Belo Monte.

Em 1980, CNEC- Camargo Correia, após estudo de inventário, apontou que a “melhor” opção de aproveitamento integral da bacia do Xingu seria, dentre outras características, a uma altitude próxima dos 281m, provavelmente abrangendo a Terra Indígena Kapoto-Jarina e/ou na faixa Norte do Parque Indígena do Xingu, fazendo cinco barramentos no Xingu e um no rio Iriri, o que ocasionaria o alagamento de ilhas e terras florestadas, muitas ainda virgens, somando quase 20 mil km². Haveria também profundas conseqüências fundiárias e sócio-econômicas, devido à perda de superfícies de terra, das riquezas das matas e áreas cultivadas, e pela modificação territorial, que exige o retraçar de estradas, caminhos, pontos de embarque e desembarque fluvial.

A proposta inicial de represamento foi causa de uma intensa oposição de povos indígenas, ambientalistas e movimentos sociais, o que incluiu viagens internacionais e audiências com ONGs e Bancos multilaterais, culminando no seu encerramento (SWITKES E SEVÁ Fº, 2005).

Até o ano de 1999, esta empresa intensificou discretamente o projeto, realizando modificações técnicas e geográficas relevantes. Insistia-se que este tinha viabilidade mesmo que fosse um barramento isolado no rio Xingu. Em 2001, com um verão pouco chuvoso, tornou-se evidente que os sistemas Sudeste-Centro-Oeste e Nordeste de eletricidade tinham pouca reserva de água em muitas das maiores represas existentes na bacia do Paraná e do São Francisco.

Devido às insuficiências no sistema de transmissão inter-regional, estabeleceu-se uma crise de oferta de eletricidade, momento em que os barrageiros alegaram que Belo Monte seria a

salvação do país. Em fins de 2000, a Eletronorte firmou contrato com a Fadesp (ligada à UFPA), formando equipes de pesquisadores para elaboração do EIA. *“As condições desse contrato e a tentativa de obter a licença ambiental apenas no âmbito paraense, da Secretaria Estadual de Tecnologia e Meio Ambiente, motivaram a iniciativa em 2001, do Ministério Público Federal em Belém, de peticionar uma Ação Civil Pública, e um dos pontos fortes de questionamento era a obrigatoriedade de consultar os indígenas das Terras Indígenas que fossem afetadas, e obter autorização do Congresso Nacional”* (SWITKES E SEVÁ Fº, 2005). A Eletronorte tentou contornar esta exigência redesenhando o barramento principal. Além disso, restringiu à condição de afetadas pelas obras somente as terras que fossem alagadas. Deste modo, a área da Terra Indígena Paquissamba deixaria de ficar submersa. Decidiu-se judicialmente por embargar o EIA e o processo de licenciamento, em instâncias entre 2001 e 2002 (SWITKES E SEVÁ Fº, 2005).

Em 2003, nos primeiros meses do governo Lula, o senador José Sarney, convencia a cúpula federal da importância e oportunidade do projeto Belo Monte. No início do ano seguinte, provocou a troca de presidente da Eletrobrás, principal acionista da Eletronorte. Desta vez, re conheceu-se que a necessidade da empresa atrair investidores para se associarem ao seu projeto Belo Monte. A solução indicada foi a formação do chamado Consórcio Brasil, incluindo grupos importantes, capazes de alavancar o financiamento no Brasil e no exterior, e então, contratar a compra de alguns pacotes de eletricidade de bom tamanho: as três geradoras estatais, mais as empreiteiras, lideradas pela Camargo Correa, as fabricantes de equipamento pesado como a ABB, a Voith-Siemens, e as indústrias grandes consumidoras de eletricidade, lideradas pelas mineradoras e metalúrgicas Alcoa, CVRD, e a australiana BHPBilliton (SWITKES E SEVÁ Fº, 2005). A disponibilidade de energia elétrica em comunidades isoladas ou muito pobres contribui com o acesso da população rural a melhores condições de saúde, informação (GALINDO, 2008). Considerando este fato, Belo Monte poderia até mesmo ter algum sentido, não fossem os fatos a seguir descritos. Quem vai operá-la certamente não será a Eletronorte sozinha (nem mesmo como principal sócia); quem vai usar a eletricidade dessa obra *“não será „resto do país”, nem o Nordeste à beira da crise, muito menos a malha elétrica Centro Oeste Sudeste, e sim as indústrias eletrointensivas que já comandam esse mesmo espetáculo na Amazônia paraense e maranhense e pelo mundo afora há um século”* (SWITKES E SEVÁ Fº, 2005).

Outra característica importante desta última tentativa de barrar o Xingu é o fato de se afirmar que somente Belo Monte será construída (SWITKES E SEVÁ Fº, 2005). Entretanto não há nenhum mecanismo legal através do qual o governo pode se comprometer a não executar projetos específicos que são identificados como danosos (FEARNSIDE, 2001), o que seria o caso de mais usinas naquele rio. E considerando uma simulação (efetuada com dados reais do passado), somente com as duas usinas hipotéticas funcionando, é que a situação operacional e econômica passaria a ser aceitável (SWITKES E SEVÁ Fº, 2005).

2.6.4. Complexo Hidrelétrico de Belo Monte

A proposta hidrelétrica de Belo Monte é particularmente controversa devido ao fato de que cinco represas planejadas teriam impactos especialmente sérios rio acima de Belo Monte, inclusive a barragem de Altamira [inicialmente denominada Babaquara], de 6140 km², cujos impactos incluem a inundação de terra indígena, destruição de floresta tropical e emissão de gases de efeito estufa. A existência de Belo Monte aumentaria enormemente a atratividade financeira das represas a montante. Os casos das barragens do Xingu mostram a necessidade absoluta de se considerar as interligações entre projetos diferentes de infraestrutura e incluir estas considerações como uma condição prévia para construir ou autorizar quaisquer dos projetos (FEARNSIDE, 2005).

O alto custo ambiental e social de barragens aponta a necessidade do Brasil reavaliar a sua alocação de eletricidade a indústrias de exportação eletrointensivas, tais como o beneficiamento de alumínio. *“O Brasil exporta grandes quantidades de alumínio barato, e altamente subsidiado (especialmente para o Japão)”* (FEARNSIDE, 2005).

Ao se tratar de grandes represas amazônicas, não é necessariamente verdade que, ao deixar de construir uma barragem, uma quantidade equivalente de combustível fóssil seria queimada no seu lugar. Isto porque pouco da energia gerada é usada para propósitos essenciais que seriam de difícil redução, como no consumo residencial e de indústrias que atendem o mercado doméstico e sim, destinada às indústrias eletrointensivas (FEARNSIDE, 2005).

Segundo a ELETRONORTE b (2009) Belo Monte é considerada uma obra estratégica para o setor elétrico brasileiro, porque proporcionará a integração entre bacias hidrográficas com diferentes regimes hidrológicos, resultando em um ganho da energia garantida no Sistema Interligado. A empresa confirma que se trata de um aproveitamento excepcional do ponto de vista da engenharia e custo e que as perspectivas de crescimento do PIB e, portanto, do mercado de energia elétrica sinalizam para a necessidade do aumento da oferta de eletricidade, sendo a construção deste empreendimento altamente competitiva na concepção do planejamento energético. *“O empreendimento hidrelétrico de Belo Monte está contemplado no Programa de Governo „Avança Brasil”, não apenas para equacionar a questão da escassez de energia, mas também como um projeto estruturante do Eixo de Desenvolvimento - Madeira/ Amazonas. Nesta concepção, o empreendimento deve integrar o planejamento regional, proporcionando efeitos multiplicadores de emprego e renda.”* (ELETRONORTE b, 2009).

Segundo Fearnside (2005), antes de se decidir sobre a construção de Belo Monte, o sistema de tomada de decisão sobre barragens hidrelétricas deve passar por uma mudança radical. Segundo o autor, devem ser encaradas as perguntas básicas sobre o que é feito com a energia, assim como também a questão de quanta energia realmente é necessária. Para ele, a expansão de indústrias energointensivas deveria ser desencorajada pelo governo, as quais deveriam ser penalizadas, cobrando-se pelo dano ambiental que o uso intensivo de energia implica. Além disso, o governo brasileiro precisa desenvolver uma base institucional confiável, por meio da qual um compromisso possa ser feito para não se construir nenhuma das barragens planejadas a montante de Belo Monte. *“Esperar a evolução das instituições ambientais para poder lidar com a Belo Monte não implica a perda do seu potencial futuro: se nenhuma barragem for construída no local de Belo Monte nos próximos anos, a opção de se construir uma barragem lá ainda permanecerá aberta.”*

A potência teórica de Belo Monte, com suas 20 máquinas, é de 11 mil MW, mas a energia firme será de apenas 4,7 mil MW, isto é, 40% do máximo que ela será capaz de gerar no pique de inverno. Em quatro meses do “verão” amazônico, o Xingu não terá água suficiente para movimentar as gigantescas engrenagens das turbinas, que precisam do volume de 700 mil litros de água por segundo. Em outros dois meses a produção de energia será mínima. Essa depleção, portanto, afeta profundamente a média, o que faz emergir questões sobre a viabilidade de um

único barramento. A Eletronorte declarou que Belo Monte seria a única hidrelétrica na região e rebatizou seu projeto para “Complexo Hidrelétrico”. Contudo, sugeriu que a adoção desse coletivo se devia a uma modificação na engenharia do empreendimento: haverá motorização também no vertedouro, e também a barragem secundária a ser construída no início da Volta Grande do rio Xingu, 50 quilômetros acima do local onde surgirá a barragem principal, assegurando dessa maneira, o fluxo normal de águas enquanto se constrói, a seco, a casa de máquinas, rio abaixo (PINTO, 2005, p.104).

“Além de conquistar o suspeito título de a maior hidrelétrica a fio d’água já construída pelo homem, Belo Monte pode ficar – inteira ou parcialmente – paralisada durante metade do ano. A vazão do Xingu, que no inverno chega a bater em 30 milhões de litros de água por segundo, no verão fica aquém da demanda das enormes máquinas da usina, de até 600 mil litros cúbicos por segundo. No pique da estiagem, todas as 20 turbinas teriam que ficar paradas por falta de água. Por isso, a energia firme da usina se manteria abaixo do nível de viabilidade” (PINTO, 2005, p.105).

O reservatório é dividido em duas partes independentes: o da calha do rio Xingu e o reservatório dos canais. O primeiro ocupa o curso do rio Xingu acima da barragem principal, localizada em Sítio Pimental. O vertedouro principal tira água desse reservatório, como uma pequena casa de força complementar (181,3 MW de capacidade instalada no plano de 2002, aumentado para 233,1 no plano de 2009) que, em períodos de alta vazão, fará uso de parte da água que não pode ser usada pela casa de força principal. Uma quantidade maior da água será desviada a partir da lateral do reservatório da calha, através de canais de adução, até o reservatório dos canais, ao término do qual se encontram as tomadas d’água para as turbinas na casa de força principal (11.000 MW). O reservatório dos canais também contém pequeno vertedouro para casos de emergência (FEARNSIDE, 2009, p.10).

A Figura 2.4. ilustra o barramento do rio Xingu, seus Sítios e reservatórios.

O Barramento

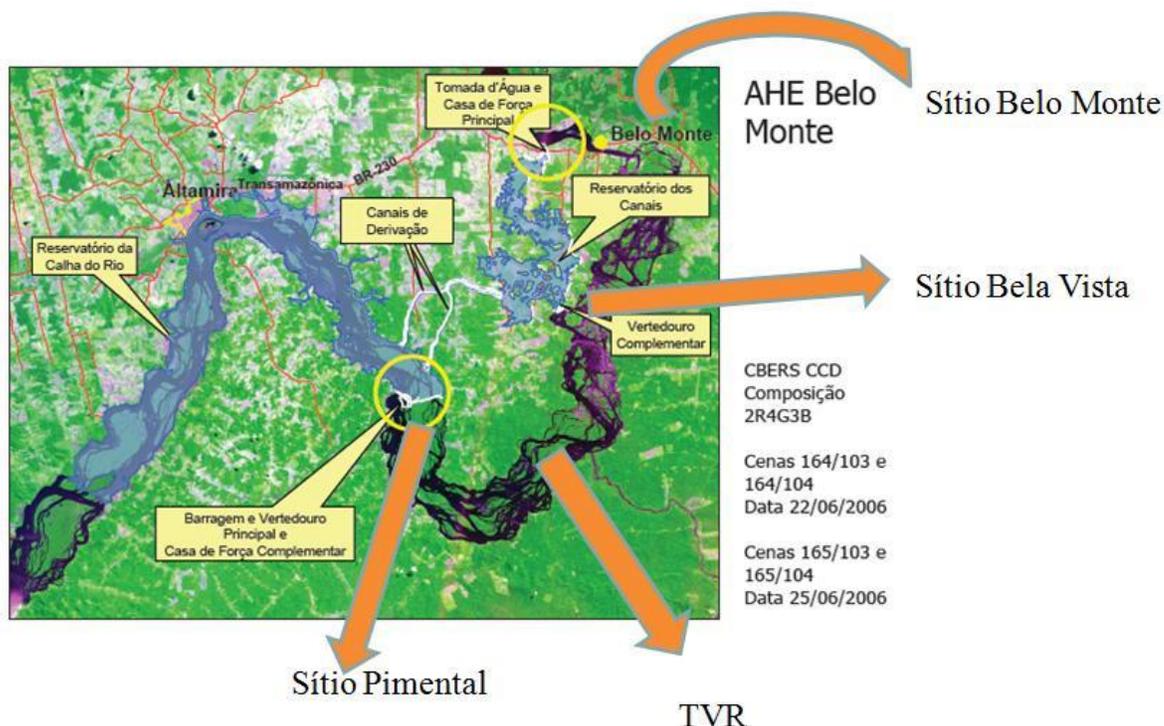


Figura 2.4. O Barramento

Fonte: Modificado de Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica

Segundo o Estudo de Viabilidade de Belo Monte (p.8), o Sítio Pimental possuirá 9 turbinas tipo Bulbo, com potência unitária 25,9 MW, e potência instalada de 233,1 MW; altura: N.A. máximo normal: 97,00 m; queda líquida nominal: 11,5 m. Já o Sítio Belo Monte terá 20 unidades geradoras tipo Francis com eixo vertical e potência unitária de 550MW, potencia instalada: 11000 MW; altura: N.A. máximo normal: 96,00; queda líquida normal: 87,5 m.

Fearnside (2005) realizou um estudo sobre as hidrelétricas no Xingu como fontes de gases do efeito estufa. Nesta pesquisa, o autor compilou alguns dados técnicos importantes do projeto de Belo Monte, os quais são descritos a seguir.

O total do aço utilizado em Belo Monte será de 323333 toneladas (FEARNSIDE, 2005, p. 226). Quanto ao cimento desta obra, calcula-se que será preciso 848666 toneladas (FEARNSIDE, 2005, p.227). As obras de Belo Monte mais as de construção das linhas de transmissão, consumirão 135,1 milhões de quilos de diesel (FEARNSIDE, 2005, p. 228) e 3,15 TWh de eletricidade (uso de eletricidade na construção baseado em 280 kWh de eletricidade por TJ, Dones & Gantner, 1996, *apud* Fearnside, 2005, p.228).

No capítulo 4, encontra-se a Tabela 4.1. , a qual contempla outras características referentes ao projeto de Belo Monte, tal como da Bacia de localização do empreendimento.

2.6.5. Relação Produção de Energia por Área Inundada

Segundo Bermann (2002), Belo Monte tendo um fator de capacidade de pouco mais de 40%, tornaria esta energia muito cara para viabilizar o investimento total requerido. Entretanto, a Eletronorte (2002) afirma que as projeções do Comitê Coordenador do Planejamento da Expansão dos Sistemas Elétricos indicam crescimento de 5% a.a. do mercado de energia elétrica do Sistema Interligado Brasileiro, o que implicaria na ampliação da capacidade instalada em cerca de 4.000 MW ao ano, devendo ser construídos no Brasil novos empreendimentos hidrelétricos e termelétricos.

Foram feitas mudanças importantes na configuração de Belo Monte entre o plano inicial de 1989 e o segundo (de 2002). O reservatório foi reduzido de 1225 para 440 km², colocando o reservatório principal a montante da confluência do rio Bacajá. A principal consequência disto era evitar a inundação de parte da Área Indígena Bacajá, que, de acordo com o Artigo 231, Parágrafo 3 da Constituição Brasileira de 1988, significaria que o projeto requereria uma votação no Congresso Nacional. Caso isto ocorresse levaria a uma demora significativa e, provavelmente a discussão pública dos impactos da represa e as suas implicações se tornaria muito mais ampla, não necessariamente com um resultado favorável para o desenvolvimento hidrelétrico do Xingu (FEARNSIDE, 2005).

Entretanto a área a ser inundada cresceu novamente: segundo o RIMA de Belo Monte (p.16 2009), ela será de 516 km². Ainda de acordo com este Relatório (p.23), a potência instalada será de 11.233,1 MW. Segundo a ANEEL (2009), 134 km² da área alagada corresponderá ao Reservatório dos Canais e o restante – 382 km² – será do Reservatório da Calha do Rio Xingu. Assim, a razão do potencial de geração instalado pela área total a ser inundada será aproximadamente 21,8 MW/km². Contudo deve-se destacar que este seria o valor, considerando a geração otimizada pelas condições sazonais, isto é, durante três meses do ano.

2.6.6. Adulteração da Volta Grande

A idéia para aproveitar o desnível de quase 90 metros de altura do rio Xingu entre o início da Volta Grande e o seu final sem “encurtar a Volta”, desde o primeiro projeto Kararaô, no final dos anos 1980. Isto poderia causar uma série de impactos como o alagamento de igarapés, remanejamento de ribeirinhos, além das conseqüentes reduções de vazões, as chamadas “vazões ecológicas”, as quais são menores do que as vazões históricas (SEVÁ, 2005, p. 192-195). Entretanto, essa baixa das vazões podem não contribuir para com o fluxo ambiental.

“Um fluxo ambiental, independente da metodologia utilizada na sua determinação constitui um regime destinado a manter um fluxo mínimo para garantir as condições ambientais originais com seus benefícios sociais e econômicos” (FUMEAUX, 2005, p.202). Assim, é necessário considerar todos os aspectos que conformam um rio e sua bacia de drenagem, não apenas hidráulicos, hidrológicos, econômicos, ambientais e bióticos em forma isolada ou com relações parciais entre alguns dos aspectos mencionados (FUMEAUX, 2005, p. 199).

No caso do projeto de barrar o Xingu, é altamente arriscada a implementação de hidrograma defluente devido principalmente aos escassos valores assinados como mínimos e a incerteza a respeito da forma de administração de vazões maiores que os mínimos estabelecidos. Estes aspectos estão longe de cumprir os requisitos para a determinação de fluxo ambiental, e a própria sobrevivência do ecossistema original ficaria em perigo. Isso poderia trazer respostas hidrológicas, tanto para as águas na superfície quanto nos aquíferos na zona perto da beira do rio,

sendo que diminuiria a vazão de recarga do aquífero aos ambientes e a biota em geral; e sociais, sendo que vai reduzir ou impedir o aproveitamento do trecho como recurso de pesca, navegação, e demais para a população da zona afetada (FUMEAUX, 2005, p.202).

Segundo o RIMA do Aproveitamento Hidrelétrico (AHE) de Belo Monte (2009), quando da entrada em operação do projeto, o trecho de vazão reduzida (TVR) deverá ter garantia de que: na seca, haja valores mínimos de vazão que permitam ao menos, um mínimo de inundação das planícies e Florestas Aluviais. Além de ser necessário manter o ritmo de subida e descida das águas, entre esses valores mínimos, procurando-se repetir o ciclo das águas do rio no TVR, o que é importante para garantir a continuidade dos ambientes naturais e dos animais associados a esses ambientes. O EIA avaliou que o ecossistema do TVR poderá suportar, na cheia, períodos de até um ano com vazões que não cheguem a alagar as planícies aluviais, mas que sempre garantam a inundação de boa parte dos pedrais. Contudo, na seca, a vazão nesse trecho do rio Xingu, em qualquer ano, deverá ser de, no mínimo $700 \text{ m}^3/\text{s}$ para assegurar a navegação (RIMA AHE BELO MONTE, 2009, p.132 e 133).

No TVR, o AHE Belo Monte deve ser operado de maneira que: de acordo com o hidrograma proposto, as vazões mínimas entre 700 e $800 \text{ m}^3/\text{s}$ ocorrerão de setembro a novembro; na cheia, seja liberada todos os anos, no mínimo uma vazão de $4000 \text{ m}^3/\text{s}$; se em um ano, no período de cheia, não passar no TVR, ao menos uma vazão média mensal de $8000 \text{ m}^3/\text{s}$, obrigatoriamente no ano seguinte, essa vazão média mensal de $8000 \text{ m}^3/\text{s}$ deverá se assegurada. Assim, espera-se que as espécies que dependem da inundação das planícies aluviais resistam a uma menor vazão em um ano mais seco e consigam se recuperar no ano seguinte, com um maior volume de água (RIMA AHE BELO MONTE, 2009, p.132 e 133).

As vazões propostas estão longe daquelas do padrão natural e fogem de suas irregularidades imprevistas. As condições artificiais impostas ao TVR serão muito diferentes das condições naturais e não serão suficientes para manter as mesmas comunidades de peixes a í existentes. A razão disso é que as árvores que ficarão fora do nível da água, na cota máxima estipulada, de $4000 \text{ m}^3/\text{s}$, sofrerão déficit hídrico, devido à retração do nível freático e assim, tenderão a desaparecer em curto e médio prazo. Além disso, as árvores r, mais próximas do leito também serão impactadas, já que os padrões de vazão, do nível do rio e da hidrodinâmica serão alterados. Por conseguinte, tais alterações se refletirão sobre as comunidades de organismos que

dependem destas plantas, especialmente daqueles que vivem aderidos às seus troncos, galhos e raízes (SANTOS, GM, a, 2009, p.139 e 140).

O valor máximo previsto para as vazões no TRV não chega a um terço do valor máximo da cheia natural do rio Xingu, ou seja, o TVR jamais disporá das condições naturais antes existentes e sob as quais a fauna e a flora se desenvolveram (SANTOS, GM, a, 2009, p. 140).

Entre esses valores mínimos de vazão na cheia e na seca, deverão ser liberadas pelo menos em cada mês as vazões apresentadas na Tabela a seguir (2.2) (RIMA do AHE BELO MONTE, 2009, p.133 e 134) e na Figura 2.9:

Tabela 2.2. Vazões indicadas a serem liberadas pelo menos em cada mês

Vazões indicadas a serem liberadas pelo menos em cada mês

Meses	Vazões mensais mínimas em um ano mais seco (m ³ /s)	Vazões mensais mínimas obrigatórias no ano seguinte (m ³ /s)
Jan	1100	1100
Fev	1600	1600
Mar	2500	4000
Abr	4000	8000
Mai	1800	4000
Jun	1200	2000
Jul	1000	1200
Ago	900	900
Set	750	750
Out	700	700
Nov	800	800
Dez	900	900

Fonte: RIMA AHE Belo Monte, p. 134

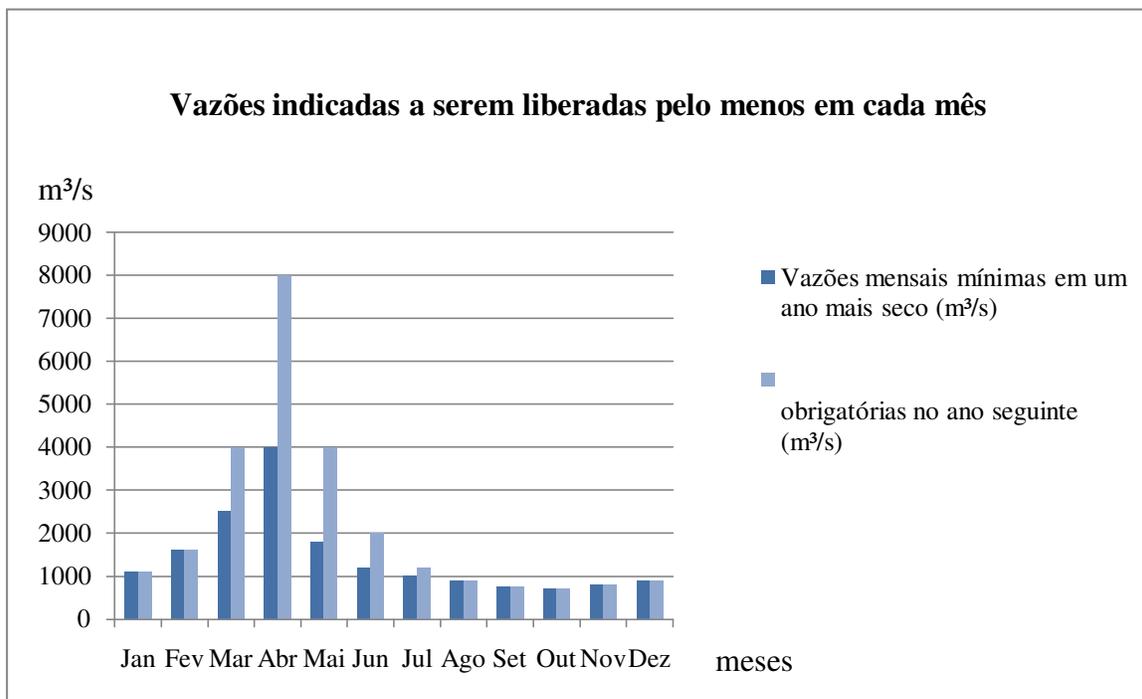


Figura 2.5. Gráfico: Vazões indicadas a serem liberadas pelo menos em cada mês

2.6.7. Vegetação envolvida na área do reservatório de Belo Monte

Considerando 440 km² da área do reservatório de Belo Monte (valor da área de acordo com um dos antigos projetos; o valor atual é de 516km²) há um total de 420 km² de vegetação de biomassa morta (liteira⁷ e madeira morta), cipós e tapete de raízes e 122,86 t/ha de peso seco (biomassa acima do solo). O reservatório total é de 1006 t/ha de peso seco. O total de vegetação não inundada é de 51,9 t/ha de peso seco. Quanto ao total de vegetação inundada, 43,6 t/ha de peso seco (FEARNSSIDE, 2005, p. 221).

⁷ Liteira: “camada de detritos orgânicos, principalmente de origem vegetal, produzidos pela própria floresta, como folhas, galhos, gravetos, flores, sementes, cascas e outros tecidos em decomposição junto ao solo.” (LUIZÃO, 2010).

Da área total dos reservatórios, 42% correspondem ao próprio rio e 24% são florestas. No Reservatório do Xingu, as áreas de Terra Firme e de Florestas Aluviais (sendo esta a maior parte) somam 19% do total. Quanto ao Reservatório dos Canais, as áreas de mata ocupam 38% da área do futuro reservatório e são, em sua maioria, de Floresta e Terra Firme. A floresta que será mais atingida será a Aluvial⁸, hoje, em melhor estado de conservação que a de Terra Firme⁹ (RIMA AHE BELO MONTE, 2009, p.108 e 109).

2.6.8. Modificação da paisagem

A movimentação de terra durante as obras e a construção das estruturas principais do Aproveitamento, causará mudanças na paisagem, A construção das estruturas principais nos sítios Pimental e Belo Monte demandará o uso de áreas de empréstimo, pedreira e jazidas de areia. “*As escavações nos igarapés Galhoso e Di Maria vão gerar uma grande quantidade de material que deverá ser colocado em bota-fora, muitas vezes, nas áreas próximas aos canais.*” (RIMA AHE BELO MONTE, p.97 e 98). As mudanças paisagísticas resultantes das obras no Sítio Pimental afetarão negativamente a população indígena, por envolver alterações em locais de referência sócio-cultural para os índios. Para impactos negativos de alterações na paisagem, o EIA propõe o Programa de Recuperação de Áreas Degradadas, procurando recuperar a paisagem ou torná-la mais próxima possível do que era antes. Entretanto, em alguns locais a mudança paisagística será definitiva (RIMA AHE BELO MONTE, p.97 e 98).

⁸ Floresta Aluvial: Floresta em terrenos aluviais, isto é, terrenos com depósito sedimentar, formado em geral por materiais grosseiros, transportados por águas correntes.

⁹ Floresta de Terra Firme: floresta tropical que não são inundadas por rios, encontrada em solos secos e bem drenados (MONGABY, 2010).

2.6.9. Pedologia e sedimentologia

“O rio Xingu e seus afluentes cortam rochas do embasamento cristalino, rochas sedimentares paleozóicas, mesozóicas e cenozóicas, que constituem unidades de diferentes idades. Condicionados pelos diferentes tipos de rochas e relevos ocorrem na Bacia do rio Xingu: Latossolos Amarelos, Latossolos Vermelho-Amarelo, Argissolos Vermelho-Amarelo, Argissolos Vermelhos, Neossolos Litólicos e Afloramentos Rochosos, Neossolos Quartzoarênicos, Plintossolo Pétrico e Gleissolos” (AAI a, 2009, p.33).

De acordo com o RIMA do Projeto do Complexo Hidrelétrico de Belo Monte (2009, p. 27), em uma obra deste porte a quantidade de terra e rocha que precisa ser escavada sem utilização direta nas barragens, diques e estruturas de concreto é muito grande.

Todo o material sobressalente da escavação deve ser colocado na forma de aterros definitivos, chamados de bota-fora. (RIMA AHE BELO MONTE, 2009, p.27). Estes serão grandes o bastante para que neles sejam colocados cerca de 150 milhões de metros cúbicos de terra e 60 milhões de metros cúbicos de rocha. Ficarão em áreas escolhidas antecipadamente, seguindo critérios técnicos e ambientais, de preferência próximos aos locais de escavação para baixar o custo com o transporte. *“Os maiores volumes deverão ser colocados em locais próximos aos Canais de Derivação.”* (RIMA AHE BELO MONTE, 2009, p. 27).

Quanto às características sedimentares, dependem da composição da rocha que sofre a erosão, do agente de transporte, da duração do transporte e das condições físicas da bacia de sedimentação (RIMA AHE BELO MONTE, 2009, p.196).

A sazonalidade climática da região faz com que se tenha um período de maior atividade morfogenética durante a época chuvosa, quando a remoção de detritos e a carga de material em suspensão é mais significativa; e um período de menor atividade, associado à seca quanto à erosão e ao transporte fluvial (AAI a, 2009, p.46).

Apesar de se verificar sazonalidade na atividade morfogenética da área, esta é condicionada pela alta pluviosidade, variando de 2050 a 2380 mm por ano, e que favorece a ocorrência de processos erosivos associados ao escoamento das águas pluviais e fluviais nos relevos mais suaves da Depressão Amazônia Meridional, do Planalto Marginal do Amazonas e da Depressão

do Amazonas, e a ocorrência de movimentos de massa nos relevos mais ondulados e íngremes do Planalto Residual do Amazonas (AAI a, 2009, p.46).

“Com base nos dados de Altamira e Belo Horizonte e aplicando-se o Método Simplificado de Colby, foi estimada a descarga sólida total nos dois postos. Feito isto, foi definida a relação entre a descarga sólida e a descarga líquida, aplicando-se as equações obtidas às respectivas séries de vazões médias mensais. A taxa média anual de descarga sólida total obtida nos dois postos indica, para a bacia hidrográfica do rio Xingu, um valor entorno de 12,4 t/km².ano, compatível com valores esperados para a região, segundo consta da publicação “Hidrossedimentologia Prática” de Newton de Oliveira Carvalho, 2^o edição revisada e ampliada, 2008. As regiões com produção de sedimentos entre 5 e 70 t/km².ano são consideradas áreas de baixa produção de sedimentos, mostrando assim que por ora não existe a preocupação com o transporte sólido na bacia do rio Xingu.” (AAI a, 2009, p.102 e 103).

A respeito do aporte e transporte de sedimentos numa bacia, os efeitos dos aproveitamentos são proporcionais à erodibilidade dos solos e à produção de sedimentos, associadas às respectivas áreas de drenagem, aos volumes dos seus reservatórios – os quais podem reter os sedimentos produzidos nas áreas de drenagem controladas pelos aproveitamentos – e à distância entre eles ao longo do rio. *“Conforme medições de transporte de sedimentos realizadas em Altamira, um pouco a montante do futuro barramento do AHE Belo Monte, verifica-se que a concentração de sedimentos no rio Xingu é bastante baixa, quando comparada a outros rios amazônicos” (AAI b, p.159).*

Quanto aos nutrientes, de acordo com a AAI a (2009, p.99 e 101), a carga total de nitrogênio na bacia hidrográfica do Xingu é de 93.428,7 t/ano, enquanto a carga de fósforo é de 6.095,41 t/ano.

2.6.10. Acerca da fauna da bacia hidrográfica do rio Xingu

O EIA-RIMA do Projeto do CHE de Belo Monte foi entregue em 2009 e a partir dele foi realizado um estudo crítico por um Painel de Especialistas (SANTOS E HERNANDEZ, 2009). Neste são levantadas questões como a coleta e classificação assistemáticas de espécies, com

riscos para a preservação e o conhecimento da biodiversidade local e a ausência e falhas nos dados. A grande ausência de informações consistentes no RIMA, bem como a falta de dados precisos descritos em literatura, limitou a presente pesquisa, no que diz respeito à caracterização e qualificação de impactos à fauna na bacia do rio Xingu.

O rio Xingu é um dos afluentes do sistema amazônico com maior diversidade de peixes e de ambientes aquáticos. Apesar de ser um rio relativamente bem estudado, em relação a outros rios amazônicos, seus peixes são pouco conhecidos do ponto de vista biológico, ecológico e sistemático. Nele ocorrem várias espécies endêmicas, destacando-se entre elas o acari-zebra (*Hypancistrus zebra*), os tucunarés (*Cichla melaniae*, e *C. mirianae*,) e o pacu-capivara (*Ossubtus xinguensis*). O Xingu também se caracteriza pela intensa atividade pesqueira, sob três modalidades: a pesca comercial, a pesca de subsistência e a de peixes ornamentais (SANTOS, G.M. a, p. 138, 2009).

A construção dos canais de derivação provavelmente provocará um contínuo e marcante processo de erosão nas encostas dos igarapés sobre os quais foram construídos e nos trechos dos lagos ali formados. Supõe-se que a ação deste sedimento seja bem nociva, devido ao assoreamento dos canais e à sua suspensão no meio da correnteza, levando ao aumento da turbidez e diminuição de taxas de oxigênio. Com isso, é provável que ocorra mortalidade de peixes e outros animais que ali permanecerem (SANTOS, G.M., a, p.140, 2009).

Santos (G.M. a 2009, p.140 e 141) baseou-se nos grupos da litófilo, pelágico¹⁰ e bentônico¹¹ para realizar a análise sobre a ictiofauna relativa ao Projeto de Belo Monte.

O grupo litófilo “*é formado por peixes com distribuição restrita ou fortemente preferencial aos pedrais, em áreas de corredeiras*” (SANTOS, G.M. a, 2009, p. 140).

No reservatório principal é bastante provável que as espécies reofílicas¹² presentes neste trecho sejam extintas pelo represamento: com a diminuição de velocidade da correnteza, o aumento do volume da água e também da sua duração no sistema, deve ocorrer uma redução das

¹⁰ Pelágico: Que se refere ao pélogo, ou seja, às águas profundas. No caso do texto refere-se ao grupo de peixes que habita o pélogo.

¹¹ Bentônico: “Habitante do fundo” (RUPERT E BARNES, 1996).

¹² Reofílico: “Peixes reofílicos são aqueles que necessitam do ambiente lótico para completarem o seu ciclo de vida.” (BIODIVERSITAS, 2010).

percentagens de oxigênio e uma desestruturação dos ambientes do fundo, onde os peixes normalmente vivem. A produção de algas perifíticas¹³ e litofíticas¹⁴ também será prejudicada pela redução de luz no fundo, o que pode comprometer a produção de biomassa, fonte primária e secundária da alimentação da maioria dos peixes que vivem neste local. Os peixes com hábitos reprodutivos atrelados às variações do nível ou da dinâmica das águas típicas de corredeiras serão prejudicados, havendo colapso das populações locais em curto e médio prazo (SANTOS, G.M., a, 2009, p. 140).

Nos canais de derivação, eventuais áreas de corredeiras e com pedrais serão fortemente impactadas e os animais nelas residentes serão eliminados em decorrência das escavações e das alterações ambientais. O novo ambiente de grande profundidade, volume e força da correnteza não deverá ser propício à estruturação de comunidades de peixes. Logo, as perdas provavelmente serão irreversíveis (SANTOS, G.M. a, 2009, p. 140).

Na área de vazão reduzida, a consequência mais imediata é a redução da área física disponível às comunidades de peixes, bem como a queda na oferta de alimentos por parte da vegetação que ficará fora do alcance das águas e, por conseguinte, uma provável desestabilização na estrutura das comunidades, levando à perda de nichos ecológicos e aumento dos níveis de predação (SANTOS, G.M. a, 2009, p. 140).

O grupo pelágico divide-se em dois subgrupos: um formado por espécies migradoras, isto é, que empreendem longos deslocamentos entre os vários trechos do rio; outro, formado por espécies sedentárias, isto é, que empreendem apenas movimentos laterais (SANTOS, G.M. a, 2009, p. 142).

Quanto aos peixes migradores, tanto os que se movimentam na direção de jusante para montante da barragem (em busca de sítios para desova), com aqueles que se movimentam no sentido inverso (em busca de sítios para alimentação) serão afetados. O impacto decorre tanto da ação da barragem, pelo impedimento de subida, como do canal lateral e do reservatório, devido às condições totalmente distintas em relação ao canal natural do rio (SANTOS, G.M. a, 2009, p.

¹³ Perifítica: Que pertence ao perifíton, ou seja, à “uma complexa comunidade de microrganismos (algas, bactérias, fungos e animais), detritos orgânicos e inorgânicos aderidos a substratos inorgânicos ou orgânicos vivos ou mortos (WETZEL, 1983a *apud* CARLOS, 2010).

¹⁴ Litofítico: O mesmo que litófilo, ou seja, que cresce ou vive entre as rochas (MOURÃO, 2003).

142). Pode ocorrer um aumento da produção pesqueira à custa e em decorrência da redução da biodiversidade ictiofaunística no local (SANTOS, G.M. a, 2009, p. 143).

As espécies sedentárias, também serão diretamente afetadas pelo represamento, sobretudo no TVR, pela redução do volume d'água neste trecho. Tais condicionantes deverão provocar alterações na estrutura das comunidades, nos nichos de alimentação, reprodução, proteção e abrigo para muitas espécies (SANTOS, G.M. a, 2009, p. 143).

O grupo bentônico abrange os peixes que vivem normalmente no fundo e formados por dois subgrupos: os que vivem associados a rochas, geralmente sedentários ou territorialistas, como certos aracus, jacundás e cascudos, e os peixes que migram pelo fundo, como determinados bagres e bacus (SANTOS, G.M. a, 2009, p. 143).

“Os impactos do represamento do rio devem recair sobre todos esses peixes, quer eles vivam na área da represa (efeito da extinção de biótopos¹⁵ locais), do reservatório principal (efeito do decréscimo da luminosidade e das taxas de oxigênio) ou do trecho à jusante da barragem (efeito da diminuição da vazão, em épocas do ano e do maior poder erosivo das águas que saem pelas turbinas.”
(SANTOS, G.M.,a, 2009, p. 143).

Segundo Cunha *et alli* (2009, p. 149), o conhecimento incipiente com respeito à composição taxonômica¹⁶ e a riqueza de espécies de igarapés compromete a avaliação dos impactos nos canais de derivação e demais regiões afetadas pelo empreendimento.

A vazão reduzida causará a mortandade de milhões de peixes ao longo dos 100 km ou mais da Volta Grande e não há medida que mitigue ou compense tal impacto. Do ponto de vista da ictiofauna, o empreendimento é inviável, visto que destruirá uma grande extensão de ambientes de corredeiras tanto no TVR como na área do lago (CUNHA *et alli*, 2009, p.150).

O impacto de extinção de espécies causada pela hidrelétrica fere o compromisso do Governo do Estado do Pará com a sociedade, estabelecido pelo Programa Extinção Zero, o qual apresenta a Lista de Espécies Ameaçadas do Estado do Pará. Nesta, encontram-se o acari-zebra

¹⁵ Biótopo: “Região que apresenta uniformidade de ambiente e de populações animais e vegetais, das quais é o habitat.” (MICHAELIS, 2010). No caso do texto, “biótopos locais”, referem-se às configurações ambientais que representava os habitats locais das referidas espécies.

¹⁶ Taxionômico: “Pertencente ou relativo à Taxonomia” (MICHAELIS, 2010). No caso do texto, “composição taxonômica” refere-se a quais clados de seres vivos compõem a região do empreendimento.

(*Hypancistrus zebra*) e pacu-capivara (*Ossubutus xinguense*), ambos na categoria vulnerável, espécies de peixes que devem ser protegidas por lei em seu habitat natural, e são registradas apenas na área da Volta Grande no rio Xingu e em nenhum outro local do planeta (CUNHA *et alli*, 2009, p.150). Neste caso há extinção global de espécies locais.

“*Considera-se que foi coletado pouco matéria e/ou ambientes que apresentam maior diversidade de espécies foram pouco exploradas*” (CUNHA *et alli*, 2009, p.156).

A partir do momento que houver redução da vazão, se desencadeará uma mortandade de milhões de peixes. Isto deve ocorrer em grande extensão (na ordem de mais de uma centena de quilômetros) ao longo da Volta Grande (no TVR) cujo acesso já é problemático com o volume de água natural. [Contudo] “*não há um programa de aproveitamento científico da ictiofauna do rio Xingu, bem como não há um programa de conservação das espécies endêmicas/raras/ameaçadas de extinção.*” (CUNHA *et alli*, 2009, p. 158)

Como estão assinaladas no próprio EIA-RIMA, a ariranha (*Pteronura brasiliensis*) e a lontra (*Lontra longicaudis*) são animais que ocorrem em toda a extensão do rio Xingu, já o boto-tucuxi (*Sotalia fluviatilis*), o boto vermelho (*Inia geoffrensis*) e o peixe-boi (*Trichechus inunguis*) são muito abundantes no curso inferior do rio, à jusante de Belo Monte. Tais animais mantêm fortes interações com os seres humanos, tanto na alimentação desses, como é o caso do peixe-boi, como na competição pelos recursos pesqueiros, caso dos botos (SANTOS, G.M. b, 2009, p.161).

Praias e sarobais, ambientes utilizados pela maioria dos quelônios para a desova no verão serão definitivamente submersos em toda a extensão do reservatório. Com a eliminação desses locais restarão às fêmeas deslocar da área, à procura de outros locais apropriados ou desovar nas margens do futuro reservatório. Daí aponta-se graves problemas: as fêmeas que se deslocam, enfrentam os perigos da predação ou não chegada a tempo de desova; outro problema ocorre com as fêmeas que ao desovarem em terrenos das margens, com morfologia e granulometria distintas (além de geralmente mais duros e cobertos de vegetação) pode estar inviabilizando o sucesso da eclosão dos filhotes. Além de nestes novos sítios, situados à margem do rio e eventualmente mais rasos que aqueles das praias, pode ocorrer com alta frequência o ataque de predadores de ovos, como o lagarto ou teiú (*Tupinambis nigropunctatus*), urubus (*Coragyps atratus* e *Cathartes aura*) e carcarás (*Polyborus plancus*) (SANTOS, G.M. b, 2009, p.162).

Com a redução da vazão na Volta Grande do Xingu, espera-se que os animais fiquem confinados permanentemente na calha do rio, nos mesmos ambientes que utilizam durante o verão. Ainda deverá ocorrer maior pressão de captura desses animais durante o ano todo e não somente na época de verão (SANTOS, G.M. b, 2009, p.162).

O ciclo natural de enchente e vazante é importante para que haja a inundação de igapós¹⁷, praias e barrancos além dos diversos outros ambientes em que ocorre a desova dos quelônios aquáticos. Este ciclo impede que a vegetação se desenvolva e cubra totalmente o substrato durante a vazante e seca. Com manutenção de descargas baixas tais locais ficarão permanentemente emersos, com desenvolvimento de vegetação e conseqüente sombreamento do substrato e de eventuais ninhos de quelônios além de facilitar a ação de predadores de ovos, como do *T. nigropunctatus*. Haverá aumento de mortalidade de ovos e filhotes pela ação mecânica de raízes de gramíneas; as mudanças nas características térmicas do substrato levarão à alteração da razão sexual dos filhotes (SANTOS, G.M. b, 2009, p.163).

Na área à jusante haverá a retenção de sedimento e comprometimento da dinâmica das praias, tabuleiros¹⁸ e ilhas. Os ovos são chocados pelo sedimento, sendo sensíveis às menores mudanças térmicas. A cor e o tamanho dos grãos interferem na temperatura acarretando possíveis influências no sucesso de eclosão e na determinação do sexo do embrião (SANTOS, G.M. b, 2009, p.163 e 164).

O projeto levaria à quebra da barreira geográfica representada pela Volta Grande, que isola em duas ecorregiões os ambientes aquáticos da bacia do rio Xingu. Tal quebra acarretaria na introdução de um número imprevisível de espécies fora de sua área de distribuição sem um estudo de impacto ambiental específico. A Volta Grande separa duas áreas, em que mesmo

¹⁷ Igapó: “Terreno que na maior parte do ano tem sua área alagada pelas águas de um rio. Ocorre principalmente na Amazônia, onde parte da floresta fica com água parada durante algum tempo” (DICIONÁRIO AMBIENTAL BÁSICO: INICIAÇÃO À LINGUAGEM AMBIENTAL, 2005, p.33).

¹⁸ Tabuleiro: Planície coberta de areia. Planalto de pouca elevação. Terreno pedregoso, onde a vegetação é quase rara. Ninho de tartarugas. Banco de areia que se forma em meio da corrente e que aparece na vazante.” (MICHAELIS, 2010).

espécies com grande capacidade natural não conseguiram atravessar, e mesmo no caso de espécies encontradas tanto acima quanto abaixo da barreira, observaram-se indícios de isolamento entre as populações, o que indica que as travessias são infreqüentes. A ocorrência de duas espécies de boto e o peixe-boi somente se dá abaixo da Volta. O isolamento representado pela mesma é de muita importância para a manutenção da diversidade da bacia e suas características ecológicas atuais (EIA AHE BELO MONTE, 2009, Vol.20 *apud* MEDEIROS, 2009, p. 167 e 168).

O projeto do EIA prevê um sistema de transposição de peixes experimental, visando permitir a subida dos mesmos até o reservatório. Entretanto esse sistema tem potencial de mediar invasões biológicas de peixes que hoje não são encontrados acima da Volta Grande, bem como de outros organismos transportados pelos peixes. Há também a previsão de um sistema de eclusas para subida de embarcações, tendo como consequência o transporte de animais, plantas e microorganismos da área à jusante para montante do reservatório. A introdução de espécies alóctones¹⁹ em ambientes aquáticos continentais causa impactos à biodiversidade além de prejuízos socioeconômicos expressivos, como foi o caso do molusco *Limnoperna fortunei*, que tornou necessária a interrupção periódica da produção de energia da hidrelétrica de Itaipu para trabalhos de limpeza (MEDEIROS, 2009, p.168 e 169).

Segundo o EIA ao menos três cavidades naturais seriam inundadas, mas seus dados não permitem a identificação de espécies endêmicas e ameaçadas. As cavernas abrigam comunidades biológicas isoladas, incluindo muitas vezes espécies que só ocorrem em uma ou poucas delas (MEDEIROS, 2009, p. 172), logo, o empreendimento também sugere riscos às espécies espeleológicas²⁰.

¹⁹ Alóctone: "Que não é originário do país que habita" (MICHAELIS, 2010). No caso do texto, "espécies alóctones" são aquelas introduzidas em um ambiente o qual não era de sua origem.

²⁰ Espeleológico: "Relativo ou pertencente à espeleologia" (MICHAELIS, 2010), ou seja, ao estudo de cavernas. No caso do texto, "espécies espeleológicas" são aquelas cujo habitat são cavernas.

Durante a construção do projeto é possível que a água à jusante da área tida como diretamente impactada, fique barrenta durante alguns anos, prejudicando ecossistemas aquáticos à jusante (MEDEIROS, 2009, p.174).

2.6.11. O CHE de Belo Monte e as emissões de gases de efeito estufa

Como foi anteriormente explicado, um dos problemas da construção de reservatórios para geração hidrelétricas é a emissão de gases do efeito estufa.

Fearnside (2005) realizou cálculos das emissões de Belo Monte e Babaquara, os quais serão utilizados para o desenvolvimento deste trabalho.

Segundo o autor, o cálculo das emissões de gases de efeito estufa exige um cenário realista para o cronograma do enchimento e da instalação das turbinas em Belo Monte e Babaquara, bem como para as políticas de manejo de água nas duas represas. Ele presume que Babaquara se encherá sete anos após Belo Monte. As figuras seguintes apresentam os gráficos referentes aos cálculos de emissões deste artigo de Fearnside (2005).

Belo Monte-Reservatório da Calha: Carbono decomposto anaerobicamente

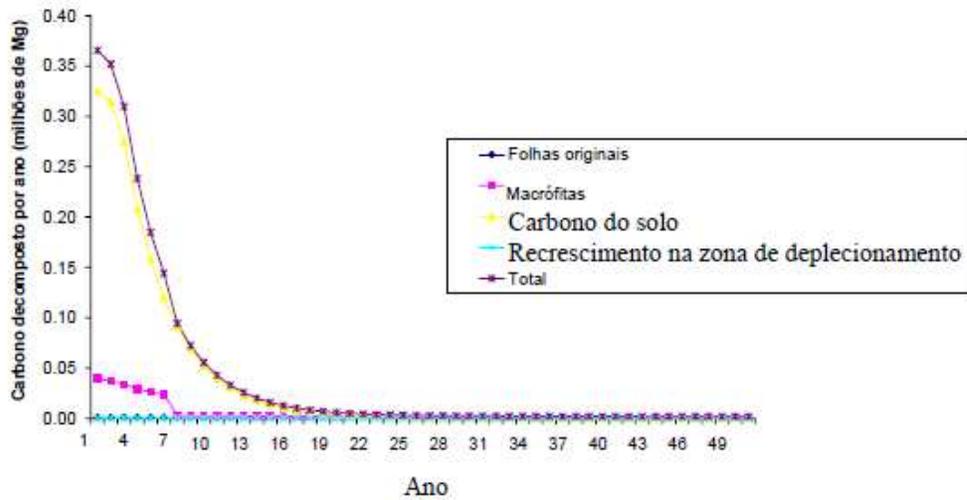


Figura 2.6. Gráfico: Carbono decomposto anaerobicamente no reservatório da calha

Fonte: Fearnside, 2005.

Belo Monte Reservatório dos Canais: Carbono decomposto anaerobicamente

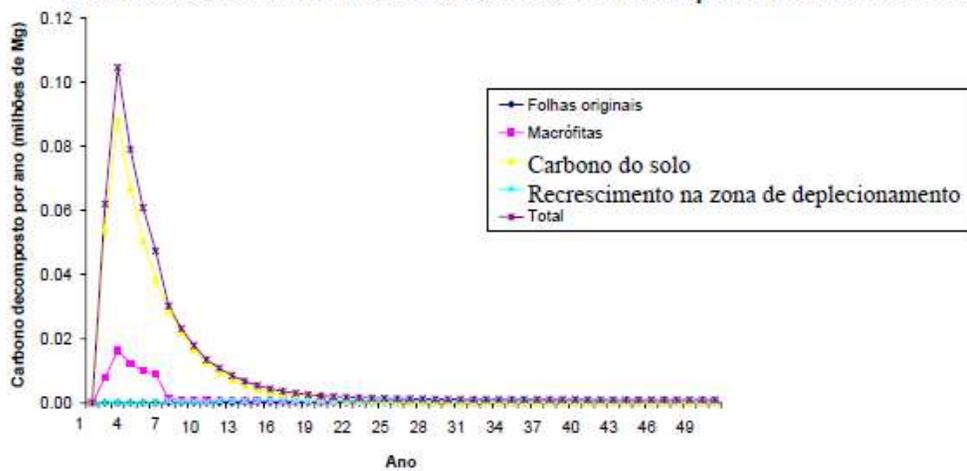


Figura 2.7. Gráfico: Carbono decomposto anaerobicamente no reservatório dos canais

Fonte: Fearnside, 2005.

Estes gráficos (Figuras 2.6 e 2.7) são resultados de um cálculo de 50 anos das fontes de carbono em formas facilmente degradadas para cada reservatório, sendo todas as fontes são muito mais altas nos primeiros anos, em relação aos anos posteriores: os estoques de carbono instável do solo, biomassa de madeira acima d'água e árvores mortas ao longo das margens se reduzem, e conseqüentemente, reduzem as emissões destas fontes; as macrófitas, entretanto, apesar de reduzirem, não desaparecem, provendo, portanto, uma fonte em longo prazo que, nos anos posteriores, é de maior importância relativa, porém menor em termos absolutos; “o recrescimento da vegetação na zona de deplecionamento representa uma fonte estável a longo prazo de carbono de fácil degradação que aumenta em importância relativa à medida que as outras fontes declinem.” (FEARNSIDE, 2005).

Já os gráficos das figuras 2.8 e 2.9, apresentam as concentrações de metano calculadas a uma profundidade padronizada de 30 m. Tais concentrações seguem uma tendência geral de oscilação sazonal e declínio assintótico. Picos altos são mantidos devido ao fato de que o carbono vem da inundação de vegetação de deplecionamento quando a água sobe. Os picos altos de concentração resultam em emissões significativas, pois estes períodos referem -se a períodos de fluxo alto de turbina para maximizar produção de energia (FEARNSIDE, 2005).

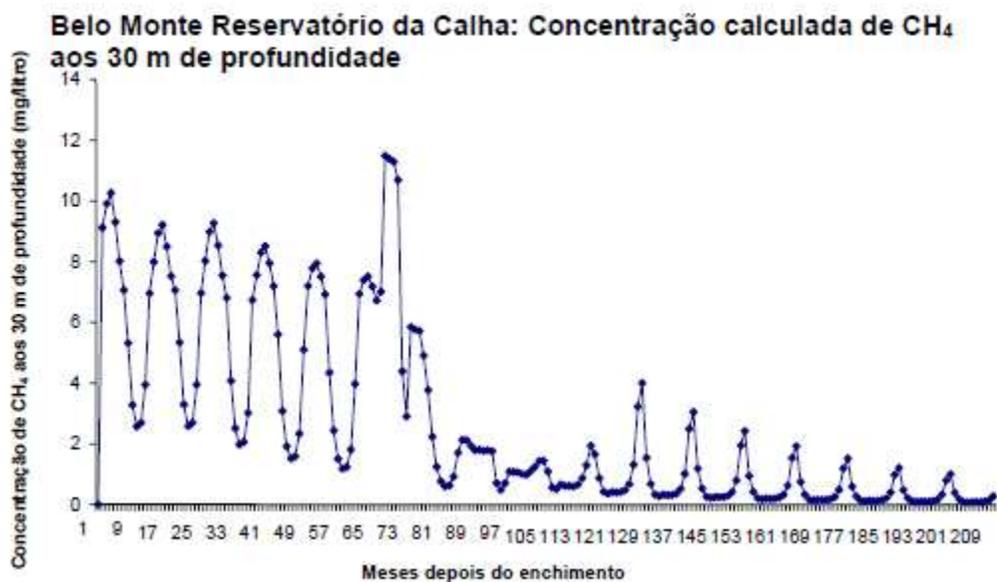


Figura 2.8. Gráfico: Metano calculado a 30 m profundidade no reservatório da calha

Fonte: Fearnside, 2005.

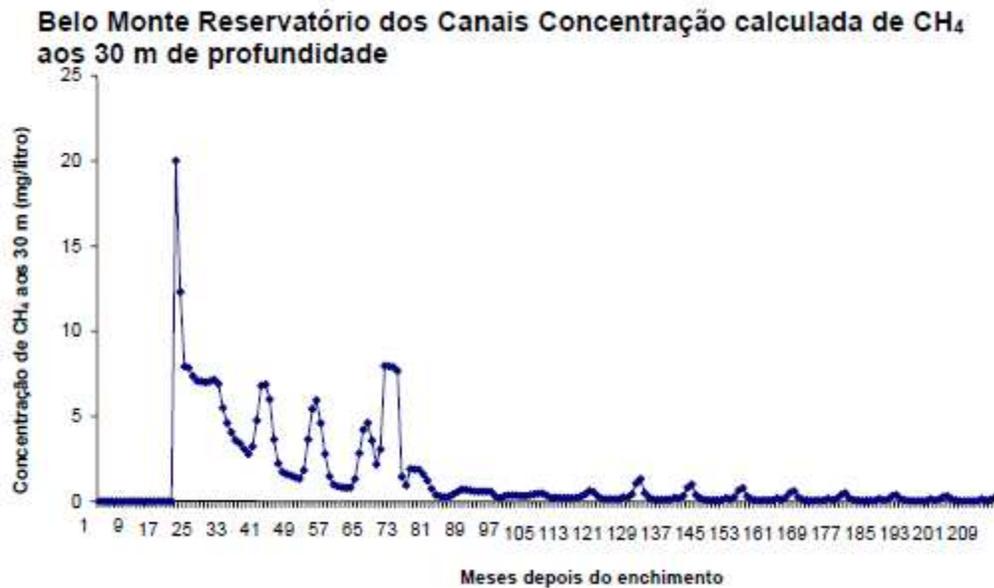


Figura 2.9. Gráfico: Metano calculado a 30 m de profundidade no reservatório dos canais

Fonte: Fearnside, 2005.

No gráfico abaixo (Figura 2.10), são exibidas as emissões por vários caminhos para o complexo Belo Monte/Babaquara como um todo. Biomassa acima d'água e mortalidade de árvores na margem decrescem até níveis insignificantes ao longo de 50 anos, porém há grande magnitude das emissões de biomassa acima d'água nos primeiros 50 anos (FEARNSIDE, 2005).

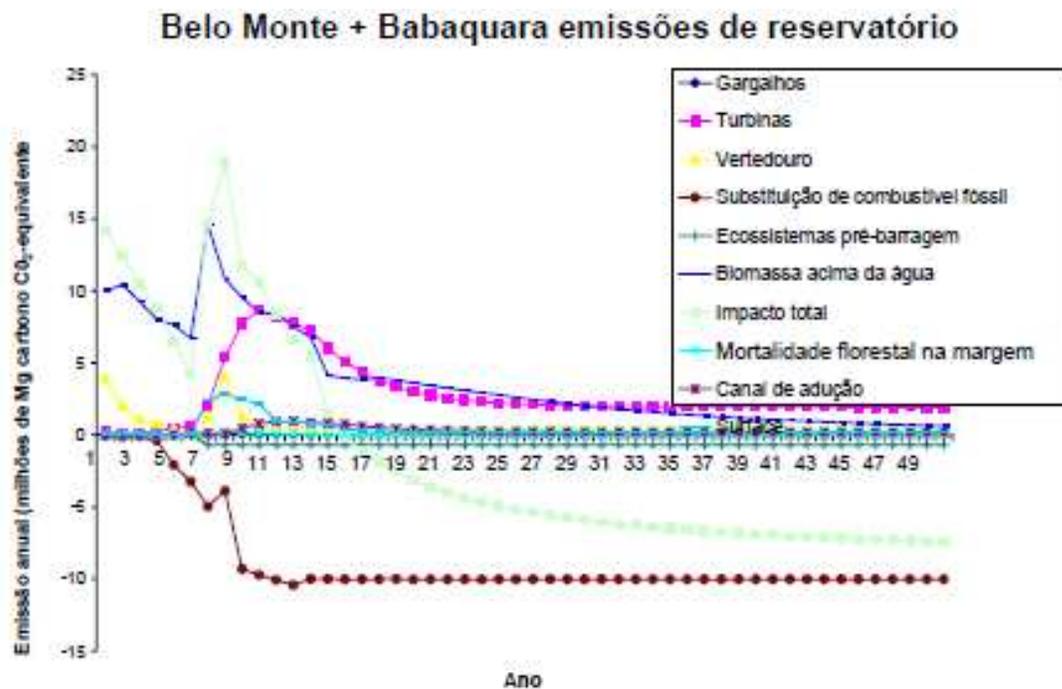


Figura 2.10. Gráfico: Emissões por caminho para o complexo Belo Monte/Babaquara. O complexo começa a reembolsar sua dívida de emissões após o 15º ano após o enchimento do primeiro reservatório.

Fonte: Fearnside, 2005.

2.6.12. O detalhamento das características do objeto de estudo

No tópico anterior (2.6.11. Caracterização do objeto de estudo) as características ambientais da bacia hidrográfica do Rio Xingu, bem como os detalhes do Projeto do CHE de Belo Monte e suas possíveis conseqüências foram bastante explorados. Entretanto, tal revisão não será totalmente aproveitada na efetuação dos cálculos de Análise Energética e Emergética deste trabalho, devido à dificuldade de encontrar dados precisos e confiáveis sobre a bacia e o empreendimento; além disto, o foco principal desta dissertação é propor um método de se realizar uma Análise Energética e Emergética de uma UHE a ser construída em uma bacia hidrográfica

inserida num ecossistema tão complexo e importante quanto a Floresta Amazônica. Logo, a idéia principal é a de que a demonstração de tal método subsidie pesquisas futuras.

Contudo, optou-se por incluir detalhamento da caracterização, pois como o CHE Belo Monte é um projeto em constante discussão, trabalhos futuros poderão se valer da revisão de literatura aqui realizada.

3 METODOLOGIA

Inicialmente, foi determinada a área do maior sistema a ser estudado, delimitando-se a área de contribuição da bacia no eixo da barragem de Belo Monte.

Posteriormente foi realizado o balanço de massa do mesmo, envolvendo balanço hídrico, balanço de materiais, balanço de nutrientes e balanço de solo e sedimentos.

Em seguida as entradas e saídas do sistema foram analisadas de acordo com a Primeira e a Segunda Leis da Termodinâmica, utilizando-se da exergia, quando necessário. Após esta etapa, iniciou-se a análise de emergia. Para esta fase da pesquisa, foi construído um diagrama geral a fim de se estabelecer a situação geral de entradas e saídas do sistema e de suas etapas principais. Depois do diagrama prévio, foram construídas tabelas incluindo os valores de entrada em exergia para que em seguida fossem realizados os cálculos de transformidade para transformação em dados emergéticos; a seguir diagramas mais complexos foram construídos incluindo todos os recursos envolvidos no projeto. Finalmente, foram feitos cálculos dos índices emergéticos.

3.1. Cálculo da área da bacia a montante de Belo Monte

A área da bacia a montante de Belo Monte (volume de controle 1 ou sistema aberto 1) foi calculado a partir da área total da bacia hidrográfica do rio Xingu, que é de 509000 km² (AAI a, 2009, p.22). O mapa dos Compartimentos da Rede Hidrográfica do Xingu (Figura 3.1) com escala 1:425, primeiramente foi utilizado para estabelecer através de um linha reta, o limite entre as áreas à jusante e à montante de Belo Monte (sinalizado na Figura 3.2 com um quadrado vermelho). Em seguida este mapa foi quadriculado com o software GIMP 2. Os quadrados do mapa que mediam 1,00 x 1,00 mm. Através de regra de três direta, calculou-se a área real representado por cada um destes quadrados, que é de 72,25 km². Assim, contabilizou-se o total de quadrados referentes área à jusante de Belo Monte (escolhida para contagem de quadrados por ser menor que a área à montante). Também por regra de três direta calculou-se que esta área tem

cerca de 2890 km². Subtraindo-se esse valor da área total da bacia tem-se que a área à montante de Belo Monte é de aproximadamente 506110 km².

Fonte: Modificado de AAI b, 2009, p.10, retirado de: Base Cartográfica Digital do Brasil ao Milionésimo (IBGE, 2005); IBGE, Malha Digital do Brasil, 2005; Computação de dados: MMA e ICMbio; ANEEL, 2008.

Após determinação do volume de controle, foram realizados os cálculos de balanço de massa, energia e exergia. As figuras a seguir (Figura 3.2 e 3.3) ilustram o passo a passo dos cálculos, tendo como exemplo, o item “água”.

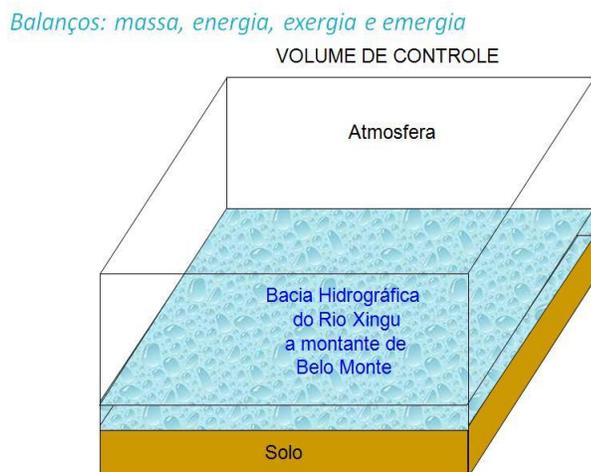


Figura 3.2. Volume de Controle: sistema com o qual foram definidos os itens a serem considerados e quantificados.

Balances: massa, energia, exergia, emergia
 Ex: Massa de água

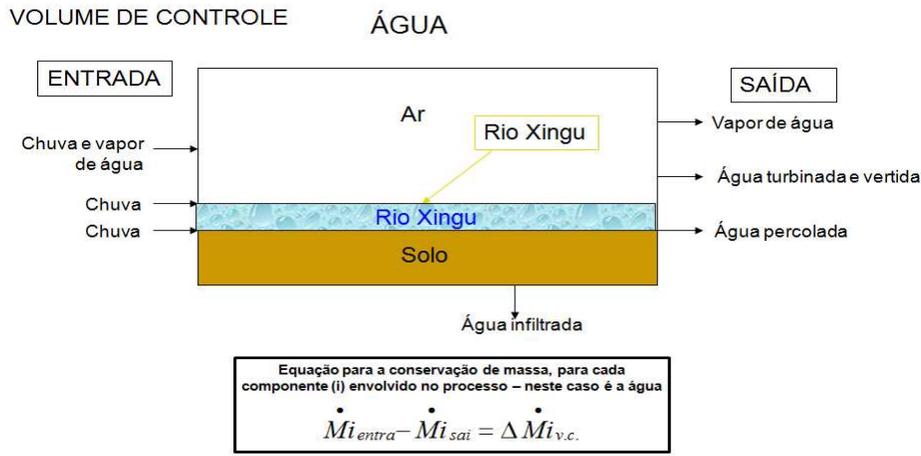


Figura 3.3. Exemplo: balanço de massa do item “água”

Nota: Os balanços energéticos e emergéticos são realizados de maneira semelhante, através de cálculo da variação dos mesmos, dentro do volume de controle.

A metodologia para cálculo emergético será explicada a seguir, de maneira geral, através de exemplos dos cálculos realizados. Cada cálculo tem sua fórmula detalhada no rodapé da Tabela 4.2. “Planilha para Cálculo de Emergia”. No capítulo 4 “Resultados e Discussão”.

3.2. Expressão para cálculo de energia

Exemplo: Item 1 – Radiação solar

$$\text{Ensol (J/ano)} = \text{Rsol (Kwh/m}^2\text{/dia)} * (1\text{-albedo)} * A \text{ (m}^2\text{)} * \text{energia de 1kWh (J)} * \text{Ta (dias/ano)} \text{ (Equação 3.1)}$$

Onde:

Ensol: Fluxo anual de energia

Rsol: Radiação solar na região de Altamira

Ta: tempo de um ano

A: Área total da bacia hidrográfica do Rio Xingu

Albedo: 0,22 (IAC, 1998)

3.3. Expressão para cálculo de exergia

Exemplo – Item 1 – Radiação solar

$$\mathbf{Exsol (J/ano) = Ensol (J/ano) * Efsol (\%)} \text{ (Equação 3.2)}$$

Onde:

Exsol: Exergia solar

Ensol: Fluxo anual de energia (Equação 3.1)

Efsol: % da energia solar que chega à Terra

3.4. Expressão para cálculo de fluxo de energia a partir de um dado em Joules

Exemplo – Item 1 – Radiação solar

$$\mathbf{Emsol (sej/ano) = Exsol (J/ano) * Trsol (sej/J)} \text{ (Equação 3.3)}$$

Onde:

Emsol: Fluxo de energia solar

Exsol: Exergia (Equação 3.2)

Trsol: Transformidade da radiação solar

3.5. Expressão para cálculo de fluxo de energia a partir de um dado em gramas

Exemplo – Item 7 – Sedimentos

$$\text{Emsed (sej/ano)} = \text{Msed (g/ano)} * \text{Trsed (sej/g)} \text{ (Equação 3.4)}$$

Onde:

Emsed: Fluxo de energia de sedimentos

Msed: Massa total referente à carga de sedimentos da bacia do rio Xingu

Trsed: Transformidade dos sedimentos

3.6. Índices emergéticos

Cada item foi classificado em R: Renovável e gratuito, F: Comprado, ou N: Não Renovável. A eletricidade produzida foi designada como Y.

A partir destas classificações, somou-se a energia total de cada categoria (R, F e N) para calcular os índices emergéticos, isto é, para realizar a avaliação emergética.

Os índices emergéticos são calculados com os resultados da tabela de avaliação de fluxos de energia e são utilizados para fazer as inferências da análise emergética (ORTEGA, 2008).

Índices funcionam como um sinal de alerta para manifestar a situação do sistema avaliado, pois são valores estáticos, ou seja, é fornecem uma fotografia do momento atual. Considerando que a natureza e a economia são sistemas dinâmicos, os índices não captam certos fenômenos que ocorrem no sistema, como a mudança tecnológica ou a adaptabilidade dos sistemas sociais. A maior parte dos índices de sustentabilidade é tida como informações essenciais que nos auxiliam

na avaliação do sistema em estudo no presente momento, e uma alternativa na construção de cenários no caminho da sustentabilidade (SICHE *et alli*, 2007).

3.6.1. Taxa de Investimento Emergético (EIR)

Para prever se o uso de recursos da economia (despesas investidas) em um projeto terá uma boa contrapartida de recursos naturais (até hoje gratuitos), calcula-se a taxa de investimento de energia (*emergy investment ratio*). Este índice mede a proporção de energia retro-alimentada do setor econômico em relação às entradas de energia do ambiente. Ele indica quão econômico é o processo analisado, ao usar os investimentos da economia em comparação com outras alternativas. Para ser econômico, o processo deve ter um valor de EIR similar ao de outras atividades da região. Caso ele exija mais da economia que as outras alternativas terá menos chances de subsistir; caso a demanda da economia seja pequena, a razão $(F/(R+N))$ será menor e, portanto, seus custos serão menores, o que lhe proverá condições de competir, prosperar no mercado e aumentar sua inversão (ORTEGA, 2008).

$$\text{EIR} = F/(R+N) \text{ (Equação 3.5)}$$

Assim, este índice mostra a relação da energia investida através de compras e a entrada da energia gratuita, advinda dos recursos renováveis e não renováveis, oferecidos pelo ecossistema, para produção de eletricidade.

3.6.2. Taxa de Rendimento Emergético (EYR)

Para que se saiba o benefício líquido de um bem ou serviço, calcula-se a taxa de rendimento emergético (*emergy yield ratio*) que é obtida dividindo a energia do produto pela

energia das entradas que provém da economia. Esta proporção indica se o processo pode competir com outros no fornecimento de energia primária para a economia (conjunto de consumidores - transformadores humanos) (ORTEGA, 2008).

$$\mathbf{EYR = Y/F} \text{ (Equação 3.6)}$$

Este índice revela, portanto, a relação entre energia produzida, no caso, energia da eletricidade produzida, e energia investida através de recursos comprados. Com este índice pode-se ter uma noção sobre a viabilidade da produção, isto é, se vale a pena investir considerando a energia que será produzida.

3.6.3. Taxa de Carga Ambiental (ELR)

$$\mathbf{ELR = (F+N)/R} \text{ (Equação 3.7)}$$

Este índice relaciona as entradas de energia comprada e energia não renovável à energia renovável do sistema. Ele dá a idéia sobre o que tem maior peso na produção: os recursos renováveis gratuitos ou os recursos adquiridos financeiramente juntamente com os recursos não renováveis. Assim, ele basicamente dá a carga do ecossistema sobre a produção.

3.6.4. Índice de Sustentabilidade Emergética (ESI)

$$\mathbf{ESI = EYR/ELR} \text{ (Equação 3.8)}$$

Este índice avalia a sustentabilidade do sistema, ou seja, dá a idéia de prejuízo ou lucro energético, ao final da produção. É importante salientar que ele é válido para comparação entre sistemas semelhantes, isto é, pode-se comparar a sustentabilidade de duas hidrelétricas, mas não de uma hidrelétrica com uma termoeletrica.

Segundo Siche *et alli* (2007), o Índice de Sustentabilidade Emergética utiliza todas as etapas da pirâmide de informação, pois precisa de uma enorme quantidade de dados primários para obter as variáveis e os indicadores, que são parâmetros selecionados e considerados isoladamente ou em combinação com outros para refletir sobre as condições do sistema em análise. Em seguida, os indicadores que estão separados em dimensões (sub-índices) são agregados para obter o índice final. O ESI é um índice robusto e muito laborioso de calcular, pode-se até dizer que é quase impossível reproduzir seus resultados (SICHE *et alli*, 2007).

Ainda segundo os autores supracitados, o ESI tem como vantagens: ser capaz de sintetizar a informação de caráter técnico/científico e ser um bom instrumento de apoio à decisão e os processos de gestão ambiental; entretanto tem algumas desvantagens, tais como, dificuldades na definição de expressões matemáticas que melhor traduzem os parâmetros selecionados, perda de informação nos processos de junção dos dados, complexidade nos cálculos para chegar ao Índice final e dificuldades na aplicação em determinadas áreas como o ordenamento do território e a paisagem.

3.6.5. Transformidade (Tr)

A transformidade é um índice que avalia a qualidade do fluxo de energia e pode ser comparado com as transformidades de outras formas de energia e outros sistemas (ORTEGA, 2008).

$$\text{Tr} = (\text{R}+\text{N}+\text{F})/\text{Y} \text{ (Equação 3.9)}$$

A Transformidade (Tr) é o índice que relaciona todas as entradas emergéticas à ENERGIA produzida. Quanto menor, para o mesmo processo, mais perto do ponto ótimo de funcionamento do sistema analisado

3.7. Cálculo do Retorno Sobre o Investimento Energético

O Retorno Sobre o Investimento Energético (EROI) é calculado pela relação entre energia produzida (Ye) e soma dos recursos energéticos investidos.

$$\text{EROI} = \text{Ye} / (\text{R} + \text{N} + \text{F}) \text{ (Equação 3.10)}$$

3.8. Avaliação pelo valor financeiro atribuído ao projeto

Os dados físicos levantados neste estudo e a quantidade de exergia correspondente relacionada com o trabalho e com materiais de construção com segurança não refletem as quantidades que de fato serão necessárias para a construção do empreendimento em questão (CHE Belo Monte). Assim, elementos intangíveis tais como impactos sem referências para valoração de mitigação tais como custos ambientais, efeitos danosos das áreas inundadas, deslocamento de população local e/ou trabalhadores do projeto.

Contudo, os empreendedores, já experientes nesse tipo de trabalho sabem ou estimam a quantidade de recursos financeiros que será necessária tanto para o trabalho quanto para a margem de lucro. Essa quantidade de recursos financeiros deveria ser suficiente para cobrir todas as atividades necessárias para o empreendimento, incluindo tanto as questões materiais quanto as sociais e também, numa hipótese otimista, para a mitigação dos impactos ambientais.

A quantificação física efetuada certamente representa apenas uma parte da energia/exergia necessária ao empreendimento como um todo. Uma vez que tanto a exergia quanto o dinheiro têm a possibilidade de avaliação em fluxos anuais foi adotada uma relação Energia/Dinheiro que representa a média nacional.

Logo, determinou-se o fluxo anual de energia do Brasil. Em seguida, dividiu-se esse fluxo pelo PIB do ano e dessa maneira obteve-se um valor médio (R\$) para a energia do país, ou seja: fluxo anual de Energia/PIB = sej/R\$.

Quantidade de energia comprada = (Valor da obra (R\$)-“lucro” arbitrado como sendo 5% desse valor) vezes a relação sej/R\$.

Como parte da energia/energia já computada está contemplada no total do empreendimento foi admitido que a relação energia do trabalho e energia dos materiais manteriam a mesma proporção no projeto como um todo. A partir daí foi calculada tanto a energia do trabalho e dos materiais que estavam faltando. Com isso foi possível efetuar a comparação entre as grandezas físicas avaliadas e as inferidas a partir do valor do projeto.

Como a energia do trabalho humano representa apenas 2,2% da energia total os valores foram agrupados e estão apresentados na Tabela 4.2 como: “Valores da construção e de exergia e energia correspondentes”.

3.9. Diagramas Emergéticos

Após concluir os cálculos de avaliação emergética, constrói-se diagramas emergéticos, figuras ilustrando as entradas e saídas de energia do sistema, representado por um retângulo. As fontes de entrada emergética são indicadas por círculos com o nome da fonte e seu valor em energia. Elas são dispostas da esquerda para a direita (ao redor do retângulo), na ordem crescente de transformidade, isto é, as fontes com menor transformidade precedem as fontes de maior transformidade.

Estes diagramas são muito úteis na compreensão do funcionamento do sistema, bem como tornam a análise emergética mais clara.

No Apêndice A desta dissertação, estão listados símbolos que podem ser utilizados na confecção dos diagramas energéticos, com seus respectivos significados. A seguir, exemplos de diagramas energéticos para uma bacia hidrográfica com aproveitamento hidrelétrico, do complexo (Figura 3.4) para o mais simples (Figura 3.6).

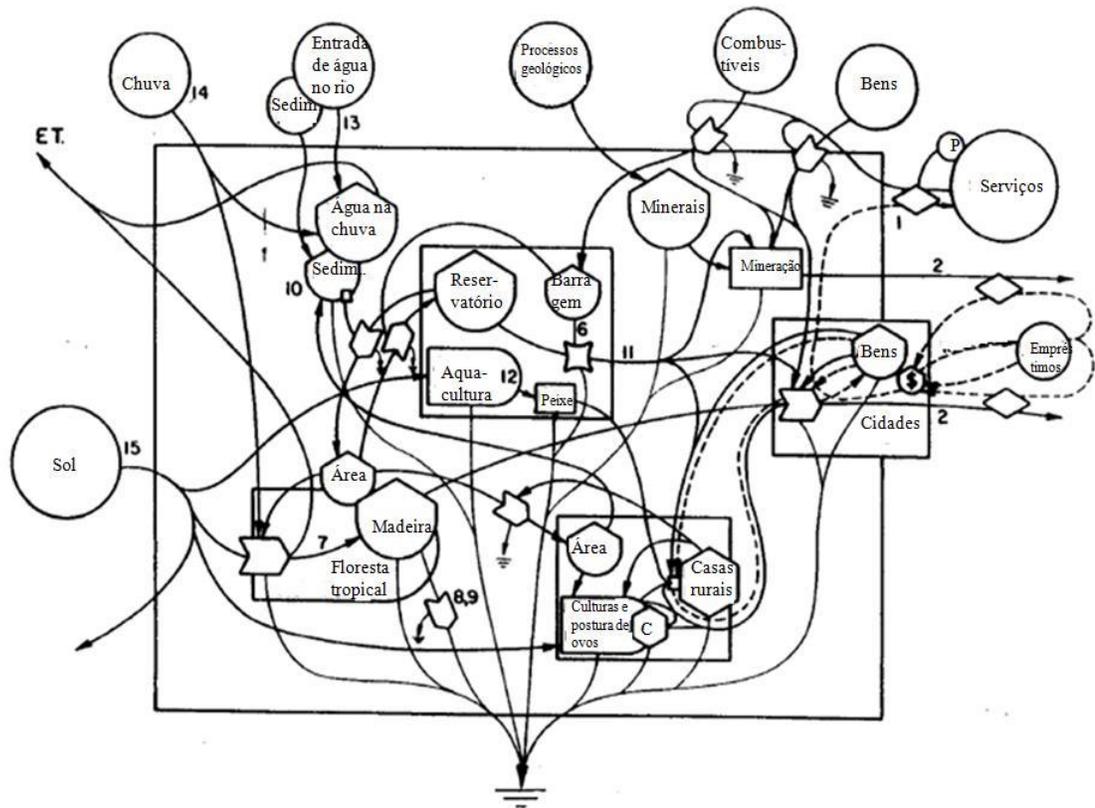


Figura 3.4. Exemplo de diagrama de fluxos complexo para uma bacia hidrográfica com aproveitamento hidrelétrico (BROWN, 1986 - Modificado).

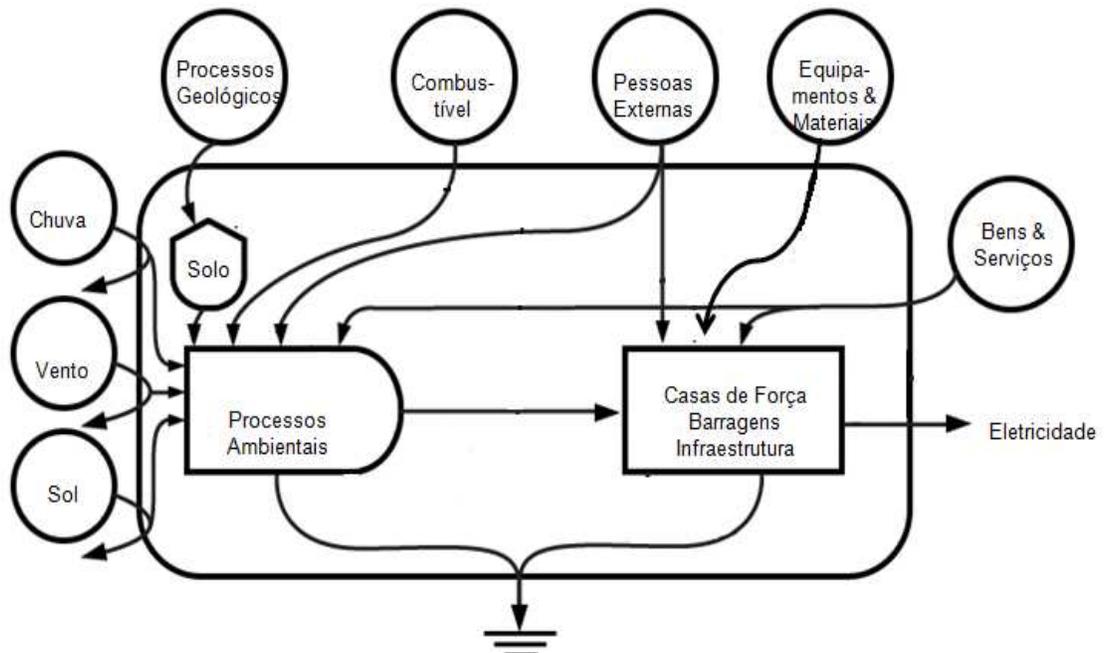


Figura 3.5. Exemplo de Agregação de Fluxos.

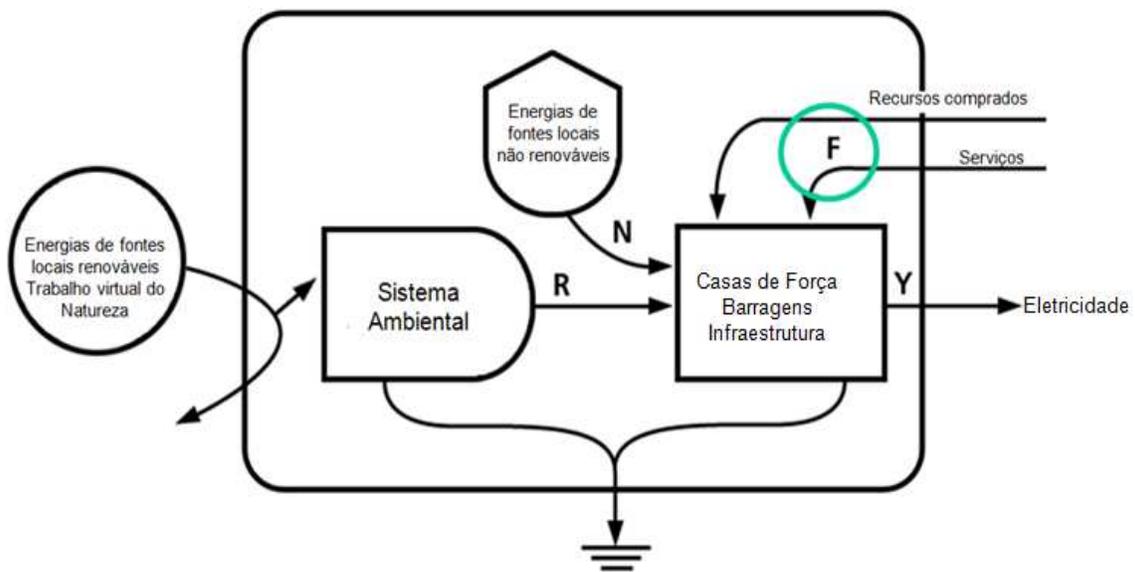


Figura 3.6. Exemplo de Agregação Final de Fluxos.

4 RESULTADOS

A Tabela a seguir (4.1), reúne dados técnicos tanto da Bacia Hidrográfica do Rio Xingu, como do empreendimento em si. Estes dados serão essenciais nos cálculos de energia apresentados neste capítulo.

Tabela 4.1: Banco de Dados - Características técnicas do Projeto do CHE de Belo Monte e da Bacia do Rio Xingu

Banco de Dados - Características Técnicas do Projeto do CHE de Belo Monte e da Bacia do Rio Xingu*

Item	Reservatório da calha	Reservatório dos canais	Total	Unidades
Área total bacia			5,09E+11	m ²
Área da bacia a montante de Belo Monte (Sist. Aberto 1)			5,06E+11	m ²
Área dos reservatórios	3,82E+08	1,34E+08	5,16E+08	m ²
Área inundada permanentemente	1,54E+08	1,34E+08		
Área inundada da calha hoje (sem construção do CHE)			2,28E+08	m ²
Área de deplecionamento	0,00E+00	5,00E+06	5,00E+06	m ²
Variação do nível d'água	0,00E+00	1,00E+00	5,00E+00	m bilhão de m ³
Volume no nível máximo operacional normal	2,07E+00	1,89E+00	3,96E+00	bilhão de m ³
Volume no nível mínimo operacional normal	2,07E+00	1,79E+00	3,86E+00	bilhão de m ³
Volume de armazenamento vivo	0,00E+00	1,10E-01	1,10E-01	
Profundidade média	6,20E+00	1,77E+01	9,00E+00	m
Tempo de residência média **	3,10E+00	2,80E+00	5,80E+00	Dias
Comprimento barragem principal			6,20E+03	m
Altura máxima barragem principal			3,60E+01	m
Comprimento TVR			1,00E+05	m
Comprimento do reservatório	6,00E+07	8,70E+07	1,47E+08	m ²
Comprimento do perímetro da margem	3,61E+08	2,68E+08	6,29E+08	m ²
Número de turbinas (calha: tipo Bulbo; canais: tipo Francis)	9,00E+00	2,00E+01	2,90E+01	Unidades
Produção de máxima por turbina	2,59E+01	5,50E+02		MW

Tabela 4.1: Banco de Dados - Características técnicas do Projeto do CHE de Belo Monte e da Bacia do Rio Xingu (Continuação)

Banco de Dados - Características Técnicas do Projeto do CHE de Belo Monte e da Bacia do Rio Xingu* (Continuação)				
Item	Reservatório da calha	Reservatório dos canais	Total	Unidades
Capacidade instalada	2,33E+02	1,10E+04	1,12E+04	MW
Eletricidade produzida anualmente			4,00E+07	MWh
Consumo de água por turbina	2,53E+02	6,95E+02		m ³ /s
Consumo de água total	1,77E+03	1,39E+04	1,57E+04	m ³ /s
Vazão média***			7,85E+03	m ³ /s
Elevações				
Nível máximo operacional normal	9,70E+01	9,70E+01		m sobre o mar
Nível mínimo operacional normal	9,70E+01	9,60E+01		m sobre o mar
Nível do vertedouro	7,60E+01	7,95E+01		m sobre o mar
Nível do canal de adução		8,40E+01		m sobre o mar
Eixo da entrada das turbinas	8,00E+01	6,50E+01		m sobre o mar
Outros parâmetros				
Área de drenagem			4,48E+11	m ²
Evaporação anual			1,58E+00	m
Precipitação anual			1,89E+00	m
Índice de evapotranspiração (%)				8,33E-01
Localização				
	03°26'S	3°7'35"S		Latitude
	15°56'O	51°46'30"O		Longitude
Vida útil do CHE Belo Monte			5,00E+01	Anos
Tempo de construção da CHE Belo Monte			1,00E+01	Anos
Mão-de-obra			1,70E+04	Indivíduos
Energia solar				
Energia da Radiação solar na região Altamira			4,19E+00	kWh/m ² -dia
Eficiência radiação solar			9,50E-01	% dada como decimal
Albedo			2,20E-01	% dada como decimal
Água				
Densidade da água a 27°C			9,96E+02	kg/m ³
Energia livre de Gibbs			4,94E+00	J/g
Aceleração da gravidade			9,81E+00	m/s ²
Energia eólica (hipotética)				
Velocidade do vento (Altamira)			3,53E+00	m/s

Tabela 4.1: Banco de Dados - Características técnicas do Projeto do CHE de Belo Monte e da Bacia do Rio Xingu (Continuação)

Banco de Dados - Características Técnicas do Projeto do CHE de Belo Monte e da Bacia do Rio Xingu* (Continuação)

Item	Reservatório da calha	Reservatório dos canais	Total	Unidades
Turbinas eólicas (número hipotético)			5	Unidades
Eficiência			8,40E-01	
Combustível				
Massa do diesel em kg			1,35E+08	Kg
Densidade do diesel			8,67E+02	kg/m ³
Volume do diesel			1,56E+05	m ³
PCI do diesel			3,87E+10	J/m ³
Solo				
Carga de nitrogênio na bacia			9,34E+10	g/ano
Energia do nitrogênio			1,47E+04	kcal/kg
Carga de fósforo na bacia			6,10E+09	g/ano
Energia do fósforo			2,30E+03	kcal/kg
Carga de sedimentos na bacia			1,24E+01	t/km ² /ano
Matéria orgânica			1,84E+06	kg/ano
Energia da matéria orgânica			5,40E+03	kcal/kg
Aço			3,23E+11	g
Energia do aço			6,28E+04	J/g
Cimento			8,49E+11	G
Energia do cimento			1,51E+04	J/g

Notas: *Referências de dados encontram-se arroladas na Tabela Referências de Dados no Apêndice B.

**Presume que toda a água é usada pela casa de força principal em Belo Monte

***Vazão é a média para 1931-2000 calculada no antigo EIA para Belo Monte

4.1. Cálculos para determinação de emergia

Neste tópico são apresentados os resultados dos balanços de massa, energia e exergia para posterior determinação de valores emergéticos de cada item do sistema de produção de eletricidade da CHE Belo Monte.

A Tabela a seguir (4.2) é uma Planilha de Cálculo de Emergia.

A primeira coluna (“Ref.”, isto é, “Referência”) apresenta os números referentes a cada item a ser calculado. A coluna seguinte, chamada “Item”, cita justamente qual item está sendo calculado naquela determinada linha. A terceira coluna, denominada “Unid.”- ou seja, “Unidade”-, apresenta as unidades dimensionais com que cada item está sendo trabalhado. É importante frisar que esta coluna foi adicionada principalmente devido ao fato de que alguns poucos itens da tabela não são apresentados em dimensões de valores energéticos, tal como o Item 7 – Sedimentos, dado em massa (gramas).

Na quarta coluna, intitulada “Energia”, são apresentados os valores de energia calculados para cada item. Na quinta coluna, denominada “Exergia” tem-se os valores de exergia de cada item. A sexta coluna (“Transformidade”) mostra os índices de transformidade referentes a cada item. Na coluna seguinte (“Ref. Tr.”) são indicados os números correspondentes à transformidade daquela coluna; cada um destes números apresenta sua respectiva referência bibliográfica na Tabela Apêndice D: Referências para transformidades.

Na oitava coluna, intitulada “Emergia solar”, são exibidos os valores de cada item convertidos em Emergia solar. A coluna seguinte (“Desc.”, isto é, “Descrição”) descreve o que é cada item, isto é, se ele é um recurso renovável, não renovável, comprado ou gratuito; em alguns casos também indica que o valor da célula seguinte é uma somatória ou se trata-se dos 5% de lucro das empresas (no caso do item correspondente referir-se ao valor da construção).

Finalmente na décima coluna (“Emergia solar”), têm-se os valores finais de Emergia solar referentes à nona coluna, escritos em 1E+14; as análises e discussões serão baseadas nos resultados desta última coluna.

Tabela 4.2. Planilha de Cálculo de Emergia

Ref.	Item	Unid.	Energia	Exergia	Transformi- -dade	Ref.	Energia solar	Desc.	Energia solar (sej/ano)
n			J/ano	J/ano	(sej/J)		(sej/ano)	(*)	1E+14
ENERGIA DE FONTES RENOVÁVEIS "GRATUITAS"									
1	Radiação solar	J	2,21592E+18	2,11E+18	1	[1]	2,11E+18	R	2,11E+04
2	Chuva Energia Química Potencial	J	4,00381E+15	4,00E+15	1,82E+04	[1]	7,29E+19	R	7,29E+05
3	Vento	J	2,93536E+16	2,94E+16	1,50E+03	[1]	4,39E+19	R	4,39E+05
ENERGIA DEVIDA A IMPACTOS DA CONSTRUÇÃO DA UHE									
4	Biomassa - Produção interrompida	J	2,19589E+15	2,20E+15	1,82E+04	[1]	4,00E+19	R	4,00E+05
5	Biomassa - Produzida sazonalmente	J	2,32903E+13	2,33E+13	1,82E+04	[1]	4,24E+17	R	4,24E+03
									Σ 4,04E+05
ENERGIA DE FONTES RENOVÁVEIS "COMPRADAS"									
6	Trabalho	J	2,59791E+11	2,59791E+11	1,20E+06	[4]	3,11749E+17	F	3,12E+03
ENERGIA DE FONTES NÃO RENOVÁVEIS "GRATUITAS"									
7	Sedimentos	g	6,27576E+12	6,28E+12	2,22E+04	[6]	1,40E+17	N	1,40E+03
8	Matéria orgânica	J	4,16834E+13	4,17E+13	6,48E+04	[1]	2,70E+18	N	2,70E+04
9	Nitrogênio	J	3,75148E+14	3,75E+14	1,86E+06	[3]	6,98E+20	N	6,98E+06
10	Fósforo	J	7,10981E+12	7,11E+12	1,12E+07	[1]	7,97E+19	N	7,97E+05
11	Potássio	J	1,01392E+14	1,01392E+14	1,57E+06	[1]	1,58876E+20	N	1,59E+06
									Σ 9,40E+06

Tabela 4.2. Planilha de Cálculo de Emergia (Continuação)

Ref.	Item	Unid.	Energia	Exergia	Transformi- dade	Ref. Tr.	Energia solar	Desc.	Energia solar (sej/ano)
n			J/ano	J/ano	(sej/J)		(sej/ano)	(*)	1E+14
ENERGIA "COMPRADA" DE FONTES NÃO RENOVÁVEIS									
12	Diesel		1,28934E+14	1,20E+14	1,15E+05	[2]	1,39E+19	F	1,39E+05
13	Cimento total		2,56817E+11	2,57E+11	7,93E+04	[5]	2,04E+16	F	2,04E+02
14	Aço total		4,06119E+11	4,06E+11	2,77E+04	[5]	1,13E+16	F	1,13E+02
							1,39E+19	Σ	1,39E+05
ENERGIA "COMPRADA" DE FONTES NÃO RENOVÁVEIS - VALORES DA CONSTRUÇÃO E DE EXERGIA E EMERGIA CORRESPONDENTES									
15	Valor da construção 1	R\$	3,80E+08	0,00E+00	1,50E+12	[4]	5,70E+20	0,05	5,70E+06
16	Valor da construção 2	R\$	5,00E+08	0,00E+00	1,50E+12	[4]	7,50E+20	0,05	7,50E+06
17	Valor da construção 3	R\$	6,00E+08	0,00E+00	1,50E+12	[4]	9,00E+20	0,05	9,00E+06
15'	Exergia correspondente 1	Exer-gia	J/ano	4,49E+15	1,17E+05	[8]	5,27E+20	0	5,27E+06
16'	Exergia correspondente 2	Exer-gia	J/ano	5,95E+15	1,17E+05	[8]	6,98E+20	0	6,98E+06
17'	Exergia correspondente 3	Exer-gia	J/ano	7,16536E+15	1,17E+05	[8]	8,40753E+20	0	8,41E+06
ENERGIA PRODUZIDA									
18	Hidreletricidade	J	1,44151E+17	1,44151E+17	7,40E+03	[7]	1,07E+21	R	1,07E+07
19	Hidreletricidade	J	1,44151E+17	1,44151E+17	1,13E+04	[7]	1,62E+21	R	1,62E+07
20	Hidreletricidade	J	1,44151E+17	1,44151E+17	1,25E+04	[7]	1,80E+21	R	1,80E+07
21	Hidreletricidade	J	1,44151E+17	1,44151E+17	1,35E+04	[7]	1,95311E+21	R	1,95E+07

A seguir, são apresentadas notas referentes aos cálculos de cada item da Tabela 4.2. Planilha para Determinação de Emergia; o número de cada nota corresponde ao cálculo de emergético do item de mesmo número.

Notas:

*: Unidades dos itens (alguns deles não estão expressos em unidades de energia, por isso, a existência desta coluna).

Tr : Transformidade

1: Radiação solar: radiação solar na região de Altamira ($4,19E+00$ kWh/m²-dia) * 1-albedo (1-0,22) * área total da bacia ($5,06E+11$ m²) * tempo (365 dias/ano) * 3600000 J * 0,95 * transformidade. A radiação solar que chega a toda a bacia hidrográfica continuará sendo utilizada de modo que está hoje (sem a construção do CHE de Belo Monte). Dessa forma, sob o ponto de vista de balanço energético, apenas a área que será inundada e que terá sua produtividade fotossintética alterada está sendo considerada.

2: Chuva Energia Química Potencial: precipitação (1,891 m/ano) * taxa evapotranspiração (0,83) * área a montante de B.M. ($5,06E+11$ m²) * densidade água a 27°C (996300 g/m³) * Energia Livre de Gibbs ($4,945E+00$ J/g) * transformidade; para todos os cálculos que envolviam a densidade da água, esta foi calculada considerando que estivesse à temperatura de 27°C, visto que a região do empreendimento é um pouco mais quente que a temperatura padrão de 25°C (CNTP). Este valor é corresponde à área permanentemente inundada, acrescido da parte que será inundada sazonalmente (6 meses - período das cheias). O restante da chuva terá sua utilização inalterada pela construção da usina.

3: Vento: {nº turbinas (5) * tempo 1 ano ($3,15E+07$ s) * {0,5 * velocidade vento ($3,53E+00$ m/s) * área hélices turbinas (7854 m²) * [quadrado velocidade vento ($3,53E+00$ m/s * $3,53E+00$ m/s) – eficiência turbinas (84%) * quadrado velocidade vento ($3,53E+00$ m/s * $3,53E+00$ m/s]/1000)} * transformidade. É importante salientar que o empreendimento não vai afetar o regime dos ventos e este foi um cálculo de caráter especulativo.

4: Biomassa - Produção interrompida (déficit renovável): área inundada permanentemente ($2,83E+08 \text{ m}^2$) * precipitação (1,891 m/ano) * taxa evapotranspiração (0,83) * densidade da água a 27°C (996300 g/m^3) * Energia Livre de Gibbs ($4,945E+08 \text{ J/g}$) * transformidade

5: Biomassa - Produzida sazonalmente: área inundada sazonalmente ($5,00E+06 \text{ m}^2$) * precipitação (1,891 m/ano) * densidade água a 27°C (996300 g/m^3) * Energia Livre de Gibbs ($4,945 \text{ J/g}$) / 2 * transformidade

6: Trabalho: nº trabalhadores (17000 indivíduos) * 2500 (kcal/dia) * 4,186 J * tempo (365 dias/ano) * relação tempo construção / tempo vida útil (0,2) * transformidade

7: Sedimentos: massa referente à carga de sedimentos na bacia ($12,4 \text{ t/km}^2/\text{ano}$) * área total da bacia (509000 km^2) * 1000 * transformidade

8: Matéria Orgânica (M.O.): massa referente à M.O. da bacia ($84E+06 \text{ kg/ano}$) * tempo (365 dias /ano) * energia da M.O. (5400 kcal/kg) * 4186,8 J * transformidade

9: Nitrogênio (N): massa referente à carga de N na bacia ($6,10E+06 \text{ kg/ano}$) * energia do N (14700 kcal/kg) * 4186,6 J * transformidade

10: Fósforo (P): massa referente à carga de P na bacia ($7,38E+05 \text{ kg/ano}$) * energia do P (2300 kcal/kg) * 4186,8 J * transformidade

11: Potássio (K): massa referente à carga de K na bacia ($1,51E+08 \text{ kg/ano}$) * energia do K (1600 kcal/kg) * 4186,8 J * transformidade

12: Diesel: massa do diesel utilizado ($1,35E+08 \text{ kg}$) * PCI diesel (10652 kcal/kg) * 4186,8 J / tempo vida útil de B.M. (50 anos) * transformidade

13: Cimento total: massa de cimento (16973320 kg/ano) / tempo de vida útil de B.M. (50 anos) * energia do cimento (1,51E+04 J/g) * transformidade

14: Aço total: massa de aço (3,23E+08 kg/ano)* energia do aço (6,28E+04 J/g) / tempo vida útil de B.M. (50 anos) * transformidade

15: Custo da construção 1: valor (1,9E+10 R\$) * transformidade

16: Custo da construção 2: valor (2,5E+10 R\$) * transformidade

17: Custo da construção 3: valor (3E+10 R\$) * transformidade

18: Hidreletricidade: energia média produzida anualmente (4,00E+07MWh) * 3,60E+09 J * transformidade

19: Hidreletricidade 1: energia média produzida anualmente (4,00E+07MWh) * 3,60E+09 J * transformidade

20: Hidreletricidade 2: energia média produzida anualmente (4,00E+07MWh) * 3,60E+09 J * transformidade

21: Hidreletricidade 3: energia média produzida anualmente (4,00E+07MWh) * 3,60E+09 J * transformidade

Nota-se pela Tabela 4.2 que apesar da questão dos impactos ambientais ter sido vastamente explorada na Revisão da Literatura, para o caso de Belo Monte não se conseguiu informações acuradas em relação à fauna, especificamente, e nem mesmo em relação à emissão de gases de efeito estufa emitidos pelos reservatórios, no caso de haver somente a construção do CHE de Belo Monte. Assim, a emergia relativa a estes dados não foi levada em conta na avaliação final.

A energia do vento foi calculada com a hipótese de se construir um sistema eólico de geração de eletricidade, com a instalação de 5 turbinas eólicas. O resultado para a energia do vento foi de $4,39E+05$ sej/ano, valor menor que o da energia da chuva (em termos de potencial químico), que foi de $7,29E+05$ sej/ano e também menor que a energia referente à radiação solar na área da bacia ($2,11+04$ sej/ano). O cálculo emergético relativo ao vento foi efetuado somente a título de conhecimento, visto que não há previsão de construção de planta eólica juntamente com o Projeto do CHE de Belo Monte. Portanto este dado não foi computado na avaliação final.

Com relação ao material utilizado no empreendimento, os dados referentes aos equipamentos utilizados para construção da barragem, isto é, maquinário que não irá permanecer no local após o término da obra, não foram conseguidos. Quanto aos materiais de infra-estrutura para construção da vila de trabalhadores, como casas e escola para a família dos 17000 operários também não foram computados. Logo, a energia destes materiais não faz parte dos cálculos de avaliação emergética.

4.2. Avaliação Emergética

Na Tabela a seguir (Tabela 4.3. Avaliação Emergética), os dados dos recursos do sistema de produção de eletricidade da CHE Belo Monte são exibidos agrupados entre si, tal como se dá na Tabela 4.1. Este agrupamento se dá pelo somatório de energias de um mesmo tipo, isto é, com a mesma “Descrição” (renovável, não renovável, comprada, gratuita). Estes valores são tabulados para em seguida serem utilizados nos cálculos dos índices emergéticos.

Apesar da energia ter o caráter de possibilitar análises físicas dos sistemas de produção antrópicos, devido à grande falta de dados do projeto do CHE de Belo Monte, optou-se por incluir também a avaliação pelo valor financeiro atribuído ao projeto. Os resultados estão apresentados em quatro cenários: Um cenário de investimento físico “F” e três cenários de investimentos “R\$”.

Os custos utilizados foram: 19, 25 e 30 bilhões de Reais, como mostrado na Tabela 4.2. A transformidade foi retirada do trabalho de Ortega (2008) com extrapolação para 2010. Foi utilizada uma taxa de câmbio de $1US\$ = 2 R\$$.

Tabela 4.3. Avaliação Emergética

AVALIAÇÃO EMERGÉTICA						
Recurso			(sej/ha.ano)			
			Emergia E14			
R	Emergia Renovável (de recursos renováveis)		7,29E+05			
R'	Emergia Desperdiçada Anualmente		4,04E+05			
N	Emergia Não Renovável		9,40E+06			
F	Emergia Comprada (Física)		1,42E+05			
F	Emergia Comprada 1 R\$		5,70E+06			
F	Emergia Comprada 2 R\$		7,50E+06			
F	Emergia Comprada 3- R\$		9,00E+06			
	Emergia Total Utilizada		1,62E+07			
Y	Emergia da Eletricidade Produzida		1,62E+07			
Índices Emergéticos			Cenário Físico	Cenário R\$ 19 b	Cenário R\$ 25 b	Cenário R\$ 30 b
EIR	Taxa de Investimento Emergético	$F/(N+R)$	0,01	0,54	0,71	0,85
EYR	Taxa de Rendimento Emergético	Y/F	113,93	2,85	2,16	1,80
ELR	Taxa de Carga Emergética	$(F+N)/(R+R')$	8,42	13,33	14,92	16,25
ESI	Índice de Sustentabilidade Emergética	EYR/ELR	13,52	2,14E-01	1,45E-01	1,11E-01
Tr	Emergia Total (Entrada)/Exergia Gerada		7,40E+03	1,13E+04	1,25E+04	1,35E+04

Analisando a Tabela 4.3, é evidente que os recursos não renováveis (N) apresentam o maior valor de emergia (9,40E+06sej/ano). Quanto aos recursos contemplados pelo maior investimento financeiro (investimento de 30 bilhões de Reais), também possuem um alto valor emergético correspondente (9,00E+06sej/ano).

Com relação aos recursos renováveis, a emergia que será desperdiçada anualmente caso haja a implantação do CHE de Belo Monte no Rio Xingu, com a biomassa que não será produzida sazonalmente somada àquela cuja produção será permanentemente interrompida

devido ao projeto, ou seja, R\$, é de $4,04E+05$ sej/ano; enquanto a energia do restante dos recursos renováveis (R) é de $7,29E+05$ sej/ano.

Avaliando os valores dos recursos comprados, observa-se que aqueles correspondentes aos cálculos que incluem somente a energia comprada (F) - cujos dados físicos foram prejudicados pela falta de informações (material de infra-estrutura, equipamentos etc.) - são substancialmente diferentes dos resultados em que a energia comprada (F) foi considerada em valores monetários (possivelmente, agregando os custos monetários destes dados não conseguidos). O valor de energia é bastante pequeno ao se considerar somente os recursos físicos ($1,42E+05$ sej/ano - o menor somatório dentre todos os recursos), mas ao considerar valores monetários aos recursos comprados, os resultados energéticos aumentam conforme o aumento do recurso financeiro. É importante salientar que os valores de exergia do trabalho e dos materiais decorrentes do levantamento efetuado fazem parte daqueles inferidos pela avaliação da relação energia/R\$, ou seja, nos cenários de “Investimento R\$”, o valor do Investimento Físico está incluso.

4.2.1. Cálculo dos Índices Emergéticos

Pela Tabela 4.2 tem-se uma Taxa de Investimento Emergético (EIR) quase nula, no Cenário de Investimento Físico, o que significa que os recursos comprados, quase nada se comparam com os recursos diretamente providos pela natureza.

A Taxa de Rendimento Emergético (EYR) no Cenário Físico apresentou o valor de 113,93, ou seja, o custo-benefício parece ser favorável à construção do CHE Belo Monte, se fossem estas as reais condições. Este valor elevado explica-se por esse cenário não ter levado em conta impactos sociais e ambientais, bem como outros materiais relativos ao projeto, dados estes que foram contemplados nos Cenários de Investimento R\$. No entanto os resultados obtidos com a introdução do valor do investimento os números não ficam tão convidativos.

A Taxa de Carga Ambiental (ELR) para o Cenário de Investimento Físico foi de 8,42, ou seja, este baixíssimo valor mostra que o peso da produção de eletricidade pelo CHE Belo Monte, recai todo sobre os recursos renováveis.

O Índice de Sustentabilidade Emergética (ESI) para o AHE Belo Monte, considerando o Cenário de Investimento Físico é de 8,42. Entretanto, isto só significaria que o projeto é sustentável se o Cenário fosse outro, levando em conta todos os dados de energia comprada, os quais não foram encontrados para serem inseridos no cálculo.

A Transformidade neste caso de Cenário de Investimento Físico teve um valor relativamente baixo ($7,40E+03$ sej/J) se comparado aos valores dos demais Cenários. A transformidade da UHE de Tucuruí (BROWN, 1985) é menor: $1,65E+05$ sej/J, ou seja, comparada à UHE Tucuruí, o CHE Belo Monte nas circunstâncias do Cenário de Investimento Físico, precisa de mais investimentos monetários por joule de eletricidade produzido.

Como mostra a Tabela 4.2., dentre os Cenários de Investimento R\$, os valores do Cenário de Investimento de R\$ 19 bilhões, índices são os que possuem menos discrepância com os valores do Cenário de Investimento Físico, justamente pelo valor atribuído aos recursos comprados é relativamente baixo.

No Cenário de Investimento de R\$25 bilhões, os índices mudam levemente em relação ao Cenário de R\$19 bilhões. Um dos índices que mais chamou atenção foi o de Sustentabilidade Emergética (ESI), que caiu para o valor de 1,24E+04.

O Cenário de Investimento de R\$ 30 bilhões é obviamente o que mais se diferencia do menor investimento financeiro. Sua Transformidade (Tr), por exemplo que no Cenário de Investimento R\$19 bilhões era de 1,13E+04 sej/J, com o Investimento de R\$ 30 bilhões ela aumenta para 1,35E+04 sej/J, mostrando que as entradas emergéticas seriam muito mais significativas que a energia da eletricidade produzida.

Assim, observa-se que os cenários relativos aos valores monetários variam conforme o valor do projeto. As variações entre os cenários R\$ são diretamente (linearmente) proporcionais ao investimento efetuado.

Pode-se dizer que o Cenário de Investimento Físico apresenta valores parciais dos Índices Emergéticos, não podendo ser comparado com os valores dos Cenários de Investimento R\$. Caso tivéssemos todas as informações quantificadas (impactos sociais, ambientais, materiais e maquinários para o projeto, etc.), provavelmente os valores dos índices para o cenário Físico e os de Investimento R\$ não fossem tão discrepantes.

4.3. Avaliação Energética

Neste tópico efetuou-se uma avaliação energética excluindo as fontes não renováveis gratuitas (N) e em seguida, incluindo a mesma, a fim de verificar sua importância no sistema. Esta verificação é importante uma vez que os dados referentes a fontes não renováveis “N” são gratuitas, isto é, não há um pagamento em dinheiro para o uso destes recursos, já que os recursos comprados (renováveis ou não) são somente aqueles representados por “F”. Uma vez que N é fornecido gratuitamente pela natureza, pode-se haver um excesso de seu uso nos sistemas produtores, o que pode significar um grande impacto ambiental (uso excessivo de recursos naturais que não se renovam).

Nesta etapa calculou-se ainda o índice EROI (Retorno Energético Sobre o Investimento) para os dois casos (excluindo e incluindo N).

Os Cenários da Avaliação Energética são os mesmos apresentados na etapa anterior: “Cenário Investimento Físico” onde somente se considera a energia referente aos atributos físicos das coisas compradas (F); os denominados “Cenários de Investimento Financeiro” são aqueles em que se contempla a energia comprada dentro do valor energético referente ao gasto monetário para o projeto, havendo três possibilidades de orçamento: 19, 25 e 30 bilhões de reais.

Tabela 4.4. Avaliação Energética

AVALIAÇÃO ENERGÉTICA					
		Cenário Investimento Físico	Cenário Investimento R\$ 19 b	Cenário Investimento RS 25 b	Cenário Investimento R\$ 30 b
Excluindo Energia Não Renovável "grátis"					
Energia renovável	R+R'	6,22E+15	6,22E+15	6,22E+15	6,22E+15
Energia não renovável*	N	0,00	0,00	0,00	0,00
Energia comprada	F	1,21E+14	4,61E+15	6,07E+15	7,29E+15
Σ energias de entrada	(R+R')+N+F	6,34E+15	1,08E+16	1,23E+16	1,35E+16
Eletricidade	Y	1,44E+17	1,44E+17	1,44E+17	1,44E+17
EROI- Retorno Energético Sobre o Investimento	(Y)/(R+R'+N+F)	22,7	13,3	11,7	10,7
Incluindo Energia Não Renovável "grátis"					
Energia renovável	R+R'	6,22E+15	6,22E+15	6,22E+15	6,22E+15
Energia não renovável*	N	5,32E+14	5,32E+14	5,32E+14	5,32E+14
Energia comprada	F	1,21E+14	4,61E+15	6,07E+15	7,29E+15
Σ energias de entrada	(R+R')+N+F	6,88E+15	1,14E+16	1,28E+16	1,40E+16
Eletricidade EROI- Retorno Energético Sobre o Investimento	Y	1,44E+17	1,44E+17	1,44E+17	1,44E+17
	(Y)/(R+R'+N+F)	21,0	12,7	11,2	10,3

Observando os resultados da Tabela 4.4, nota-se que o EROI apresenta valores distintos para cada Cenário. Nos cálculos da Avaliação que exclui os recursos naturais não renováveis (N), o índice apresentou maiores valores – em todos os cenários - comparados aos da Avaliação que inclui N, ou seja, no caso estudado, quanto menor for o uso de recursos não renováveis, maior

será o retorno energético. A maior diferença no que diz respeito à inclusão ou não de N, é vista nos Cenários de Investimento Físico e de Investimento de R\$19 bilhões.

Na Avaliação que desconsidera N, o Cenário de Investimento Físico teve o maior EROI: 22,7; nesta mesma Avaliação o Cenário de maior investimento financeiro apresentou-se o menor valor de todos (10,7). A situação é semelhante quando se inclui N na Avaliação: o maior Retorno Energético Sobre o Investimento é o do Cenário de Investimento Físico (21) e o menor corresponde ao Cenário de Investimento de R\$30 bilhões. Verificou-se, assim que, quanto maior se considera o valor monetário investido, menor o retorno energético sobre o investimento.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PRÓXIMOS TRABALHOS

O presente estudo precisou modificar sua expectativa inicial de não se valer de dados monetários na Análise Emergética. Esta Análise teve seu cálculo de energia comprada (F) prejudicado devido à falta de dados sobre equipamentos a serem utilizados somente durante a fase de construção do CHE de Belo Monte, e os materiais para construção de infra-estrutura da região: alojamento e residência para os trabalhadores e suas famílias, escolas, pontos de comércio, postos de saúde, áreas de lazer, estrutura de abastecimento de água, tratamento de esgoto, serviço de coleta e disposição do lixo que será gerado. Há ainda, os valores referentes aos custos ambientais e sociais do projeto. Os dados referentes a estes valores foram amplamente pesquisados, mas como não se conseguiu a quantificação de todos eles, optou-se por incluir análises considerando investimentos financeiros, os quais contemplam os dados do Investimento Físico, como já foi explicado nos capítulos 3 e 4. Logo, recomenda-se uma nova Análise Emergética com os valores físicos destes dados.

A transformidade (Tr) do projeto apresentou-se tão maior quanto maior o investimento financeiro. Quando se trata de um processo novo, no princípio a transformidade é muito grande porque os processos envolvidos são ainda muito primitivos do ponto de vista da eficiência. Assim, considerando um mesmo sistema de produção, quanto menor a transformidade mais otimizado está o sistema. Comparada à transformidade de Tucuruí, calculada em 1986 por Mark Brown (1,65E+06 sej/J) o CHE de Belo Monte é mais eficiente mesmo em seu cenário de R\$30 bilhões, apresentando valor de Tr igual a 1,35E+04 sej/J.

Na Avaliação Energética, calculou-se o Índice de Retorno Energético Sobre o Investimento, em duas situações: incluindo ou não a energia não-renovável gratuita (N). Como o EROI depende de todas as entradas energéticas e não particularmente de N, não houve grande diferença entre as duas situações analisadas.

Com a Análise Emergética também foi possível verificar o valor de energia perdida ou deixada de produzir pelo ecossistema, após a construção do empreendimento. Verificou-se ainda a energia referente ao trabalho que o ecossistema terá para neutralizar tais impactos ambientais.

Valores de emissão de gases do efeito estufa dos reservatórios não foram contabilizados

energética ou emergeticamente, devido à falta de dados sobre isto, não sendo possível quantificar se seria ou não um impacto ambiental significativo. Recomendam-se estudos sobre estas emissões, com resultados específicos para a construção de unicamente um CHE, no rio Xingu, isto é, do CHE de Belo Monte.

Uma vez construído o CHE de Belo Monte, a idéia da construção de usinas como Babaquara pode tornar a surgir, visto que ela regularizaria as vazões de Belo Monte, tornando o projeto muito mais vantajoso, em termos de produção de eletricidade. Sabe-se que grandes reservatórios em regiões de densas florestas, como a área em questão, configuram uma situação de grande quantidade de emissão de gases de efeito estufa, acarretando prejuízos à fauna local, que representa grande biodiversidade. Assim, recomenda-se o mesmo tipo de análise energética e emergética para o caso de Babaquara, visto que sua construção seria vantajosa em termos de produção de eletricidade da própria UHE Belo Monte. Como a biodiversidade da bacia hidrográfica do Rio Xingu ainda não pode ser descrita como totalmente conhecida, pode-se cogitar prejuízos locais ou até mesmo globais, no caso de existir espécies endêmicas de determinado local da bacia. A questão de impactos diretamente relacionados à fauna, também não pôde ser contabilizado emergeticamente devido ao desencontro de informações. Recomenda-se, portanto, que futuros estudos sejam realizados a respeito da biodiversidade daquela região bem como a energia envolvida.

Mais do que verificar o retorno emergético do CHE de Belo Monte, este trabalho foi importante para demonstrar a estrutura de uma Análise Energética e Emergética para um empreendimento hidrelétrico, tão grande, complexo e controverso como este.

Referências

AAI a- Avaliação Ambiental Integrada. **Aproveitamentos Hidrelétricos da Bacia do Rio Xingu**. Vol.I. ELETROBRÁS: São Paulo. 2009. 201pp.

AAI b- Avaliação Ambiental Integrada. **Aproveitamentos Hidrelétricos da Bacia do Rio Xingu**. Vol.II. ELETROBRÁS: São Paulo. 2009. 183pp.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/>> . Acesso em: dez.2010.

ALTVATER, E. **Introdução: Porque o desenvolvimento é contrário ao meio ambiente. O Preço da Riqueza**. São Paulo: UNESP, 1995: 11-41.

BERMANN, Célio. **O Brasil não precisa de Belo Monte**. 2002. Disponível em: <http://www.amazonia.org.br/opiniao/artigo_detail.cfm?id=14820>. Acesso em: nov. 2008.

BIODIVERSITAS. Disponível em: <http://www.biodiversitas.org.br/atlas/peixes.pdf>. Acesso em dez. 2010.

BRANDT-WILLIAMS, S. L. **Handbook of Emergy Evaluation: A Compendium of Data for Emergy Computation. Issued in a Series of Folios . Folio #4 (2nd printing). Emergy of Florida Agriculture**. Center for Environmental Policy Environmental Engineering Sciences. University of Florida Gainesville. 2001. Revised in 2002.

BROWN, M.T. **Energy Analysis of a Hydroelectric Dam near Tucuruí. p. 82-91.9pp. 1986.**

BROWN, M.T. AND ARDING, J., 1991 - **Transformity working paper**. Center for Wetlands, University of Florida, Gainesville, USA.

BROWN, M. T.; ULGIATI, S. **Emergy evaluations and environmental loading of electricity production systems**. Journal of Cleaner Production 10 (2002) 321–334.

BROWN, M. T.; MCCLANAHAN, T. R.. **EMergy analysis perspectives of Thailand and Mekong River dam Proposals**. Ecological Modelling 91 (1996) 105-130.

CAMPBELL, D. An Emergy Glossary. In: **Environmental Accounting- Emergy and Environmental Decision Making**. John Wiley and Sons, Inc. New York, University of Florida, Gainesville.1996. 370p.

CARLOS, V. M. **Portal de Ecologia**. Acessado em: dez.2010. Disponível em: http://ecologia.ib.usp.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=56&Itemid=252.

CARPIO, J. M. **Hidrologia e Sedimentos**. In: Switkes, Glenn -Águas Turvas: Alertas sobre as consequências de barrar o maior afluente do Amazonas/Glenn Switkes, organizador; Patrícia Bonilha, editora – São Paulo: International Rivers, 2008. p. 50, 68, 87 e 88.

CRESESB. Disponível em: <www.cresesb.cepel.br> Acesso em Nov.2010.

CUNHA, J. M.; LIMA, F.C.T.; ZUANON, J.A.S.; BIRINDELLI, J.L.O.; BUCKUP, P.A.; **Avaliação do EIA-RIMA- Ictiofauna (2)**.p.148. . Painel de Especialistas- Análise Crítica do Estudo de Impacto Ambiental do Aproveitamento Hidrelétrico de Belo Monte; out.2009; Belém.230pp.

DICIONÁRIO AMBIENTAL BÁSICO: INICIAÇÃO À LINGUAGEM AMBIENTAL. 2.ed. São Carlos : Suprema, 2005. P.33.

DICIONÁRIO MICHAELIS. Disponível em: <<http://michaelis.uol.com.br/moderno/portugues/>>. Acesso em: Nov. 2010.

ECOPOLÍTICA. **Belo Monte não é um problema ambiental. É técnico, político e jurídico**. Disponível em: <http://www.ecopolitica.com.br/2011/01/27/belo-monte-nao-e-um-problema-ambiental-e-tecnico-politico-e-juridico/>. Acesso em: Fev. 2011.

ELETROBRÁS. Centrais Elétricas Brasileiras. SIPOT – Sistema de Informação de Potencial Hidrelétrico Brasileiro. Rio de Janeiro. 2003.

ELETRONORTE, Equipe técnica. **O Brasil precisa de Belo Monte**. 2002. Disponível em <http://www.amazonia.org.br/opiniaio/artigo_detail.cfm?id=14806>. Acesso em: nov. 2008

_____. b, Equipe técnica. **Complexo Hidrelétrico Belo Monte e sua inserção regional**
Disponível em:

<http://www.amazonia.org.br/guia/detalhes.cfm?id=26382&tipo=6&cat_id=38&subcat_id=158>. Acesso em set. 2009.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). **Balanco Energético Nacional 2009: Ano base 2008**. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro. EPE: 2009. 274p.

ESTADÃO. Disponível em:

<http://www.estadao.com.br/estadaodehoje/20100411/not_imp536723,0.php>. Acesso em Nov. 2010.

FEARNSIDE, P.M. **Avança Brasil: consequências ambientais e sociais na Amazônia**. 2001.

Disponível em:

<http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/2001/Avanca%20Brasil%20Consequencias%20Ambientais.pdf>. Acesso em: nov. 2008.

FEARNSIDE, P. M.(a) **Emissões de Gases de Efeito Estufa de um Reservatório Hidrelétrico (A Represa de Tucuruí) e as suas Implicações para Política Energética**. INPA. Manaus-AM. 2002. 42 pp.

_____. (b) **Impactos ambientais da barragem de Tucuruí: lições ainda não aprendidas para o desenvolvimento hidrelétrico na Amazônia**. 2002. 35p.

_____. (c) **Impactos sociais da hidrelétrica de Tucuruí**. 2002. 24p.

_____. **Emissões de Gases de Efeito Estufa por Represas Hidrelétricas: Controvérsias Fornecem um Trampolim para Repensar uma Fonte de Energia Supostamente "Limpa"**. INPA. Manaus – AM. 2004. 9 pp.

_____. **Barragens na Amazônia: Belo Monte e o Desenvolvimento Hidrelétrico da Bacia do Rio Xingu**. INPA. Manaus-AM. 2005. 20pp.

_____. Capítulo 8: Hidrelétricas planejadas no rio Xingu como fontes de gases do efeito estufa: Belo Monte (Kararaô) e Altamira (Babaquara) In: SEVÁ Fº, A.O. (org). **Tenotã-mo - Alertas sobre as conseqüências dos projetos hidrelétricos no rio Xingu.** 2005.

_____. Belo Monte e os Gases de Efeito Estufa 10: Características das Barragens no Xingu. 2010.

FREITAS, Eduardo de (a). **Economia do Pará.** Disponível em: <http://www.brasilecola.com/brasil/economia-para.htm>. Acesso em out. 2009.

FREITAS, Eduardo de (b). **Economia do Mato grosso.** Disponível em: <http://www.brasilecola.com/brasil/economia-mato-grosso.htm> Acesso em: out.2009.

FREITAS, M. A. V.; SOITO, J. L. S. **Energia e Recursos Hídricos: possibilidades de adaptação de energia hidrelétrica no Brasil às mudanças climáticas globais.** In: Parcerias Estratégicas. Brasília, DF. N.27. Dezembro 2008. p.177-215.

FUMEAUX, I. Capítulo .7.2. Informe sobre a “Vazão ecológica” determinada para a Volta Grande do rio Xingu. In: SEVÁ Fº, A.O. (org). **Tenotã-mo - Alertas sobre as conseqüências dos projetos hidrelétricos no rio Xingu.** 2005.

GALINDO, J. **A Questão da Sustentabilidade Econômica e Sócio-ambiental dos Programas de Eletrificação Rural no Nordeste Brasileiro.** IV Encontro Nacional da ANPPAS, GT: Energia e Ambiente, Brasília, DF, 4 a 6 de junho, 2008.

GOLDENBERG, J. **Energia, meio ambiente e desenvolvimento.** São Paulo: USP, 1998.

HAUKOOS, D.S. **Na emergy analysis of various construction materials.** Class report ENV 6905, Environmental Engineering Science, unde Dr. Mark T. Brown supervision. 1994.

HORTA NOGUEIRA, L.A. **Energy Balance for Alcohol Production from Sugar Cane** (in Portuguese) - Ph.D. Dissertation - State University of Campinas – Brazil – UNICAMP. 1987.

IAC. Instituto Agronômico de Campinas. 1997.

IBGE. Censo demográfico Pará 2000.

http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2000/ufs.php?tipo=31o/tabela13_1.shtm. Acesso em: out. 2009.

JUNK, Wolfgang J.; MELLO, J. A. S. Nunes de. Impactos ecológicos das represas hidrelétricas na bacia amazônica brasileira. **Estud. av.**, São Paulo, v. 4, n. 8, Apr. 1990. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40141990000100010&lng=en&nrm=iso>. access on 04 Mar. 2010. doi: 10.1590/S0103-40141990000100010.

LUCAS, E.W. M. **Aplicação de Modelos Hidrológicos Determinístico e Estocástico Mensais na Bacia Hidrográfica do Xingu – Pará**. Campina Grande-PB. 2007. Dissertação apresentada ao programa de Pós-graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para obtenção do Grau de Mestre.

LUIZÃO, F. **LBA: Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia**.

Disponível em: < <http://lba.cptec.inpe.br/lba/site/?p=degradacao&t=0> > Acesso em: dez.2010.

MEDEIROS, H. F. **Avaliação de Impactos do Projeto de Aproveitamento Hidrelétrico de Belo Monte Sobre a Vida Selvagem, Incluindo Implicações Socioeconomicas**. p.1671-83. Painel de Especialistas- Análise Crítica do Estudo de Impacto Ambiental do Aproveitamento Hidrelétrico de Belo Monte; out.2009; Belém.230pp.

MONGABY. Disponível em: <<http://pt.mongabay.com/rainforests/0103.htm>> . Acesso em: dez. 2010.

MORAN, M.J., and SHAPIRO, Howard. N. – **Fundamentals of Engineering**

Thermodynamics. John Wiley and Sons – 5th Edition – 2006 –Cap 7 – Exergy Analysis - pg 273

MOURÃO, E. **Glossário de termos botânicos**. 2003. Disponível em:

<<http://edmourao.atspace.com/dic.html>. > Acesso em: dez. 2010.

NOBRE, C. A. **Mudanças Climáticas e o Brasil – Contextualização**. In: Parcerias Estratégicas / Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Vol. n. 27. Dez. 2008.

ODUM, H. T. 1995. **Emergy and Policy**. John Wiley & Sons, Inc, N.Y.

_____. **Environmental Accounting- Emergy and Environmental Decision Making**. John Wiley and Sons, Inc. New York, University of Florida, Gainesville.1996. 370p.

_____. **Emergy Evaluation**. International Workshop on Advances in Energy Studies: Energy flows in ecology and economy, Porto Venere, Italy, May 27,1998.

ODUM, H. T.,BROWN, M. T., Sherry Brandt-Williams. **Handbook of Emergy Evaluation -A Compendium of Data for Emergy Computation. Issued in a Series of Folios -Folio #1 - Introduction and Global Budget**. Center for Environmental Policy. Environmental Engineering Sciences. University of Florida. Gainesville. 2000.

ORTEGA. **Ecosistemas e Políticas Públicas** .Versão em português na Internet (1997):
Laboratório de Engenharia Ecológica .Unicamp, CP 6121 Campinas-SP, Brasil
<http://www.unicamp.br/fea/ortega/eco/index.htm>

Tradução e adaptação para internet de "**Environmental Systems and Public Policy**". H. T. Odum, E.C. Odum, M.T. Brown, D. LaHart, C. Bersok, J. Sendzimir, Graeme B. Scott, David Scienceman y Nikki Meith (1987): Ecological Economics Program. University of Florida, Gainesville 32611, USA

ORTEGA HOME PAGE. 2000. Disponível em:
<http://www.unicamp.br/fea/ortega/curso/transformid.htm>. Acesso em: dez.2010.

PEREIRA, J. T. V., **Energia e Sustentabilidade**. IV Biennial International Workshop "Advances in Energy Studies": "Ecology-Energy Issues in Latin America". Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Campinas, São Paulo, Brazil, June 15-19, 2004.

PEREIRA, J.T.V. Informação pessoal. Programa de Pós Graduação em Planejamento de Sistemas Energéticos da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas, 2008.

PEREIRA, S. A. **Mudança Climática e Energias Renováveis**. 2002. Disponível em :
<<http://www.comciencia.br/reportagens/clima/clima12.htm>>. Acesso em: jun. 2009.

PIMENTEL, D. *et alli*.1995.

PINTO, L.E. Capítulo 4. Grandezas e Misérias da Energia e da Mineração no Pará. In: SEVÁ Fº, A.O. (org). **Tenotã-mo - Alertas sobre as conseqüências dos projetos hidrelétricos no rio Xingu**. 2005.

PROBIO. **Programa de biodiversidade**. UFSCar. Universidade Federal de São Carlos. Acesso em dez. 2010. Disponível em: http://www.ufscar.br/~probio/info_macrof.html.

PROPRIEDADES DA ÁGUA DO MAR. Acesso em dez, 2010. Disponível em: http://webserver.mohid.com/UnivLusofona/biomar1/Aulas/bm1_mod3.pdf.

RIMA AHE BELO MONTE. Relatório de Impacto Ambiental. **Aproveitamento Hidrelétrico de Belo Monte**. ELETROBRÁS: 2009.197pp.

ROMITELLI, M. S. **Metodologia energética para o planejamento e gestão de bacias hidrográficas**. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2000.

RUPERT, E.E. E BARNES, R. D. **Zoologia dos invertbrados**. Tradução Paulo Marcos Oliveira. 6. ed. São Paulo : Rocca, 1996. P.G-2.

SANTOS, S.M.S.B.M.; HERNANDEZ, F.M.(org.); **Painel de Especialistas- Análise Crítica do Estudo de Impacto Ambiental do Aproveitamento Hidrelétrico de Belo Monte**; out.2009; Belém.230pp.

SANTOS, G.M.(a). **Análise do EIA-RIMA-Ictiofauna (I)**. p. 138. Painel de Especialistas- Análise Crítica do Estudo de Impacto Ambiental do Aproveitamento Hidrelétrico de Belo Monte; out.2009; Belém.230pp.

_____ (b). **Impacto sobre quelônios e mamíferos aquáticos**. p.161. Painel de Especialistas- Análise Crítica do Estudo de Impacto Ambiental do Aproveitamento Hidrelétrico de Belo Monte; out.2009; Belém.230pp.

_____. **Pesca e Ictiofauna no Rio Madeira.** In: Switkes, Glenn -Águas Turvas: Alertas sobre as consequências de barrar o maior afluente do Amazonas/Glenn Switkes, organizador; Patrícia Bonilha, editora – São Paulo: International Rivers, 2008. p. 94 e 99 -101.

SECTAM – Núcleo de Hidrometeorologia da Secretaria Executiva de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente do Estado do Pará. Disponível em:
<<http://www.para30graus.pa.gov.br/index2.htm> >. Acesso em: setembro 2009.

SCIUBBA, E.; WALL, G. **A brief Commented History of Exergy From the Beginnings to 2004.** Int. J. of Thermodynamics ISSN 1301-9724 Vol. 10 (No. 1), pp. 1-26, March 2007.

SEROA DA MOTTA, R. **Padrão de Consumo, distribuição de renda e meio ambiente no Brasil.** Texto para Discussão N° 856, IPEA, Rio de Janeiro, 2002.

SHAPIRO, H.N. E . MORAN, M.J. Fundamentos da Termodinâmica para Engenharia. 2006.

SINISGALLI, P.A.A., 2005. **Valoração dos danos ambientais de hidrelétricas: estudos de caso.** Tese de doutoramento apresentado ao Instituto de Economia da Universidade de Campinas, sob a orientação do Prof. Dr. Claudio Shuller Maciel. Campinas, Jul. 2005, 213 p.

SWITKES, G. **A Pedra Fundamental da Hirsra.** In: Switkes, Glenn -Águas Turvas: Alertas sobre as consequências de barrar o maior afluente do Amazonas/Glenn Switkes, organizador; Patrícia Bonilha, editora – São Paulo: International Rivers, 2008. p. 16 e 20.

SWITKES, G. e SEVÁ Fº, A.O. Resumo Executivo. In: SEVÁ Fº, A.O. (org). **Tenotã-mo - Alertas sobre as consequências dos projetos hidrelétricos no rio Xingu.** 2005.

TERRAZUL. Disponível em:
<<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:wOkBGhX4SVwJ:www.terrazul.m2014.net/spip.php%3Farticle390+vida+util+hidreletrica&cd=6&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br> > Acesso em Nov. 2010.

THOMÉ, José Lauro. **Um grande projeto na Amazônia: Hidrelétrica de Balbina – um fato consumado**. Manaus: Editora da Universidade do Amazonas, 1999. 180pp.

TRONCONI, P.A., VALOTA, R., AGOSTINELLI, M. RAMPI, F.,
“Pianeta in prestito . Energia, entropia, economia” Poggio: Editora Macroedizioni,1991.
(trecho traduzido por A.Oswaldo Sevá Filho)

ULGIATI. **Emergy Accounting of Hydro-Electric Production in Italy**.

VILANI, R. E MACHADO, C J S. **Energia e Meio Ambiente no Programa de Aceleração do Crescimento (PAC): uma Análise Crítica**. IV Encontro Nacional da ANPPAS, GT: Energia e Ambiente, Brasília, DF, 4 a 6 de junho, 2008.

VIOLA, E. **A Globalização da Política Ambiental no Brasil, 1990-1998**. XXI International Congress of the Latin American Studies Association, Panel ENV 24, Social and Environmental Change in the Brazilian Amazon; The Palmer House Hilton Hotel, Chicago, USA, 24-26 de Setembro de 1998.

WIKIPEDIA. Disponível em: < http://en.wikipedia.org/wiki/Wind_turbine#Record-holding_turbines.> Acesso em dez. 2010.

WIND ENERGY PLANNING. Disponível em: < <http://www.windenergyplanning.com/wind-turbine-efficiency/>>. Acesso em dez.2010.

APÊNDICE A – Símbolos Emergéticos

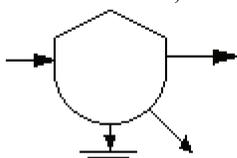
A seguir, os símbolos com os caminhos usuais de conexão, reunidos por ORTEGA (1997) em sua tradução adaptada para a internet do livro de Odum *et alli* (1987) : “Environmental Systems and Public Policy”.

 **Caminho Energético -**
fluxo de energia ou materiais.



Fonte de Energia -

energia que acompanha cada recurso usado pelo ecossistema, como o sol, o vento, as marés, as ondas nas praias, a chuva, as sementes trazidas pelo vento e pelas aves.



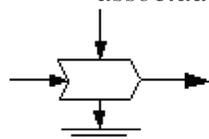
Depósito -

é um lugar onde a energia se armazena. Ex: recursos como biomassa florestal, solo, matéria orgânica, água subterrânea, areia, nutrientes, etc.



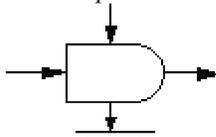
Sumidouro de Calor -

energia dispersa e que não pode ser reutilizada, como a energia solar não aproveitada durante a fotossíntese, e o calor que sai pelo metabolismo animal. Estas dispersões estão associadas a depósitos, interações, produtores, consumidores, e símbolos de interrupção.



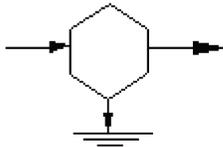
Interação -

processo que combina diferentes tipos de fluxo de energia e de materiais.



Produtor -

unidade que faz produtos a partir de energia e materiais primários, como árvores, colheitas ou fazendas.



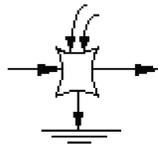
Consumidor -

unidade que utiliza os produtos fabricados pelos produtores, como insetos, gado, microorganismos, seres humanos e cidades.



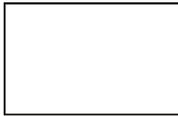
Transação -

intercâmbio comercial de dinheiro para energia, materiais ou serviços prestados.



Interruptores -

processo que inicia e termina, que não é constante, como um incêndio ou a polinização das flores



Caixa -

símbolo para definir os limites de um sistema, subsistema, etc

APÊNDICE B – Referências de Dados

Tabela Apêndice B: Referência dos Dados (Apresentados na Tabela 4.1 “Banco de Dados - Características técnicas do Projeto do CHE de Belo Monte e da Bacia do Rio Xingu”).

Referências dos Dados	
Item	Referência
Área total bacia	AAI a, 2009
Área dos reservatórios	RIMA AHE Belo Monte, 2009
Área de deplecionamento	Fearnside, 2005
Variação do nível d'água	Fearnside, 2005
Volume no nível máximo operacional normal	Fearnside, 2005
Volume no nível mínimo operacional normal	Fearnside, 2005
Volume de armazenamento vivo	Fearnside, 2005
Profundidade média	Fearnside, 2005
Tempo de residência média	Fearnside, 2005
Comprimento barragem principal	AAI a, 2009
Altura máxima barragem principal	AAI a, 2009
Comprimento TVR	RIMA AHE Belo Monte, 2009
Comprimento do reservatório	Fearnside, 2005
Comprimento do perímetro da margem	Fearnside, 2005
Número de turbinas (calha: tipo Bulbo; canais: tipo Francis)	AAI, a, 2009
Capacidade instalada	AAI a, 2009
Eletricidade produzida anualmente	Home page do Estadão, 2010
Consumo de água por turbina	Fearnside, 2005
Consumo de água total	Fearnside, 2005
Vazão média	Fearnside, 2005
Elevações	Fearnside, 2005
Nível máximo operacional normal	Fearnside, 2005
Nível mínimo operacional normal	Fearnside, 2005
Nível do vertedouro	Fearnside, 2005

Tabela Apêndice B: Referência dos Dados (Continuação)

Referências dos Dados	
Item	Referência
Nível do canal de adução	Fearnside, 2005
Eixo da entrada das turbinas	Fearnside, 2005
Área de drenagem	Fearnside, 2005
Evaporação anual	Fearnside, 2005
Precipitação anual	Fearnside, 2005
Localização	Fearnside, 2005
Vida útil do CHE Belo Monte	Terrazul, 2010
Tempo de construção da CHE Belo Monte	RIMA AHE Belo Monte, 2009
Mão-de-obra	AAI b, 2009
Energia da Radiação solar na região Altamira	CRESESB, 2010
Albedo	IAC, 1997
Velocidade do vento na região Altamira	CRESESB, 2010
Eficiência turbina eólica	Wind Energy Plannig, 2010
Diâmetro turbina eólica	Wikipedia, 2010
massa do diesel em kg	Fearnside, 2005
Carga de nitrogênio na bacia	AAI a, 2009
Energia do nitrogênio	Pimentel <i>et alli</i> , 1995
Carga de fósforo na bacia	AAI a, 2009
Energia do fósforo	Pimentel <i>et alli</i> , 1995
Sedimentos na bacia	AAI a, 2009
Energia dos sedimentos	Pimentel <i>et alli</i> , 1995
Matéria orgânica	Pimentel <i>et alli</i> , 1995
Energia da matéria orgânica	Pimentel <i>et alli</i> , 1995
Aço	Fearnside, 2005
Energia do aço	Horta Nogueira, 1987
Cimento	Fearnside, 2005

APÊNDICE C – Referências de Transformidades

Tabela Apêndice C: Referências para transformidades

Referências para transformidades

- [1] Odum, H. T. 1995
 - [2] Brandt-Williams, S.L. 2001 - Table 19 -p.26
 - [3] Brown, M.T. and Arding, J. ,1991
 - [4] Ortega home page, 2000
 - [5] Haukoos, 1994
 - [6] Labor Evaluation,1991 (Ulgiati *et alli*, 1995)
 - [7] Calculada no presente trabalho
-

ANEXO A – Aspectos sociais da questão energética

O desenvolvimento de diversas atividades humanas no mundo moderno está condicionado ao uso da energia elétrica. O acesso à eletricidade, além de ser um elemento de forte contribuição com o desenvolvimento sócio-econômico, é capaz de promover impactos positivos nos serviços de saneamento básico, saúde, entretenimento, entre outros (GALINDO, 2008). Mais que realizar o desenvolvimento de um local é importante a promoção do desenvolvimento sustentável, em uma alternativa à lógica de produção através da degradação ambiental e exploração do trabalho humano (VILANI E MACHADO, 2008).

Promover um desenvolvimento sustentável é essencial, pois assim é possível chegar mais perto de uma sociedade mais equitativa. As disparidades de renda entre os países só não são mais impressionantes do que as desigualdades de renda dentro de um mesmo país (GOLDEMBERG, 2008), como é o caso do Brasil. Tais diferenças refletem-se também nos usos que se faz de energia: os pobres utilizam os recursos energéticos para atividades de subsistência; já a elite, possui padrões energéticos orientados para o luxo (GOLDEMBERG, 2008). Mais especificamente, poderíamos citar que há os que utilizam energia para a sobrevivência básica, nos afazeres domésticos, e aqueles que demandam uma quantidade muito grande de energia para produção de mercadorias que nem sempre será utilizada por toda a população de um país, às vezes nem mesmo aquela afetada pela geração de tal energia.

Pesquisas (João, 1998; Pedro *et alli* 2004, Franzoni , 2008, etc.) mostraram que ao mesmo tempo em que a população aumentou em 15% num dado período, entre domicílios brasileiros, o nível de propriedade de bens duráveis convencionais, aumentou a níveis mais elevados. Isto conduz a um padrão de consumo mais intenso baseado em bens industriais, com maior intensidade de energia (SEROA DA MOTTA, 2002). Este pode ser o retrato de um país em pleno desenvolvimento. Entretanto é fundamental questionar como a energia para suprir esta demanda é gerada; com que tipo de mão de obra aqueles bens são produzidos; quem terá acesso a esses produtos; estas são apenas algumas das perguntas que traduzem a importância de um desenvolvimento com sustentabilidade.

ANEXO B – Aspectos socioeconômicos da região da bacia hidrográfica do Rio Xingu

B.1. População envolvida na bacia hidrográfica de Belo Monte

De acordo com o IBGE, a população do Estado do Pará é de 6192307 pessoas. Já a população de Mato Grosso é de 2504353 pessoas (IBGE, 2000).

B.2. Economia do Pará

Após três décadas de prostração de 30 anos, devido a decadência da exploração da borracha desde 1910, a Amazônia se recuperou. Ela foi chamada a participar do esforço da produção para atender as forças aliadas na Segunda Guerra Mundial. *“Exaurida a economia de guerra, em 1946, a elite dirigente da região percebeu que seu horizonte dependia de um fator essencial: a disponibilidade de energia.”* Apesar de abrigar a maior bacia hidrográfica do mundo (drenando 12% da água doce do planeta) a Amazônia não possuía nenhuma hidrelétrica (PINTO, 2005, p. 97).

Sua escassa energia provinha de máquinas a diesel, de funcionamento precário, sempre sujeitas à pane. Os blecautes eram constantes, e assim a economia não podia crescer. Com tal qualidade de energia nenhuma empresa de porte se instalaria ali e Belém, com quase meio bilhão de habitantes frequentemente ficava às escuras. Criou-se então uma Comissão Estadual de Energia e em seguida a Celpa (Centrais Elétricas do Pará), no início dos anos 1960, a qual foi incumbida de criar energia farta e barata para substituir as térmicas velhas, caras, de pequeno porte e ineficientes. A saída, obviamente, estava nos rios, até então completamente ignorados como fontes de energia, mas nada se realizou, concretamente, até que uma década depois técnicos japoneses foram despachados de Tóquio com uma missão: estudar a viabilidade da implantação da indústria de alumínio no Pará, em regime de urgência. Dependente em 80% do petróleo como fonte de energia, todo o mesmo importado, o Japão estava consciente de que não podia mais

produzir bens industriais de alta demanda energética, sobretudo o alumínio, o mais eletrointensivo de todos. Com a crise, o petróleo ficara caro demais e não havia possibilidade de encontrar sucedâneos em território japonês para manter intacto seu parque industrial. As fábricas de alumínio teriam que ser fechadas no Japão e reabertas em outros lugares, sendo o mais promissor desses locais situado a 20 mil quilômetros do território japonês, na foz da maior de todas as bacias hidrográficas, que, por isso mesmo, devia poder gerar energia para suprir a maior fábrica de alumínio do mundo (PINTO, 2005, pag. 97).

“Com adaptações e correções, o projeto japonês foi executado, tornando-se a mais bem-sucedida experiência de transferência industrial de todos os tempos.” Todas as 46 fábricas de alumínio nipônicas foram fechadas e a maior delas, a qual também mais rentável foi aberta e começou a funcionar, a 50 quilômetros de Belém, garantindo o atendimento de 15% da demanda de metal do Japão, com mais de 200 mil toneladas. (PINTO, 2005, p 97)

O Estado do Pará tem uma economia variada, baseada no extrativismo, além da agropecuária e da indústria. Os principais produtos agrícolas são a cana-de-açúcar, o milho, o arroz, o feijão, a pimenta-do-reino, a mandioca, o cacau, a laranja, as frutas silvestres e o palmito. Na pecuária, ganham destaque as criações de aves, bovino, suíno, eqüinos e bubalinos. A produção industrial prevalece no ramo alimentício, produtos relacionados à mineração, a qual se constitui a principal atividade e também a mais promissora (FREITAS a, 2009)

Os principais minérios extraídos são ferro, bauxita, manganês, calcário, ouro e estanho. Dentre os principais produtos de exportação o ferro corresponde a 31%, o alumínio, 22%, o minério de alumínio, 8,3%, caulim, a 7,1% e outros minérios, 7,9%. Dentre estes ainda pode-se citar a madeira correspondente a 13,5%, a celulose a 4,1% e pimenta, a 2%. O volume de exportação é de 4,8 bilhões de dólares contra 404, 4 milhões de dólares em importação (FREITAS a, 2009).

Pará chegará ao final da primeira década do século XXI com o produto mineral próximo da marca de US\$ 10 bilhões, vendido praticamente todo no mercado externo. Seria como se o PIB mineral do Estado dobrasse a cada dois anos na década. Em 2010 o Pará passará à frente de Minas Gerais, o maior minerador brasileiro ao longo dos últimos três séculos e a importância do Estado em 12 *commodities* se tornará mundial. Porém, ao tempo que representa quase 80% do valor do comércio internacional paraense, a produção mineral tem papel pouco expressivo na

formação da riqueza interna. “A mineração entra atualmente com 4% da receita estadual de impostos, graças às isenções e vantagens concedidas pela União aos exportadores de semi-elaborados. Mesmo com a quintuplicação do valor da produção na década, o peso da mineração será de 18% da renda tributária em 2010, segundo estimativa do governo do Estado.” (PINTO, 2005, p.96).

B.3. Economia do Mato Grosso

No Mato Grosso, a agricultura figura como principal atividade econômica, sendo a produção de soja e a de algodão, os destaques deste Estado. Os índices de produtividade agrícola chegam aos mesmos níveis da produção norte-americana, superando a média nacional (FREITAS b, 2009).

A composição do PIB do Estado é 40,8% do setor agropecuário, 40,2% o setor de serviços e 19% do setor industrial. O volume da exportação geral é de 151,6 milhões de dólares, advindo da exportação de soja e derivados, correspondente a 83%, madeira 5,6%, carnes, a 4,8% e algodão, correspondente a 3,3% (FREITAS b, 2009).

ANEXO C – Aspectos Referentes às Outras Hidrelétricas na Região Amazônica

C.1. Hidrelétrica de Balbina

Em fins da década de 70 emergiu a polêmica sobre a Hidrelétrica de Balbina. Para alguns, ela representava um novo modo de dinamizar o crescimento da região; mas também havia os que a consideravam mais uma obra que não trazia benefícios para a população local e regional, mas visava favorecer empresas vindas de fora (THOMÉ, 1999, p.2).

Esta usina localiza-se no rio Uatumã, em Presidente Figueiredo (AM). A principal razão para o projeto se fundamentou na crise do petróleo que alicerçou a nova política energética brasileira, a partir dos anos de 1970 (THOMÉ, 1999, p.55).

Segundo Thomé (1999, p.151), Balbina é parte de uma estratégia econômica e política ampla de um modelo desenvolvimentista de integração e segurança nacional, projetada por um Estado que atuou como planejador e empreendedor de projetos de grande escala, considerados meios imprescindíveis para a região atingir o estágio modernizado.

Com a explosiva aceleração da exploração da terra e dos recursos naturais de Rondônia surgiu a necessidade de expandir a geração de energia elétrica. Em 1989, ano de inauguração da represa de Samuel, construída no Rio Jamari, aquela já era incapaz de satisfazer as necessidades de energia do estado, apesar dos graves impactos sociais e ambientais que causou (SWITKES, 2008, p. 20).

C.2. Hidrelétrica de Tucuruí

A obra da hidrelétrica de Tucuruí bloqueou o rio Tocantins em 1974, inundou 2.430 km² incluindo parte da Área Indígena Parakanã (FEARNSIDE, 2002 c) e foi concluída em meados da década de 1980 (FEARNSIDE, 2002 b). A casa de força tem 4.000 MW de capacidade instalada em sua primeira fase (Tucuruí-I), que indo para 8.000 MW em uma segunda fase planejada (Tucuruí-II) (FEARNSIDE, 2002 c).

O contraste entre os benefícios potenciais de Tucuruí e os reais benefícios para o Brasil quase não poderia ser maior visto que este é um empreendimento que beneficia principalmente companhias multinacionais de alumínio. Esta obra é responsável por severos impactos, incluindo perda de floresta, deslocamento de povos indígenas e residentes ribeirinhos na área de submersão, e metilização de mercúrio, com conseqüências potenciais de saúde pública para a população local e para consumidores de peixe em centros urbanos como Belém (FEARNSIDE, 2002 b).

Houve deslocamento da população na área de inundação com subsequente realocação ocasionada por uma praga de mosquitos *Mansonia*. Como custo social cita-se ainda o desaparecimento da pescaria que sustentava, tradicionalmente, a população a jusante da barragem, além dos efeitos sobre a saúde decorrentes da malária (FEARNSIDE, 2002 c).

O alto custo financeiro e a quantidade reduzida de emprego produzido por Tucuruí causam distorções econômicas com impactos sociais de grande alcance, inclusive o custo de oportunidade de não ter usado os *recursos financeiros e naturais da nação de modo mais benéfico para a população local*. “No caso de Tucuruí, as autoridades sistematicamente subestimaram os impactos e sobre-estimaram os benefícios.” Apesar de muitas mudanças desde a construção de Tucuruí em 1984, os processos de tomada de decisões ainda precisam de reformas substanciais para que os impactos sociais, assim como os efeitos ambientais e outros, sejam plenamente considerados nas tomadas de decisões sobre projetos de desenvolvimento, e para que, quando projetos forem considerados dignos de implementação, os impactos que eles provocam sejam mitigados com justiça (FEARNSIDE, 2002 c).

C.3. Complexo Hidrelétrico do Rio Madeira

Estas duas plantas compõem projetos ligados à geração de eletricidade também na região amazônica. Da fragilidade e complexidade destes casos será feito um paralelo com o projeto hidrelétrico da presente pesquisa.

O Rio Madeira é responsável por 35% dos sedimentos e nutrientes que descem para o Rio Amazonas, o que o torna o principal afluente deste com relação à contribuição que faz à vida e à diversidade. Durante a época de cheia (de dezembro a maio), as águas do Madeira descem com ferocidade, corroendo suas margens, desenterrando e carregando árvores com os troncos inteiros. A Bacia do Madeira cobre aproximadamente 20% da extensão total da Bacia Amazônica. (SWITKES, 2008, p. 16).

O Complexo Hidrelétrico do Rio Madeira compreende a construção de quatro usinas, sendo duas em território brasileiro - a Usina Hidrelétrica de Santo Antônio e a Usina Hidrelétrica de Jirau -, localizadas nas proximidades de Porto Velho, capital de Rondônia. As outras duas usinas previstas seriam a binacional Guajará-Mirim (localizada na fronteira entre Brasil e Bolívia) e a denominada Cachuela Esperanza, em território boliviano. A capacidade da potência instalada nas primeiras usinas será de 3150MW (UHE de Santo Antônio) e 3300 (UHE de Jirau), totalizando 6450 MW de potência instalada, o que equivale a 4051 MW médios de energia firme. “*Essa energia atenderá a necessidade de incremento anual de oferta de energia elétrica da ordem de 3,3 mil MW médios no período de 2011 a 2015.*” (ANEEL, 2010). A energia prevista pelas duas usinas brasileiras será adicionada ao Sistema Interligado Nacional (SIN), razão pela qual será necessária a construção de linhas de transmissão, de forma a permitir o escoamento da energia gerada (ANEEL, 2010).

De acordo com a ANEEL (2009), a área a ser alagada é relativamente pequena em relação à capacidade de geração de energia da usina. No caso da UHE de Santo Antônio, o lago será de 217 km², sendo que desse total 164 km² correspondem à calha natural do Rio. O lago da UHE de Jirau terá 258 km², dos quais 122,5 km² também correspondem à calha natural. Para efeito de comparação, a UHE de Balbina, localizada na região Amazônica, tem potência de 250 MW e uma área alagada de 2.360 km². A UHE de Samuel, em Rondônia, tem potência de 217 MW e

área alagada 584 km², enquanto a UHE de Tucuruí, hoje com capacidade de geração de 8000 MW, tem um lago de 2.918 km² (ANEEL, 2010). Contudo, um alagamento, ainda que de uma área menor, será sempre um impacto de difícil mitigação, no que diz respeito aos inevitáveis deslocamentos da população local e à perda de espécies principalmente em áreas de florestas densas, tais como a região aqui tratada.

As usinas de Santo Antonio e Jirau são de baixa queda que operam sem necessidade de reservatório de acumulação. Por serem usinas de baixa queda, podem utilizar a tecnologia de turbinas tipo Bulbo: possibilitam a exploração do potencial hídrico da Amazônia, com menores impactos ambientais por permitir o aproveitamento de baixas quedas e altas vazões e possuem a vantagem de operar como descarregador de fundo, o que possibilita o escoamento da passagem de sedimentos que chegam às proximidades da tomada d'água (ANEEL, 2010).

Segundo a ANELL (2009), além de aumentar a oferta de energia do país, as usinas possibilitarão a geração de empregos na região, o desenvolvimento do estado de Rondônia, havendo ainda o benefício da receita com o ICMS para este estado. Adicionalmente, Porto Velho e o Governo do Estado passarão a receber a Compensação Financeira pela Utilização dos Recursos Hídricos, recursos estes que podem ser aplicados em segurança, saúde e educação (ANEEL, 2010).

Os Estudos de Impacto Ambiental das barragens de Santo Antonio e Jirau identificaram graves impactos, tanto para a natureza como para a sociedade do local (CARPIO, 2008, p. 50)

De acordo com Carpio (2008, p.68), as velocidades naturais de fluxo do Rio Madeira serão muito reduzidas perto das barragens e nas cachoeiras, mudança esta que terá efeitos sobre o processo de sedimentação: criará condições para que parte do sedimento que o Rio Madeira transporta seja depositado, o que por sua vez provocaria uma elevação adicional dos níveis de água. A mudança no regime hidráulico também afetará o meio aquático, ao transformar sistemas lóticos em sistemas semi-lênticos a lênticos (CARPIO, 2008, p. 68).

O Rio Madeira é um rio de “águas brancas”, cuja carga de sedimentos e de matérias dissolvidas tem origem predominantemente andina. (CARPIO, 2008, p. 87). Com a construção das usinas, o processo de sedimentação será especialmente ativo no trecho superior do reservatório de Jirau, onde possivelmente os níveis do leito e de água subirão vários metros em relação a situação atual. Entretanto, a sedimentação – bem como os efeitos sobre o nível de água -

será um processo gradual que se desenvolverá ao longo de vários anos, podendo existir o processo de “sedimentação natural” identificado pela modelação hidrosedimentológica. No entanto, as provas desse processo só poderiam vir de um programa de monitoramento de longo prazo, que deveria acontecer antes da construção das represas (CARPIO, 2008, p. 88).

A barragem provoca ruptura na estrutura e regime do rio, alterando o ciclo natural de cheia e vazante. Uma das conseqüências disto é o carregamento de uma quantidade menor de sedimentos, pela água liberada pela barragem, pelo fato de uma parcela ficar retida no reservatório, apresentando por isso uma “sobra” de energia, que acaba provocando erosão à jusante da barragem. Por sua vez, a maior erosão nas margens do rio pode acarretar prejuízos na fertilidade das águas e na estrutura dos solos, com implicações danosas para a pesca e até mesmo para a agricultura praticada as margens do rio. No caso do Rio Madeira, que drena uma extensa área de várzea, com terrenos pouco consolidados, isso pode ser particularmente danoso, visto que a maior parte da agricultura familiar é desenvolvida sobre eles (SANTOS, 2008, p.99).

A perda da carga de sedimentos neste trecho do Madeira (à jusante) poderá constituir-se também em redução das populações de camarão-de-água-doce (*Macrobrachium amazonicum*), espécie abundante neste rio e de extrema importância na cadeia alimentar desse sistema aquático. A instalação de barragem representará um obstáculo físico ao deslocamento dos peixes, que tentarão subir ou descer pelo canal do rio represado. Além disso, haverá uma redução da qualidade da água que chegará à jusante, proveniente das camadas mais profundas do reservatório, na qual os níveis de temperatura e oxigênio geralmente estão alterados, podendo causar desequilíbrios na vida dos peixes (SANTOS, 2008, p.99 e 100).

Embora o represamento do Madeira deva elevar seu nível pouco acima das maiores cheias registradas para a região, uma área relativamente grande de mata ciliar, bem como de floresta primária e secundária de terra firme e também de pastagens, será alagada. Depois de alguns meses sob efeito da água, seguirá então a morte da vegetação. Após 10 a 15 anos praticamente não restarão mais troncos mortos na área do reservatório. Portanto, durante alguns anos toda esta massa vegetal estará sendo degradada e seus elementos sendo incorporados ao sistema aquático, afetando toda a cadeia trófica. Nas fases iniciais ou mais intensas da decomposição e mineralização da matéria orgânica, há um grande consumo do oxigênio disponível no sistema,

além de produção de certos gases tóxicos, como o sulfeto de hidrogênio e o metano (SANTOS, 2008, p.101, 102).

Além de todos estes impactos, o Estudo de Impacto Ambiental deste projeto ainda indicou as modificações na organização sócio-política e mudanças na qualidade de vida da população; aumento da incidência de malaria; perda de ecossistemas para a avifauna; perda ou fuga de vários tipos de fauna em formações vegetais (CARPIO, 2008, p. 50).