

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL,
ARQUITETURA E URBANISMO**

**SUSTENTABILIDADE DE BARRAGENS E O
PLANEJAMENTO DE HIDRELÉTRICAS NA BOLÍVIA**

Autor: Rodrigo Hugo Gumiel Alcázar

Campinas - SP
2008

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E
URBANISMO

Rodrigo Hugo Gumiel Alcázar

**SUSTENTABILIDADE DE BARRAGENS E O PLANEJAMENTO
DE HIDRELÉTRICAS NA BOLÍVIA**

Orientadora: Profa. Dra. Ana Inés Borri Genovez

Co- Orientador: Prof. Dr. Abel Maia Genovez

Dissertação apresentada à comissão de Pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração de Recursos Hídricos Energéticos e Ambientais.

Campinas - SP
2008

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

G953s Gumiel, Rodrigo Hugo Alcazar
Sustentabilidade de barragens e o planejamento de hidrelétricas na bolívia / Rodrigo Hugo Alcazar Gumiel.
--Campinas, SP: [s.n.], 2008.

Orientadores: Ana Inés Borri Genovez, Abel Maia Genovez.

Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

1. Barragens. 2. Usinas hidrelétricas. 3. Sustentabilidade. I. Genovez, Ana Inés Borri. II. Genovez, Abel Maia. III. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. IV. Título.

Título em Inglês: Sustainability of dams and hydroelectric plants planning in Bolivia

Palavras-chave em Inglês: Dams, Hydroelectric Potential, Sustainability

Área de concentração: Recursos Hídricos Energéticos e Ambientais

Titulação: Mestre em Engenharia Civil

Banca examinadora: Sidney Lázaro Martins, Alberto Luiz Francato

Data da defesa: 26/11/2008

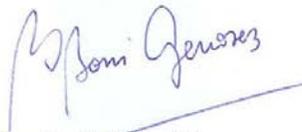
Programa de Pós Graduação: Engenharia Civil

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E
URBANISMO**

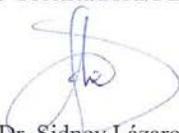
**SUSTENTABILIDADE DE BARRAGENS E O
PLANEJAMENTO DE HIDRELÉTRICAS NA BOLÍVIA**

Rodrigo Hugo Gumiel Alcázar

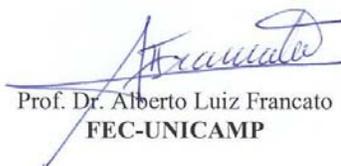
Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



**Prof. Dra. Ana Inês Bori Genovez
Presidente e Orientadora/FEC-UNICAMP**



**Prof. Dr. Sidney Lázaro Martins
THEMAG Engenharia e Gerenciamento**



**Prof. Dr. Alberto Luiz Francato
FEC-UNICAMP**

Campinas, 26 de Novembro de 2008

Dedicatória

A minha família: Hugo, Charo, Toño,
Cecília, Cristina e Nico, mais toda a família
Alcázar de Santa Cruz e Gumiel de Sucre.
Que desde Bolívia sempre me apoiaram e me
deram força para seguir avançando.

Agradecimentos

Muitas pessoas e instituições colaboraram para a realização desta dissertação, desta forma eu gostaria de prestar meus agradecimentos:

Ao Programa de Estudante Convênio de Pós-graduação (PEC-PG) do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de estudo fornecida. Sem sua ajuda não teria sido possível fazer o Mestrado.

Ao Serviço Nacional de Meteorologia e Hidrologia (SENAMHI) da Bolívia, Agência Nacional de Águas do Brasil (ANA) e a Subsecretaria de Recursos Hídricos da Argentina. Pelo fornecimento das vazões médias diárias para realizar a regionalização de vazões. A Empresa Nacional de Eletrificação (ENDE), ao Instituto de Pesquisas para o Desenvolvimento (IRD), à Prefeitura de Santa Cruz e a Superintendência de Eletricidade (SIE). Pelo fornecimento de dados da Bolívia, sem esses dados não teria conseguido alcançar o objetivo da dissertação.

A minha Orientadora a Dra. Ana Inés Borri Genovez, pelo apoio, a confiança e a amizade brindada em todo momento durante minha estadia no Brasil.

Ao meu Co-Orientador o Dr. Abel Maia Genovez, pela amizade e ajuda oferecida, especialmente para realizar a regionalização de vazões.

A Áurea Vaz Pedrozo, por tudo o carinho, apoio e força brindada nos momentos difíceis.

Aos colegas estrangeiros e da pós-graduação, por compartilhar suas vidas comigo.

Resumo

GUMIEL, Rodrigo Hugo A. **Sustentabilidade de Barragens e o Planejamento de Hidrelétricas na Bolívia**. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – Universidade Estadual de Campinas, 2008. 185 p. Dissertação (Mestrado).

A construção de barragens tem sido uma opção importante que foi utilizada por muitos países para atingir o desenvolvimento. Com o decorrer dos anos se constatou que as barragens produzem muitos benefícios e também impactos, pelo que se deve saber equilibrar na escolha e determinação dos novos projetos em função das necessidades existentes e sempre com o objetivo de atingir a sustentabilidade. Procurando um desenvolvimento sustentável futuro para Bolívia definiu-se como objetivo deste trabalho estimar o potencial hidrelétrico remanescente das diferentes bacias hidrográficas analisando e destacando os efeitos sobre o meio ambiente. Desta maneira, foi feito um estudo de regionalização para se determinarem as vazões e as curvas de permanência das vazões médias diárias, para avaliar o potencial hidrelétrico dos rios principais de cada bacia hidrográfica. O potencial hidrelétrico remanescente calculado da Bolívia foi de 68 GW, os quais estão concentrados na vertente leste da Cordilheira Oriental dos Andes, onde se identificaram quatro bacias com potencial individualizado de 21 GW. Os rios de planície demonstraram ter aptidão para aproveitamentos a “fio de água”. Este trabalho constitui um avanço na identificação e determinação de futuros aproveitamentos hidroelétricos sustentáveis, nele se podem encontrar as ferramentas para determinar o potencial hidrelétrico remanescente e a curva de permanência de qualquer bacia hidrográfica dentro da região de estudo na Bolívia. Também se definem os conceitos e as recomendações para a sua sustentabilidade.

Palavras chave: barragens, potencial hidrelétrico, regionalização da curva de permanência, sustentabilidade.

Abstract

GUMIEL, Rodrigo Hugo A. **Sustentabilidade de Barragens e o Planejamento de Hidrelétricas na Bolívia**. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – Universidade Estadual de Campinas, 2008. 185 p. Dissertação (Mestrado).

The construction of dams has been one important option that was used by many countries in order to reach the development. With elapsing of the years the dams has evidence that produce many benefits but also impacts, that's why must be a balance in the choice and determination of the new projects in function of the needs and always with the goal of reach the sustainability. Looking a sustainable development for Bolivia was defined as objective of this work esteem the remaining hydroelectric potential of the different basins analyzing and detaching the effect on the environment. In this way, a regionalization study was made to determine the outflows of the flow duration curves of the daily average outflows, in order to evaluate the hydroelectric potential of the main rivers of each basin. The calculated remaining hydroelectric potential of Bolivia was of 68 GW which is concentrating in the flowing east of the eastern Mountain range of Andes, has been identified four basins with individualized potential of 21 GW. The plain rivers had demonstrated to have aptitude for run-of river plants. This work constitute and advance in the identification and determination of future sustainable hydroelectric projects, inside could be find the tools to determine the remaining hydroelectric potential and the flow duration curve for any basin in the area of the study in Bolivia. Also were defined the concepts and the recommendations for made that projects sustainable.

Key words: Dams, Hydroelectric Potential, Regionalization of flow duration curves, Sustainability.

LISTA DE TABELAS

	Página.
TABELA 3.1 Exemplos de serviços e benefícios que geram as barragens.....	10
TABELA 3.2 Grandes enchentes do Rio Yangtze.....	12
TABELA 3.3 Escala potencial dos impactos das barragens.....	14
TABELA 3.4 Impactos das grandes barragens sobre os ecossistemas.....	16
TABELA 3.5 Exemplos de manejo de reservatórios estratificados no mundo.....	18
TABELA 3.6 Impactos das grandes barragens sobre a saúde.....	36
TABELA 3.7 Requisitos para uma barragem sustentável.....	45
TABELA 4.1 Produção dos diferentes tipos de energias em América do Sul.....	53
TABELA 4.2 Potencial hidroelétrico da Bolívia	58
TABELA 4.3 Empresas hidrelétricas que operam em Bolívia.....	61
TABELA 4.4 Características das unidades hidrelétricas de geração.....	62
TABELA 5.1 Bacias hidrográficas da Bolívia.....	70
TABELA 5.2 Estações fluviométricas.....	74
TABELA 5.3 Estações meteorológicas.....	75
TABELA 6.1 Características fisiográficas das bacias.....	102
TABELA 6.2 Planilha de resultados do MINITAB para a região I.....	104
TABELA 6.3 Equações resultantes da regionalização de vazões médias diárias...	109
TABELA 6.4 Erros percentuais da regionalização de vazões.....	111
TABELA 6.5 Potencial hidrelétrico remanescente das bacias da Bolívia.....	117

TABELA 6.6 Demanda Boliviana de eletricidade.....	120
TABELA 6.7 Descrição das numerações e as abreviaturas das bacias.....	125
TABELA 6.8 Caracterização da Bacia do rio Amazonas.....	126
TABELA 6.9 Caracterização das Bacias dos rios da Prata e Fechada.....	127
TABELA 6.10 Potencial hidrelétrico individualizado.....	137

LISTA DE FIGURAS

	Página.
FIGURA 3.1 Benefícios e Impactos das barragens.....	9
FIGURA 3.2 Mapa da região do Projeto das Três Gargantas.....	12
FIGURA 3.3 Deposição de sedimentos dentro de um reservatório.....	20
FIGURA 4.1 Evolução do consumo de energia por região (1973-2005).....	48
FIGURA 4.2 Evolução mundial do fornecimento de energia por combustível.....	49
FIGURA 4.3 Consumo mundial de energia no ano 2005.....	51
FIGURA 4.4 Potencial hidrelétrico específico de Bolívia.....	59
FIGURA 4.5 Sistema Interconectado Nacional de Bolívia (SIN).....	60
FIGURA 4.6 Crescimento do PIB da Bolívia (1980-2006).....	65
FIGURA 5.1 Bolívia na América Latina.....	68
FIGURA 5.2 Mapa das bacias hidrográficas da Bolívia.....	69
FIGURA 5.3 Área de interesse petrolero na Bolívia.....	76
FIGURA 5.4 Área protegidas da Bolívia.....	77
FIGURA 5.5 Área de interesse petrolero na Bolívia.....	78
FIGURA 6.1 Estações fluviométricas.....	100
FIGURA 6.2 Áreas fisiograficamente homogêneas da Bolívia (Regionalizadas).....	110
FIGURA 6.3 Curvas de permanência da Bacia do Rio Amazonas.....	114
FIGURA 6.4 Curvas de permanência da Bacia do Rio da Prata.....	115
FIGURA 6.5 Locais com Potencial hidrelétrico aproveitável na Bolívia.....	118
FIGURA 6.6 Demanda Boliviana de Eletricidade.....	121

FIGURA 6.7 Mapa de Áreas Protegidas e Terras Comunitárias de Origem.....	124
FIGURA 6.8 Mapa de AP e TCP da Bacia do rio Alto Beni.....	128
FIGURA 6.9 Mapa de AP e TCP da Bacia do rio Grande.....	130
FIGURA 6.10 Mapa de AP e TCP da Bacia do rio Parapetí.....	131
FIGURA 6.11 Mapa de AP e TCP da Bacia do rio Pilcomayo.....	132
FIGURA 6.12 Mapa de AP e TCP da Bacia do rio Bermejo.....	133

LISTA DE SIMBOLOS

A: Área de drenagem.

a_i : Constante

b : Constante

C: Constante

DD: Densidade de drenagem

DF: Graus de liberdade

E%: Erro porcentual

$E_{Q_{50}}$: Erro porcentual da vazão Q_{50}

$E_{Q_{95}}$: Erro porcentual da vazão Q_{95}

g : Aceleração da gravidade

H_a : Cota do talvegue no ponto mais a montante do rio principal.

H_b : Cota do talvegue do ponto mais a jusante do rio principal.

L: Comprimento do rio principal

MS: Quadrado médio

n : Número de amostras

η : Fator de rendimento

P: Precipitação média anual

p: Probabilidade (valores entre 0 e 1).

ρ : Massa específica da água

P_b : Potência bruta

P_h : Potencial hidrelétrico

Q: Vazão

Q_{50} : Vazão com 50% de probabilidade de ocorrência de um rio.

Q_{95} : Vazão com 95% de probabilidade de ocorrência de um rio.

R: Correlação de Pearson

R^2 : Coeficiente de determinação (R-sq)

S: Declividade média

SS: Soma de quadrados.

u: Coeficiente do ajuste da curva de permanência

US \$: Dólar dos Estados Unidos de América

v: Coeficiente do ajuste da curva de permanência

X: variáveis independentes

Y: Variável dependente

Y_i : Valor de Y observado.

\bar{Y} : Média dos valores Y.

\hat{Y} : Valor de Y correspondente a regressão.

LISTA DE ABREVIATURAS

ANA: Agência Nacional das Águas
ANOVA: Análise de Variância
ANEEL: Agência Nacional de Energia Elétrica
AP: Área Protegida
BOLFORII: Bolivia es Forestal.
CAD: Computer Aided Design
CMMAD: Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento
COBEE: Compañía Boliviana de Energia Eléctrica S.A.
CORANI: Empresa Eléctrica Corani S.A.
CWCR: Changjiang Water Resource Commission
DEA: Departamento de Engenharia e Meio Ambiente
DEAA: Divisão do Meio Ambiente
DNAEE: Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica.
ENDE: Empresa Nacional de Electrificación de Bolivia.
ENSO: El Niño Southern Oscillation.
EREC: Conselho Europeu de Energia Renovável.
EUA: Estados Unidos de América.
FOBOMADE: Foro Boliviano Médio Ambiente y Desarrollo.
HIDROBOL: Hidroeléctrica Boliviana S.A.
ICOLD: International Commission on Large Dams.
IEA: International Energy Agency.
IGM: Instituto Geográfico Militar.

IHA: International Hydropower Association.
INE: Instituto Nacional de Estadística.
IRD: Instituto de Investigación para el Desarrollo.
IWP&DC: International Water Power and Dam Construction.
MDN: Ministério de Defesa Nacional.
MDS: Ministério de Desarrollo Sostenible
MME: Ministério de Minas e Energias.
NERC: National Environment Research Council
NHL: Norwegian Hydrotechnical Laboratory
OECD: Organisation for Economic Co-operation and Development.
OLADE: Organização Latino Americana de Energia
ONUDI: Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial
PHICAB: Programa Hidrológico e Climatológico da Bacia Amazônica.
PNRH: Plan Nacional de Recursos Hídricos
PNUD: Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento.
PRONAR: Programa de Irrigación Nacional.
RAMSAR: Wetlands sites.
RIOELEC: Empresa Eléctrica Valle Hermoso S.A.
SENAMHI: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrologia.
SIN: Sistema Interconectado Nacional.
SIE: Superintendencia de Electricidad.
SIPOT: Sistema de Informações do Potencial Hidrelétrico Brasileiro.
SNA: Servicio Nacional de Aerofotogrametria.
SNE: Secretaria Nacional de Electricidad
SSS: Saxophone Sediment Sluicer
SPSS: Slotted Pipe Sediment Sluicer
S4: Serpent Sediment Sluicing System
TCO: Tierras Comunitárias de Origen
TGP: Projeto de Três Gargantas.
UDAPE: Unidad de Análisis de Políticas Sociales y Económicas.
UNAGRO: Unión Agroindustrial de Cañeros

UNEP: United Nations Environment Programme.

WCD: World Commission on Dams.

WHO: World Health Organization

SUMÁRIO

	Página.
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	5
3. PLANEJAMENTO DE BARRAGENS.....	7
3.1 Generalidades.....	7
3.2 Benefícios das barragens.....	8
3.3 Impactos produzidos pela construção de barragens.....	13
Impactos das grandes barragens sobre os ecossistemas.....	15
Impactos das grandes barragens sobre a saúde.....	35
Impactos sociais das grandes barragens.....	38
3.4 Sustentabilidade Ambiental das barragens.....	43
4. PLANEJAMENTO ENERGÉTICO.....	47
4.1 Generalidades.....	47
4.2 A energia hidrelétrica como fonte para atingir o desenvolvimento.....	50
4.3 A energia hidrelétrica na América do Sul.....	52
4.4 Características do modelo energético no Brasil.....	54
4.5 Características do sistema energético na Bolívia.....	57
5. MATERIAL E MÉTODO.....	67
5.1 Introdução.....	67
5.2 Descrição da Bolívia e levantamento de dados.....	67
5.3 Regionalização de vazões.....	79
5.3.1 Regionalização da curva de permanência.....	81

5.3.2	Utilização da regressão na regionalização de vazões.....	82
5.3.3	Método para determinar a curva de permanência.....	87
5.4	Estimativa do potencial hidrelétrico e sustentabilidade ambiental.....	89
6.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	99
6.1	Introdução.....	99
6.2	Regionalização da curva de permanência.....	99
6.3	Estimativa do potencial hidrelétrico.....	117
6.4	Sustentabilidade ambiental das barragens.....	123
6.4.1	Características naturais e usos múltiplos das bacias.....	124
6.4.2	Possíveis benefícios produzidos pela construção de barragens.....	135
6.4.3	Possíveis impactos diretos produzidos pela construção de barragens...	138
7.	CONCLUSÕES.....	145
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	149

1. INTRODUÇÃO

A finalidade do projeto de barragens é melhorar a qualidade de vida e do bem-estar do ser humano de forma sustentável. A construção de barragens pode ter muitos propósitos, como: o controle de enchentes, o abastecimento de água, a irrigação, a geração de energia, a navegação e a recreação. Segundo o relatório da “*United Nations Environment Programme*” (UNEP), no período de fevereiro de 2005 a maio de 2006, 40% das terras irrigadas no mundo dependiam das barragens, e destas terras são obtidos aproximadamente 17% da produção mundial de alimentos. Das mais de 45.000 grandes barragens do mundo, aproximadamente 20% foram construídas para fornecimento de água, e abastecem cidades como Manchester, Singapura, Hong Kong. A água para uso doméstico e industrial é fornecida por 12% das grandes barragens existentes. As barragens para geração hidrelétrica produzem de 17% a 19% da eletricidade mundial.

Segundo o Plano de Aplicação da “*Cumbre Mundial*” sobre o desenvolvimento sustentável realizado em Johannesburgo, Sul África, pela Organização de Nações Unidas (ONU, 2002), a energia hidrelétrica é uma das tecnologias energéticas mais limpas, eficientes, acessíveis e rentáveis necessária para os países em processo de desenvolvimento.

Vale ressaltar que as barragens não trazem somente benefícios, pois junto com os benefícios vêm os impactos que se refletem nos ecossistemas, na saúde e na sociedade. A “*World Commission on Dams*” (WCD) afirma que 61% dos rios do mundo estão fragmentados por barragens, 50% das planícies de inundação foram perdidas e 33% das espécies animais de água doce estão em perigo ou extintas (Pritchard, 2000). No entanto, sob o ponto de vista das mudanças climáticas globais, a hidroeletricidade é tida como uma alternativa pouco poluente que

contribui para a redução da emissão de gases de efeito estufa e, conseqüentemente, para a sustentabilidade ambiental do planeta (Ghilardi, 2003). Vladut (2000) também argumenta que a construção de barragens deve continuar, mas agora as novas barragens deverão ser construídas utilizando os conhecimentos sobre impactos ambientais, impactos contra a saúde e a sociedade. Desta forma é necessário redefinir o papel das barragens para poder garantir a sustentabilidade dos projetos futuros.

Segundo os dados de OLADE (“*Organización Latinoamericana de Energia*”), a América Latina tem um grande potencial hidrelétrico do qual só aproveita pouco menos da quarta parte e em muitos países esse potencial está quase intacto (Rios, 2006). O grande representante latino americano da hidroeletricidade é o Brasil, que deve grande parte de seu crescimento econômico ao uso da energia hidrelétrica com uma participação maior a 75% na produção de energia nacional. A partir do crescimento da produção da energia hidrelétrica se desenvolveu todo um pólo industrial no Estado de São Paulo que o converteu na capital industrial do Brasil e numa das cidades mais importantes de América Latina e do mundo.

De acordo com as características das finalidades das barragens, pode ser destacado que a construção em países como a Bolívia será fonte de desenvolvimento, mas para isso deve ser conhecido o seu potencial hidrelétrico. Neste sentido, é importante ressaltar que a Bolívia é um país com uma grande superfície, 1.098.581 km² e uma povoação pequena. De acordo com os dados do “*Instituto Nacional de Estadística*” (INE, 2008) são pouco mais de 10 x10⁶ de habitantes, os maiores centros urbanos nas décadas passadas não superavam 1x10⁶ de habitantes, e é por isso que não houve muito investimento na construção de barragens até os dias de hoje.

A grande quantidade de recursos hídricos, tanto superficiais como subterrâneos, têm sido aproveitados em uma escala muito pequena (Van Damme, 2002). Um dos mais importantes recursos nacionais é a água, elemento vital que apresenta grande contraste nas distintas regiões do país. Enquanto no sudeste se desenvolve uma dramática batalha para atingir este apreciado recurso, o noroeste é cenário de uma permanente luta contra o excesso de água, que causa perigosas enchentes. Este cenário é intensificado ainda mais com o fenômeno natural de “*El Niño*” e “*La Niña*”. Atualmente, a construção de barragens na Bolívia é realizada principalmente

para propósitos de irrigação, e em segundo plano vem a geração de energia, abastecimento de água para usos urbanos e também, para Projetos de uso múltiplo (Montes de Oca, 2005).

Segundo um estudo realizado pela “*Empresa Nacional de Electrificación*” (ENDE, [1993]) e outros Organismos Internacionais (ORSTOM, IRD, CONAPHI, UNESCO) o potencial hidrelétrico bruto da Bolívia alcança os 334 GW de potência, mas ninguém sabe da localização desse documento porque desapareceu dos arquivos da empresa [ENDE] no processo de privatização. Desta forma, só se tem conhecimento do potencial hidrelétrico pelos resultados do estudo que foram publicados nos diários de memória desta empresa.

De acordo com Montes de Oca (2005), a região com maior recurso hidroelétrico é a Cordilheira Oriental dos Andes, enquanto na região Amazônica boliviana os rios dispõem de grandes vazões, mas com pequenas quedas. Dado que os recursos hídricos estão pouco explorados na Bolívia, a potência instalada nas diferentes centrais hidrelétricas alcança os 475 MW com os quais se produz o 47% da energia do Sistema Interconectado Nacional (SIE, 2007), o que supera apenas o 1% do potencial hidrelétrico (Montes de Oca, 2005). O serviço de eletricidade não chega a muitas áreas rurais (INE, 2008), e os resultados do único estudo feito do potencial hidrelétrico nacional só é conhecido por referências bibliográficas e alguns mapas temáticos.

É imprescindível conhecer o potencial energético de um país com a finalidade de definir que caminhos optar para atingir o desenvolvimento. A Bolívia necessita de uma Matriz Energética similar a implantada no Brasil, a eletricidade é uma necessidade mundial, vital para o crescimento de um país em processo de desenvolvimento. É por isso que conhecer o potencial hidrelétrico nacional pode alcançar a ser de grande importância porque abriria oportunidades para fazer novos aproveitamentos hidroelétricos. Isto implicaria num incremento da oferta de energia que com um bom planejamento, se veria traduzida em novas fontes de emprego e na melhoria da qualidade de vida de todos os bolivianos.

Neste trabalho será feito um estudo de regionalização para determinar as vazões e as curvas de permanência das vazões médias diárias, com os quais será calculado o potencial

hidrelétrico dos rios principais de cada bacia hidrográfica. Também se identificaram os locais apropriados para a construção e aproveitamentos hidrelétricos. Finalmente se farão as considerações de sustentabilidade das barragens

2. OBJETIVOS

A proposta deste trabalho é estimar o potencial hidrelétrico remanescente das diferentes bacias hidrográficas analisando e destacando os efeitos sobre o meio ambiente, buscando atingir um desenvolvimento sustentável futuro para a Bolívia. Desta forma, o resultado desta avaliação poderá servir de apoio aos Estudos de Viabilidade de empreendimentos hidrelétricos, buscando otimizar de forma ordenada e racional, o aproveitamento dos recursos naturais nas bacias estudadas.

3. PLANEJAMENTO DE BARRAGENS

3.1 Generalidades

Segundo o relatório da “*World Commission on Dams*” (WCD, 2000) entre as décadas de 1930 a 1970 as barragens foram vistas como sinônimo de desenvolvimento, progresso e modernização. Os benefícios eram imediatos: energia elétrica mais barata, irrigação, controle de enchentes. Além disso, as barragens tinham benefícios secundários e terciários para justificar as enormes inversões como a geração de empregos locais, eletrificação rural, construção de rodovias e escolas.

As diretrizes para a construção de barragens adotadas no século XX, eram diferentes das empregadas atualmente. A maioria das grandes barragens que foram construídas na década de 1940 tinham seus projetos centrados na viabilidade econômica, ou seja, em saber qual seria o valor da energia a ser gerada e qual a quantidade de água disponível para a indústria e o preço. Neste sentido econômico, a pergunta era: seria útil gastar uma grande quantia de dinheiro para evitar o risco de enchentes? (Ford, 2005).

A partir de 1970, a construção mundial de barragens aumentou tanto que eram inauguradas duas a três barragens por dia. Essa década foi o ponto máximo da construção de barragens já que com o decorrer dos anos se foi ganhando experiência e se obteve maior informação sobre o desenvolvimento e desempenho delas. Na década de 1990, os impactos gerados pelas barragens sobre as bacias e nos ecossistemas foram o foco de artigos e publicações. Com tudo isso a construção de barragens foi vista como uma preocupação pública grave e

começou um debate global entre os custos e benefícios que elas traziam. Estima-se em 40×10^6 ou 80×10^6 o número de pessoas deslocadas por barragens, e também que 60% dos rios do mundo foram afetados ou desviados por algumas delas (WCD, 2000).

Atualmente, na maioria dos países se dá muita consideração ao impacto de qualquer projeto de barragem sobre as pessoas que moram dentro da área a ser inundada, na flora e fauna da bacia hidrográfica, e sobre tudo, à amplitude dos impactos ambientais (Ford, 2005).

Segundo a “*International Commission of Large Dams*” (ICOLD, 2006) as barragens podem ser classificadas em três tipos: (i) *grande barragem* com altura maior que 15 m e/ou com capacidade de armazenamento igual a $3.000.000 \text{ m}^3$; (ii) *pequena barragem* é aquela com capacidade de armazenamento até 100.000 m^3 contabilizando umas 100.000 pequenas barragens no mundo; (iii) *barragens com capacidade de armazenamento menor que 100.000 m^3* , que são milhões no mundo inteiro. A capacidade de armazenamento total de todas as barragens construídas é quase de 7.000 km^3 dos quais 98% são armazenados por grandes barragens.

3.2 Benefícios das barragens

No mundo inteiro se tem promovido barragens para satisfazer necessidades humanas como o fornecimento de água e a geração de energia. Outros benefícios que trazem as barragens são o desenvolvimento regional, criação de empregos, irrigação, recreação, controle de enchentes, a venda direta de eletricidade, ou com a venda de colheitas ou de produtos eletrointensivos (WCD, 2000). Na Figura 3.1, é possível ver alguns dos Benefícios e Impactos gerados pelas grandes barragens, a montante e a jusante delas. Entre os benefícios estão o fornecimento de água para uso urbano, a geração de energia hidrelétrica, a recreação e a irrigação. Já nos impactos, tem-se a sedimentação nos reservatórios, a produção de gases do efeito estufa, a perda do *habitat* e patrimônios culturais, o protesto de pessoas reassentadas, a erosão do leito do rio, a redução do estoque de peixes e a salinidade dos solos.

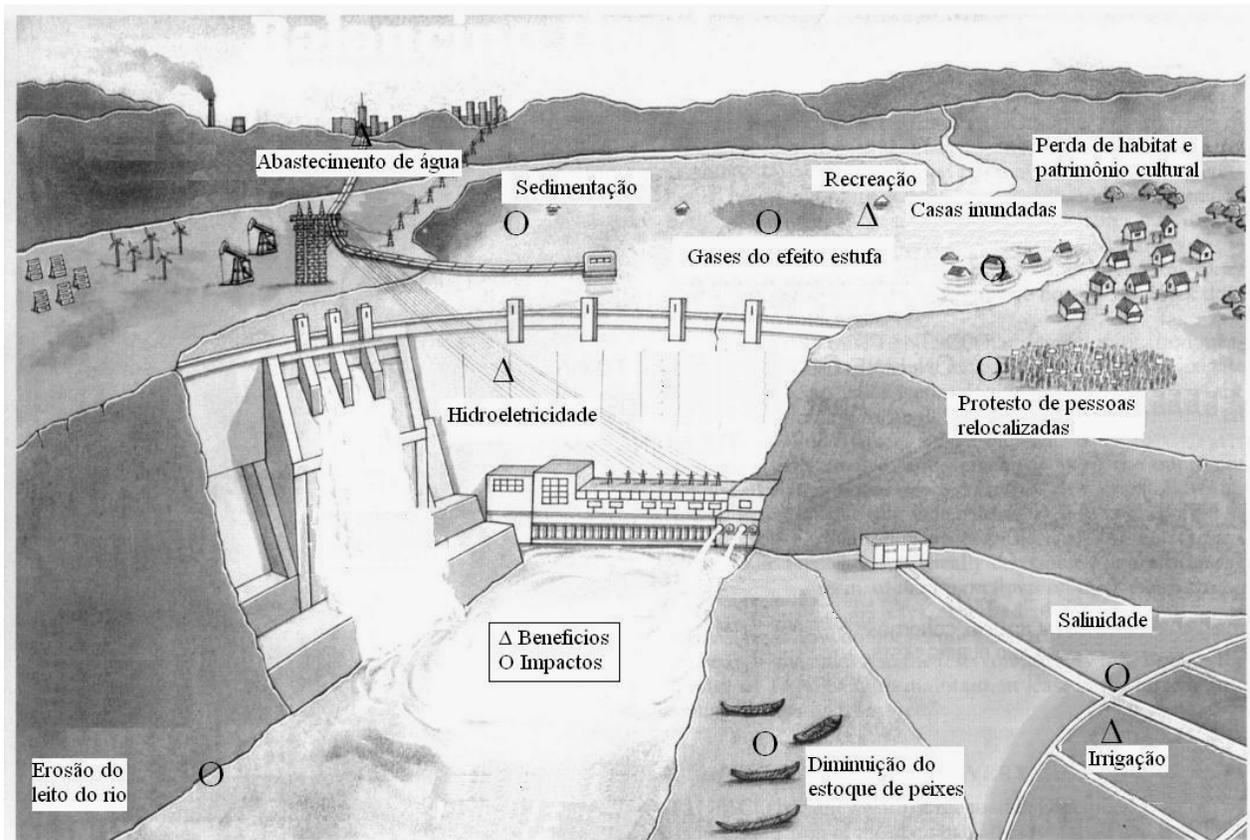


FIGURA 3.1 Benefícios e impactos das barragens.

Fonte: adaptado de Pritchard, 2000.

A Tabela 3.1, mostra o significado sócio-econômico gerado pelos serviços e benefícios da construção de oito grandes barragens e destaca os benefícios oriundos da construção dessas obras. A barragem de Grand Coulee (EUA) tem um reservatório de 333 km² de área capaz de armazenar 11794x10⁶ m³, enquanto o reservatório da barragem Kariba (Zâmbia e Zimbabuê) tem um área de 5,577 km² e um volume de 180600x10⁶ m³, o reservatório de Tarbela (Paquistão) inunda uma área de 260 km² com um volume de 13900x10⁶ m³, o volume do reservatório de Aslantas é de 1150x10⁶ m³ inundando uma área de 49 km², a barragem de Tucuruí (Brasil) tem uma área do reservatório de 2.875 km² armazenando um volume de 45,8x10⁶ m³.

TABELA 3.1 Exemplos de serviços e benefícios que geram as barragens.

Nome da barragem	Serviços e Benefícios	Significado sócio-econômico para os beneficiários
Bacia Glomma & Laagn (G&L) (Noruega).	Eletricidade: 10.145 GWh/ano (1998). Proteção contra enchentes	A eletricidade beneficiou a $1,3 \times 10^6$ de residentes na bacia, em indústrias. Houve, aumento dos ingressos públicos em US\$ 60 $\times 10^6$, em 1998, dos quais 80% foram na região de G & L; 2.350 pessoas, empregados permanentes, no setor de energia na bacia. Picos de enchentes diminuídos em 20%.
Grand Coulee (EUA) Barragem de concreto gravidade de 201m de altura.	Eletricidade 24.000 GWh/ano (1995-8) Capacidade instalada: 6809 MW Irrigação: 276.700 ha. Turismo: 3×10^6 de visitantes.	Fornecimento de energia para indústrias, agricultura e áreas urbanas; valor de produção: US\$637 $\times 10^6$ (1998). Mais de mil postos de trabalho criados para servir as principais 44 instalações turísticas e áreas de recreação na área do projeto.
Kariba (Zâmbia e Zimbabué) Barragem de concreto tipo Arco de 128m de altura.	Eletricidade: 3.860 GWh/ano (1996). Capacidade instalada: 1320 MW Turismo: 485.000 visitantes Pesca: 23.350 t. de karpenta do Lago Kariba Irrigação: 2.700 ha.	Abastecimento sobre todo o setor minero; centros urbanos e agricultores; Aumento do turismo mais 20 hotéis (umas 1.000 camas), depois de criado o reservatório. A pesca beneficiou às companhias de pesca comercial de karpenta [peixe de água doce] 450 postos permanentes e 3.000 ocasionais em planos de irrigação.
Tarbela (Paquistão) Barragem de terra e enrocamento de 148m de altura.	Irrigação: 9% do fornecimento total anual de água (22% na estação de seca) para os 18×10^6 de ha do sistema Indus Cap. instalada: 3478 MW Eletricidade: 15.100 GWh/ano (1998) Emprego em Tarbela.	Beneficiou a milhões de irrigantes e trabalhadores associados Proporcionou 28% da geração elétrica anual de Paquistão (rede nacional interconectada). 4.000 postos permanentes no projeto; emprego secundário na agroindústria e irrigação.
Gariiep e Vanderkloof (Sul África) As duas barragens são de concreto tipo Arco de 88m e 108m de altura respectivamente.	Área irrigada: 138.000-164.000 ha Eletricidade: 660GWh/ano (media 1971-1998) Capacidade inst.: 540 MW Fornecimento de água: 151M m^3/a Turismo: 200.000 visitantes.	40.000 postos de trabalho criados o conservados (trabalho regular e temporal combinado). Abastecimento da rede nacional mais fornecimento ao setor industrial e às cidades por meio de transferências entre bacias mais de 200 pessoas empregadas em 18 instalações recreativas identificadas (com ao menos 1.000 camas).
Aslantas (Turquia) Barragem de terra e enrocamento de 78m de altura.	Área irrigada: 84.000 ha. Eletricidade: 650 GWh/ano (media 1995-1999) Capacidade instalada: 138 MW.	Mais de 10.000 famílias agrícolas ou 80.000 pessoas. Valor bruto da produção US\$160 $\times 10^6$. Sustenta umas 100 unidades agroindustriais. Municipalidades e indústrias na bacia se beneficiam.
Tucuruí (Brasil) Barragem de concreto gravidade de 75m de altura.	Eletricidade: 20.000 a 30.000 GWh/ano (media 1995 - 1998) Capacidade instalada: 4000 MW. Pesca no reservatório: 3.200 t/ano	A indústria do alumínio consome mais da metade da eletricidade. 8×10^6 de pessoas recebem eletricidade em Brasil setentrional. Piscicultura.

Nome da barragem	Serviços e Benefícios	Significado sócio-econômico para os beneficiários
Pak Mun (Tailândia) Barragem de concreto compactado de 17m de altura	Eletricidade: 290 GWh/ano (media 1995-1998). Capacidade inst.: 136 MW Turismo (havia antes do projeto)	Abastecimento para a região norte oriental de Tailândia 140.000 visitantes em Keng Saphue em 1999 (menos que antes do projeto).

Fonte: adaptado de WCD, 2000.

Um benefício que as barragens podem buscar com a formação do reservatório é a melhoria do ecossistema para a fauna e flora nativa, alguns reservatórios sustentam répteis totalmente ameaçados como o reservatório da barragem de Hillsborough em Trinidad e Tobago, e outras têm sido declarados de sítios “*Ramsar*” de importância internacional para as aves como o reservatório de Gladhouse no Reino Unido. Os reservatórios destas barragens fornecem refugio na estação seca para muitas espécies de aves aquáticas nas regiões semi-áridas. Eles também podem sustentar um intervalo mais restringido de espécies, geralmente as mais comuns (WCD, 2000). Um exemplo é a barragem Andévalo de Espanha, onde de acordo com Milans (2004) será criada uma ilha flutuante para nutrias e aves aquáticas, a qual terá o acesso restrito às 365 ha delimitadas pelo reservatório de Chanza e o corpo da barragem.

Outro caso importante, se bem muito questionado, é o Projeto das Três Gargantas (TGP) que é uma das grandes obras do mundo, não só pelo papel significativo que terá no desenvolvimento da República de China mais também, pelos impactos ambientais a serem provocados com a construção da barragem. No Sul da China tinham problemas com as inundações (muitas mortes), enquanto que no norte os problemas são a falta de água e o crescimento econômico da região. O TGP é uma peça chave de um grande plano de desenvolvimento desenhado para criar um balanço entre áreas com abundância de água e outras com déficit, melhorando em forma gigantesca o ambiente de milhões de pessoas (Jones e Freeman, 2005). Visando esse plano de desenvolvimento, a barragem de Três Gargantas foi construída por três razões principais: controle de enchentes, geração de energia e navegação.

Durante 2.200 anos, desde o começo da Dinastia Han até o fim da Dinastia Qing em 1911, aconteceram 214 cheias, com uma média de uma a cada 10 anos (Rushu, 2003). No século

passado, ocorreram cinco grandes enchentes como se mostra na Tabela 3.2. Desta forma, a construção de TGP trará benefícios diretos à população afetada com as inundações.

TABELA 3.2 Grandes enchentes do rio Yangtze

Ano	Mortes	Danos
1911	Milhões	Não se tem registros.
1931	145500	108x10 ⁶ de casas destruídas e 3,4 x10 ⁶ de hectares inundados.
1935	142000	1,5x10 ⁶ de hectares inundados.
1954	33000	18x10 ⁶ de afetados e 3,2 x10 ⁶ de hectares inundados
1998	1526	240.000 hectares inundados

Fonte: Tabela elaborada a partir dos dados de Rushu, 2003.

A produção de eletricidade do TGP é particularmente significativa nos planos de desenvolvimento do governo Chinês para a região oeste do país. O projeto estabelece uma capacidade instalada de 18.200 MW, na primeira etapa, e uma produção anual de 84,68M GWh. A hidroeletricidade produzida irá a substituir 50x10⁶ de toneladas de carvão cru que são queimados anualmente pelas usinas termoelétricas. Isto provavelmente, diminuirá a emissão em aproximadamente de 100x10⁶ t de CO₂, 2x10⁶ t de SO₂, 100.000 t de CO e 370.000 t de NO_x. e aprimorará o meio ambiente do Leste e Centro da China, especialmente na prevenção de chuva ácida e na diminuição de gases do efeito estufa (Rushu, 2003; 2004). Na Figura 3.2, se pode ver o mapa da região do TGP, a área a ser inundada e as principais cidades a montante e a jusante que se beneficiarão com a construção e os serviços da barragem.



FIGURA 3.2 Mapa da região do Projeto das Três Gargantas

Fonte: International Rivers Network, 2007.

O reservatório aprimorará consideravelmente a navegação a montante, elevando o nível do rio entre as cidades de Chongqing, e a cidade de Yichang que fica a jusante da barragem (Fig. 3.2). Esta parte do rio se caracteriza por ter bancos de areia fazendo com que a velocidade do rio seja muito alta e limitando a navegação só numa direção de tráfego, praticamente é impossível passar por este rio durante uma boa época do ano.

Com a elevação das águas devido ao reservatório, a velocidade diminuirá e os bancos de areia serão inundados (Jones e Freeman, 2005). Isto permitirá que as pequenas embarcações possam viajar até os portos de Chongqing a montante da barragem. Os grandes navios poderão chegar até estes portos, o que incrementará a capacidade de passo de Chongqing de uma via de 10×10^6 de toneladas atuais a 50×10^6 , e também diminuirá em 35%, o custo do transporte. O TGP irá promover o desenvolvimento da piscicultura no reservatório, tanto como o turismo quanto as atividades recreativas (Rushu, 2004).

Embora o governo Chinês tenha estudado o TGP por mais de 50 anos, três gerações de equipe de pesquisadores tenham avaliado os diferentes impactos que poderiam ser gerados e que sejam tomadas todas as precauções para minimizar os mesmos, milhões de pessoas serão afetadas junto com a perda de patrimônios culturais e ecossistemas. Espera-se que os Benefícios sejam mais altos que os Impactos a ser gerados, porque no final é o povo Chinês que vai aproveitar dos benefícios e sofrer os impactos, para posteriormente definir se o TGP foi uma boa opção ou não.

3.3 Impactos produzidos pela construção de barragens

A partir de 1990 aconteceram melhoras substanciais na compreensão dos impactos ambientais gerados pela construção de barragens. Em linha com este incremento da base de conhecimentos se foi pesquisando e identificando as causas dos distintos impactos e as possíveis ações para mitigá-los (*“International Hydropower Association”*, 2004).

O TGP é um dos projetos mais rejeitados pela comunidade ambientalista, isto porque não há dúvida de que terá mudanças ambientais e sociais significativas de longo alcance. A grande quantidade de terras cultiváveis a serem inundadas e a grande população a serem

reassentados é de crítica importância para o projeto. Segundo o Estudo de Impacto Ambiental aprovado no ano 1992 pelo Governo Chinês, o reservatório iria inundar 25.900 ha cultiváveis e 846.000 pessoas teriam que ser reassentados. Tendo em consideração o crescimento da população se estima em $1,31 \times 10^6$ o número de pessoas afetadas (Rushu, 2003). As águas do reservatório inundarão 108 sítios arqueológicos e monumentos ancestrais (Rushu, 2000). O *habitat* natural, a biodiversidade e a vida selvagem serão fortemente ameaçadas; Exemplares como o delfim de água doce *Yangtze*, *Sturgeon* Chinês, peixe *Paddle*, *Siberian Crane*, junto com outras raras espécies de vegetação já estão seriamente afetados (Fuggle e Smith, 2000).

Na Tabela 3.3 se pode ver a identificação da escala potencial dos impactos gerados pelas barragens nos cinco continentes.

TABELA 3.3 Escala potencial dos impactos das barragens.

Rio / País	Exemplo da escala do impacto	Fonte
Indus, Índia	Só o 28% do fluxo principal do rio Indus alcança o delta. Para épocas secas o fluxo é somente 10%. As barragens ao longo do rio retêm 75% dos sedimentos carregados pelo rio.	Anônimo 1997, WCD relatório da barragem Tarbela 1999.
Vários, Sul África	Há 520 estruturas de regulação maior em Sul África que represam perto de 50% do escoamento principal anual dos rios.	Davies e Day 1998
Murray-Darling, Austrália	O fluxo principal de descarga desde o rio Murray até o mar há diminuído de aproximadamente 13.700 GL/ano em condições naturais, para 4.900 GL/ano ou seja 35% do fluxo natural.	Comissão da Bacia Murray Darling 1999, citado em WWW Austrália 1999/ENV220, www.mdbc.gov.au
Japão	Dos 35.000 rios existentes no Japão, só dois, ainda, não têm sido obstruídos ou modificados de forma alguma.	Mc Allister et al. 1997, Dams Yearbook 1997
Norte América, norte de México, Europa, antiga União Soviética.	77% da descarga total de água dos 139 maiores sistemas de rios são fortemente ou modestamente afetados pela fragmentação do rio produto das barragens e a regulação da vazão resultado da operação dos reservatórios, diversão da inter-bacia e irrigação.	Dynesius e Nilsson 1994
Estados Unidos	Só 42 rios de fluxo livre, maiores de 200 km remanescem – menos de 2% dos $4,98 \times 10^6$ de km dos rios e córregos do país.	Abramovitz 1996
Europa	Há mais de 10.000 grandes reservatórios na Europa, cobrindo uma área superficial total de 140.000 km ² , o que é aproximadamente igual a quatro vezes o território nacional dos países baixos.	Kristensen e Hansen 1994, ICOLD 1999
Columbia, USA	5% a 14% do salmão adulto são mortos em cada uma das oito barragens através das quais eles passam no seu caminho na direção de montante do rio.	Collier et al. 1996

Fonte: adaptado de BERGKAMP et al., 2000.

Vladut (2000) acredita que o aumento do conhecimento sobre os impactos ambientais das barragens irá a garantir a sustentabilidade dos projetos no mundo após o relatório da WCD (2000). A situação que se enfrenta hoje tem que ver com a necessidade de uma melhor compreensão das questões ambientais associadas com o desenvolvimento de barragens. A atenção sem precedência dada aos assuntos ambientais torna imperativo que nos esforcemos mais em redefinir o papel das grandes barragens.

Desta forma, podem ser considerados os impactos provocados pelas grandes barragens nos ecossistemas.

Segundo WCD (2000), os impactos no ecossistema podem se classificar em:

- Impactos de primeira ordem. Implicam as conseqüências físicas, químicas e geomorfológicas de bloquear um rio e alterar a distribuição e periodicidade natural da sua vazão.
- Impactos de segunda ordem. Implicam mudanças na produtividade biológica primária de ecossistemas, incluindo efeitos na vida vegetal, fluvial e ribeirinha e no *habitat* a jusante.
- Impactos de terceira ordem. Implicam alterações na fauna (como peixes) devido a um efeito de primeira ordem (como bloquear a migração) ou um efeito de segunda ordem (como a diminuição na disponibilidade de plâncton).

Na Tabela 3.4 se tem um resumo dos possíveis impactos ambientais a serem gerados pela construção de barragens segundo o local de identificação do impacto, seja a montante ou a jusante da barragem.

TABELA 3.4 Impactos das grandes barragens sobre os ecossistemas

Localização em relação à barragem	Categoria dos impactos	Impactos
Montante	Impactos de Primeira Ordem	Alteração do regime termal
		Acumulação de sedimentos no reservatório
		Evaporação e produção de gases do efeito estufa.
		Mudanças na qualidade da água
	Impactos de Segunda Ordem	Proliferação de plâncton e perifíton.
		Incremento de macrófitas aquáticas
		Mudanças na vegetação ribeirinha
Impactos de Terceira Ordem	Invertebrados, peixes, aves e mamíferos.	
Jusante	Impactos de Primeira Ordem	Alteração das vazões diárias, sazonais e anuais.
		Mudanças na qualidade da água
		Redução do transporte de sedimentos
		Erosão e sedimentação do leito do rio.
		Redução da vazão nas planícies de inundação.
		Diminuição dos deltas costeiros
	Impactos de Segunda Ordem	Proliferação de plâncton e perifíton
		Incremento de macrófitas aquáticas
		Mudanças na vegetação ribeirinha
	Impactos de Terceira Ordem	Invertebrados, peixes, aves e mamíferos.
		Impactos a estuários
		Impactos marinhos

Fonte: adaptado de Bergkamp et al, 2000.

Os impactos de primeira ordem são os chamados de diretos, devidos à construção da barragem. E podem ser classificados de acordo com a sua localização em relação à barragem, ou seja, a montante e a jusante dela.

Dentre os impactos a montante da barragem, podem ser destacados os seguintes: (a) alteração do regime termal, (b) sedimentação no reservatório, (c) evaporação e produção de gases efeito estufa, d) mudanças na qualidade da água. A seguir, será descrito cada um destes impactos mostrando como eles afetam os ecossistemas, dando exemplos para cada impacto e proporcionando alguns conselhos para mitigá-los:

(a) Alteração do regime termal. A temperatura é um importante regulador de muitos processos físicos, químicos e biológicos, e os reservatórios atuam como reguladores termais, ou seja, regulam as pequenas mudanças de temperatura entre períodos. A água ao ficar retida no reservatório esquentar-se e adquirir um novo padrão de comportamento termal, dependendo da localização geográfica a água retida em reservatórios profundos tende a ser termicamente

estratificada. Tipicamente se formam três camadas: a *primeira* que é da maior temperatura, e bem misturada fica em contato com a superfície; a *camada intermediária* e a *camada inferior* que é a mais fria e densa (Bergkamp et al., 2000). Geralmente a estratificação termal é controlada por uma escala de fatores incluindo as características climáticas da região. Os reservatórios perto da linha do equador são os menos prováveis de se estratificar. Além deles, os reservatórios superficiais respondem mais rapidamente às condições atmosféricas e também, tem menor probabilidade de se estratificar. Outros fatores importantes são os padrões de entrada do fluxo tanto como a natureza do fluxo de saída que influenciam no desenvolvimento da estratificação térmica, e os ventos fortes podem afetar as oscilações termais da camada intermediária.

Em altas latitudes, a estratificação é controlada pela variação da entrada de energia solar. Durante o inverno, em reservatórios profundos, se inverte a situação de estratificação onde na camada superior fica a menos densa e mais fria, e no fundo a mais densa e mais quente. Já em baixas latitudes, o regime de temperatura anual pode ser insuficiente para causar a estratificação. Os reservatórios tropicais são usualmente sensíveis às mudanças climáticas. Durante o verão coincidindo com a época de chuvas, as fortes chuvas baixam a temperatura da superfície do lago impedindo a estratificação; no inverno, na época seca, a estratificação pode ser destruída pela passagem de frentes frias (Mc Cartney; Sullivan e Acreman, 2000).

Na Bacia Murray – Darling na Austrália, a barragem Keepit modificou o regime termal do rio Namoi ameaçando a biota aquática. Isto devido à saída de água estratificada do reservatório da barragem que produz uma variação de -5°C na temperatura do rio a jusante. Um dos impactos provocados é a diminuição da quantidade de peixes nativos, que com as mudanças termais do rio não tem as orientações necessárias para desovar, o que é uma ação vital para sua reprodução (Preece e Jones, 2002). Outro exemplo é a barragem de Sélingué em Mali no Leste de África, onde se produz a estratificação do reservatório na temporada de Março a Maio quando está terminando a época seca, neste caso, as mudanças dos ventos e o começo da temporada de chuvas eliminam a estratificação (Arfi, 2005).

Há métodos para tratar o problema da estratificação dos reservatórios, como: o misturador mecânico, o difusor pneumático, as bombas de fluxo axial, a aeração e o método de

resfriamento do reservatório. Na Tabela 3.5 se podem ver diferentes métodos usados para o manejo de reservatórios estratificados no mundo. Segundo Jensen, Leung Lee e Labay [2006], o método de resfriamento do reservatório tem grande capacidade de uso para o manejo de reservatórios estratificados. O método consiste em abaixar o nível do reservatório até uma profundidade que garanta a circulação de um grande fluxo de água, a qual vai misturar todo o volume de água no reservatório eliminando desta forma a estratificação. Este método foi utilizado em dois reservatórios de San Antonio (EUA), Braunig e Calaveras e obtiveram bons resultados.

TABELA 3.5 Exemplos de manejo de reservatórios estratificados no mundo.

Local	Método	Propósito
Reservatório Myponga, Sul de Austrália	Misturado mecânico	Qualidade da água potável
Reservatório Upper Peirce, Singapura	Aeração	Qualidade de água
Reservatório Upper San Leandro, Oakland	Aeração	Qualidade de água
Reservatório Este de Sidney, Nova York EUA.	Difusor pneumático	Qualidade de água
Lago Beech Fork EUA	Bomba de fluxo axial	Desestratificação
Reservatório Bleiloch, Alemanha	Aeração para desestratificação parcial	Controle da proliferação da cyanobacteria
Reservatório El Capitán, Califórnia EUA	Aeração	Expansão do habita para as águas do fundo

Fonte: adaptado de Jensen; Leung Lee e Labay, [2006].

(b) Sedimentação no reservatório. É um processo de separação em que a mistura é deixada em repouso: a fase mais densa por ação da gravidade deposita-se no fundo do reservatório, o sedimento, detrito rochoso resultante da erosão, é depositado quando diminui a energia do fluxo que o transporta. O transporte de sedimentos mostra uma variação temporal considerável, por períodos ou anual, a quantidade de sedimentos transportados pelo rio dentro dos reservatórios é maior durante o período de enchentes. Muitos reservatórios armazenam quase a totalidade dos sedimentos transportados pelo rio e fornecidos pela bacia hidrográfica. De acordo com Bishwakarma (2007) na maioria dos países, a sedimentação pode ser um problema maior quando se desenvolvem projetos hidrelétricos. As regiões que contribuem com a maior quantidade de sedimentos são o sul e o oeste dos EUA, o sudeste da Europa, Ásia, e o leste de Austrália e Nova Zelândia. Aproximadamente vinte bilhões de toneladas de sedimentos são transportados por ano pelos rios para o mar no mundo inteiro, dos quais seis bilhões de toneladas vêm do subcontinente da Índia.

De acordo com Dixon (2000), nas distintas regiões do mundo a vida dos reservatórios pode estar determinada pela taxa de sedimentação a qual diminui gradualmente a capacidade de armazenamento. Este processo anula eventualmente a habilidade do reservatório de proporcionar os benefícios para os quais ele foi construído (irrigação, controle de enchentes, geração de energia, etc.); além do que, os sedimentos produzem degradação ambiental, danos nos equipamentos (estruturas de entrada e turbinas) e problemas relacionados com a presença potencial de sedimentos poluentes.

O professor Rooseboom, presidente do comitê de sedimentação em reservatórios da “*International Commision of Large Dams*” (ICOLD), citado por Pritchard (2002), afirma que o problema é que os reservatórios estão sofrendo a sedimentação em taxas muito elevadas. A sedimentação típica só se converte em um contratempo 50 anos após a construção da barragem. Mesmo assim, existem reservatórios onde há sedimentação após dez anos da sua construção. Aproximadamente 40% dos reservatórios do mundo foram construídos entre as décadas 1960 e 1970, o que indica que nos anos 2010 – 2020, eles vão ter sérios casos de sedimentação, estimativas sugerem que as taxas atuais de sedimentação são oito vezes maiores que as de 1960. As perdas anuais da capacidade de armazenamento variam de acordo com as regiões, por exemplo: a China perde 2% da sua capacidade anual de armazenamento seguido pelo Oriente Médio com 1,5% e globalmente a Ásia com 1% (Pritchard, 2002).

A eficiência de retenção de sedimentos nos reservatórios depende: do tamanho do reservatório, das características da bacia que originam a produção de sedimentos (geologia, solos e seu uso, topografia e vegetação), e da relação entre a capacidade de armazenamento do reservatório e da vazão do rio. O processo de sedimentação, Figura 3.3 se realiza nos reservatórios da seguinte forma:

- Deposição dos sedimentos grosseiros no delta;
- Deposição do material mais fino de uma forma uniforme;
- Deposição do material devido às correntes de densidade.

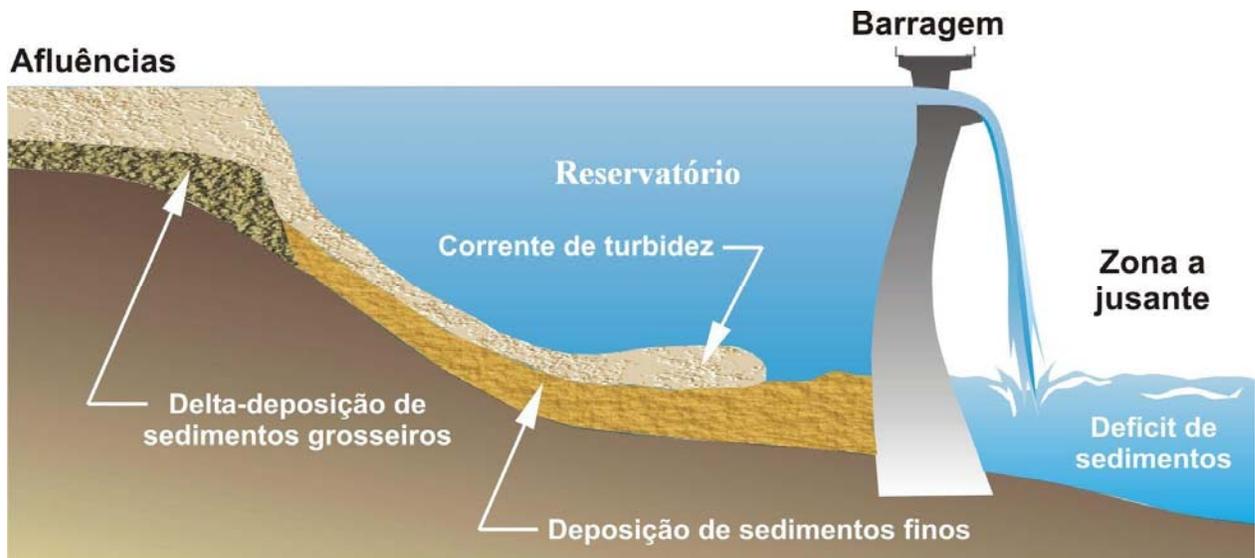


FIGURA 3.3 Deposição de sedimentos dentro de um reservatório.

Fonte: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2007.

É importante tomar algumas medidas de precaução na elaboração do projeto de uma barragem, como: coletar dados confiáveis do rio a ser represado e optar por formas estruturais simples (Bishwakarma, 2007). Para lidar com o problema da sedimentação é necessário ter algumas técnicas de gerenciamento dos reservatórios: (i) Minimizar a entrada de sedimentos no reservatório; (ii) Maximizar a descarga de sedimentos através da barragem; e (iii) Recuperar o volume de armazenamento.

(i) *Minimizar a entrada de sedimentos no reservatório.* É a medida mais efetiva e pode ser alcançada pela ótima eleição do lugar do reservatório. Quando já se tem um local, a prevenção da erosão na área da bacia é feita pelos métodos de conservação de solos (reflorestamento, terraços, cobertura com vegetação, etc.). Outra forma de minimizar a entrada de sedimentos é a retenção destes em armadilhas ou por redes vegetais sobre os tributários a montante do reservatório; e finalmente, permitir o passo de fluxo carregado de sedimentos durante uma enchente que vem desde montante através de uma estrutura de desvio conduzindo o fluxo a jusante da barragem (Novak et al., 1997). Segundo Tan e Yao (2006) na bacia do reservatório de Três Gargantas estão sendo feitas obras de engenharia para a proteção dos terrenos agrícolas e há um programa de desenvolvimento de eco agricultura; além de reflorestamento e da construção de um cinto verde na zona periférica do reservatório.

(ii) *Maximizar a descarga de sedimentos através da barragem.* Requer da regulação da vazão durante as enchentes e/ou descargas durante a descida do nível de água do reservatório. Em certas condições, a carga do sedimento afluente com a vazão líquida, não se mistura com a água do reservatório, mas movimentos ao longo do leito do rio como correntes de densidade em direção à barragem, podem expulsar fora os sedimentos por descargas localizadas e operadas de forma adequada. Para começar o desenvolvimento das correntes de densidade, se requer uma diferença significativa entre a densidade das águas do fluxo de entrada e as águas do reservatório ao longo da profundidade do reservatório, e com boas condições morfológicas (Novak et al, 1997). Este método é usado na barragem de Três Gargantas, na época de chuvas de junho a setembro, quando os rios transportam 84% do carregamento anual de sedimentos e 61% da vazão anual (CWCR, 1997). O modo de operação é captar água limpa e descarregar água turva. Nesta modalidade, estima-se que após aproximadamente 100 anos, quando o equilíbrio for alcançado entre sedimentação e descarga, 86% da capacidade de controle de inundação, e 92% da capacidade ativa de sedimentos do reservatório serão preservados (Jones e Freeman, 2005).

(iii) *Recuperação do volume de armazenamento.* Pode ser alcançada pela remoção de sedimentos depositados, técnica que só é efetiva quando é combinada com uma diminuição substancial do nível do reservatório; A remoção pode ser feita por sifões, escavadoras, e particularmente, a escavação por sucção, ou por técnicas especiais (Novak et al, 1997).

Um exemplo é o sistema de limpeza de sedimentos tipo S4 ou sistema de tubulações para retirar sedimentos tipo serpente “*serpent sediment sluicing system*” inventado por Stole em 1988 (apud Bishwakarma, 2007), o qual facilita a operação contínua do reservatório. O *processo de limpeza* é intermitente, a instalação é flexível e a frequência da descarga pode ser ajustada a obedecer às condições de descarga de sedimentos do rio. O *processo de descarga* é realizado usando só a força da gravidade, o sistema S4 foi instalado em algumas barragens no Nepal, e o comportamento foi satisfatório.

Podemos citar também, Jacobsen (apud Bishwakarma, 2007) que desenvolveu o conceito de remoção de sedimentos por tubulações, baseado neste conceito, o autor criou duas técnicas de remoção as quais chamou de tubulação perfurada extratora de sedimentos “*slotted pipe sediment*

sluicer” (SPSS) e extrator de sedimentos tipo saxofone “*saxophone sediment sluicer*” (SSS). As técnicas consistem em aproveitar a carga de energia existente entre a superfície do reservatório e o conduto de saída para tirar os sedimentos do fundo do reservatório, eliminando desta maneira a necessidade de uma fonte externa de energia. Dependendo da técnica variam os diâmetros e comprimentos das tubulações. A prova principal foi feita no Nepal, em 1994, e os testes revelaram que a operação das duas técnicas foram satisfatórias em condições reais, tanto no laboratório como no campo. Segundo Jacobsen, esses métodos podem ser usados em qualquer país. Não foi possível achar uma descrição esclarecedora do funcionamento dos três sistemas. De qualquer forma, as três técnicas de remoção de sedimentos foram patenteadas e os serviços são fornecidos pelas companhias “*GTO Sediment AS*” que trabalha com o SPSS e SSS; e o laboratório hidro-técnico de Noruega “*SINTEF NHL*” que trabalha com o S4.

Os casos de sedimentação de reservatórios são muito comuns na Austrália, o desenvolvimento do país está ligado com a disponibilidade de recursos hídricos. Entre 1890 e 1960 mais de 40 reservatórios excluindo reservatórios de fazendas, ficaram fora de serviço por problemas de sedimentação. Se mencionaram os casos da Barragem Corona que ficou fora de serviço depois de 20 anos de terminada sua construção, More Creek 26 anos de serviço, Umberumberka 93 anos de serviço e 44% do volume de armazenamento perdido, Cunningham Creek 17 anos de serviço, Illalong Creek 71 anos de serviço (Chanson e James, 2006).

Na Argélia, muitos reservatórios têm que lidar com o problema da sedimentação, o qual se incrementou na última década de 1990. De acordo com Remini e Hallouche (2007), a vida útil de algumas barragens chega a ser de mais de 360 anos, apesar de que para outras, este tempo pode ser reduzido para 60 anos. Neste país, 18 velhas barragens tiveram sérios tratamentos devido à aceleração da sedimentação e podem atingir seu fim rapidamente, se não forem tomadas as medidas respectivas de prevenção. Até as novas barragens não conseguem fugir deste problema, nove novas barragens sofrem a deposição anual de 45×10^6 de m^3 . Em total 1100×10^6 de m^3 de lama foram depositados nos reservatórios de 57 grandes barragens em 2006, o que representa 16% da capacidade total de armazenamento.

(c) Evaporação e produção gases do efeito estufa. Os reservatórios multiplicam em forma gigantesca a área superficial de água doce, desde onde a evaporação ocorre. A evaporação depende da superfície ou espelho de água do reservatório e das condições climáticas, as quais controlam a evaporação potencial (predominantemente a radiação e a temperatura). A evaporação é maior nos reservatórios com maior superfície de espelho de água localizados em climas quentes e áridos, ela também afeta a qualidade da água, em particular a salinidade (Mc Cartney; Sullivan e Acreman, 2000).

O lago Nasser situado no sul de Egito é o segundo maior lago artificial do mundo, contém perto de $135000 \times 10^6 \text{ m}^3$. O grande problema é a perda de água devida à evaporação que atinge de 10000×10^6 a $16000 \times 10^6 \text{ m}^3$ por ano, o que equivale de 20 a 30% da água doce que entra no Egito pelo rio Nilo (Mosalam Shaltout e El Houstry, 1997). Uma solução para o problema da evaporação poderia ser a construção de barragens subterrâneas, para as quais o princípio básico é que elas são construídas embaixo da superfície ao invés de na superfície. Assim tem-se uma grande redução da evaporação e dos riscos de contaminação, mas a desvantagem é que são pequenas as quantidades de água armazenadas por estas barragens. No Quênia, esse tipo de barragem é construída a um ritmo rápido para armazenar água para o gado, irrigação e uso doméstico. Os reservatórios subterrâneos são recarregados através das rápidas inundações originadas pelas chuvas. Um simples modelo de fluxo subterrâneo foi desenvolvido para compreender os processos hidrológicos e fluxos em torno da barragem, estes estudos foram feitos em duas pequenas barragens e podem ser vistos em Hut et al. (2008).

Os reservatórios são focos potenciais de liberação de gases do efeito estufa. A formação destes gases se produz da seguinte maneira: o dióxido de carbono e o metano são liberados através da difusão com o ar da superfície do reservatório, tanto como a migração das bolhas de gás produzidas embaixo da superfície. Esses gases resultam da decomposição do carbono orgânico dissolvido e de partículas orgânicas de carbono. Segundo Cullenward e Victor (2006) as fontes de origem desse carbono são numerosas: a biomassa na região antes de encher o reservatório, a matéria orgânica que desce desde montante do rio, o crescimento de plantas na superfície do lago (fitoplâncton), os fluxos da beira e solos dos reservatórios.

Os principais gases antropogénicos responsáveis pelo efeito estufa são: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), clorofluorcarbonos (CFCs), óxido nitroso (N_2O). Alguns solos tropicais contêm N_2O . As hidrelétricas produzem mais CH_4 que CO_2 e os fatores que definem a produção destes gases são: a profundidade do local, o tipo de vegetação inundada, a idade do afogamento da vegetação, a temperatura da água, o regime de ventos e a intensidade da correnteza. Há presença de gás carbônico dissolvido na água em todos os tipos de lagos, sejam naturais ou artificiais (média de 1000 p.p.m); A concentração de gás carbônico é devido à presença ou ausência dos ventos, pois com mais vento ocorre menos concentração de gás carbônico. Por outro lado, o regime de ventos tem forte dependência com a latitude, na faixa equatorial têm-se os ventos de calmaria e nas latitudes baixas, tropicais, os ventos alísios fortes e constantes, já no limite dos trópicos, se localizam novas faixas de pouco vento.

Para evitar o risco de produção de gases do efeito estufa podem ser tomadas certas medidas de mitigação, como: evitar a baixa relação de potência na escolha dos reservatórios (KW/km^2) e desmatar a área do reservatório antes da inundação (esta medida deve ser analisada sob o ponto de vista econômico). De acordo com ELETROBRÁS (2000) a energia hidrelétrica não é uma fonte isenta de emissões atmosféricas, como se pensava na década de 1970, pois os reservatórios emitem gases como CO_2 , NH_4 , N_2O e H_2S . Segundo Fearnside (2002), em 1990, o reservatório de Tucuruí tinha uma emissão de CO_2 de $7,0 - 10,0 \times 10^6$ t equivalente à soma total de gases CO_2 produzidos pela cidade de São Paulo em aquela época.

De qualquer forma, pesquisadores compararam as emissões de reservatórios de usinas hidrelétricas com as emissões produzidas por usinas termoelétricas equivalentes e acharam que as usinas hidrelétricas produzem menor quantidade de gases CO_2 e NH_4 . Dos Santos et al. (2006). Também realizaram um trabalho nos reservatórios brasileiros de Miranda, Barra Bonita, Segredo, Três Marias, Xingo, Samuel e Tucuruí. Dados adicionais foram usados com medições tomadas nos reservatórios de Itaipu e Serra da Mesa. Os complexos hidrelétricos com maior relação capacidade/área inundada como Itaipu, Xingó, Segredo e Miranda foram os de melhor desempenho; bem melhor que as usinas termoelétricas de ciclo combinado. Porém, outros complexos hidrelétricos de baixa relação, apenas conseguiram ser um pouco melhores ou até

piores que seus equivalentes termoelétricos, lembrando que os reservatórios estão localizados em dois diferentes regimes de clima.

(d) Qualidade da água. A qualidade da água tem mudanças significativas com a construção de uma barragem e de acordo com a sua localização, a montante ou a jusante dela tem diferentes efeitos.

A montante da barragem, os principais efeitos se apresentaram no lago do reservatório, onde o armazenamento da água induz mudanças físicas, químicas e biológicas na água armazenada, a composição química da água dentro do reservatório pode ser consideravelmente distinta da água que entra com o rio. O tamanho da barragem, sua localização no sistema do rio, a localização geográfica com relação à altitude e latitude, o tempo de retenção da água armazenada e a fonte de água, todos eles afetam a forma com que o armazenamento modifica a qualidade da água (Kurunuc; Yurekli e Okman, 2006).

As maiores mudanças biológicas induzidas ocorrem em reservatórios com estratificação termal. Na superfície do mesmo, o fitoplâncton, freqüentemente prolifera-se e libera oxigênio através do qual mantém concentrações com níveis próximos da saturação durante a maior parte do ano. Em contraste, a falta de mistura da água e luz solar para fotossínteses, em conjunção com o oxigênio usado na decomposição da biomassa afogada, muitas vezes (mas não sempre) resulta em condições sem oxigênio na camada do fundo do reservatório. Quando estas condições ocorrem, o processo de decomposição da matéria orgânica enfraquece tornando-se anaeróbico. Assim, o dióxido de carbono, o metano e o hidrogeno sulfúrico são liberados, e o pH diminui, e as reações de ferro e manganês ocorrem desde os sedimentos do fundo do reservatório.

Nutrientes (particularmente fósforo) são liberados biologicamente e lixiviados pela vegetação e os solos submersos. Embora a demanda de oxigênio e níveis de nutrientes geralmente diminui com o tempo, assim como a matéria orgânica também diminui, alguns reservatórios requerem de mais de 20 anos para desenvolver regimes estáveis de qualidade de água. Depois deste processo de amadurecimento, os reservatórios podem atuar como depósito de nutrientes da mesma forma que os lagos naturais, e especialmente, com aqueles nutrientes associados com os

sedimentos. A eutrofização dos reservatórios pode ocorrer como consequência de grandes influxos de cargas orgânicas e nutrientes (Bergkamp et al., 2000).

O reservatório da barragem Tahtali na Turquia está contaminado pelas altas concentrações de nitrogênio e fósforo, particularmente durante os períodos de estiagem quando o processo de eutrofização ocorre em corpos de água geralmente estáticos. De acordo com Gulbahar (2005), as causas da contaminação são principalmente as práticas comuns da agricultura (uso de fertilizantes e aditivos). A única solução real para os impactos ambientais de poluição das águas é a determinação de áreas de proteção e a implementação de um bom plano de uso da terra, mantendo o controle das atividades dentro da bacia hidrográfica.

A contaminação por mercúrio é um dos principais problemas dos reservatórios na Amazônia. Segundo Fearnside (2005), o mercúrio fica presente na sua forma inorgânica inofensiva em muitos solos. De qualquer forma, uma bactéria transforma, por meio da decomposição da matéria de um novo reservatório o mercúrio inorgânico em metilmercúrio que é tóxico para o sistema nervoso central. Como o metilmercúrio se perde na cadeia alimentícia, ele passa de forma incrementada e concentrada a formar parte do corpo dos animais que comam a presa contaminada. Através deste processo de bioacumulação, níveis de metilmercúrio serão muito maiores nos peixes do topo da cadeia alimentícia do que naqueles peixes e pequenos organismos da base da cadeia. Na barragem Samuel em Rondônia, Brasil, um dos impactos mais importantes foi à contaminação dos peixes do reservatório resultado da metilação do mercúrio presente no solo.

A jusante da barragem, os problemas que afetam a qualidade da água são: a salinização e as mudanças de temperatura, produto da retenção de água no reservatório.

A salinização das águas a jusante da barragem, às vezes aumentadas pelo incremento da evaporação em climas áridos, é particular e extremamente problemática em áreas de sedimentos marinhos e onde a água salina da drenagem dos córregos da irrigação é retornada aos rios a jusante das barragens. Está comprovado que a salinização é um problema em planícies de inundação na ausência dos períodos de inundação e da diluição com a água. Se for

suficientemente alta e prolongada, a elevada salinidade pode afetar os organismos aquáticos. Segundo Snoussi et al. (2007), a salinidade dos solos e a intrusão de águas salgadas que vem do mar, são alguns dos problemas nas bacias da África. As soluções adotadas para esses casos são: a drenagem e a lixiviação dos solos com alto conteúdo de sal, incrementar a descarga de água doce na seca e a construção de barragens no limite da intrusão marinha. Outro caso é apresentado por Mehari; Schultz e Depeweg (2006), na planície aluvial de Wadi Laba em Eritrea, África, onde se construiu uma barragem para irrigar 2600 ha, para poder duplicar a produção local de sorgo e milho, tudo isso foi feito sem considerar o potencial dos problemas de salinidade. Em 2002 e 2003 se determinou a salinidade das águas e se descobriu que estas aumentavam com as descargas. Para descargas maiores a $100 \text{ m}^3/\text{seg}$ a salinização era tão alta que poderia resultar em uma redução do rendimento das colheitas. Particularmente para o milho a redução varia de 30% a 100%.

Mesmo que não se produza a estratificação termal no armazenamento, a água liberada pela barragem tem mudanças na temperatura que a diferenciam da temperatura natural do rio. A qualidade de água liberada por um reservatório estratificado é determinada pela altura do conduto de saída relativa às distintas camadas formadas dentro do reservatório. Durante o verão, a água liberada perto da superfície do reservatório estratificado vai ser bem oxigenada, quente, sem nutrientes. Em contraste, a água liberada perto do fundo de um reservatório estratificado será fria, com falta de oxigênio e rica em nutrientes, e pode ter alto conteúdo de hidrogênio sulfídrico, ferro e/ou manganês. Segundo Mc Cartney; Sullivan e Acreman (2000), a água com falta de oxigênio dissolvido não é só um problema poluidor por si mesmo, ela pode estar agravada porque tal água tem reduzido sua capacidade de assimilação e por tanto uma redução da capacidade de limpeza para efluentes domésticos e industriais. O problema do baixo nível de oxigênio dissolvido às vezes é mitigado pela turbulência gerada quando passa através das turbinas. No Vale do Tennessee, EUA, são usadas turbinas aeradoras com tecnologia que utiliza as áreas de baixa pressão, para introduzir ar na água enquanto a energia é gerada pela turbina. Outro método é o sistema de injeção de oxigênio (TVA, 2008). Baixas concentrações de oxigênio, mudanças nas concentrações de nutrientes e salinidade, todos eles vão afetar os organismos aquáticos nas áreas ribeirinhas, nas praias e nas costas marinhas. Os problemas aumentam como conseqüência

de uma diminuição da vazão, porque a diluição dos efluentes a jusante é frequentemente reduzida como consequência da diminuição da vazão

Prosseguindo com os impactos de primeira ordem, temos aqueles que se produzem a jusante das barragens, como: (a) mudanças na hidrologia; (b) redução do transporte de sedimentos; (c) erosão e sedimentação do leito do rio; (d) redução da vazão nas planícies de inundação; (e) diminuição dos deltas costeiros. Estes impactos serão desenvolvidos da mesma forma que os impactos produzidos a montante das barragens.

(a) Mudanças na hidrologia. Muitos fatores contribuem para determinar o efeito de uma barragem sobre um rio, alguns deles como a morfologia da bacia, a área de superfície, o clima, as características do solo, do tipo de rocha ou da vegetação; podem produzir efeitos que são comuns em todos os reservatórios como a sedimentação ou as mudanças na qualidade da água. Por outro lado, o projeto da barragem e os procedimentos operacionais relacionados podem gerar um amplo alcance de padrões de descarga dependentes das funções do reservatório (Graf, 2006). O controle da vazão de descarga feito pelas barragens reduz a variabilidade de escoamento a jusante, e em rios principais de planícies de inundação, pode incrementar os picos de enchentes. De qualquer forma, na maioria dos casos, a magnitude e o sincronismo destes picos são reduzidos pelo desenvolvimento e operação de armazenamento da barragem. O efeito de um reservatório sobre uma enchente individual depende da capacidade de armazenamento e da forma em que a barragem é operada. Aqueles reservatórios que têm uma grande capacidade de armazenamento de água em relação ao escoamento anual do rio podem exercer um completo controle sobre o hidrograma anual do rio a jusante (Bergkamp et al., 2000).

O alcance dos procedimentos operacionais pode resultar em flutuações e descargas que ocorrem sob medidas não naturais. As demandas de geração de energia hidrelétrica e de irrigação são as causas mais comuns destes picos, mas os picos de descarga de ondas são utilizados também para propósitos de navegação ou para alcançar necessidades recreativas (Magilligan e Nislow, 2005). Além de alterar os regimes de vazão, as barragens também afetam o volume total de escoamento superficial produzindo mudanças temporárias e permanentes. As mudanças temporárias aparecem primeiramente quando se enche o reservatório, o qual pode levar muitos

anos, nos locais onde a capacidade de armazenamento do reservatório pode exceder em forma gigantesca o principal escoamento anual. As mudanças permanentes ocorrem porque a água é retirada para consumo humano; a água é perdida desde o reservatório por evaporação; ou sob certas condições geológicas onde há um incremento das perdas a jusante da barragem. Os efeitos hidrológicos das barragens vão diminuindo conforme aumenta a distância a partir da mesma, a presença de rios tributários ou principais a jusante da barragem pode ajudar a diminuir o alcance dos impactos (Bergkamp et al., 2000).

(b) Redução do transporte de sedimentos. As mudanças no transporte de sedimentos têm sido identificadas como um dos impactos ambientais mais importantes das barragens, elas impactam na morfologia das planícies de inundação dos deltas costeiros e produzem a perda de habitat para peixes e outras espécies. As mudanças da turbidez na água fluvial podem afetar de forma direta à biota (WCD, 2000). Segundo Pohl (2004), as barragens são a maior fonte de fragmentação e degradação dos rios. Cita-se o caso da instalação e operação de duas barragens no rio Elwha em Washington, EUA, onde as barragens alteraram o fluxo do rio, a qualidade da água e a produção de sedimentos. A perda de sedimentos no canal do rio teve um impacto substancial na mobilidade do leito do rio a jusante, e, conseqüentemente, na complexidade geomorfológica e biótica do rio. As barragens têm fragmentado o rio em três partes que funcionam de forma diferente e portanto, cada uma delas tem distintas características morfológicas no canal.

(c) Erosão e sedimentação do leito do rio. A mudança de um canal alcançada a jusante de uma barragem depende da interação de três fatores: do grau de regularização da vazão, da resistência do leito e das margens à erosão, e da quantidade e natureza das fontes de sedimento a jusante. Para um grau particular de regularização de vazão, a extensão e a taxa de erosão irá depender da resistência do canal e da contribuição de sedimentos a jusante (Mc Cartney; Sullivan e Acreman, 2000). Se após a regularização, a vazão se torna capaz de mover material do fundo do rio, o efeito inicial é a erosão a jusante da barragem, porque a quantidade de sedimentos transportados pelo rio não é repostada pelo material que vinha do rio a montante. De acordo com a tendência à erosão dos leitos de rios e margens a degradação pode ser acompanhada de dois fenômenos: estreitamento e/ou ampliação do canal. O resultado da degradação é a dureza da textura do material deixado no fundo do rio, e em muitos casos, a mudança de areia para grava pode ser

observada; em alguns outros, a remoção chega até a rocha. Na maioria dos rios, estes efeitos são constrangidos nos primeiros quilômetros ou dez quilômetros a jusante da barragem. Erosão de mais de 7,5m de altura tem sido observados em rios maiores, tipicamente uma erosão de 1 a 3 m ocorre no lapso da primeira e segunda década de operação. Além disto, a sedimentação pode ocorrer porque o material levado a jusante da barragem e o material carregado pelos tributários não pode ser movimentado facilmente através do rio, devido à regularização da vazão pela barragem. O alargamento do canal é um problema freqüente de sedimentação em rios (Bergkamp et al, 2000).

Na Bacia Araguaia-Tocantins a Barragem Tucuruí tem diminuído, em um 82%, a quantidade de sedimentos transportados pelo rio. Isto tem produzido um impacto considerável sobre o estado de equilíbrio do mesmo, porque alteraram os padrões geomorfológicos e os processos ecológicos, particularmente nos sistemas das planícies aluviais do rio. Novas erosões e a deposição dinâmica provocarão inevitavelmente alterações substanciais na morfologia da hidrovia e nas planícies aluviais adjacentes. Segundo Manyari e De Carvalho (2007), uma das novas características introduzidas é a erosão das margens do rio descritas como “*piping*” por causa da cavidade tubular produzida. Este é um potente agente erosivo que deforma o canal principal do rio tanto como os canais secundários.

(d) Redução da vazão nas planícies de inundação. Represar um rio pode mudar as características das planícies de inundação, em algumas circunstâncias a eliminação de sólidos finos em suspensão reduz a taxa de crescimento dos bancos de sedimentos. Desta forma as planícies de inundação tomam muito tempo para formar-se e os solos ficam inférteis. Em outras circunstâncias a erosão das margens do canal resulta na perda das planícies de inundação. Dependendo de condições específicas, as barragens podem incrementar ou diminuir a deposição ou erosão das planícies de inundação (WCD, 2000).

A planície Kafue no sul de Zâmbia, na África, é uma extensa planície de inundação que fica no meio da Bacia do rio Kafue e mantém dois parques nacionais providos de “*Wetlands*”. De acordo com Mumba e Thompson (2005), esta área ficou enclaustrada no meio de duas grandes barragens (a montante e a jusante) as quais alteraram completamente o regime hidrológico da

planície. Como consequência, deixaram uma parte dela permanentemente inundada, o que não existia em anos anteriores à construção das barragens; e também, tem diminuído as inundações em outras áreas da bacia. As mudanças hidrológicas e de vegetação tem impactado o *habitat* de importantes comunidades selvagens e permitido o ingresso de um tipo de vegetação que é conhecida por diminuir a biodiversidade das plantas e animais em planícies de inundação.

(e) Diminuição dos deltas costeiros. Em contraste com o impacto do rio e a morfologia das planícies de inundação, onde a sedimentação pode ocorrer, o fechamento do rio invariavelmente resulta num incremento da degradação ou pelo menos, a redução de parte dos deltas costeiros, como consequência da diminuição da entrada de sedimentos. A consequência da redução de sedimentos pode também se estender à longa e expandida linha costeira erodida pelas ondas e que não é mais sustentada pela entrada de sedimentos dos rios (Zhang et al., 2008).

Os *impactos de segunda ordem* são os chamados de indiretos, devidos à construção da barragem. Estes impactos são os resultados das modificações dos *impactos de primeira ordem* por condições locais e das características que tinha o rio antes do fechamento feito pela barragem. Estas mudanças podem acontecer durante muitos anos.

Entre os impactos destacáveis de segunda ordem, tem-se: (a) a proliferação de plâncton; (b) proliferação de perifiton; (c) o incremento de macrófitas aquáticas; (d) e as mudanças na vegetação ribeirinha. Como se pode ver, estes tipos de impactos tem mais a ver com mudanças no ecossistema pelo qual, nos limitaremos a descrever, apenas dando exemplos em alguns deles:

(a) Proliferação de plâncton. Em sistemas naturais a produção de fitoplâncton é insignificante, ela é dependente dos lagos, das baixas velocidades e das comunidades de algas do fundo. Os rios podem conter microorganismos flutuantes, mas a população de plâncton é inerentemente instável e depende sobre tudo, da frequência das altas descargas. A formação do reservatório da barragem ajuda a proliferação deste tipo de vegetação a qual se pode produzir a montante e a jusante da mesma (Bergkamp et al., 2000).

A proliferação a montante acontece na fase de fechamento das saídas da barragem para o enchimento do reservatório, o lento sistema se estabelece tão rapidamente como se enche o reservatório, e conseqüentemente, ocorre uma explosão da população microbial, liberando nutrientes da matéria orgânica afogada. Isto estimula um desenvolvimento igualitário do fitoplâncton, o qual aproveita a energia solar.

Segundo Zeng et al (2006) represar um rio não só muda suas condições hidráulicas, como também causa a variação da composição do fitoplâncton e da biomassa ao mesmo tempo. Depois do represado o rio Asahi no Japão, aumentou a produção de fitoplâncton devido ao prolongado tempo de retenção e a qualidade da água no reservatório (água eutroficada). Logo do represamento do rio Columbia nos EUA, a produção da biomassa do fitoplâncton se incrementou devido a conseqüências combinadas de redução da velocidade do fluxo, incremento do tempo de retenção da água e turbidez, e a diminuição da intensidade de mistura vertical. Posteriormente ao represamento do rio Yangtze no Projeto de Três Gargantas na China, a redução da velocidade do fluxo e o incremento no tempo de retenção pode ser que beneficie a proliferação de fitoplâncton em rios a jusante da barragem. Segundo um levantamento de dados feito pelos pesquisadores do TGP, se comprovou que há existência de fitoplâncton no reservatório a 80 m de profundidade.

De acordo com Huichao e Rushu (2006), depois da construção da Barragem de Três Gargantas, alguns nutrientes como nitrogênio, fósforo e potássio podem ser interceptados pela barragem, o que iria a promover o crescimento de algas e outros plânctons, causando efeitos adversos sobre a qualidade da água. No entanto a velocidade de fluxo no reservatório restringirá o crescimento a uma quantia de produtividade biológica. Devido a que o pH do rio Yangtze é particularmente alto, usualmente maior que oito, o fósforo presente na água pode ser facilmente convertido em compostos insolúveis e combinado com sedimentos finos, a maioria deles, serão retirados com as descargas. Então, as concentrações de fósforo solúvel que são consumidas pelas algas terão um nível baixo no reservatório, pelo que não é razoável uma acumulação de nutrientes, por ende a eutrofização no reservatório da barragem não deveria acontecer. Mas, nas bordas do reservatório onde a velocidade do fluxo diminui é possível o crescimento de fitoplâncton e pode-se produzir a eutrofização, para evitar este problema é necessário fazer um monitoramento constante de estas áreas do reservatório.

A distribuição de plâncton a jusante da barragem se produz no sistema do rio de duas formas: mudando e afetando as condições do desenvolvimento de plâncton nas ribeiras (através da modificação da vazão e alteração dos regimes físicos, químicos e termais); e usualmente, mais não sempre, aumentando o fornecimento de plâncton a jusante. Três fatores governam a contribuição de plâncton no rio a jusante da barragem: (1) a taxa de água repostada no reservatório (tempo de retenção); (2) os padrões de períodos do desenvolvimento do plâncton; (3) as características da vazão de descarga do reservatório. As saídas de plâncton do reservatório estão frequentemente ligadas às condições hidrológicas e aos períodos de operação do reservatório (Bergkamp et al, 2000).

(b) Proliferação de Perifiton. O perifiton se forma a montante da barragem no reservatório, em camadas de algas unidas a algum objeto submerso incluindo plantas maiores. O perifiton é mais provável de se proliferar em sítios onde a luz penetra na água rasa perto da borda do reservatório. A composição de espécies será determinada pela natureza dos substratos, a presença ou ausência de macrófitas aquáticas, da temperatura e química da água do reservatório e da operação da barragem. A jusante o perifiton cresce tipicamente em abundância perto da barragem, devido às grandes descargas de sedimentos, ou onde o declive do canal e as velocidades do rio diminuem, mas em áreas a jusante do rio elas são limitadas pela redução da entrada de luz associada com o alto carregamento de sedimentos em suspensão, o incremento das concentrações de matéria orgânica, e o incremento da profundidade das águas. O perifiton é sensível à mudança da qualidade da água e tem requerimentos ecológicos e de tolerâncias definidos. Conseqüentemente, eles podem ser utilizados como indicadores ambientais. De qualquer forma, poucas algas tem bem definido seu *habitat*, e é difícil de isolar a causa dominante de variação de espécies em espaço e tempo. Dentro do fechamento dos rios, em climas moderados, a manutenção das altas descargas de verão, a redução da magnitude da vazão e a freqüência, redução da turbidez e a regulação do regime termal frequentemente promovem o crescimento das algas (Mc Cartney, Sullivan e Acreman, 2000).

(c) Incremento de macrófitas aquáticas. A montante da barragem pode haver um incremento das macrófitas aquáticas na zona litoral e sublitoral do reservatório, a rápida formação dos deltas na entrada do reservatório reduz a profundidade da água e pode encorajar o crescimento delas. Um

problema específico e usualmente sério dos reservatórios tropicais é o desenvolvimento da massa das ervas daninhas aquáticas. As plantas flutuantes podem formar espessos tapetes que cobrem a superfície do reservatório completamente, protegendo o fitoplâncton e através do incremento da entrada de matéria orgânica eles contribuirão para a depleção de oxigênio (Bergkamp et al, 2000). Isto impacta sobre os peixes e pode ter outro impacto ecológico daninho tão sério como implicações econômicas. De acordo com Lima (2003b), um dos principais indicadores dos impactos do meio sobre as usinas e reservatórios é, sem dúvida, a ocorrência de determinadas espécies vegetais aquáticas, bem como sua distribuição, proliferação e concentração. Sua presença está relacionada à determinadas atividades antrópicas que são indutoras de contaminação e poluição das águas do reservatório, alterando suas propriedades naturais e comprometendo a qualidade ambiental das águas e da vida aquática (CESP, 2001). Como aconteceu no reservatório de Três Irmãos no Brasil, onde o as mudanças no uso da terra ocasionou expressivos impactos sobre os cursos da água, comprometendo os recursos hídricos, o que se refletiu em um incremento de macrófitas aquáticas nas margens do reservatório (Lima, 2003a).

Em rios e corpos de água a jusante das barragens sobre planícies de inundação, a distribuição espacial das macrófitas aquáticas está relacionada com a interação de vários fatores físicos e químicos: a variabilidade de descarga, a profundidade e velocidade do escoamento superficial, a turbidez e penetração da luz, o tamanho dos substratos, a estabilidade e os químicos dissolvidos. O incremento de macrófitas tem significância particular na estabilidade do leito do rio a jusante das barragens, comparadas com a situação em rios naturais, as raízes das plantas reduzem o efeito de lavagem, as mesmas plantas sofrem menos estresse das altas descargas e a taxa de migração do leito do rio é reduzida, somente nesta área do leito do rio onde o crescimento das algas é possível, pode ser estável (Mc Cartney; Sullivan e Acreman, 2000).

(d) Mudanças na vegetação ribeirinha. O ecossistema da ribeira mudará inevitavelmente, se caso houver mudanças no ambiente. O principal impacto da construção de barragens a montante é o desaparecimento da biomassa. Em lugares áridos, as águas subterrâneas e superficiais fornecem oportunidades para a vegetação que requer acesso a água durante todo o ano. Em alguns lugares, o reflorestamento da área em torno do reservatório é promovido para diminuir a

sedimentação e produzir uma melhora no ambiente. A variação dos níveis das águas no reservatório pode ter um impacto negativo nas plantas vizinhas do reservatório. Já a jusante da barragem, as características das comunidades ribeirinhas são controladas pela interação dinâmica de enchentes e sedimentação, muitas espécies de vegetação ribeirinha dependem de aquíferos nas planícies de inundação que são recarregados durante as enchentes (Bergkamp et al, 2000).

Para concluir os impactos produzidos pela criação de barragens sobre os ecossistemas, tem-se os *impactos de terceira ordem* que são as mudanças bióticas em longo prazo resultantes da integração dos efeitos produzidos pelos impactos de *primeira e segunda ordem*, incluindo o impacto à espécies do topo da cadeia alimentícia. Os impactos de *terceira ordem* correspondem a outra área de estudo pelo qual não se entrará em detalhes e só se limitará a dizer que para este tipo de impactos, interações complexas podem acontecer durante muitos anos antes que um novo equilíbrio ecológico seja alcançado.

Outro tipo de impactos gerados pela construção de grandes barragens são aqueles que influenciam na saúde, não só das pessoas que moram na área do reservatório, mais também a montante e jusante, a nível regional ou nacional. Este tipo de impactos se reflete em forma direta na sociedade.

Incrementos na prevalência de schistosomiasis, malária, encefalites, febre hemorrágica, gastroenterites, parasitos intestinais, e filariasis, têm sido documentados depois da execução das barragens e projetos de irrigação (“*World Health Organization*”, 2000). Atividades como pescaria e recreação aquática, além da falta de saneamento, favorecem a infecção humana e mantêm o ciclo de vida de parasitos, os canais de terra e lagos para recreação são um excelente criadouro para muitas espécies de vetores (Basahi, 2000). A proximidade humana, a poluição, canalização e agricultura permitem a origem de doenças que se propagam em ambientes tropicais e subtropicais dos países menos desenvolvidos, onde a maioria das barragens é construída. Em Junho de 1997 e Julho de 1998 foram coletadas amostras de água do rio Klip e do Reservatório Vaal, em Gauteng, Sul África, essas amostras revelaram a presença do vírus HAV (Hepatitis A) e HAstV (Astrovirus), isto devido à falta de condições sanitárias na região (Taylor et al., 2001).

Muitas famílias que moram perto do reservatório podem perder o acesso à água do rio e poças naturais podem ser destruídas ou esgotadas. A falta de fornecimento de água deixa as comunidades com água de origem insegura, uma triste consequência de um projeto de transferência de águas. As vilas frequentemente não são abastecidas das opções básicas de água e saneamento, embora elas estejam situadas adjacentes aos campos de construção que tem uma rede de fornecimento própria. As comunidades reassentadas, devido à construção da barragem geralmente, são movidas para o interior, longe dos rios que antes lhes forneciam água confiável. Lembrando que as áreas rurais de re-colonização podem não ter água suficiente para os novos habitantes. O que pode originar uma erupção de cólera e outras doenças relacionadas com a água. A construção de barragens resulta na perda de campos e terras de pastagem; e em áreas onde o status nutricional é pobre, suplementos de comida podem ser necessários para proteger infantes e crianças (Lerer e Scudder, 1999).

Na Tabela 3.6 se mostram os impactos da construção de barragens sobre a saúde e forma em que eles se transmitem à sociedade. Nela se exemplificam doenças transmissíveis e não transmissíveis, os tipos de prejuízo, os impactos sobre a nutrição, a desordem psico-social e o bem-estar social.

TABELA 3.6 Impactos das grandes barragens sobre a saúde.

Impactos na saúde	Exemplos	Base de conhecimento
Doenças transmissíveis	Transmitida por vetores, transmitidas pela água, de transmissão sexual, zoonoses, outros parasitos.	Ampla, confiável, ecossistemas específicos, algumas quantificações.
Doenças não transmissíveis	Envenenamento por minerais, toxinas biológicas, resíduos de pesticidas, efluentes residuais.	Geograficamente limitado, confiável, generalizável, e frequentemente bem quantificado.
Prejuízos	Inundações, prejuízos da construção, do tráfego, violência doméstica e comunal, falhas catastróficas, atividade sísmica.	Limitado, confiável, transferível, algumas estatísticas.
Nutrição	Carência de proteínas, carboidratos ou elementos essenciais.	Limitado e controversa, transferência limitada, quantificação razoável, e limitada confiabilidade.
Desordem psicossocial	Estresse, suicídio, abuso de substâncias, divisão social, intranquilidade violenta, tolerância diminuída.	Poucos dados de pobre confiabilidade com pouca quantificação e variação cultural.
Bem-estar social	Qualidade de vida, coesão social e estruturas de suporte, autodeterminação, direitos humanos, equidade.	Poucos dados de confiabilidade variável, quantificação e variação cultural considerável.

Fonte: World Health Organization, 2000.

Um problema bem comum é a migração de trabalhadores de construção aos sítios das barragens, o que pode resultar em um incremento de doenças de transmissão sexual e o HIV. Embora, o trabalho sexual seja uma consequência reconhecida de uma larga infra-estrutura, frequentemente é difícil de quantificar os efeitos de um projeto sobre a prevalência de HIV, nas comunidades do entorno da barragem. Assentamentos informais usualmente são estabelecidos perto do sitio da barragem por fornecedores de bens e serviços, tais como álcool e sexo. Esses assentamentos requerem serviços de saúde ambientais básicos. No projeto da hidrelétrica do Baixo Kihansi, na Tanzânia África, a implementação de um componente de saúde pública no plano de desenvolvimento ambiental ajudou a diminuir a prevalência do HIV em 50% na população-alvo, quando comparado a outra população, depois de oito anos de implementação (Mercier, 2003). Outro caso da alta incidência de HIV/Aids em áreas de construção e reassentamento, ocorreu durante as obras da segunda etapa da usina hidrelétrica Tucuruí em Brasil, onde houve uma grande proliferação de prostíbulos e de profissionais do sexo. Em 2000, havia mais de 100 prostíbulos e mais de 1000 profissionais do sexo cadastradas no município de Tucuruí. De 1999 para 2000 houve um incremento das doenças sexualmente transmitidas de 130% em Tucuruí e de 1733% em Breu Branco (Oliveira et al., 2006).

Dos fatos decorrentes destas implementações, Cairncross (2000) tem uma visão diferente, segundo ele existem exemplos de grandes e pequenas barragens, e sistemas de irrigação que propagam doenças, porém muitos têm apresentado oportunidades para melhorar a saúde das pessoas de diferentes formas: por inundação de sítios de criação de vetores, ao permitir mais produtividade da agricultura e através da disponibilização elétrica para centros de saúde e hospitais, e assim por diante.

Segundo Jobim (2005), a China e a África têm uma ligação de impactos positivos em suas populações locais devido às barragens. O autor fez uma pesquisa para determinar se o novo projeto hidrelétrico de 18GW nas Três Gargantas sobre o rio Yangtze na China poderia reduzir o risco de malária e schistosomiasis ao redor de 500 km do reservatório. A pesquisa revelou que não há risco de expansão de schistosomiasis nem da malária. Embora, o clima seja adequado para a proliferação destas doenças, tem outros aspectos que o impossibilitam como a grande

declividade das paredes do reservatório e a pouca iluminação da borda do mesmo, aspectos que são importantes para o *habitat* e a reprodução destes mosquitos e caracoles.

Outro impacto positivo das barragens é a tendência de diminuição da Oncocercose ou cegueira do rio. De acordo com Yamana (2004), essa doença é produzida pela picada do mosquito “*blackfly*” (*onchocerca volvulus*). O *habitat* destes insetos são as cachoeiras, rios de grandes velocidades e águas claras, as barragens ao regular a vazão do rio diminuem sua velocidade e mudam as condições básicas para o *habitat* destes insetos. Este é o caso da barragem Owen sobre o rio Nilo, em Uganda África, que fica a jusante do lago Victoria e cuja construção inundou duas cachoeiras, a de Owen e Ripon (Jobim, 2005).

Os problemas relacionados com a saúde têm muito a ver com o planejamento de barragens e o gerenciamento de bacias hidrográficas, É importante lembrar que a etapa de planejamento das barragens é o momento onde devem ser tomadas as precauções necessárias para minimizar os possíveis impactos contra a saúde a ser gerados pela criação de uma barragem.

Para finalizar os impactos gerados pela construção de barragens, temos aqueles impactos que afetam à sociedade como: os reassentamentos e compensações, benefícios de curta duração, mudanças da vazão produzidas pelas hidrelétricas, desigual fornecimento de água entre os diferentes usuários de uma bacia.

Muitos impactos positivos são acumulados durante o planejamento, projeção e a execução da obra. As partes interessadas e afetadas incluem não só empreiteiros, consultores e banqueiros, mas também aos muitos trabalhadores empregados em todos os aspectos do projeto, e aqueles que vivem do negócio gerado pelo processo de planejamento e construção. Os impactos negativos na fase de planejamento estão relacionados com os temores e a incerteza gerada na possível área de projeto e os problemas de especulação de terra e falta de investimentos. A especulação de terra afeta aos pequenos latifundiários ou outros, por exemplo, as mulheres que tem acesso limitado aos mecanismos legais (Adams, 2000).

De acordo com Égré e Senécal (2003), na barragem de Três Gargantas se trabalhou com três alturas diferentes de desenho: 150m, 160m e 185m. Com essas diferenças de altura também variava o número de afetados pelo nível do reservatório, desde 539.000 a 1.184.000 pessoas. Se a alternativa de 160m fosse escolhida, como foi planejado em 1988, então, 465.000 pessoas não teriam sido forçadas a abandonar seus lares.

O mais sério impacto negativo do fechamento de um rio é o trauma dos reassentados, ou dos custos sócio-econômicos e culturais do pessoal deslocado que não é reassentado. A evacuação enfrenta os custos mais altos na etapa de reassentamento, particularmente quando esta é apurada (Jackson e Sleight, 2000). Mesmo que esta seja feita pacificamente, o deslocamento obrigatório é estressante (Hwang et al., 2007), pela forma como as pessoas são desraizadas de suas casas, de suas ocupações, isto retoma a pergunta sobre seus próprios valores (Windsor e Mcvey, 2005). O impacto dos reassentados, e todo um processo, vai além da ação de reassentamento, os impactos positivos só podem ser sentidos depois de que o trauma inicial do deslocamento for terminado. Normalmente, são as pessoas da segunda geração das comunidades deslocadas, as que ficam em posição de usar os recursos disponíveis para eles. Um grande número das comunidades envolvidas enfrentam problemas particulares devido à criação de um reservatório, por exemplo, pessoas que tem terras parcialmente inundadas e que só recebem compensação por uma parte dela, pessoas as quais erroneamente foi dito que suas terras seriam inundadas, pessoas que alugam terras ou casas na área afetada que não tem direito a um reassentamento e não são compensadas (Adams, 2000). Os indivíduos retirados de suas casas pela construção de barragens e do lago formado pelo reservatório geralmente são ignorados, se assume que eles vão ser beneficiados pela construção da barragem de alguma forma. Há muitos casos de uso de violência no reassentamento de pessoas e poucos são os casos que se fez alguma compensação com relação a este impacto. As famílias reassentadas perdem casas, terra, fontes de alimentação, trabalho, e eles são expostos ao deslocamento social (Lerer e Scudder, 1999). As comunidades que recebem aos reassentados enfrentam um incremento na densidade de população, o que origina uma forte pressão sobre os recursos naturais, água e infra-estrutura sanitária e resultam em uma incidência do crescimento das doenças transmissíveis; além da possível mudança cultural forçada e a competição econômica. As famílias reassentadas incapazes

de cultivar seus alimentos para subsistir como geralmente faziam, são forçadas a comprar alimentos (Mbonile, 2005).

Os impactos das barragens no local de implantação estão relacionados com a construção em si, as barragens demandam grandes quantidades de mão-de-obra não qualificada e pequenas quantidades de mão-de-obra qualificada. A projeção e a construção são geralmente promovidas por corporações privadas, que usualmente vem de fora. Uma proporção do investimento na barragem que é paga localmente, fica dentro da economia local.

A execução da construção de uma barragem gera uma ampla demanda de produtos, como: empreiteiros especialistas, construções locais, o serviço e a indústria de transporte. Normalmente, um povo se forma do lado da construção de uma barragem, isto pode ser um benefício econômico da construção da mesma. De qualquer forma, uma grande parte da vida econômica do povo tem curta duração e eles podem virar em povos fantasmas, uma vez que a construção da barragem termina. O desemprego pode ser um sério problema, os habitantes do local da barragem podem experimentar impactos secundários negativos devidos à pobre regulação ambiental e a provisão do serviço social. As condições de vida dos povos perto da barragem podem piorar, devido a predominância de doenças de transmissão sexual (Adams, 2000). Rodovias e atividades de construção trazem benefícios, mas geralmente a melhora nas condições de fornecimento de água, de empregos e de agricultura são de curta duração, e quando as obras são concluídas podem ter conseqüências catastróficas (Lerer e Scudder, 1999).

Embora, a construção de estradas para o local da barragem diminua a isolação e incrementa a atividade econômica, um incremento dos acidentes pode ser esperado. A polícia local, geralmente, não tem a capacidade de manter os limites de velocidade e assegurar que os carros são confiáveis (Lerer e Scudder, 1999). A construção de linhas de poder, canais de irrigação, ou acesso a rodovias tem impactos através do trabalho criado na construção e por permitir o acesso à áreas previamente inacessíveis para fazendeiros pioneiros, caçadores e turistas. Vale notar que impactos negativos repercutem nestes impactos positivos, quando pessoas locais perdem terras ou direitos de recursos, ou há uma especulação em terras e recursos.

Imigrantes, no meio de cultivadores permanentes ou caçadores itinerantes trazem novas normas de práticas culturais (Adams, 2000).

Há impactos positivos diretos do gerenciamento de barragens relacionados principalmente com a possibilidade do desenvolvimento das atividades piscícolas (Adams, 2000). A jusante pode ocorrer outros impactos positivos, se as barragens fazem o controle das grandes enchentes e a proteção da infra-estrutura e propriedades, e também, se permite o investimento agrícola ou desenvolvimento urbano sobre as planícies inundáveis (WCD, 2000).

Os impactos negativos da construção de barragens sobre o meio ambiente a jusante delas resultam da dependência de atividades sociais e econômicas em comunidades ao longo do rio e dentro de planícies de inundação sobre padrões naturais do fluxo do rio. Agricultura, piscicultura e pastoreio, e por fim, tudo depende dos ciclos anuais de enchentes, e as organizações sociais estão quase adaptadas às mudanças ambientais fornecidas pelo rio. A construção de barragens muda os padrões da vazão nos rios, e isto pode atrapalhar severamente a economia de estes setores a jusante. As planícies de inundação como não são mais inundadas pelas enchentes requerem de irrigação, os campos de pastoreio passam a ser disputados e a população de peixes diminui (Adams, 2000).

Organizações sociais e a produção econômica podem ser prejudicadas por muitos quilômetros a jusante pela construção da barragem, com um incremento das taxas de migração em procura de trabalho, o preço das terras diminui e também, há mudanças nos roles de gênero e outros impactos. Mulheres e indígenas podem ser particularmente vulneráveis à impactos negativos em áreas a jusante (Mbonile, 2005).

O principal impacto positivo das hidrelétricas é o incremento na disponibilidade de energia. A energia hidrelétrica é relativamente limpa em comparação com os combustíveis fósseis e isto, evita os custos de longo alcance e riscos do armazenamento de combustível radiativo. Ela pode ter um custo relativamente baixo sobre longos períodos de tempo. Outro impacto positivo é o incremento da atividade econômica (indústria, comércio, eletrodomésticos) (Sternberg, 2007).

Os impactos negativos incluem prejuízos sobre os produtores de energia não hidrelétrica e algumas vezes, impactos maiores sobre pessoas que moram a jusante. Os impactos a jusante incluem efeitos sobre comunidades dependentes do recurso usado em planícies de inundação, estuários, deltas ou costas ambientais. Descargas contínuas e a possibilidade de vazões fora de temporada, para fornecer certos picos de energia demandada feitas pelas hidrelétricas, provocam este tipo de impactos a jusante (Adams, 2000).

Os benefícios sociais obtidos em troca dos impactos das barragens, às vezes, são menores do que as declarações oficiais implicam, porque grande parte da energia poderia ir para subsidiar as empresas multinacionais que empregam uma minúscula quantidade de mão-de-obra. Por exemplo, a empresa de fundição Albra, em Baracarena Pará, emprega apenas 1.200 pessoas, mas utiliza mais eletricidade do que a cidade de Belém com uma população de $1,2 \times 10^6$ de habitantes. O setor de alumínio no Brasil emprega quase 2,7 pessoas/GWh de energia consumida, seguido só pelas empresas de fundição de ferro 1,1 empregos/GWh, que também consomem grandes quantidades de energia para a elaboração de produtos de exportação (Fearnside, 2006).

O maior uso da água armazenada nas barragens do mundo é para irrigação, ela é um elemento vital em ambos os casos de estratégias de produção de comida (e de alimentos) a nível nacional (em economias locais e regionais), e em estratégias de sustento familiar. A irrigação que estende o crescimento da temporada de colheita, pesticidas, fertilizantes e maquinaria, incrementa significativamente a produção agrícola. Os benefícios incluem um incremento da produção de alimentos, da disponibilidade de comida, redução dos preços e estabilização da produção da colheita durante anos. Incrementa a demanda de mão-de-obra e estabiliza a mesma. Estes impactos positivos são gozados pelos fazendeiros, seus trabalhadores e negócios locais. Os impactos negativos da irrigação são devidos à desigualdade (isto pela desconfiança ou o fornecimento desigual em espaço e tempo), empobrecimento dos fazendeiros (pelos altos custos fixados e baixa produção) e dívidas associadas; altos custos de manutenção, salinidade, de proteção das colheitas, doenças da água e baixa qualidade da saúde pública. Pode haver problemas também com a distribuição social dos benefícios econômicos dos esquemas de irrigação a grande escala (Adams, 2000).

3.4 Sustentabilidade Ambiental das barragens.

Segundo Hermanowicz (2005), o significado de sustentabilidade no contexto do gerenciamento dos recursos hídricos tem mudado com o transcurso do tempo. Inicialmente abastecer as demandas de água era o interesse dominante. Pouco tempo depois o interesse pela qualidade da água voltou-se mais importante seguido pelo amplo reuso das águas. Hoje em dia a sustentabilidade exige a inclusão de todo um conjunto de aspectos (energia, poluição, agentes químicos, etc.), espaciais e de escalas de tempo.

O desenvolvimento sustentável gradualmente se tornou num conceito importante encaixado em muitas atividades da sociedade, incluindo a economia, e política. A sustentabilidade é agora um crescente assunto de negócios, governos, grupos cívicos e individuais (Hermanowicz, 2006). Estes assuntos estão usualmente ligados à eficiência energética, à redução das emissões que causam danos ao ambiente, à preservação de ecossistemas e outras tentativas para diminuir os impactos ao ambiente.

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (1999), o conceito de desenvolvimento sustentável tem três vertentes principais: o crescimento econômico; a equidade social e o equilíbrio ecológico. Esta visão é compartilhada por Hediger (2000) que diz que o desenvolvimento sustentável é um conceito normativo que envolve problemas de escolha entre objetivos de caráter social, ecológico e econômico, e é requerido para sustentar a integridade de todo o sistema.

Para que o desenvolvimento sustentável seja alcançado na construção de uma barragem, é necessária a participação de todos os elementos, grupos e setores envolvidos. Para que entre todos, selecionem a combinação mais adequada de opções, considerando critérios técnicos, financeiros, econômicos, sociais e ambientais. Em este sentido, a WCD (2000), propõe de forma construtiva e inovadora avançar na tomada de decisões, para a construção de barragens, mediante o cumprimento de sete prioridades estratégicas:

- Obter a aceitação pública;
- Avaliação abrangente das opções;
- Consideração das barragens existentes;
- Conservação dos rios e meios de subsistência;
- Reconhecer os direitos e compartilhar os benefícios dos recursos hídricos e energéticos;
- Garantir o cumprimento dos acordos e compromissos prévios;
- Compartilhar os rios pela paz, o desenvolvimento e a seguridade.

O objetivo destas prioridades é o desenvolvimento equitativo e sustentável de qualquer projeto de barragem. Ghilardi (2003) elaborou um estudo de caso para o Projeto Hidrelétrico de Belomonte, no qual, com base nos resultados e recomendações do trabalho da WCD (2000), fez as comparações qualitativa e quantitativamente das normas legais ou instruções normativas aplicadas no planejamento de grandes barragens hidrelétricas no Brasil. Neste trabalho o autor afirma que: mesmo reconhecendo todos os avanços da legislação e da política pública brasileira no caminho da sustentabilidade dos grandes projetos de infra-estrutura, os resultados demonstraram que ainda são necessários ajustes significativos para se atingir os princípios e objetivos de sustentabilidade propostos pela WCD (2000).

Destacando o terceiro ponto para o desenvolvimento sustentável, sobre o equilíbrio ecológico, e considerando os impactos ambientais produzidos pela construção de barragens, Goodland (1997) se concentrou na tarefa de encontrar a barragem que seja sustentável. Assim, o conceito de barragens ou hidrelétricas ambientalmente sustentáveis foi proposto pelo autor, como aquelas barragens que tenham um longo tempo de vida, baixos custos sociais e ambientais. Também que estes não aumentem com o tempo, principalmente, para as gerações futuras, especialmente no que se refere às mudanças climáticas. Os principais requisitos para uma barragem ser considerada ambientalmente sustentável encontram-se apresentados na Tabela 3.7.

TABELA 3.7 Requisitos para uma barragem sustentável

Ter um reduzido número de pessoas afetadas, principalmente que necessitem de reassentamento involuntário.
Não ter sua vida útil reduzida devido à problemas de sedimentação no reservatório.
Não haja declínio na produção pesqueira e na sua contribuição para nutrição da população.
Não reduza a diversidade genética de espécies como consequência do projeto e não provoque ou contribua para extinções de espécies.
Os benefícios com a geração de energia devem superar as perdas na produção agrícola e terras de qualidade equivalentes, ou melhores, devem ser providenciadas para os atingidos.
A qualidade da água deve manter-se em níveis aceitáveis.
As alterações no ciclo hidrológico a jusante não deve comprometer os outros usos da água pela população, nem os ecossistemas, principalmente, as zonas úmidas especiais.
As barragens devem ter integração regional e evitar perdas culturais e estéticas.
A produção de gases de efeito estufa não deve exceder a de uma termelétrica equivalente.

Fonte: Goodland, 1997.

Desta forma a construção de novas barragens deve seguir com a orientação dos diversos autores, em busca do objetivo de barragens sustentáveis desde o ponto de vista ambiental, social e econômico.

4. PLANEJAMENTO ENERGÉTICO

E, que é um homem sem energia?

Nada, absolutamente nada

Mark Twain

4.1 Generalidades

A eletricidade é uma necessidade mundial humana, vital para o crescimento dos países em processo de desenvolvimento. Estes países requerem de um alto incremento econômico, criação de novas indústrias e fontes de emprego para atingir tal desenvolvimento e combater a pobreza que sua vez, se devem traduzir em grandes quantidades de energia demandada. Da mesma forma, os países desenvolvidos pretendem manter taxas sustentáveis de crescimento econômico e velar pelo conforto que vem tendo nas últimas décadas, para obter níveis sustentáveis de demanda de energia (Rios, 2007).

De acordo com os dados da “*International Energy Agency*” (IEA, 2007) o maior consumidor de energia é a OECD (Organização para a Cooperação Econômica e o Desenvolvimento), organização da qual são membros 30 países como a Alemanha, a Inglaterra, a Itália, o Japão, a França, a Canadá e os EUA. Estes países consomem 48,5% da produção de energia elétrica no mundo como se pode verificar na Figura 4.1 onde se apresenta a evolução do consumo de energia de 6.128 Mtoe (milhões de toneladas de óleo equivalente) em 1973 até 11.435 Mtoe em 2005. E mesmo que tenham diminuído seu consumo em 13%, seguem sendo os grandes consumidores mundiais da energia. A China e o continente da Ásia praticamente duplicaram seu consumo, enquanto a África teve um crescimento moderado, a América Latina

teve um crescimento de 0,7% em 33 anos, ou seja, a 0,021% por ano. O que significa que é um continente ainda não desenvolvido, mas com uma grande quantidade de recursos inexplorados.

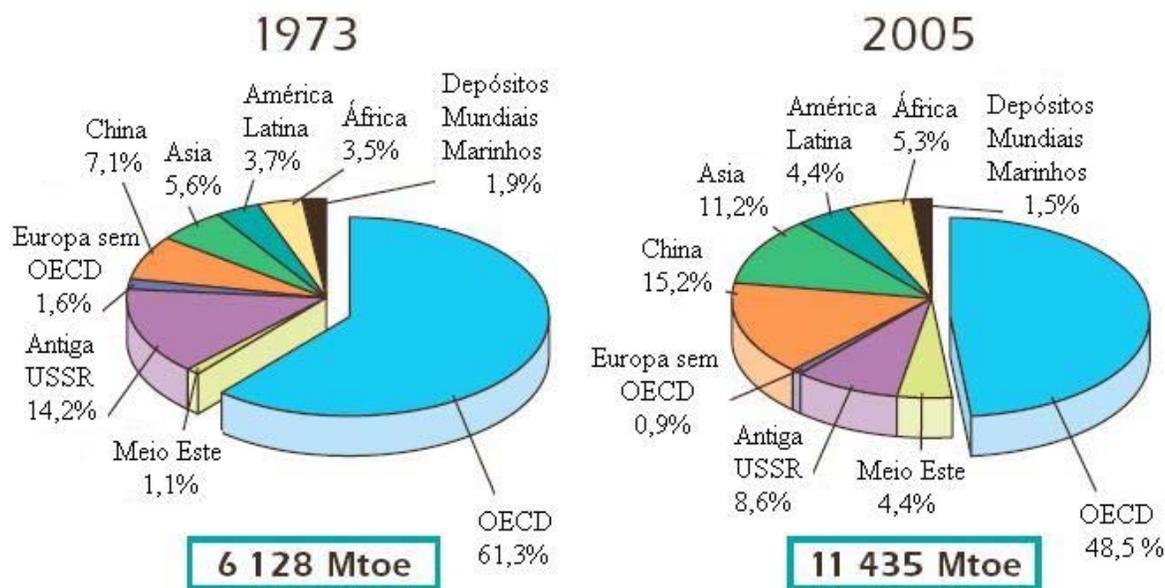


FIGURA 4.1 Evolução do consumo de energia por região (1973-2005)

Fonte: IEA, 2007.

É claro que a humanidade precisa de energia para subsistir e garantir certa condição de conforto, pensando nisto, o ser humano tem criado muitas formas de gerar energia: à base de carvão, derivados do petróleo, gás natural, usinas hidroelétricas, usinas nucleares, painéis solares, energia eólica, energia geotérmica, biomassa e outros. As formas convencionais como o carvão, petróleo e gás natural são muito boas como fontes de energia e ainda tem em abundância na terra, mas são fontes não renováveis, finitas, que estão produzindo mudanças climáticas com graves conseqüências para a humanidade (Erec e Greenpeace, 2007), como por exemplo o problema da contaminação ambiental devido à produção de dióxido de carbono (CO₂), que na atualidade tem alcançado níveis inesperados.

Segundo a IEA (2007), o carvão responde pelo 25,3%, o petróleo por 35%, e o gás natural pelo 20,7%, somado tudo, tem-se 81% do fornecimento mundial de energia deixando o restante, 19%, para as chamadas energias renováveis. Dentro destes três tipos de energia, o gás natural é quem menos contamina o ambiente.

A energia nuclear é uma energia limpa, não precisa de muito espaço físico para sua instalação, mas sim de tecnologia e mecanismos de alta seguridade para a geração de energia, o problema é, o que fazer com os resíduos nucleares do urânio enriquecido altamente radioativos. Além do que, existe uma resistência por parte de sociedade a este tipo de energia (Erec e Greenpeace, 2007). Embora a energia nuclear responda pelos 6,3% da energia fornecida no mundo e países desenvolvidos como os EUA, a França, o Japão e a Alemanha sejam os maiores produtores de energia nuclear com um total de 1.731 TWh/ano (IEA, 2007), e mostrem este tipo de tecnologia como uma interessante alternativa para a crescente demanda mundial de energia, acidentes como o de Windscale (1957), Three Mile Island (1979), Chernobyl (1986) e Tokaimura (1999) deixam à sociedade com dúvidas no momento de optar por este tipo de tecnologia (Erec e Greenpeace, 2007).

As energias solar, eólica, geotérmica, biomassa, entre outras, são consideradas como energias renováveis limpas, mas ainda não se tem uma tecnologia para aproveitá-las ao máximo e competir com os grandes produtores convencionais. Estima-se que dentro de dois ou três anos, se terá uma maior competitividade quanto aos custos e, portanto, uma maior participação destes tipos de energia (Rios, 2006b). Na Figura 4.2 pode ser visto o crescimento da produção de energia no mundo, desde 1972 até 2005 de acordo com os tipos de combustíveis utilizados.

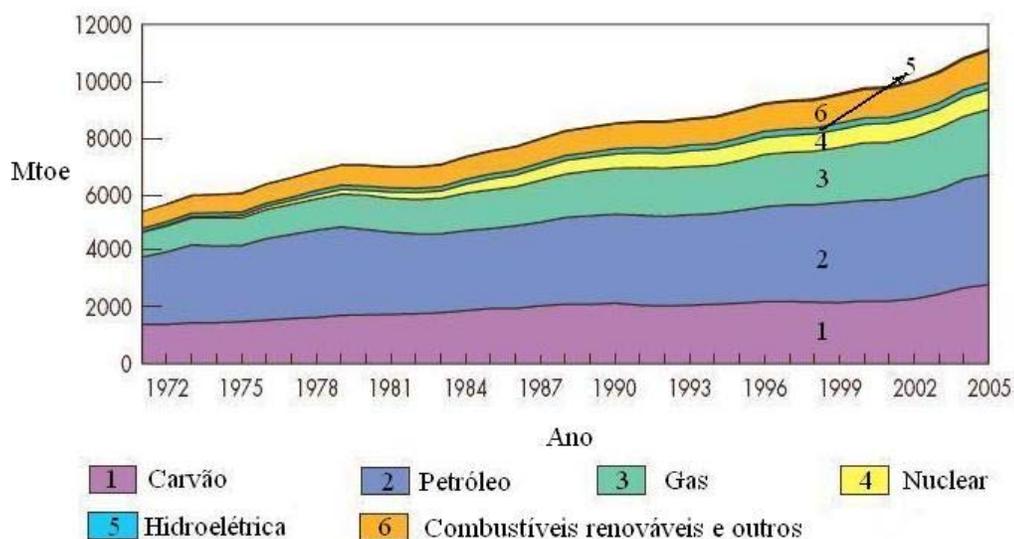


FIGURA 4.2 Evolução mundial do fornecimento de energia por combustível.

Fonte: IEA, 2007.

O consumo de carvão e do petróleo foram, desde o começo de uso de energia, as fontes para o desenvolvimento humano e tem mostrado um pequeno e constante incremento ao longo dos anos (Figura 4.2). O gás natural leva o terceiro lugar na produção de energia com um incremento mais notório seguido dos combustíveis renováveis que se espera sejam os substitutos do carvão e do petróleo. É claro que nas seguintes três a quatro décadas os combustíveis fósseis seguirão dominando a produção primária de fontes de energia (75 a 80%), e que as energias renováveis com todo o esforço que se está dando, só contribuirão com 20 a 25%, mesmo assim não se pode deixar de lado o problema do aquecimento global (Rios, 2006a).

É necessário mudar o uso de combustíveis fósseis pelo uso de combustíveis renováveis e aplicar durante as próximas três a quatro décadas uma série de medidas tecnológicas como a eficiência energética, o uso de bio-combustíveis na área de transporte, a mistura de combustíveis nas indústrias e prédios, e a transformação das usinas de carvão a gás, usinas nucleares, usinas hidrelétricas e outras energias renováveis (Rios, 2007).

4.2 A energia hidrelétrica como fonte para atingir o desenvolvimento.

No decorrer dos anos, o ser humano caminhou para o uso de energias abundantes cada vez mais limpas e que sejam economicamente competitivas, estas são constantes do desenvolvimento da indústria energética. É só ver a evolução desde a lenha ao carvão, petróleo, gás natural e possivelmente, do hidrogênio. Estes são conhecidos como os energéticos do século XVIII, XIX, XX e XXI. A Índia e a China são exemplos desta procura de melhores fontes de energia para atingir o desenvolvimento, já que devido às grandes demandas energéticas que tem produto do seu crescimento populacional estão mudando progressivamente suas antigas fontes de energia por outras que sejam mais limpas e eficientes (Rios, 2006a).

Dentro deste panorama, que tende à diversificação de combustíveis fósseis e uso de recursos renováveis limpos, é importante a consideração e uso da hidroeletricidade. A energia hidrelétrica é reconhecida como uma fonte de energia renovável acessível, seu desempenho na geração de eletricidade, especialmente nos países de rápido desenvolvimento, é crucial. A

eletricidade desenvolve um papel importante na redução da pobreza, no fomento às atividades econômicas e na melhora da qualidade de vida, da saúde e oportunidades de educação, especialmente no caso de mulheres e crianças (ONUDI, 2006).

A energia hidrelétrica se manteve quase constante com um pequeno incremento de 0,03% durante 33 anos, de 1,8% em 1972 passa a 2,2% da produção mundial no ano 2005. Desses 2,2% a maior parte é produzida pelo OECD que tem 44,6% do consumo mundial. Os grandes produtores de energia hidrelétrica são a China 397 TWh/ano, o Canadá 364 TWh/ano, o Brasil 337 TWh/ano, os Estados Unidos 290 TWh/ano, a Rússia 175 TWh/ano (IEA, 2007).

Na Figura 4.3 se pode ver que, em 2005, dos 2994 TWh gerados, 79,3% pertencem a Europa, Ásia, África, e Oceania. Isso deixa uma produção para Latino América de 20,7%, ou seja, 619,76 TWh, dos quais Brasil é o maior produtor.

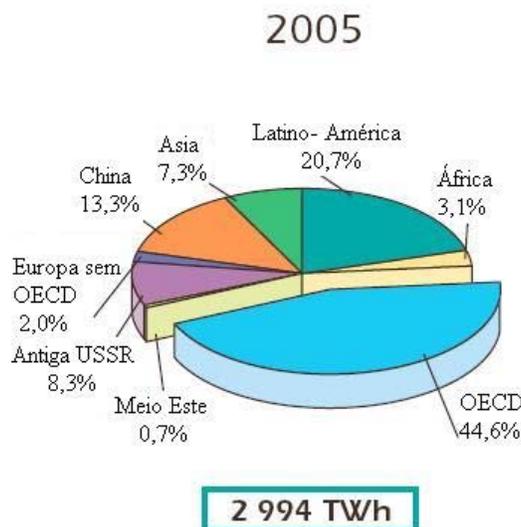


FIGURA 4.3 Consumo mundial de energia no ano 2005
Fonte: IEA, 2007.

4.3 A Energia hidrelétrica na América do Sul

América do Sul tem um grande potencial hidrelétrico não aproveitado que pode ser explorado no decorrer dos anos. Com um bom planejamento, teria a capacidade de gerar uma matriz energética regional para sair da pobreza, que é um denominador comum deste continente. A água é uma fonte renovável de energia que devidamente administrada em relação a sua exploração, é uma alternativa limpa e econômica para seu uso sub-regional e regional.

Rios (2006a), a OLADE (Organização Latino-americana de Energia) estimou o potencial regional de hidroeletricidade para o ano 2005 como sendo de 582.033 MW. Deste potencial somente estavam sendo aproveitados 139.688 MW (aproximadamente 24%) com uma geração bruta de 3153.804 GWh/ano. Estima-se que um 35% do potencial estimado é economicamente viável de exploração, tanto por sua localização, como pelo novo cenário de preços do petróleo e do gás natural na região.

A maioria dos países da América do Sul tem combinações entre hidroeletricidade e termoeletricidade de 40 a 60%, com alguns picos cobertos pela geração de termoelétricas a carvão e também em base aos derivados do petróleo como óleo e diesel (Rios, 2006b).

Na Tabela 4.1 se mostra a produção dos diferentes tipos de energia no Centro e Sul América, na qual se destaca a capacidade instalada e o potencial hidrelétrico desses países. Segundo OLADE (2005) os maiores representantes sul americanos da hidroeletricidade são: Brasil com 76% da produção total de energia proveniente de usinas hidrelétricas, na Venezuela é o 65%, no Paraguai 99%, na Colômbia a produção hidrelétrica alcança o 66% e a Argentina com 34%. Os valores adotados correspondem ao “*Informe de Estadísticas Energéticas*” elaborado pela OLADE para o ano 2005. Na Bolívia, a produção de energia hidrelétrica representa o 47% da produção total, segundo os dados da Superintendência de Eletricidade (SIE, 2007), mesmo assim os valores de produção são baixos em comparação com os grandes representantes de América do Sul.

TABELA 4.1 Produção dos diferentes tipos de energias na América do Sul.

Países	Hidrelétrica	Termais	Outros	Nuclear	Totais	Regional	Potencial Hidrelétrico	Pot Hid. no ano
	MW	MW	MW	MW	MW	%		
Argentina	9852,00	17288,29	26,62	1018,00	28184,91	10,80	44500	2002
Bolívia	460,99	917,80	0,00	0,00	1378,79	0,53	39850	2002
Brasil	73278,70	20770,42	0,00	2007,00	96056,12	36,82	143380	2004
Chile	4812,10	7378,40	2,00	0,00	12192,50	4,67	25156	2005
Colômbia	8984,27	4418,92	29,30	0,00	13432,49	5,15	93085	2003
Equador	1764,16	1803,15	0,00	0,00	3567,31	1,37	23467	2003
Panamá	846,00	662,00	0,00	0,00	1508,00	0,58	3698	2003
Paraguai	7410,00	6,10	0,00	0,00	7416,10	2,84	12516	2003
Peru	3207,06	3031,48	0,70	0,00	6239,24	2,39	61832	1996
Uruguai	1538,00	723,00	0,00	0,00	2261,00	0,87	1815	2005
Venezuela	14597,00	7538,00	0,00	0,00	22135,00	8,48	46000	2002

Fonte: OLADE, 2005.

A maior usina hidrelétrica em América do Sul é Itaipu com 14.000 MW de potência instalada nas 20 turbinas de 700 MW de capacidade cada uma (Ozis et al., 2004). Esta usina está localizada no rio Paraná e a energia produzida é compartilhada entre o Paraguai e o Brasil. Itaipu fornece o 99% da demanda energética do Paraguai e aproximadamente 25% da demanda energética do Brasil, segundo dados da “*International Water Power and Dams Construction*” (IWP&DC, 2006). Em 2006, Itaipu produziu quase 92700 GWh, e nos últimos cinco anos uma média de 90.000 GWh (IWP&DC, 2007a). A segunda maior usina é a de Raúl Leoni, conhecida como Guri, no rio Caroni, na Venezuela, com 10.000 MW de capacidade. O Paraguai também compartilha com a Argentina a usina de Yacyretá com 20 turbinas e uma capacidade instalada de 3.200 MW, localizada a jusante de Itaipu. Segundo o IWP& DC (2006) a usina opera com capacidade reduzida de 1800 MW. Esta usina fornecia 5% da demanda do Paraguai e 40% da Argentina. Como resultado, o Paraguai é um importante exportador de eletricidade. Em 2000 exportou 49,5 GWh, aproximadamente 90% da produção energética nacional.

A capacidade hidrelétrica da Argentina está baseada em dois esquemas binacionais de compartilhamento 50%, o já citado Yacyretá com Paraguai e o de Salto Grande com Uruguai (1890 MW de capacidade, altura 47m, geração anual de 6,74 TWh).

De acordo com os dados da IWP&DC (2007b), o Equador vai investir 300x10⁶ de dólares (US \$) anuais para a construção de novas usinas hidrelétricas para ganhar a maior parte da demanda do setor energético que cresce a uma taxa de 7% anual. De acordo com os planos do

governo para o ano 2012 pretende-se ter a energia hidrelétrica como a fonte de energia dominante do seu sistema.

Outro aspecto importante se refere às características do sistema interligado. A rede elétrica da Venezuela está ligada à de Colômbia, e em agosto de 2001 uma interconexão elétrica foi inaugurada entre o Brasil e a Venezuela, em Santa Elena de Uairen na Venezuela, ligando com Boa Vista (RR), no Brasil. A Colômbia também tem uma rede interconectada com Equador. Em Janeiro de 2003, uma nova rede energética de 211 km foi construída entre a Colômbia e o Equador, fruto de um acordo da Comunidade Andina (CAN). Em Dezembro de 2002, a Bolívia, a Colômbia, o Peru, o Equador e a Venezuela combinaram em integrar seus mercados para criar um mercado energético regional (Flin, 2003).

A Argentina e o Paraguai estão planejando a construção de mais uma usina hidrelétrica no rio Paraná, a usina de Corpus Christi com 3.000 MW de capacidade e um custo estimado em US\$ 3,1 bilhões (IWP& DC, 2007). Outros 8.600 MW estão sendo planejados na construção de novas usinas hidrelétricas compartilhadas com outros países como o Brasil, o Paraguai e a Bolívia. A Argentina tem ligações energéticas com o Chile, o Brasil e o Uruguai. A ligação com o Brasil teve muita importância devido à queda de energia que aconteceu no Brasil, em 2001 (Flin, 2003).

4.4 Características do modelo energético no Brasil

Segundo Barbosa (2001) até 1930 eram as companhias privadas, com concessão governamental, as que organizavam o fornecimento da energia elétrica de forma local ou regional. As principais multinacionais eram American & Foreign Power Company – Amforp (norte-americana) e Brazilian Traction, Light and Power – Light (canadense). Em termos espaciais, a geração de energia hidrelétrica estava bastante atrelada às atividades econômicas. Entre os anos de 1880 e 1900, a concentração maior de energia hidrelétrica era proveniente de usinas localizadas em Minas Gerais, em função das atividades minerárias, como: o beneficiamento de produtos agrícolas, fábricas e serrarias, que aos poucos foram em direção às cidades do Rio de Janeiro e São Paulo (Freitas, 2002).

O aproveitamento do desnível proporcionado pela Serra do Mar foi um dos fatores preponderantes que direcionaram os projetos hidrelétricos no eixo da capital federal - na época o Rio de Janeiro - e da industrial São Paulo, destacando as usinas Fontes Novas e Ilha dos Pombos, de 132 MW e 164 MW de potência, instaladas em 1908 e 1924 na sub-bacia do Paraíba do Sul, no Rio de Janeiro. A Usina Hidrelétrica de Henry Borden, que teve sua primeira unidade inaugurada em 1926, atingiu, em 1950, a capacidade de 469 MW. Houve uma expansão da geração de energia hidrelétrica nas décadas de 50 e 60 em regiões da Bahia, mais especificamente, na bacia do rio São Francisco (Paulo Afonso I e II), e Minas Gerais, no rio Grande (Mascarenhas de Moraes, Furnas e Estreito). Nas décadas seguintes, seguindo os padrões de crescimento econômico, foram construídos grandes empreendimentos hidrelétricos (capacidade acima de 1.000 MW) com expansão para as bacias dos rios Paraná (ex. Itaipu com 12,6 GW), Iguaçu e Tocantins (Tucuruí 4,2 GW) (Sinisgalli, 2000).

O Brasil é o terceiro país do mundo em capacidade instalada de geração hidrelétrica. Sua participação na produção da eletricidade brasileira é expressiva, acima de 85% do volume gerado nas últimas décadas. Água e energia têm historicamente uma forte ligação de interdependência. Por conseguinte, a contribuição da energia hidráulica no desenvolvimento econômico nacional tem sido destacável, seja no atendimento às diversas demandas da economia, como: as atividades industriais, as agrícolas, as comerciais, de serviços e lazer ou da própria sociedade, melhorando a qualidade de vida e o conforto das habitações, ou ainda promovendo o desenvolvimento de regiões distantes dos grandes centros de consumo, pela renda direta e indireta gerada por usinas hidrelétricas (Sustentabilidade no uso da Energia no Brasil: Os próximos 20 anos, 2002).

Do ponto de vista da utilização dos recursos hídricos, a geração de eletricidade no Brasil tem sido considerada uma prioridade, apesar de uma legislação antiga que já estabelecia os princípios do uso múltiplo das águas, como o Código das Águas de 1934. A Lei n.9.433, de 8 de janeiro de 1997, que define a Política Nacional de Recursos Hídricos e os instrumentos do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, apenas reafirma esses princípios, sem tornar efetiva a sua execução.

Na implementação dos empreendimentos hidrelétricos, dois órgãos de governo concorrem para sua regulação. Por um lado, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), criada pela Lei n.9.427, de 26 de dezembro de 1996, em substituição ao antigo Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE) que foi extinto no processo de reestruturação do setor elétrico brasileiro. Por outro lado, a Agência Nacional das Águas (ANA), criada pela Lei n.9.984 de 2000. A superposição de competências entre os dois órgãos só foi parcialmente superada com a Resolução n.131, de 11 de março de 2003, que estabeleceu como competência da ANA a Declaração de Reserva de Disponibilidade Hídrica (DRDH), impondo à ANEEL a responsabilidade por sua obtenção prévia, como pré-requisito para a licitação de concessão ou autorização do uso do potencial hidráulico (Bermann, 2007).

No Brasil, a hidroeletricidade é responsável por cerca de 76,6% da capacidade instalada de geração no país, e por 82,8% da eletricidade consumida (ANEEL, 2007). A maior parte da eletricidade produzida em Brasil é fornecida pelas grandes barragens, a capacidade instalada por esta fonte de energia é maior que 71 GW. Muitos projetos hidrelétricos estão em estudo como o de Belo Monte (rio Xingu) e Santo Antonio e Jirau (ambos no rio Madeira). Apesar desses projetos serem otimizados (os atuais projetos são mais ambientalmente amigáveis do que os antigos), várias organizações são contrárias à construção dessas plantas. Algumas centrais hidroelétricas foram apenas sugeridas, como por exemplo, a central hidrelétrica de O'bidos, que seria instalada no rio Amazonas. Este projeto, que foi planejado na década de 1960, teria uma potência máxima de 70 GW, e a área do lago formada pela barragem seria de 180.000 km². No Brasil, como ocorreu em todo o mundo, muitas das centrais hidroelétricas foram instaladas principalmente entre 1970 e 1975, devido ao elevado crescimento econômico.

A região do Sudeste do Brasil contém uma grande quantidade de centrais hidrelétricas, seguidos pelo Sul, Centro Leste, Norte Leste e Norte (Souza, 2007). Segundo o Sistema de Informação do Potencial Hidrelétrico Brasileiro (SIPOT, 2007), o potencial hidrelétrico total (estimado e inventariado) no ano 2007 é de 246.133 MW dos quais 68.263 MW estão atualmente em operação. Planeja-se incrementar a capacidade nacional em 7.497 MW em construção e 8.438 MW na etapa de projeto básico. A capacidade instalada das usinas hidrelétricas atualmente em operação representa não mais que 28,4% do potencial hidrelétrico total no Brasil. Essa situação é

utilizada como argumento para aqueles que preconizam uma expansão mais vigorosa dos projetos de usinas hidrelétricas no Brasil. As possibilidades de expansão da capacidade hidrelétrica a ser instalada no Brasil, entretanto, encontram muitos problemas. Praticamente a metade desse potencial (50,2%) encontra-se localizado na região amazônica, principalmente nos rios Tocantins, Araguaia, Xingu e Tapajós. As conseqüências sociais e 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 muito além da retórica dos documentos oficiais. Também é significativo o potencial hidrelétrico ainda a aproveitar, localizado nas bacias dos rios Paraná e Uruguai, representando quase 29% do total. Nessas regiões do Sul do país, caracterizadas por uma elevada densidade populacional nas áreas rurais, o processo de "deslocamento compulsório" dessas populações ribeirinhas para a formação dos reservatórios dos empreendimentos hidrelétricos previstos também exige toda a atenção e cuidados, para que não se reproduzam os problemas verificados no passado recente (Bermann, 2007).

4.5 Características do sistema energético na Bolívia

As barragens fizeram sua aparição na história da Bolívia, em 1572, quando o Vice-rei das Índias Francisco Toledo ordena a construção de uma obra faraônica que consistia em um sistema em cascata de 20 lagos para armazenar e fornecer água por meio de aquedutos para as máquinas hidráulicas da produção de prata do Cerro Rico em Potosi. Esses lagos estavam localizados entre os 4.300 e 4.800 m sobre o nível do mar. Em 1633, tinha-se mais de 80 usinas de trituração tendo como base a força hidráulica, o que ajudou ao desenvolvimento da indústria da prata e fez de Potosi a cidade mais rica do mundo, Gioda e Serrano (1998). Atualmente, este sistema é ainda usado por 30 pequenas empresas mineiras de chumbo, prata, zinco e estanho.

O uso do serviço elétrico no desenvolvimento dos povos teve uma evolução modesta e espalhada na Bolívia desde começos do século XX, concentrando-se nos centros de exploração mineira, como força motriz e para iluminação, e nas poucas cidades principais. Até 1960, o serviço elétrico foi concebido como iniciativa privada, municipal, industrial e mineira. Mas, devido à política de diversificação econômica e desenvolvimento industrial (rápido crescimento

dos principais centros urbanos), o setor entrou em crises, demandando soluções qualitativamente diferentes. Foi por isso que em 1962, o governo cria a Empresa Nacional de Eletrificação S.A. (ENDE), instituição que foi encarregada do desenvolvimento do setor elétrico na Bolívia. Entre 1967 e 1975, a ENDE com a ajuda de organismos internacionais como o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), “*Institut de Recherche pour le Développement*” (IRD) e nacionais como o Instituto Geográfico Militar (IGM) e o Serviço Nacional de Aerofotogrametria (SNA) foi realizada uma avaliação dos recursos energéticos do país (ENDE, 1993). Com esse estudo, identificaram 81 aproveitamentos e determinaram o potencial hidrelétrico instalável da Bolívia em 10.700 MW de potência. Na Tabela 4.2 se pode ver um resumo dos dados finais desse estudo, diferenciando o potencial bruto do aproveitável e do inventariado.

TABELA 4.2 Potencial Hidrelétrico da Bolívia

Bacia	Potencial Bruto		Potencial Aproveitável		Potencial Inventariado	
	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh
Amazonas	235500	1031500	34210	155700	7540	38800
Do Prata	81200	355500	5370	20980	3160	11360
Fechada	17400	76500	290	1270		
Totais	334100	1463500	39870	177950	10700	50160

Fonte: Van Damme, 2002.

Segundo Montes de Oca (2005), este potencial está concentrado na vertente leste da Cordilheira Oriental, a qual consiste em uma faixa territorial que abrange uma distância de aproximadamente 350 km e um comprimento de 100 km. Na Figura 4.4, se destaca essa faixa territorial além de mostrar o potencial hidrelétrico específico da Bolívia (Van Damme, 2002). A produção hidrelétrica atual de Bolívia alcança a 1% do potencial aproveitável.

O potencial hidrelétrico boliviano está pouco explorado, devido aos custos de seu empreendimento, pelo menos, a curto prazo, os investimentos foram superiores aos custos de geração com base no gás natural. A existência de grandes reservas de gás natural no território nacional faz pouco provável o desenvolvimento rápido da geração hidrelétrica (Van Damme, 2002).

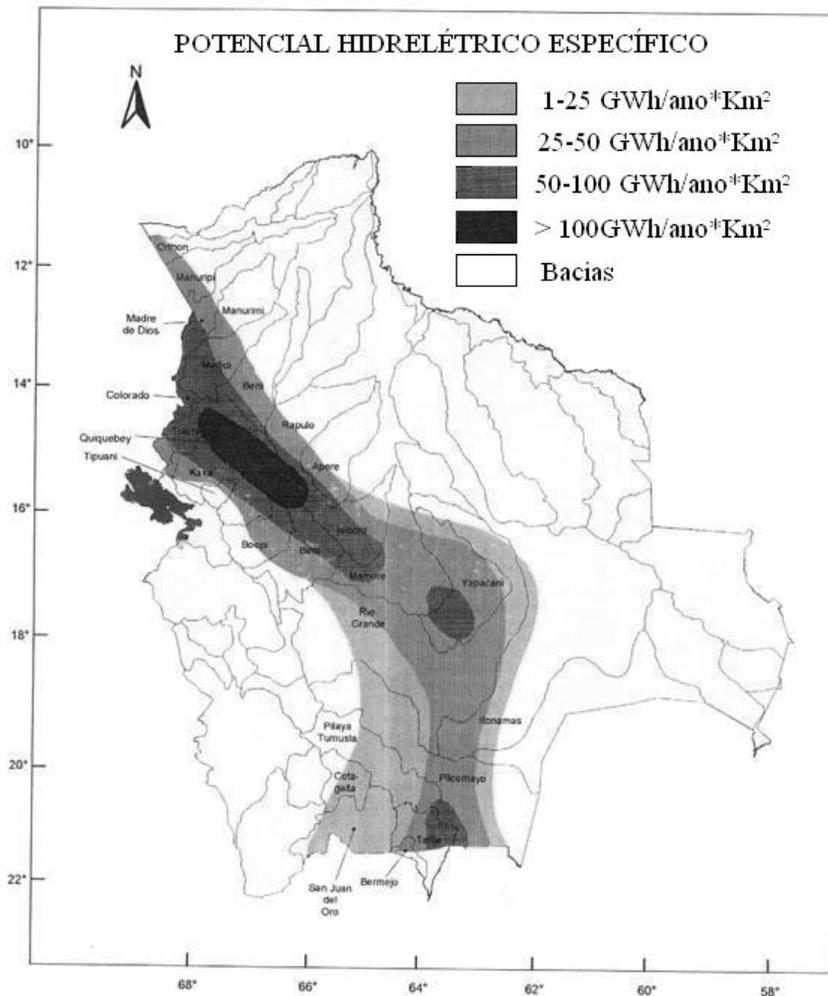


FIGURA 4.4 Potencial hidrelétrico específico da Bolívia
Fonte: Van Damme, 2002.

Como pode-se ver, já foi feito um estudo do potencial hidrelétrico boliviano em 1975, mas este estudo sumiu entre os documentos do ENDE, em 1996, quando foi privatizada, embora no ano 2007, a ENDE voltou ser parte do Estado. Por conta das mudanças do setor público para o privado e do privado para o público muitos documentos se perderam e o que restou foi o resultado final desse estudo descrito nas memórias da empresa e nas citações de outros autores.

A oferta de energia na Bolívia está baseada em centrais de geração hidrelétrica e termoelétrica como é apresentado na Figura 4.5. A potência total instalada em dezembro de 2006 foi de 1.432 MW, e a capacidade instalada no Sistema Interconectado Nacional (SIN) no mesmo ano foi de 1.183,1 MW, que representa 83% do total instalado na Bolívia. Estes dados que

excluem a potência instalada de centrais que não operaram durante todo o período e que em dezembro desse ano, não faziam parte do parque gerador disponível.



FIGURA 4.5 Sistema Interconectado Nacional da Bolívia (SIN)
Fonte: SIE, 2006

A produção de eletricidade no SIN, Figura 4.5, está a cargo das empresas geradoras: Corani, Guaracachi, Valle Hermoso, Cobee, Rio Eléctrico, Hidroeléctrica Boliviana, Synergia e Ceccb. A geração bruta na gestão de 2006, medida em bornes do gerador para todas as centrais

do SIN soma um total de 4.506 GWh um 7,6% superior ao valor do ano 2005. Desta geração, um 47,3% corresponde à geração hidroelétrica e o restante a geração termoelétrica produzida em turbinas que funcionam a gás natural (SIE, 2007).

Na Tabela 4.3 se apresentam as empresas hidrelétricas que operam em Bolívia indicando também o número de centrais de cada companhia, as unidades de cada uma delas e a potência instalada.

TABELA 4.3 Empresas hidrelétricas que operam em Bolívia

Companhia geradora	Departamento onde opera	Número de unidades	Número de Centrais	Potência Instalada MW	Potência Efetiva MW
CORANI	Cochabamba	9	2	147,3	147,0
COBEE	La Paz	29	14	210,2	205,6
ERESA	Potosi	7	3	19,8	19,1
HB	La Paz	4	2	90,4	90,4
SYNERGIA	Cochabamba	1	1	7,6	7,5
Total:		50	22	475,3	469,6

Fonte: Superintendência de Eletricidade (SIE, 2007)

O inventário de projetos feito pela Secretaria Nacional de Energia (SNE), em meados da década passada, mostra a existência de possibilidades de instalação de 7 MW em micro centrais hidrelétricas distribuídas em mais de uma centena de projetos. Essa capacidade poderia abastecer quase 20.000 famílias. A central açucareira da “*Unión Agroindustrial de Cañeros*” (UNAGRO), em Santa Cruz de la Sierra, implementou uma unidade de co-geração de 15 MW utilizando o bagaço de cana como combustível. Na selva boliviana está operando uma central de 1 MW utilizando a casca de castanha como combustível. Além disso, dois outros projetos implementaram o uso de casca de arroz como combustível e de bagaço para a produção de rapadura (Monroy, 1997).

Na Tabela 4.4 se apresentam as características das unidades hidrelétricas de geração, indicando o número de unidades, a potência instalada e o tipo de turbinas.

TABELA 4.4 Características das unidades hidrelétricas de geração

Central Hidrelétrica	Nº de unidades	Início de operação	Potência instalada no gerador		Tipo de turbina	Potência Instalada na turbina	Queda bruta	Fabricante da turbina
		Ano	MVA	MW		MW	m	
Compañia Boliviana de Energia Eléctrica								
Zongo	ZON1	1997	12500	10600	Pelton	10800	390	Sulzer
Tiquimani	TIQ1	1997	11100	9400	Pelton	9600	512	Sulzer
Botijlaca	BOT1	1938	2500	2100	Pelton	2200	383	J.M.Voight
	BOT2	1941	1800	1500	Pelton	1500	383	Gilbert Gilkes
	BOT3	1998	3500	3000	Pelton	3200	383	Gilbert Gilkes
Cuticucho	CUT1	1942	2500	2100	Pelton	2400	703	Gilbert Gilkes
	CUT2	1943	2500	2100	Pelton	2400	703	Pelton Water
	CUT3	1945	2800	2500	Pelton	2400	703	Pelton Water
	CUT4	1958	1900	1700	Pelton	1500	703	Gilbert Gilkes
	CUT5	1998	15000	12800	Pelton	13000	705	Sulzer
Santa Rosa	SRO1	2006	8300	7000	Francis	6400	188	Va Tech
	SRO2	2006	12300	10400	Pelton	10500	836	Va Tech
Sainani	SAI1	1956	11000	9900	Pelton	9700	291	Dominion
Chururaqui	CHU1	1966	14500	13100	Pelton	13300	375	Charmilles
	CHU2	1967	14500	13100	Pelton	13300	375	Charmilles
Harca	HAR1	1969	15200	13700	Pelton	12900	347	Charmilles
	HAR2	1969	15200	13700	Pelton	12900	347	Charmilles
Cahua	CAH1	1974	16000	14400	Pelton	13700	285	Charmilles
	CAH2	1974	16000	14400	Pelton	13700	285	Charmilles
Huaji	HUA1	1999	17700	15100	Pelton	14700	245	Sulzer
	HUA2	1999	17700	15100	Pelton	14700	245	Sulzer
Miguilla	MIG1	1931	2500	2300	Pelton	1500	456	Escherwyss
Angostura	MIG2	1931	2500	2300	Pelton	1500	456	Escherwyss
	ANG1	1936	3200	2800	Pelton	2500	502	J.M.Voight
	ANG2	1958	1900	1600	Pelton	1500	502	Gilbert Gilkes
Choquetanga	CHO1	1939	2800	2500	Pelton	2600	469	KMW
	CHO2	1944	2800	2500	Pelton	2600	469	F. Morgan
	CHO3	1944	2800	2500	Pelton	2600	469	F. Morgan
Carabuco	CRB1	1958	7000	6300	Pelton	6400	324	Neyrpic
Sociedad Industrial Energética y Comercial Andina								
Kanata	KAN1	1999	8700	7600	Pelton	7900	1210	Sulzer-Esp
Hidroeléctrica Boliviana								
Chojlla	CHJ1	1998	40800	38400	Francis Vertical	37800	561	Allis Chalmers
	CHJ2	1998	300	300	Pelton	300	153	Bell Ateliers
	CHJ3	2002	800	600	Francis	700	153	Va Tech
Ynacachi	YAN1	2002	58700	51100	Francis Vertical	51800	492	Va Tech
Empresa Rio Eléctrico								
Kilpani	KIL1	1936	5000	4000	Pelton	4000	280	Siemens
	KIL2	1942	2500	2000	Pelton	2100	280	S.Morgan Smith
	KIL3	2001	7100	5800	Pelton	5800	280	Alstom

Central Hidrelétrica	Nº de unidades	Início de operação	Potência instalada no gerador		Tipo de turbina	Potência Instalada na turbina	Queda bruta	Fabricante da turbina
		Ano	MVA	MW		MW		
Landara	LAN1	2001	2500	2000	Francis	2100	100	Turbo spa Soc. Alsaciene Alstom
	LAN2	1902	250	200	Pelton	200	100	
	LAN3	2001	4100	3400	Francis	3300	105	
Punutuma	PUN1	1962	3100	2500	Francis	2800	103	B. Maier KG
Empresa Eléctrica Corani								
Corani	COR1	1967	15000	13500	Pelton	15300	622	Voith
	COR2	1967	15000	13500	Pelton	15300	622	Voith
	COR3	1980	15000	13500	Pelton	15300	622	Voith
	COR4	1980	15000	13500	Pelton	15300	622	Voith
Santa Isabel	SIS1	1973	22500	18000	Pelton	18400	857	Voith
	SIS2	1973	22500	18000	Pelton	18400	857	Voith
	SIS3	1981	22500	18000	Pelton	19400	857	Voith
	SIS4	1983	22500	18000	Pelton	19400	857	Voith
	SIS5	2004	23700	21300	Pelton	21700	857	Vatech

Fonte: SIE, 2007

Há muitos projetos futuros de grandes barragens na Bolívia que estão em avaliação, entre eles tem-se:

- *Projeto de uso múltiplo El Bala-1958.* O projeto El Bala tem o propósito de produzir energia hidrelétrica, controle de enchentes e melhorar as condições de navegação no rio Beni. As características do projeto são: barragem de concreto em arco de 205,9m de altura, 118,4 km³ de volume do reservatório, duas casas de máquinas com 1.608 MW que gerariam 10,6x10⁹ KWh/ano (ENDE, 1958).
- *Projeto de uso múltiplo rio Grande Rositas-1977.* Este projeto tem os seguintes propósitos: fornecimento de energia hidrelétrica, abastecimento de água para irrigação e uso urbano, controle de inundações, instalação de agroindústrias, recreação, turismo e piscicultura. A barragem seria de terra com núcleo impermeável, de 156m de altura, com volume de armazenamento de 13300x10⁶ m³ e uma área de reservatório de 180 km². A capacidade instalada da usina hidrelétrica seria de 400 MW e este projeto fica sobre o Rio Grande (ENDE, 1977).

- *Projeto hidrelétrico Cachuela Esperanza-1987.* Este projeto visa gerar 175 GWh/ano com uma capacidade instalada de 20 MW, que pode ser elevada a 350 MW. O projeto seria construído sobre o rio Beni e está composto de um canal de toma, desarenador, canal de adução, casa de máquinas (de superfície) e um canal de restituição (ENDE, 1987).
- *Projeto de uso múltiplo Las Pavas-1999.* Este projeto tem os seguintes propósitos: fornecimento de energia hidrelétrica, abastecimento de água para irrigação e uso urbano, controle de inundações, turismo e piscicultura. O reservatório seria de forma alargada com 12 km de comprimento e 3.260 ha de superfície. Com uma produção de 386 GWh/ano e uma vida útil de 30 anos.
- *Projeto de uso múltiplo Arrazayal-1999.* O projeto Arrazayal tem os propósitos de: fornecimento de energia hidrelétrica, abastecimento de água para irrigação e uso urbano, controle de inundações, turismo e piscicultura. Com uma vida útil de 35 anos, este projeto de 20 km de comprimento do reservatório e uma área inundada de 3.770 há, gerará 465 GWh/ano.
- *Projeto de uso múltiplo Cambarí-1999.* Este projeto tem os seguintes propósitos: fornecimento de energia hidrelétrica, abastecimento de água para irrigação e uso urbano, controle de inundações, turismo e piscicultura. A produção de energia hidrelétrica seria de 481 GWh/ano, com um comprimento de 15 km do reservatório é uma área inundada de 2.750 ha, com uma vida útil de 70 anos.

Estes três últimos projetos ficam sobre o rio Bermejo e foram planejados conjuntamente com a Argentina, já que este rio serve de limite e portanto é um rio internacional, ambos países devem concordar e planificar seu uso (FOBOMADE, [2007]).

O crescimento da Bolívia pode ser acompanhado pelo gráfico da Figura 4.6, em que se apresenta a evolução do PIB de 1980 até 2004.

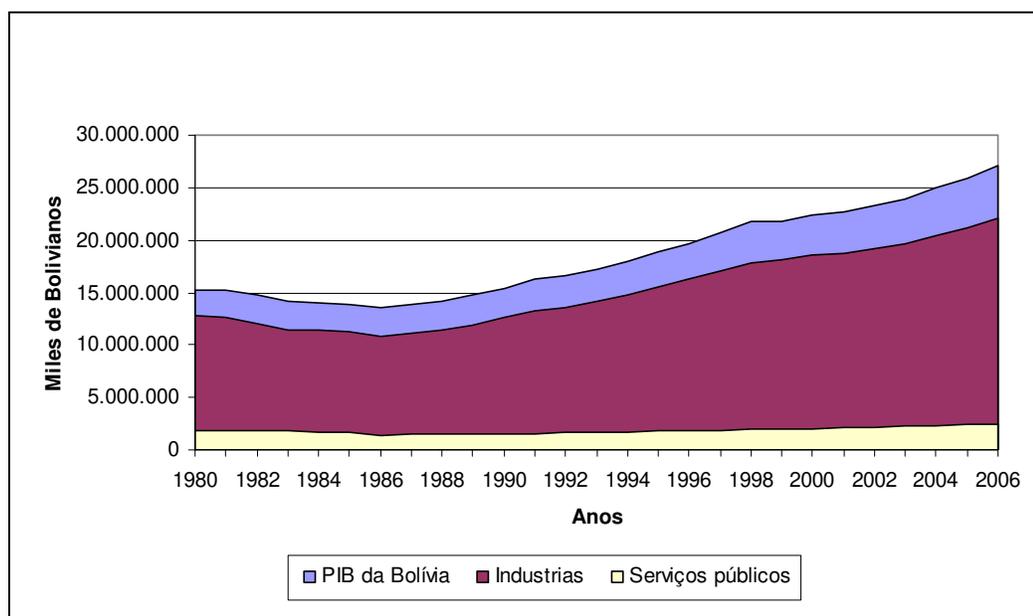


FIGURA 4.6 Crescimento do PIB da Bolívia (1980-2006)

Fonte: INE, 2008

Desta maneira pretende-se mostrar que na Bolívia, da mesma forma que em outros países, existiu um início do uso da força hidráulica na época colonial, mas devido a distintos acontecimentos do tipo político (privatizações e nacionalizações), de tipo econômico (preferência pelo uso de gás natural) ou simplesmente pelo moderado crescimento dos centros urbanos e da demanda de energia elétrica, não se explorou e nem se aproveitou muito a grande escala nesta área da hidroeletricidade. Mas, o rápido desenvolvimento dos centros urbanos e do produto interno bruto nacional (Figura 4.6), nos sete últimos anos, indicam que grandes quantidades de energia serão demandadas nos anos futuros e a energia hidrelétrica seria uma opção interessante para suprir essas demandas.

5. MATERIAL E MÉTODO

5.1 Introdução

Neste capítulo será apresentada uma descrição da Bolívia , suas bacia hidrográficas destacando as diversas fontes de trabalho, os meios de subsistência e os recursos naturais. Além de apresentar a base de dados obtida no transcurso da pesquisa e com a qual se fará uma caracterização das bacias. Esses dados servirão para fazer a estimativa do potencial hidrelétrico da Bolívia e determinar as restrições devido aos distintos usos da água e prever os possíveis impactos a serem gerados.

5.2 Descrição da Bolívia e levantamento de dados

A Bolívia esta localizado no 'coração' da América Latina entre os paralelos 9° 38' e 22° 53' de latitude sul e os meridianos 57° 26' e 69° 38' de longitude leste. Desde a Cordilheira dos Andes até o Planalto Brasileiro e desde o Amazonas até os Pampas Argentinos como é possível observar na Figura 5.1. Dentro dessa extensão territorial se podem distinguir de maneira geral, três zonas importantes: o altiplano, os vales e a planície tropical, que são produto das mudanças geográficas do território Boliviano com suas respectivas diferenças altimétricas que variam desde os 6.542 m.s.n.m do ponto mais alto do pico Sajama, na Cordilheira dos Andes, até os 90 m.s.n.m. no rio Paraguai do Pantanal boliviano, que é o ponto mais baixo do país (observe as bandeiras na Figura 5.1)



FIGURA 5.1 A Bolívia na América Latina
Fonte: Adaptado de GOOGLE MAPS, 2008.

Tudo isto produz uma variedade de eco-regiões, climas, vegetação, solos, flora e fauna distribuídas em três grandes bacias hidrográficas. Estas bacias são: a Bacia do rio Amazonas, que corresponde ao maior rio do mundo compartilhado por cinco países: a Bolívia, o Brasil, a Colômbia, o Peru e a Venezuela; a Bacia do rio da Prata que é a segunda bacia em importância na América do Sul e a quinta em extensão no mundo inteiro, a qual também é compartilhada por cinco países como são: a Argentina, a Bolívia, o Brasil, o Paraguai e o Uruguai; e finalmente, a Bacia Endorreica ou Fechada que tem toda sua extensão dentro do Altiplano e que é compartilhada entre o Peru e a Bolívia.

Na Figura 5.2, se apresenta o mapa da Bolívia com as três bacias hidrográficas, das quais a Bacia do rio Amazonas tem a maior área com 718.137 km², a Bacia do rio da Prata tem 226.268 km² enquanto a Bacia Fechada 154.176 km², segundo os dados do “*Ministério de Defesa Nacional*” (MDN, 2007).

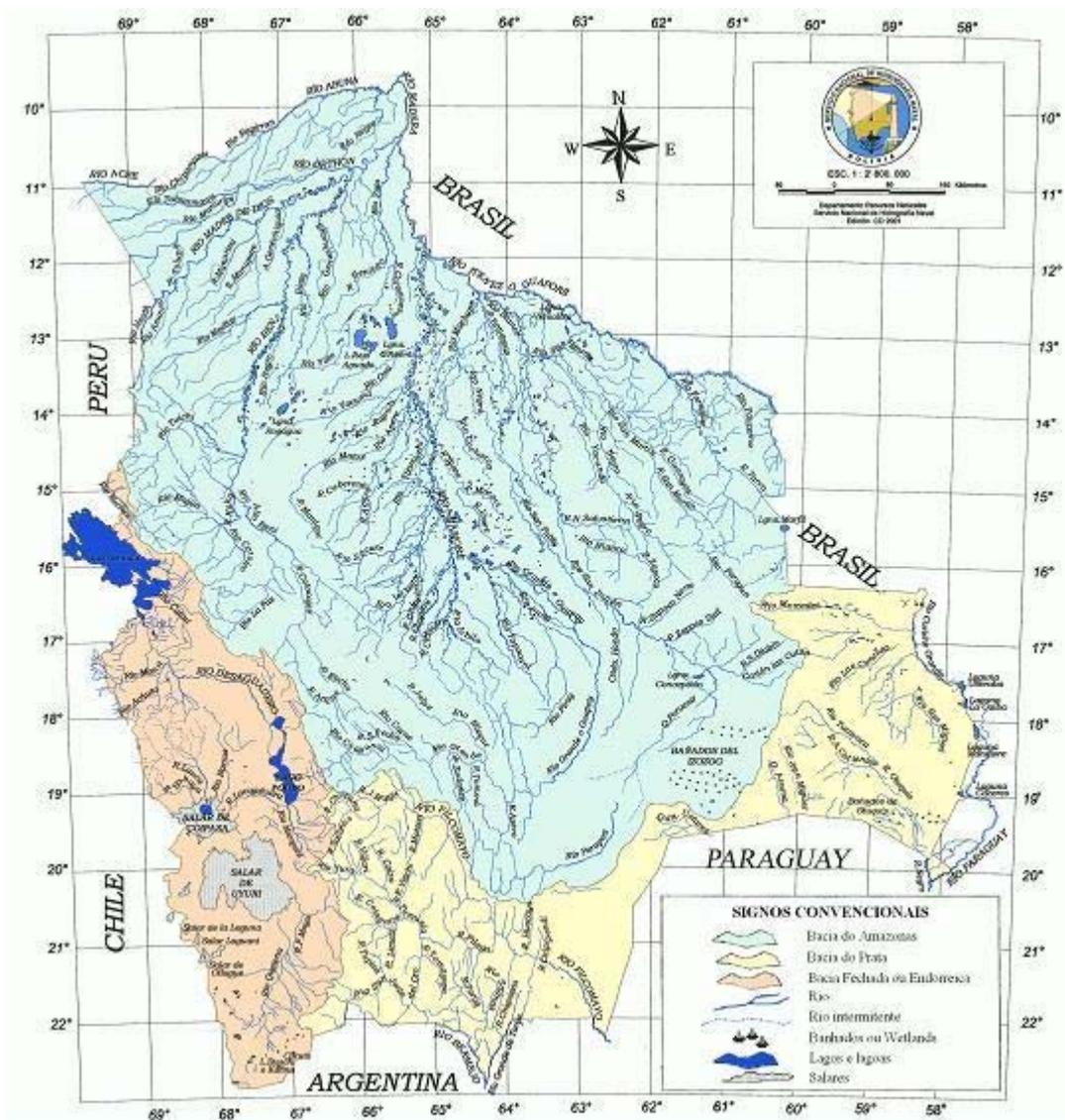


FIGURA 5.2 Mapa das bacias hidrográficas da Bolívia.
Fonte: adaptado de MDN, 2007.

As bacias hidrográficas da Bolívia estão apresentadas na Tabela 5.1 com suas respectivas sub-bacias e superfícies em quilômetros quadrados.

TABELA 5.1 Bacias hidrográficas da Bolívia

Bacia	#	Sub bacia	Superfície (km ²)
Amazonas	1	Acre	3.722
	2	Abuna	25.870
	3	Orthon	22.640
	4	Madre de Dios	52.795
	5	Beni	133.010
	6	Mamoré	241.660
	7	Itenez	186.460
	8	Izozog	51.980
Da Prata	9	Paraguay	118.031
	10	Pilcomayo	96.267
	11	Bermejo	11.970
Fechada	12	Titicaca	10.983
	13	Desaguadero	35.700
	14	Poopó	16.343
	15	Coipasa	27.760
	16	Uyuni	63.390

Fonte: MDN, 2007.

Politicamente, a Bolívia divide-se em nove departamentos que são: La Paz, Oruro, Potosí, Cochabamba, Chuquisaca, Tarija, Pando, Beni e Santa Cruz, dos quais os mais destacados economicamente e que concentram a maior quantidade de habitantes são La Paz, Cochabamba e Santa Cruz. As principais fontes de trabalho, meios de subsistência e recursos naturais dos bolivianos são descritos a seguir:

Agricultura. Varia de acordo com a região, o solo e o clima. O potencial agrícola vai desde limitado até ótimo com uma agricultura tradicional conforme as condições meteorológicas na região andina e nos vales; e moderna, com maquinaria e sementes certificadas nas planícies tropicais (Montes de Oca, 2005).

Pecuária. É uma atividade importante já que utiliza mão-de-obra rural, produz alimentos, bens de consumo e matéria prima. Os distintos tipos de pecuária são: o bovino, o caprino, o suíno, o ovino e os camélidos (Montes de Oca, 2005).

Piscicultura. A bacia Endorreica tem uma produção piscícola de 2.000 t/ano, a Bacia do rio da Prata produz 1.500 t/ano, mas a Bacia Amazônica que ocupa 60% do território nacional tem uma estimativa de produção de 9.000 t/ano e só produz 1.500 t/ano. Essa bacia não é muito desenvolvida devido a distância entre os pontos de pesca e as cidades principais (“*Unidad de Pesca y Acuicultura*”, 2005).

Recursos Florestais. A Bolívia é o sexto país do mundo com maior quantidade de bosques tropicais naturais (53×10^6 de hectares), o 63% destes bosques tem um alto potencial florestal. Atualmente $8,5 \times 10^6$ de hectares estão destinados ao aproveitamento sustentável (BOLFORII, 2007).

Navegação. A Bolívia tem uma variedade de rios navegáveis (6.214 km) distribuídos em quatro sistemas fluviais. O menor de eles, o sistema do rio Paraguai, que tem 48 km de comprimento navegável, é o mais importante para as exportações bolivianas ao Oceano Atlântico. Além do sistema fluvial tem-se o sistema lacustre do lago Titicaca destacável pelo intercâmbio comercial com o Peru (MDN, 2007).

Mineração. A mineração na Bolívia é um dos maiores propulsores de desenvolvimento econômico desde tempos da colônia. O potencial mineral é vasto, mas o problema é a poluição que as distintas companhias mineiras produzem nas diferentes bacias hidrográficas. Desde 1990, o valor das exportações minerais tem representado 35% das exportações totais e gerado mais de 50.000 empregos diretos. A participação no Produto Interno Bruto (PIB) é de 5% (UDAPE, 2004a).

Indústrias. A indústria manufaturada é a atividade econômica com maior participação no PIB do país. Na década de 1990 participou com 17% do PIB, empregou 18% da população urbana e chegou a representar o 31% do valor total das exportações. Em 2001, 80% da produção nacional foram destinados ao consumo interno e o restante 20%, para exportações. As indústrias com maior participação na produção Boliviana são: refinarias de petróleo, malta, açúcar, óleo de origem vegetal, produtos cárnicos e a indústria do cimento (UDAPE, 2004b).

Turismo. É uma fonte importante de ingressos para Bolívia, representa o 8% do PIB global. Existem muitos atrativos turísticos para visitar e diversos tipos de recreação; além disso, tem um sistema de áreas de preservação ambiental que albergam fauna e flora nacional protegidas, as quais são um foco de atração para o turismo (UDAPE, 2005).

Há três tipos de rede no transporte viário boliviano: uma rede fundamental de rodovias que conecta as principais cidades do país e os principais portos e fronteiras; uma rede complementar que liga a rede fundamental com as distintas províncias; e os caminhos vizinhos que estabelecem a comunicação entre pequenas povoações.

Para concluir a descrição da Bolívia, é bom mencionar que dada à variedade de eco-regiões que tem o país, se produzem condições climáticas extremas que ocasionam situações de riscos e acarretam problemas às distintas atividades do povo boliviano. Na zona andina se produzem geadas e secas que afetam os cultivos; na zona dos vales cai granizo e nas planícies se produzem inundações devido às fortes chuvas tropicais.

O levantamento da base de dados foi feito seguindo as diretrizes do Manual de Inventário Hidrelétrico de Bacias Hidrográficas do Ministério de Minas e Energias (MME, 2007), as informações levantadas compreenderam dados cartográficos, hidrometeorológicos, geológicos e geotécnicos, dos usos múltiplos da água e ambientais, de caráter nacional.

Nesta etapa de coleta de dados se visitaram instituições públicas e privadas da Bolívia como:

- Ministério de Defesa Nacional (MDF).
- Ministério de Hidrocarbonetos e Energias (MHE).
- Vice Ministério da Água.
- Superintendência de Eletrificação (SIE).
- Prefeitura do Departamento de Santa Cruz.
- Instituto Geográfico Militar (IGM).
- Instituto Nacional de Estatística (INE).
- Instituto de Investigação para o Desenvolvimento (IRD).
- Força Naval de Bolívia (FNB).
- Serviço Nacional de Meteorologia e Hidrologia (SENAMHI).
- Empresa Nacional de Eletrificação (ENDE).
- Câmara de Indústria e Comercio (CAINCO).

Cartografia

As informações procuradas foram cartas topográficas com escala 1:250.000, em formato digital (dwg. em Autocad), das regiões de interesse hidrelétrico e mapas temáticos, em formato digital (jpg). Entre os mapas temáticos tem-se o mapa Político de Bolívia, o Rodoviário, o Fluvial, o Climático e de Riscos Naturais.

Geologia e geotecnia.

Os dados geológicos e geotécnicos foram coletados buscando contemplar informações que permitam caracterizar as condições de fundação e escavação para a implantação das estruturas, os materiais naturais de construção a serem utilizados na implantação dos aproveitamentos e elementos para subsidiar os estudos ambientais. Os dados obtidos foram: o mapa Geológico de Bolívia, o Tectônico e de Sismicidade (Figura 5.5), as Características Hidro-Geológicas, os Depósitos de Argilas, os Depósitos de Calizas, os Depósitos de Rochas Ígneas e Sedimentares, as Regiões de Minérios. Todos esses mapas estão em formato digital (jpg).

Hidrometeorologia

Os dados hidrológicos coletados correspondem a vazões medias diárias de 22 estações fluviométricas distribuídas em duas bacias hidrográficas do país, com diferentes intervalos de dados observados que variam desde os cinco até os vinte anos, em alguns casos. Na Tabela 5.2, se apresentam as estações fluviométricas com suas coordenadas, rios, bacias e períodos de observação respectivos. Essa tabela foi elaborada com base nos dados proporcionados pelas instituições encarregadas do levantamento de vazões nos diferentes países como são: o Serviço Nacional de Meteorologia e Hidrologia (SENAMHI) em Bolívia, a Agência Nacional de Águas (ANA) no Brasil e a Subsecretaria de Recursos Hídricos, na Argentina.

TABELA 5.2 Estações fluviométricas

#	Estação Fluviométrica	Rio	Latitude	Longitude	Período de observação	Período com falhas
1	Brasileia (BRA)	Acre	10° 34' 59"	68° 45' 42"	1982 - 2006	6 meses
2	Morada Nova (BRA)	Abuna	09° 47' 05"	65° 31' 39"	1988 - 2006	8 meses
3	El Bala	Alto Beni	14° 31' 25"	67° 29' 41"	1988 - 2001	Sem falhas
4	Villa Barrientos	Tamampaya	16° 18' 00"	67° 27' 00"	1989 - 2004	12 meses
5	Miraflores	M. de Dios	11° 02' 55"	66° 19' 34"	1988 - 2005	8 anos
6	Abapo	Grande	18° 51' 00"	63° 28' 00"	1975 - 1991	18 meses
7	Pto Villaruel	Ichilo	16° 49' 54"	64° 47' 59"	1988 - 2007	Sem falhas
8	Guajara-mirim (BRA)	Mamoré	10° 47' 33"	65° 20' 52"	1970 - 2006	8 meses
9	Palmeiral (BRA)	Madeira	09° 30' 43"	64° 48' 36"	1978 - 1986	2 meses
10	Príncipe da Beira (BRA)	Itenez	12° 25' 36"	64° 25' 31"	1988 - 1991	7 meses
11	Pimenteiras (BRA)	Itenez	13° 29' 09"	61° 03' 00"	1983 - 2005	7 meses
12	Pedras Negras (BRA)	Itenez	12° 51' 05"	62° 53' 57"	1980 - 2006	13 meses
13	Ñujchu	Cachimayu	19° 27' 17"	65° 13' 32"	1973 - 1985	Sem falhas
14	Talula	Pilcomayo	19° 07' 44"	65° 26' 44"	1977 - 1988	19 meses
15	El Puente	S.J. del Oro	21° 14' 10"	65° 12' 26"	1974 - 1982	6 meses
16	Palca Grande	Tumusla	20° 44' 17"	65° 14' 21"	1990 - 1993	Sem falhas
17	Villamontes	Pilcomayo	21° 17' 00"	63° 28' 00"	1989 - 2007	2 meses
18	La Angostura	Tupiza	21° 26' 03"	65° 42' 55"	1978 - 1982	Sem falhas
19	Obrajes	Guadalquivir	21° 31' 00"	64° 46' 00"	1973 - 1983	3 anos
20	San Telmo (ARG)	G. Tarija	22° 34' 16"	64° 14' 24"	1980 - 1997	Sem falhas
21	Alarache (ARG)	Bermejo	22° 16' 00"	64° 35' 00"	1985 - 1999	Sem falhas
22	Aguas Blancas (ARG)	Bermejo	22° 43' 34"	64° 21' 36"	1990 - 2007	Sem falhas

Nos dados listados na Tabela 5.2, algumas estações fluviométricas têm períodos com falta de dados, esses períodos podem ser dias, meses e até anos. Às vezes são intervalos curtos de 3 a 5 dias que se repetem muitas vezes durante todo o período de observação, e em outros casos, se têm intervalos maiores. O caso mais crítico é o da estação Miraflores que dos 17 anos de observação tem 8 anos sem dados distribuídos em 2 intervalos, mas não foi descartada porque esta estação é a única existente na Bacia Madre de Dios e representa a vazão na foz de um rio principal de uma grande bacia. Como se pode ver, dentro do estudo há três estações com essa característica, a de Madre de Dios, a de Guajará-mirim e a Príncipe da Beira. Sendo que esta última tem o mesmo problema que a estação de Madre de Dios.

Os dados meteorológicos correspondem à precipitações e temperaturas de 25 estações meteorológicas distribuídas nas diferentes bacias hidrográficas. Na Tabela 5.3, se apresentam as diferentes estações e os períodos de medição.

TABELA 5.3 Estações meteorológicas.

#	Estação	Depto.	Latitude	Longitude	Período de observação
1	Apolo	La Paz	14° 44' 00"	68° 32' 00"	1980 - 2006
2	Ascencion de Guarayos	Santa Cruz	15° 42' 00"	63° 06' 00"	1980 - 2006
3	Camiri	Santa Cruz	20° 03' 00"	63° 34' 00"	1980 - 2006
4	Charaña	La Paz	17° 35' 00"	69° 27' 00"	1980 - 2006
5	Cobija	Pando	11° 05' 00"	68° 52' 00"	1980 - 2006
6	Cochabamba	Cochabamba	17° 25' 00"	66° 10' 00"	1980 - 2006
7	El Alto	La Paz	16° 31' 00"	68° 13' 00"	1980 - 2006
8	Guayaramerin	Beni	10° 49' 00"	65° 20' 00"	1980 - 2006
9	La Paz	La Paz	10° 29' 00"	68° 07' 00"	1980 - 2006
10	Oruro	Oruro	17° 58' 00"	67° 05' 00"	1980 - 2006
11	Potosi	Potosi	19° 32' 48"	65° 43' 49"	1980 - 2006
12	Puerto Suarez	Santa Cruz	19° 00' 00"	57° 44' 00"	1980 - 2006
13	Roboré	Santa Cruz	18° 20' 00"	59° 46' 00"	1980 - 2006
14	Rurrenabaque	Beni	14° 29' 00"	67° 33' 00"	1980 - 2006
15	San Ignacio Moxos	Beni	14° 55' 00"	65° 36' 00"	1980 - 2006
16	San Ignacio de Velasco	Santa Cruz	16° 22' 00"	60° 57' 00"	1980 - 2006
17	San Joaquín	Beni	13° 03' 00"	64° 49' 00"	1980 - 2006
18	San José	Santa Cruz	17° 50' 00"	60° 45' 00"	1980 - 2006
19	San Matias	Santa Cruz	16° 22' 00"	58° 23' 00"	1980 - 2006
20	Santa Cruz	Santa Cruz	17° 45' 00"	63° 10' 00"	1980 - 2006
21	Sucre	Chuquisaca	19° 29' 00"	65° 18' 00"	1980 - 2006
22	Tarija	Tarija	21° 32' 00"	64° 43' 00"	1980 - 2006
23	Trinidad	Beni	14° 51' 00"	64° 57' 00"	1980 - 2006
24	Villamontes	Tarija	21° 15' 00"	63° 27' 00"	1980 - 2006
25	Yacuiba	Tarija	22° 01' 00"	63° 42' 00"	1980 - 2006

Além dos dados fluviométricos, tem-se o mapa Hidrográfico de Bolívia em escala 1:1.000.000, os mapas das bacias hidrográficas e os resultados do Balance Hídrico Nacional efetuado pelo Programa Hidrológico e Climatológico da Bacia Amazônica (PHICAB, 1992) que conta com mapas pluviográficos, de temperatura, evapotranspiração e coeficientes de escoamento superficial a nível nacional. Os mapas estão em formato digital (.dwg, em Autocad e .jpg) e as tabelas, em Excel (.xls).

Usos múltiplos da água.

O levantamento de dados e as informações coletadas dos diversos usos da água teve como objetivo identificar as potencialidades da bacia hidrográfica em estudo e verificar a sua compatibilidade com o Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e planos de bacia, bem como, com os planos setoriais e integrados disponíveis. Os dados obtidos estão em formato digital (.jpg), e são: os mapas de Interesse e Exploração Petroleira (Figura 5.3), o Potencial

Geológico Mineiro, a Cobertura e uso atual da terra, as Concessões Florestais e de Minérios e os Mapas de assentamentos urbanos e rurais.

Ambiente.

Os dados ambientais foram coletados com o propósito de identificar as questões mais significativas e, especialmente, aquelas que possam vir a se configurar em restrições ou oportunidades, de modo a influenciar a definição dos locais passíveis para a construção de barragens e a identificação preliminar das alternativas de divisão de queda. Além de buscar uma visão esclarecedora dos distintos ecossistemas e seus funcionamentos, se obtiveram os seguintes mapas: o Mapa das Áreas Protegidas (Figura 5.4), o Ecológico geral, a Localização de Mananciais, a Vegetação, o Estado atual das Eco-regiões, os Ecossistemas e as Bacias de Drenagem. Todos esses dados estão em formato digital (.jpg).

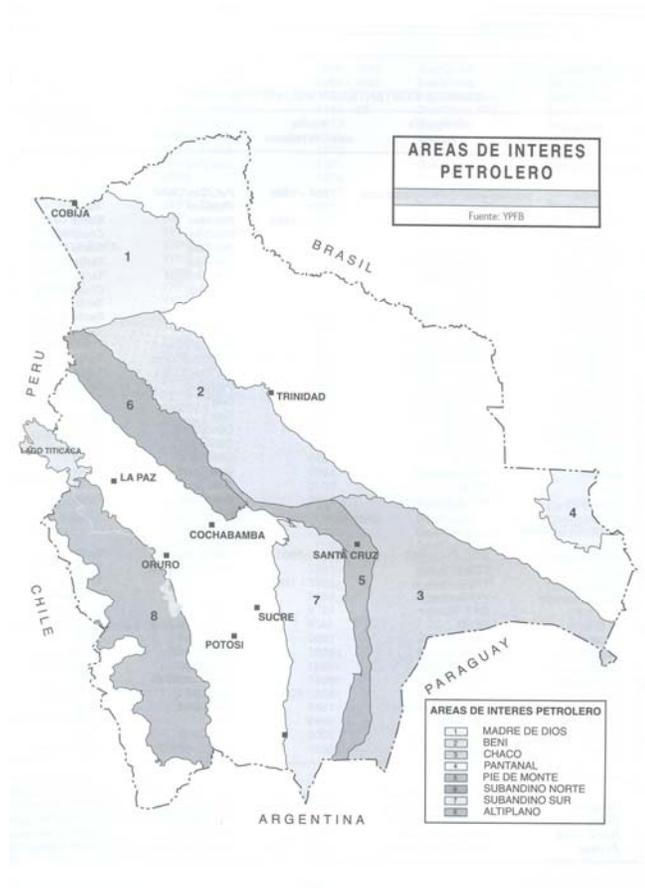


FIGURA 5.3 Área de interesse petrolero da Bolívia

Fonte: Montes de Oca, 2005.



LEYENDA DE AREAS PROTEGIDAS

- | | |
|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Parque Nacional y Area de Manejo Integrado Serranía del AGÚARAGÜE | 10. Parque Nacional y Area Natural de Manejo Integrado KAA – IYA del Gran Chaco. |
| 2. Parque Nacional y Area Natural de Manejo Integrado AMBORO. | 11. Parque Nacional y Area Natural del manejo integrado MADIDI. |
| 3. Area Natural de Manejo Integrado APOLOBAMBA. | 12. Reserva Nacional de Vida Silvestre Amazónica MANURIPI. |
| 4. Parque Nacional CARRASCO | 13. Parque Nacional NOEL KEMPF MERCADO |
| (Incluye el Santuario CAVERNAS DEL REPECHON). | 14. Parque Nacional y Area Natural de Manejo Integrado OTUQUIS. |
| 5. Parque Nacional y Area Natural de Manejo Integrado COTAPATA. | 15. Reserva de la Biósfera y Tierra Comunitaria de Origen PILON – LAJAS. |
| (Incluye el Santuario CAVERNAS DEL REPECHON). | 16. Parque Nacional SAJAMA. |
| 6. Reserva Nacional de Fauna Andina | 17. Area Natural de Manejo Integrado SAN MATIAS |
| EDUARDO AVAROA | 18. Reserva Biológica Cordillera de SAMA. |
| 7. Reserva de la Biósfera | 19. Reserva Nacional de Flora y Fauna TARIQUIA. |
| ESTACION BIOLOGICA DEL BENI | 20. Parque Nacional TOROTORO. |
| 8. Area Natural de Manejo Integrado EL PALMAR. | 21. Parque Nacional TUNARI. |
| 9. Parque Nacional y Territorio Indígena | |
| ISIBORO – SECURE | |

FIGURA 5.4 Áreas protegidas da Bolívia

Fonte: Montes de Oca, 2005.

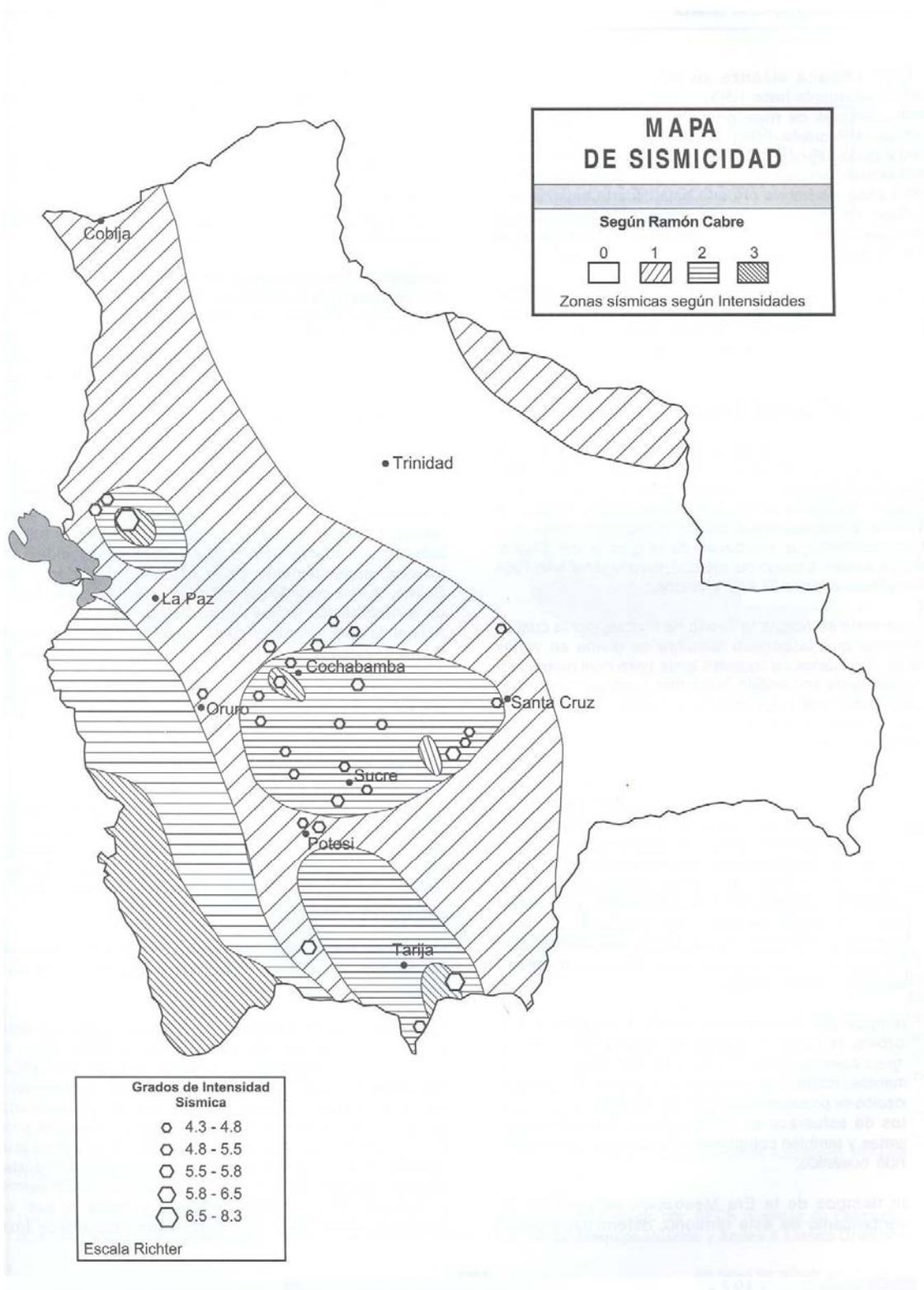


FIGURA 5.5 Mapa da sismicidade da Bolívia

Fonte: Montes de Oca, 2005.

Na Figura 5.3, se apresentam os mapas onde estão estabelecidos os limites das áreas que são de interesse petrolífero para o país, as áreas protegidas da Bolívia estão delimitadas na Figura 5.4 e na Figura 5.5, estão demarcadas as distintas regiões sísmicas da Bolívia com os focos sísmicos na escala de Richter, esses três mapas são um exemplo dos tipos de mapas levantados nesta etapa da pesquisa.

5.3 Regionalização das vazões.

Para fazer a estimativa do potencial hidrelétrico é necessário determinar a vazão mínima Q_{95} , ou seja, a vazão que ocorre em 95% do tempo nos rios em estudo. Essa vazão é normalmente captada a fio de água e é utilizada com frequência, indicando a disponibilidade hídrica natural.

Dada a pouca quantidade de dados fluviométricos que têm a Bolívia, se optou por realizar a regionalização da curva de permanência para posteriormente com os resultados desta regionalização, determinar a vazão mínima Q_{95} . Uma vez obtido o valor da vazão com a equação da potência poderá ser definido o potencial hidrelétrico de cada bacia.

Um dos maiores desafios em hidrologia é o de conhecer adequadamente o comportamento dos processos hidrológicos (distribuição temporal e espacial da água). O entendimento da frequência com que variam as vazões dentro dos rios é de muita importância para a avaliação dos recursos hídricos, visando esse entendimento a regionalização de parâmetros ou variáveis hidrológicas tem a finalidade de extrair o máximo de informação dos dados pontuais disponíveis (Obregon; Tucci e Goldenfum, 1999).

Na metodologia para regionalização de vazões da ELETROBRAS (1985) recomenda-se a utilização das seguintes características físicas:

Área de drenagem (A). A área de drenagem é um dos parâmetros que tem mais peso na regressão.
Comprimento do rio principal (L). A cada uma das bacias da região corresponde um rio principal, o qual se define como o curso de água que drena a maior área no interior da bacia.

Declividade do rio principal (S). A declividade do rio principal determinou-se utilizando a equação 5.1:

$$S = \left(\frac{H_a - H_b}{L} \right) \quad (5.1)$$

em que:

H_a = cota do talvegue no ponto mais a montante do rio principal (nascente).

H_b = cota do talvegue do ponto mais a jusante do rio principal (exutório da bacia).

L = Comprimento do rio principal entre os pontos onde foram medidas as cotas H_a e H_b .

Não foi feita a declividade do rio principal por outro método mais preciso, por não se dispor de dados para o traçado do perfil longitudinal do rio principal.

Densidade de drenagem (DD). É um bom indicador do relevo superficial e das características geológicas de uma bacia. Segundo NERC (1975), a densidade de drenagem é a soma de todos os comprimentos dos rios da bacia dividida pela área da bacia. Esta característica é proporcional ao número de confluências ou junções dos cursos de água divididos pela área da bacia. Assim para estudos de regressões, pode-se considerar a densidade de drenagem como o número de junções por km^2 da bacia. Entende-se por junção, o ponto de encontro de dois rios quaisquer. É importante destacar que a contagem de número de junções deverá ser realizada sobre mapas da mesma escala, em todas as bacias

Precipitação Média Anual na Bacia (P). A precipitação média anual na bacia foi obtida utilizando o Método das Isoietas, com base no mapa de precipitação média anual do Balance Hídrico Nacional (PHICAB, 1992).

Além destas características é necessário o levantamento de vazões médias diárias de cada estação para determinar a curva de permanência e posteriormente as vazões Q_{50} e Q_{95} . Estas são as vazões com 50% e 95% de probabilidade de ocorrência em um rio.

5.3.1 Regionalização da curva de permanência

Desta forma o primeiro passo será efetuar a *regionalização da curva de permanência* das vazões. Deve ser destacado que o objetivo principal do trabalho não é a regionalização das vazões, somente será usada para obter os dados mínimos necessários ao objetivo principal, que é a determinação do potencial hidrelétrico.

Segundo TUCCI (2002), o termo *regionalização* tem sido utilizado em hidrologia para denominar a transferência de informações de um local para outro dentro de uma área com comportamento hidrológico semelhante. A regionalização é estabelecida com o objetivo de se obter a informação hidrológica em locais sem dados ou com poucos dados. O seu princípio se baseia na similaridade espacial de algumas funções, variáveis e parâmetros que permitem essa transferência. Vários autores têm pesquisado a relação entre a vazão e as características dos fatores físicos e climáticos de uma região como Dingman (1975), Mimikou e Kemaki (1985), Stedinger et al. (1993) e Novaes (2007). Segundo a ELETROBRAS (1985), as características de escoamento mínimo são dependentes da topografia, geologia, clima e uso da terra, sendo difícil apenas um desses fatores explicarem a sua variabilidade.

A *curva de permanência* é um dos métodos mais informativos que revelam a amplitude completa das descargas de um rio desde as vazões mínimas até as vazões de enchente (Smakhtin, 2000). Isto é a relação existente entre um dado valor de descarga e a porcentagem de tempo em que esta vazão é igualada ou superada, ou em outras palavras, a relação entre a magnitude e a frequência das descargas de um rio (Quimpo; Alejandrino e McNally, 1983). A fisiografia da região é um dos fatores que mais afetam o comportamento das curvas de permanência, mas dentro de áreas com relativa fisiografia-hidrológica homogênea, a magnitude da área de drenagem realiza um papel significativo na determinação da metade inferior destas curvas. As variações das áreas de drenagem causam mudanças nos efeitos relativos temporais e da distribuição aérea da precipitação, no canal de armazenamento, na profundidade do curso principal, no desenvolvimento de áreas de inundação, e conseqüentemente, nas curvas de permanência dos rios mesmo que a região fisiográfica não mude (Singh, 1971).

5.3.2 Utilização da regressão na regionalização de vazões

Para efetuar a *regionalização* das vazões de uma bacia se fará uso do conceito de *regressão*. A análise de regressão é uma técnica de modelagem para analisar a relação entre uma variável dependente Y e uma ou mais variáveis independentes ($X_1, X_2, X_3... X_n$). Neste caso, a variável dependente é chamada de Q (vazão) e as variáveis independentes seriam as características físicas da bacia A (área de drenagem da bacia), L (comprimento do rio principal), S (declividade média do rio principal), DD (densidade de drenagem), e P (precipitação média anual na bacia).

O objetivo da análise de regressão é identificar a função que descreve, da melhor forma possível, a relação existente entre estas variáveis para poder predizer o valor da variável dependente Y para certos valores das variáveis independentes X's (Ragsdale, 1998), ou seja, determinar uma função que com base nas características físicas levantadas, que explique a vazão Q.

A função matemática que relaciona a variável dependente Y com as variáveis independentes X_i pode ser linear como se mostra na equação 5.2.

$$Y = a_1.X_1 + a_2.X_2 +a_n.X_n + b \quad (5.2)$$

em que Y = variável dependente.

X_i = variáveis independentes.

a_i e b = constantes.

n = Número de amostras

A equação é chamada de linear simples quando $n = 1$, já que neste caso, tem somente uma variável independente. No caso em que $n > 1$ é chamada de linear múltipla.

Para a situação em que a função matemática é não linear procura-se, através de um artifício, transformar essa equação numa expressão linear. Uma das funções usadas normalmente em hidrologia tem a forma da equação 5.3.

$$Y = CX_1^{a_1} \cdot X_2^{a_2} \cdot \dots \cdot X_n^{a_n} \quad (5.3)$$

Em que C, a_1, a_2, \dots, a_n são parâmetros. Aplicando logaritmos à equação 5.3 obtém-se a equação 5.4 que é uma equação linear múltipla.

$$\ln Y = \ln C + a_1 \ln X_1 + a_2 \ln X_2 + \dots + a_n \ln X_n \quad (5.4)$$

Matematicamente, pode ser analisado um caso mais simples, em que se têm a variável dependente Q e mais duas variáveis independentes designadas como A e P.

Aplicando logaritmos a todas as variáveis conforme ao estabelecido por Tucci (2002) e ELETROBRÁS (1985).

$$\ln Q = Y; \quad \ln A = A_1; \quad \ln P = P_1$$

Obtém-se uma equação da forma 5.5, que é uma equação linear múltipla similar à equação 5.2 definida anteriormente.

$$Y = a_1 \cdot A_1 + a_2 \cdot P_1 + a_3 \quad (5.5)$$

em que : a_1, a_2, a_3 são as constantes a serem determinadas

Multiplicando a equação 5.5 por 1, A_1 e P_1 , se obtém:

$$\begin{array}{ll} (Y = a_1 A_1 + a_2 P_1 + a_3) * 1 & Y = a_1 A_1 + a_2 P_1 + a_3 \\ (Y = a_1 A_1 + a_2 P_1 + a_3) * A_1 & A_1 Y = a_1 A_1^2 + a_2 A_1 P_1 + a_3 A_1 \\ (Y = a_1 A_1 + a_2 P_1 + a_3) * P_1 & P_1 Y = a_1 A_1 P_1 + a_2 P_1^2 + a_3 P_1 \end{array}$$

Aplicando o somatório resulta:

$$\begin{cases} \sum Y = a_1 \sum A_1 + a_2 \sum P_1 + a_3 n \\ \sum A_1 Y = a_1 \sum A_1^2 + a_2 \sum P_1 A_1 + a_3 \sum A_1 \\ \sum P_1 Y = a_1 \sum A_1 P_1 + a_2 \sum P_1^2 + a_3 \sum P_1 \end{cases}$$

Escrevendo de forma matricial resulta a Matriz A, a Matriz X e a Matriz B:

$$\begin{pmatrix} \sum A_1 & \sum P_1 & n \\ \sum A_1^2 & \sum P_1 A_1 & \sum A_1 \\ \sum A_1 P_1 & \sum P_1^2 & \sum P_1 \end{pmatrix}_{3 \times 3} = \text{Matriz A}$$

$$\begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix}_{3 \times 1} = \text{Matriz X}$$

$$\begin{pmatrix} \sum Y \\ \sum A_1 Y \\ \sum P_1 Y \end{pmatrix}_{3 \times 1} = \text{Matriz B}$$

Fazendo o ajuste múltiplo pelo processo dos mínimos quadrados tem-se:

$$\begin{pmatrix} \sum A_1 & \sum P_1 & n \\ \sum A_1^2 & \sum P_1 A_1 & \sum A_1 \\ \sum A_1 P_1 & \sum P_1^2 & \sum P_1 \end{pmatrix}_{3 \times 3} * \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix}_{3 \times 1} = \begin{pmatrix} \sum Y \\ \sum A_1 Y \\ \sum P_1 Y \end{pmatrix}_{3 \times 1}$$

A solução da qual é igual a:

$$\text{Matriz X} = \text{Matriz A}^{-1} * \text{Matriz B}$$

Em que A^{-1} = matriz inversa da matriz de A

Os elementos da matriz solução X (a_1, a_2, a_3) são os coeficientes da equação de regressão 5.5, porém ainda falta aplicar antilogaritmos para ter uma equação com a qual se poderá calcular a vazão Q.

Substituindo:

$$Y = \ln Q; \quad A_1 = \ln A; \quad P_1 = \ln P$$

na equação 5.5, obtém-se:

$$\ln Q = a_1 \cdot \ln A + a_2 \cdot \ln P + \ln a_3 \quad (5.6)$$

Pelas propriedades de logaritmos esta equação pode ser escrita como:

$$\ln Q = \ln A^{a_1} + \ln P^{a_2} + \ln a_3 \quad (5.7)$$

$$\ln Q = \ln(A^{a_1} \cdot P^{a_2} \cdot C) \quad (5.8)$$

Aplicando-se antilogaritmos na equação 5.8, tem-se:

$$e^{\ln Q} = e^{\ln(A^{a_1} \cdot P^{a_2} \cdot C)} \quad (5.9)$$

Para finalmente obter a equação 5.10, que é a equação de regressão da vazão Q explicada pelas variáveis A e P.

$$Q = C \cdot A^{a_1} \cdot P^{a_2} \quad (5.10)$$

Desta forma através do procedimento descrito obtém-se uma equação de regressão que permite calcular a vazão Q de uma região, a qual é delimitada pela localização das estações fluviométricas utilizadas na regressão. Na regionalização realizada neste trabalho determinaram-

se duas equações de regressão por região, uma para a vazão Q_{50} e a outra para Q_{95} , com as quais é possível calcular a curva de permanência e que será apresentado na seção 5.3.3.

Mas, primeiramente, é necessário ter noção da qualidade da regressão, para isso um parâmetro importante para avaliar a regressão é o *Coefficiente de Determinação* R^2 , que indica o ajuste da regressão. Seu valor pode variar entre 0 e 1 de acordo com o ajuste. Se o ajuste é ótimo o valor de R^2 é 1, e se for muito ruim, o valor é 0 (Costa Neto, 1977).

Em uma regressão linear resulta:

$$R^2 = \frac{S_{yr}}{S_{yy}} \quad (5.11)$$

em que:

$S_{yy} = \sum (Y_i - \bar{Y})^2$ é a variação total de Y independentemente de X.

$S_{yr} = \sum (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2$ é a variação Y que é explicada pela regressão.

$S_{ye} = \sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2$ é a variação residual de Y que não é explicada pela regressão.

Desta forma:

$$S_{yy} = S_{ye} + S_{yr}$$

Substituindo resulta:

$$\sum (Y_i - \bar{Y})^2 = \sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2 + \sum (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2 \quad (5.12)$$

Em que:

Y_i = Valor de Y observado.

\bar{Y} = Média dos valores Y.

\hat{Y} = Valor de Y correspondente a regressão.

5.3.3 Método para determinar a curva de permanência

A curva de permanência pode ser estabelecida baseando-se em valores diários, semanais ou mensais das vazões. Esta função hidrológica é utilizada em estudos hidrelétricos, de navegação e de qualidade da água dentre outros (Euclides et al., 2001). Se a curva de permanência acompanha uma distribuição de probabilidades, Beard (1943) apud Tucci (1993) sugere o uso da distribuição log-normal.

Na regionalização o uso de uma curva adimensional geralmente não apresenta resultados adequados devido à variabilidade de tendência da curva em função das características físicas na bacia, principalmente a área da bacia (Tucci, 2002).

A vazão Q_p , vazão com probabilidade p , pode ser regionalizada pela equação 5.13 de acordo com procedimento descrito na seção 5.3.2.

$$Q_p = F(A, L, S, DD, P) \quad (5.13)$$

Fazendo variar p , pode-se construir toda uma curva com base nestes valores. A restrição que tem este procedimento é que à medida que aumenta p , o erro aumenta e a compatibilização entre os valores das diferentes regressões pode produzir uma curva inadequada (Tucci, 2002).

Este método estabelece que a *curva de permanência* segue uma função específica. O ajuste da curva a uma equação exponencial geralmente apresenta resultados satisfatórios somente para a faixa de valores dos pontos utilizados para seu ajuste. Para realizar o ajuste da curva de permanência aos valores de Q_{50} e Q_{95} definidos pela regressão, pode-se utilizar a equação 5.14.

$$Q = \exp(u.p + v) \quad (5.14)$$

Na equação 5.14, p é a probabilidade (valores entre 0 e 1); u e v são os coeficientes determinados pelas equações 5.15 e 5.16 respectivamente. Os valores de 0,50 e 0,95 das equações 5.15 e 5.16 são probabilidades utilizadas para ajustar a equação regional.

$$u = \frac{-\ln(Q_{50}/Q_{95})}{0,95 - 0,50} \quad (5.15)$$

$$v = \ln Q_{95} - 0,5 * u \quad (5.16)$$

Mediante a metodologia descrita anteriormente, é possível determinar a curva de permanência de qualquer rio sempre que se tenham as vazões Q_{50} e Q_{95} como referências.

A seguir, descreve-se o procedimento utilizado na regionalização da curva de permanência:

1. Levantamento de dados para realizar a regionalização da curva de permanência;
2. Determinação da curva de permanência de cada estação fluviométrica. Para determinar a curva de permanência, se ordenam os valores de cada estação em ordem decrescente (de maior a menor), posteriormente se numeram todos os valores (de 1 até n) e se divide cada número de ordem (x) pelo número total de valores existentes na amostra (n), obtendo de esta forma a probabilidade (P);
3. Determinação das vazões Q_{50} e Q_{95} da curva de permanência e verificação com algumas estações, para saber se essas vazões estimam a faixa da curva de permanência que se deseja regionalizar;
4. Determinação das equações de regressão Q_{50} e Q_{95} com base nas características físicas da bacia e delimitação de regiões. A regionalização consiste na determinação dos coeficientes das equações de regressão Q_{50} e Q_{95} com base nas características físicas, como foi explicado na seção 5.3.2.

5. Determinação da curva de permanência da cada região. Uma vez determinadas as equações de regressão Q_{50} e Q_{95} para cada região se procede a determinar as curvas de permanência de acordo com a metodologia para determinar a curva de permanência.
6. Verificação dos resultados. Finalmente se faz a verificação dos resultados, comparando os Q_{50} e Q_{95} calculados com os observados e elaborando gráficos com a curva de permanência observada e a calculada mediante a regionalização.

5.4 Estimativa do potencial hidrelétrico e sustentabilidade ambiental

Nesta seção se fará a descrição da metodologia para a estimativa do potencial hidrelétrico remanescente das distintas bacias. Este potencial é resultado de estimativa realizada em escritório, a partir de dados existentes, sem qualquer levantamento complementar, considerando um trecho do curso de água, via de regra situado na cabeceira, sem determinar o local de implantação do aproveitamento (ELETROBRÁS, 1997).

A Bolívia tem um grande potencial hidrelétrico que deve ser aproveitado para atingir o desenvolvimento e diminuir a pobreza. Neste sentido, se propõe a construção de barragens que poderiam ser utilizadas para usos múltiplos como, a geração de energia nas áreas rurais e urbanas, o controle de enchentes nas nascentes da Cordilheira dos Andes, o abastecimento de água para as regiões áridas e navegação dos rios importantes como, o rio Beni e o rio Mamoré, tendo sempre como requisito para qualquer projeto de barragens, a sustentabilidade ambiental. Como foi apresentada no capítulo 3, a construção de barragens pode trazer muitos benefícios, mas também muitos impactos, então, é necessário aplicar todos os conceitos levantados sobre impactos na seção 3.1, para definir os locais com maior potencial hidrelétrico, onde exista menor probabilidade de acontecer os impactos, e dar os conselhos para mitigá-los em casos em que não seja possível evitá-los. Se o impacto for considerável, o aproveitamento deverá ser descartado.

Mas, antes de fazer alguma estimativa de potencial hidrelétrico, para poder falar sobre aproveitamentos e usinas hidrelétricas é preciso definir alguns termos relativos à energia hidrelétrica:

Altura bruta (H). Ou queda bruta de um possível aproveitamento hidrelétrico é a diferença total de cotas entre o ponto da superfície das águas do rio localizado a montante, e o ponto da superfície das águas do rio localizado a jusante.

Altura útil (H_u). Também chamada de queda útil, é a altura disponível para a produção de energia, depois de terem sido deduzidas as perdas (por atrito, na entrada, as relativas à altura cinética não recuperada no tubo de sucção, etc.) (Linsley e Franzini, 1978).

Rendimento total (η_t). É igual ao produto dos rendimentos da turbina e do gerador, e do rendimento hidráulico das estruturas de tubulação (Department of the Army, 1985).

Potência. Indica a capacidade do empreendimento, pode ser expressa em kilowatts ou cavalos de vapor. Enquanto esta é a definição técnica de potência, o termo é normalmente usado, em um amplo sentido, para descrever o mercado da eletricidade, que inclui a energia e a potência (Department of the Army, 1985).

Potência bruta (P_b). De um aproveitamento hidrelétrico é a determinação do potencial hidrelétrico desconsiderando o fator de rendimento total, ou adotando seu valor como se fosse 100% e não houvesse perdas na turbina nem no gerador e condutos.

Potência instalada. De uma usina hidrelétrica é a potência máxima que pode ser produzida pelos geradores com carga normal e vazão máxima (Linsley e Franzini, 1978).

O potencial hidráulico significa a energia total da água dos rios e lagos que se concentra nos aproveitamentos hidrelétricos, que é transformada em energia mecânica e finalmente em energia elétrica. O aproveitamento da energia hidráulica é feito através do uso de turbinas hidráulicas, devidamente acopladas à um gerador de corrente elétrica. Uma usina hidrelétrica ou conjunto de usinas ao ser integradas à um sistema propiciam três tipos de benefícios energéticos: energia firme, secundária e capacidade de ponta.

Energia firme. De um sistema corresponde à maior carga que este sistema pode atender sem ocorrência de déficits nas piores condições hidrológicas registradas no histórico de afluências naturais (MME, 2007).

Energia secundária. Corresponde à energia disponível apenas em períodos de hidrologia favorável, podendo ser utilizada no atendimento aos consumidores de carga interruptível ou na

substituição da geração de origem térmica, com o objetivo de economizar combustível (MME, 2007).

Capacidade de ponta. Representa a capacidade máxima de produção do sistema durante o intervalo de tempo correspondente à ponta da carga. Esta capacidade de ponta esta relacionada diretamente à potência instalada das usinas (MME, 2007).

Carga. É a demanda de eletricidade. A carga pode ser expressa em termos de energia demandada (demanda média), ou capacidade demandada (demanda de pico ou máxima) (Department of the Army, 1985).

Usinas de base. São chamadas assim quando a usina é empregada para entregar tudo ou parte da parcela constante de energia firme.

Usina de pico. As usinas de pico são utilizadas para suprir os picos de demanda. Deverão ter elevada capacidade energética e dispor de reservatório de armazenamento.

Segundo a Atlas de Energia Elétrica da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2005) o valor do potencial hidrelétrico é composto pela soma da parcela estimada (remanescente + individualizada) com a inventariada (em inventário + em estudo de viabilidade + com projeto básico + em construção + em operação).

Remanescente. É resultado de estimativa realizada em escritório, a partir de dados existentes, sem qualquer levantamento complementar, considerando-se um trecho do curso d'água, via de regra, situado na cabeceira, sem determinar o local de implantação do aproveitamento (ANEEL, 2005);

Individualizado. É resultado de estimativa realizada em escritório para um determinado local, a partir de dados existentes ou levantamentos expeditos, sem qualquer levantamento detalhado (ANEEL, 2005);

Em inventário. É resultado de estudo da bacia hidrográfica, realizado para a determinação do seu potencial hidrelétrico, mediante a escolha da melhor alternativa de divisão de queda, caracterizada pelo conjunto de aproveitamentos compatíveis entre si e com projetos desenvolvidos, de forma a se obter uma avaliação da energia disponível, dos impactos ambientais e dos custos de implantação dos empreendimentos;

Em estudo de viabilidade. Resultado da concepção global do aproveitamento, considerando sua otimização técnico-econômica que permita a elaboração dos documentos para licitação. Esse estudo compreende o dimensionamento das estruturas principais e das obras de infra-estrutura local e a definição da respectiva área de influência, do uso múltiplo da água e dos efeitos sobre o meio ambiente (ANEEL, 2005);

Com projeto básico. Aproveitamento detalhado e em profundidade, com orçamento definido, que permita a elaboração dos documentos de licitação das obras civis e do fornecimento dos equipamentos eletromecânicos (ANEEL, 2005);

Em construção. Aproveitamento que teve suas obras iniciadas, sem nenhuma unidade geradora em operação (ANEEL, 2005);

Em operação. Os empreendimentos em operação constituem a capacidade instalada (ANEEL, 2005).

Uma vez definidos alguns termos relacionados com a energia hidrelétrica pode-se colocar a equação para a estimativa do potencial hidrelétrico remanescente, deixando claro que este potencial é uma estimativa prévia para futuros aproveitamentos e que para aqueles que sejam escolhidos como viáveis, deve fazer-se primeiro um planejamento dos estudos onde se organizam as atividades do estudo do inventário. A seguinte etapa é a elaboração de estudos preliminares onde se individualizam os aproveitamentos e se selecionam as alternativas mais atraentes sobre os pontos de vista socioambiental, energético e econômico. Posteriormente, se farão os estudos finais onde se determina o conjunto de obras e instalações que corresponda ao desenvolvimento integral do potencial hidroelétrico socioambiental e economicamente aproveitável da bacia (MME, 2007). Todas estas etapas posteriores à estimativa do potencial hidrelétrico estão muito bem explicadas e detalhadas no Manual de Inventário Hidrelétrico de Bacias Hidrográficas (MME, 2007).

Para cálculos preliminares de potencial de aproveitamentos hidrelétricos, pode se aplicar a equação 5.17:

$$P_h = \eta \cdot \rho \cdot g \cdot Q_{95} \cdot H / 10^6 \text{ (MW)} \quad (5.17)$$

em que:

η = fator de rendimento (%)

ρ = massa específica da água (Kg/m³)

g = aceleração da gravidade (m/s²)

Q_{95} = vazão mínima do rio (m³/s)

H = altura ou queda bruta (m)

10^6 = fator de conversão para obter o resultado em MW

P_h = potencial hidrelétrico (MW)

Segundo Schreiber (1977) para cálculos preliminares de potencial hidrelétrico pode adotar-se a equação 5.19, em que o fator de rendimento da turbina é igual a 0,9 e do gerador igual a 0,95, resultando o fator de rendimento (η) igual a 0,855. Este rendimento não é o rendimento total, porque não considera o rendimento hidráulico das tubulações. Substituindo estes valores na equação 5.17 fica:

$$P_h = 0,855 \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot Q_{95} \cdot H / 10^6 \quad (5.18)$$

$$P_h = 0,00838 \cdot Q_{95} \cdot H \quad (\text{MW}) \quad (5.19)$$

Com a equação 5.19 pode-se estimar o potencial hidrelétrico remanescente de qualquer bacia hidrográfica. Adotou-se a equação da potência sugerida por Schreiber por que foi a única equação proposta para levantamentos preliminares encontrada no transcurso da pesquisa. Nenhum dos trabalhos da ELETROBRÁS como o Manual de Pequenas Centrais Hidrelétricas, Manual de Mini Centrais Hidrelétricas, Manual de Inventário do Potencial Hidrelétrico. Nem o novo Manual do Inventário Hidrelétrico (MME, 2007) propõe uma equação para a determinação do potencial hidrelétrico remanescente.

Na seção 5.2, apresentou-se a Bolívia como um país caracterizado por três zonas geográficas importantes: o altiplano, os vales e a planície tropical. Para poder fazer o aproveitamento hidrelétrico em qualquer uma destas três zonas é necessário primeiro fazer o levantamento dos tipos de aproveitamentos hidrelétricos e segundo isso, definir quais são

apropriados para as diferentes regiões do país. As usinas hidrelétricas podem ser classificadas pelo tipo de operação, que é por sua vez uma função da quantidade de armazenamento disponível para o regulamento da produção de energia. Os tipos principais de usinas hidrelétricas são:

Usinas a fio de água ou sem regularização.

Como indica o nome, este tipo de aproveitamento não tem armazenamento útil e pode ser feito com ou sem a construção de uma barragem. A produção de energia é a qualquer hora estritamente uma função da afluência do rio. Tipicamente os projetos de usinas a fio de água incluem: projetos de navegação onde o nível de águas a montante da usina deve ser mantido a uma elevação constante, desvios com barragens para irrigação e, simplesmente, projetos hidrelétricos onde a topografia a montante da barragem não permite o armazenamento sazonal da vazão. Usinas hidrelétricas com canais de irrigação e condutos de fornecimento de água podem também ser classificadas como usinas a fio de água (Department of the Army, 1985).

O termo *a fio de água* se refere ao modo de operação. Um projeto com armazenamento pode operar na modalidade a fio de água se apenas deixa passar a afluência. Outro exemplo pode ser uma usina hidrelétrica instalada num projeto com armazenamento regulado só para controle de enchentes e nenhum outro propósito de armazenamento da água como para fornecimento de água, em base a vazões diárias/semanais ou sazonais. As descargas devem ser reguladas sem propósitos de geração de energia, e então, a produção de energia poderia usar qualquer fluxo de água que esteja disponível nestas condições (Department of the Army, 1985). Esse tipo de usinas pode ser utilizado em qualquer região da Bolívia, porém seu uso será mais recomendado para a planície tropical, que como foi dito na seção 5.2 os rios tem grandes vazões e pequenas quedas.

Usinas de armazenamento.

Alguns projetos têm insuficiente espaço de armazenamento para regular as vazões sazonais de um rio. O armazenamento pode ser usado, de qualquer forma, para dispor as descargas a acompanhar os padrões de carga diária e em alguns casos semanal. O armazenamento diário/semanal é referido como “acumulação temporária” e o uso da acumulação permite ao projeto fornecer as cargas intermediárias e de pico (Creager e Justin, 1950). Alguns projetos de navegação são projetados para permitir as flutuações do nível armazenado, sem afetar a navegação contrariamente. Alguns reservatórios para controle de enchentes com usinas

hidrelétricas são desenhados com vários metros de acumulação. Estes são exemplos de projetos com armazenamento sazonal regulado estritamente sem propósitos de produção de energia, mas com suficiente flexibilidade para permitir a flutuação de descargas diárias para operações de pico. A quantidade de armazenamento de água que pode ser alcançado por qualquer projeto com acumulação, e pode estar limitada pela quantidade de acumulação disponível ou pelos obstáculos de operação como a descarga mínima requerida para um rio (Department of the Army, 1985). Esse tipo de usinas são recomendáveis para as zonas de montanhas, porém também podem ser usadas nas planícies tropicais.

Usinas com reservatório de regularização.

O termo reservatório de regularização geralmente se refere a projetos que tem a capacidade de regular a vazão sazonal de um rio. Um projeto com armazenamento para produção de energia pode ser usado para regular as descargas sazonais, a fim de acompanhar os padrões da demanda sazonais de energia. Embora existam alguns projetos com reservatório de regularização que tem um só propósito, a maioria dos projetos são propostos para usos múltiplos. Os projetos hidrelétricos inerentemente têm capacidade de operação de armazenamento, e isto pode ser usado para abastecer as cargas intermédias e de pico, tanto como, as cargas de base se as condições a jusante o permitem. Onde restrições de operação proibam as descargas de grandes flutuações, pequenos reservatórios de regularização podem ser construídos a jusante da barragem principal para manter as condições de descarga requeridas (Department of the Army, 1985). Esse tipo de usinas pode ser utilizado em qualquer região da Bolívia sempre e quando se respeitem às regras para seu dimensionamento e construção, mas é recomendável para zonas de montanhas e vales estreitos.

Usinas de acumulação por bombeamento.

As usinas de acumulação por bombeamento são projetadas para converter os baixos valores de pico da energia em altos valores de pico. A energia de baixo custo é usada para bombear água até um reservatório a montante nas noites e finais de semana, e a água é descarregada durante as horas de alta demanda para gerar energia de pico (Department of the Army, 1985). Uma característica específica de algumas usinas por bombeamento é que funcionam com muito pouca água. Com sua capacidade de armazenamento preenchida, tanto a montante como a jusante, só necessitam de um pouco de água para compensar as perdas por evaporação e infiltração (Linsley

e Franzini, 1978). As usinas de acumulação por bombeamento têm uma vantagem peculiar sobre as usinas normais com reservatório de regularização. Nestas últimas, se o reservatório for muito deplecionado a energia firme da usina será sacrificada, enquanto, nas usinas de acumulação por bombeamento pode-se manter a energia firme em tais condições devido ao bombeamento adicional (Creager e Justin, 1950). As usinas de acumulação por bombeamento podem ser usadas em qualquer região da Bolívia, mas são recomendadas para regiões de montanha e vales.

Determinada a equação do potencial hidrelétrico e os tipos de aproveitamentos a utilizar, resta agora definir as margens ou limitantes dos possíveis aproveitamentos para que eles sejam sustentáveis.

A proposta de estimar o potencial hidrelétrico da Bolívia foi feita com o objetivo de abrir as oportunidades para que o país alcance o desenvolvimento sustentável. Mas o que é desenvolvimento sustentável?

No Relatório Brundtland (Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento – CMMAD, 1988), o desenvolvimento sustentável é concebido como “o desenvolvimento que satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades”. Esta definição baseia-se na ética imperativa de equidade dentre e entre gerações.

Na seção 3.4, se argumenta que o conceito de desenvolvimento sustentável tem três vertentes principais: o crescimento econômico; a equidade social e o equilíbrio ecológico. Desta forma, a construção de usinas hidrelétricas deve incentivar o crescimento econômico com as obras de construção das barragens e a produção de energia, ter equidade social no planejamento do projeto e na distribuição dos benefícios, e finalmente, ter equilíbrio ecológico. Este terceiro ponto é de muita importância para alcançar o desenvolvimento sustentável, já que como se mostrou na seção 3.3, a construção de barragens produz impactos que afetam ao ambiente, mas também existem formas de minimizá-los como foi exposto na mesma seção.

Por conta das pesquisas feitas ao longo dos anos, o conhecimento que hoje em dia se tem sobre as barragens é bastante amplo, razão pela qual a nova geração de engenheiros busca a construção de barragens que afetem da menor forma possível ao ambiente, ou seja, que sejam ambientalmente sustentáveis.

Para cumprir com os requisitos da Tabela 3.7 proposta por Goodland (1997) e garantir a sustentabilidade ambiental na construção de novos aproveitamentos hidrelétricos será necessário um levantamento sobre as bacias hidrográficas, especialmente quanto aos aspectos topográficos, meteorológicos, geológicos e geotécnicos, ambientais e os múltiplos usos da água com o propósito de iniciar uma análise do tema em questão e verificar a viabilidade para geração de energia hidrelétrica, de acordo com a seção 5.2.

Através do programa AutoCAD, um software do tipo CAD – “*Computer Aided Design*” -, é possível sobrepor os distintos mapas temáticos da Bolívia, para identificar os elementos que caracterizam a bacia hidrográfica em estudo. Essa análise, exclusivamente pautada nos dados disponíveis, é feita em escritório e permite uma primeira avaliação do potencial e estimativa do aproveitamento das bacias hidrográficas da Bolívia.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Introdução

Neste capítulo serão apresentados os resultados e a análise da estimativa do potencial hidrelétrico da Bolívia, para o qual, será realizada a regionalização da curva de permanência das vazões médias diárias e, depois, a avaliação da sustentabilidade ambiental das barragens.

6.2 Regionalização da curva de permanência

De acordo com os procedimentos descritos na seção 5.3, e seguindo o levantamento de dados da seção 5.2, se realizará a regionalização da curva de permanência.

Para este objetivo foram utilizados os dados de vinte e duas estações fluviométricas que foram apresentadas na Tabela 5.2. Dentre estas estações utilizadas, sete pertencem ao Brasil e três à Argentina, estas dez estações estão localizadas sobre rios internacionais que fazem divisa com a Bolívia. Isto pode ser visto na Figura 6.1, onde se destacam as estações utilizadas no trabalho junto com as bacias hidrográficas da Bolívia.

Como se pode ver na Tabela 5.2 e na Figura 6.1, são doze as estações que pertencem à Bacia do rio Amazonas (sub-bacias 1A, 1B, 1C, 1D, 1E) e dez à Bacia do rio da Prata (sub-bacias 2B, 2C); a Bacia Fechada o Lacustre (3A, 3B, 3C, 3D, 3E) não faz parte deste estudo, assim

como, as sub-bacias do rio Paraguai (2A) e as regiões alagadas do Izozog (1H), devido a que não se conseguiram as vazões médias diárias das respectivas bacias para realizar o trabalho.

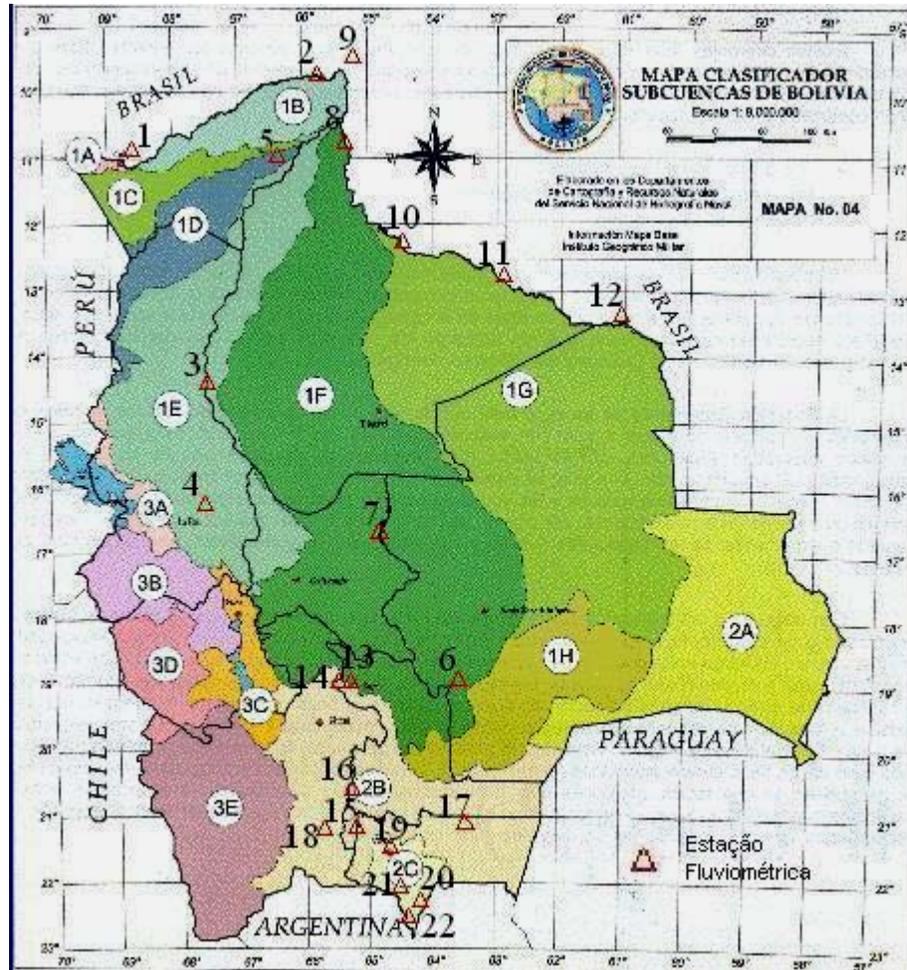


FIGURA 6.1 Estações fluviométricas

Fonte: Adaptado do MDN, 2007.

Como foi dito na seção 5.2 e apresentado na Tabela 5.2 há muitas estações fluviométricas com falhas nos períodos de observação, por esta razão se fizeram três tentativas com a finalidade de achar a melhor forma de utilizar os dados para determinar a curva de permanência. A primeira tentativa consistiu em definir a curva de permanência, desconsiderando os períodos com falhas; na segunda tentativa se optou por usar apenas o maior trecho contínuo ignorando o restante; e a terceira tentativa consistia em preencher os períodos com falhas mediante uma regressão.

Da primeira tentativa se obteve as curvas de permanência sem nenhum problema. Na segunda tentativa, também se conseguiram obter as curvas de permanência, só que os períodos definidos, às vezes, eram curtos demais (menores que cinco anos) o que se refletia nos valores das vazões obtidas às quais eram maiores que os da primeira tentativa, 85% e 60% dos casos das vazões Q_{50} e Q_{95} respectivamente. A terceira tentativa não se chegou a fazer, devido a justificativa abaixo e também por razões de tempo.

Escolheu-se a primeira tentativa seguindo as recomendações feitas por Tucci (2002) que diz: “O tamanho das series das vazões deve ser pelo menos de cinco anos. Existindo falhas na serie é preferível não preenchê-la por regressão, porque podem ser introduzidas tendências na mesma. Caso as falhas ocorram sempre num determinado período do ano, em que existam vazões baixas o posto não deveria ser usado”.

Todas as estações fluviométricas foram revisadas segundo estas recomendações e percebeu-se que a maioria das falhas acontece na época de chuvas. Há três estações com períodos de observação menores que cinco anos, duas delas estão completas e podem ser consideradas representativas, mas a terceira estação, Príncipe da Beira, tem uma falha no período de observação que a deixa com três anos de dados. Porém, foi utilizada no estudo porque sua localização na foz de uma grande bacia é muito importante, embora se tenha feito isto levando sempre em conta que tinha um número muito pequeno de dados observados.

Prosseguindo com a metodologia apresentada na seção 5.2, se realizou a determinação das características fisiográficas das bacias tendo como base os mapas de curvas de nível em escala 1:250.000 obtidos do IGM. Utilizando o programa Autocad foram definidas: a área de drenagem (A), o comprimento do rio principal (L), a declividade do rio (S), a densidade de drenagem (DD) e a precipitação média anual (P) para as vinte e duas estações fluviométricas. Os resultados obtidos desse levantamento são apresentados na Tabela 6.1, em que se mostram também, os valores das vazões (Q_{50} ; Q_{95}) obtidas da curva de permanência, que foi determinada com as vazões observadas em cada estação fluviométrica.

As áreas e os comprimentos dos rios foram conferidos com os dados do MDN (2007) e com os dados de áreas de cada estação fluviométrica. Os dados H_a , H_b e L da equação 5.1 para

determinar a declividade do rio foram medidos dos mapas de curvas de nível na escala 1/250.000, com equidistância de curvas de 100 m. Em função disso, a precisão altimétrica para a definição das quedas dos rios não é muito boa, mas é a melhor possível de ser obtida com os mapas disponíveis.

Finalmente para determinar a densidade de drenagem foi utilizado o mapa hidrográfico nacional em escala 1/1.000.000 e a precipitação média anual foi determinada pelo método das isoietas utilizando o mapa de precipitação média anual do Balanço Hídrico Superficial da Bolívia feito pelo PHICAB (1992).

TABELA 6.1 Características fisiográficas das bacias.

#	Estação Fluviométrica	Q_{50} (m^3/s)	Q_{95} (m^3/s)	Área (km^2)	L (km)	$S \times 10^{-4}$ (m/m)	$DD \times 10^{-3}$ (km/km^2)	P (mm)
1	Brasiléia (BRA)	55,36	15,77	7987	219	5,84	4,88	2250
2	Morada Nova (BRA)	344,00	60,25	32590	452	3,96	6,87	2075
3	Príncipe da beira (BRA)	1779,60	331,80	340326	1034	4,78	3,42	1464
4	Pimenteiras (BRA)	428,73	167,86	56215	524	8,49	2,54	1541
5	Pedras Negras (BRA)	778,60	182,00	109788	804	5,94	3,21	1549
6	El Bala	1324,00	480,80	68900	442	90,83	7,75	1664
7	Villa Barrientos	44,33	4,12	2090	84	389,20	7,17	1330
8	Miraflores	4027,00	1785,00	124910	1150	36,25	2,52	2400
9	Abapo	127,59	28,37	59840	531	73,44	1,50	752
10	Pto Villaroel	390,70	100,19	8090	264	72,19	3,83	1959
11	Guajará-mirim	7361,90	1228,00	589497	2127	20,17	2,85	1561
12	Palmeiral	20704,00	4715,00	936801	2436	17,64	3,43	1673
13	Ñujchu	4,61	0,87	1644	97	237,11	1,82	806
14	Talula	7,71	3,90	6340	177	135,59	3,62	480
15	El Puente	6,34	0,89	18983	325	80	1,26	317
16	Palca Grande	7,04	3,38	19445	218	105,5	1,20	324
17	Villamontes	75,06	17,85	81280	532	84,58	1,85	476
18	La Angostura	1,97	0,50	1361	45	311,11	2,20	293
19	Obrajes	1,86	0,54	1025	52	269,23	5,85	606
20	San Telmo (ARG)	59,60	17,00	10460	225	538,46	4,30	1075
21	Alarache (ARG)	9,70	3,83	2260	52	134,14	1,77	1253
22	Aguas Blancas (ARG)	39,80	11,60	4850	123	102	2,47	1370

Os parâmetros apresentados na Tabela 6.1 foram utilizados para fazer a regionalização de vazões, a qual consiste em determinar as equações de regressão para as vazões Q_{50} e Q_{95} , conforme ao estabelecido na seção 5.3.2, sobre utilização da regressão na regionalização de vazões.

Dado que o estudo abrange mais da metade do território boliviano, uma das maiores dificuldades no momento de realizar a regionalização de vazões foi o tamanho das bacias que, como foi explicado na seção 5.3, exerce um papel importante na determinação das curvas de permanência. Aplicaram-se *logaritmos* naturais a todas as variáveis para realizar a regressão conforme ao estabelecido pela ELETROBRÁS (1985) e Tucci (2002) e, posteriormente, aplicaram-se *antilogaritmos* para obter a equação de regionalização. Todo este procedimento está bem explicado no exemplo de regressão na seção 5.3.2. Outro fator importante foi o número de estações fluviométricas, se trabalhou com 22 estações que não é a quantidade desejável para uma área tão extensa, mas é a realidade nacional da Bolívia. Porém, a localização das estações nas cabeceiras e foz das bacias principais (Figura 6.1) permitiu realizar o estudo. Um terceiro fator importante foi a característica da presença da Cordilheira dos Andes, que teve uma influência notável na determinação das regiões, especialmente na Bacia do rio da Prata.

Para efetuar a regionalização, sendo um trabalho demorado e complexo, optou-se por utilizar o programa “*MINITAB for Windows*” versão 10, com o qual se fez a regressão linear múltipla para cada uma das vazões definidas, e considerando os parâmetros A, L, S, DD e P, conforme o estabelecido pela *Metodologia para Regionalização de Vazões* da ELETROBRÁS (1985). O programa computacional fornece ferramentas para calcular a *correlação de Pearson* (R), determina a melhor regressão utilizando o *Coefficiente de Determinação* (R^2) dentro de um conjunto limitado de variáveis e também, faz a *análise de regressão linear*. Além disso, o programa aplica a *Análise de Variância* (ANOVA) ao resultado, com o qual é possível verificar a significância do modelo de regressão e analisar o ajuste originado pelo modelo.

Na Tabela 6.2, mostram-se os resultados fornecidos pelas ferramentas do programa MINITAB. Essa tabela foi elaborada tendo como base os resultados correspondentes à análise feita para determinar a primeira região da regionalização.

TABELA 6.2 Planilha de Resultados do MINITAB para a região I.

Correlação de Pearson (R)						
	In Q50	In Q95	In A	In L	In S	In DD
In Q95	0,995					
In A	0,647	0,706				
In L	0,653	0,725	0,957			
In S	-0,679	-0,747	-0,761	-0,911		
In DD	-0,225	0,124	-0,389	-0,538	0,55	
In P	0,509	0,436	-0,327	-0,273	0,022	0,722
Melhor Regressão						
Vars	R-sq	Adj. R-sq	C-p	S	In A	In P
1	41,90	12,80	2xE+04	1,3641	X	
1	25,90	0,00	3xE+04	1,5401		X
2	100,00	100,00	3,00	0,012336	X	X
Análise de Regressão						
Equação de regressão:	$\ln Q_{50} = - 22,50 + 0,792 \ln A + 2.82 \ln P$					
Preditor	Coef.	Stdev	t-ratio	p		
Constante	-22,5213	0,1499	-150,27	0,004		
In A	0,791528	0,004483	176,56	0,004		
In P	2,81764	0,01802	156,38	0,004		
s = 0,0123	R-sq = 100,0 %		R-sq (adj) = 100,0 %			
Análise de Variância						
Source	DF	SS	MS	F	p	
Regressão	2	6,4017	3,2008	21035,27	0,005	
Erro	1	0,0002	0,0002			
Total	3	6,4018				
Source	DF	SEQ SS				
In A	1	2,6803				
In P	1	3,7214				

Em que:

p = Valor p, usado em testes de hipóteses para ajudar a decidir se rejeita ou não rejeita a hipótese nula. O valor-p é a probabilidade de se obter uma estatística de teste, que é no mínimo tão grande quanto o valor real calculado, se a hipótese nula for verdadeira. Isto é, o valor-p representa a probabilidade de se cometer um erro Tipo I, ou rejeitar a hipótese nula, quando ela é verdadeira.

Quanto menor o valor-p, menor é a probabilidade de que se esteja cometendo um erro, rejeitando a hipótese nula. Um ponto de corte normalmente usado para o valor-p é 0,05.

$s =$ Uma estimativa para o desvio padrão estimado do erro no modelo. Observe que S^2 é o Quadrado Médio do Erro (MS Erro).

R - sq = R^2 Coeficiente de Determinação: indica quanto da variação da resposta é explicada pelo modelo. Quanto maior o R^2 , melhor o modelo se ajusta aos dados.

A fórmula é:

$$R - sq = 1 - \frac{SSErro}{SSTotal} \quad (6.1)$$

R - sq(adj) = R^2 *ajustado*: considera o número de *preditores* no modelo, útil para comparação de modelos com diferentes números de *preditores*.

A fórmula é:

$$R - sq(adj) = 1 - \frac{MSErro}{SSTotal/DFTotal} \quad (6.2)$$

DF = Graus de liberdade, indica o número de resíduos das informações independentes, envolvendo a resposta dos dados necessários para calcular a soma de quadrados. Os graus de liberdade para cada componente do modelo são:

$$DF \text{ Regressão} = p;$$

$$DF \text{ Erro} = n - p - 1;$$

$$Total = n - 1$$

em que:

n = número de observações e p = número de *preditores*.

SS = Soma de quadrados é a soma do quadrado das distâncias. SS Total (Soma de Quadrados Total) é a variação total dos dados. SS Regressão (Soma de Quadrados da Regressão)

é a porção da variância explicada pelo modelo, enquanto SS Erro (Soma de Quadrados do Erro) é a porção não explicada pelo modelo e atribuída ao erro.

As equações são:

$$SS \text{ Re gressão} = \sum (\hat{Y} - \bar{Y})^2 \quad (6.3)$$

$$SSErro = \sum (Y - \hat{Y})^2 \quad (6.4)$$

$$SSTotal = SS \text{ Re gressão} + SSErro \quad (6.5)$$

Onde: Y= resposta observada, \hat{Y} = resposta ajustada, e \bar{Y} = resposta média.

MS Regression = QM Regressão é o quadrado médio da regressão ou MSR.

A fórmula é:

$$MS \text{ Re gressão} = \frac{SS \text{ Re gressão}}{DF \text{ Re gressão}} \quad (6.6)$$

MS Error = MS Erro, é o quadrado médio do erro ou MSE, que é a variância em torno da linha de regressão ajustada. MS Erro = s^2 .

A fórmula é:

$$MSErro = \frac{SSErro}{DFErro} \quad (6.7)$$

F = Se o valor F calculado é maior que o valor F tabelado da distribuição F, então, no mínimo um dos coeficientes não é igual a zero. O valor F é usado para determinar o valor-p. A fórmula para o valor F calculado é:

$$F = \frac{MS \text{ Regressão}}{MSErro} \quad (6.8)$$

Seq. SS= Soma de quadrados seqüenciais. O MINITAB calcula a soma de quadrados seqüenciais para cada *preditor*. O resultado depende da ordem em que os *preditores* são inseridos no modelo. A soma de quadrados seqüenciais é a única porção da soma de quadrados da regressão explicada por um *preditor*, dado qualquer *preditor* previamente inserido no modelo. Se tem um modelo com três *preditores*, X1, X2 e X3, a soma de quadrados seqüenciais para X3 mostra o quanto da variação restante é explicada por X3, dado que X1 e X2 já estão no modelo. Para obter uma seqüência diferente de *preditores*, repete-se o procedimento de regressão entrando com os *preditores* em uma ordem diferente (Pio, 1999).

Com a *Correlação de Pearson (R)* procuram-se as variáveis que tem alta correlação e podem afetar a regressão, a idéia é escolher as variáveis independentes que tenham alta correlação com a variável dependente e pouca, ou nenhuma relação entre si. A Melhor Regressão feita pelo MINITAB é definida tendo como base o *Coefficiente de Determinação (R² ou R-sq* na Tabela 6.2). O conjunto de variáveis que apresente o melhor Coeficiente de Determinação e que suas variáveis não estejam altamente correlacionadas entre si, serão escolhidas para fazer a regressão. A *Análise da Regressão* fornece como resultado uma equação em função das variáveis escolhidas e o correspondente Coeficiente de Determinação da regressão (R-sq). Com a *Análise de Variância (ANOVA)* procura-se determinar o grau de significância do ajuste, quanto menor o valor p, menor é a probabilidade de que se esteja cometendo um erro com a regressão.

Foram feitas muitas tentativas para encontrar as variáveis que melhor representavam as vazões. A primeira tentativa foi utilizar todos os dados em uma regressão só, para não ter que estabelecer regiões. Como não foi possível, porque não se conseguiu fazer a regressão devido à diferença dos dados (eles não pertenciam à uma mesma região homogênea), optou-se por trabalhar por bacias, já que as Bacias do rio Amazonas e do rio da Prata tem características fisiográficas diferentes e desta forma esperava-se obter melhores resultados.

Na segunda tentativa se separaram dois grupos, o primeiro (Bacia do rio Amazonas) com doze estações fluviométricas e o segundo (Bacia do rio da Prata) com dez, da mesma forma que na primeira tentativa se tentou fazer uma regressão para cada grupo e dividir a área em estudo em duas regiões. Os resultados também não foram bons, porém conseguiu-se fazer a regressão e os valores do Coeficiente de Determinação ficaram na ordem de 80% - 90%. As equações obtidas produziam erros muito grandes, quando estas eram utilizadas para calcular as vazões das diferentes estações e ao compará-las com as vazões observadas. Isto levou a procurar outros critérios para obter ajustes de regressão com coeficientes de determinação mais altos, que tenham erros pequenos no momento de calcular as curvas de permanência e que estas, não tivessem grandes diferenças, quando fossem comparadas com as curvas obtidas com os dados observados. Desta forma, decidiu-se utilizar os rios principais de cada bacia como critério para fazer a subdivisão em regiões e, para isto, se dividiu a Bacia do rio Amazonas em duas regiões, cada uma com seis estações. Os resultados das regressões melhoraram, assim como os valores do Coeficiente de Determinação, mas ainda havia erros no momento de comparar as vazões (Q_{50} e Q_{95}) calculadas mediante a regionalização, com as observadas da curva de permanência.

Neste trabalho se continuou usando todos os dados disponíveis e se utilizaram outros critérios para dividir as regiões. Segundo a ELETROBRAS (1985) e Tucci (1993) recomenda-se usar como critérios para a subdivisão de regiões, como: a semelhança fisiográfica, a altitude, o tipo de solos e a permeabilidade. Para cada critério novo foi feita uma nova tentativa de regionalização com seus respectivos procedimentos de determinação de equações, cálculo de vazões e comparação dos resultados das vazões calculadas mediante a regionalização com as observadas. O mesmo trabalho foi feito com a Bacia do rio da Prata.

E, finalmente, após diversas tentativas, como resultado desta análise, obteve-se cinco regiões para Bolívia, das quais três pertencem à Bacia do rio Amazonas e dois à Bacia do rio da Prata.

A Tabela 6.3, apresenta as equações de regressão resultantes da regionalização. As variáveis que deram melhor resultado para representar as vazões em estudo foram A e P na Bacia do rio Amazonas, L e P na Bacia do rio da Prata.

TABELA 6.3 Equações resultantes da regionalização de vazões médias diárias

Bacia	Região	Equação	R ²
Amazonas	R I	$Q_{50} = 1,65624 * 10^{-10} * A^{0,7915} * P^{2,8176}$	100,00
		$Q_{95} = 4,57577 * 10^{-15} * A^{1,1376} * P^{3,5919}$	99,60
	R II	$Q_{50} = 0,08313 * A^{0,7841}$	99,70
		$Q_{95} = 1,17393 * 10^{24} * A^{0,1758} * P^{-7,1146}$	100,00
	R III	$Q_{50} = 1,46513 * 10^{-17} * A^{1,4688} * P^{3,8347}$	100,00
		$Q_{95} = 2,31262 * 10^{-28} * A^{1,6272} * P^{6,6849}$	99,60
Prata	R IV	$Q_{50} = 1,87716 * 10^{-16} * A^{0,7196} * L^{2,4020} * S^{3,8767} * DD^{0,3763}$	100,00
		$Q_{95} = 5,54781 * 10^{-40} * A^{2,7328} * L^{3,6466} * S^{9,574} * DD^{1,5696}$	99,20
	R V	$Q_{50} = 3,48166 * 10^{-6} * L^{1,4078} * P^{1,3031}$	99,60
		$Q_{95} = 9,78069 * 10^{-6} * L^{1,1463} * P^{1,1708}$	100,00

Segundo Tucci (2002), um aspecto que deve ser ressaltado na aplicação das equações resultantes é que os resultados esperados da regionalização para postos com áreas menores fora da faixa do tamanho da amostra utilizada na regionalização não é muito bom. Os resultados poderão apresentar erros significativos e a extrapolação deve ser utilizada com muito cuidado.

Lamentavelmente, devido aos dados observados serem poucos, optou-se por não deixar nenhuma estação fluviométrica fora do estudo de regionalização, para posteriormente fazer os testes de verificação com uma estação que não tivesse sido utilizada no estudo de regressão, para obter as equações. Estes testes consistem na comparação das vazões obtidas das equações de regionalização com as vazões de estações da região que não tenham participado do estudo. Não se fez isto, porque as estações existentes foram poucas e, portanto, não alcançou uma quantidade básica para fazer os testes de avaliação, porém estas equações foram utilizadas para individualizar aproveitamentos e os resultados foram satisfatórios.

Na Figura 6.2, pode-se ver a delimitação das regiões resultantes do estudo, que foram desenhadas de acordo com as bacias das estações utilizadas, e os critérios empregados para fazer a regionalização.

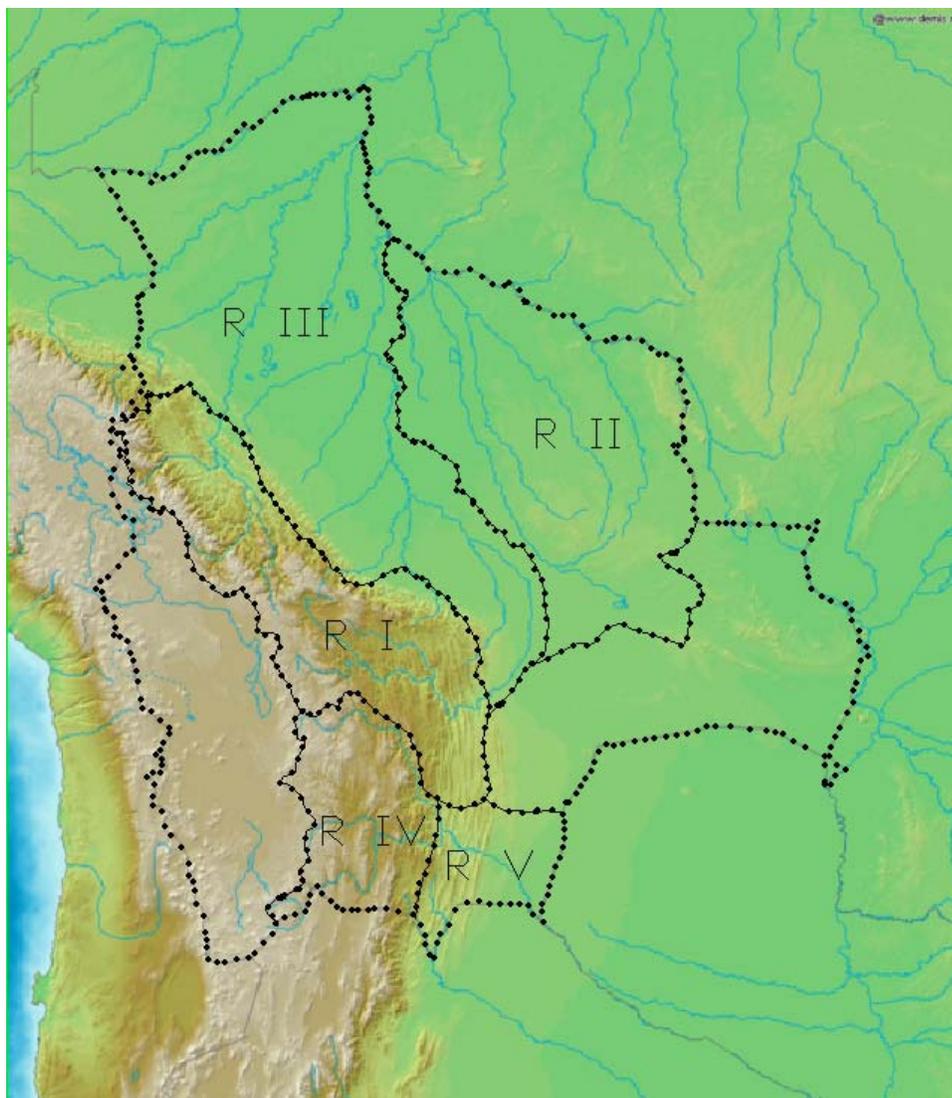


FIGURA 6.2 Áreas fisiograficamente homogêneas da Bolívia (Regionalizadas).

Os valores dos erros percentuais calculados como a diferença entre o valor observado menos o valor calculado, e este resultado dividido pelo valor observado e multiplicado por 100, são apresentados na Tabela 6.4.

TABELA 6.4 Erros percentuais da regionalização de vazões

Região	#	Estação Fluviométrica	Vazões Observadas Q (m ³ /s)		Vazões Calculadas Q (m ³ /s)		Erros Porcentuais (%)	
			Q ₅₀	Q ₉₅	Q' ₅₀	Q' ₉₅	EQ' ₅₀	EQ' ₉₅
R I	1	El Bala	1324	480,8	1331,97	542,60	-0,60	-12,85
	2	Villa Barrientos	44,33	4,115	44,54	4,55	-0,48	-10,57
	3	Abapo	127,59	28,37	127,10	26,66	0,38	6,03
	4	Pto Villaroel	390,7	100,19	387,17	85,27	0,90	14,89
R II	1	Príncipe Beira (BRA)	1779,6	331,8	1808,58	331,81	-1,63	0,00
	2	Pimenteiras (BRA)	428,732	167,857	440,70	167,86	-2,79	0,00
	3	Pedras Negras (BRA)	778,6	182	744,87	182,01	4,33	0,00
R III	1	Brasiléia (BRA)	55,355	15,768	56,53	13,28	-2,13	15,80
	2	Morada Nova (BRA)	344	60,25	326,94	76,16	4,96	-26,41
	3	Miraflores	4027	1785	4110,13	1793,34	-2,06	-0,47
	4	Guajará-mirim (BRA)	7361,9	1228	7714,41	1263,02	-4,79	-2,85
	5	Palmeiral (BRA)	20704	4715	19868,84	4264,98	4,03	9,54
R IV	1	Ñujchu	4,61	0,878	4,62	0,84	-0,27	4,50
	2	Talula	7,716	3,905	7,68	4,20	0,43	-7,45
	3	El Puente	6,348	0,898	6,33	0,94	0,28	-4,79
	4	Palca Grande	7,043	3,38	7,08	3,07	-0,57	9,22
	5	La Angostura	1,974	0,502	1,96	0,55	0,56	-9,86
	6	Obrajes	1,86	0,542	1,87	0,50	-0,47	7,63
R V	1	San Telmo (ARG)	59,6	17	63,59	17,22	-6,70	-1,30
	2	Alarache (ARG)	9,7	3,83	9,87	3,84	-1,80	-0,35
	3	Aguas Blancas (ARG)	39,8	11,6	37,27	11,45	6,34	1,31
	4	Villamontes	75,069	17,85	73,88	17,79	1,59	0,33

A região I, denominada RI, caracteriza-se por ser uma região montanhosa com elevados valores de altitude correspondentes à Cordilheira dos Andes (Figura 6.2). As maiores quantidades de precipitação do país se acham nessa região que tem uma grande variedade de vegetação e vários tipos de climas. Os resultados da regressão para a regionalização desta região são bons, com um percentual de erro maior na vazão Q₉₅ que na Q₅₀, especialmente na estação de Puerto Villaroel (número quatro da região I na Tabela 6.4) na qual alcança um erro máximo cerca de 15%. A explicação para este fato pode ser devido a maior quantidade de chuvas precipitadas nessa zona que oscila ao redor dos 3.000 mm anuais.

As regiões II e III, denominadas RII e RIII, correspondem a um patamar mais homogêneo de altitude, com o diferencial de que a região II é uma zona mais impermeável, e que faz parte da formação geológica do Planalto Brasileiro, enquanto a região III pertence a uma zona permeável com savanas inundáveis na Amazônia Boliviana. A regressão da região II foi muito

boa sem erros percentuais (0%) no cálculo da vazão Q_{95} e com erros da ordem de 4% na vazão Q_{50} . Isto pode ser devido a que o tamanho das áreas das estações fluviométricas usadas são mais homogêneas além de que toda a região II pertence ao mesmo curso principal, o rio Itenez. Já na regressão da região III, o tamanho das áreas é bastante irregular, foram cinco as estações fluviométricas usadas, das quais duas tinham áreas pequenas e as outras três tinham áreas muito maiores que tiveram seu reflexo no momento de fazer o cálculo das vazões. Os maiores erros percentuais se obtiveram nas bacias pequenas da ordem de 15% e 26% na vazão Q_{95} ; o erro na vazão Q_{50} variou entre 2% e 4%.

Para definir as regiões IV e V, denominadas RIV e RV, se usaram como critérios a localização das estações fluviométricas e seu comportamento em relação à Cordilheira dos Andes. Percebeu-se que as estações que ficavam do lado esquerdo da cordilheira tinham vazões menores, correspondiam a uma região mais árida e com valores baixos de precipitação em relação com as estações do lado direito da cordilheira que tem características diferentes. Acredita-se que estas diferenças são devido ao Altiplano Boliviano que é uma região de baixas temperaturas e elevada altitude localizada do lado esquerdo da Cordilheira dos Andes. Na regressão da região IV foi necessário utilizar quatro das cinco variáveis definidas (A, L, S, DD), como era de se esperar a precipitação não teve uma influência significativa nesta regressão. Os resultados foram bons com os maiores erros no cálculo da vazão Q_{95} , os quais chegam até 9% como se apresenta na Tabela 6.4.

Finalmente na regressão da região V, utilizaram-se as variáveis de área e precipitação que ajudaram a ter uma boa regressão apesar de contar com uma estação com a área muito maior que as outras (Villamontes, número quatro da região V, na Tabela 6.4) e onde as quantidades de chuva que correspondem a essa estação são bem diferenciadas do resto, nas estações correspondentes às áreas pequenas, chove muito mais. Os maiores erros se produzem no cálculo da vazão Q_{50} e alcançaram um valor máximo da ordem de 6%.

Com os resultados da regionalização das vazões, a etapa seguinte foi determinar a *Curva de Permanência das Vazões*, de acordo com a metodologia definida na seção 5.3.3. Nos gráficos das Figuras 6.3.a até 6.3.l; e 6.4.a até 6.4.j se mostram as curvas de permanência observadas

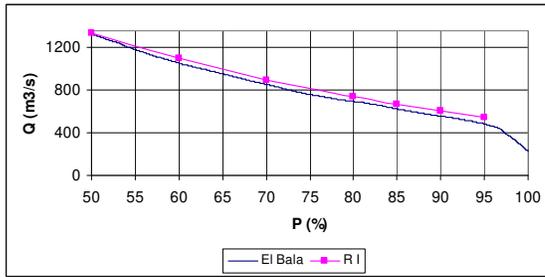
(traço azul) e as calculadas mediante a regionalização (traço rosa) para cada estação fluviométrica. Os gráficos das Figuras 6.3 correspondem à Bacia do rio Amazonas e os gráficos das Figuras 6.4, à Bacia do rio da Prata.

As estações de El Bala, Villa Barrientos, Abapó e Puerto Villaroel da região I (Figuras 6.3.a até 6.3.d) estão localizadas na Cordilheira dos Andes, onde o primeiro par pertencem à Bacia Beni e o segundo, à Bacia Mamoré. A curva de permanência com menores erros foi a da estação Abapó, e a que apresentou os maiores erros foi a da estação Puerto Villaroel, porém não se percebe esta diferença nos gráficos devido a diferenças na escala vertical. Nesta região estão os maiores potenciais hidrelétricos do país.

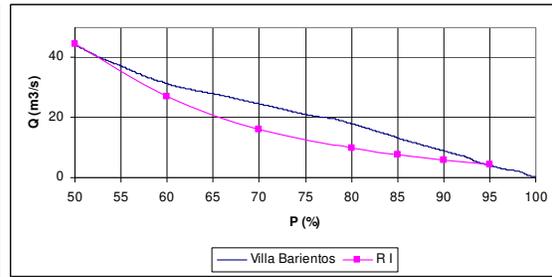
As estações da região II: Pimenteiras, Pedras Negras e Príncipe da Beira (Figuras 6.3.e até 6.3.g) estão localizados sobre o mesmo rio internacional na Bacia Itenez, que faz fronteira com o Brasil. Toda esta região faz parte do planalto brasileiro só que do lado boliviano não há muita diferença de altitude. A estação com menos erros no cálculo das vazões Q_{50} e Q_{95} foi a Príncipe da Beira, porém a parte central da curva calculada tem pequenas diferenças com a curva observada como se pode ver na Figura 6.3.g.

À região III correspondem às estações: Brasiléia, Morada Nova, Miraflores, Guajará-mirim e Palmeiral (Figuras 6.3.h até 6.3.l). Esta última estação está localizada sobre o rio Madeira, este rio transporta a vazão de quase toda a Amazônia Boliviana. Os rios pertencentes a estas estações são rios naturais sem nenhum tipo de aproveitamento, e isto se reflete nas inflexões superior e inferior das curvas de permanência. Os maiores erros se produzem nas estações com pequena área de drenagem como, Brasiléia e Morada Nova (Figuras 6.3.h até 6.3.i), mas nos desenhos das curvas isso fica quase imperceptível.

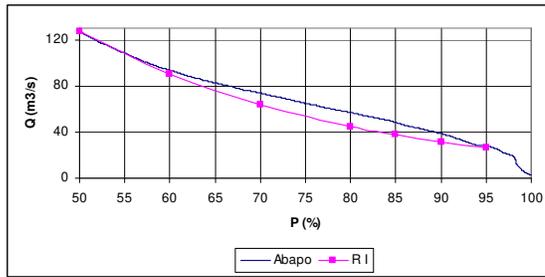
As estações Ñujchu, Talula, El Puente, Palca Grande, La Angostura e Obrajes, da região IV, tem rios provenientes de regiões áridas e com pequena vazão como se pode ver nas Figuras 6.4.a até 6.4.f. Já as estações San Telmo, Alarache, Águas Blancas e Villamontes (Figuras 6.4.g até 6.4.j), tem vazões muito maiores de grande potencial. Esta região é a segunda em importância de potencial hidrelétrico para Bolívia.



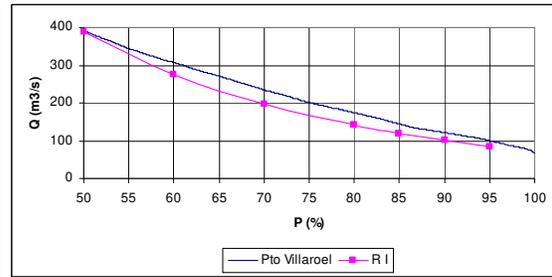
(a)



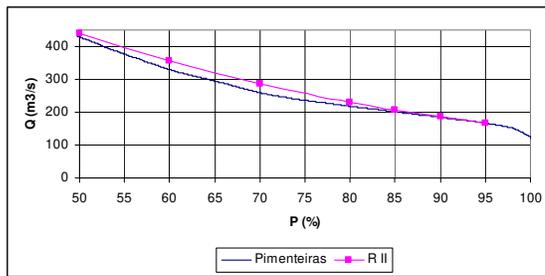
(b)



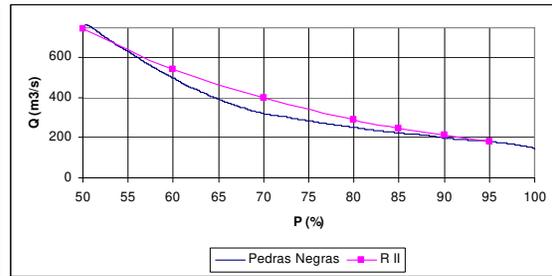
(c)



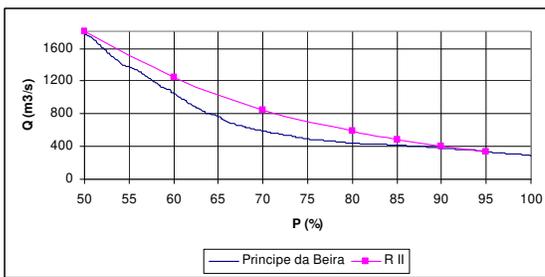
(d)



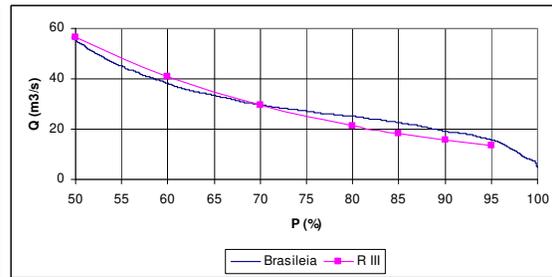
(e)



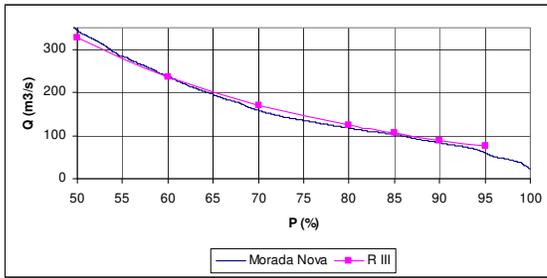
(f)



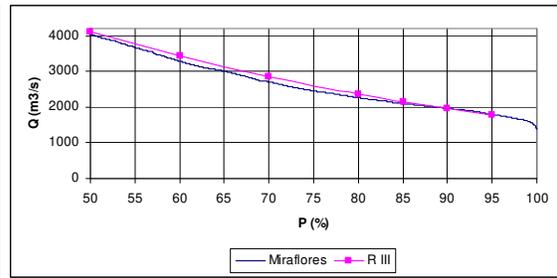
(g)



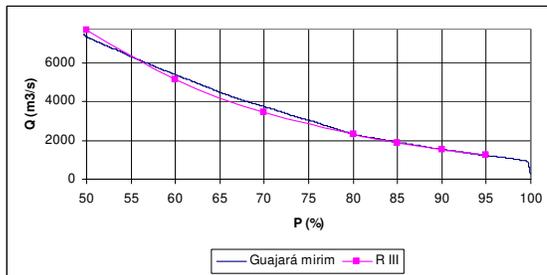
(h)



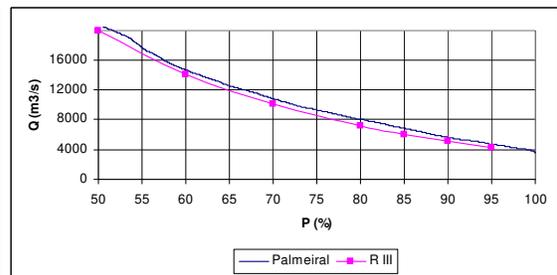
(i)



(j)

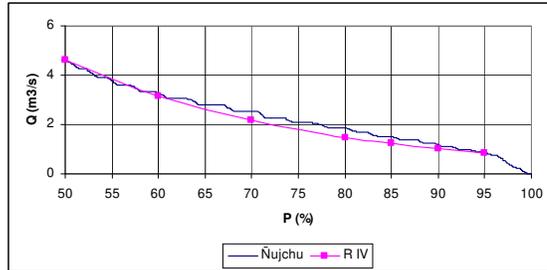


(k)

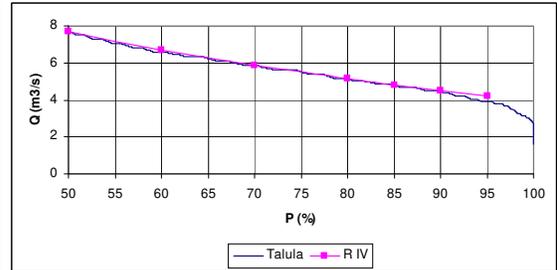


(l)

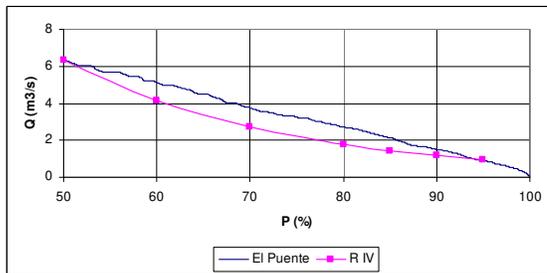
FIGURA 6.3 Curvas de permanência da Bacia do rio Amazonas



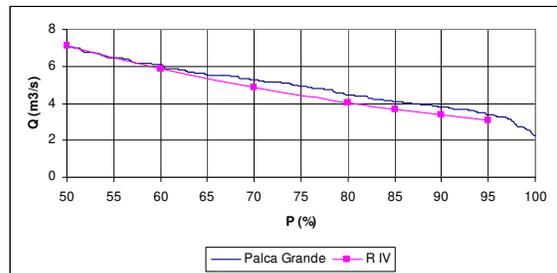
(a)



(b)



(c)



(d)

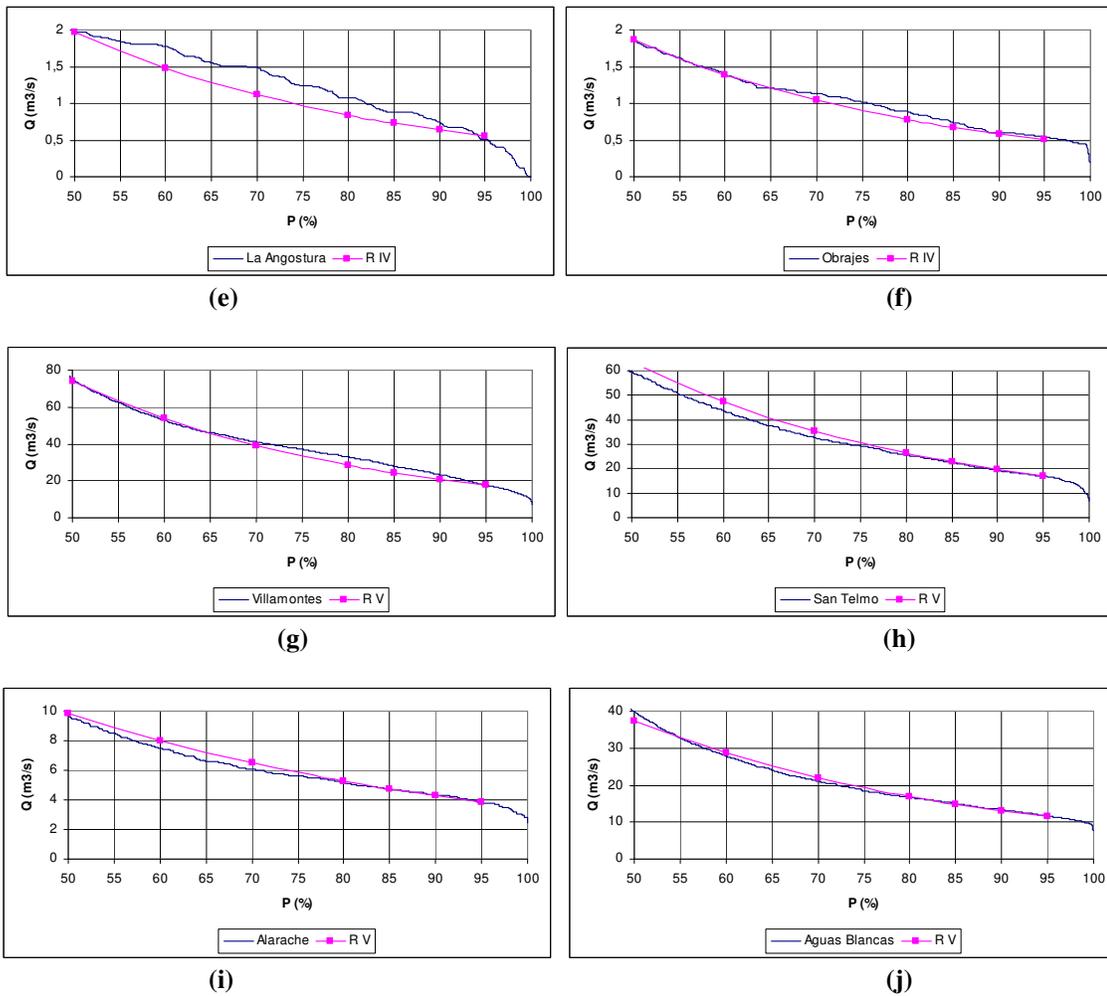


FIGURA 6.4 Curvas de permanência da Bacia do rio da Prata.

A regionalização da curva de permanência consiste basicamente em ter como dados de entrada as características físicas das bacias hidrográficas e com elas determinar uma função que permita expressar a vazão do rio para, posteriormente com estas vazões, calcular a curva de permanência. A regionalização propriamente dita é feita na determinação das vazões Q_{50} e Q_{95} em função das características da bacia.

A metodologia utilizada neste trabalho mostrou ser de muita ajuda para realizar o cálculo da curva de permanência em regiões sem dados e, especialmente, na determinação da vazão mínima (Q_{95}), porém, ainda que não se tenha trabalhado com a quantidade desejada de estações fluviométricas, acredita-se na qualidade e utilidade das equações determinadas através

da metodologia apresentada. Com a obtenção de novos dados observados de vazão as equações podem ser melhoradas.

6.3 Estimativa do potencial hidrelétrico

A estimativa do potencial hidrelétrico das bacias realizou-se utilizando a equação 5.19. A vazão mínima do rio Q_{95} foi calculada mediante as equações da regionalização da curva de permanência determinadas na Tabela 6.3. O desnível H foi determinado considerando o curso de água principal de cada bacia.

É bom lembrar que a potência bruta (P_b) de um possível aproveitamento hidrelétrico se calcula tendo como base a vazão mínima (Q_{95}) e a altura bruta (H), desconsiderando o valor de rendimento total (η). Esta potência bruta oferece apenas uma noção geral do potencial hidrelétrico da bacia. Para determinar o potencial hidrelétrico remanescente (P_h) é necessário calcular o rendimento (η), que é o resultado do produto dos rendimentos do gerador e da turbina (Schreiber, 1977).

A partir dos conceitos definidos na seção 5.4 foi calculada a potência bruta (P_b) e o potencial hidrelétrico das bacias principais com a equação 5.19 (Figura 6.5). Todos estes valores são apresentados na Tabela 6.5.

TABELA 6.5 Potencial hidrelétrico remanescente das bacias da Bolívia

Região Regionalizada	Bacias	Q_{95} (m ³ /s)	H (m)	P_b (MW)	P_h (MW)
R III	Acre	13,27	63	8,20	7,01
R III	Abuna	79,52	169	131,84	112,62
R III	Orthon	81,35	125	99,76	85,22
R III	Madre de Dios	1785,50	57	998,40	852,86
R III	Beni	360,15	4192	14811,04	12652,04
R III	Mamoré	1432,15	4292	60300,38	51510,42
R II	Itenez	313,75	67	206,22	176,16
R I	Izozog	41,40	3100	1259,10	1075,56
R V	Pilcomayo	26,08	4637	1186,56	1013,59
R V	Bermejo	28,88	2949	835,60	713,79

De acordo com o potencial hidrelétrico calculado na Tabela 6.5, a Bacia do rio Amazonas tem um potencial bruto de 77.641 MW e um potencial hidrelétrico de 66.323 MW, enquanto que para a Bacia do rio da Prata se calcularam 2.022 MW de potência bruta e 1.727 MW de potencial hidrelétrico. Estes dados se obtiveram somando o potencial de cada sub-bacia (Tabela 6.5 e Figura 6.5), e no caso dos rios de fronteira (Acre, Abuna e Itenez), dividiu-se o valor entre dois, já que de realizar-se algum aproveitamento os benefícios seriam compartilhados entre os países pertencentes a essas bacias, a Bolívia e o Brasil.

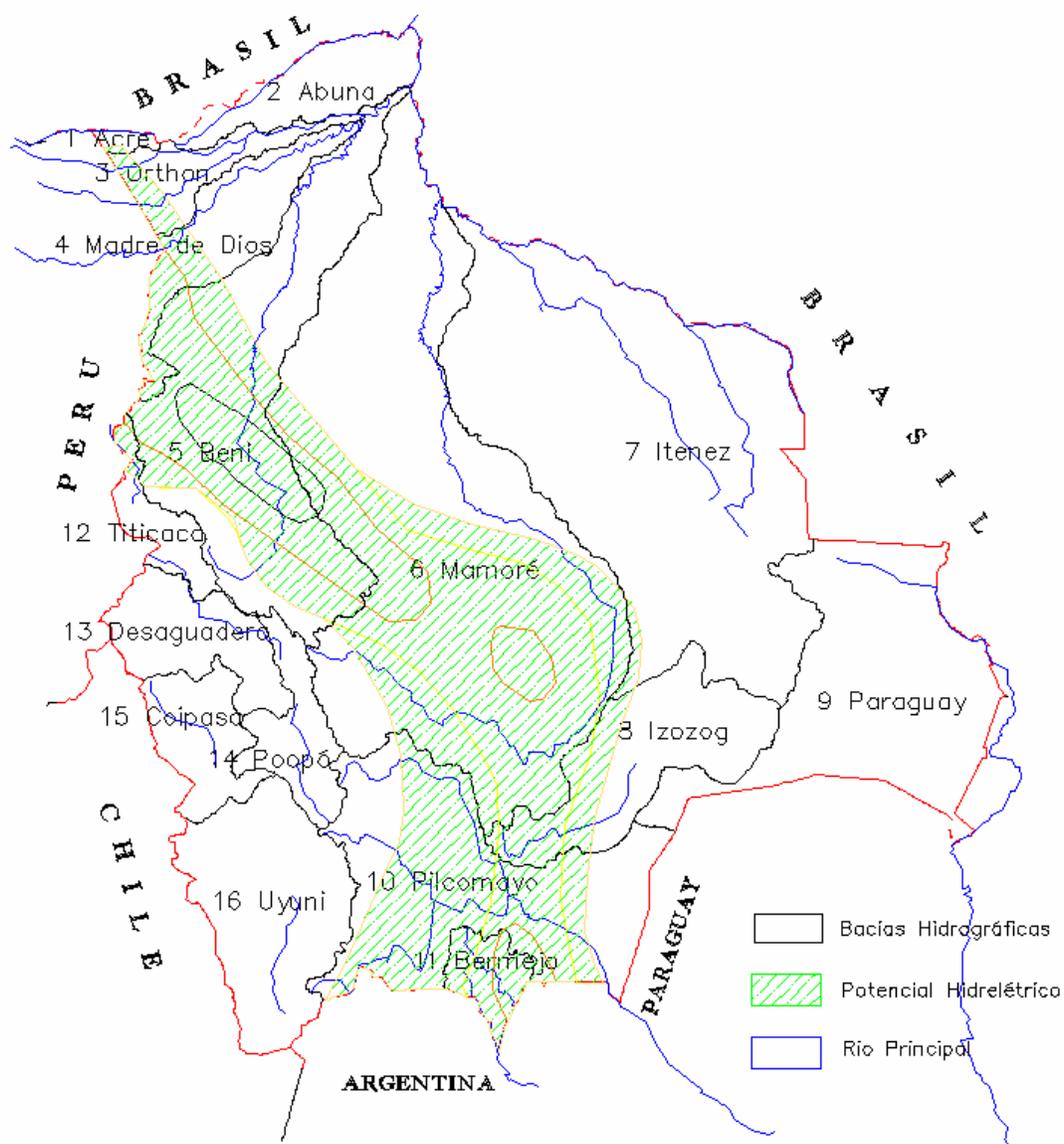


FIGURA 6.5 Locais com Potencial Hidrelétrico aproveitável na Bolívia.

Na Tabela 4.3, se apresenta o potencial total instalado para o ano 2006 nos diferentes aproveitamentos hidrelétricos que operam no Sistema Interconectado Nacional (SIN) que é de 475 MW com os quais, de acordo com a seção 4.5 e a Superintendência de Eletricidade (SIE, 2007), geram-se o 47% do total de energia elétrica produzida no SIN. O potencial hidrelétrico remanescente estimado para Bolívia é de 68.051 MW (Bacias do Amazonas e da Prata). Então, estaria confirmada a afirmação feita por Montes de Oca (2005) na seção 4.5, de que a produção hidrelétrica utilizada seria de 1% do potencial aproveitável. Este potencial hidrelétrico remanescente estimado abre a possibilidade de incrementar a oferta de energia para o desenvolvimento de novas indústrias e fontes de trabalho.

Fazendo uma comparação do potencial hidrelétrico remanescente (68.051 MW) calculado neste trabalho com o potencial hidrelétrico bruto calculado no estudo da ENDE (334.100 MW) da Tabela 4.2, se nota uma grande diferença. Esta diferença pode ser por muitos fatores: diferentes definições e conceitos do que é potencial bruto e potencial remanescente; os conceitos utilizados para fazer a avaliação dos respectivos potenciais. No trabalho desta dissertação não é considerada a Bacia Fechada nem a Sub-Bacia Paraguai, porém, a área de concentração do maior potencial hidrelétrico Boliviano está dentro do estudo, toda região da Cordilheira dos Andes. O cálculo do potencial hidrelétrico foi feito só para o rio principal de cada bacia estudada, desconsiderando todos os demais afluentes e seus respectivos potenciais.

A Tabela 6.6 apresenta, listado e em detalhes, a demanda de eletricidade, no período de 1970 a 2006 de acordo com os dados do SIE (2007). Os usos principais da eletricidade são: residencial, geral, industrial, minério, outros, iluminação pública e exportação. A Figura 6.6 ajuda a ter uma idéia mais clara da evolução da demanda de eletricidade, nela pode se apreciar que a maior demanda vem do setor residencial seguida do setor industrial, que acompanha esta evolução, mas só que em menor escala. O uso do minério diminuiu desde 1986 e os valores de exportação de eletricidade são quase imperceptíveis, tanto assim que sobressai mais na Tabela 6.6 do que na Figura 6.6.

TABELA 6.6 Demanda Boliviana de Eletricidade

Ano	Residencial	Geral	Industrial	Minério	Outros	Iluminação Pública	Exportação	Total
1970	174,85	65,75	121,40	332,16	3,35	12,19		709,70
1971	189,08	70,73	142,37	341,90	3,68	12,68		760,44
1972	190,06	75,00	166,16	364,85	4,45	15,04		815,55
1973	194,98	78,45	163,43	373,13	4,73	16,37		831,09
1974	210,03	88,43	177,60	389,98	4,93	17,20		888,17
1975	224,44	98,79	195,64	406,68	4,98	17,78		948,31
1976	239,43	107,17	231,22	416,66	5,75	21,23		1021,45
1977	258,30	107,45	280,27	455,23	5,56	23,28		1130,09
1978	289,31	120,36	311,88	461,74	6,89	26,05		1216,24
1979	326,87	129,43	335,39	461,18	7,52	34,11		1294,49
1980	359,06	138,42	390,43	478,15	8,64	39,02		1413,72
1981	395,62	150,21	413,07	503,02	12,32	42,23		1516,47
1982	397,86	148,65	406,95	492,29	14,57	44,47		1504,78
1983	424,31	137,81	396,68	477,75	16,44	44,61		1497,60
1984	466,03	146,17	399,87	437,95	19,86	46,99		1516,87
1985	504,15	162,12	348,45	419,95	19,83	47,54		1502,05
1986	556,54	178,08	341,55	328,73	24,48	42,24		1471,61
1987	615,95	216,30	361,48	225,33	25,05	48,92		1493,02
1988	666,00	237,78	384,07	235,68	23,02	58,32		1604,88
1989	698,16	241,38	441,93	237,60	33,35	57,75		1710,17
1990	722,00	253,50	453,00	271,50	36,00	62,10	1,80	1799,90
1991	754,90	289,40	495,20	264,30	60,30	74,00	2,60	1940,70
1992	802,10	311,10	524,60	254,00	71,00	83,00	2,90	2048,70
1993	857,30	342,20	568,80	337,40	61,10	91,40	3,20	2261,40
1994	951,20	380,70	638,10	344,40	30,70	103,90	3,30	2452,30
1995	1035,80	429,30	660,10	371,90	33,60	112,60		2646,70
1996	1082,80	469,30	691,40	415,00	60,57	119,40	2,71	2841,18
1997	1171,23	523,43	823,25	331,55	75,02	129,61	0,85	3054,95
1998	1251,01	575,53	889,25	338,22	52,57	144,09	0,92	3251,59
1999	1320,69	612,92	913,68	362,85	53,51	156,96	0,30	3420,91
2000	1389,51	630,69	866,00	379,58	35,57	168,96	0,05	3470,37
2001	1400,61	634,30	855,54	364,88	36,73	176,27	0,03	3468,36
2002	1446,52	677,61	894,68	387,95	36,81	176,87	0,03	3620,47
2003	1487,15	693,34	947,65	347,62	38,19	179,68	0,05	3693,68
2004	1549,66	712,76	1075,99	275,01	73,29	189,96	0,06	3876,73
2005	1645,97	761,51	1148,84	298,40	124,55	202,33	0,06	4181,66
2006	1744,36	809,83	1272,24	312,90	134,46	215,09	0,05	4488,93

Fonte: SIE, 2007

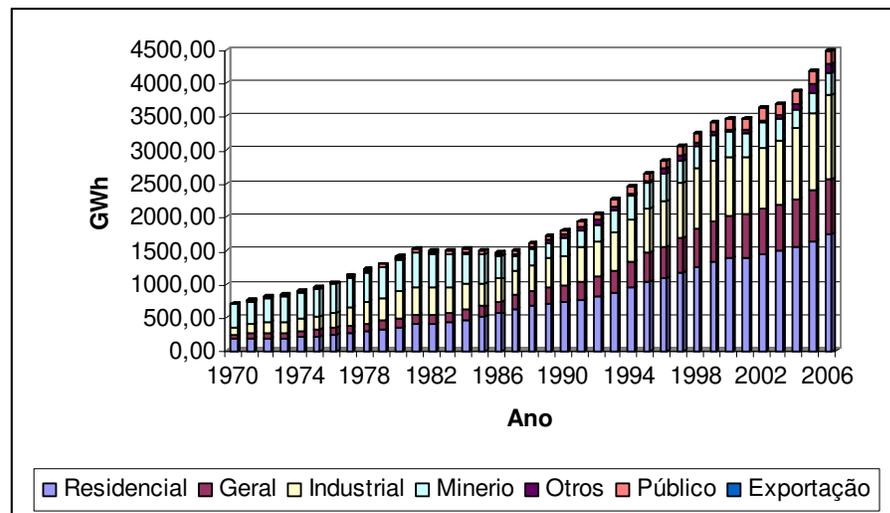


FIGURA 6.6 Demanda Boliviana de Eletricidade

Fonte: SIE, 2007

Segundo os dados do SIE (2007) na Tabela 6.6, a demanda elétrica em 2006 foi 6 vezes maior que em 1970, 2,5 vezes maior que em 1990 e 1,3 vezes maior que no ano 2000, o que indica um crescimento acelerado nesta última década, como se mostra na Figura 6.6. Se a Bolívia continuar com este crescimento vai ter que fazer bons investimentos para poder abastecer tal demanda, e os 68.051 MW do potencial hidrelétrico remanescente estimado no trabalho, se mostram como uma interessante alternativa para suprir esta demanda. Destacando o desafio de incrementar o uso de energias renováveis, eficientes que não contaminem o ambiente, definido na seção 4.1, por Rios (2007).

Uma vez estimado o potencial hidrelétrico de cada bacia, achou-se conveniente delimitar zonas de estudo para tentar individualizar alguns aproveitamentos.

Como se apresenta na Tabela 6.5, as bacias que tem maior potencial hidrelétrico são as Bacias Beni e Mamoré, seguidas de Izozog, Pilcomayo, Madre de Dios e Bermejo (Figura 6.5). Um denominador comum destas bacias, que servirá para estabelecer a primeira zona de estudo, é a presença da Cordilheira dos Andes nas nascentes das mesmas. O que indica que há um grande potencial hidrelétrico nestas regiões considerando que a altura de queda é um fator importante na determinação da potência.

Isto corrobora com o estabelecido na seção 4.5, por Montes de Oca (2005) que argumenta que o maior potencial hidrelétrico está concentrado na vertente leste da Cordilheira Oriental, a qual consiste em uma faixa territorial que abrange uma distância de aproximadamente 350 km e um comprimento de 100 km. Van Damme (2002) também faz referência ao grande potencial desta região com um mapa do potencial hidrelétrico específico da Bolívia (Figura 4.4, na seção 4.5). Os tipos de aproveitamentos recomendáveis para a região montanhosa destas bacias seriam usinas com reservatório de regularização e usinas de acumulação por bombeamento, dadas as diferenças de alturas existentes na região, desde que sejam cumpridas as normas para a construção de reservatórios. Também podem ser utilizadas as usinas de acumulação para pequenos aproveitamentos e as usinas a fio de água ou sem regularização. Todos estes aproveitamentos devem ser ambientalmente sustentáveis para que sua construção seja viável.

A segunda zona de estudo corresponde às planícies de inundação das distintas bacias hidrográficas. As bacias dos rios Beni, Mamoré e Madre de Dios (Figura 6.5), contam com os maiores valores da vazão mínima Q_{95} , e uma característica comum delas é que as três são afluentes principais do rio Madeira. Os rios Mamoré e Madre de Dios têm vazões mínimas Q_{95} superiores aos 1400 m³/s de grande potencial hidrelétrico, porém deve se avaliar se as condições são propícias para o seu aproveitamento.

Os três cursos (o rio Beni, o rio Mamoré e o rio Madre de Dios) e, em geral, a foz dos rios das bacias principais estudadas se caracterizam por ter rios de planície. Os tipos de aproveitamentos recomendáveis seriam usinas a fio de água e usinas de acumulação. O primeiro é ideal para rios com vazão mínima permanente (que é o caso da maioria dos cursos principais das bacias da Amazônia), além de que pode ser usada em sistemas combinados com outros aproveitamentos que tenham reservatórios com armazenamento a montante. Também podem construir-se aproveitamentos com reservatórios de regularização e usinas de acumulação por bombeamento, sempre e quando as condições locais sejam favoráveis e se respeitem as regras para seu dimensionamento e construção.

Das duas zonas de estudo definidas nesta seção, a primeira localizada na região montanhosa da Cordilheira dos Andes e a segunda correspondente aos rios de planície da Bacia

Amazônica. A que tem maiores possibilidades de investimento é a primeira zona, isto devido ao alto potencial hidrelétrico dessa região, aos arredores da rede principal do SIN e dos maiores centros urbanos da Bolívia (La Paz, Cochabamba e Santa Cruz). A segunda zona que corresponde aos rios de planície fica um pouco longe da rede principal do SIN e não há grandes centros urbanos para aproveitar a energia, porém, é a mais necessitada do país por não contar com o serviço elétrico na maioria das povoações da região. Para esta região recomenda-se a instalação de pequenas centrais hidrelétricas.

Outro aspecto importante que deve ser destacado tem que ver com as vazões remanescentes em rios é a vazão ecológica, a qual usualmente é definida como um valor único, válido para todos os anos e para todas as estações do ano. A qualidade ambiental de um rio e dos ecossistemas associados é fortemente dependente do regime hidrológico, incluindo a magnitude das vazões (mínimas e máximas), o tempo de duração das estiagens, o tempo de ocorrência das cheias, a frequência das cheias, a época de ocorrência dos eventos de cheias e estiagens, entre outros (Poff et al., 1997; Bunn e Arthington, 2002; Naiman et al., 2002).

A quantidade de água necessária para dar sustentabilidade ecológica a um rio é variável no tempo, e os critérios de definição de vazão remanescente nos rios devem contemplar os períodos que caracterizam o regime hidrológico (Collischonn et al., 2006). Os autores sugerem usar o hidrograma ecológico para a definição da vazão ecológica.

Neste trabalho se utilizou a vazão mínima Q_{95} necessária para a determinação do potencial hidrelétrico remanescente. Recomenda-se a determinação da vazão ecológica necessária para garantir a qualidade ambiental das bacias em estudo.

6.4 Sustentabilidade ambiental das barragens

A gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas (ELETROBRÁS, 1997). Nos estudos de sustentabilidade ambiental se realizará a análise entre o potencial hidrelétrico calculado por bacia e as características das bacias, para identificar os usos

múltiplos da água e sua interação com o aproveitamento energético, com o objetivo de minimizar os conflitos e racionalizar a utilização dos recursos disponíveis.

6.4.1 Características naturais e usos múltiplos das bacias.

Segundo o estabelecido na seção 5.4 de sustentabilidade ambiental foi feita a caracterização das bacias hidrográficas sobrepondo os diferentes mapas temáticos da Bolívia utilizando o programa Autocad. Na Figura 6.7, se apresenta o mapa elaborado com a sobreposição do mapa de Áreas Protegidas (AP) com o de Terras Comunitárias de Origem (TCO), este último termo é conhecido comumente como terras indígenas.

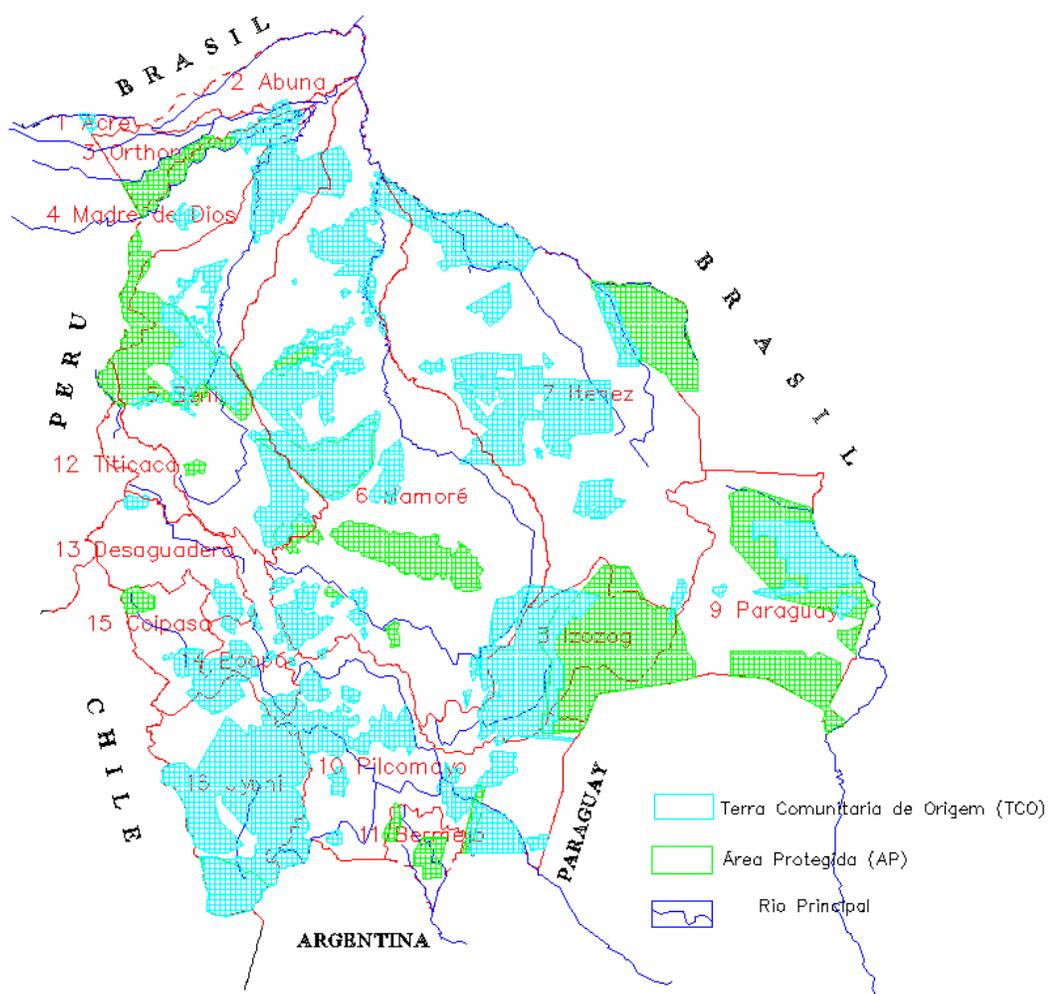


FIGURA 6.7 Mapa de Áreas Protegidas (AP) e Terras Comunitárias de Origem (TCO)

Esta metodologia foi aplicada com todos os mapas temáticos levantados na seção 5.2, desta forma, se identificaram as características e os usos múltiplos de cada bacia hidrográfica. Na Tabela 6.7 se apresentam em numerações e abreviaturas os distintos usos de cada bacia, as regiões fisiográficas as quais pertencem e as eco-regiões. Posteriormente se elaboraram as Tabelas 6.8 e 6.9, que podem ser consideradas como um resumo dessas características e usos múltiplos identificadas anteriormente em cada bacia com a metodologia proposta. É bom destacar que a tabela 6.7 foi elaborada com o objetivo de esclarecer a diversidade de dados agrupados em forma de símbolos e abreviaturas nas Tabelas 6.8 e 6.9.

TABELA 6.7 Descrição das numerações e as abreviaturas das bacias

#	Uso atual	#	Cobertura da terra
1	Agricultura Intensiva	1	Terras com pastos e arbustos
2	Agricultura Extensiva	2	Terras com bosques
3	Agropecuária Extensiva	3	Terras cultivadas
4	Florestal	4	Terras Úmidas e/ou alagadas
5	Pecuária Extensiva	5	Corpos de Água
Z	Sismicidade	6	Terra Estéril
Z0	Zona 0 de sismicidade	7	Neve e Gelo permanente
Z1	Zona 1 de sismicidade	T	Tipo de Rocha
Z2	Zona 2 de sismicidade	I	Ígnea
Z3	Zona 3 de sismicidade	S	Sedimentaria
F	Focos sísmicos	#	Regiões Fisiográficas
#	Eco-regiões	1	Cordilheira Ocidental
1	Selva Úmida Montanhosa	2	Altiplano Norte
2	Selva Úmida baixa	3	Altiplano Centro
3	Savana alagada por 5 ou 7 meses	4	Altiplano Sul
4	Bosque semi-úmido baixo e montanhoso	5	Serranias inter-altiplánicas
5	Monte semi-árido baixo	6	Cordilheira Oriental
6	Terrenos de Dunas	7	Yungas
7	Vales e montanhas semi-áridos	8	Vales
8	Puna semi-úmida com arvores	9	Sub Andino
9	Puna semi-árida e árida	10	Ondulado Amazônico
10	Salar	11	Planície Beniense
11	Piso alto andino semi-úmido	12	Planície Chaqueña
12	Piso alto andino semi-árido	13	Escudo Pré-cámbrico

As Tabelas 6.8 e 6.9 mostram as potencialidades e restrições de cada bacia, estes resultados servem para identificar os distintos usos da água junto com algumas características naturais dentro de cada bacia e determinar os possíveis aproveitamentos hidrelétricos que sejam ambientalmente sustentáveis.

TABELA 6.8 Caracterização da Bacia do rio Amazonas

	1	2	3	4	5	6	7	8
Bacia	Acre	Abuna	Orthon	M. de Dios	Beni	Mamoré	Itenez	Izozog
Rio principal	Acre	Abuna	Orthon	M. de Dios	Beni	Mamoré	Itenez	Parapeti
Longitude (km)	125	452	463	483	1401	2177	850	560
Área (km ²)	3722	25870	22640	52796	133010	241660	186460	52130
Tipo de rocha	S	I, S	S	I, S	I, S	I, S	I, S	S
Existência de materiais p/ construção	Não	Argila	Argila	Não	Argila, Caliza	Argila, Caliza	Argila	Argila
Sismicidade	Z1	Z0, Z1	Z0, Z1	Z0, Z1	Z0 - Z3, F	Z0 - Z3, F	Z0, Z1	Z0, Z1
Temperatura media anual (°C)	25	25	25	25	18	26	24	24
Precipitação media anual (mm)	2250	2075	2300	2400	1900	1561	1464	700
Uso atual geral	4	4	4	2, 3, 4, 5	1 - 5	1 - 5	1, 4, 5	2, 4, 5
Cobertura vegetal	2	2	2	1, 2	1 - 4, 6	1 - 4, 6	1, 2, 4	1 - 4
Exploração petroleira	Não	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Interesse petroleiro	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Produção florestal	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não
Uso mineral	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não
Território indígena	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Centros Urbanos	Sim	Não	Não	Não	Sim	Sim	Não	Sim
Áreas protegidas	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Eco-regiões	2	2	2	1, 2, 3	2, 3, 7, 11	1-5, 7, 11	2 - 5	4, 5, 6
Regiões Fisiográficas	10	10	10	9, 10, 11	6, 7, 9-11	6 - 11	10 - 13	9, 11, 12

As sub-bacias escolhidas para fazer a análise de sustentabilidade ambiental, foram definidas segundo os resultados obtidos na seção 6.3 com a estimativa do potencial hidrelétrico (Tabela 6.5), e os resultados da caracterização das bacias (Tabelas 6.8 e 6.9). Lembrando que na seção 6.3, se estabeleceram duas zonas de estudo.

TABELA 6.9 Caracterização da Bacia do rio da Prata e Fechada

	9	10	11	12	13	14	15	16
Bacia	Paraguay	Pilcomayo	Bermejo	Titicaca	Desaguadero	Poopó	Coipasa	Uyuni
Rio principal	Paraguay	Pilcomayo	Grande Tarija	Lago Titicaca	Desaguadero	Lago Poopó	Lauca	Grande Lipez
Longitude (km)	48	680	324	8030 km ²	383	2520 km ²	219	326
Área (km ²)	118031	96267	11970	10983	35700	16343	27760	63390
Tipo de rocha	I, S	I, S	S	I, S	I, S	I, S	I, S	I, S
Existência de materiais p/ construção	Argila, Caliza	Argila, Caliza	Argila, Caliza	Argila, Caliza	Argila, Caliza	Argila, Caliza	Argila, Caliza	Argila, Caliza
Sismicidade	Z0	Z1 - Z3, F	Z2, Z3, F	Z1, Z2	Z1, Z2, F	Z1, Z2	Z2, Z3	Z2, Z3
Temperatura media anual (°C)	26	17	22	8	9	8	6	8
Precipitação media anual (mm)	1150	476	606	1000	400	350	200	100
Uso atual geral	4, 5	2 - 5	3, 4	2, 3, 5	2, 3, 5	2, 3, 5	2, 3, 5	2, 3, 5
Cobertura vegetal	1, 2, 4	1, 2, 3, 6	1, 2, 3	1, 3, 6	1, 3, 6	1, 3, 6	1, 6	1, 6
Exploração petroléira	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
Interesse petroléiro	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Produção florestal	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Uso mineral	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Território indígena	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Centros Urbanos	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Não
Áreas protegidas	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Sim	Sim
Eco-regiões	3 - 6	4, 5, 7, 11	4, 7	8, 11	8, 9, 11	9, 11	9, 12	9,11,12
Regiões Fisiográficas	12, 13	6, 8, 9, 11	6, 9	4	1, 4	4	1, 4	1,4

A primeira zona das cabeceiras de bacias que ficam na região alta de montanha correspondente à Cordilheira dos Andes, e que pertence às bacias com maior potencial hidrelétrico são as sub-bacias correspondentes aos: rio Alto Beni, rio Grande, rio Parapetí, rio Pilcomayo e rio Bermejo (Figura 6.5). Nesta zona se fará uma análise individual, bacia por bacia. Para a segunda zona das planícies de inundação, onde o potencial hidrelétrico é menor, se fará uma análise geral da zona procurando bacias com vazões mínimas que sejam consideráveis para aproveitamentos hidrelétricos sustentáveis.

Para delimitar cada bacia em estudo, utilizaram-se linhas pretas e segmentadas, para as Áreas Protegidas (AP), utilizou-se as linhas em vermelho e para as Terras Comunitárias de Origem (TCO), as linhas em verde.

Bacia do rio Alto Beni

Na Bacia do rio Beni o rio encarregado de coletar as vazões na região a montante é o rio Alto Beni, ele é formado pelos rios Tuichi, Aten, Mapiri, Tipuani, Coroico, Zongo, Boopi, Cotacajes e Santa Elena, como se apresenta na figura 6.8.

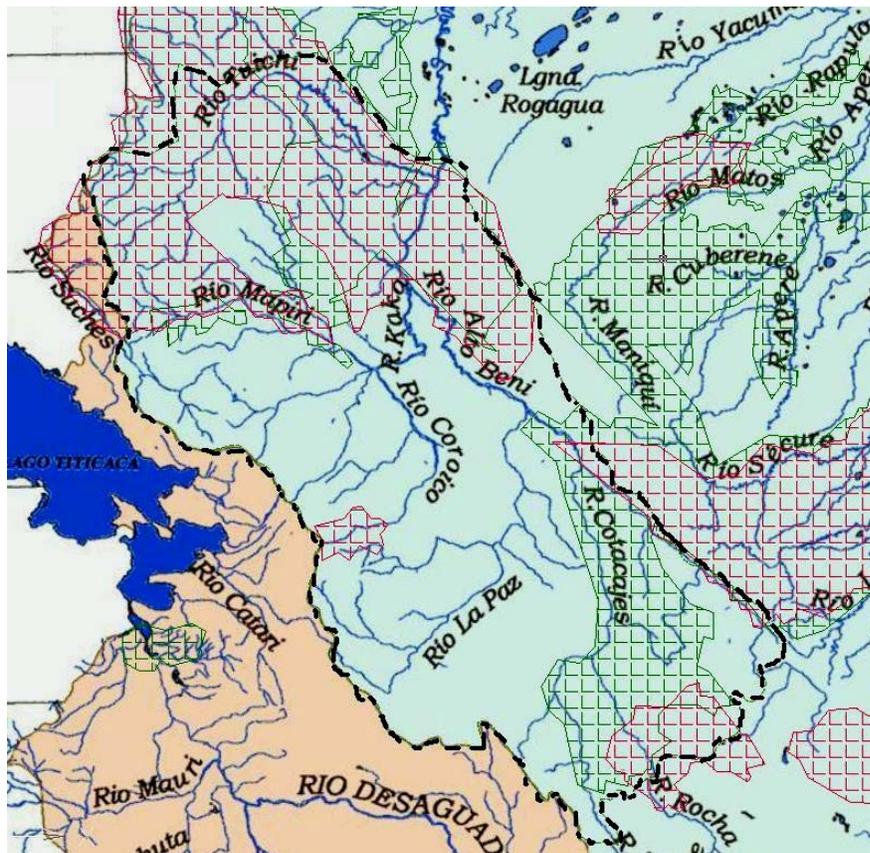


FIGURA 6.8 Mapa de AP e TCO da Bacia do rio Alto Beni

Os rios Tuichi, Aten, Mapiri, Cotacajes e Santa Elena correspondem a AP e TCO, razão pela qual foram descartados para um possível aproveitamento hidrelétrico. Nos rios Zongo, Cotacajes e Boopi, já existem aproveitamentos hidrelétricos, os dois primeiros são administrados pela Companhia Boliviana de Energia Elétrica (COBEE) e o terceiro pela Hidrelétrica Boliviana (HB). O sistema do rio Zongo tem 184,8 MW de potência instalada, o sistema do rio Cotacajes 21,2 MW e o sistema do rio Boopi 90,6 MW, segundo a Tabela 4.4 de características das unidades hidrelétricas de geração, na seção 4.5. Na bacia do rio Zongo tem-se todo um sistema de

reservatórios construídos para realizar o aproveitamento hidrelétrico (Montes de Oca, 2005), por esta razão foi desconsiderado do estudo. O aproveitamento existente na bacia do rio Boopi é feito sobre um rio secundário e existe a possibilidade de fazer mais aproveitamentos, enquanto o rio Cotacajes foi descartado pela presença de AP e TCO.

Desta forma os rios Tipuani, Coroico, Boopi, Kaká e Alto Beni, seriam aptos para ser estudados; segundo os resultados da Tabela 6.8 toda a bacia do Alto Beni tem um alto potencial de uso florestal, mineiro, e petroleiro. Porém, entre estes cinco rios, somente a bacia do rio Tipuani tem um 70% da sua área em concessão mineira. Outros usos identificados na Tabela 6.8 são a agricultura e pecuária extensiva nestas bacias. Também, existe materiais naturais para a construção de barragens. As bacias de Tipuani e Coroico pertencem à zona 2 de sismicidade, e as bacias Boopi, Kaká e Alto Beni à zona 1. Um fator importante e que deve ser destacado é que nesta bacia se encontra a maior riqueza de flora e fauna do país, por esta razão qualquer aproveitamento futuro, deve tentar afetar da menor forma possível o ambiente. Dadas as características da região os tipos de barragens que podem ser construídas nesta bacia são: barragens de concreto (arco ou cúpula) e barragens de enrocamento. Isto aproveitando as características de vales estreitos com declividade íngreme e o material existente (rochas ígneas e sedimentarias).

Na seção 4.5, se destaca o projeto El Bala, sobre o rio Alto Beni onde se pretendem instalar 1.608 MW de potência e construir uma barragem de concreto em arco. De acordo com a análise realizada neste trabalho, se evidencio que este aproveitamento não seria possível, pois existem AP e TCO no local onde seria construída a barragem. Porém, a confluência dos rios Kaká e Alto Beni pode ser um local interessante para fazer o aproveitamento (Figura 6.8), desde que existam as condições necessárias.

Bacia do Rio Grande

Na Bacia do rio Mamoré, o Rio Grande é o encarregado de coletar as vazões a montante, como se apresenta na Figura 6.9, este rio tem como afluentes principais os rios Azero, Mizque, Caine e San Pedro.

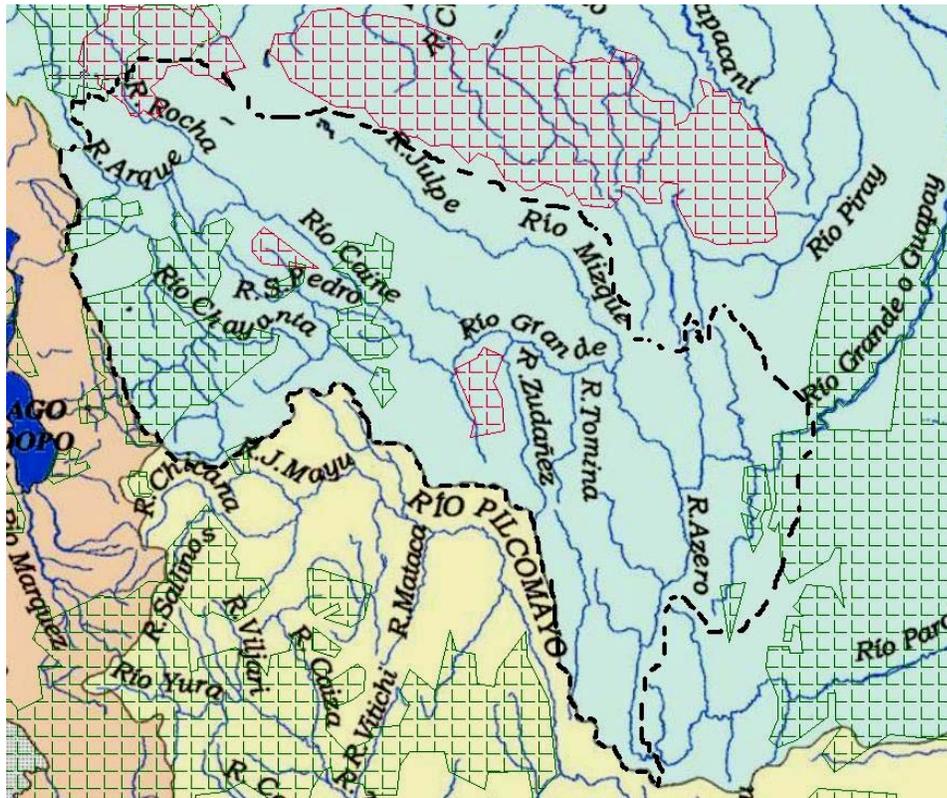


FIGURA 6.9 Mapa de AP e TCO da Bacia do Rio Grande

Existem aproveitamentos hidrelétricos na cabeceira dos rios Caine e Chapare, o aproveitamento do primeiro rio é administrado pela Sociedade Industrial Energética e Comercial Andina (SYNERGIA) com 7,9 MW de potência instalada e do segundo rio, pela Empresa Elétrica Corani com 158,5 MW de acordo com a Tabela 4.4, na seção 4.5. O rio San Pedro faz parte de uma TCO que ocupa um pouco mais da metade da sua bacia e por isso foi desconsiderado do estudo. Além disso, existem duas AP dentro da bacia do Rio Grande que são pequenas em relação ao tamanho da bacia e afetam à dois rios de pouca importância, e que podem ser desconsiderados.

Os rios aproveitáveis seriam os rios Azero, Mizque e Caine. Na Figura 6.9 podem-se ver as regiões de AP e TCO existentes na bacia. Nos usos múltiplos (Tabela 6.8), tem-se que a metade superior da Bacia do Rio Grande corresponde a uma área de interesse petrolífero, mas sem concessões dentro dela; o aproveitamento florestal é mínimo por ser uma região um tanto árida, da mesma forma que o uso mineiro. Há materiais naturais para a construção na bacia, outros usos

são a agricultura e agropecuária extensiva, com um pequeno uso florestal. Toda a bacia pertence à zona 2 de sismicidade e há presença de focos sísmicos da ordem de 4,3 até 4,8 na escala de Richter. O índice de riqueza de flora e fauna é médio devido ao tipo de terreno, outro dado que é bom ressaltar é a contaminação do rio Caine produzida pela cidade de Cochabamba. Nesta bacia os tipos de barragens que podem ser construídos são: barragens de terra ou de enrocamento, barragens de concreto gravidade e barragens de contraforte. Isto devido à declividade dos vales desta região e aos materiais existentes na mesma, além de que a rocha tem menor resistência comparada com a bacia do rio Alto Beni.

Na seção 4.5 destaca-se o aproveitamento do Rio Grande, segundo os dados de ENDE (1977) se planejava construir uma usina com 400 MW e o projeto seria de uso múltiplo. Conforme a análise feita neste trabalho, não existem problemas de AP nem TCO nessa zona.

Bacia do rio Parapetí

A Bacia do Izozog tem como único afluente o rio Parapetí, segundo a Tabela 6.8 há uma Área Protegida e uma TCO a jusante que ocupa menos da metade da bacia (como se pode ver na Figura 6.10), entre os usos múltiplos não tem uso florestal nem mineiro, mas existe uma concessão petrolífera a jusante da bacia.

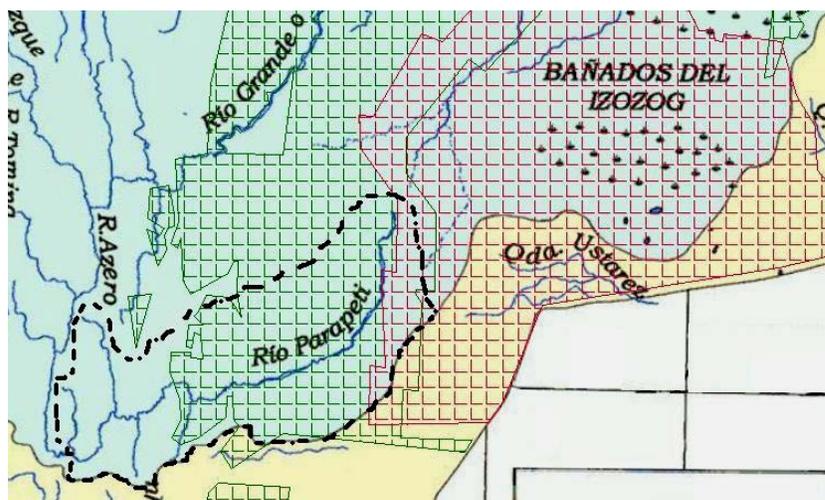


FIGURA 6.10 Mapa de AP e TCO de Bacia do rio Parapetí

Dada a presença dos “Bañados del Izozog” (AP) a jusante do rio Parapetí, e deste rio ser o único afluente da bacia, não é recomendável fazer um aproveitamento neste rio porque afetaria todo o ecossistema a jusante.

Bacia do rio Pilcomayo

O rio Pilcomayo é o encarregado de coletar as vazões a montante da bacia do mesmo nome, ele é formado pelos rios Tumusla, San Juan del Oro e Pilaya, como se apresenta na Figura 6.11.

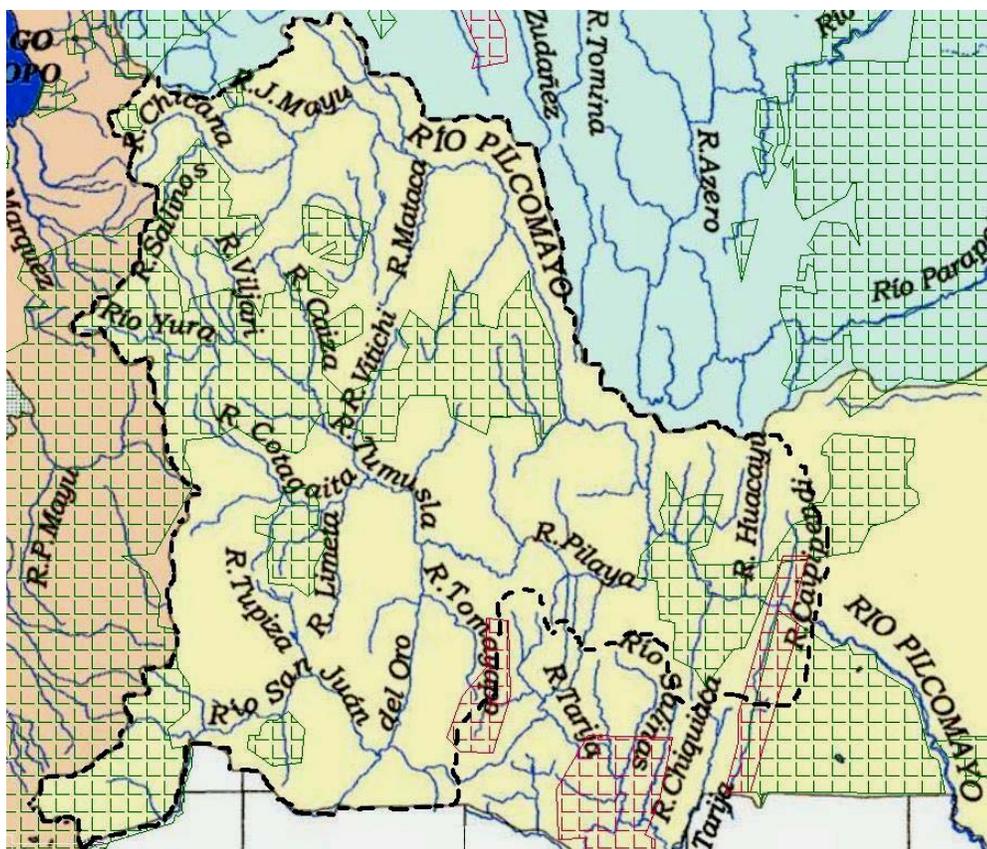


FIGURA 6.11 Mapa de AP e TCO de Bacia do rio Pilcomayo

Existem aproveitamentos no rio Yura a montante do rio San Juan del Oro que são administrados pela Empresa Rio Elétrico (ERESA), estes aproveitamentos tem 20,3 MW de potência instalada segundo a Tabela 4.4 na seção 4.5. As nascentes do rio San Juan pertencem a uma TCO correspondente a um 10% da bacia, existe outra TCO na foz das bacias Pilaya e médio Pilcomayo, o resto é livre para aproveitamentos hidrelétricos como se pode ver na Figura 6.11. A

jusante da bacia existe uma AP, esta região se caracteriza por ser de alto potencial minero, mesmo que só tenha concessões feitas no rio San Juan del Oro. A bacia pertence às regiões 1 e 2 de sismicidade, existem materiais utilizáveis para a construção de barragens, mas as vazões são pequenas. Possivelmente, os rios Pilcomayo e Pilaya sejam aproveitáveis. O outro uso na bacia é a agropecuária extensiva. O índice de riqueza de flora e fauna é médio. Dadas as características da região, os tipos de barragens que podem ser construídos nesta bacia são: barragens de terra ou enrocamento, concreto gravidade e de contraforte. Pela existência de materiais se aconselha as barragens de terra ou enrocamento.

Bacia do rio Bermejo

A Bacia do rio Bermejo é percorrida por dois rios principais: o Bermejo e o Grande Tarija. Este último é conformado pelo rio Tarija que a jusante, passa a ser chamado de rio Grande Tarija como se apresenta na Figura 6.12.

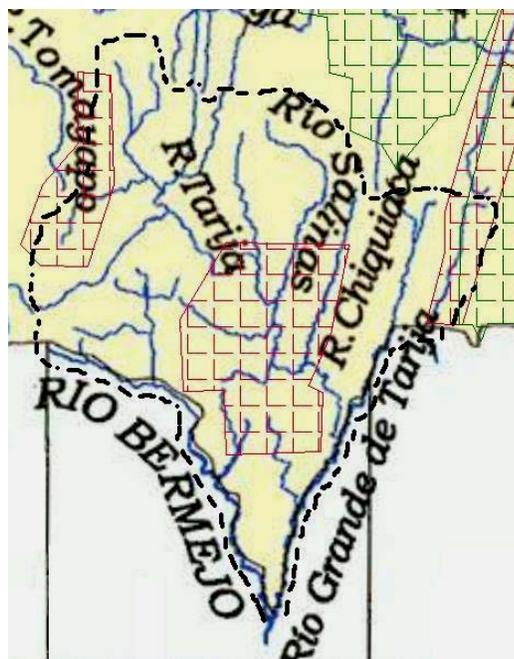


FIGURA 6.12 Mapa de AP e TCO da Bacia do rio Bermejo

Segundo o apresentado na Tabela 6.9 existe uma Área Protegida na bacia do rio Tarija restringindo seu aproveitamento e deixando como alternativas os rios Grande Tarija e Bermejo.

Não existe TCO na bacia, mas, sim, concessões petroleiras em um pouco mais da metade da bacia. A bacia tem potencial Florestal, Mineiro e Petroleiro, e entre os usos múltiplos tem-se a agropecuária extensiva. Existem materiais naturais de construção aproveitáveis e a riqueza natural de flora e fauna é alta, desta maneira e aproveitando o material existente, os tipos de barragens que pode ser construídos nesta bacia são: barragens de terra ou enrocamento, barragens de concreto gravidade e barragens de contraforte. Sempre considerando a sustentabilidade ambiental das barragens.

Na seção 4.5, se destacam os projetos Las Pavas, Arrazayal e Cambari, de acordo com a análise feita neste trabalho, o projeto das Pavas e Cambari afetaria uma AP, isto é corroborado pelo documento de FOBOMADE [2007] que destaca a inundação parcial da área protegida Tariquia enquanto o projeto Arrazayal inundaria áreas cultivadas e bosques naturais em território boliviano, razão pela qual não é recomendável a construção.

Análise dos rios de planície

Esta zona de rios de planície pertence à Bacia do rio Amazonas, se caracteriza por ter muitos locais propensos à inundações, tem um amplo potencial florestal, geralmente são áreas rurais com pequenas povoações que vivem da agricultura, a caça e pesca. Os rios Madre de Dios e Beni destacados na seção 6.3 pelos altos valores de vazão mínima (Q_{95}) foram descartados do estudo porque fazem parte de uma eco-região de savanas alagadas de cinco a sete meses que impossibilita seu aproveitamento (Tabela 6.8). Além desses rios de grande vazão foram analisadas diversas sub-bacias, buscando os locais sem AP nem TCO que possam ser afetadas pelos aproveitamentos escolhidos e identificando os usos múltiplos de cada um deles. Desta forma se escolheram as sub-bacias dos rios: Acre, Abuna, Manu, Negro, Tahuamanu, Madidi e Itenez como possíveis aproveitamentos hidrelétricos. Os rios Acre, Abuna e Itenez são rios de fronteira, razão pela qual o aproveitamento deve ser decidido em ação conjunta entre o Brasil e a Bolívia. Nesta bacia podem se construir barragens de terra, isto aproveitando as características da bacia, com poucos vales e amplas planícies de inundação. Na seção 4.5, se destaca o projeto Cachuela Esperanza sobre o rio Beni, mas segundo a análise feita isto não seria possível pela presença de TCO na região.

6.4.2 Possíveis benefícios produzidos pela construção de barragens.

No capítulo três foram levantados os diferentes benefícios gerados pela construção de barragens, baseados nessa revisão bibliográfica analisaram-se os distintos aproveitamentos propostos na seção 6.4.1 e se propõem os possíveis benefícios que podem acontecer nas diferentes zonas do estudo em questão de acordo com suas características.

Na Bacia do rio Alto Beni se propõe fazer aproveitamentos para abastecimento de água, controle de enchentes, navegação, geração de energia, recreação e turismo, ou ainda aproveitamento de usos múltiplos, especialmente na confluência dos rios Alto Beni e Kaká devido à grande vazão existente nesse local. Estes aproveitamentos produziriam benefícios que serviriam para o desenvolvimento dessa região. Entre esses benefícios se teria o controle das enchentes que afeta cada ano as pequenas povoações rurais a jusante, com o controle da vazão se poderia oferecer melhores condições de navegação no rio Beni. Atualmente é um meio de transporte muito comum nessa região, mas somente em temporadas de enchentes. Com a construção de uma barragem poder-se-ia conseguir que o rio seja navegável o ano inteiro, melhorando as condições de vida das comunidades rurais existentes a jusante e integrando-as com a cidade de La Paz que é o centro urbano mais próximo.

A água desta bacia vem das chuvas e das geleiras existentes nas montanhas nevadas da Bolívia que pode ser boa para o consumo e dada à beleza natural existente (tem o maior potencial de flora e fauna da Bolívia) se recomenda promover o turismo e a recreação. Isto geraria empregos e atividade econômica na região, vale destacar que muitas barragens são aproveitadas para formar centros turísticos como as de Itaipu e Três Gargantas. A WCD (2000) aconselha melhorar o ecossistema para a flora e fauna nativa com a formação do reservatório, isto poderia ser feito nesta bacia como uma forma de preservar o alto potencial [de flora e fauna] existente na região. Na Tabela 6.10, apresenta-se o potencial hidrelétrico remanescente calculado para a bacia Alto Beni, a energia produzida por esta bacia pode ser ligada à rede do SIN e os principais consumidores seriam as diferentes indústrias da cidade de La Paz.

Na Bacia do Rio Grande se recomenda fazer aproveitamentos para abastecimento de água, controle de enchentes, irrigação, geração de energia e recreação. Esta bacia é muito importante por ser compartilhada por dois destacados departamentos da Bolívia (Cochabamba e Santa Cruz), os que originam uma forte pressão sobre os recursos naturais desta bacia. A construção de barragens serviria para a irrigação de terras que carecem de chuvas na região, desta forma se daria trabalho a um grande número de camponeses que habitam a zona. O controle da vazão evitaria as enchentes em povoações rurais a jusante e, a destruição de rodovias e pontes. Essas enchentes acontecem no período de dezembro a fevereiro, houve uma grande enchente, em 1984, que afetou a cidade de Santa Cruz, produto de “*El Niño Southern Oscillation*” (ENSO). Outro benefício seria o armazenamento de água para fornecer à cidade de Cochabamba que tem muitos problemas pela falta deste recurso. Na Tabela 6.10, se apresenta o potencial hidrelétrico individualizado das bacias estudadas. Na Bacia do Rio Grande, da mesma forma que na Bacia Alto Beni, a rede do SIN tem instalações na região para fazer a ligação de energia e os setores industriais de Cochabamba e Santa Cruz seriam os consumidores da energia produzida. O aproveitamento sustentável da Bacia do Rio Grande ajudaria a melhorar o desenvolvimento e a integração desses departamentos.

Na Bacia do rio Pilcomayo se recomenda fazer aproveitamentos para abastecimento de água, geração de energia e piscicultura. Há uma grande necessidade de abastecimento de água já que nessa região há muitas comunidades rurais pequenas que não fazem bom uso dos poucos recursos naturais da região. Como não tem energia, a população local desmata a pouca cobertura natural da terra para cozinhar e aquecer-se (MDS, 2005). Então com a construção de barragens se aproveitariam ao máximo os rios da região, melhorando a qualidade de vida dessas comunidades com o fornecimento de água e energia. Outro benefício seria a piscicultura, o rio Pilcomayo tem um grande potencial piscícola que deveria ser aproveitado para o desenvolvimento das comunidades regionais.

Na Bacia do rio Bermejo é possível fazer aproveitamentos para abastecimento de água, irrigação, geração de energia. Esta região tem um bom potencial agrícola e com ajuda da irrigação e a geração de energia pode tornar-se uma grande produtora agrícola. A cidade de Tarija está localizada a montante da bacia, por tanto poderia planejar-se a implantação de um setor

industrial para o consumo da energia gerada. Isto geraria muitos empregos, o que aprimoraria o desenvolvimento regional e mudaria a dependência atual dos hidrocarbonetos.

Os rios de planícies de inundação pertencem à Bacia do rio Amazonas, que se caracteriza por ter muitas comunidades rurais, as quais segundo o “*Ministério de Desarrollo Sostenible*” (MDS, 2005) não tem energia elétrica e a população resolve sua demanda energética com uma pressão irracional sobre a vegetação para gerar lenha. A consequência imediata associada ao desmatamento indiscriminado é a perda de solo produtivo, com as repercussões que isto tem no incremento da pobreza e na degradação irreversível do ambiente. Por essa razão se propõe o planejamento de usinas a fio de água para gerar energia e desta forma beneficiar a estas comunidades rurais do tropico boliviano. Outro beneficio pode ser a piscicultura, lembrando que a Bacia do Rio Amazonas tem um alto potencial piscícola (produção de 9000 t por ano).

TABELA 6.10 Potencial hidrelétrico individualizado

Bacia	Região	Sub Bacia	Q ₉₅	H	P _b	P _n
			m ³ /s	m	MW	MW
Alto Beni	R I	Tipuani	22,42	4300	945,83	807,96
	R I	Coroico	31,65	4600	1428,39	1220,18
	R I	Boopi	28,70	4300	1210,51	1034,05
	R I	Kaka	142,22	4700	6557,41	5601,54
	R I	Alto Beni	248,15	4500	10954,74	9357,87
Rio Grande	R I	Azero	2,47	2700	65,52	55,97
	R I	Mizque	1,53	2300	34,44	29,42
	R I	Caine	1,63	2800	44,75	38,23
	R I	Rio Grande	26,66	3900	1019,98	871,30
Pilcomayo	R IV	Pilaya	3,07	2300	69,23	59,14
	R IV	S.J. del Oro	0,94	2600	24,00	20,50
	R V	Pilcomayo	17,79	4500	785,40	670,92
Bermejo	R IV	Orosas	2,37	1500	34,85	29,77
	R V	Bermejo	9,07	2300	204,60	174,78
	R V	Tarija - Iajita	12,25	2800	336,55	287,49
	R V	Grande Tarija	18,43	2900	524,31	447,88
Amazonas	R III	Tahuamanu	2,75	78	2,10	1,80
	R III	Madidi	31,01	1217	370,23	316,26
	R III	Negro	6,50	57	3,64	3,11
	R III	Abuna	79,52	169	131,84	112,62
	R III	Acre	13,28	63	8,20	7,01

6.4.3 Possíveis impactos diretos produzidos pela construção de barragens.

Dependendo do tamanho da barragem e do reservatório variam os impactos produzidos pela construção de barragens. Segundo o WCD (2000) quanto maiores são os elementos das usinas hidrelétricas (principalmente a barragem e o reservatório), maiores serão os impactos provocados por elas. É por isso que dentro das recomendações feitas no relatório do ano 2000 propõem a construção de pequenos aproveitamentos que provocariam impactos menores no lugar de um aproveitamento de maior porte e portanto com impactos maiores.

De esta forma se destacarão os impactos diretos que seriam provocados pela construção de barragens na Bolívia, tais como: tamanho do reservatório, alteração termal do regime do rio, acumulação de sedimentos no reservatório e redução do seu transporte a jusante, a evaporação e produção de gases do efeito estufa, mudanças na qualidade da água, alteração das mudanças diárias, sazonais e anuais dos rios, impactos relacionados com a saúde e impactos sociais.

Tamanho do reservatório. Dependendo do tamanho da barragem e do reservatório variam os impactos produzidos pela construção de barragens. Segundo WCD (2000) quanto maiores são os elementos das usinas hidrelétricas (principalmente a barragem e o reservatório), maiores são os impactos provocados por elas. É por isso que dentro das recomendações feitas no relatório do ano 2000 propõem a construção de pequenos aproveitamentos que originaram pequenos impactos em vez de um aproveitamento maior com impactos maiores. Um dos fatores mais destacáveis na elaboração de um projeto de barragens com armazenamento de água é a determinação do tamanho do reservatório. Este fator é de muita importância especialmente na produção de impactos, sejam eles sobre os ecossistemas, na saúde ou na sociedade. Nas bacias do rio Amazonas se propõe fazer aproveitamentos a fio de água, porque a construção de um reservatório significaria a inundação de áreas extensas que produziriam sérios impactos. Enquanto nas bacias Alto Beni, Rio Grande, Pilcomayo e Bermejo, a construção de reservatórios inundaria áreas menores com impactos menores. Segundo Goodland (1997), uma grande área de reservatório inundada implica a perda de uma grande quantidade de *habitat* natural e vida selvagem e/ou deslocamento de muitas pessoas.

Alteração do regime termal. A bacia do Rio Grande e a do rio Pilcomayo têm as características para que se produza a estratificação da água, isto porque pertencem a regiões quase áridas. Nestas regiões as temperaturas são elevadas, com poucos ventos e chuvas, que segundo Mc Cartney, Sullivan, Acreman (2000) e Arfi (2005), estas características ajudam a provocar a estratificação do reservatório. Portanto, se recomenda a construção de reservatórios pouco profundos porque eles respondem mais rapidamente às condições atmosféricas. Se não for assim, Jensen et al. [2006] apresentam diversos métodos para evitar a estratificação (seção 3.3). Um impacto que pode ser provocado pela estratificação de reservatórios na bacia do Rio Grande é a diminuição de peixes nativos na Amazônia, pois de acordo com Preece e Jones (2002), os peixes com as mudanças termais do rio não tem as orientações necessárias para desovar, o que é uma ação vital para sua reprodução. O IHA (2004) recomenda a projeção e operação de sistemas que minimizem este impacto, como por exemplo, a construção de saídas de água em diferentes alturas do reservatório.

Acumulação de sedimentos no reservatório e a redução do seu transporte a jusante. Identificaram-se as Bacias do Rio Grande e Pilcomayo como as bacias que tem maior probabilidade de sedimentação, isto pela propensão natural do terreno à erosão. As bacias que produziram o maior impacto com a retenção de sedimentos são as bacias dos rios Alto Beni e Rio Grande, pela quantidade de sedimentos e nutrientes que aportam. Os ecossistemas de planícies de inundação e as comunidades indígenas que moram a jusante são dependentes dos nutrientes aportados pelas bacias. Segundo WCD (2000) a retenção de nutrientes por uma barragem pode deixar inférteis os solos existentes a jusante. Então, segundo essa tese, para qualquer aproveitamento recomenda-se fazer um estudo detalhado sobre a quantidade de sedimentos transportados pelo rio e sobre a importância desses sedimentos para os ecossistemas a jusante. Se não existir nenhum impacto importante, poderão se construir barragens. O IHA (2004) e Pritchard (2002) recomendam reduzir a sedimentação através da cooperação de comunidades locais e autoridades, mediante a elaboração de planos de uso de solos e práticas de manejo de reservatórios, entre os quais se tem o reflorestamento, a construção de terraços e a manutenção da cobertura vegetal. Para as barragens existentes na Bolívia e que tenham problemas de sedimentação, Bishwakarma (2007), apresenta vários métodos de remoção de sedimentos.

Evaporação e produção de gases do efeito estufa. As bacias que tem maior probabilidade de ser afetadas pela evaporação são as Bacias dos rios: Grande e Pilcomayo por encontrar-se numa região mais árida. Enquanto as sub-bacias do rio Amazonas teriam maior produção de gases do efeito estufa devidas á quantidade de biomassa e matéria orgânica existente nessa bacia. Segundo Cullenward e Victor (2006) estas são as causas principais para a produção de gases do efeito estufa. Desta forma, se aconselha a construção de barragens com reservatórios que tenham áreas não muito grandes e que não sejam muito profundos. Conforme as recomendações da Eletrobrás (2000), existem duas formas de prevenir a produção de gases do efeito estufa por usinas hidrelétricas. A primeira depende da escolha de um aproveitamento com baixa relação capacidade/área inundada, e a segunda consiste em desmatar a área do reservatório antes da inundação para diminuir a produção de gases do efeito estufa e para preservar a qualidade de água. Esta última pode ser aplicada para qualquer projeto de barragens.

Mudanças na qualidade da água. Os problemas com as mudanças de qualidade de água serão prováveis nas bacias: Rio Grande, Bermejo e Pilcomayo, isto devido à proximidade de cidades principais a montante delas (Cochabamba e Tarija) o que possivelmente originaria a poluição das suas águas. No rio Pilcomayo a indústria de minérios é um problema sério que ameaça a manutenção da qualidade da água. Para Gulbahar (2005), a única solução para impactos ambientais de poluição de águas é a determinação de áreas de proteção e a implantação de um plano de uso de terra, mantendo o controle das atividades dentro da bacia hidrográfica. Segundo Ledec e Quintero (2003), se devem tomar medidas de controle de poluição nas águas do reservatório, como instalação de estações de tratamento de águas ou a separação das águas que vem das indústrias. Em locais onde a redução da qualidade seja inevitável, devido à biomassa afogada, se recomenda que esta seja eliminada antes de encher o reservatório.

As bacias de Rio Grande, Alto Beni e as de planícies de inundação, tem maior probabilidade de que nos seus reservatórios se produza a eutrofização devido à grande quantidade de sedimentos e nutrientes transportados pelos rios Beni, Rio Grande e Mamoré.

Outro possível impacto na qualidade da água pode ser a contaminação por mercúrio, que, segundo Fearnside (2005) fica presente na sua forma inorgânica inofensiva em muitos solos da Amazônia. Isto sugere que à Bacia do rio Alto Beni tem a maior probabilidade de contaminação por mercúrio. Além disso, outra fonte podem ser as atividades mineiras em pequena escala para a exploração de ouro a montante da Bacia do rio Beni. De acordo com as pesquisas de Malm et al. (1999) foram encontradas altas concentrações de mercúrio na água, nos peixes e no cabelo de pessoas que se alimentam dos peixes carnívoros de sítios a jusante dos locais dessas as atividades mineras. Então, se recomenda verificar os teores de mercúrio na água e no solo antes de optar por estabelecer atividades de pescaria em toda a bacia do rio Amazonas, especialmente no rio Alto Beni.

Alteração das vazões diárias, sazonais e anuais. Todas as bacias localizadas na cordilheira dos Andes apresentariam esta alteração (Alto Beni, Rio Grande, Pilcomayo e Bermejo). Segundo WCD (2000) é um dos impactos mais importantes para os ecossistemas e comunidades indígenas que moram a jusante que são dependentes da vazão natural do rio. As duas primeiras bacias são mais destacáveis, pelas zonas alagadas (eco-região) e comunidades existentes a jusante delas. A recomendação do IHA (2004) é elaborar planos de operação da barragem, incorporando padrões de descarga ambiental de água (incluindo a vazão ecológica dentro da estrutura de gerenciamento para o fornecimento de energia, onde seja necessário e praticável. É importante que os objetivos ambientais de qualquer descarga de água sejam identificados de maneira clara e transparente. Estas descargas precisam ser definidas dentro do contexto ambiental de sustentabilidade, e também devem considerar os fatores sócio-econômicos locais e regionais. É desejável que os objetivos das descargas ambientais sejam combinados com as comunidades locais.

Impactos relacionados com a saúde. Os aproveitamentos propostos na bacia Amazônica podem ser propensos ao desenvolvimento de doenças e outros impactos sobre a saúde, especialmente nos rios de planície. Os problemas relacionados com a saúde estão relacionados com o planejamento de barragens e o gerenciamento de bacias hidrográficas. O IHA (2004) recomenda que a saúde pública e os planos de reação a emergências sejam elaborados de forma conjunta com as autoridades locais. Estes planos e seus programas de monitoramento

associados deverão ser relevantes para os níveis de risco e incerteza. O WCD (2000) propõe a avaliação do impacto na saúde, a qual consiste em: (i) Avaliar as condições de saúde das pessoas que moram nas áreas de impacto do reservatório, da infra-estrutura a jusante, das áreas de reassentamento e da irrigação entre outras; (ii) Predizer as mudanças dos fatores determinantes da saúde que possam atribuir-se razoavelmente ao projeto e que poderiam afetar as pessoas durante cada etapa do mesmo; (iii) Avaliar o custo de prevenir e mitigar os impactos potenciais na saúde numa avaliação do custo total do projeto; (iv) Desenvolver medidas para prevenir, minimizar e mitigar impactos na saúde com a participação das pessoas potencialmente afetadas e incorporando-las a acordos contratuais de implementação com uma provisão financeira adequada.

Impactos sociais. Nas diferentes bacias estudadas não existem grandes centros urbanos nas áreas potencialmente selecionadas para a construção de aproveitamentos hidrelétricos, mas sim pequenas comunidades, especialmente na bacia do Rio Grande. De acordo com o WCD (2000), para ter um resultado positivo em um reassentamento se requerem varias condições que o facilitem, como: (i) Um baixo nível de deslocamento; (ii) O reassentamento como política de desenvolvimento com legislação que a sustente; (iii) Uma combinação de provisões de meios de subsistência sustentáveis com base em terras e em outros recursos; (iv) Vigorosa participação e responsabilidade comunitária; (v) Compromisso de parte do governo e dos promotores do projeto.

Desta forma se espera que as novas barragens na Bolívia e no mundo, sejam construídas considerando o relatório do WCD (2000), e seguindo as prioridades estratégicas que tem como objetivo o desenvolvimento equitativo e sustentável dos projetos. Garantindo desta maneira uma distribuição justa dos benefícios que a construção de barragens pode oferecer.

O Conselho Europeu para Energias Renováveis (EREC, 2007) afirma que para atingir um crescimento econômico atraente das energias renováveis é necessário o emprego equilibrado de todas as tecnologias disponíveis, entre elas a energia hidrelétrica. Os diretores do ICOLD (2006) acreditam que as barragens têm um rol indispensável para aprimorar o crescimento dos

países em processo de desenvolvimento como é o caso da Bolívia, através da irrigação, saneamento e a geração de hidroeletricidade. Este desenvolvimento em muitas circunstâncias não poderia ser alcançado sem as barragens.

No “*Informe de la Cumbre Mundial sobre el desarrollo sostenible*” realizado em Johannesburgo-SulÁfrica (ONU, 2002) se aconselha aos países a diversificar seu abastecimento de energia, aperfeiçoando as tecnologias existentes e ideando outras menos poluentes e mais eficientes, entre elas a hidroeletricidade. A hidroeletricidade é uma tecnologia madura, entre os países da Comunidade Andina a hidroeletricidade responde por quase 60% da capacidade instalada de produção de energia elétrica, mas estas instalações representam menos que o 10% do potencial identificado, na Bolívia apenas supera o 1%. Vale comparar esta situação com os países de Europa e EUA, onde já se desenvolveu essa tecnologia e se utiliza mais do 45% do potencial hidrelétrico, em Ásia e África os potenciais aproveitados são de 11% e 3,5% respectivamente (ONU, 2005). A “*International Hydropower Association*” (IHA, 2004) confirma o exposto anteriormente pelo ICOLD (2006) e as Nações Unidas (2002; 2005) ao declarar que os benefícios dos usos múltiplos da hidroeletricidade, particularmente em relação á disponibilidade, confiança e qualidade de fornecimento, podem contribuir para atingir os Objetivos do Milênio de sustentabilidade e redução da pobreza nos países menos desenvolvidos.

Desta maneira, se constato que a construção de barragens e o uso da energia hidrelétrica trarão muitos benefícios para os países em desenvolvimento, sempre que estes aproveitamentos sejam sustentáveis. Justificando assim a estimativa do potencial hidrelétrico remanescente para Bolívia.

7. CONCLUSÕES

No decorrer do trabalho, ficou evidente que existem muitos tipos de energia que podem ser utilizados para alcançar o desenvolvimento sustentável. Porém, não é conveniente que um país seja dependente de uma única fonte de energia, por mais limpa, renovável e abundante que ela seja. América Latina é um continente rico, com um grande potencial de recursos naturais e humanos, que tem a oportunidade de utilizá-los de forma conveniente para alcançar o desenvolvimento sustentável.

A hidroeletricidade é uma das melhores opções dentro das energias renováveis para atingir um desenvolvimento que seja sustentável. Embora existam grupos contrários que não concordem com a utilização desta fonte de energia, nem das barragens. Elas deveriam ser usadas pelos países que contam com os recursos hídricos. A construção de barragens pode trazer outros benefícios para estes países, fora da produção de energia, como são: a irrigação, o controle de enchentes, o abastecimento da água, a piscicultura, a recreação e o turismo. Os benefícios são muitos e existe na atualidade o conhecimento para fazer um bom uso delas [as barragens], isto porque muitas barragens já foram construídas e repartiram benefícios e impactos no decorrer dos anos. Agora se tem o conhecimento necessário e o objetivo é a construção de barragens que sejam sustentáveis, de outra forma não pode ser concebida a construção de uma barragem.

A sustentabilidade consiste em alcançar um equilíbrio entre o uso dos recursos naturais para abastecer as necessidades atuais, garantindo o aproveitamento destes mesmos recursos pelas gerações futuras. Mas, para que esse equilíbrio seja atingido pelo projeto de barragens é necessária a participação de todos os elementos envolvidos nas diferentes etapas de

planejamento, construção e aproveitamento dos benefícios das mesmas. De maneira tal, que os elementos ou grupos implicados possam: identificar, articular e apresentar seus legítimos direitos.

A Bolívia é um país extenso, com uma grande quantidade de recursos naturais inexplorados, uma sociedade crescente e em processo de desenvolvimento. Para que esse desenvolvimento seja sustentável, definiu-se como objetivo deste trabalho estimar o potencial hidrelétrico remanescente das diferentes bacias hidrográficas analisando e destacando os efeitos sobre o meio ambiente. Assim, foram realizados estudos de regionalização das vazões médias diárias. A metodologia utilizada neste trabalho mostrou ser de muita ajuda para realizar o cálculo da curva de permanência em regiões sem dados e, especialmente, na determinação da vazão mínima necessária para realizar o estudo de avaliação do potencial hidrelétrico. Desta forma, os resultados alcançados através da obtenção das equações correspondentes serão muito úteis para estudos de abastecimento de água, planejamento de irrigação, qualidade de águas e gerenciamento de bacias hidrográficas.

O Potencial hidrelétrico remanescente calculado, foi de 68.051 MW, dos quais 97% pertencem à Bacia do rio Amazonas e 3% à Bacia do rio da Prata. O maior potencial hidrelétrico nacional está concentrado na vertente leste da Cordilheira Oriental dos Andes, nas sub-bacias dos rios: Alto Beni, Rio Grande, Pilcomayo e Bermejo. Os rios de planície da Bacia Amazônica também tem um bom potencial hidrelétrico aproveitável. O potencial hidrelétrico individualizado nestas sub-bacias é de 21.227 MW. Este potencial hidrelétrico remanescente estimado abre a possibilidade de incrementar a oferta de energia para o desenvolvimento de novas indústrias e fontes de trabalho.

As barragens necessárias para o aproveitamento da energia hidrelétrica foram analisadas para identificar os usos múltiplos da água em cada bacia e sua interação com o aproveitamento energético, como o objetivo de minimizar os conflitos e racionalizar a utilização dos recursos disponíveis. As bacias prioritárias para a construção de barragens são a bacia do Rio Grande e a bacia do rio Pilcomayo, pelos benefícios que podem oferecer e as necessidades que existem em estas bacias. As principais limitações para o desenvolvimento de barragens nestas bacias são: propensão dos solos à erosão, e a falta de controle das atividades dentro das bacias.

Para o crescimento econômico atraente das energias renováveis é necessário o emprego equilibrado de todas as tecnologias disponíveis, entre elas a energia hidrelétrica. Um bom investimento feito na área de energia hidrelétrica deixaria as reservas de gás natural da Bolívia livre para ser aproveitado em outras áreas, como por exemplo, para estimular o desenvolvimento industrial interno do país, que é uma necessidade que tem o povo boliviano e que deveria ser feito por parte do governo, já que há matéria prima na Bolívia e a tecnologia poderia ser arranjada mediante parcerias com outros países em troca de fornecimento energético. As grandes potências de América Latina precisam atualmente e vão precisar no futuro de abastecimento energético, a Bolívia poderia aproveitar esta oportunidade para tornar-se um país auto-suficiente e também, um grande produtor de energia. Um ponto a favor para a Bolívia é ter um potencial hidrelétrico e de gás natural, estas duas fontes são as que menos contaminam o ambiente; e este fator ambiental tem que ser considerado no momento de fazer e implantar qualquer tipo de projeto. Na Bolívia, as barragens também podem ser aproveitadas para fazer o controle de enchentes, prover energia elétrica às áreas rurais da Amazônia, abastecer água para o fornecimento das regiões áridas do altiplano. O país está crescendo e as diferentes cidades estão se desenvolvendo rápido, desta forma, requerem energia para atender este crescimento e também para proporcionar bem-estar às populações. Por isso, a construção de barragens, atenderia a demanda de crescimento do país, tanto na geração hidrelétrica quanto no abastecimento de água para fornecimento e controle de enchentes.

É importante lembrar que o desenvolvimento deve ser alcançado pela elaboração de planos governamentais sérios, que considerem uma combinação das diferentes fontes de energia, as quais deverão ser preferentemente renováveis.

Este trabalho representa um avanço na identificação e determinação de futuros aproveitamentos hidrelétricos para a Bolívia, como também na definição dos conceitos e das recomendações para que estes aproveitamentos sejam sustentáveis.

REFÊRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, W. The social impacts of large dams: Equity and distributional issues. **WCD Thematic review**. November 2000, pp. 1-67, p. vii; viii. Disponível em: <<http://www.dams.org/kbase/thematic/tr11.htm>>. Acesso em: 05/03/2008.

ANEEL. Atlas de Energia Elétrica do Brasil. Agencia Nacional de Energia Elétrica, 2da Edição – Brasília; ANEEL 2005, pp. 1-234, p. 45. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/biblioteca/EdicaoLivrosanos.cfm>. Acesso em: 20/10/2008.

ARFI, R. Seasonal ecological changes and water level variations in the Sélingué Reservoir (Mali, West Africa). **Physic and chemistry of the earth**. Elsevier: Vol. 30, July 2005, pp. 432-441.

BARBOSA, N.P. **Setor Elétrico e Meio Ambiente: A Institucionalização da “Questão Ambiental”**. 2001. Tese (Doutorado) - Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano e Regional. UFRJ.

BASAHI, I.A. Marib Dam: The importance of environmental and health impact studies for development projects. **Easter Mediterranean Health Journal**. World Health Organization: Vol. 6, No. 1, 2000, pp. 106-117.

BEARD, L.R. Statistical analysis in hydrology. **Transactions America Society of Civil Engineers**, New York, Vol. 108, 1943.

BERGKAMP, G.; MCCARTNEY, M.; DUGAN, P.; MCNEELY, J.; ACREMAN, M. Dam ecosystems, functions and environmental restorations. **WCD Thematic Review**. November 2000, p.186, p. 21; 22; 23; 24; 25; 27; 30; 32; 33. Disponível em: <<http://intranet.iucn.org/webfiles/doc/archive/2001/IUCN913.pdf>>. Acesso em: 05/03/2008.

BERMANN, C. Impasses e controvérsias da hidreletricidade. Energia Hidrelétrica. **Estudos Avançados**, Vol. 21, No. 59, São Paulo, Jan-Abril 2007, p.19. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142007000100011&lng=e&nrm=iso&tlng=e>. Acesso em: 19/03/2008.

BISHWAKARMA, M. Addressing sediment problems. **International water power and dam construction**, Wilmington: Vol. 59, Iss. 6, June 2007, pp. 22-26, p. 22; 23; 26.

BOLFORII. **Bolivia es Forestal**. Disponível em: <www.bolfor.org>. Acesso em: 02/05/2007.

BUNN, S. E.; ARTHINGTON, A. H. Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity. **Environmental Management**, 2002, Vol. 30 No. 4 pp. 492-507.

CAINCROSS, S. Dams and disease: Ecological design and health impacts of large dams, canal and irrigation systems. **Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene**. Vol. 94, 2000, p. 464. Disponível em: <www.Sciencedirect.com>. Acesso em: 05/03/2008.

CESP. Companhia Energética de São Paulo, Grupo de Gestão Territorial – Núcleo de Estudo de Plantas Aquáticas (Laboratório de Planejamento Ambiental), Dep. Saneamento e Ambiente – UNICAMP. Campinas, SP, 2001.

CHANSON, H.; JAMES, D.P. Learning from experience. **International water power and dam construction**, Wilmington: Vol. 58, Iss. 2, Feb 2006, pp. 24-27.

COBEE. Companhia Boliviana de Energia Elétrica S.A. Disponível em: <www.cobee.com>. Acesso em: 25/02/2008.

COLLISCHONN, W. ; SOUZA, C. F. ; PRIANTE, G. R. ; FREITAS, G. K. ; TASSI, R. ; AGRA, S. G. . Da vazão ecológica ao hidrograma ecológico. In: VIII Congresso da Água, 2006, Figueira da Foz. Água, sede de sustentabilidade, 2006.

CORANI. Empresa Elétrica CORANI S.A. Disponível em: <www.corani.com>. Acesso em: 25/02/2008.

COSTA NETO, P.L. **Estatística**. São Paulo, Edgar Blucher, 1977, p. 183.

CREAGER, W.P.; JUSTIN, J.D. Types of Hydroplants. In: **Hydroelectric Handbook**. London: Chapman and hall, Limited, 1950, pp. 191-206, p. 204.

CULLENWARD, D.; VICTOR, D.G. The dam debate and its discontents. **Climatic change**. Springer: Vol. 75, 2006, pp. 81-86, p. 82.

CHANGJIANG WATER RESOURCE COMMISSION-CRWC. Three Gorges Project. **CRWC**. 1997. Disponível em: <<http://www.mwr.gov.cn/english1/project/sanxia/content.htm>>. Acesso em: 20/02/2008.

DEPARTMENT OF THE ARMY. **Engineering and Design Hydropower**. U.S. Army Corps of Engineers. Washington, DC, December 1985, p. 2- 20;21;22.

DINGMAN, S.L. Synthesis of flow duration curves for unregulated streams in New Hampshire. **Water Resources Bulletin**. American Water Resources Association, Vol.14, No. 6, December 1978, pp.1481-1502.

DIXON, A. A growing problem. **International water power and dam construction**. Wilmington: Vol. 52, Iss. 5, May 2000, pp. 23-25.

DOS SANTOS, M.A.; ROSA L.P.; SIKAR, B.; SIKAR, E.; DOS SANTOS, E. O. Gross green house gas fluxes from hydropower reservoir compared to thermo power plants. **Energy Policy**. Elsevier: Vol. 34, Iss. 4, March 2006, pp. 481-488.

ÉGRÉ, D.; SENÉCAL, P. Social Impact Assessment of large dams throughout the world: Lesson learned over two decades. **Impact Assessment and Project Appraisal**. Beech Tree Publishing: Vol. 21, No. 3, September 2003, pp. 481-488, p. 217.

ELETROBRAS. Emissões de dióxido de carbono e de metano pelos reservatórios hidrelétricos brasileiros. Rio de Janeiro: **Eletrobrás**, Maio 2000, pp. 1-179, p. 133.

_____. **Metodologia para regionalização de vazões**. IPH da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1985.

_____. **Manual de Inventário do Potencial Hidrelétrico**. Edição 1997, p. 1-4. Disponível em: <<http://www.eletrobras.gov.br/elb/portal/main.asp>>. Acesso em: 15/11/2006

ENDE. **Ende 30 años de servicio**. Ende: Marzo [1993], pp.1-65, p.19.

_____. **Memórias de Ende**: Proyecto Múltiplo Rio Grande Rositas. ENDE: Octubre 1977, p. 7.

_____. **Memórias de Ende**: Aprovechamiento del potencial hidroeléctrico de Cachuela Esperanza. ENDE: Noviembre 1987, p. 13.

_____. **Memórias de Ende**: Sintesis del Proyecto El Bala. ENDE: Abril 1958, p. 4.

EREC; GREENPEACE. **Revolução Energética**: Perspectivas para uma energia global sustentável. Conselho Europeu de Energia Renovável (EREC)– Greenpeace Internacional. Geográfica: Abril 2007, pp.1-98, p. 4; 15. Disponível em: <http://www.greenpeace.org/raw/content/brasil/documentos/energia/greenpeacebr_070202_energia_revolucao_energetica_brasil_port_v1.pdf>. Acesso em: 10/02/2008.

EUCLYDES, H.A.; FERREIRA, P.A.; RUBERT, O.A.; DOS SANTOS, R. Regionalização hidrológica na Bacia do Alto São Francisco a montante da Barragem de Três Marias, MG. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Vol. 6, No. 2, Juno 2001, pp.81-105, p. 86.

FEARNSIDE, P.M. Greenhouse gas emissions from a hydroelectric reservoir and the energy policy implication. **Water, Air and Soil Pollution**. Kluwer academic publisher: Vol.133, 2002, pp. 69-96, p. 69.

_____. Brazil's Samuel Dam: Lessons for hydroelectric development policy and the environment in Amazonia. **Environmental management**. Springer Science: Vol. 35, No. 1, 2005, pp. 1-19, p.13.

_____. Dams in the Amazon: Belo Monte and Brazil hydroelectric development of the Xingu River Basin. **Environmental management**. Springer Science and Business: Vol. 38, No. 1, April 2006, pp. 16-27, p.19.

FLIN, D. Waiting to see the light. **International water power and dam construction**, Wilmington: Vol. 55, Iss. 11, Nov 2003, pp. 40-43, p. 40; 41.

FOBOMADE. **Foro Boliviano sobre Medio Ambiente y Desarrollo**. Tres megarepresas em la cuenca del Alto Bermejo. Disponível em: <<http://www.fobomade.org.bo/index1.php>>. Acesso em: 27/02/2007.

FORD, N. In the public domain. **International water power and dam construction**, Wilmington: Vol. 57, Iss. 4, Apr 2005, pp. 12-14, p.12.

FREITAS, M.A.V. & DUTRA, L.E.D. (2002). Hidroeletricidade no Brasil: Perspectiva de Desenvolvimento e Sustentabilidade. **O Estado das Águas no Brasil**. M. A. V. d. F. (org.). Brasília - DF, ANA: 514.

FUGGLE, R; SMITH, W.T. Experience with dams in water and energy resource development in the peoples Republic of China. **University of Cape Town South Africa**. Contributing paper to WCD 2000. p. 9; 26. Disponível em: <www.dams.org/kbase/studies/cn/>. Acesso em: 20/02/2008.

GHILARDI, R. JR. **Sustentabilidade de Grandes Barragens**: adequação das recomendações da Comissão Mundial de Barragens ao planejamento de hidrelétricas no Brasil e ao projeto hidrelétrico de Belo Monte (PA). Manaus: UFAM, 2003. 248p.

GIODA, A.; SERRANO, C. L'eau et l'argent à Potosi. Eau: ressources, aménagements, environnement. **La Houille Blanche**. No. 7, 1998, pp. 65-75, p. 69.

GOODLAND, R. Environmental Sustainability in the Hydro Industry: Desaggregation the debate. In: **Large Dams: learning from the past looking at the future**. Workshop Proceedings. The World Bank. Gland, Suíça, 11 e 12 de abril de 1997.

GOOGLE MAPS. Disponível em: <www.googlemaps.com.br>. Acesso em: 01/03/2008.

GRAF, W. Downstream hydrologic and geomorphic effects of large dams on American rivers. **Geomorphology**. Elsevier: Vol. 79, August 2006, pp. 336-360, p. 336.

GULBAHAR, N; ELHATIP, H. Estimation of environment impacts on the water quality of the Thatali dam watershed in Izmir, Turquia. **Environmental Geology**. Springer-verlag: Vol. 47, No. 5, 2005, pp. 725-728, p. 725.

HEDIGER, W. Sustainable development and social welfare. **Ecological Economics**. Elsevier, Vol. 32, 2000, pp. 481-492, p. 481.

HERMANOWICZ, S.W. Sustainable Development: Physical and moral issues. **Water Resources Center Archives**. 2006, pp.1-9, p. 1.

Disponível em: <http://repositories.cdlib.org/wrca/wp/swr_1206>. Acesso em: 09/03/2007.

_____. Sustainability in Water Resources Management: Changes in meaning and perception. **Water Resources Center Archives**. 2005, pp.1-5, p. 1.

Disponível em: <http://repositories.cdlib.org/wrca/wp/swr_v3>. Acesso em: 09/03/2007.

HIDROBOL. Hidroeléctrica Boliviana S.A. Disponível em: <www.hidrobol.com>. Acesso em: 25/02/2008.

HUICHAO, D; RUSHU, W. Managing the environment. **International water power and dam construction**, Wilmington: Vol. 58, Iss. 3, Mar 2006, pp. 16-19, p.18.

HUT, R; ERTSEN, M; JOEMAN, N; VERGEER, N; WINSEMIUS, H; VAN DE GIESEN, N. Effects of sand storage dams on groundwater levels with examples from Kenya. **Physics and chemistry of the earth**. Elsevier: Vol.33, 2008, pp. 56-66.

HWANG, S.S.; XI, J.; CAO, Y. FENG, X. QIAO, X. Anticipation of migration and psychological stress and the Three Gorges Dam project, China. **Social Science and Medicine**. Elsevier: Vol. 65, June 2007, pp. 1012-1024, p. 1014.

ICOLD-CIGB. **The dams newsletter**. Role of dams in the 21th century. Bulletin N° 5. Paris, 2006, pp. 20, p.2.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA I.N.E. Disponível em: <<http://www.ine.gov.bo/cgi-bin/piwdie1xx.exe/TIPO>>. Acesso em: 18/03/2008.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Key world energy statistics 2007**. OECD/IEA, 2007 pp. 78, p. 6; 18. Disponível em: <http://www.iea.org/Textbase/nppdf/free/2007/key_stats_2007.pdf>. Acesso em: 01/11/2007.

INTERNATIONAL HYDROPOWER ASSOCIATION. **Sustainability Guidelines**. Copyright International Hydropower Association 2004: p. 24, February 2004. Disponível em: <http://www.hydropower.org/sustainable_hydropower/sustainability_guidelines.html>. Acesso em: 11/03/2008.

INTERNATIONAL RIVERS NETWORK. Mapa da região do projeto das Três Gargantas. Disponível em: <<http://internationalrivers.org/en/china/three-gorges-dam/map-three-gorges-dam>>. Acesso em: 21/02/2008.

IWP&DC. INTERNATIONAL WATER POWER AND DAM CONSTRUCTION. **Country by Country**. Wilmington: Yearbook 2006, pp. 2-53.

_____, 2007a. Final unit inaugurated at Itaipu. **International water power and dam construction**, Wilmington: Vol. 59, Iss. 6, Jun 2007, p. 5.

I

_____, 2007b. Equador steps up hydro investment plans. **International water power and dam construction**, Wilmington: Vol. 59, Iss. 12, Dec 2007, p. 5.

JACKSON, S.; SLEIGH, A. Resettlement for China's Three Gorges Dam: socio-economic impact and institutional tensions. **Communist and Post Communist Studies**. Elsevier: Vol. 33, , 2000, pp. 223-241.

JENSEN, P.; LEUNG LEE, K.; LABAY, A. Thermal stratification management once through cooling systems. **PBS&J**, Austin Texas, p. 12, [2006]. Disponível em: <<http://www.tawwa.org/TW07Proceedings/070413/Watershed%20Mgmt/Thermal%20Stratification%20Management%20in%20Reservoir%20Once%20Through%20Cooling%20Systems.pdf>>. Acesso em: 15/10/2007.

JOBIN, W. Health conscious. **International water power and dam construction**, Wilmington: Vol. 57, Iss. 7, May 2005, pp.10-13, p. 10; 11.

JONES, W; FREEMAN, M. Three Gorge Dam: The TVA on the Yangtze River. **21st Century Science Technology Magazine**. 2005, p. 21; 27. Disponível em: <http://www.21stcenturysciencetech.com/articles/Three_Gorges.html#Preserving>. Acesso em: 20/02/2008.

KURUNUC, A.; YUREKLI, K; OKMAN, C. Effects of Kilickaya Dam on concentration and load values of water quality constituents in Kelkit Stream in Turkey. **Journal of Hydrology**. Elsevier: Vol. 317, 2006, pp. 17-30, p.18.

LABORATORIO DE ENGENHARIA CIVIL, 2007. Deposição de sedimentos dentro de um reservatório. Disponível em: <<http://www.dha.lnec.pt/nre/portugues/estudos/projectos/sedim.html>>. Acesso em: 04/03/2008.

LEDEC, G.; QUINTERO, J.D. Good Dams and Bad Dams: Environmental Criteria for Site Selection of Hydroelectric Projects. Latin American and Caribbean Region Sustainable Development Working Paper 16, November 2003, pp. 1-20. p.15

LERER, L; SCUDDER, T. Health impacts of large dams. **Environmental Impact Assess Rev.** Elsevier science: Vol. 19, 1999, pp. 113 – 123, p. 117; 118; 119.

LIMA, A.L, (a). **Impactos ambientais Associados à Usina Hidrelétrica de Três Irmãos: O Fenômeno de Ação e Reação**. Mestrado (Departamento de Saneamento e Ambiente), Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, SP, 2003.

_____, (b). Mapeamento de plantas aquáticas e ações e processos que contribuem para sua proliferação: estudo de caso - Reservatório de Três Irmãos (SP). In: **VI Congresso de Ecologia do Brasil, Fortaleza, 2003**. Disponível em: <http://www.biogeoquimicaufc.com.br/publicacoes/Congressos/01_Con3.pdf>. Acesso em: 25/03/2008.

LINSLEY, R.K.; FRANZINI, J.B. **Engenharia de Recursos Hídricos**. Mc Graw Hill do Brasil, Ed. USP, 1978, pp.544-547, p. 545.

MAGILLIGAN, F.J.; NISLOW, K.H. Changes in hydrologic regime by dams. **Geomorphology**. Elsevier: Vol. 71, April 2005, pp. 61-78.

MALM; OLAF; MAURICE-BOUGOIN; LAURENCE; QUIROGA; IRMA; GUYOT; JEAN LOUP. Mercury Pollution in the Uper Beni River, Amazonia Basin: Bolivia. **Royal Swedish Academy of Science**. *Ambio*, Issn: 0044-7447, 1999.

MANYARI, W.V.; DE CARVALHO, O. A.. Environmental consideration in energy planning for the Amazon region: Downstream effects of dams. **Energy Policy**. Elsevier: Vol. 35, Iss. 12, December 2007, pp. 6526-6534, p. 6530.

MBONILE, M. Migration and intensification of water conflicts in the Pangani Basin, Tanzania. **Habitat International**. Elsevier: Vol. 29, 2005, pp. 41-67, p. 41; 49.

MC CARTNEY, M.P.; SULLIVAN, C; ACREMAN, M.C. Ecosystem impacts of large dams. **Center for ecology and hydrology, UK IUCN-The world conservation Union**. Contributing paper to WCD 2000, p. 75, p. 13; 14; 21; 22; 25. Disponível em: <<http://www.dams.org/kbase/thematic/>>. Acesso em: 03/08/2007.

MEHARI, A; SCHULTZ, B; DEPEWEG, H. Salinity impact assessment on crop yield for Wadi Laba spate irrigation system in Eritrea. **Agricultural water management**. Elsevier: Vol. 85, June 2006, pp. 27-37.

MERCIER, J. R. Health impact assessment in international development assistance: the World Bank experience. **Bulletin of the World Health Organization**: Vol. 81, No. 6, 2003, pp. 461 – 462, p. 461.

MILANS, J. Natural reaction. **International water power and dam construction**, Wilmington: Vol. 56, Iss. 6, Jun 2004, pp. 12-15.

MIMIKOU, M. e KAEMAKI, S. Regionalization of flow duration characteristics. **Journal of Hydrology**. Elsevier Science Publisher, Vol. 82, 1985, pp. 77-91.

MINISTERIO DE DEFENSA NACIONAL (MDN). **Hidrografia de Bolívia**. La Paz-Bolivia: 2da Edición 2007, pp. 1-402, p. 371.

MINISTERIO DE DESARROLLO SOSTENIBLE (MDD). **Programa Nacional de Cuencas-PNC**. La Paz, Bolívia, Março de 2005, pp.72, p. 42; 48.

MINISTERIO DE MINAS E ENERGIAS (MME). Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético. **Manual de Inventário Hidroelétrico de Bacias Hidrográficas**. Edição 2007, pp.1-683, p. 26; 64. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/site/news/detail.do;jsessionid=13017C9C8391253C8B64CEF6411F9B3C?newsId=14630>>. Acesso em 28/02/2008.

MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Subsídios á elaboração da agenda 21 brasileira**: Infra-estrutura e Integração Regional. Brasília: Ministério do Meio Ambiente; Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e os Recursos Naturais; Consórcio Sondotécnica/Crescente Fértil, 1999.

MONTES DE OCA, I. **Enciclopedia Geográfica de Bolívia**. Editora Atenea S.R.L. La Paz, 2005, pp. 1-871, p. 493.

MONROY, J.L. Experiencia Boliviana en el diseño y construcción de micro centrales hidroeléctricas. **UNESCO**, 1997: p. 8. Disponível em: <<http://www.unesco.org/phi/libros/microcentrales/frame.html>>. Acesso em: 03/02/2008.

MOSALAM SHALTOUT, M.A.; EL HOUSTRY, T. Estimating the evaporation over Nasser Lake in the upper Egypt from meteosat observations. **Advances in space research**. Elsevier: Vol 19, No. 3, May 1997, pp. 515-518, p. 515.

MUMBA, M; THOMPSON, J.R. Hydrological and ecological impacts of dams on the Kafue Flats Floodplains system, southern Zambia. **Physics and chemistry of the earth**. Elsevier: Vol. 30, 2005, pp. 442-447, p. 442.

NAIMAN, R. J.; BUNN, S.; NILSSON, C.; PETTS, G. E.; PINAY, G.; THOMPSON, L. C. Legitimizing fluvial ecosystems as users of water: an overview. **Environmental Management**, 2002, Vol. 30, No. 4 pp. 455-467.

NERC. **Flood Studies Report**. National Environment Research Council. London. 5v. 1975.

NOVAK, P; MOFAT, A.I; NALLURI, C.; NARAYANAN, R. **Hydraulic Structures**. Ed E&FN Spon, 1997, p. 166; 168.

NOVAES, L.; PRUSKI, F.F.; OLIVEIRA DE QUEIROZ, D.; RODRIGUEZ, R.; DA SILVA, D.D.; RAMOS, M.M. Avaliação do desempenho de cinco metodologias de regionalização de vazões. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos** Vol. 12, No.2, Juno 2007, pp. 51-61.

OBREGON, E.; TUCCI, E.M.; GOLDENFUM J.A. Regionalização de vazões com base em series estendidas: Bacias afluentes à Lagoa Mirim, RS. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos** Vol. 4, No. 1, Março de 1999, pp.57-75.

OLADE. **Informe de Estadísticas Energéticas**. Organización Latinoamericana de Energia. 2005. Disponível em: < <http://www.olade.org.ec/informe.html>>. Acesso em: 18/10/2008.

OLIVEIRA, F.A.; HEUKELBACH, J; MOURA, R; ARIZA, L; RAMOS JR, A; GOMIDE, M. Grandes Represas e seu impacto em saúde publica I: efeitos a montante. **Cadernos Saúde Coletiva - UFRJ**. Rio de Janeiro: Vol. 14, No. 4, Dezembro 2006, pp. 575-596, p.580.

ONU. **Informe de la Cumbre Mundial sobre el desarrollo sostenible**. Johannesburgo Sudáfrica 2002. Naciones Unidas, New York: p.184. Disponível em: <http://www.un.org/esa/sustdev/documents/WSSD_POI_PD/Spanish/WSSDsp_PlanImpl.doc>. Acesso em: 04/03/2008.

_____. **Perspectivas de sostenibilidad energética en los países de la Comunidad Andina.** CEPAL: Serie Recursos Naturales e Infraestructura, Santiago de Chile, Marzo de 2005, p. 73. Disponível em: <www.cepal.org>. Acesso em: 30/10/2006.

ONU. **2do Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos em el mundo:** El água, uma responsabilidad compartida. Cap. 9, pp. 304-335, p. 313, 2006. Disponível em: <http://www.unesco.org/water/wwap/wwdr2/index_es.shtml>. Acesso em: 23/02/2008.

OZIS, U.; DALKILIC, Y.; OZDEMIR, Y.; ALSAN, M. Big decisions. **International water power and dam construction**, Wilmington: Vol. 55, Iss. 5, August 2004, pp. 22-25, p. 25.

PHICAB. **Balance Hídrico Superficial de Bolivia.** La Paz, Bolívia, 1992, p.29.

PIO, E.D. **Regionalização do Hidrograma Unitário Sintético e dos coeficientes do Hidrograma Unitário Sintético de Snyder para pequenas bacias rurais do Estado de São Paulo.** Dissertação de Mestrado. Campinas - SP, 1999, pp.162, p. 67.

POFF, N. L.; ALLAN, J. D.; BAIN, M. B.; KARR, J. R.; PRESTEGAARD, K. L.; RICHTER, B. D.; SPARKS, R. E.; STROMBERG, J. C. The natural flow regime: a paradigm for river conservation and restoration. **Bioscience**, 1997, Vol. 47 No. 11 pp. 769-784.

POHL, M. Channel bed mobility downstream from de Elwha dams, Washington. **The professional geographer.** Blackwell publishing: Vol.56, No.3, August 2004, pp. 422-431, p. 422.

PREECE, R.M.; JONES, H.A. The effect of Keepit dam on the temperature regime of the Namoi River, Australia. **River research and applications**, Wiley, Chichester: Vol. 18, No. 4, 2002, pp. 397-414.

PRITCHARD, S. A milestone or a millstone?. **International water power and dam construction**, Wilmington: Vol. 52, Iss. 12, December 2000, pp.18-21.

_____. Going back to basics. **International water power and dam construction**, Wilmington: Vol. 53, Iss. 3, May 2001, pp. 36-37.

_____. Overloaded. **International water power and dam construction**, Wilmington: Vol. 54, Iss. 7, July 2002, pp.18-22, p.18.

PRONAR. **Programa Nacional de Riego - Bolivia**. Memoria Pronar 1996-2005. pp. 23-37. Disponível em: <http://www.riegobolivia.org/documentos/Memoria/5_Cbba.pdf>. Acesso em: 10/03/2008.

QUIMPO, R.G.; ALEJANDRINO, A.A.; MC NALLY, T.A. Regionalized flow duration for Philippines. **Journal of Water Resources Planning and Management** Vol. 109, No.4, October 1983, pp.320-330, p. 323.

RAGSDALE, C.T. Spreadsheet Modeling and Decision Analysis. **South-Western College Publishing**. Cincinnati, Ohio, 1998.

REMINI, B; HALLOUCHE, W. Studying sediment. **International water power and dam construction**, Wilmington: Vol. 59, Iss. 10, October 2007, pp. 42-45, p.42.

RIOELEC. Empresa Eléctrica Valle Hermoso S.A. Disponível em: <www.rioelec.com.bo>. Acesso em: 25/02/2008.

RIOS, A, (a). **Hidro y termoelectricidad en la región**. Perspectiva energética de la región. OLADE, Febrero 2006, pp. 1-3, p. 1. Disponível em: <<http://www.olade.org/otras.html>>. Acesso em: 26/10/2007.

_____, (b). **Complementariedad: Hidroelectricidad y Gás natural**. Perspectiva energética de la región. OLADE, Agosto 2006, pp. 1-3, p. 1; 2. Disponível em: <<http://www.olade.org/otras.html>>. Acesso em: 26/10/2007.

_____. **Energia per capita**. Perspectiva energética de la región. OLADE: Octubre 2007, pp. 1-3, p. 1. Disponível em: <<http://www.olade.org/otras.html>>. Acesso em: 26/10/2007.

RUSHU, W. Cultural consideration at the Three Gorges. **International water power and dam construction**, Wilmington: Vol. 52, Iss. 8, August 2000, p. 16; 17.

_____. Balancing environment and development. **International water power and dam construction**, Wilmington: Vol. 55, Iss. 3, March 2003, pp. 34-38, p. 35; 37.

_____. Fighting the floods. **International water power and dam construction**, Wilmington: Vol. 56, Iss. 2, February 2004, pp. 14-16, p. 15; 16.

SCHREIBER, G.P. **Usinas hidrelétricas**. São Paulo, Edgar Blucher, Rio de Janeiro 1977.

SINGH, K. P. Model flow duration and stream flow variability. **Water Resources Research**. Vol. 7 No. 4, August 1971, pp.1031-1036, p. 1031.

SINISGALLI, P.A. Valoração dos danos ambientais de Hidrelétricas: Estudo de Caso. 2000, 213 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas.

SIPOT. **Potencial hidrelétrico brasileiro por estados**. ELETROBRÁS. Janeiro 2007. Disponível em: <http://www.eletronbras.com.br/EM_Atuaacao_SIPOT/sipot.asp>. Acesso em: 31/10/2007.

SMAKHTIN, V.U. Low Flow hydrology: a review. **Journal of Hydrology**. Elsevier Science 2001, pp. 147-186, p. 154.

SNOUSSI, M.; KITHEKA, J.; SHAGHUDE, Y.; KANE, A.; ARTHURTON, R.; LE TISSIER, M.; VIRJI, H. Downstream and coastal impacts of damming and water abstraction in Africa. **Environmental management**. Springer Science: Vol. 39, 2007, pp. 587-600.

SOUZA, A.C. Assessment and statistics of Brazilian hydroelectric power plants: Dam areas versus installed and firm power. **Renewable and Sustainable Energy Review (2007)**, pp. 1-21, p. 3. doi:10.1016/j.rser.2007.04.005. Disponível em: <www.Sciencedirect.com>. Acesso em: 05/03/2008.

STEDINGER, J.R.; VOGEL, R.M.; FOUFOULA-GEORGIOU, E. Frequency analysis of extreme events. In: **Handbook of Hydrology**, McGraw-Hill. New York, 1993, Chapter 18.

STERNBERG, R. Damming the river: a changing perspective on altering nature. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. Elsevier: Vol.10, 2006, pp. 165-197.

_____. Hydropower: Dimensions of social and environmental coexistence. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. Elsevier: 2007, pp. 1-34, p. 1. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6VMY-4NSR1MM-1&_user=972058&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&view=c&_version=1&_urlVersion=0&_userid=972058&md5=4a1e23e11293f08daa28f3e709aa540a>. Acesso em: 05/03/2008.

SUPERINTENDENCIA DE ELECTRICIDAD (SIE). **Anuário estadístico de la industria eléctrica em Bolívia 2006**. Diciembre 2007, pp.180, p. 17; 22. Disponível em: <http://www.superele.gov.bo/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=25&Itemid=31>. Acesso em: 08/02/2008.

_____. **Anuário estadístico de la industria eléctrica em Bolívia 2005**. Diciembre 2006, pp.180, p. 179. Disponível em: <http://www.superele.gov.bo/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=25&Itemid=31>. Acesso em: 01/08/2007.

SUSTENTABILIDADE NO USO DA ENERGIA NO BRASIL: OS PRÓXIMOS 20 ANOS, 2002, Campinas. **Hidroeletricidade no Brasil: Desenvolvimento e Sustentabilidade nos próximos 20 anos.** Anais: Mesa 5, N° 5.4. Campinas: Unicamp, 2002. 28 p.

TAN, Y.; YAO, F. Three Gorges Project: Effects of resettlement on the environment in the reservoir area and countermeasures. **Population Environment.** Springer Science+Business Media: Vol. 27, September 2006, pp. 351-371.

TAYLOR, M.B.; COX, N.; VERY, M.A.; GRABOW, W.O.K. The occurrence of hepatitis A and astroviruses in selected river and dam waters in South Africa. **Water Research.** Elsevier: Vol. 35, No. 11, 2001, pp. 2653-2660, p. 2653.

TUCCI, C.E. **Regionalização de Vazões.** Porto Alegre: Editora da Universidade – UFRGS, 2002, pp.1- 256, p. 14; 41; 188; 190.

_____.Regionalização de vazões. In: **Hidrologia: Ciência e aplicação.** Porto Alegre: Editora da Universidade – UFRGS/Edusp/ABRH, 1993, cap.15, pp.573-619, p. 604; 591.

TVA. **Tennessee Valley Authority.** 2008. Disponível em: http://www.tva.gov/environment/water/rri_oxy.htm>. Acesso em: 18/10/2008.

UNIDAD DE ANÁLISIS DE POLÍTICAS SOCIALES Y ECONÓMICAS (UDAPE, 2004a). **Sector Minero 1990-2004,** pp. 1-22, p. 1. Disponível em: <<http://www.udape.gov.bo/diagnosticos/documentos/Documento%20Sector%20Minero.pdf>>. Acesso em: 26/03/2008.

_____. (UDAPE, 2004b). **Sector Industrial Manufacturero 1990-2004,** pp. 1-31, p. 2. Disponível em: <<http://www.udape.gov.bo/diagnosticos/documentos/Documento%20Sector%20Industria.pdf>>. Acesso em: 26/03/2008.

(UDAPE).

Estructura del sector Turismo em Bolívia, La Paz – Noviembre de 2005, pp. 1-21, p. 1.

Disponível em:

<<http://www.udape.gov.bo/diagnosticos/documentos/Documento%20Sector%20Turismo.pdf>>.

Acesso em: 26/03/2008

UNIDAD DE PESCA Y ACUICULTURA. **Diagnóstico Nacional Pesquero**, pp. 1-46, p. 5; 6; 7.

Disponível em: <<http://www.tropico.org.bo/biblioteca/Piscicola.pdf>>. Acesso em: 22/06/2007.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). **Dams and development project**. Interim report covering the period of February 2005 – May 2006. p. 51. Disponível em:

<www.unep.org/dams>. Acesso em: 09/08/2007.

VAN DAMME, P. **Disponibilidad, uso y calidad de los recursos hídricos en Bolívia**. Cumbre Mundial sobre el Desarrollo sostenible, Jhoannesburgo, 2002. Noviembre 2002, pp. 1-90, p. 32; 33. Disponível em: <<http://www.aguabolivia.org/situacionaguaX/DUCRHBolFinal.htm>>. Acesso em: 25/02/2008.

VLADUT, T. Ensuring the sustainability of dams worldwide. **International water power and dam construction**, Wilmington: Vol. 52, Iss. 3, Mar 2000, p. 17.

WINDSOR, J.E.; MCVEY, J.A. Annihilation of both place and sense of place: the experience of the Cheslatta T'En Canadian First Nation within the context of large-scale environmental projects. **The Geographical Journal**. The Royal Geographical Society: Vol. 171, No. 2, June 2005, pp. 146-165, p. 148.

WORLD COMMISSION ON DAMS (WCD). **Represas y desarrollo**. Earthscan publications Ltd. London 2000: p. 412, p.xxxi; xxxii; p.76; 83; 85; 86; 89. Disponível em: <<http://www.dams.org/>>. Acesso em: 05/03/2008.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Human health and dams**: the world health organization submission to the world commission on dams (WCD). Geneva: World Health Organization, 2000, pp. [39], p. [9]. Disponível em: <http://www.who.int/docstore/water_sanitation_health/vector/dams.htm>. Acesso em: 05/03/2008.

YAMANA T. **The impacts of dams and reservoirs on Public Health**. Report nº. 1096. 2004. Disponível em: <http://web.mit.edu/eltahir/www/Makana/ppt/merowe_health.ppt>. Acesso em: 22/02/2006.

ZHANG, S.; LU, X.X.; HIGGITT, D.L.; CHEN, CH. A.; HAN, J.; SUN, H. Recent changes of water discharge and sediment load in the Zhujiang (Pearl River) Basin, China. **Global and planetary Change**. Elsevier: Vol. 60, 2008, pp. 365-380.

ZENG, H.; SONG, L.; YU, Z.; CHENG, H. Distribution of phytoplankton in the Three Gorge Reservoir during rainy and dry season. **Science of The Total Environment**. Elsevier: Vol. 367, April 2006, pp. 999-1009, p. 1008.