

**unesp** 

**Governo do Estado de São Paulo  
Universidade Estadual Paulista**

**Faculdade de Engenharia do *Campus* de Guaratinguetá**

**Guaratinguetá 2012**

ADALBERTO DE ARAÚJO BARRETO FILHO

PROPOSTA METODOLÓGICA PARA AVALIAÇÃO DA MATRIZ ENERGÉTICA  
BRASILEIRA EM PROL DO EQUILÍBRIO: COMPETITIVIDADE E  
SUSTENTABILIDADE

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia do  
*Campus* de Guaratinguetá, Universidade Estadual  
Paulista, para a obtenção do título de Doutor em  
Engenharia Mecânica na área de Transmissão e  
Conversão de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Teófilo Miguel de Souza

Co-orientador: Prof. Dr. Samuel Euzédice de Lucena

Guaratinguetá

2012

B27  
3p

Barreto Filho, Adalberto de Araújo

Proposta metodológica para avaliação da matriz energética brasileira em prol do equilíbrio: competitividade e sustentabilidade / Adalberto de Araújo Barreto Filho - Guaratinguetá: [s.n.], 2012.

205 f. : il.

Bibliografia: f. 169-185

Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2012.

Orientador: Prof. Dr. Teófilo Miguel de Souza

Coorientador: Prof. Dr. Samuel Euzédice de Lucena

1. Energia elétrica - conservação I. Título

CDU 620.9(043)

ADALBERTO DE ARAÚJO BARRETO FILHO

ESTA TESE FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
"DOUTOR EM ENGENHARIA MECÂNICA"

PROGRAMA: ENGENHARIA MECÂNICA  
ÁREA: TRANSMISSÃO E CONVERSÃO DE ENERGIA

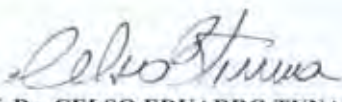
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

  
Prof. Dr. José Antonio Perrella Balestieri  
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:

  
Prof. Dr. TEOFILO MIGUEL DE SOUZA  
Orientador / Unesp-Feg

  
Prof. Dr. JOSÉ FELICIANO ADAMI  
Unesp-Feg

  
Prof. Dr. CELSO EDUARDO TUNA  
Unesp-Feg

  
Prof. Dr. OSIRIS CANCELIERI JÚNIOR  
PUC/PR

  
Prof. Dr. JOSÉ RUI CAMARGO  
UNITAU

Maio de 2012

## DADOS CURRICULARES

### ADALBERTO DE ARAÚJO BARRETO FILHO

NASCIMENTO 04/02/1961- João Pessoa - PB

FILIAÇÃO Adalberto de Araújo Barreto  
Jarony Nóbrega Barreto

1981/1985 Curso de Graduação: Engenharia Elétrica  
Universidade Federal da Paraíba – *Campus* de Campina Grande

1985/1990 Curso de Mestrado em Engenharia de Produção  
Universidade Federal da Paraíba – *Campus* de João Pessoa.  
Dissertação – Tema: Energias Alternativas

2009/2012 Doutorado – UNESP – *Campus* de Guaratinguetá

### ATIVIDADES PROFISSIONAIS

1988/1990 Gerenciamento – Projeto e Instalações Rurais – PLANEST-PB  
Telecomunicações – Telecomunicações da Paraíba – TELPA-PB

1990/1992 Telecomunicações – Standard/Elebra – Campinas – SP

1992/2012 Professor Assistente: Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Tecnológicas – CCT – Departamento de Engenharia Elétrica: Docência, Extensão e Pesquisa - Área: Sistemas de Energia – Geração, Transmissão, Distribuição de Energia Elétrica; Planejamento Energético; Sistemas Alternativos de Energia.

Aos meus pais e a todos que de plena  
consciência se empenham pelo progresso  
da humanidade.

## AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, professor Dr. Teófilo Miguel de Souza, pelo apoio e crença no empenho e determinação que guiaram a elaboração desta proposta de contribuição na área do planejamento energético brasileiro;

Ao meu co-orientador, professor Dr. Samuel Euzédice de Lucena, zeloso e incansável entusiasta, além de amigo de todas as horas, supridor de matéria e esperança, a quem reconheço pelo apreço e fé que resultaram na conclusão desta tese;

Aos professores e colegas da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, que nem sempre nomeadamente, mas de forma presente e constante, fizeram-se presentes pelas críticas, sugestões, exemplos e acolhidas – indispensáveis na manutenção da chama da perseverança que permitiram a condução e realização do projeto e concretização que ora se apresenta;

Enfim, a todos que contribuíram, seja na vida acadêmica, seja na expectativa solidária e cidadã de realização de que se faz capaz o gênio humano, motivado, consciente e orientado pelos mais elevados propósitos.

*In memoriam*

*“Enquanto houver a necessidade do sonho haverá um Don Quixote e por conceber um engenho que lhe concebe se impõe o homem na plenitude da sua arte.”*

(Adalberto Barreto)



BARRETO Fº, A. de A. **Proposta metodológica para avaliação da matriz energética brasileira em prol do equilíbrio: competitividade e sustentabilidade.** 2012. 205 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do *Campus* de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

## RESUMO

Duas das mais importantes tarefas do planejamento energético brasileiro correspondem a etapas periféricas do processo de gestão de recursos energéticos: A etapa que precede a elaboração das diretrizes e metas do planejamento propriamente dito e a que decorre deste processo, que corresponde ao acompanhamento da implantação das ações propostas e os inevitáveis ajustes de percurso. A regionalização do planejamento, no que concerne à incorporação e ampliação da exploração de recursos energéticos renováveis, implica na orientação para o reconhecimento das potencialidades energéticas específicas regionais e a sua integração à rede do sistema nacional – em diversos níveis e em distintas modalidades de interconexão. Pelo que implica no necessário estímulo à busca de ganhos de eficiência vocacionados conforme as potencialidades locais. Daí a necessária elaboração de ferramentas de análise, inventariamento e exploração de recursos energéticos combinados, em face da perspectiva de aumento da participação das energias renováveis na matriz energética brasileira. Do outro lado, a proposta elaborada reconhece que o acompanhamento da implantação de ações dos planos e programas energéticos significa coadunar (comparar e integrar) os avanços da participação regional com referências nacionais – e internacionais – propiciadoras de ganhos de eficiência global. A proposição de uma metodologia que avalia estas duas etapas, ao lado de ferramentas e procedimentos de comparação e integração de desempenhos de energéticos renováveis, é ao que se dedica este trabalho: recursos de planejamento que possam identificar e estimular ações estratégicas e estruturantes, regionalizadas, que alcancem os levantamentos ampliados das potencialidades locais e mesmo a participação de aspectos

comportamentais, sociais e políticos da geração e consumo energético. Considerando, também, aspectos táticos: ações de acompanhamento de ajustes, ao lado de ferramentas de comparação entre alternativas e estímulo às oportunidades e ganhos de competitividade, voltados para o incremento da participação dos recursos energéticos renováveis no país.

**PALAVRAS-CHAVE:** Planejamento energético, energias renováveis, eficiência energética.

BARRETO F<sup>o</sup>, A. de A. “**Methodological proposal for evaluation of the Brazilian energy matrix in favor of: competitiveness and sustainability**”. 2012. 205 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do *Campus* de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

## ABSTRACT

Two of the most important tasks of the Brazilian energy planning stages correspond to the peripheral process of planning energy resources: The stage that precedes the preparation of guidelines and goals of the planning itself and the stage in which the process takes place, which is monitoring the implementation of the proposed actions and the inevitable adjustments of route. The regionalization of planning regarding the development and expansion of the exploitation of renewable energy resources, demands the guidance for the specific recognition of the potential energetic resources of a specific region and its integration into the regional network of the national system - at various levels and in different forms of interconnection. This implies the needed incentive in the search for efficiency oriented gains according to the local potential. Hence the necessary development of analysis tools, inventory and exploitation of combined energy resources, due to the perspective of increasing the share of renewable energies in the Brazilian energy matrix. On the other hand, this proposal recognizes that the monitoring of the implementation of action plans and energy programs means to combine (to compare and to integrate) the regional participation improvements with the national and international references favorable to global efficiency gains. The proposition of a methodology that evaluates these two steps, along with tools and procedures for comparison and integration of renewable energy performances, is the main subject to which this work is dedicated to: Planning resources that can identify and stimulate strategic actions and structures, regionalized, that reach the expanded surveys of potential sites and even the participation of behavioral, social and political aspects of the generation and consumption of energy.

Considering also the tactical aspects: actions of follow up adjustments, along with tools to compare alternatives and incentive to opportunities and gains in competitiveness, aimed at increasing the share of renewable energy resources in the country.

**KEY WORDS:** Energy planning, renewable energy, energy efficiency.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 4.1 - Curva de Carga Composta.....	61
FIGURA 4.2 - Caracterização da Geração.....	62
FIGURA 4.3 - Curva de Carga Típica Diária.....	64
FIGURA 4.4 - Eólica X Hidráulica – Nordeste.....	75
FIGURA 4.5 - Distribuição Geográfica do Potencial de PCH.....	76
FIGURA 4.6 - Mapa de Ventos do Brasil.....	77
FIGURA 4.7 - Potencial Eólico Brasileiro.....	77
FIGURA 5.1 - CO <sub>2</sub> (t/ano) e Diesel (m <sup>3</sup> /ano) evitados – Rondônia.....	103
FIGURA 6.1 - Diagrama - Definição e aplicação dos fatores e índices de desempenho global.....	112
FIGURA 6.2 - Diagrama Esquemático dos procedimentos Metodológicos .....	114
FIGURA 6.3 - Complementaridade Regimes Hidrológicos e Eólicos no NE do Brasil.....	121
FIGURA 6.4 - Centróides de Curvas de Carga Compostas.....	122
FIGURA 6.5 - Potência Disponibilizada, Assegurada e Requerida.....	124
FIGURA 6.6 - Interligações Energéticas Interregionais no Brasil.....	125
FIGURA 6.7 - Evolução e projeção da carga de Energia no Brasil.....	127
FIGURA 6.8 - Crescimento da Carga X Capacidade de Armazenamento Máximo.....	128
FIGURA 6.9 - Projeção de Crescimento da Carga por subsistemas do SIN.....	129
FIGURA 6.10 - Evolução da Capacidade Instalada: Hidrotérmica + Renováveis.....	129
FIGURA 7.1 - Situação Atual e Evolução dos Empreendimentos de Geração no Brasil.....	146
FIGURA B.1 - Perdas de velocidade do Vento no Aerogerador.....	192
FIGURA C.1 - Centróide de uma Curva de Carga.....	196
FIGURA C.2 - Centróides de Curvas de Carga Compostas.....	196
FIGURA C.3 - Curva de Carga de um suprimento típico.....	198
FIGURA C.4 – Gráfico de Duração da Demanda.....	200

FIGURA C.5 - Cálculo da Energia sob a Curva de Duração.....	201
FIGURA C.6 - Curva Demanda–Energia e Fator de carga.....	204

## LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1 - Principais problemas Ambientais.....	38
TABELA 4.1 - Empreendimentos do PROINFA.....	70
TABELA 4.2 - Potencial de Redução de CO <sub>2</sub> através de ganhos de eficiência tecnológicos no período 2003 a 2050.....	70
TABELA 4.3 - Geração – Capacidade Instalada e Fator de Capacidade, $F_{cap}$ , de Autoprodutores de Energia.....	80
TABELA 5.1 - Potencial de Implantação de PCH no Brasil.....	96
TABELA 5.2 - Parque Gerador dos Sistemas Isolados – 2010.....	98
TABELA 6.1 - Intercâmbios Regionais de Energia no Brasil.....	126
TABELA 7.1 - Efeito das PCHs.....	133
TABELA 7.2 - Geração de Energia no Brasil – por categorias – 2011.....	147
TABELA 7.3 - Geração de Energia no Brasil – em construção e outorgadas (por categorias) – 2011.....	147
TABELA 7.4 - Fatores de Capacidade, de Integrabilidade, de Renovabilidade e de Impactos médios representativos.....	156
TABELA C.1 - Exemplo ilustrativo das propriedades de uma curva de carga.....	198
TABELA C.2 - Frequência de Demanda de Energia.....	199
TABELA C.3 – Cálculo da Energia sob a Curva de Duração.....	203

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAI	– Impacto Ambiental Integrado
AAD	– Impacto Ambiental Distribuído
ACL	– Ambiente de Contratação Livre
ANA	– Agência Nacional de Águas
ANEEL	– Agência Nacional de Energia
ANP	– Agência Nacional do Petróleo
APE	– Auto-Produtor de Energia
AWWA	– American Water Works Association
CCC	– Conta de Consumo de Combustíveis
CCPE	– Comitê Coordenador do Planejamento da Expansão de Sistemas Elétricos
CEPEL	– Centro de Pesquisas Elétricas
CERPCH	– Centro Nacional de Referência em Pequenas Centrais Hidroelétricas
CEMIG	– Companhia Energética de Minas Gerais
CLAGTEE	– Congresso Latino Americano de Geração e Transmissão de Energia Elétrica
CONPET	– Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural
CRESESB	– Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sergio de Salvo Brito
EIA/RIMA	– Estudo de impactos Ambientais/Relatório de Impactos ao Meio Ambiente
EPE	– Empresa de Pesquisas Energéticas
ICB	– Índice de Custo Benefício
IEA	– International Energy Agency
IDAM	– Instituto de Desenvolvimento Agropecuário do estado do Amazonas
ISA	– Índice de Sustentabilidade Ambiental
ISU	– Índice de Sustentabilidade
ISUH	– Índice de Sustentabilidade Hidroelétrico
ISULT	– Índice de Sustentabilidade de uma Linha de Transmissão



MME	– Ministério das Minas e Energia
ONS	– Operador Nacional do Sistema
OPEP	– Organização dos Países Exportadores de Petróleo
PAC	– Programa de Aceleração do Crescimento
PAEDA	– Parque de Alternativas Energéticas para o Desenvolvimento Auto-Sustentável
PCH	– Pequena Central Hidroelétrica
PDE	– Plano de Desenvolvimento Energético
PIB	– Produto Interno Bruto
PIR	– Planejamento Integrado de Recursos
PROINFA	– Programa de Incentivo a Fontes Alternativas de Energia
PRONEF	– Programa Nacional de Eficiência Energética
RAS	– Relatório Ambiental de Sustentabilidade
SIN	– Sistema Interligado Nacional
SIPOT	– Sistema de Informações do Potencial Hidrelétrico Brasileiro
UFPB	– Universidade Federal da Paraíba
UFRJ	– Universidade Federal do Rio de Janeiro
UHE	– Usina Hidroelétrica
USP	– Universidade de São Paulo
UNIFEI	– Universidade Federal de Itajubá
WEC	– World Energy Council
WEO	– World Energy Outlook

## LISTA DE SÍMBOLOS

- $F_{\text{Cap}}$  - Fator de Capacidade
- $F_{\text{Car}}$  - Fator de Carga
- $F_{\text{EG}}$  - Fator de Eficiência Global
- $F_{\text{EGI}}$  - Fator de Eficiência Global de fontes integradas
- $F_{\text{ER}}$  - Fator de Eficiência da Rede
- $f_{\text{imp}}$  - Fator de impacto ambiental
- $f_{\text{int}}$  - Fator de integrabilidade ou complementaridade
- $f_{\text{ren}}$  - Fator de renovabilidade
- $r$  - rendimento do conjunto turbina-gerador (específico de cada planta)
- $\rho$  - rendimento do conjunto turbina-gerador (médio de um conjunto)
- $\rho_{\text{I}}$  - peso percentual relativo - sistemas não convencionais integrados
- $\rho_{\text{R}}$  - peso percentual relativo – rede elétrica
- $T$  - Tempo (período anual ou fração)

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1.....</b>	<b>22</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>22</b>
1.1 Motivação e fundamentação da abordagem.....	22
1.1.1 Objetivo do trabalho.....	24
1.2 Justificativa: Planejamento Energético Dinâmico.....	25
1.3 Aspectos Metodológicos: Planejamento Energético no Brasil.....	26
1.4 Hipóteses e Discussão.....	28
1.5 Estruturação, etapas e escopo do trabalho desenvolvido.....	31
<b>CAPÍTULO 2.....</b>	<b>33</b>
<b>2 MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA: POTENCIALIDADES E DINAMISMO.....</b>	<b>33</b>
2.1 O Conceito de Planejamento Energético.....	33
2.2 Análise das etapas do planejamento energético.....	38
2.2.1 Planejamento: Estrutura, Projeção e Dinâmica.....	40
2.2.2 A dualidade entre duas vertentes.....	41
2.2.3 O aumento da complexidade no planejamento energético.....	42
2.2.3.1 Planejamento Estruturante.....	44
2.2.3.2 Planejamento Estático ou de Projeção.....	44
2.2.3.3 Planejamento Dinâmico.....	45
<b>CAPÍTULO 3.....</b>	<b>46</b>
<b>3 FERRAMENTAS DO PLANEJAMENTO ENERGÉTICO.....</b>	<b>46</b>
3.1 Aspectos Históricos e Atualidade.....	46
3.1.1 Advento e desenvolvimento do planejamento energético.....	46
3.2 Caracterização Geral dos Modelos atuais e sua Aplicação no Brasil.....	51
3.3 As Incertezas no Planejamento Energético.....	54
<b>CAPÍTULO 4.....</b>	<b>59</b>
<b>4 PLANEJAMENTO INTEGRADO E PLANEJAMENTO DINÂMICO - EFICIÊNCIA COMO PROCESSO E META.....</b>	<b>59</b>
4.1 Recursos para a Eficiência Energética.....	59
4.1.1 Curvas de carga como ferramenta de análise de desempenho.....	60
4.2 Ferramentas de análise e avaliação.....	63
4.3 Dinâmica das Transformações: A Matriz Energética Mundial e a Brasileira.....	66
4.4. Planejamento de Sistemas Alternativos no Brasil.....	68
4.5 Suprimento Integrado: Sistemas Isolados ou Interligados à Rede.....	74
4.6 Suprimento Renovável, Complementaridade e Integração de Sistemas Energéticos.....	75
4.6.1 Potencialidades.....	78
4.6.2 Ferramentas de análise: eficiência de sistemas de fontes renováveis múltiplas.....	79
4.7 Fatores Agregados: Fator de Eficiência Global.....	81
4.8 Abordagem ampliada: Planejamento Integrado e Dinâmico.....	86

<b>CAPÍTULO 5.....</b>	<b>88</b>
<b>5 PANORAMA E CONFLITOS NO PLANEJAMENTO ENERGÉTICO.....</b>	<b>88</b>
5.1 Implantação de PCHs em Municípios Isolados no Brasil.....	88
5.2 Análise de oportunidades.....	91
5.3 Potencial para implantação de PCHs no Brasil.....	96
5.4 Análise dos impactos.....	98
5.4.1 PCHs no Estado de Rondônia: Um caso de sucesso e integração.....	102
5.4.2 PCHs no Estado do Mato Grosso: Um Caso de Conflitos Sócio-Ambientais....	104
5.5 Perspectivas: PCHs no Brasil – Impactos e Potencialidades.....	107
<b>CAPÍTULO 6.....</b>	<b>110</b>
<b>6 ESTRUTURAÇÃO E APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA..</b>	<b>110</b>
6.1 Estruturação e descrição das etapas.....	110
6.2 Aplicação: Padrões e Referências.....	115
6.2.1 Identificação de padrões de desempenho: energéticos complementares ou substitutos.....	115
6.2.2 Análise e caracterização de Grandes Hidrelétricas – tomadas como ‘padrão’ - pelo critério do índice Eficiência Global.....	117
6.2.3 Análises e caracterização das Pequenas Centrais Hidrelétricas, PCHs, e Unidades de Geração Eólica – tomadas como ‘referência’ – pelo critério do índice do Fator de Eficiência Global.....	119
6.3 Fator de Eficiência Global – Reavaliação de projetos de PCHs.....	119
<b>CAPÍTULO 7.....</b>	<b>130</b>
<b>7 RESUMO DA METODOLOGIA E APLICAÇÃO ILUSTRATIVA.....</b>	<b>130</b>
7.1 Emprego da abordagem proposta para avaliação de experiências concretas.....	130
7.2 PCH Cachoeira: Um Caso de Sucesso e Integração.....	132
7.3 PCH Luiz Dias-MG: Uma Escola sobre Energia e Meio Ambiente.....	134
7.4 Embargo da Usina Hidrelétrica de Cubatão – SC.....	136
7.4. Considerações sobre o uso, limitações e perspectivas de aplicação das ferramentas propostas para as PCHs.....	142
7.5 Empreendimentos Eólicos e suas perspectivas de uso integrado.....	143
7.5.1 Exemplos de parques Eólicos e as suas características.....	148
7.6 Exemplificação: Aplicação da Metodologia.....	152
<b>CAPÍTULO 8.....</b>	<b>159</b>
<b>8 APLICABILIDADE DIANTE DAS PERSPECTIVAS ENERGÉTICAS BRASILEIRAS.....</b>	<b>159</b>
8.1 O uso de Indicadores de Desempenho e a necessidade de Índices Quantitativos Específicos para a Avaliação do Desempenho Global de Energéticos.....	159
<b>CAPÍTULO 9.....</b>	<b>166</b>
<b>CONCLUSÕES – SUGESTÕES – INDICAÇÕES PARA ESTUDOS CONTINUADOS.....</b>	<b>166</b>

<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>169</b>
<b>APÊNDICES.....</b>	<b>186</b>
<b>APÊNDICE A.....</b>	<b>187</b>
<b>APÊNDICE B.....</b>	<b>190</b>
<b>APÊNDICE C.....</b>	<b>194</b>

## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO

#### 1.1 Motivação e fundamentação da abordagem

Com características de um singular potencial energético, em sua grande parte sustentável, o Brasil vem ocupando, de forma crescente, o centro das atenções mundiais quando o assunto é suprimento energético renovável, diante do qual se depara com uma tarefa à altura destes recursos estratégicos: equacionar o seu planejamento energético de forma a compatibilizar a participação das fontes convencionais com as renováveis na sua matriz energética. O incremento da demanda suprida através de fontes convencionais – dos quais os seus recursos petrolíferos são projetadamente promissores e em expansão – confronta-se com a desejável inclusão de parcela significativa, e de forma crescente, de fontes renováveis. Somam-se a este problema as repercussões e resistências aos projetos de grandes hidrelétricas – que tendem a sofrer atrasos em seus cronogramas, por conta de impactos sociais e políticos, entre os quais as contendas jurídicas ambientalistas. O que pode comprometer os planos de crescimento econômico projetados. Pelo que compete às instituições, órgãos de governos e agentes do setor, voltados para o planejamento, programar políticas de grande alcance - e médio e longo prazos - de modo a conciliar o aumento da participação das fontes renováveis com os requisitos de potencialidade, disponibilidade, oportunidade, competitividade e crescimento econômico.

Ações institucionais e governamentais orientadas para a eficiência energética, conservação da energia e economia da energia, através da atualização tecnológica e busca de ganhos via integração de redes de transmissão e distribuição - ao lado da incorporação de geração distribuída na periferia do Sistema Integrado Nacional - demonstram não serem, por si só, suficientes. O dimensionamento projetado da participação das fontes renováveis e o atendimento da demanda crescente exigem um esforço singular de aplicação das tradicionais, novas e em desenvolvimento

modalidades de ferramentas de planejamento energético. Ao planejamento energético integrado vão sendo incorporados recursos cada vez mais sofisticados, propiciados pelas técnicas computacionais – amplificação da inteligência, computação evolucionária e algoritmos genéticos, entre outros – compatíveis com o grau de complexidade crescente do problema. Contudo, duas etapas do planejamento, pela sua abrangência e significação na eficácia de sua aplicação, merecem crucial tratamento: os estudos e análises que precedem a obtenção de soluções de planejamento ótimas, ou sub-ótimas, e as considerações, ponderações e determinantes indispensáveis para a aplicação das soluções viáveis computadas, ou seja, a etapa designável como o *pós-ótimo*. Decorre, pois, da natureza abrangente e dinâmica das variáveis envolvidas a complexidade desta etapa – assim como da caracterização do cenário, na etapa anterior à obtenção da solução ótima, designável, por isto, como etapa *pré-ótimo*. Às políticas de estímulo à conservação, economia e eficiência energéticas, estão sendo somadas campanhas de interação entre os agentes do setor. Tendências de comportamento, como a educação voltada para o uso eficiente da energia – assim como a consciência dos impactos e alternativas ambientais – são cada vez mais consideradas na implantação de políticas energéticas. Crucialmente, no Brasil, o tratamento adequado destes itens pode delimitar, ou atenuar, conflitos potencialmente significativos em curso ou em perspectiva. Abordar a importância – com as implicações e repercussões da busca de eficácia através do planejamento energético integrado – destes itens é o tema do trabalho que se apresenta. Através de um tratamento metodológico de modo que se possa dimensionar os aspectos significativos do problema de implantação dinâmica – com os contínuos ajustes de percurso – das soluções ótimas ou viáveis projetadas. Diante do qual, além do enfoque onde são consideradas as etapas que precedem e as que decorrem da definição dos instrumentos formais e oficiais – como as projeções do Plano de Desenvolvimento Energético, Plano 2020, Plano 2030, entre outros – ferramentas de tratamento conjunto de energéticos distintos também merecem abordagem metodológica adequada, a partir desta percepção. Avaliar os desempenhos de fontes energéticas renováveis, alternativas, que envolvem diferentes impactos tecnológicos, ambientais, econômicos e sociais, requer o uso de indicadores que

permitam uma eficaz comparação – em termos de eficiência energética<sup>1</sup>, e também, necessariamente, numa dimensão de eficiência ampliada – entre eles. Daí a proposição de indicadores desta natureza, como parte de uma abordagem de planejamento energético dinâmico, voltados para alguma forma de quantificação dos efeitos, benefícios e impactos relacionados à decisão de optar por um, ou um conjunto de sistemas energéticos, entre as demais opções.

### **1.1.1 Objetivo do trabalho**

O objetivo do trabalho consiste na elaboração de uma proposta metodológica para avaliação da dinâmica da transformação da matriz energética brasileira diante da dicotomia estabelecida entre a expansão da geração, conforme os moldes atuais, e a necessária diversificação – através do incremento da participação dos energéticos renováveis, tais como energia eólica e sistemas distribuídos na dimensão das Pequenas Centrais Hidroelétricas, PCHs. Outros sistemas, tais como os de geração solar fotovoltaica e de bioeletricidade também são citados. Dada a significativa participação da energia eólica e da energia disponibilizada pelas PCHs, cada uma com uma participação atual na matriz energética brasileira, respectivamente, de 1% e 3%, aproximadamente, e com potenciais estimados para a energia eólica da ordem de 143.000 MW (ANEEL, 2008) e de em torno de um quarto disto para as pequenas hidrelétricas – entre valores teóricos, inventariados e ou já implantados (TIAGO F, 2006) – estes energéticos são, de fato, os estudados no trabalho. Os demais mencionados ainda possuem participação muito menor, e de pouca significação no suprimento energético do país – o que os coloca, atualmente, na posição de expectativa de potencial disponibilizável a partir da disseminação de tecnologias e hábitos de produção e consumo apropriados (o que se projeta que venha ocorrer numa etapa que transcende a dimensão da abordagem atual do trabalho proposto).

---

<sup>1</sup> O termo eficiência energética é aqui empregado numa acepção ampla, envolvendo desde a caracterização técnica, relacionada com o rendimento energético de sistemas de geração ou consumo de energia (carga), como também designando o desempenho econômico em termos da relação custo/benefício – quando se fizer uso de uma acepção mais estrita ou específica, observação constará no texto.



## 1.2 Justificativa: Planejamento Energético Dinâmico

O planejamento energético dinâmico é considerado neste trabalho através de uma metodologia de duas etapas: a) avaliação dos levantamentos que antecedem e b) do que decorre do planejamento de metas e proposição de indicadores quantitativos de análise.

De um modo geral, no planejamento energético, em quaisquer das suas modalidades, níveis de detalhamento ou abrangência, entre a etapa de processamento computacional e a de elaboração de planos e metas – que orientarão e definirão as prioridades e ações governamentais, institucionais e de demais agentes do setor – duas se intercalam, de forma crucial e imprescindivelmente: a etapa que precede a busca de soluções ótimas e a que decorre dos resultados ótimos, sub-ótimos ou viáveis obtidos, de onde serão definidas os planos, metas e ações pragmáticas e efetivamente implementáveis ou aplicáveis, de projeção e de fato – sejam como objetivos a serem alcançados, normas e diretrizes padronizadas de procedimento e conduta ou mesmo norma juridicamente embasadora das práticas do setor. Os recursos de planejamento evoluem para fazer frente à complexidade crescente do sistema energético como um todo – como também, subsistemas e segmentos ou cadeias de geração-consumo, com diversos níveis de complexidade e atualização tecnológicas - sobretudo em um país de dimensões continentais e de ampla variedade e disponibilidades de fontes de energia, como o Brasil. Soma-se a estas singularidades a condição de país emergente o que corresponde à adoção de metas arrojadas de crescimento econômico, equalização do suprimento energético na vasta diversidade de suas regiões e significativa, marcante e crescente inserção na economia mundial globalizada.

Surge, pois, diante das alternativas disponíveis – enquanto potenciais energéticos reconhecidos, inventariados ou em fase de levantamentos prospectivos – o problema da tomada de decisão sobre qual configuração, ou conjunto de energéticos a serem explorados, deve ser priorizado e definido como o mais viável ou mais competitivo. Onde critérios, avaliações de eficiência e, indispensavelmente, indicadores quantitativos devem ser usados para poder serem computados no rol das alternativas exequíveis – tal como os sofisticados e complexos sistemas de processamento de

dados e definição de cenários projetados são utilizados no planejamento energético hoje em dia. Os valores, por exemplo, da emissão de CO<sub>2</sub> evitados, seja de forma consolidada conforme são publicados em boletins oficiais de dados do Ministério das Minas e Energia do Brasil (MME, 2011) – ou em empreendimentos específicos (NETO; MORET, 2008), são utilizados como indicativos da participação de energéticos renováveis na matriz energética brasileira. Mas, o que representam estes dados, em termos relativos, não é informado – ou seja, o quanto se evitou de emissão de CO<sub>2</sub>, diante do que seria possível evitar? De outra forma, qual o potencial de contenção da emissão de CO<sub>2</sub> e qual o significado das estatísticas apresentadas nos boletins oficiais? O mesmo se aplica quanto ao volume de diesel evitado, quando geradores diesel são substituídos por Pequenas Centrais Hidroelétricas, PCHs – ou pela instalação da planta de um outro energético renovável, como uma Central Geradora Eólica<sup>2</sup>.

### **1.3 Aspectos metodológicos: Planejamento Energético no Brasil**

A elaboração e desenvolvimento deste trabalho é realizado, fundamentalmente, através da execução de cinco etapas.

Inicialmente é aplicado o critério técnico-científico de reconhecimento de cenários de planejamento - para caracterização do panorama energético brasileiro - através de levantamentos, análises e estruturação dos dados compilados, de forma a consubstanciar as hipóteses elaboradas. A etapa seguinte consiste na validação, reconhecimento (da atualidade e pertinência das hipóteses) e consolidação da proposta inicial através de verificação do estado da arte do planejamento energético – por intermédio de pesquisa na literatura técnica consagrada (conforme se faz constar no referencial bibliográfico utilizado). Tais procedimentos se fizeram acompanhar, também, do uso de estatísticas oficiais, contatos (apresentação e discussão de trabalhos

---

<sup>2</sup> As expressões utilizadas nesta tese para designar a geração eólica estarão se referindo, indistintamente, a uma unidade de geração, ou a um sistema de geração deste tipo, composto por várias unidades – designam, pois, as características gerais desta modalidade de geração de energia, ou, como se designará, às vezes, genericamente, o sistema energético desta natureza.

acadêmicos e profissionais) e verificações “in loco” - que permitiram o discernimento das diretrizes da abordagem de uma metodologia de planejamento, conforme é proposto e apresentado. Deste modo, o foco do resultado almejado é a *proposição de uma metodologia de avaliação, elaboração e estruturação de diretrizes - verificáveis de forma contínua e dinâmica - do planejamento energético aplicável no Brasil*. Sendo este, portanto, o objeto que vem a se constituir o que se propõe através da realização e elaboração das conclusões do presente trabalho.

Os meios, recursos, estrutura e disponibilidades da instituição acadêmica onde foi realizado o trabalho, o programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica da FEG-UNESP, envolveu bibliografia básica – de fundamentação – e específica, acessível a partir da instituição, bem como de fontes externas acessáveis, que propiciaram a exequibilidade plena do trabalho proposto.

Itens de execução do trabalho:

- 1) Levantamento bibliográfico para percepção, avaliação, prospecção e atualização do estado da arte, do que decorre o processo de depuração, determinação e especificação dos elementos e aspectos mais relevantes e cruciais do tema tratado - conjuntamente com disciplinas da área e correlatas, oferecidas pelo programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica da UNESP - Guaratinguetá.
- 2) Acesso aos bancos de dados – artigos, (periódicos especialistas e relacionados ao tema do trabalho); Consultas a entidades oficiais, supridoras de dados e estatísticas de geração, processamento e consumo de energia (notadamente daqueles oriundos das fontes e sistemas de energia renováveis e sustentáveis) – assim como compilações e análises de trabalhos anteriores realizados – através da atividade de pesquisa acadêmica realizados na área.
- 3) Participação em encontros científicos, para troca de experiências, intercâmbios e apresentação, discussão e participação dos problemas tratados no trabalho.

- 4) Reconhecimento de plantas, projetos, protótipos e experimentos implantados ou em implantação.
- 5) Elaboração de relatórios, artigos e comunicações tecno-científicas, sobre o tema, para publicação e disseminação no meio envolvido.

#### 1.4 Hipóteses e Discussão

*Hipótese primeira* - A atualização da matriz energética brasileira, enquanto projeção de equacionamento orientado para a otimização de exploração e usos de recursos físicos (fontes energéticas), adequados aos recentes e paulatinos ganhos propiciados pela incorporação de novas tecnologias, comporta a sua transformação através da substituição de sistemas de geração, processamento e transporte – como recurso e corolário da orientação pela busca de ganhos de eficiência – voltados para amplas modalidades de consumo. O acréscimo da eficiência energética global, através da realização de ganhos de produtividade (conservação da energia, aumento da eficiência energética), redução de custos - pela ampliação da escala de consumo de novos energéticos - tem incorporado, crescentemente, sistemas de geração alternativo-distribuídos, tais como as PCHs, unidades de Geração Eólica, Biomassa (enfatizando o interesse do trabalho na bioeletricidade, através do aproveitamento de resíduos em sistemas de co-geração ou sistemas de ciclo combinado em perspectiva). Numa escala menor, também podem ser considerados os Sistemas Solares (sistemas fotovoltaicos e termo-solares) – porém, não tratados, especificamente, neste trabalho devido à delimitação do tema e das suas não significância, no âmbito da proposta considerada, na matriz energética brasileira atual. O que, também, corresponde a interesse de ampliação da participação das energias renováveis numa escala mundial - o que tem se traduzido na ampliação da energia proveniente de fontes renováveis, porém com nenhum país apresentando potencialidades deste gênero comparáveis às do Brasil. O que tem colocado o país no foco de fóruns internacionais, voltados para a sustentabilidade econômica e ambiental - orientações para a redução da emissão de gases de efeito estufa do Protocolo de Kyoto (procedimentos de compensação pela

contabilização de contenção de gases da combustão de combustíveis fósseis, “Crédito de Carbono”), entre outros.

**Hipótese segunda** - A definição de critérios de identificação (índices de eficiência compostos) que permitam estabelecer e averiguar, através de algoritmos de escalonamento, a caracterização e reconhecimento de ganhos eficazes de eficiência energética global, permitirá a orientação para o planejamento energético, suportado por diretrizes consistentes e de resultados projetados para médio e longo prazos. Visando o estímulo do acréscimo da participação de sistemas energéticos mais viáveis, técnica e economicamente - e ambientalmente mais compatíveis com os espaços físico-geográficos, característicos de seus processamentos e usos.

**Discussão:** Atualmente o tema é imperativo e freqüente em conferências, congressos, seminários, simpósios e audiências públicas, promovidos por instituições governamentais e não-governamentais, ligados à pesquisa, à produção tecnológica e à produção industrial – voltados para o desenvolvimento de várias áreas de conhecimento e suas aplicações, conjugadas e correlatas: geração de energia, eficiência energética, conservação da energia, planejamento energético e impactos ambientais, entre outros. O suprimento energético sustentável, frente às novas tecnologias, é imposição que se dissemina nos diversos elos da cadeia de produção, processamento e transporte de energia – numa escala que comporta, de forma crescente, as mudanças climáticas. Pautam o planejamento energético, em vários níveis, as previsões de escassez (e escalada de preços) das principais fontes energéticas supridoras da maior parte do consumo (no mundo) e no Brasil – com a necessária mudança de paradigmas, dos sistemas concentrados (de grande porte) para os distribuídos (de pequeno porte). Os impactos correspondentes às perspectivas trazidas pelas novas tecnologias, redimensionamento dos sistemas energéticos e a substituição e/ou incorporação de novos (PCHs, Eólicos, Bioeletricidade e Solares), carecem de avaliação consistente, análise criteriosa, de forma contínua, para a determinação consistente de diretrizes orientadoras das soluções mais atrativas, num horizonte de planejamento de anos e décadas.

O registro de trabalhos, em termos de artigos tecno-científicos, em várias esferas e níveis da comunidade científica – abrangendo desde o desenvolvimento de

ponta (teses e trabalhos acadêmicos – diretamente ligados, ou não, a setores da área e das atividades econômica e de políticas governamentais afins) até as interações entre os avanços, descobertas e incorporações de trabalhos científicos tem sido incrementados, assim como a respectiva divulgação. Além de que, também se constata, ocorre um certo nível de desenvolvimento, apropriação e incorporação tecnológica, como produtos (softwares, rotinas de programação e aplicativos de monitoramento e supervisão em sistemas de processamento da energia – geração, transmissão e distribuição de energia), pela indústria – o que revela uma demanda crescente. Bem como a assimilação por programas, planos, regulamentação e normas, por órgãos e entidades de planejamento e execução de metas institucionais oficiais, de gestão pública. Constituem recursos indispensáveis à obtenção de desenvolvimentos consolidados e ganhos de eficiências reais. Sendo este o espaço onde o trabalho proposto visa se inserir, como contribuição, num universo vasto e continuamente atualizado, de participação acadêmica – através, seja de interação conveniada com instituições e entidades da área, proficuamente interagindo, durante e após o trabalho proposto, e da produção e divulgação de literatura técnica, crescentemente acessível a um público em expansão (comunidade científica, consumidores e usuários finais dos serviços e produtos energéticos).

O universo de aplicação e dedicação do trabalho proposto é passível de ser definido com mais especificidade, através dos desdobramentos propostos, em desenvolvimentos conseguintes. A escala de aplicação da metodologia proposta pode ser um país – o Brasil, objetivamente – um bloco de países (a América Latina, por exemplo), uma região geográfica (entre as da divisão político-administrativas do Brasil, por exemplo) ou uma unidade administrativa mais específica, um estado ou um município.

A confecção da documentação formal do trabalho foi feita através do registro técnico, científico e bibliográfico do tema tratado, relatando os pressupostos levantados inicialmente, as hipóteses iniciais sendo reafirmadas e atualizadas no percurso de desenvolvimento e refinação da pesquisa. Deste modo, as diretrizes da abordagem e desenvolvimento foram especificadas e consolidadas, durante o desdobramento da pesquisa, chegando-se assim à tese estabelecida. Da mesma forma,

desenvolvimentos posteriores decorrentes, em linhas de pesquisas afinadas com o que é proposto, haverão de ser realizados, com resultados a serem alcançados de forma a ampliar a aplicação de metodologias similares - o que é inerente, e premente, ao planejamento energético que priorize uma abordagem dinâmica, conforme é desenvolvida neste trabalho. Espera-se que das conclusões, orientações e indicações, levantadas e constatadas - verificadas e construídas através da divulgação no meio acadêmico - assim com possíveis repercussões possam ser apreciadas, desenvolvidas e aplicadas pelos órgãos e entidades de desenvolvimento (associações e agentes ligados aos serviços de energia), na área e âmbito do tema do trabalho.

### **1.5 Estruturação, etapas e escopo do trabalho desenvolvido**

No capítulo 1 são apresentados a motivação, o objetivo e a fundamentação do tema tratado ao tempo em que é que exposto o enfoque dinâmico no planejamento energético dedicado à realidade atual brasileira em face da dicotomia: condicionantes e limitações dos recursos energéticos convencionais e a perspectiva de ampliação da participação dos energéticos renováveis.

No capítulo 2 é caracterizada a matriz energética brasileira, tal qual definida pelas estatísticas oficiais, sob o enfoque da dicotomia anteriormente apresentada – do que decorre a identificação das duas vertentes delineadoras da metodologia proposta: as potencialidades energéticas reconhecidas no país e a premência da necessária abordagem de tratamento dinâmico com que deve ser tratado o problema do planejamento energético brasileiro.

Nos capítulos 3, 4 e 5 são desenvolvidos, respectivamente, os seguintes tópicos: os recursos históricos e atuais, gerais, do planejamento energético disponíveis aos agentes do planejamento energético, ao nível do estado da arte; o conceito e o processo do planejamento integrado de recursos, seguido da definição e caracterização do planejamento dinâmico, apresentados como recursos da busca pela eficiência energética aplicada ao parque energético brasileiro e, por último, é apresentado o panorama atual dos conflitos decorrentes do atual modelo, através de exemplos que

expõem as limitações que lhe são inerentes – de onde são constatados problemas de estruturação no planejamento energético atualmente em vigor no país.

No capítulo 6 são explanados os critérios de referências e padrões de eficiência energética adotados, através de indicadores de eficiência ampliados – quando se considera o uso conjunto de fontes energéticas de naturezas distintas – através de exemplos simplificados de aplicação da metodologia proposta.

Nos capítulos 7 e 8 são apresentados, respectivamente: um resumo da metodologia aplicada, de forma a ilustrar as suas etapas, significado, aplicabilidade e abrangência, seguido de uma discussão, onde se fundamenta a aplicabilidade da metodologia em face das perspectivas energéticas brasileiras consideradas. Do que segue a conclusão, capítulo 9, em termos da importância dos resultados obtidos pela estruturação metodológica proposta, tanto na dimensão de ferramenta de análise, como, também, no que se constitui como recurso para definição de um planejamento energético dinâmico, mais compatível com os problemas e oportunidades apresentadas pelas projeções futuras da matriz energética brasileira. Por fim, sugestões, desdobramentos e indicações para estudos continuados são também considerados.



## **CAPÍTULO 2**

### **2 MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA: POTENCIALIDADES E DINAMISMO**

#### **2.1 O Conceito de Planejamento Energético**

O conceito de planejamento é suficientemente amplo para envolver, praticamente, a totalidade da “atividade humana”, identificando-se com o desenvolvimento da linguagem e a capacidade humana de construir o que se designa como civilização. Indissociável, por conseguinte, dos conceitos de ‘sistema’, ‘estado’ e ‘movimento’, daí a afinidade com a idéia de tempos: o atual, início e referência da atividade do planejamento, o anterior, alicerce de ligação de causalidade entre os demais e o tempo futuro – o qual está ligado como lugar de realização de metas, objetivos, marcos e disposições de projeção. O planejamento energético consiste, pois, da atividade específica de planejamento dedicada ao equacionamento das necessidades energéticas, o suprimento destas necessidades e a forma de como realizar a exploração dos meios e recursos de modo a satisfazer a demanda de uma sociedade (localidade, estado, região – conforme a ênfase e a abrangência tratados) num determinado horizonte espaço-temporal (geográfica e cronologicamente definidos), segundo critérios de economicidade, eficiência e satisfação das necessidades humanas a ele relacionados.

O planejamento da expansão de sistemas energéticos envolve um conjunto considerável de repercussões sociais de tal forma profundas e marcantes que, necessariamente, é feito sob a égide de assunto eminentemente estratégico. Daí a importância das contribuições dos modos de planejamento, em todos os níveis, para a produção de energia, em diversas escalas e nas suas diferentes formas. O presente trabalho se propõe a analisar, sob a ótica do planejamento da expansão da geração do setor elétrico brasileiro, o problema do suprimento energético através de uma abordagem metodológica voltada para o enfoque de duas vertentes, quais sejam: **a)** os

sistemas convencionais – hidrelétricas de grande porte e sistemas termelétricos usuais – e **b)** os sistemas renováveis de pequeno e médio porte, ou distribuídos – PCHs, Usinas Eólicas, Sistemas de Bioeletricidade e Sistemas Solares. Sistemas distribuídos estes, considerados enquanto alternativas energéticas, que tem se tornado viáveis e promissores com o advento de novas tecnologias e a economia de escala decorrente da disseminação de seus usos. Com ênfase, específica, nos sistemas renováveis representados pelas PCHs e Geradores Eólicos – por já serem representativos de um considerável volume de energia disponibilizada, e em franca expansão, e estarem presentes na computação e estatísticas da matriz energética brasileira atual. Contudo, as considerações levantadas e as indicações projetadas, enquanto delineadoras das tendências e perspectivas dos sistemas renováveis, como um todo, são válidas para as demais alternativas energéticas. O aspecto de planejamento estratégico do setor energético também é considerado, como característica crucial do sistema de produção-consumo de energia, que pode servir de embasamento para a definição de políticas e programas de atualização e de metas nas área e setores correlatos. Sobretudo ao se constatar o interesse atual em se projetar alternativas, em face da constatação de previsível escassez dos recursos energéticos – sobremaneira daqueles que hoje movem, predominantemente, a atividade humana e num ritmo preocupantemente crescente.

Dentre as várias acepções do planejamento energético, sobretudo quando são consideradas aquelas dedicadas aos aspectos mais abrangentes e cruciais desta atividade - praticados por especialistas que analisam, sejam os itens temáticos principais, e mesmo, aqueles pontuais, mas, de indiscutível relevância - considerou-se, neste trabalho, a sistematização das etapas no planejamento, como estabelecem consagrados autores na área (FORTUNATO et al, 1990):

O processo de planejamento pode ser definido como uma análise sistemática e ordenada de informações face aos objetivos desejados, com o objetivo de subsidiar a tomada de decisões. No caso do planejamento da expansão de sistemas de geração de energia elétrica, as principais informações a serem tratadas são as características físico-operativas e econômicas das fontes de geração e as previsões de consumo do mercado. As decisões a serem tomadas envolvem a alocação temporal e espacial das capacidades de geração necessárias para atender ao crescimento da demanda ao longo do horizonte de planejamento. A função objetivo é assegurar o atendimento do mercado de energia elétrica, dentro de padrões pré-estabelecidos de qualidade, geralmente a mínimo custo (FORTUNATO et al, 1990).

O que é perfeitamente condizente com a abordagem tratada na metodologia proposta. Isto se deve à dimensão ao mesmo tempo estratégica – em seus aspectos políticos e processuais – eminentemente tecnológica e crucialmente econômica (por envolver agentes públicos e privados em todos os segmentos da atividade energética). Correspondendo à maturação de grandes volumes de investimentos, em geral de longa maturação e extenso tempo de retorno - com a necessidade de complexa e sofisticada coordenação – razão pela qual o sistema energético dos países, em geral, é fortemente regulamentado:

A formulação de políticas públicas na área de energia é uma típica atividade de governo, enquanto o exercício da regulação constitui-se em uma atividade de Estado (BAJAY, 2004a).

Pelo que, segundo este mesmo autor, atuante e especialista na área no Brasil, há um papel do estado inerente a esta atividade:

O planejamento da expansão de sistemas energéticos tem como objetivos auxiliar na formulação de políticas públicas, estabelecer referências e diretrizes, indicativas ou normativas, de planejamento para os agentes que atuam, direta ou indiretamente, na indústria de energia, e propiciar balizadores para a mensuração de indicadores de eficiência e qualidade, pelos órgãos reguladores (BAJAY, 2004b).

Formalmente, existe uma complexa estrutura de planejamento e operação do sistema energético no Brasil, dedicado à atividade de planejar, operacionalizar, acompanhar, estabelecer e propor as transformações da Matriz Energética Brasileira: Ministério da Minas e Energia (envolvendo os diversos órgãos de assessoria, entre os quais a Empresa de Pesquisa Energética, EPE, especificamente dedicada ao planejamento), agentes reguladores e fiscalizadores, Agência Nacional de Energia Elétrica, ANEEL, Agência Nacional de Águas, ANA, Agência Nacional do Petróleo, ANP; agentes de operação e operacionalização de fluxos energéticos sazonais e plurianuais, como o Operador Nacional do Sistema, ONS, além de diversos agentes

privados de segmentos da atividade industrial e econômica que interagem com o planejamento energético. Citando aqui os principais, vez que os demais de interesse da abrangência do trabalho irão sendo identificados (encontrando-se listados entre as siglas no início deste trabalho).

Outro aspecto não menos relevante da abordagem do planejamento energético é a sua íntima relação com o planejamento econômico, estando estreitamente ligados, reciprocamente, às diretrizes de um e outro, pela inerente relevância, numa dimensão crescente, do uso da energia em toda a atividade humana. O planejamento econômico comporta, pois, a identificação das potencialidades e custos da atividade energética - assim como as políticas públicas e governamentais orientam a exploração destes recursos - em termos das suas dimensões qualitativas e quantitativas, dadas as suas vastas interações e repercussões sociais.

O planejamento do setor energético é fundamental para assegurar a continuidade do abastecimento e/ou suprimento de energia ao menor custo, com o menor risco e com os menores impactos sócio-econômicos e ambientais para a sociedade brasileira. Dito de outra forma, a falta do planejamento energético pode trazer conseqüências negativas, com reflexos em termos de elevação de custos e/ou degradação na qualidade da prestação do serviço, tais como racionamentos ou excessos de capacidade instalada, produção ineficiente, etc. Enfim, tanto as características técnicas e econômicas como o escopo e a complexidade dos aspectos envolvidos no funcionamento da indústria de energia explicam a importância do planejamento do setor energético (EPE, 2005).

Esta íntima relação entre a economia de um país e as suas políticas e diretrizes energéticas de imediato concorrem para a identificação das características e perspectivas do setor de produção de energia no país. A primazia em usos e potenciais de energias renováveis dá as linhas gerais da planificação a longo prazo e o nível da atividade econômica determina a incorporação e desenvolvimento de tecnologias compatíveis com o uso eficiente destes recursos. Como se tratará mais adiante, um certo atraso do país na inserção de seus potenciais renováveis, sobretudo aqueles distribuídos, tem repercutido nos fóruns de discussão da problemática mundial com realce para a disparidade entre o que o país possui, em termos de perspectivas, e a sua efetiva capacidade de implementar uma estrutura de exploração energética compatível com as suas necessidades e em consonância com as tendências tecnológicas e políticas

internacionais. De qualquer forma a atuação governamental é inerente à atividade energética.

Com relação aos aspectos técnicos e econômicos, deve-se destacar que o setor de energia possui segmentos com características de monopólio natural<sup>3</sup> e de indústria de rede<sup>4</sup>, como, por exemplo, o segmento de transmissão e distribuição do setor elétrico, o segmento de transporte e distribuição de gás natural. Alguns segmentos da cadeia da indústria do petróleo também apresentam características de oligopólio. A estrutura em rede gera economias de escopo, de escala e de coordenação e requer a operação centralizada dos serviços. No caso do setor elétrico existem outras especificidades adicionais, como as dificuldades técnicas e altos custos da estocagem de energia elétrica, que determinam a estruturação de produção e logística para o atendimento instantâneo da demanda (EPE, 2005).

Ênfase também é dada, na proposta metodológica apresentada, ao enfoque do Planejamento Integrado de Recursos, PIR, principalmente pela sua vinculação à dimensão ambiental, em seus aspectos estratégicos e presença contínua nos fóruns mundiais sobre os recursos sustentáveis e as mudanças climáticas (BARRETO Fº e SOUZA, 2009a), no que se constitui diretriz temática da abordagem encetada. Na dinâmica enfatizada pelo PIR o planejamento é tratado como um processo contínuo e harmonioso, considerando tanto a preservação do meio ambiente como a melhoria da qualidade de vida da população usando, dentro das possibilidades e limitações, os recursos da própria região (UDAETA, 2007).

Em se tratando de um conceito relativamente novo, vale destacar também a definição de PIR do AWWA (*American Water Works Association*):

PIR é uma forma compreensiva de planejamento que envolve análises de custo mínimo do lado da oferta e opções de gerenciamento da demanda bem como um processo de tomada de decisão aberto e participativo, desenvolvendo alternativas

<sup>3</sup> Um monopólio é dito natural quando o nível de produção suficiente (ou quase suficiente) para abastecer todo o mercado demandante ocorre ao mínimo custo médio de produção (FERGUNSON 1989 apud EPE, 2005). As características típicas de um monopólio natural são: i) capital intensivo e economia de escala, ii) incapacidade de estocagem e demanda flutuante, iii) presença de rendas de localização, iv) serviço ou produto essencial para os consumidores, v) presença de conexão direta com os consumidores (NEWBERY, 1994, p.7 apud EPE, 2005).

<sup>4</sup> Já as Indústrias de rede são aquelas dependentes de malhas para transportar mercadorias para o consumidor. Geralmente este tipo de indústria apresenta características como: (1) a necessidade de equilíbrio em curto prazo entre oferta e demanda, dada a dificuldade técnica de estocagem; considerável imprevisibilidade da demanda no curtíssimo prazo, levando à necessidade de manter uma capacidade instalada ociosa; investimento inicial alto e custos irrecuperáveis; redes com interconexões fixas, reduzindo a flexibilidade do consumidor na escolha de fornecedores (economias de coordenação); (2) as externalidades diretas e indiretas resultando em economias de escala; (3) a presença de mono e multifuncionalidade da rede resultando em economias de escopo; (4) as características de bem-público associadas aos serviços em rede, que resultam na dificuldade de diferenciação e cobrança dos serviços, principalmente daqueles relacionados às propriedades emergentes (anciliares); (5) a presença ou tendência de concentração de mercado (integração vertical para frente e para trás) devido aos incentivos para redução de custos de transação e para otimizar comportamentos estratégicos (KUNNEKE, 1999 apud EPE, 2005).

que incorporem a qualidade de vida das comunidades e os aspectos ambientais. O PIR leva em consideração todos os custos diretos e indiretos, benefícios do gerenciamento pelo lado da demanda, gerenciamento e expansão da oferta através de cenários alternativos, análises multi-critério, envolvimento da comunidade no planejamento, na decisão e na implementação do processo, considerando benefícios sócio-ambientais.

Os impactos ambientais também são tratados no PIR, sendo a sua natureza diversificada e intimamente ligada ao meio físico e à atividade humana desenvolvida (ver Tabela 2.1), não só no espaço físico onde ocorre a exploração energética, mas, também, em decorrência das consequências secundárias do uso do energético e ao próprio desenvolvimento da atividade.

De modo geral, todos esses problemas têm um grande número de causas, tais como o aumento populacional, as formas de crescimento econômico e a mudança de padrões da indústria, transporte, agricultura e a habitação. A maneira como a energia é produzida e utilizada está na raiz de muitas dessas causas (GOLDEMBERG, 1998).

Tabela 2.1 – Principais problemas ambientais

Problema ambiental	Principal fonte do problema	Principal grupo social afetado
Poluição urbana do ar	Energia (indústria e transporte)	População urbana
Poluição do ar em ambientes fechados	Energia (cozinhar)	Pobres nas zonas rurais
Chuva ácida	Energia (queima de combustível fóssil)	Todos
Diminuição da camada de ozônio	Indústria	Todos
Aquecimento por efeito estufa e mudança do clima	Energia (queima de combustível fóssil)	Todos
Disponibilidade e qualidade de água doce	Aumento populacional, agricultura	Todos
Degradação costeira e marinha	Transporte e energia	Todos
Desmatamento e desertificação	Aumento populacional, agricultura, energia	Pobres nas zonas rurais
Resíduos tóxicos, químicos e perigosos	Indústria e energia nuclear	Todos

Fonte: Goldemberg (1998)

## 2.2 Análise das Etapas do Planejamento Energético

A etapa inicial do planejamento corresponde ao que neste trabalho designou-se por pré-ótimo – uma vez que no estágio atual do planejamento indispensável é o uso

dos recursos, nesta atividade, de técnicas computacionais que aplicam as ferramentas matemática de busca, o que se designa como busca por soluções ótimas (SALES, 2007; BARRETO F<sup>o</sup>; SOUZA, 2011a). É constituída pelo reconhecimento de cenários de planejamento anteriores, os respectivos resultados obtidos, assim como os desvios de percurso – necessariamente assumidos – bem como os ajustes e afastamento de metas ou objetivos que foram anteriormente traçados. A partir do qual se define um cenário atual e um cenário projetado, dentro de um horizonte metodológico de planejamento. O planejamento dinâmico – aqui tratado como enfoque definidor da abordagem objeto do desenvolvimento deste trabalho - busca, por conseguinte, definir um horizonte de eventos e uma periodicidade compatível com uma projeção consistente de cenários, metas e planos de implementação de medidas e ações sobre o sistema energético considerado. Com a particularidade de que a tais projeções possam ser incorporadas margens de atualização, reorientação de metas e mudanças consistentes com o cenário projetado e os incidentes identificados - desvios ou adaptações de percurso. De um modo amplo as diretrizes gerais estabelecidas no marco inicial do planejamento – que no Brasil corresponde ao ano-base dos planos plurianuais - são mantidas. Contudo, a própria dinâmica da economia mundial, a crescente aceleração da incorporação de novas tecnologias ao lado da diversificação de fontes energéticas, sobretudo dos sistemas distribuídos, de pequeno e médio porte – no Brasil representado pela crescente participação de Pequenas Centrais Hidroelétricas, PCHs, centrais ou parques de geradores Eólico-elétricos e os sistemas térmicos não convencionais, como a Biomassa (reaproveitamento de resíduos da cana-de-açúcar), co-geração e sistemas de ciclo-combinado – aumentam significativamente a complexidade das previsões e, portanto, do planejamento. Daí o dinamismo inerentemente crescente necessário para o estabelecimento, composição e projeção da matriz energética. Linhas e metas gerais de planejamento, correspondentes à construção de grandes unidades de geração – no Brasil, as Grandes Hidrelétricas correspondente ao grande potencial das bacias hidrográficas já inventariadas, ou ampliação das unidades de Usinas Nucleares, em projeção e discussão – são confrontadas com alternativas e orientações oriundas de fóruns internacionais, fóruns internos de participação e inserção de agentes do setor (organizações não

governamentais, órgãos e instituição ligados ao meio-ambiente, associações de consumidores e comunidades diretamente atingidas pela implantação de grandes unidades de produção de energia).

A etapa que decorre da consolidação e atualização das estatísticas, estabelecimento do cenário atual e o processamento de dados para obtenção das soluções ótimas ou sub-ótimas, é a que neste trabalho se designa de pós-ótimo. De onde se elaboram as projeções de cenários futuros no horizonte metodológico de aplicação das diretrizes do planejamento - pelo que cumpre assimilar as mudanças e se atualizar diante do dinamismo tecnológico, econômico, estrutural e estratégico contemporâneos. Para a elaboração deste trabalho foram realizados procedimentos de levantamento de dados que se identificam com as etapas de reconhecimento das estatísticas, cenários e projeções do panorama do planejamento energético brasileiro. Analisando a estrutura do planejamento é possível descrever uma morfologia útil para o desenvolvimento da metodologia proposta. Desta forma, distingue-se e descreve-se as etapas e a ênfase do processo do planejamento, como segue:

### **2.2.1 Planejamento: Estrutura, Projeção e Dinâmica**

Duas fases, ou etapas, e duas abordagens, ou enfoques, constituem os eixos diretivos da metodologia de análise e avaliação do planejamento proposto. Este procedimento visa identificar as características regionais de um planejamento onde se busque otimizar a exploração das potencialidades locais – no entorno dos centros de consumo, ou na melhor das hipóteses, tão mais próximos deles quanto possível. Tal orientação decorre das qualidades e vantagens identificadas no PIR e singularmente adequadas na exploração da diversidade e distribuição dos recursos energéticos brasileiros. Como se descreveu no item anterior, a estruturação metodológica proposta define, primeiramente, o que seria uma etapa prévia e prospectiva do planejamento, propriamente dito – tal como é praticado atualmente pelos órgãos governamentais oficiais e agentes do setor. A outra etapa, ou fase do procedimento metodológico delineado pelo trabalho, constitui-se da aplicação de indicadores quantificadores propostos que permitam avaliar, comparar e decidir sobre alternativas energéticas. O



que se traduziria em termos de plantas alternativas, projetos, planos gerais ou linhas diretivas de estímulos para investimentos. Espera-se com esta formalidade aumentar a eficácia na tomada de decisão e na obtenção de ganhos de eficiência, numa dimensão ampliada, que redunde no aumento da competitividade dos recursos energéticos renováveis – como complementação ou alternativas, e mesmo substituição da geração de energia por fontes convencionais, seja pelos crescentes impactos destas, ou pela perda de competitividade face às novas tecnologias e oportunidades da exploração de novos energéticos.

O objetivo de se focar, especificamente, estas duas fases é o foco de uma abordagem metodológica que visa aumentar a eficácia do planejamento enquanto indicativo, projeção e metas que uma vez definidas, deverão ser estabelecidas e realizadas numa sistemática dinâmica de acompanhamento, reorientação e ajustes com o propósito de se obter o melhor grau de acerto – por se postular consistente (aspecto de previsibilidade) e coerente (aspecto de conformidade) com as necessidades, aspirações, potencialidades e capacidades do espaço físico-social-econômico-político, de comunidades afastadas dos grandes centros de produção e consumo e, desdobrando-se e ampliando-se, atingir uma dimensão regional e por fim a abrangência de uma extensão territorial de um país, no caso o Brasil, onde se projeta e aplica. Podendo vir a servir de referencial para programas internacionais, na medida em que incorpore e interaja com as diretrizes, hoje com interesse crescente no fóruns internacionais dedicados ao tema, em todo o planeta. Visando, sobretudo, o aumento da eficiência, ou grau de realização – das metas e planos do planejamento energético - ampliado por comportar aspectos dinâmicos das transformações, ou variáveis prioritárias, selecionadas que se enumera em ordem de significado (seguindo a postulação de ênfase delineada na proposta metodológica deste trabalho):

### **2.2.2 A dualidade entre duas vertentes**

Reconhece-se, como marco revelador da orientação metodológica desenvolvida, a dualidade entre duas vertentes gerais, principais, ou predominantes no problema da evolução da matriz energética brasileira – que reflete, também, uma perspectiva e uma

problemática tratada nos fóruns mundiais que discutem o suprimento energético mundial:

- a) A expansão do suprimento via fontes convencionais (principalmente as fontes prevaletentes no país): Grandes Hidrelétricas; combustíveis fósseis, derivados do petróleo e carvão mineral.
- b) A ampliação de fontes renováveis, tais como, Energia Eólica, Energia da Biomassa, Energia Solar e algumas outras fontes com menor impacto na composição no mix de suprimento energético e participação periférica, porém, com marcante conteúdo tecnológico – correspondente a uma mudança de paradigma no sentido da busca por participação crescente de fontes alternativas a partir da incorporação de tecnologias de ganhos de eficiência energética e mudança de postura na relação produtor-consumidor de energia, através da introdução de plantas energéticas de menor tamanho, distribuídas e de diferentes graus de integração com as redes locais ou nacionais de suprimento energético.

### **2.2.3 O aumento da complexidade no planejamento energético**

Decorre dos aspectos físico-geográficos e tecno-econômicos implicados na definição dos projetos e plantas energéticas, da ampliação da participação e inclusão de novos agentes - participantes nas decisões sobre quais critérios de compatibilização entre usos de recursos naturais são permitidos e toleráveis; da ocupação do espaço geográfico através de múltiplos usos (reservas ambientais, indígenas, sítios arqueológicos, entre outros), e do próprio aumento da complexidade inerente ao planejamento energético – pela crescente sofisticação das redes de interconexão e compartilhamento entre os subsistemas que compõem a matriz energética. Da mesma forma, a complexidade é acrescida, também, com o aumento da exposição pública - através da participação crescente de todas as formas de mídia - dos aspectos conflitantes. O que vem por à prova, continuamente, o nível em que os impactos

(sociais e ambientais) são absorvíveis, toleráveis ou negociáveis, num determinado momento, circunstância ou nível de participação da sociedade. Todos estes itens implicam, recursivamente, no grau de aceitação ou rejeição da instalação de plantas energéticas. Que podem ser verificados através de duas formas principais:

- a) A inserção crescente, nos meios de divulgação e mídia globalizada, de constatações, diretrizes e advertências dos fóruns mundiais dedicados às questões energéticas em correspondência com a limitação, degradação e poluição - ou seja, impactos do uso, continuidade e ampliação do consumo e produção de energia - inerente à exploração de recursos energéticos.
- b) O surgimento, ainda que de forma incipiente no Brasil, de abordagens de interação entre os agentes diretos, ou seja, aqueles envolvidos diretamente com o planejamento, implantação e instalação de plantas de suprimento energético e os indiretos - os próprios consumidores, enquanto entidades políticas participantes das decisões colegiadas do setor, associações civis, organizações não governamentais e as modalidades de externalidades políticas, que se expressam como segmentos da opinião pública (com alguma forma de manifestação perceptível, avaliável ou quantificável) no setor energético. Ocorrem, frequentemente, como respostas às demandas de esclarecimento, sob a forma de campanhas, ações de publicidade institucional e a inserção, em programas educacionais, de itens relacionados com a produção de energia. O que redundará em uma interação mais próxima com a complexidade do meio ambiente em transformação, através da introdução das alternativas tecnológicas associadas à ampliação do debate e participação social na questão energética, em nível mundial, nacional e regional.

Assim, conforme traçado como o que vem a ser o objetivo principal deste trabalho, fundamenta-se o eixo principal - da abordagem metodológica delineada - na identificação dos principais elementos constituintes do dinamismo,

contemporaneamente inerente ao planejamento energético brasileiro. Nesta mesma linha, busca-se uma alternativa metodológica para a atuação sobre a estrutura geral do planejamento que se apresenta, em razão das rápidas transformações tecnológicas, tendências econômicas e mudança de hábitos - que tendem a gerar cenários de projeção, desta forma, contínua e imperativamente atualizados. Pelo que se torna indispensável, para fazer frente à tarefa de complexidade crescente do planejamento energético, uma abordagem metodológica orientada em etapas, constituída, primordialmente, pelos seguintes aspectos:

### **2.2.3.1 Planejamento Estruturante**

Que compreende as linhas gerais da planificação de longo e médio prazos vinculados aos potenciais e recursos energéticos já inventariados. Tem como objetivos, e eixos prioritários, adequar as metas traçadas à estrutura física das potencialidades, mananciais e fontes energéticas disponibilizadas pelo acesso tecnológico - projetado em planos plurianuais com abrangência de décadas. É passível de ajustes de atualização ou mudanças marginais - ao longo do seu período de abrangência - em decorrência das diversidades e especificidades dos distintos projetos ou plantas, ou conjunto de sistemas energético (com suas respectivas participações). As variáveis que interferem neste nível de planejamento estão relacionadas com a planificação econômica nacional e inovações tecnológicas que propiciam viabilidades de exploração até então não disponíveis, o que produz uma contínua realimentação - porém, não de forma linear, mas, em geral sob a forma de saltos - que modifica, de alguma forma, os cenários, as projeções e os recursos em levantamento ou já inventariados.

### **2.2.3.2 Planejamento Estático ou de Projeção**

Que engloba o conjunto dos cenários definidos, conforme as práticas usuais hoje estabelecidas pelo Ministério das Minas e Energia, MME - e os seus diversos órgãos de assessoria, levantamentos e prospecção - assim como de medidas de ajustes, em

grande parte já programadas – correspondentes aos ajustes finos e depuração das alternativas consideradas em conformidade com os critérios adotados.

### **2.2.3.3 Planejamento Dinâmico**

É a dimensão do planejamento mais complexa e que envolve todas as outras etapas ou modalidade de planejamento e que está sujeita a propiciar as respostas verificáveis do grau de eficácia do planejamento como um todo. As diversas qualidades - tais como previsibilidade, flexibilidade e adaptabilidade - do planejamento energético são confrontadas com as estatísticas e informações de monitoramento contínuo efetuadas. Realimenta os demais níveis de planejamento, ou seja, de curto, médio e longo prazos. E, ao mesmo tempo em que busca, coerentemente, preservar as diretrizes gerais do planejamento de longo prazos traçados, promove a adequação contínua de metas, ações e medidas no médio e curtos prazos. Tendências de preços de mercado, descobertas e inovações tecnológicas - e a correspondente confirmação de suas viabilidades, assim como as compatibilidades relativas aos índices de eficiência da exploração e uso de energéticos atualizados – são considerados e computados. De igual modo leva em conta a incorporação de novos recursos e oportunidades, relacionadas com um conjunto de interações que abrange desde as relações internacionais como, também, as questões locais. Reconhece, ainda, as mudanças na legislação – que estão ocorrendo no tempo da elaboração do planejamento e no horizonte temporal de suas aplicações e abrangências. Não deixando de lado a padronização de normas e critérios de eficiência então praticados e, mesmo, a percepção do surgimento de tendências - em desenvolvimento - de comportamento ou atitudes de segmentos sociais significativos e interferentes nos padrões de consumo e aceitação ou tolerância das mudanças, associadas à produção de energia com os seus diversificados impactos. Não podendo se desprezar as variáveis relacionadas com o cenário político, que envolve os embates programáticos, ideológicos e de orientação política dada aos planos de governos – assim como as tendências internacionais – contemplando um diversificado conjunto de agentes diretos e indiretos do setor de energia.

## **CAPÍTULO 3**

### **3 FERRAMENTAS DO PLANEJAMENTO ENERGÉTICO**

#### **3.1 Aspectos Históricos e Atualidade**

##### **3.1.1 Advento e desenvolvimento do planejamento energético**

Já no tempo de Galileu Galilei, século XVII, quando se iniciava a disciplina metódica e precisa que culminaria com o advento da ciência moderna, asseverava-se que o conhecimento é tanto maior quanto mais precisas são as medidas que quantificam as propriedades de um fenômeno ou sistema. Dentre as tarefas que correspondem aos maiores desafios da engenharia, crucial é a quantificação dos parâmetros e variáveis que indicam nas tendências de transformação dos sistemas energéticos dos países, de modo que se possa realizar um planejamento energético consistente, confiável e útil. Dos diversos tipos de modelos que tem sido empregados - no planejamento da expansão de sistemas energéticos - para caracterizá-los é indispensável destacar as suas vantagens relativas e dificuldades de implementação. Os objetivos que se pretende alcançar com os modelos de planejamento constituem o cerne desta atividade. Daí a ênfase dada, neste trabalho, à expansão de sistemas energéticos, através de um planejamento que seja ao mesmo tempo integrado e dinâmico - abordagem inevitável, dada à caracterização do parque energético brasileiro, sobretudo, em seus aspectos críticos e diante das suas possibilidades estratégicas. Segundo Bajay (2004a) é inerente a participação orientadora e regulamentadora do estado no planejamento energético, pelas características físicas dos sistemas de geração de energia e dadas as diversificadas localizações e formas de exploração dos recursos energéticos. Além de que ocorre uma grande diversidade de formas e níveis de acesso ao uso e de distintas intensidades da energia disponibilizadas para as diferentes sociedades humanas. Com estas ênfases o planejamento volta-se,

necessariamente, para a análise de diferentes contextos macroeconômicos, sociais e políticos, que de alguma forma devam ser previsíveis no devir e sobre os quais os agentes de hoje, envolvidos nas tomadas de decisões, pouco ou quase nenhum controle possuem sobre os desdobramentos. Imprevisibilidade esta, sobretudo, no que diz respeito às variáveis não facilmente quantificáveis - enquanto grandezas identificadas pelos agentes e usuários dos sistemas energéticos.

É daí que se elaboram os modelos de simulação e projeção, ou comportamento para sistemas tão sofisticados como aqueles que envolvem as atividade de geração e consumo de energia. Como enfatiza Kazay (2001), “Originalmente, o conceito de modelo [...] associa-se à idéia de um instrumental para auxiliar a compreensão de problemas por demais complexos para serem entendidos sem o uso de simplificações e abstrações”. A autora, na tese defendida na UFRJ, fundamenta a evolução da modelagem de sistemas, da qual redundariam as sofisticadas técnicas computacionais que fazem uso de algoritmos genéticos, a partir do advento do racionalismo cartesiano<sup>5</sup>.

Daí a idéia de alguma, indispensável, previsibilidade dos sistemas objeto do planejamento, que passam a serem tratados como sistemas determinísticos – após a necessária representação por intermédio da modelagem simplificadora, porém consistente e, pelos menos, factível. Como pondera Rosa (1996):

A utilização de modelos em planejamento denota a idéia de que é possível prever, por exemplo, o comportamento de um setor da economia por meio de métodos quantitativos desenvolvidos para esse fim. Cabe aqui introduzir alguns conceitos subentendidos, quando a questão é planejar o futuro [...]; Determinismo – evolução futura determinada univocamente pelas condições presentes, determinadas pelo passado conforme leis físicas causais; Computabilidade – capacidade de se obter a solução do problema da evolução do sistema, uma vez equacionado; Previsibilidade – capacidade de prever a evolução futura de um sistema.[...] ... “Pondo de lado o determinismo férreo e também a imprevisibilidade total, mas retendo como suposição que o futuro seja extremamente sensível a mudanças de condição

---

<sup>5</sup> “Especificamente com relação ao uso da comparação, a antevisão de Descartes da moderna teoria da modelagem (...) merece destaque. Para explicar o comportamento da luz, Descartes usa metáforas que não se propõem a desvendar a essência desse fenômeno, mas, sim, representá-lo. Ele afirma: ‘não é necessário que eu me dedique à tarefa de dizer qual é a verdadeira natureza da luz, creio que será suficiente que eu me sirva de duas ou três comparações que ajudem a concebê-la da maneira que me pareça a mais cômoda, para explicar todas aquelas propriedades que a experiência nos faz conhecer’. Descartes antecipa assim o que, na ciência, é modernamente denominado de ‘modelos’, ou seja, *constructos* de nossa imaginação (representações) que ajudam a compreender os fenômenos.” FUKS, S apud KAZAY, H. F. “**O Planejamento da Expansão da Geração do Setor Elétrico Brasileiro Utilizando os Algoritmos Genéticos**”, Tese de Doutorado. Rio de Janeiro. COPPE/UFRJ, 2001; LEGEY, L. F. L. 1999, “**O racionalismo cartesiano e a modernidade: uma visão crítica**”- In: Guilherme Castelo Branco, “A ordem das razões e a ordem das paixões”, 1ª ed., cap. 4, NAU editora.

presentes, então há uma maior responsabilidade em atuar de forma racional e organizada para melhorar a sociedade dentro de uma faixa de mundos “possíveis” (ROSA, 1996).

Pelo que se justifica a elaboração de cenários - a partir de modelos de comportamento do sistema produção-consumo de energia - alicerçados nas hipóteses básicas de crescimentos alto, médio e baixo da economia e, também, de cenários envolvendo mudanças na distribuição de renda, ou incorporação de recursos tecnológicos e organizacionais que promovam a competitividade da indústria local. Sendo imprescindível ao planejamento energético a mais completa e precisa quantificação dos principais impactos de novas políticas econômicas, tecnológicas, energéticas e ambientais. Desta forma, ainda de acordo com Bajay (2004a), vem a ser imprescindível que a formulação de políticas públicas, na área de energia, seja típica atividade de governo - pelo qual este não pode se furtar de participação decisiva na construção, orientação e estímulo às políticas públicas na área.

A teoria econômica identifica nos processos dos segmentos de monopólios naturais as expectativas, e o balizamento, das melhores atuações institucionais e governamentais, enquanto regulação e aplicação consistente de políticas e orientações eficazes. As desenvolvuras dos segmentos da indústria de energia, que se caracterizam por pertencer a esta, ou aquela, categoria ou segmento, tais como a distribuição de eletricidade ou de gás canalizado, são usados como indicadores - considerados com grande significância. Da mesma forma, a mensuração do poder de mercado de empresas em segmentos oligopolizados - onde as ações de planejamento buscam incrementar o nível de competição - como ocorre na produção e comercialização de eletricidade, ou gás, em ambos exige-se o conhecimento de soluções eficientes, para balizar o comportamento dos agentes no mercado. Razão pela qual o planejamento, enquanto atuação governamental, pode e deve prover aos órgãos reguladores diretrizes e balizas de orientação no sentido de promover ganhos na relação custo/benefício e meios de acesso ampliado ao maior número de consumidores e agentes do setor.

O planejamento da expansão do setor elétrico brasileiro remonta à década de 70. A abordagem de modelo setorial de expansão passou, com o desenvolvimento do planejamento, de determinativa para indicativa. O primeiro plano elaborado sob esta orientação foi concluído em dezembro de 2001. Elaborado pelo Comitê Coordenador



do Planejamento da Expansão dos Sistemas Elétricos, CCPE, e o Operador Nacional do Sistema Elétrico, ONS. Esta atividade foi encerrada com uma discussão sobre a necessidade de se estabelecer as condições e os limites em que um plano de ação do governo deva ser acionado – na situação em que houver riscos elevados de desabastecimento de energia elétrica (BAJAY, 2002). Segundo o referido autor, o planejamento não termina com a elaboração dos planos; o acompanhamento crítico da sua execução é igualmente importante (BAJAY, 2002).

Na América Latina, Brasil, Chile, Peru, Bolívia e Colômbia, com mais ênfase, pratica-se o planejamento indicativo na expansão da geração elétrica com horizontes plurianuais de planejamento que variam de 10 a 20 anos (BAJAY & WALTER, 1999; HOLLAUER, 2001).

O planejamento pode ser exercido diretamente pelo governo, ou pode ser atividade delegada a empresas estatais, a fundações ou autarquias, sem fins lucrativos, contratadas para esta finalidade, ou, ainda, a comissões criadas especificamente para esta função, em geral transformadas em autarquias especiais, com um razoável grau de autonomia em relação ao governo. ELETROBRÁS, CESP, CEMIG e COPEL, são exemplos que têm realizado, nas últimas décadas, inúmeros exercícios de planejamento determinativo, sob delegação do governo federal e dos governos dos Estados de São Paulo, Minas Gerais e Paraná, respectivamente. A California Energy Commission, no Estado da Califórnia, EUA, exemplifica o terceiro caso (BAJAY, 1989; BAJAY & HOUCARDE, 1989). Um setor tão importante como o elétrico na economia de qualquer país e no dia a dia de seus cidadãos tem que possuir um plano de ação do governo quando houver riscos elevados no abastecimento deste vital energético (BAJAY, 2002) e mesmo quando não houver – como recurso de acompanhamento rigoroso e eficaz do cumprimento das metas e ações definidas pelo planejamento. Fundamental, então, é a necessidade de se definir indicadores adequados para representar os riscos de déficit e de sua profundidade, com os valores limites a ele associados. Dois tipos, complementares, de indicadores podem ser utilizados, um "sinal amarelo" e um "sinal vermelho", cada um deles sinalizando um distinto conjunto de medidas que constituiriam balizadores dos planos de ação governamental.

Até a década de 1960 os modelos de planejamento da expansão de sistemas energéticos eram quase todos setoriais, com modelagens separadas da demanda, empregando técnicas econométricas, e da oferta, usando técnicas relativamente simples de simulação ou programação matemática. Os setores estudados eram o elétrico, o de petróleo e gás, e, em alguns países, o de carvão. O desafio das projeções da demanda energética era se tentar capturar as principais tendências do mercado. O planejamento da oferta era determinativo. Com a crise que adveio com choques dos preços do petróleo, em 1973 e 1979, ocorreu verdadeira revolução na modelagem de sistemas energéticos. Passou a haver grande interesse nos modelos multisetoriais e globais, assim como nos modelos integrados demanda/oferta. Passou-se a desenvolver as categorias dos modelos técnico-econômicos, contábeis ou de simulação para a projeção da demanda energética. Nos países desenvolvidos houve uma correspondente valorização de levantamentos de campo para se determinar as distribuições, por usos finais e/ou tipos de equipamentos, da demanda de energia e se realizar pesquisas de posse e hábitos destes equipamentos. Tais modelos se mostraram convenientes para simular rupturas de padrões estabelecidos de consumo de energia, como estava ocorrendo na época (BAJAY, 1983). Devido à concorrência entre si dos novos modelos de projeção da demanda energética houve grandes avanços metodológicos no uso dos modelos econométricos (GRIFFIN, 1990) – donde decorreram formulações teóricas mais elaboradas, envolvendo ajustes parciais ao longo do tempo – o que correspondia a uma busca de acompanhamento mais dinâmico da implantação das medidas planejadas. Passaram a ser exemplos “Planos de Expansão”, incluindo as projeções do mercado, paulatinamente adquirindo um caráter de estudos prospectivos (ARAÚJO, 1988), onde a técnica de cenários, utilizada antes só por algumas grandes corporações militares ou civis, como, por exemplo, a Rand Corporation, nos EUA, em exercícios de planejamento estratégico. Os modelos integrados demanda-oferta foram, em sua grande maioria, desenvolvidos na segunda metade da década de 90. Desde então, o seu objetivo primordial era a busca de alternativas para se diminuir a dependência de derivados de petróleo - em grande parte importados para a maioria dos países. Buscava-se, também, aumentar a segurança do suprimento energético, de preferência com fontes locais, ou, então, pelo menos, fontes externas menos voláteis,

em termos de preços, do que o petróleo na época. A queda e posterior estabilização nos preços do petróleo, a partir de meados da década de 1980, frearam este processo com o que diminuiu o interesse no desenvolvimento e uso destes modelos. Por outro lado, as preocupações sobre os impactos ambientais da indústria de energia nos âmbitos regional e global reascenderam o interesse pelo uso destes modelos para se tentar avaliar estes impactos.

A utilização de modelos que incorporam aspectos estratégicos numa abordagem integrada foi iniciada em meados da década de 1980, prevalecendo até uma década depois - declinando um pouco até os dias atuais por conta da resistência de alguns países chaves, como os EUA e a Rússia, em ratificar os termos do Protocolo de Kyoto. Sendo que a principal categoria de modelos energéticos integrados demanda/oferta – os modelos de equilíbrio – foram desenvolvidos tanto na forma de modelos de equilíbrio parcial ou setorial – do setor energético, como na forma de modelos de equilíbrio geral. Apesar das vantagens teóricas desta segunda categoria, os modelos de equilíbrio parcial têm sido mais empregados, até agora, no setor energético (BAJAY, 2003a), por conta da possibilidade de se representar as características, sobretudo tecnológicas e econômicas, deste setor com o detalhe necessários aos estudos - limitado tão somente às restrições inerentes ao nível de agregação dos dados disponíveis. A prática recente de se empregar a abordagem híbrida descendente/ascendente é uma das características que identificam o modelo de planejamento atual no Brasil (TOLMASQUIM, 2011).

### **3.2 Caracterização Geral dos Modelos atuais e sua Aplicação no Brasil**

Os modelos de planejamento da expansão de sistemas energéticos podem ser classificados, de uma forma ampla, como modelos de demanda, modelos de oferta e modelos integrados demanda-oferta (ARAÚJO, 1988). Sendo caracterizados, também, de um modo geral, como modelos setoriais, multisetoriais e globais – conforme abordem um só setor da indústria de energia, como, por exemplo, o setor elétrico ou o setor de petróleo, ou todos os setores econômicos que dependam intrinsecamente do insumo energético. Os modelos globais abrangem os setores que compõem a indústria

de energia em uma dada região de um país, um país como um todo ou, ainda, um conjunto de países. Já os modelos de projeção da demanda de energia podem ser classificados como: econométricos; técnico-econômicos, contábeis, ou de simulação, incluindo estes últimos, como casos particulares importantes, o uso de matrizes insumo-produto, os métodos de decomposição estrutural e os modelos (ARAÚJO, 1988) que simulam processos industriais (MEIER, 1984) e mistos. Dentre os “modelos de demanda” ainda podem ser classificados os modelos que selecionam novos programas de eficiência energética, que, em geral, são algoritmos de simulação envolvendo análises custo/benefício de programas concorrentes entre si e, eventualmente, no caso do planejamento integrado de recursos, com programas de expansão da oferta, e que interagem com modelos de projeção da demanda energética desagregada, por usos finais e tipos de equipamentos. Os modelos econométricos realizam projeções da demanda de energia utilizando relações econométricas que tem como variáveis explanatórias grandezas econômicas clássicas como renda, investimento, valor adicionado e, evidentemente, preços (BAJAY, 2003a). Segundo a avaliação do mesmo autor (BAJAY, 2003a), os modelos puramente econométricos seriam mais adequados para a projeção a curto e médio prazos da demanda energética e, em geral, não se adequariam na representação de possíveis rupturas futuras em padrões tecnológicos ou econômicos consolidados. Para projeções a longo prazo, quando se deseja modelar transformações marcantes, ou mesmo rupturas no tratamento ou gestão dos assuntos energéticos em um país, foram desenvolvidos os modelos técnico-econômicos, contábeis ou de simulação - onde se utiliza menos exaustivamente séries histórico-estatísticas de dados do consumos de energia e de suas supostas variáveis explanatórias. Usam-se os dados para um ano de referência, o mais próximo possível do presente, gera-se uma referência, a partir da qual são projetados os parâmetros de interesse definidos para um cenário projetado (simulado) – indicadores de atividades econômicas, sociais e políticas, estoques de equipamentos e seus rendimentos energéticos, consumos energéticos específicos.

Os modelos mistos de projeção utilizam relações econométricas para estabelecer cenários, tendênciais ou referência - e para explicar a evolução de algumas variáveis dos modelos empregam, também, uma estrutura de projeção a mais desagregada.

Quanto mais longo for o horizonte de projeção, maior é a importância da simulação destas possíveis mudanças estruturais ou das variações dos resultados esperados – consideradas a partir dos programas de metas ou, ainda, da observância de eventos circunstanciais. Este é o tipo de modelo mais empregado atualmente no mundo pelas instituições que realizam regularmente, e com qualidade, projeções da demanda energética a médio e longo prazos.

As principais técnicas de programação matemática que tem sido utilizada no planejamento da expansão de sistemas energéticos são, a programação linear e a programação mista: linear-inteira e programação dinâmica. Quando o problema de programação matemática analisado for de grande porte, podem-se empregar técnicas de decomposição em problemas de menor porte, que interagem entre si. Os modelos de oferta podem ser estáticos, projetando a oferta em determinados momentos no futuro - sem se preocupar com a trajetória percorrida - ou, então, dinâmicos, modelando a trajetória da expansão ao longo do tempo. Para horizontes de planejamento a longo prazo normalmente se adota a primeira opção, enquanto para o médio prazo eventualmente se prefere a segunda alternativa. Os modelos integrados demanda-oferta contemplam a importante família dos modelos de equilíbrio, que podem ser aplicados a determinados segmentos da indústria de energia, como tem sido o caso dos modelos empregados nos exercícios de planejamento integrado de recursos nos setores elétrico e de gás canalizado (BAJAY et al. 1996), ou ao setor energético como um todo, como é o caso, por exemplo, do modelo MIDAS (CAPROS, 1996). Genericamente os modelos de equilíbrio podem ser de equilíbrio parcial ou setorial (setor energético ou seus segmentos), ou de equilíbrio geral (BAJAY, 2003a). Um modelo de equilíbrio geral típico simula a evolução da economia como um todo e as principais relações econômicas entre os seus segmentos componentes, mas representa, usualmente, de uma forma pouco detalhada o setor energético. Apesar disto, ele pode ser útil em estudos prospectivos onde não se exige um nível de detalhe muito grande na representação deste setor. Já um modelo de equilíbrio setorial representa com detalhes a evolução do setor para o qual ele foi construído, como, por exemplo, é o caso dos modelos IDEAS (BAJAY, 2003a) e MIDAS (CAPROS, 1996), para o setor energético. O equilíbrio entre demanda e oferta pode ser atingido nos modelos através

de ajustes nas quantidades dos energéticos transacionados, ou, então, em seus preços. O primeiro caso tem sido aplicado quando predominam mercados monopolistas (os preços, regulados, são determinados com base nos custos médios) e o segundo quando há um razoável nível de competição no mercado dos energéticos. Pode-se fazer, também, uma combinação entre as duas abordagens, quando o conjunto dos mercados simulados assim o exigir. Mathiesen (1985) propôs uma solução compartilhada, que possibilitaria resolver problemas de equilíbrio geral através de uma seqüência de problemas lineares de complementaridade. Através desta abordagem seriam factíveis soluções de modelos de equilíbrio com representações simultâneas ascendente (*bottom-up*) e desagregada, por tipo de tecnologias, para o setor energético, e descendente (*top-down*) e mais agregada, para o resto da economia. Um exemplo desta abordagem para um modelo estático foi elaborada por Böhringer (1988) com este tipo de desdobramento e seqüenciamento. Já uma abordagem dinâmica foi desenvolvida por Frei, Haldi e Sarlos (FREI; HALDI; SARLOS, 2003) elaborando uma versão dinâmica, que foi utilizada na simulação dos impactos, ao longo do tempo - sobre o setor energético e sobre o resto da economia - decorrente da adoção de uma taxa sobre o carbono.

No Brasil, até recentemente, nunca foram utilizados, como atividade institucional, nem modelos de equilíbrio setorial, nem de equilíbrio geral, em estudos prospectivos para o seu setor energético. De onde, segundo Bajay, haveria uma lacuna crítica no planejamento, passível de ser sanada através da aplicação de uma estrutura modular no planejamento, onde houvesse a interação entre modelos de equilíbrio geral e dinâmico, capaz de realizar projeções de variáveis macroeconômicas também no âmbito regional, além do nacional (BAJAY, 2003b).

### **3.3 As Incertezas no Planejamento Energético**

A projeção de cenários implica no exercício de previsões que são, na realidade, simulações envolvendo probabilidades e estimação de resultados, continuidade e conseqüências de fenômenos nunca inteiramente previsíveis. Os métodos típicos utilizados no tratamento de incertezas em modelos de planejamento da expansão de

sistemas energéticos são: análise de sensibilidade; análise paramétrica; métodos de otimização empregando álgebra nebulosa; emprego de distribuições de probabilidades em modelos de otimização ou de simulação; emprego de processos estocásticos em modelos de otimização ou de simulação; elaboração de cenários alternativos de desenvolvimento; pesquisas de opinião; uso de técnicas de inteligência artificial; emprego da teoria de jogos e teoria de leilões. É indispensável dispor de intervalos de variância e ocorrência dos principais parâmetros da modelagem, que envolvem incertezas significativas. Com a identificação destes parâmetros, uma análise de sensibilidade é realizada de modo a se obter os resultados do modelo.

Ao se realizar este tipo de abordagem em modelagem, com o emprego de técnicas de programação matemática, ela é denominada análise paramétrica. Tanto se pode usar programação linear como também uma versão mais sofisticada e complexa, quando se emprega técnica da álgebra nebulosa – utilizando, para os valores das variáveis, intervalos ao invés de valores pontuais. A utilização de distribuições de probabilidades em modelos de otimização ou de simulação tem sido praticado desde a década de 80, sobretudo, nos setores elétrico e de petróleo e gás. Conhecendo-se a distribuição de probabilidades aplicada a uma determinada variável ela pode ser, na maior parte dos modelos, introduzida em procedimentos de modelagem sob a forma (de acordo com os objetivos do processamento computacional) tanto de simulação, como de otimização. Pode-se utilizar, ainda, uma abordagem alternativa através de processos estocásticos.

Cenários projetados para a evolução de tendências e comportamento das variáveis podem ser usados correspondentes aos diversos rumos do crescimento da economia - para avaliar os impactos de novas políticas públicas, seja nas áreas econômica, tecnológica, energética ou ambiental. Os cenários podem ser usados, apenas, em projeções da demanda energética, ou, de uma forma conjunta, com alternativas do lado da oferta – tal metodologia foi empregada na elaboração do plano de longo prazo do setor elétrico brasileiro conhecido como “Plano 2015” (VENTURA, 1996). Levantamentos de dados relativos à percepção de tendências são realizados juntamente com pesquisas de opinião como as do método Delphi. Podem fornecer amostragens especialistas relativas à evolução futura de variáveis de interesse no

planejamento da expansão de sistemas energéticos – usando-se técnicas estatísticas. Tem-se utilizado, de maneira crescente, técnicas de inteligência artificial na modelagem de sistemas energéticos. Um exemplo promissor é o uso de algoritmos genéticos e de redes neurais aplicados na modelagem de sistemas energéticos em estudos de operação e de expansão (ALMEIDA; SANTOS; BAJAY, 2000).

O planejamento da expansão do setor elétrico brasileiro era feito, até o advento do Marco Regulatório de 2004 - e a implantação do Novo Modelo do setor Elétrico Brasileiro - junto com a Empresa de Pesquisas Energéticas, EPE (TOLMASQUIM, 2011), através de uma seqüência de estudos que considera horizontes temporais abrangentes e aproximações sucessivas até a tomada de decisão efetiva. Tais estudos dividem-se em duas etapas: Plano de Longo Prazo e Plano Decenal da Expansão, em função dos horizontes temporais e das decisões envolvidas (PIRES, 2001). A inexistência de monopólios legais nas áreas de produção e comercialização dos setores elétrico e de petróleo e gás, a partir da década de 1990, promoveu um novo tipo de incerteza no planejamento da expansão destes setores, associado às flutuações de mercado das empresas e à dinâmica da concorrência. Com o que ensejou a aplicações das teorias de jogos e de leilões – ferramenta típica da atual gestão energética no Brasil (CORREIA; BAJAY; CORREIA, 2004). Da mesma forma a expansão do parque gerador de energia elétrica no novo modelo institucional do setor elétrico brasileiro passou a envolver agentes privados e públicos - que decidem o montante de energia elétrica a contratar e os investimentos a realizar, a partir da participação em leilões de usinas geradoras e sistemas de transmissão. Agem sob um ambiente misto, em parte regulado, Ambiente de Contratação Regulada, ACR, em parte sob condições de livre mercado, Ambiente de Contratação Livre, ACL, para atender a demanda dos agentes econômicos e da sociedade em geral. Desta forma, é fundamental a existência de um processo de planejamento que possa orientar futuras ações governamentais e fornecer uma correta sinalização aos demais agentes do setor elétrico brasileiro – de modo que seja propiciada uma alocação eficiente dos investimentos.

Enquanto o planejamento da expansão fornece sinais para minimizar os custos totais futuros da energia elétrica para a sociedade como um todo, o objetivo de cada um dos agentes é, principalmente, a maximização de seus resultados. No modelo atual



do setor elétrico brasileiro a construção de novos empreendimentos é balizada pela lista de aproveitamentos oferecidos em leilão. Isto restringe o espaço de decisão dos agentes privados e garante um nível elevado de coordenação centralizada. O desafio é, portanto, alinhar as expectativas dos investidores do setor elétrico com uma política energética bem definida e regulamentada, que propicie um planejamento adequado às condições de crescimento sustentável do País (SALES, 2007).

Atualmente, em um ambiente descentralizado, onde a alocação de recursos passa a ser supostamente definida pelas leis de mercado, existe a tendência de se favorecer uma modelagem mais dinâmica, com mais alternativas de expansão (KAZAY, 2001). Segundo Kazay (2001) e Legey (1997), incluem-se nesse ferramental redes neurais, sistemas especialistas, algoritmos genéticos e lógica nebulosa, ou fuzzy. Da mesma forma ZHU & CHOW (1997) consideram que tais técnicas são recursos hábeis e compatíveis com a dimensão e complexidade de tratamento das incertezas em ambientes competitivos e com variáveis tão randômicas como o clima - ou imprevisíveis como a repercussão dos impactos ambientais.

Os sistemas especialistas requerem informações detalhadas sobre o domínio em que atuam - ambiente onde são coletados e estruturados os parâmetros e as variáveis envolvidas na modelagem - e as estratégias consistente e coerentes, para aplicação destas informações na solução do problema. O problema do planejamento da expansão da geração pode ser resolvido, com a aplicação destes sofisticados recursos computacionais, pela combinação do conhecimento heurístico desta área, acrescido das análises numéricas e da simulação. A especialidade é desenvolvida baseada na experiência histórica do planejamento, no uso efetivo de métodos analíticos, no claro entendimento da interrelação entre os parâmetros, e como integrar seus resultados de forma coerente. No entanto, mesmo que tais sistemas de processamento computacional apresentem vantagens na performance e no menor custo – no que diz respeito às exaustivas operações de cálculos e simulações, em série e paralelo, de sofisticadas rotinas - especialistas humanos são mais criativos e inovadores, ainda, do que os sofisticados sistemas especialistas computacionais. Aplicações destas técnicas são descritas por ZHU & CHOW (1997). Segundo Legey (1997), existem vantagens em utilizar técnicas de computação evolucionária, composta, principalmente, pelos

algoritmos genéticos, pela programação evolucionária e pelas estratégias evolucionárias – que se traduziriam no ganho de flexibilidade e adaptabilidade ao problema, em combinação com um desempenho robusto e características de busca global. A lógica nebulosa, ou fuzzy, proposta por Zadeh (1973), vem ao encontro da necessidade de se equacionar melhor as incertezas relativas a restrições ambientais e, também, das que decorrem da incerta aceitação pública de fontes e tecnologias de geração novos - e muitas vezes exóticos – decorrente da introdução das inovações tecnológicas empregadas como resultado do planejamento da expansão da geração.

## CAPÍTULO 4

### 4 PLANEJAMENTO INTEGRADO E PLANEJAMENTO DINÂMICO - EFICIÊNCIA COMO PROCESSO E META

#### 4.1 Recursos para a Eficiência Energética

Os ganhos de eficiência global de um sistema de suprimento-consumo de energia elétrica – considerando o subsistema elétrico como um caso mais representativo e cada vez mais abrangente dos sistemas de energia (ou, como sistema progressivamente representativo do uso da energia e da produtividade econômica como um todo) – consideram dois fatores significativos dos seus desempenhos: o Fator de Capacidade,  $F_{cap}$  - do lado da geração (suprimento) - e o Fator de Carga (demanda),  $F_{car}$  - do lado do consumo. O nível de aproximação dos valores unitários para estes fatores, ou, as suas taxas de incremento neste sentido, podem, objetivamente, fornecer um indicativo da tendência de ganhos ou aumento da eficiência energética global dos sistemas de energia.

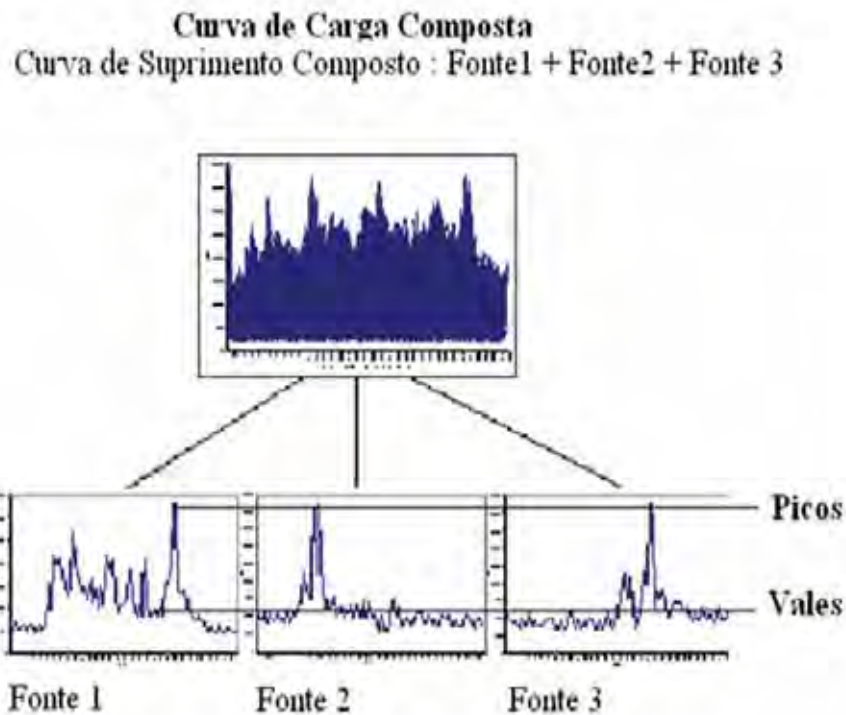
Quando os valores destes fatores ( $F_{Cap}$  e  $F_{Car}$ ) igualam-se à unidade isto corresponde, meramente, a pontos ótimos singulares nas suas projeções, valores estes que se assume apenas como teóricos, ou referenciais de limite de eficiência teórica global máxima – enquanto as suas aproximações deste valor, bem como as suas correlações, representam um indicador global, capaz de, por meio de abordagem analítica, ou projeção de planejamento, consistir de ferramenta útil na busca de ganhos de eficiência energética. O que é aplicável tanto para sistemas mais integrados (de médio e grande porte), como para sistemas distribuídos (de pequeno porte e isolados). As ociosidades, recíprocas destes dois fatores, sejam do lado da geração ou da demanda, constituem indicativos de desperdícios, de usos descoordenados de fontes e consumos, ou, indícios de caminhos de otimização a serem perseguidos.

Desta forma, como é proposto neste trabalho, é possível obter ganhos de eficiência energética através da programação e integração dos desempenhos - como recurso do planejamento - de fontes energéticas integradas (conectadas ou não a um rede pré-existente). Assim, experiências e estudos de casos são considerados na perspectiva de uma abordagem onde é focado o lado da geração em sistemas isolados ou parcialmente integrados.

#### **4.1.1 Curvas de carga como ferramenta de análise de desempenho**

A tipicidade das Curvas de Suprimento Energético, assim como a característica das Curvas de Carga - seja de uma única fonte de suprimento, ou de uma única carga, e, da mesma forma, para fontes e cargas múltiplas - corresponde a um traçado sinuoso e acidentado. Nestas curvas ocorre a predominância de traçados irregulares e diversificados - com vales e picos distanciados e intercalados - o que influencia e altera, para baixo, os fatores  $F_{cap}$  e  $F_{car}$ . Porém, a predominância deste comportamento não introduz apenas este aspecto indesejável. Implica, também, em acionamentos e controles correspondentes às mudanças das derivadas das curvas correspondentes - com as respectivas flutuações e desequilíbrios de reativos que, por sua vez, contribuem ainda para o decréscimo da eficiência energética. A análise e identificação da incidência dos picos - que corresponde a um necessário estoque de capacidade instalada, para uso apenas dedicado a um intervalo limitado do dia - pode subsidiar considerações pertinentes à amplitude da diversificação e, por conseguinte, da necessidade de integração de fontes (de atuação conjunta e simultânea) no suprimento energético. Quando são selecionadas ou estabelecidas as alternativas de suprimento de potência de pico, sobretudo para sistemas distribuídos, de pequeno e médio porte, fontes múltiplas podem ser combinadas - para a obtenção de uma curva composta, para o mesmo suprimento, mais eficiente.

Conforme se pode ver nas Figuras 4.1 e 4.2, onde se integram três fontes, para um mesmo suprimento, os resultados correspondem à melhoria do desempenho conjunto.



**Figura 4.1 - Característica de uma Curva de Carga - Picos e Vales de solicitação de Potência decorrem de usos descontinuados: intercalando máxima solicitação e ociosidade.**  
Fonte: Elaboração própria

A realização de um diagnóstico da Eficiência Energética setorial no Brasil deve, pois, necessariamente, ser precedida por um levantamento das potencialidades de integração entre a potência firme disponível (de base, contínua e assegurada, na região predominante da curva de carga) e as potências supridoras de picos – de onde se poderá delimitar um universo específico para o estudo de um conceito mais abrangente de eficiência, Figura 4.2. A partir de uma abordagem inicial que considera estas premissas, onde se busca ampliar e fundamentar o conceito de eficiência energética, busca-se definir a metodologia proposta para elaboração de um modelo de análise e avaliação (quanto ao desempenho, em termos de eficiência energética típica e comparada, além de indicadores de viabilidade) para sistemas isolados ou parcialmente integrados de produção/consumo de energia de pequeno porte. Delimita-se o estudo a um conjunto de casos – ocorridos ou em implantação no país. Sendo este o objetivo que se propõe, neste trabalho, como etapa inicial de elaboração de uma abordagem integrada de avaliação do desempenho geração/consumo no âmbito de uma

eficiência energética global. Indicadores de desempenho que considerem a disponibilidade de fontes primárias, com o correspondente aporte e disponibilidade tecnológica (bem como os níveis de eficiência atual e projetada), deverão de considerar, além do desempenho operacional e técnico, no nível de exploração e disponibilidade atuais, considerações relativas aos impactos ambientais e perspectivas de evolução da participação de novos energéticos (para suprimento de pico e complementar). Como, também, integração entre sistemas isolados e interligados, custos, eficiência energética, incrementos tecnológicos, eficiência econômica e impactos ambientais e sociais projetados.

### Caracterização da Geração: Potência de Base, Potência Flutuante e Potência de Pico

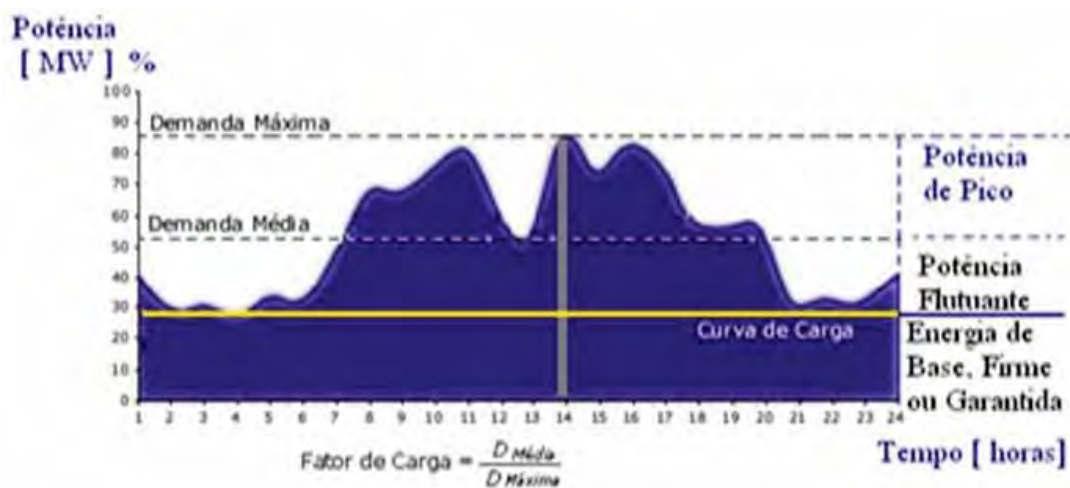


Figura 4.2 - As fontes de energia: componentes de um suprimento energético (conjunto de unidades geradoras) podem ser classificadas conforme a participação, por disponibilidade e escalonamento de custos. Desta forma, suprem: a) Energia de forma contínua, na Base; b) Energia variável (componente flutuante), Horo-sazonal e c) Energia de Pico, na máxima solicitação.

Fonte: Elaboração própria.

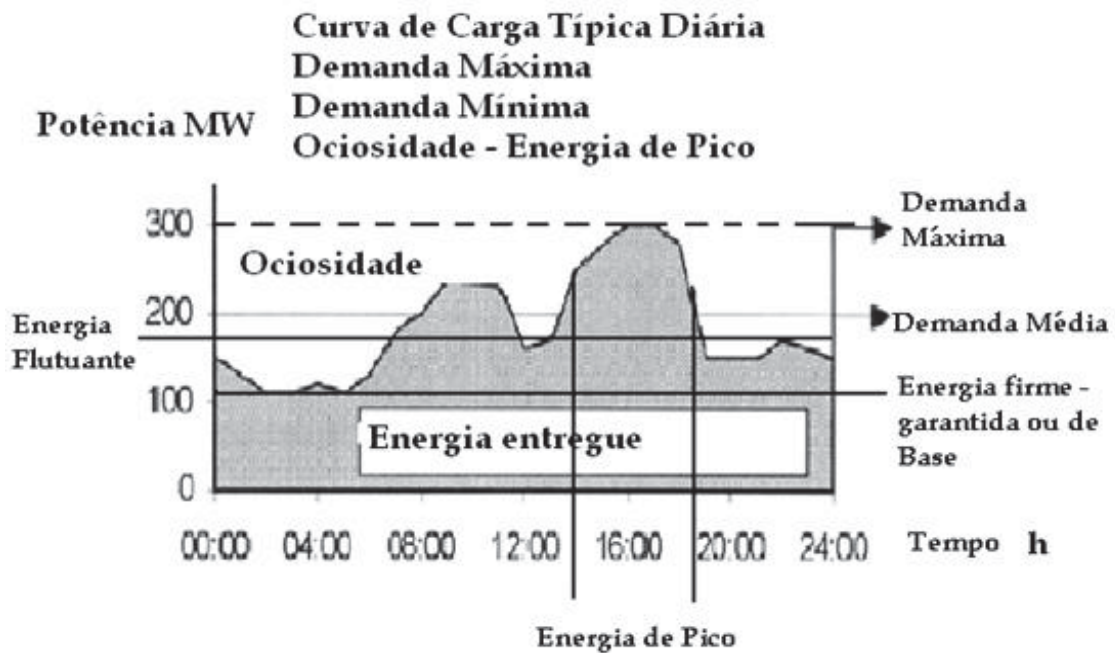
Desta forma, a partir de uma abordagem panorâmica da eficiência energética setorial no país, será possível identificar necessidades, potencialidades e oportunidades, em sistemas de pequeno porte, considerados como “sistemas com diferentes graus de integração à rede” e passíveis de incremento nas suas eficiências energéticas. Assim, selecionados casos (sistemas objeto de estudos mais detalhados), será possível a constatação de aspectos promissores de aumento da eficiência, bem

como a proposição de incremento da eficiência energética global, a partir da integração de fontes e otimização do consumo (ganhos de eficiência das cargas individuais, programação e coordenação do consumo). Critérios físicos, geográficos, tecnológicos (ferramentas da engenharia da área), econômicos, sociais e políticos - como aspectos estratégicos relativos a impactos ambientais, sensibilidade e resposta em termos de incremento significativo e rápido de ganhos de eficiência, divulgação e disseminação de resultados - serão considerados.

A literatura referencial constitui-se de textos técnicos especializados sobre o tema – levantamentos, análises e experiências institucionais – bem como periódicos científicos, boletins, informes técnicos, relatórios oficiais, artigos científicos (congressos da área, seminários e encontros temáticos na área) e similares. O caso do suprimento energético no estado do Mato Grosso, via implantação de uma rede de Pequenas Centrais Hidroelétricas, PCHs, é ilustrativo, sendo considerado um dos mais eficientes usos de recursos renováveis, até então implantados, o que o tem referenciado como um modelo em nível mundial (DIAS, 2007). O uso das curvas de carga tem sido incorporado de forma cada vez mais dinâmica nos sistemas de energia, como na determinação de padrões tarifários (HAGE, 2011) e, juntamente com as ferramentas computacionais (FRANCO, 2008) - que permitem avaliar e determinar várias propriedades – possibilitar o acompanhamento *on line* dos desempenhos destes sistemas – ver Apêndice C.

## **4.2 Ferramentas de análise e avaliação**

Quando representado o consumo de energia para um conjunto de consumidores – desde um bairro, área isolada, comunidade rural, município, estado, região, ou mesmo um país (e numa abordagem cada vez mais presente, o consumo aproximado de todo o planeta) – a curva que descreveria a máxima eficiência, ou de mínimo custo, seria a de uma reta horizontal, representando o “*suprimento pleno e consumo ótimo*”, destes consumidores, Figura 4.3:



**Figura 4.3 - O suprimento pleno e o consumo ótimo ocorrem com uma curva plana, nesta condição sendo a potência de suprimento constante  $P = \text{Demanda média}$ , desta forma, toda a energia solicitada é suprida em condições de custos mínimos. Na prática busca-se uma aproximação da curva plana - suavizando-se os aclives e declives.**

**Fonte: Elaboração própria.**

Os recursos de otimização, ou de aplainamento – definido tecnicamente pela expressão *modulação*, correspondendo a uma suavização, ou horizontalização da curva – buscam atingir os resultados operativos, seja em nível de distribuição e/ou geração, ou, do sistema como um todo, através dos recursos:

- i) Eliminação de picos e vales.
- ii) Ajuste e deslocamento do consumo (cargas) no tempo.
- iii) Eliminação da aglutinação de consumo em certos horários e ociosidade em outros (direcionado para grandes consumidores).
- iv) Regulação - tarifária restritiva, correspondendo à tarifação diferenciada ao longo do dia.
- v) Regime horo-sazonal: períodos anuais diferenciados, conforme o regime pluviométrico, critérios tarifários estimuladores de consumo em intervalos do dia de baixa solicitação geral (madrugada), horários de verão.
- vi) Restrição de consumo: racionamento compulsório - via limitação de consumo, multas – em situações críticas de perda do controle da operacionalidade plena.



Do ponto de vista da geração, sempre que não se estabeleça a condição ideal, busca-se uma solução desejável, ainda que como meta, factível, contudo, a ser realizada com os recursos e condições disponíveis. Estocar o mínimo de energia – seja por qualquer das formas (fontes energéticas) - ou, de outro modo, estabelecer e operar na mínima ociosidade, é o horizonte a ser alcançado, como eixo do planejamento – neste trabalho, especificamente, focado do ponto de vista do suprimento.

Do ponto de vista global, alguns indicadores econômicos procuram identificar o estado, ou grau, de aproximação – seja numa abordagem mais delimitada para um dado período, estática, ou numa projeção levantada para períodos futuros (planejamento plurianual - planos institucionais) (EPE, 2008; MME, 2009; MME, 2008; PROINFA, 2009), conforme cenários hipotéticos estimados, neste caso, dinâmica – da condição de *suprimento pleno-consumo ótimo*. Um dos principais é a *Elasticidade*, que exprime a sensibilidade da demanda (consumo solicitado), ou oferta (energia disponibilizada), em face do aumento dos preços, e ainda a elasticidade-renda do consumo - que exprime o grau de demanda ou oferta reprimida em função da variação da renda. Tais índices dão uma medida do grau de equilíbrio no equacionamento dos componentes e fatores que definem as quantidades produto(serviço)-preço-demanda-consumo e são instrumentos de avaliação e projeção de cenários, usados no diagnóstico de um dado instante, de um dado sistema suprimento-consumo - ferramenta, indispensável, portanto, no planejamento. As características do produto (serviço) e o respectivo consumo de energia são particularmente sofisticado e complexo, tendo profunda interações com, praticamente, todos os demais produtos e relações econômicas e sociais – exceto talvez para comunidades à parte dos sistemas sociais típicos deste século XXI. Daí, a existência de várias correlações (e cointegrações) entre índices, indicadores e tendências, envolvendo um vasto número de variáveis nas equações de solicitação-suprimento de energia (SCHIMIT; LIMA, 2004). De qualquer forma, produto-serviço sujeito às mesmas análises e ferramentas gerais do arcabouço da micro-economia e macro-economia, ainda que pesem as ferramentas de análise específica (curvas de carga, disponibilidade energética em face do insumo tecnológico, entre outros). Sujeito, portanto, às simulações decorrentes dos recursos então disponíveis.

Planos Plurianuais – projeções de tendências e estabelecimento de metas, a partir das análises de dados estatísticos compilados (séries históricas) – tais como o Plano Nacional de Energia, são exemplo do emprego de ferramentas típicas no planejamento na área.

#### **4.3 Dinâmica das Transformações: A Matriz Energética Mundial e a Brasileira**

A constatação da drástica dependência do petróleo, havida com os choques do petróleo ... “(...) uma série de eventos no fim de 1973 revolucionou a indústria do petróleo mundial. Em alguns meses, os treze membros da Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP) mais que quadruplicaram o preço, em dólares, do barril do petróleo bruto (o preço foi de US\$ 2,59 para US\$ 11,65). Os países exportadores de petróleo ficaram ricos (...) quase que da noite para o dia [pois a receita auferida com a exportação de petróleo aumentou consideravelmente], (...)” (LEITE, 2008). Na década de 70 passada, embora se tenha apontado para a necessária percepção das graves implicações e risco daí decorrentes, não se modificou uma tendência, ainda crescente, de aumento dos usos de fontes de energia fósseis, e o estabelecimento de sua predominância na matriz de consumo mundial. O reconhecimento da finitude das reservas energéticas convencionais conhecidas, por um lado e a constatação das limitações da exploração, na mesma magnitude de escala, das novas energias prospectáveis, por outro, apontam, inexoravelmente, para a, necessária, transformação drástica das relações entre “*incremento tecnológico*” – “*custo/benefício*”. Sem o qual seria possível prever um estágio – determinável a partir da projeção dos piores horizontes de eventos desfavoráveis na relação entre as necessidades energéticas humanas e os suprimentos disponíveis - correspondente ao esgotamento das fontes que hoje são consideradas economicamente viáveis. Diante do qual cumpre analisar as três etapas - que interferiram marcadamente nas relações entre o incremento tecnológico e a disponibilidade energética na segunda metade do século XX – originadas na brusca elevação dos preços do petróleo, na década de 70: Num primeiro momento houve um sensível e considerável incremento dos investimentos em pesquisa e desenvolvimento, voltados para a busca de alternativas energéticas; seguiu-

se uma relativa acomodação, onde novas técnicas de exploração e prospecção deram alento à permanência da predominância do uso de fontes energéticas fósseis por mais tempo – ao lado da constatação da interferência climática produzida pelo nível atual, com crescentes agravantes, do estilo de consumo energético humano, praticado à época, e incrementado na sua escala quantitativa, significativamente, porém, não qualitativamente; por fim, os fóruns mundiais World Energy Council, World Energy Outlook, entre outros, (WEC-2007, 2007; WORLD ENERGY OUTLOOK, 2008), hoje recrudescem na temática da necessária redução do uso de energéticos poluentes, da finitude das reservas petrolíferas, na necessária substituição e integração de fontes energéticas por alternativas sustentáveis, limpas e economicamente, não só viáveis, mas, significativas. Preocupações estas projetadas na dimensão global, em termos da necessidade de acesso generalizado dos recursos energéticos para todo o planeta (nas diferentes escalas de intensidade e diversidade de fontes e usos), diante da limitação previsível do uso de recursos hoje convencionais e predominantes. Tal ímpeto se traduziu em inovações e aplicações crescentemente mais eficientes – sistemas não convencionais, tais como novos aerogeradores controlados por eletrônica de potência, painéis solares com custos-índices de energia decrescentes, biocombustíveis renováveis - em escala de consumo crescente - além de incremento no rendimento e operacionalidade de sistemas distribuídos, como Pequenas Centrais Hidroelétricas, PCHs e células combustíveis (LOPES, 2004) - onde a produção de eletricidade pode ser obtida a partir de combustíveis renováveis ou não. Sistemas estes que tem se tornado cada vez mais competitivos. Através de fontes que, com a incorporação de novas tecnologias, em diversos graus de intensidade, integram-se às matrizes energéticas como energéticos complementares ou, mesmo, promissora, substitutos dos combustíveis fósseis ou não-renováveis. Decorre daí o enfoque fundamental deste trabalho: fornecer alguma contribuição na busca por ganhos de eficiência e qualidade, de forma distribuída, nas diversas fontes e sistemas de produção de energia - através do uso integrado destes recursos - por um lado, e a busca do estabelecimento de usos racionais e eficientes, por outro, no que diz respeito ao consumo. Surge, portanto, a necessária abordagem de integração, que deve ser não só considerada, mas, sobretudo, programada, como recurso de planejamento. Isto é

proposto através da incorporação de novos energéticos concomitante com a implementação de práticas de uso mais racional dos recursos energéticos, priorizando as periferias das grandes redes de suprimento de energia elétrica, ou os sistemas isolados (totalmente isolados ou parcialmente interligados à rede).

#### **4.4 Planejamento de Sistemas Alternativos no Brasil**

No Brasil, da mesma forma, e em graus muitas vezes incipientes de investimentos, quando comparados com os aportes dos países industrializados, foram destinados recursos para o desenvolvimento de sistemas energéticos com diversas escalas de integração (TOLMASQUIM, 2003). Algumas instalações e implementações experimentais mereceram especial atenção, não só dos meios acadêmicos, entre as quais:

Anteriores ao PROINFA:

- Desenvolvimento de protótipos de aerogeradores, família DEBRA – (TOLMASQUIM, 2003). Infelizmente, devido à insuficiência de estrutura e recursos continuados de pesquisa, não chegou a propiciar soluções competitivas ou assimiláveis pela produção industrial em larga escala. Mas, todavia, contribuiu para levantamentos e mapeamentos iniciais do potencial elétrico-eólico do país e contribuiu com experimentação em escala isolada, mas viável, como o suprimento energético da ilha de Fernando de Noronha (GALINDO, 2007).
- Ilha Energética de Gravatá, projeto iniciado em parceria internacional, no estado de Pernambuco (GALINDO, 2007). A escala reduzida e a implantação não continuada (e nem concluída), obstacularam maiores repercussões da implementação experimental, contudo, ensejou constatações válidas sobre os necessários recursos tecnológicos para a condição de operacionalidade, economicamente viável, para a auto-suficiência energética de uma comunidade

de dezenas de residências - em condições de isolamento ou parcialmente integrada à rede de distribuição elétrica convencional.

- Morro do Camelinho. No esteio de corredores de ventos, correspondeu a um projeto pioneiro em implantação de aerogeradores e levantamentos de dados de potência, disponibilidade, características dos ventos, em Minas Gerais (CAMARGO, 2005).
  
- Comunidades isoladas, em localidades da região norte do país, como a implementação de projetos de integração de suprimento, tais como: o da Comunidade de São Tomé, Praia Grande; Comunidade Tamaruteua e Comunidade Joanes, na Ilha do Marajó, estado do Pará - consistindo de sistemas híbridos, típicos de localidades isoladas (geração Eólico-Solar e Diesel, integrados, através de sistemas de gerenciamento de cargas, em conformidade com as disponibilidades instantâneas das fontes, de forma interligada), (BARBOSA, 2004; BARBOSA; PINHO; VALE, 2005).

A contribuição dada pelo Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica, PROINFA (ver Tabela 4.1) tem sido marcante como propiciadora da expansão das fontes de energias renováveis no país – embora pouco significativa, ainda, diante dos potenciais disponíveis no Brasil. A participação da energia eólica na matriz energética brasileira, por exemplo - que pode contar, potencialmente, desde os primeiros levantamentos realizados, com valores de até 143.000 MW (CRESESB, 2001) – não corresponde, hoje, a mais que 1% da capacidade instalada disponibilizada no país (MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA, 2011). Os dados da Agência Internacional de Energia, IEA, ilustram a importância destes energéticos na redução do CO<sub>2</sub> (Tabela 4.2) - que correspondem a potenciais promissores no Brasil, diante das perspectivas de crescimento da produção de energia renovável no Brasil (segundo os cenários de alta eficiência, projetados, também, por outros órgãos e instituições internacionais dedicados ao tema).

Tabela 4.1 – Empreendimentos do PROINFA

FONTE	Em operação			TOTAL	
	Qde	MW	%	Qde	MW
<b>PCH</b>	46	925,54	78%	63	1.191
<b>BIOMASSAS</b>	20	514,34	75%	27	685
<b>EÓLICAS</b>	23	385,38	27%	54	1.423
<b>TOTAL</b>	89	1.825,26	55%	144	3.299

Fonte: Eletrobrás. Agosto 2009

Tabela 4.2 – Potencial de Redução de CO<sub>2</sub> através de ganhos de eficiência tecnológicos no período: 2003 a 2050.

Redução das emissões: Gigatoneladas de CO<sub>2</sub> - (GtCO<sub>2</sub>)

Tecnologias/Ações	Reduções das emissões
Alteração no <i>mix</i> de combustíveis na geração de eletricidade	1,97
Aumento da eficiência na geração de eletricidade	0,26
Energia nuclear na geração de eletricidade	2,68
Hidroeletricidade na geração elétrica	0,46
Biomassa na geração de eletricidade	0,58
Outras renováveis na geração de eletricidade	2,68
Captura e armazenamento de carbono na geração elétrica	4,37
Captura e armazenamento de carbono na indústria	1,46
Captura e armazenamento de carbono na transformação	1,73
Alteração no <i>mix</i> de combustíveis na indústria e edifícios	2,75
Aumento do uso de biocombustíveis em transportes	2,31
Uso de hidrogênio e células a combustível em transportes	1,52
Aumento da eficiência no uso final de energia	14,66
Reduções totais	37,42

Fonte: Agencia Internacional de Energia - (IEA, 2006)

Segundo esta Agência Internacional de Energia (IEA, 2006), em torno de 40% de redução das emissões adviriam de ganhos de eficiência no uso final da energia. A contribuição advinda do crescimento do uso da energia elétrica seria, relativamente, menor – pelo fato dos sistemas elétricos já possuírem elevada eficiência em relação às demais formas de consumo de energia. Nos capítulos 5 e 6 são apresentados estudos

de caso no Brasil onde é avaliada a contenção de emissão de CO<sub>2</sub>, diante da substituição de termelétrica por Pequenas Centrais Hidroelétricas, PCHs – na região norte, estado de Rondônia.

Dentre os programas de maior fôlego implantados no Brasil para ampliação do acesso à energia de grandes parcelas dos habitantes do meio rural - prioritariamente àqueles que ainda não dispunham de energia elétrica - os programas “Luz para Todos” e “PROINFA” (MME-LUZ PARA TODOS, 2009; PROINFA, 2009), visam, através da implantação de PCHs e Geração Eólica, suprir, através de novos energéticos (de forma renovável e ambientalmente compatível) sanar uma grande carência de um insumo indispensável. Recurso este imprescindível - e que necessita de expansão programada e continuada - não só para estar acessível às grandes áreas do território nacional, mas, também, e, sobretudo, para manter os níveis de crescimento do país conforme delineado pelos atuais programas de crescimento econômico. Embasa estes programas a ampliação do mapeamento do potencial Solar e Eólico do Brasil (ANEEL, 2009; CRESEB – CEPEL, 2001) – o que vem constituir etapa de viabilização da exploração destes sistemas não convencionais, desde os menores, economicamente viáveis, até os de maior porte, viáveis e competitivos. Exemplo de eficiência referencial, em grande escala, é o 5º maior parque eólico do mundo e o maior da América Latina: O Parque Eólico de Osório, RS - com 75 aerogeradores de 2 MW potência nominal de cada uma das unidades - interligado à rede elétrica, com Fator de Capacidade médio em torno de 30% (um dos maiores do mundo, entre os sistemas sediados em terras continentais).

O que se constata com a implantação de, pelo menos, duas grandes unidades de produção de aerogeradores no país, de tecnologia originária da Alemanha, Wobben-Enercon - uma em Sorocaba, SP e outra em Fortaleza, no Ceará - é a necessidade de desenvolvimento e apropriação de tecnologias pelo parque fabril do país. As duas unidades de produção da fabricante de grande aerogeradores, Wobben, têm mais de 30% da sua produção voltadas para a exportação. Sendo, portanto, vasto e promissor o campo, seja para a implantação de fazendas eólicas no território nacional - nas regiões mais propícias e de maior potencial eólico constante, ou, para pequenos sistemas isolados. Acrescido, ainda, pelo fato de que, em grandes áreas do interior do Brasil o

acesso à energia é um marco definidor da viabilidade da ocupação humana de forma viável e produtiva. Decorrendo desta oportunidade de suprimento energético a única forma de passar do extrativismo predatório, em áreas de matas e de desmatamento recente, para um uso racional, integrado e eficiente dos recursos energéticos e econômicos disponíveis nestas vastas áreas. O uso de um planejamento que considere as tecnologias disponíveis e os potenciais locais aproveitáveis pode aproximar a sustentabilidade e a compatibilidade ambiental, através da implantação de sistemas energéticos nestas regiões, com as seguintes características:

- Fonte renovável;
- Geração próxima do consumo;
- Sistema flexível (interligado ou não a uma rede elétrica convencional existente ou a ser implantada);
- Interligável (capaz de se interligar a sistemas locais com fontes diversificadas ou a sistemas remotos – média e curta distâncias – no que seria uma rede rural local).

Merecendo ser observada a constatação de que mesmo sistemas caracterizados como zonas rurais, próximos dos grandes centros urbanos, ou, situados na periferia destes centros, projetam um suprimento complementar, alternativo (não convencional) ou não, quando se consideram as projeções do crescimento do consumo urbano e cercanias nos planos plurianuais de planejamento. Sem desconsiderar que a geração de energia em grandes usinas, com grandes reservatórios, cada vez mais remotos e com os seus correspondentes, e caros, sistemas de transmissão, já encontram resistência jurídico ambiental capaz de provocar, no mínimo, atrasos e comprometimento nos cronogramas de implantação de novos empreendimentos do gênero. Sobretudo, em áreas potencialmente conflituosas - a exemplo do atraso na implantação da última grande Hidrelétrica no Sudeste, UHE de Porto Primavera, com atraso de mais de 14 anos em sua construção, ou nas contendas ambientais - como as que envolvem o licenciamento ambiental nos projetos hidrelétrico do Rio Madeira (Usinas de Jirau e



Santo Antônio). Os custos de suprimento energético dos grandes centros, distantes das grandes unidades geradoras, tendem a incorporar custos crescentes, entre os quais:

- Custo da geração hidroelétrica crescente: Inevitável quando se considera, entre outros, os componentes de custos ambientais, componente de custos de oportunidade - ambos crescentes - pela prioridade histórica com que se realizam. Primeiro são construídos os aproveitamentos mais viáveis – do ponto de vista de uma eficiência global e oportunidades conjunturais – depois, seguindo um cronograma de prioridades planejadas, as que se definem como prioridade remanescente. Devendo-se atentar para o rigor crescente na mensuração dos custos ambientais (por exemplo, conta de carbono), os impactos sociais e as oportunidades disponibilizadas pelas inovações tecnológicas.
- Custo crescente da transmissão - devido ao crescimento das distâncias entre a geração e os centros consumidores.
- Custos de distribuição, com os correspondentes requisitos e recursos operacionais de gerenciamento de cargas integradas - observe-se, ainda, que é considerável o custo de perdas por roubo de energia nas periferias das grandes áreas metropolitanas do país.
- Custos de compatibilização ambiental crescente – como, por exemplo, os de projetos ambientais, como o que deve garantir a migração dos peixes ao logo dos rios, apesar das barragens, e preservação da fauna e flora preexistentes.

A questão ambiental tem merecido uma atenção crescente no país o que gera incertezas quanto aos obstáculos, representados pelas ações político-judiciais das organizações ambientalistas, ou de defesa de direitos arraigados, como o Movimento dos Atingidos pelas Barragens, MAB. Não sendo possível avaliar, com precisão, os impactos que podem significar, como obstáculos, na implantação de aproveitamentos críticos ou que promovam grandes mudanças geográficas e físicas – em locais onde são promissoras, do ponto de vista técnico e econômico. Por outro lado, não se viu no

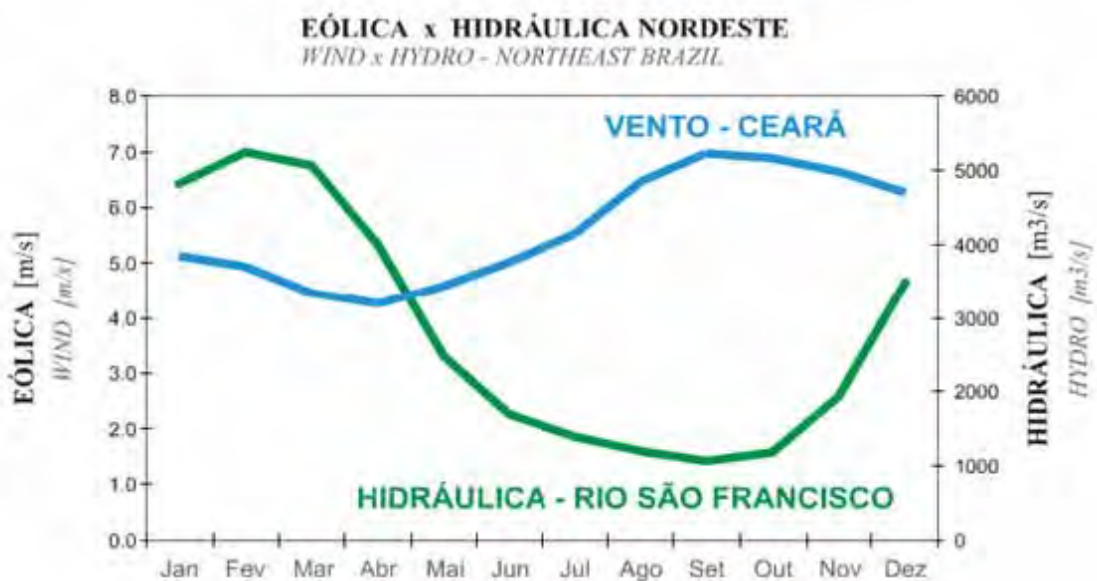
Brasil, desde a ECO-92, e os seus desdobramentos, como a Agenda XXI, um movimento tão intenso de identificação da imagem do país com a ecologia como o que se projeta para o evento em 2014, com a Copa Mundial de Futebol, por aqui designada como a “copa verde” - para realçar e diferenciar as potencialidades da sustentabilidade energética e compatibilidade ambiental do país.

#### **4.5 Suprimento Integrado: Sistemas Isolados ou Interligados à Rede**

A projeção de suprimentos integrados em redes rurais, tal como projeta KUMPULAINEN (2008), é a alternativa contraposta à ampliação e implantação de novos grandes sistemas energéticos, ditos concentrados, tais como as aventadas usinas nucleares – no Brasil, número que chegou a ser cogitado como algo em torno de 50 até metade do século (LAGE, 2008). Os parques eólicos, como o de Osório, no Rio Grande do Sul, assim como os menores, como o de Palmas, Paraná e o do Morro do Camelinho, Minas Gerais, entre outros - principalmente na região nordeste do Brasil - já permitem projetar o espaço, significativamente crescente, que estes energéticos representam, como insumo viável, para a matriz energética brasileira.

A análise das curvas de cargas de conjuntos de consumidores passíveis de suprimento energético por aerogeradores – numa configuração de tamanhos e quantidades correspondentes ao potencial, regime dos ventos e condicionamentos definidos pelos parâmetros de cada projeto específico – fornece os requisitos desejáveis a serem supridos por estas fontes. Ocorrendo, em muitos casos, a complementaridade, pois, em regiões de alto potencial, como o litoral do nordeste do Brasil - principalmente, da costa do estado do Rio Grande do Norte até a costa do Maranhão (os regimes de ventos mais favoráveis do país), e, por conseguinte, o maior fluxo de energia disponível nas centrais eólicas - ocorre no horário correspondente ao de maior solicitação, horário de ponta da curva de carga. Verificando-se, com isto, a complementaridade com os regimes hídricos das mais importantes bacias hidroenergéticas do nordeste, Fig. 4.4. O que corresponde a um efeito de operacionalidade altamente desejável, incidindo, significativamente, sobre a redução do custo médio de

operação e custos-índices de potência e energia médios. O que é acentuado, para esta mesma região, por exemplo, pelo fato dos ventos mais favoráveis, mais constantes e de maior velocidade - maior potencial energético disponível, por conseguinte - ocorrem no período sazonal de menores precipitações. Ou seja, a compatibilidade horo-sazonal de sistemas eólicos e sistemas hidrelétricos é um recurso correspondente a um efeito multiplicador de seu significado, em termos de operacionalidade, custos e suprimento energético renovável.



**Figura 4.4 - Complementaridade entre regimes sazonais de ventos e regime pluviométrico (das principais bacias hidrográficas) - na região nordeste do Brasil.**

Fonte: Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (ANEEL, 2009).

#### 4.6 Suprimento Renovável, Complementaridade e Integração de Sistemas Energéticos

As curvas de carga sazonais exprimem o suprimento energético no tempo, e, quando expressas de forma consolidada, representam as fontes com as suas respectivas participações - bem como a evolução das suas parcelas de contribuição. Com isto registram o atendimento da demanda, seja de um dado período, ou, de cenários projetados. A discriminação das características das fontes tende a classificá-las em, Figuras 4.2 e 4.3: **a)** Componente de Energia Firme, ou assegurada – constante em todo o período (diário, sazonal ou anual); **b)** Componente de Energia Flutuante – variável conforme a disponibilidade (anual, sazonal ou anual) e **c)** Componente de

Energia de Ponta, ou de Pico, correspondente à confluência das diversas modalidades de consumo, residencial, industrial, comercial, iluminação e outros, incidente, criticamente, sobretudo, nas curvas de cargas diárias - nos horários de pico, entre 17h00 e 21h00 (variável conforme disposições locais das concessionárias dos serviços de energia e estipulados por dispositivos legais). Porém, variações sazonais de quantidade e duração da potência de pico são observáveis e merecedoras de destaque, como item crítico do planejamento do suprimento energético.

A geração proveniente das fontes convencionais no Brasil é composta por Hidroelétricas, grandes, médias e pequenas centrais (Figura 4.5), com participação em torno de 80% da eletricidade e Termelétricas (Petróleo, Carvão, Gás e Nuclear, entre 15% e 19%). O restante correspondente à Eólica (Figuras 4.6 e 4.7) e ainda outras novas fontes (promissoras e em franca expansão aqui e no mundo, porém, com participação irrisória na matriz energética nacional, como a energia solar e a bioeletricidade).

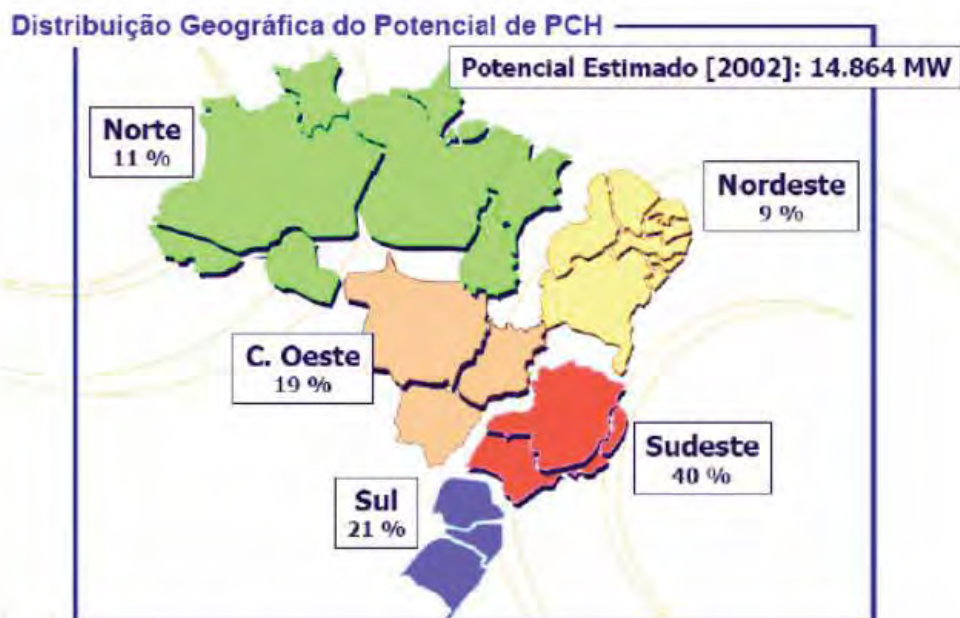
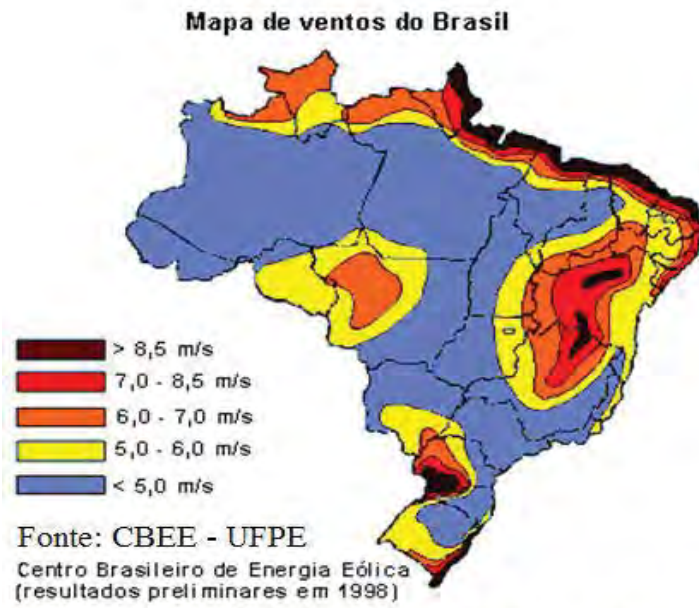
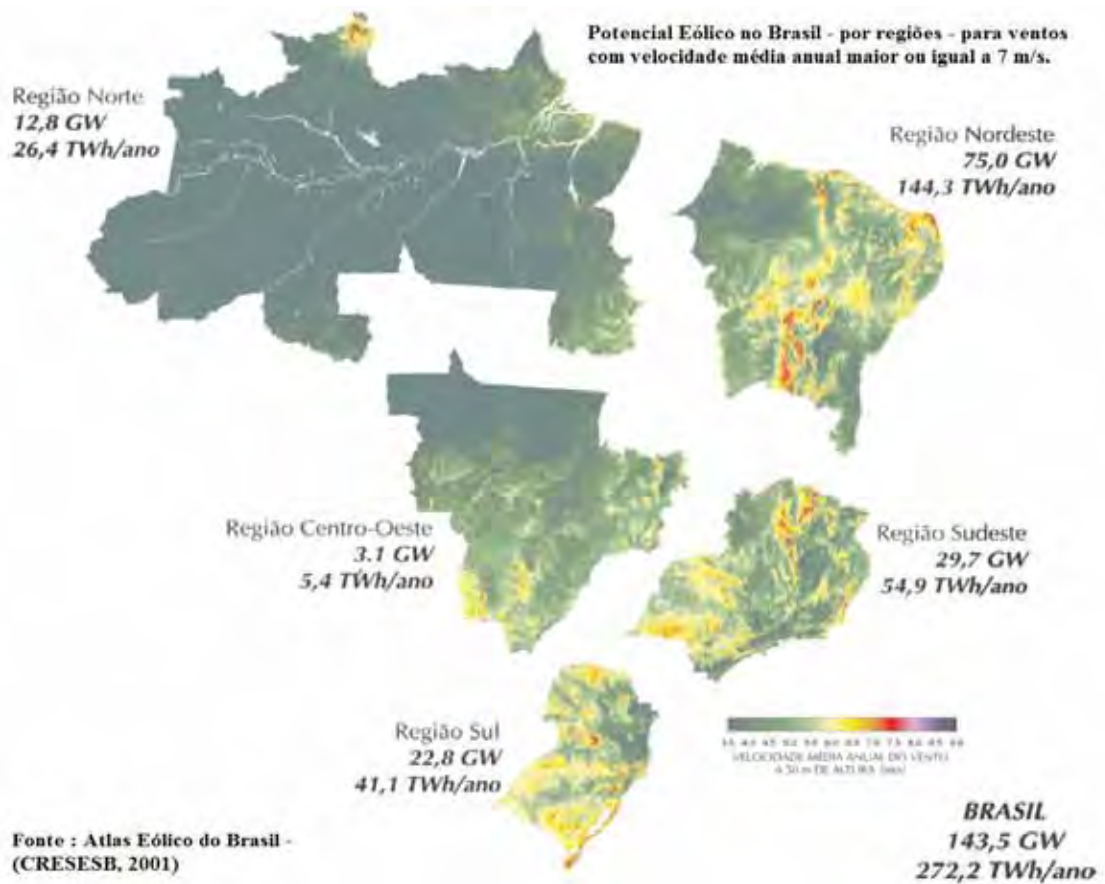


Figura4.5: Distribuição geográfica atual das PCHs nas regiões do Brasil.

Fonte: EPE - 2006



**Figura 4.6 : Potencial Eólico Brasileiro - Ventos (m/s)**



**Figura 4.7: Potencial Eólico Brasileiro – para ventos médios anuais  $\geq 7$  m/s**

Regiões remotas, distantes da rede elétrica convencional, ou insulares, como Fernando de Noronha e ilhas da costa brasileira, correspondem não só a espaços prioritários para implantação destes novos energéticos (LOPES, 2004), assim como, também, as periferias urbanas ou fronteiras de expansão econômica, eficientes e competitivas, no imenso território nacional – que representam não só atratividade crescente, como terão, nestes sistemas, a única disponibilidade eficaz, através do aporte de tecnologias adequadas e eficientes para a exploração dos energéticos não convencionais, limpos, sustentáveis e ambientalmente competitivos. Mesmo que não haja perspectivas de drástica e radical substituição, haverá mudanças. Usos complementares, ambientalmente atraentes e técnica e economicamente viáveis e competitivos de fontes novas, aumentarão paulatinamente as suas participações, seja na expansão, substituição ou efficientização do suprimento energético global.

#### **4.6.1 Potencialidades**

Desta forma, as qualidades e oportunidades correspondentes aos sistemas energéticos não convencionais em expansão, para a aplicação em curto e médio prazos no Brasil, podem ser enumeradas:

- Complementação de suprimento – em regime horo-sazonal específico de cada sistema (localidade, espaço geográfico determinado);
- Suprimento em condições geográficas indisponíveis às redes elétricas convencionais;
- Ampliação do acesso ao consumo e do consumo com menos impactos e ambientalmente compatível e renovável - propiciados pelos incrementos tecnológicos e ganhos de eficiências em desenvolvimento, atualmente.

#### 4.6.2 Ferramentas de análise: Eficiência de sistemas de fontes renováveis múltiplas.

Dentre as contribuições mais relevantes das fontes renováveis de conteúdo tecnológico e viabilidade técnica e econômica garantidas, ou verificáveis, competitivas, portanto, as passíveis de **integração** e **complementação** - com condições de horosazonalidade atraentes e promissoras - são das mais expressivas. De uma forma geral, pode-se enumerar as modalidades de integração e participação destes sistemas, entre os seguintes:

- Modulação das curvas de carga - complementação, suavização ou aplainamento das curvas, sobretudo nos horários de pico;
- Transformação/Modulação da matriz energética – com diminuição dos estoques de energéticos não renováveis e a incorporação de energia renovável, limpa, reciclável e de custos, primordialmente ambientais, decrescentes.
- Ampliação do consumo sustentável no mix energético - com o desenvolvimento e introdução de tecnologias compatíveis com a exploração destas novas fontes e a correspondente implementação de ganhos de operacionalidade técnica eficaz (através dos sistemas de controle e distribuição de cargas eficientes – eletrônica de potência dedicada aos sistemas distribuído de geração de energia), com a correspondente agregação de valor aos produtos e aos sistemas produtivos isolados, como um todo.
- Mudança de hábitos com a incorporação da participação crescente dos consumidores na busca de ganhos de eficiência, através da otimização do consumo e escolha de equipamentos mais eficientes, usos programados e tarifação diferenciada.

O que pode ser implementado através de análises de sensibilidade das curvas de carga, em face das alternativas e compatibilidades verificáveis entre os sistemas, seja os já existentes (para complementação) ou os que podem ser incorporados.

O suprimento-consumo eficiente conta com as ferramentas gráficas e analíticas:

**Fator de carga,  $F_{car}$** , é a razão entre a energia elétrica consumida por uma carga durante um determinado intervalo de tempo e a energia elétrica que seria consumida caso a carga operasse com sua potência instalada durante esse mesmo intervalo de tempo. O fator de carga é expresso por:

$$F_{car} = \text{Energia Fornecida num intervalo T} / \text{Potência}_{m\acute{a}xima} \times T \quad (4.1)$$

**Fator de capacidade,  $F_{cap}$** , é a razão entre a energia elétrica efetivamente gerada por um sistema durante um determinado intervalo de tempo e a energia elétrica que seria gerada caso o sistema operasse em sua potência nominal durante esse mesmo intervalo de tempo. Valores do fator de capacidade que ocorrem em energéticos no Brasil são mostrados na tabela 4.3 (valores médios). O fator de capacidade é expresso por:

$$F_{cap} = \text{Energia Gerada num Intervalo T} / \text{Potência}_{m\acute{a}xima} \times T \quad (4.2)$$

**Tabela 4.3 – Geração – Capacidade Instalada e Fator de Capacidade,  $F_{cap}$ , de Autoprodutores de Energia**

GERAÇÃO E CAPACIDADE INSTALADA DE APE CATIVO (2010)			
FONTES	GWh	MW	FATOR DE CAPACIDADE
Total termo	35.669	8.040	0,51
Gás Natural	5.372	889	0,69
Biomassa	18.199	5.120	0,41
Bagaço (*)	9.742	3.707	0,30
Outras	8.458	1.414	0,68
Óleo	2.906	750	0,44
Gás Industrial	8.219	1.281	0,73
Carvão mineral	974	179	0,62
Hidro	4.735	1.067	0,51
UHE	2.119	528	0,46
PCH	2.616	539	0,55
Eólica	0	0	0,00
<b>TOTAL</b>	<b>40.404</b>	<b>9.107</b>	<b>0,51</b>

Vendas do Setor Sucroalcooleiro para o mercado= 8.774 GWh

(\*) O fator de capacidade sobe para 0,35 caso se considere a expansão proporcional de potência de 2010

Fonte: Ministério das Minas e Energia - (MME, 2011)



**Modulação de uma curva de Carga:** é o grau, ou nível de aplainamento, ou de horizontalização que se obtém por deslocamento dos picos e vales, de forma a uniformizar o fornecimento de energia.

**Intensidade Energética,  $I_E$ ,** é a razão entre a energia consumida, num processo, ou, por uma população e o benefício produzido (realizado), ou PIB, obtido com o consumo desta energia.

A intensidade é expressa por:

$$I_E = \text{Energia Primária Consumida} / \text{PIB}. \quad (4.3)$$

#### 4.7 Fatores Agregados: Fator de Eficiência Global.

Considera-se, como primeira etapa do desenvolvimento da metodologia proposta, a definição de um conceito: **Fator de Eficiência Global** de um dado energético,  $F_{EG}$ , ou de um conjunto de energéticos (fontes de suprimento) – aplicável para sistemas não interligados a uma rede de suprimento, tal como a rede do Sistema Interligado Nacional, SIN; e **Fator de Eficiência Conjunta Global,  $F_{EGC}$ ,** para o suprimento de uma carga, ou sistema de consumo - composto de um determinado conjunto de consumidores interligados a uma rede convencional.

Orienta-se, como segunda etapa do procedimento metodológico proposto, a análise - através da definição de fatores de eficiência conjunto e a busca por sua quantificação - formulada para aplicação, primordialmente, em sistemas isolados, ou, parcialmente integrados à rede de suprimento elétrico convencional. Onde, objetivamente, os benefícios dos sistemas distribuídos são mais perceptíveis - assim como, por razão de escala, os impactos ambientais, são, em princípio, menores e mais facilmente quantificáveis. Com uma mudança de ênfase - através da ampliação e extensão do âmbito da metodologia - pode-se, igualmente, aplicá-la na análise e no planejamento de sistemas interligados à rede. Deste modo, após os devidos ajustes e adaptações de procedimentos, podem, também, ser submetidos à avaliação das suas

eficiências conjuntas os sistemas renováveis de pequeno e médio porte interligados à rede de suprimento.

A ANEEL considera a disponibilidade das usinas hidrelétricas interligadas em cascatas, segundo a formulação (EPE, 2008):

$$GF_h = GF_{local} + BI_{cascata} \quad (4.4)$$

Onde

$GF_h$  = garantia física total da usina hidrelétrica “h”

$GF_{local}$  = garantia física das usinas interligadas em cascata à usina “h”

$BI_{cascata}$  = benefício indireto obtido nas usinas a jusante da usina h decorrente da entrada do reservatório da usina hidrelétrica “h”.

Já a garantia física para Usinas Eólicas, a energia física garantida, Garantia Física, é (EPE, 2008):

$$GF = \frac{\sum_{m=1}^{12} E_m}{8760} \quad (4.5)$$

Onde

$E_m$ : compromisso firme de entrega de energia ao SIN declarado pelo agente, em cada mês “m” e em MWh, e que deve ser menor ou igual aos valores estimados de produção de energia apresentados na certificação da medição anemométrica.

A metodologia proposta neste trabalho utiliza-se de índices, entre os usualmente empregados nas análises técnicas e econômicas dos sistemas de geração e consumo de energia (de uso já consagrado nas disciplinas econômico-energéticas) - outros são reformulados - e alguns propostos, como adaptação de indicadores gerais. Dentre os

propostos, mesmo que de alguma forma já tenham sido utilizados como ferramentas de avaliação de desempenho de sistemas energéticos, ressalva-se o uso proposto - através de uma formulação nova - que visa a determinação de índices de desempenho conjunto de sistemas energéticos. Alguns fatores também são utilizados:

**Custos-índices de referência,  $C_r$** , que se exprime em duas formas: De Energia,  $C_{re}$ , medido em unidades monetárias/unidade de energia disponibilizada; ou, de Potência,  $C_{rp}$ , medido em unidades monetárias/unidade de potência disponibilizada. Utilizados como indicadores comparativos de viabilidade, ou oportunidade, entre sistemas de geração de energia.

**Fator de Integrabilidade,  $f_{int}$** , que mede a propriedade de complementação da energia suprida por um dado energético (representada pela sua curva de carga), em relação a outro, ou, ao conjunto das demais cargas complementares utilizadas - para o suprimento com fontes múltiplas – usada no suprimento do conjunto de cargas as quais esteja incorporado. A sua definição e uso visam obter uma modulação orientada para a uniformização da carga - máxima eficiência, ou  $F_{cap}$  e  $F_{car}$  mais próximos da unidade (ver exemplo de aplicação do  $f_{int}$  mais adiante) - ou, a conjugação dos fatores de capacidade e de carga simultâneos.

**Fator de Renovabilidade ou Reposição,  $f_{ren}$** <sup>6</sup>, que relaciona, primordialmente, numa avaliação quantitativa, os custos índices entre as fontes de energias alternativas renováveis disponíveis - correspondendo ao inverso da relação de custos índices típicos, ou seja, para um energético (alternativo ou substituto) - com custo índice, de potência ou energia, o dobro do custo índice de referência, corresponderia a um  $f_{ren} = 1/2$ , ou  $f_{ren} = 0,5$  (aproximadamente, ou, ainda, um valor percentual relacionado que poderia vir a ser precisado, especificamente, e em campo, para cada sistema ou conjunto de suprimento/consumo considerado).

---

<sup>6</sup> Nota: as letras maiúsculas são usadas para designar os índices ou fatores resultantes, globais, resultantes de uma operação de fatores elementares, indicadores do desempenho do conjunto que se está analisando – estes característicos de unidades, plantas ou sistemas de geração específicos; as letras minúsculas são usadas para designar e identificar os índices ou fatores elementares característicos de unidades, plantas ou sistemas considerados isoladamente.

**Fator de Impacto Ambiental,  $f_{imp}$** , que avalia os impactos, em termos de limitação de usos futuros de energia e custos de reposição ou eliminação de impactos indesejáveis. Correspondendo, em valor numérico relativo, inversamente proporcional aos impactos gerados pela substituição de um energético – por exemplo, duas vezes mais impactos, representados por custos ambientais ou sociais (custos para evitar a poluição, recompor o ambiente ou realocar assentamentos humanos), corresponderia a  $f_{imp} = 0,5$  - ou um valor aproximado de 0,5, a ser precisado com a avaliação criteriosa e específica para o dado conjunto de fontes supridoras e as alternativas, intercambiáveis, consideradas.

Busca-se, assim, mesurar um **Fator Eficiência Global,  $F_{EG}$** , que envolve a viabilidade técnica e econômica, em nível de custos e disponibilidades correspondentes às tecnologias apropriáveis, correspondendo à atratividade global, oportunidades e ganhos líquidos de substituição ou de resultados a longo prazo e, também, o que incorporaria, também, um indicador, implícito, de Viabilidade Ambiental - medida dos impactos ambientais relacionados com o uso, isolado ou em conjunto, de um dado energético - comparada entre os diversos sistemas de suprimento energético.

O **Fator de Eficiência Global** de um conjunto de *fontes supridoras isoladas*,  $F_{EG}$  - fontes não conectadas a uma rede elétrica convencional - portanto, seria do tipo:

$$F_{EG} = \left[ \left( \sum_{i=1}^n f_{int(i)} \times f_{ren(i)} \times f_{imp(i)} \times P_{mf(i)} \right) \times T / \text{Energia requerida} \right] \quad (4.6)$$

Para  $i = 1, 2, \dots, n$ .

Onde

$P_{mf(i)}$  corresponde à Potência Média, calculada num tempo “T”, ou a energia assegurada<sup>7</sup> (ANEEL, 2005) de cada energético “i”, que compõe o conjunto de fontes supridoras – não interligadas a uma rede elétrica convencional.

Daí, para sistemas de fontes renováveis distribuídas, como as PCHs e as usinas de geração Eólicas, sobretudo - pelo que representam em termos de potencial instalado ou já inventariado no país - interligados à rede, o **Fator de Eficiência Global** passaria a ser designado: *Fator de Eficiência Global Conectado*, ou do *Conjunto* definido pelo sistema de geração renovável distribuído conectado à uma rede de suprimento convencional,  $F_{EGC}$ , que consideraria uma média ponderada, correspondendo os pesos às participações percentuais relativas entre o suprimento devido à rede convencional e o suprimento devido à(s) fonte(s) alternativa(s), ou, não-convencional(is).

Assim, pois:

$$F_{EGC} = F_{EG(\text{Sistema Integrado})} \times \rho_I + F_{EG(\text{Rede})} \times \rho_R \quad (4.7)$$

Onde

$\rho_I$  e  $\rho_R$ , corresponderiam, respectivamente, aos pesos percentuais relativos de participação dos sistemas de fontes não convencionais, integrados, ( $\rho_I$ ), e a participação da rede ( $\rho_R$ ). Na definição da participação das fontes, em se tratando de um sistema de fontes, deve-se considerar, também, os fatores de cada fonte, ou, ainda, subsistemas de fontes e o fator de capacidade disponibilizada pela rede, decorrente dos fatores de capacidades individuais ou ao menor fator de capacidade, ou seja, a energia firme assegurada.

---

<sup>7</sup> A energia firme de uma usina hidrelétrica corresponde à máxima produção contínua de energia que pode ser obtida, supondo a ocorrência da seqüência mais seca registrada no histórico de vazões do rio onde ela está instalada; A energia assegurada do sistema elétrico brasileiro é a máxima produção de energia que pode ser mantida quase que continuamente pelas usinas hidrelétricas ao longo dos anos, simulando a ocorrência de cada uma das milhares de possibilidades de seqüências de vazões criadas estatisticamente, admitindo certo risco de não atendimento à carga, ou seja, em determinado percentual dos anos simulados, permite-se que haja racionamento dentro de um limite considerado aceitável pelo sistema. Na regulamentação atual, esse risco é de 5% (ANEEL, 2005).

E,  $F_{EG(\text{Rede})}$ , *Fator de Eficiência Global da Rede* convencional, é definido, também, pela mensuração dos impactos ambientais - relativos a uma referência, tomada como padrão (cujo valor seria igual a uma unidade, para um sistema de rede elétrica convencional, por exemplo, cuja implantação ou expansão não implicasse em custos ambientais crescentes ou para os quais não houvesse limitações ou novos impactos, restrições técnicas e econômicas). Já para sistemas convencionais para os quais incidem impactos de implantação, como é o caso das usinas do Rio Madeira, ou, que gerem poluição (resíduos da combustão de fósseis,  $NO_x$ ,  $SO_x$ , das usinas termelétricas) ou efeito estufa (emissão de  $CO_2$  e  $CH_4$ ) - esse fator tende a decrescer e se afastar da unidade.

Através dos quais, a aplicação de conceitos, tais como, *energias alternativas*, *impactos ambientais* e os benefícios de suprimento energético por fontes que não a rede convencional - em sistemas isolados -, ou, benefícios de interligação (com diversos graus de participação de convencionais e não-convencionais) para sistemas de suprimento conjunto, poderiam ser quantificados e precisados, passando a ser uma medida útil de avaliação, quantificada, dos seus significados energéticos, tecnológicos, econômicos e ambientais. Implicando, sobretudo, na quantificação, pelo que, redutíveis a uma unidade comum de equacionamento, o que se refletiria sobre os cálculos de custos, continuidade e projeção de impactos e a razão custo/benefício, tanto a curto, como a médio e longo prazos.

#### **4.8 Abordagem ampliada: Planejamento Integrado e Dinâmico**

Do que foi exposto pode-se observar que, dada a dinâmica de produção e consumo de energia desta primeira década do século XXI - quando se constata as preocupações dos fóruns mundiais – verifica-se a priorização na busca de fontes e sistemas de energias limpas, renováveis e garantidas. Correspondente não só ao suprimento energético nos níveis de consumo atuais, mas, também, como perspectivas de atenuar os constatados, e sérios, impactos ambientais decorrentes dos usos atuais,

ou seja, da matriz energética mundial e de suas projeções, mantidas as tendências atuais.

No Brasil o vasto potencial energético renovável é promissor sob vários aspectos: como recurso de substituição de energéticos não-renováveis, atualmente em escala de consumo crescente, mas, também, como a possibilidade de integração e complementação de fontes de energia, prioritariamente em sistemas isolados, assim como, para sistemas parcialmente integrados a uma rede convencional de distribuição de energia elétrica.

As ações que promovem a ampliação da disponibilidade de energia através de suprimento distribuído, como as que vêm ocorrendo no estado do Mato Grosso - com o incremento do uso de PCHs, interligadas, ou não - assim como as experiências de integração no norte do país, orientam o aumento da participação das energias renováveis no sentido de se determinar uma forma consistente de avaliação do uso destes potenciais, bem como as perspectivas que apresentam de integração e complementação em relação às deficiências da rede do SIN. Devem, por conseguinte, ser encaradas como meio de otimizar o suprimento, via melhoria dos índices de custos - e fatores de carga e capacidade conjuntos - e de indicadores, tais como: de renovabilidade, impacto ambiental, integrabilidade e viabilidade global ou estendida. Através de procedimentos que participem já do planejamento local, regional e nacional, de forma a estimular a prática da busca de ganhos de eficiência no uso da energia, o que se traduz pela busca de um suprimento pleno e um consumo otimizado.

## CAPÍTULO 5

### 5 PANORAMA E CONFLITOS NO PLANEJAMENTO ENERGÉTICO

#### 5.1 Implantação de PCHs em Municípios Isolados no Brasil

A oferta de energia elétrica em municípios brasileiros isolados, geograficamente e da rede interligada nacional, apresenta forte participação de usinas termelétricas, indo na contramão das tendências mundiais de incentivo ao desenvolvimento sustentável. Neste contexto, as pequenas centrais hidrelétricas, PCHs, podem representar uma opção de geração mais atrativa, tanto nos aspectos técnico-econômicos, quanto sócio-ambientais. Este trabalho apresenta um panorama geral sobre este empreendimento no Brasil, seus principais incentivos e entraves legais, bem como os impactos inerentes ao mesmo. Alguns casos de implantação de PCHs em regiões que abrangem diversos municípios isolados do Brasil são apresentados, verificando-se que alguns projetos obtiveram grande sucesso, enquanto outros estão gerando diversos conflitos devido aos impactos sociais e ambientais negativos que podem causar à comunidade local (BARRETO Fº; GIORY; BALESTIERI; ASTORGA, 2011b).

A economia no Brasil tem vivido momentos de estabilidade, desenvolvimento continuado e crescente. Diante deste cenário, o setor elétrico se depara com o aumento da demanda de energia elétrica que vem acompanhando o desenvolvimento econômico do país, exigindo cada vez mais o aumento da oferta de energia por parte do parque gerador nacional. Segundo as projeções do Plano Nacional de Energia, o consumo de energia per capita em 2030 se aproximará do padrão europeu verificado em 2004 (PEREIRA, 2008). Este mesmo estudo previa que 100% da população brasileira teria acesso à energia elétrica em 2010. Entretanto, esta previsão não se confirmou, pois, devido às desigualdades sociais, a acessibilidade das formas modernas de energia não só é muito baixa para uma grande parte da população brasileira, como tende a permanecer neste patamar, em consonância com a dinâmica social e política do seu



grande e diversificado território (PEREIRA, 2008). De acordo com o estudo realizado pelo Conselho Mundial de Energia em 2006, cerca de um terço da população mundial não tem acesso à energia elétrica. Segundo dados de 2005 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE, o Brasil participa deste cenário com cerca de 13 milhões de habitantes que não usufruem dos benefícios da energia elétrica (FILHO; LEMOS, 2007).

As iniciativas de eletrificação de comunidades isoladas tem se mostrado, até então, de difícil sustentabilidade econômica, com altos índices de descontinuidade do serviço e com a baixa qualidade da energia elétrica disponibilizada. De toda a capacidade de geração de energia elétrica do país, 3,4% encontram-se fora do Sistema Interligado Nacional (SIN), em pequenos sistemas isolados, localizados principalmente na região amazônica (ANDRADE, 2010). Nos 62 municípios do estado do Amazonas foram identificadas aproximadamente 5.532 comunidades isoladas, segundo o Instituto de Desenvolvimento Agropecuário e Florestal Sustentável do Estado do Amazonas (IDAM). Considerando as ações em andamento pela Eletrobrás Amazonas Energia, estima-se que das 5.532 comunidades, aproximadamente 1.731 estão incluídas na meta de 81.000 ligações a serem efetuadas por meio de soluções convencionais, no âmbito do Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica - Luz Para Todos. Assim, restam 3.800 comunidades a serem atendidas, num total estimado de 68.400 domicílios, para as quais a implantação de métodos convencionais de atendimento como extensões de rede aérea e construção de usinas se mostra de difícil viabilidade (ANDRADE, 2010).

O norte do país constitui uma região em que se observa uma grande extensão geográfica muito dependente de geração termelétrica descentralizada, com intensa utilização de geradores a diesel para o atendimento à demanda de energia elétrica (LEÃO, 2008). A utilização de combustíveis derivados de petróleo eleva o custo da geração, sendo que muitas vezes estes têm que ser transportados em embarcações precárias até as comunidades remotas, ocorrendo vazamento de combustível pelo caminho, contaminando rios e florestas. Além disso, o transporte fluvial depende do regime e da navegabilidade dos rios da região, restringindo ou dificultando o acesso às comunidades durante os meses de vazante (ANDRADE, 2010). Outra questão

relevante são as emissões de gases de efeito estufa na atmosfera devido à utilização desses combustíveis na geração termelétrica (LEÃO, 2008). Um motor diesel lança na atmosfera cerca de 220 quilos de carbono por MWh gerado (ANDRADE, 2010). Neste contexto, as PCHs surgem como uma opção de maior viabilidade para o abastecimento de energia elétrica em diversos municípios e comunidades isoladas do SIN. A seu favor pesa o fato de a maior parte dessas localidades apresentarem potencial hídrico suficiente para a implantação deste tipo de empreendimento, o que, além de exigir menores investimentos, apresenta reduzido tempo de implementação e recebe diversos incentivos legais, proporcionando ainda menores impactos sócio-ambientais, sobretudo, se comparado às usinas termelétricas (OUD, 2002; EGRÉ, 2002).

A questão da confiabilidade no sistema elétrico brasileiro tem sido bastante discutida após o apagão ocorrido em 10 de novembro de 2009, que deixou 18 estados brasileiros sem energia elétrica devido a problemas meteorológicos que provocaram o desligamento de três linhas que ligam Itaipu ao estado de São Paulo. A falta instantânea de 14 mil MW no sistema elétrico causou um efeito avalanche, visto que o sistema é interligado e o backup existente não é suficiente para restabelecer de imediato toda essa energia produzida por Itaipu (GYORI, 2007). As PCHs representam uma forma de descentralizar a produção de energia elétrica e aumentar a confiabilidade do sistema de distribuição por se encontrarem, na maioria das vezes, próximas aos centros de consumo, tornando-se um importante agente de geração distribuída, GD, (KOEHLER, 2006). As fontes de geração descentralizadas oferecem significativa economia em se tratando de investimentos relacionados à transmissão, redução de perdas e melhoria da estabilidade do serviço de energia elétrica, visto que em diversas localidades o acesso à eletricidade não é 24h por dia. O regime médio de operação nas comunidades que possuem grupos geradores é de 3 a 6 horas por dia, fornecendo energia prioritariamente para o atendimento das escolas rurais e poços comunitários de bombeamento de água, atendendo também alguns domicílios com capacidade entre 10 e 100 kVA (ANDRADE, 2010). A falta de continuidade no fornecimento de energia elétrica não beneficia a produção local, impedindo o armazenamento a frio de peixes e polpas de frutas que poderiam ser transportados e

comercializados ao longo do período de imperecibilidade. Como resultado, a economia local não se desenvolve, permanecendo em torno da comercialização indiscriminada da madeira e cultivo da farinha de mandioca (ANDRADE, 2010).

Diante do exposto, o presente trabalho apresenta os parâmetros que envolvem o projeto e a implantação de PCHs no Brasil, destacando que tal empreendimento pode melhorar a qualidade de vida e promover o crescimento econômico dos municípios isolados. Para complementar, é realizada uma análise dos impactos que a construção de PCHs causou em alguns sistemas isolados do país.

## **5.2 Análise de oportunidades**

As PCHs são definidas pela resolução da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) 652/2003 como as usinas de potência instalada entre 1 MW e 30 MW e área de reservatório menor que 3 km<sup>2</sup>. A PCH pode apresentar área de reservatório maior que 3 km<sup>2</sup>, desde que o dimensionamento do mesmo tenha sido baseado em outros objetivos que não o da geração de energia elétrica e não ultrapasse 13 km<sup>2</sup>, (LEÃO, 2008; EGRÉ, 2002).

Atualmente, os principais incentivos legais às pequenas centrais hidrelétricas são (GYORI, 2007; SANTOS Jr, 2008; RUIZ; RODRÍGUEZ; BERMANN; 2007):

- i) Simplificação no processo de obtenção da concessão, com a dispensa de licitação, bastando o empreendedor obter outorga de autorização. Essa autorização não é onerosa e evitam-se os riscos inerentes à participação em processos de leilões de potencial (Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996);
- ii) Possibilidade de apresentar Relatórios Ambientais Simplificados (RAS) para a solicitação do licenciamento ambiental, no caso de obra considerada de baixo impacto ao meio ambiente (Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 279, de 27 de junho de 2001);
- iii) Desconto igual ou superior a 50% nos encargos de uso dos sistemas de transmissão e distribuição (Resolução ANEEL nº 281, de 10 de outubro de 1999);

- iv) Livre comercialização de energia para consumidores de alta tensão com carga igual ou superior a 500 kW (Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 2006);
- v) Comercialização da energia gerada com agentes de Distribuição, sob o rótulo de Geração Distribuída, com limite tarifário definido pela ANEEL (Resolução Normativa ANEEL nº 167 de 10 de outubro de 2005);
- vi) Isenção relativa à Compensação Financeira pela Utilização de Recursos Hídricos (CFURH) (Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996);
- vii) Isenção de pagamento de Uso de Bem Público (UBP) (Lei nº 9.648, de 27 de maio de 1998);
- viii) Isenção da obrigação de aplicar, anualmente, o montante de, no mínimo, 1% de sua receita operacional líquida em pesquisa e desenvolvimento do Setor Elétrico (Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000);
- ix) Participação no rateio da Conta de Consumo de Combustível (CCC), quando substituir geração térmica a óleo diesel, nos sistemas isolados (Resolução Normativa ANEEL nº 146, de 14 de fevereiro de 2005);
- x) Possibilidade de se optar pelo regime de tributação pelo lucro presumido;
- xi) Possibilidade de obtenção de créditos de carbono através do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL);
- xii) Possibilidade de se beneficiarem dos incentivos do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) do Governo Federal;
- xiii) No caso de investidores privados, atualmente encontra-se disponível junto ao Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) uma linha específica de financiamento para PCHs com custo financeiro atrelado à Taxa de Juros de Longo Prazo (TJLP = 6,25% ao ano) mais taxa de remuneração do BNDES de 1% ao ano, com limite máximo de participação de 80% do orçamento e prazo máximo de amortização de 14 anos, com carência de 1 ano após a operação comercial;
- xiv) No caso de empresas estatais, o financiamento para PCHs pode ser feito na modalidade conhecida internacionalmente como “*Project Finance*”, em que o fluxo de caixa futuro do próprio empreendimento é subscrito em garantia do empréstimo, sendo que este deve se apresentar com alto grau de confiabilidade

para se constituir em plena garantia, e ser aceita pelo agente financiador.

A viabilidade econômica de projeto de PCH depende da garantia de comercialização da energia gerada, do preço de venda dessa energia, da obtenção de financiamento competitivo e do valor dos investimentos para a implantação do empreendimento. Outras variáveis que também devem ser consideradas são: o prazo de implantação da usina, o nível de utilização de sua capacidade instalada, o regime de tributação adotado, os custos de administração, de operação e de manutenção. As PCHs que estiverem situadas em locais de difícil acesso, distantes dos centros de consumo ou das redes de distribuição, poderão apresentar custos mais elevados para a integração no sistema elétrico, sendo necessário considerar o valor das perdas de energia na transmissão (KOEHLER, 2006).

Investimentos recordes e projetos mostram que as PCHs vêm ganhando peso na balança nacional da produção de energia, podendo chegar em R\$ 39 bilhões. Os projetos que se encontram em fase de construção significarão a injeção de recursos financeiros na casa dos R\$ 5 bilhões (CAPOZOLI, 2011).

Os custos diretos de implantação das PCHs são estabelecidos a partir de planilhas que podem apresentar grandes variações de valores para itens gerais e específicos. É possível, contudo, adotar uma média, baseada em análises estatísticas para a determinação de custos referenciais numa faixa de valores que, juntamente com características regionais e locais podem identificar a viabilidade, em termos de oportunidade econômica e sinalizador de investimentos praticáveis. Para a referência global, utiliza-se o índice de custo/benefício geral, o ICB, utilizado para a determinação dos custos índices representativos para quaisquer energéticos, e para a geração hidrelétrica, seja global (qualquer valor de potência praticável disponibilizada), ou, discriminada, por faixa de potência (COSTA; PIEROBON, 2008; EPE, 2006). No leilão A-3 para fontes alternativas, as PCHs tiveram a energia, no indicador custo/quantidade, cotado a R\$ 149 por MWh, sendo que para a alternativa biomassa e eólicas, em média, este indicador correspondeu a R\$ 157,50 por MWh (CERPECH, 2010). O custo de geração a diesel em sistemas isolados na Amazônia pode variar de R\$700,00 a R\$1.300,00 por MWh, o que comprova a necessidade de

e elevar a participação das fontes alternativas na geração de energia elétrica nessas regiões do país (ANDRADE, 2010).

Dada a proximidade com que as PCHs podem ser instaladas dos centros de consumo e pela diversidade e versatilidade tecnológica disponível para os aproveitamentos das pequenas quedas e vazões, a geração de energia elétrica passa a concorrer com outros usos dos recursos fluviais, como consumo humano, irrigação, piscicultura e, tipicamente, preservação ambiental e ecológica, e mesmo atividades turísticas, associados aos cursos hidráulicos e a suas áreas ribeirinhas (BARRETO Fº; SOUZA, 2009). O uso conjugado e múltiplo da água das bacias hidrográficas é assunto tratado pela Agência Nacional de Águas, ANA, e pela ANEEL, respectivamente, por meio de leis (9.427/95 – criação da ANEEL), resoluções, (395/98 – concessão de exploração de PCHs) e comunicados técnicos (BARRETO Fº; SOUZA, 2009). Muitos aspectos e itens da regulamentação e legislação, aplicáveis à normalização dos usos da água para fins múltiplos ainda são ou incompletos, ou não adaptados e nem implantados de forma plena e eficaz pelas esferas dos poderes públicos municipais (BARRETO Fº; SOUZA, 2009). Espera-se que com a prática de solicitações de concessões e autorizações ambientais, os municípios venham a se atualizar e mapear os seus potenciais efetivamente aproveitáveis, sendo que a agilidade e a responsável celeridade com que venha a ocorrer essa atualização podem definir a viabilidade e a oportunidade econômica significativa dos projetos de PCHs (RUIZ; RODRÍGUEZ; BERMAN; 2007).

O processo de autorização de exploração de PCHs difere do processo de concessão dos demais aproveitamentos essencialmente pela ausência de licitação, ou seja, a competição pela autorização é muito mais dependente das características das empresas participantes do que dos critérios técnicos e econômicos. Alguns empreendedores fazem um projeto básico para embasar a construção da PCH após a obtenção do direito de exploração, mas como essa fase não é obrigatória, muitas vezes a construção é iniciada de forma precária, sem preocupação com a otimização de recursos ou segurança (ALVES; YAMAGUSHI; BRAUN, 2008).

Apesar de se caracterizar como um empreendimento de baixo impacto ambiental as PCHs têm encontrado alguns obstáculos, no que diz respeito ao licenciamento

ambiental. No que diz respeito ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, IBAMA, os problemas maiores, referentes aos projetos de PCHs, são de caráter burocrático, tais como (ALVARENGA, 2005):

- Aumento da demanda dos processos e com isso, necessidade de criação de uma diretoria específica para licenciamento ambiental;
- Quantidade de recursos humanos e materiais, gerando desistência de empreendedores ou liberação de licenças de forma inadequada;
- Diversidade de leis, decretos e resoluções versando sobre o mesmo assunto, o que gera dúvidas na sua interpretação e sobre a qual órgão recorrer. São contabilizados 828 dispositivos legais e administrativos que relacionam somente o meio ambiente ao setor elétrico (ALVES; YAMAGUSHI; BRAUN, 2008).

Do ponto de vista do empreendedor, os problemas mais relevantes, relacionados à implantação e operação das PCHs, são (ALVARENGA, 2005):

- O IBAMA enxerga a questão dos impactos apenas pelo lado do meio ambiente, não pelo aspecto sócio-econômico;
- Mesmo tendo cumprido todas as exigências do Estudo e do respectivo Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA), e estando de posse das devidas licenças, o projeto ainda pode vir a ser suspenso por ações públicas;
- As licenças podem ser revogadas a qualquer momento pela superveniência de graves riscos ambientais e de saúde.

Conclui-se que, mesmo com diversos incentivos legais, o licenciamento de PCHs no Brasil pode se tornar um processo trabalhoso.

### 5.3 Potencial para implantação de PCHs no Brasil

De acordo com dados divulgados pela ANEEL em abril de 2011, a Tabela 5.1 apresenta o potencial conhecido para a implantação de PCHs no Brasil, a partir dos inventários hidrelétricos de bacias hidrográficas, dos projetos básicos (PB) de PCHs submetidos à Superintendência de Gestão e Estudos Hidroenergéticos (SGH) da ANEEL em seus diversos estágios, das PCHs outorgadas entre 1998 e 2010 que ainda não iniciaram sua construção, das PCHs em construção e em operação (ANEEL, 2011a; ANEEL, 2011b).

Com o objetivo de avaliar as expectativas quanto ao mercado de PCH, o Centro Nacional de Referências em Pequenas Centrais Hidrelétricas (CERPCH) tem desenvolvido uma série de trabalhos de estimativa de potencial. A partir dos estudos desenvolvidos, estima-se que o potencial teórico ainda não inventariado no Brasil para implantação de PCHs é em torno de 15.453 MW, que somado ao potencial total conhecido apresentado na Tabela 1 de 27.620,42 MW resulta em um potencial total de 43.073,42 MW (TIAGO F, 2006).

**TABELA 5.1 - POTENCIAL DE IMPLANTAÇÃO DE PCH NO BRASIL**

SITUAÇÃO	QUANTIDADE	POTÊNCIA (MW)
BÁCIAS HIDROGRÁFICAS INVENTARIADAS	1266	13326,63
PB-PCH-ANÁLISE CONCLUÍDA	39	414,33
PB-PCH-ANÁLISE CONCLUÍDA / OUTORGADO	48	674,38
PB-PCH-ANÁLISE NÃO INICIADA	331	3100,59
PB-PCH-ANÁLISE PARALISADA	2	18,50
PB-PCH-APROVADO / ENCAMINHADO PARA FASE DE OUTORGA	74	881,24
PB-PCH-EM ACEITE	41	151,39
PB-PCH-EM ANÁLISE	60	636,46
PB-PCH-EM COMPLEMENTAÇÃO	55	534,60
PB-PCH-EM ELABORAÇÃO	326	1605,45
PCH AUTORGADA ENTRE 1998 E 2010	149	2056,46
PCH EM CONSTRUÇÃO	52	683,25
PCH EM OPERAÇÃO	398	3537,13
<b>POTENCIAL TOTAL PARA IMPLANTAÇÃO DE PCHS NO BRASIL (MW)</b>		<b>27620,42</b>

Fonte: (ANEEL, 2011a; ANEEL, 2011b)



Observa-se que apenas 8,21% desse valor estão resultando em energia gerada referente às PCHs em operação no país. Existem 976 projetos básicos de PCHs em trâmite na ANEEL, que somados representam 8.016,94 MW a serem adicionados no parque gerador nacional. Segundo a Associação Brasileira de Geração de Energia Limpa (ABRAGEL), a demora na análise desses projetos pela ANEEL é um fator que prejudica a atratividade das PCHs (CAPOZOLI, 2011). Para melhorar a competitividade deste tipo de empreendimento, a ABRAGEL tem reivindicado melhores condições de financiamento, redução de impostos para os investimentos, melhorias tecnológicas, além da isenção do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) na aquisição de equipamentos como faz para os projetos eólicos, bem como prazos mais extensos e spreads (diferença entre as taxas com que os bancos captam e repassam aos seus clientes os recursos que disponibilizam) menores nos financiamentos junto ao BNDES, a exemplo dos projetos do Rio Madeira e Belo Monte (CAPOZOLI, 2011).

Se existe a necessidade de elevar a oferta de energia elétrica no país e se existe potencial para isto através da implantação de PCHs, os órgãos públicos deveriam direcionar esforços para aumentar a viabilidade deste tipo de empreendimento, visto que tais apresentam diversas vantagens técnicas, econômicas, legais, sociais e ambientais.

De acordo com dados da Eletrobrás, o potencial brasileiro para a geração hídrica é hoje de 260 mil MW (ELETROBRÁS, 2010; ANEEL, 2009). Desses, 89,9 mil MW referem-se ao potencial da bacia do Rio Amazonas, que abrange a região do Brasil com maior número de municípios isolados (ELETROBRÁS, 2010; ANEEL, 2009). O potencial teórico estimado no país, a ser aproveitado no âmbito Plano Nacional de Energia, PNE 2030, é de 126 mil MW, sendo que, somente a bacia do Rio Amazonas representa 73,8% desse total (ELETROBRÁS, 2010; ANEEL, 2009).

Na Tabela 5.2 registram-se os números do Parque Gerador atual dos Sistemas Isolados do país, localizado quase integralmente na Região Norte do Brasil (ANDRADE, 2010).

**TABELA 5.2 - PARQUE GERADOR DOS SISTEMAS ISOLADOS – 2010**

UNIDADES GERADORA	QUANTIDADE	POTÊNCIA (MW)
Usinas Hidrelétricas (UHE)	8	328
Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH)	39	117
Usinas Termelétricas (UTE)	1.334	2.217

Fonte: ANEEL, 2010; ANDRADE, 2010

Se o Brasil pretende contribuir para o desenvolvimento sustentável, então é preciso aumentar a participação das hidrelétricas na geração de energia dos sistemas isolados, de modo que seja possível a desativação de usinas termelétricas, sem que haja diminuição da oferta de eletricidade na região.

Neste contexto, verifica-se que o grande potencial das PCHs em atuar como fonte de geração distribuída nos sistemas isolados deve ser explorado, aumentando-se os incentivos fiscais, reestruturando-se os aspectos legais e exigindo-se mais responsabilidade na análise de impactos sócio-ambientais que o empreendimento pode causar, garantindo a implementação dos programas de mitigação que se fizerem necessários, principalmente por se tratar de uma região inserida no maior patrimônio ecológico do Brasil.

#### **5.4 Análise dos impactos**

Em se tratando da avaliação dos impactos que podem decorrer da implantação de PCHs, dois cenários são prontamente estabelecidos: o dos “Prós” e o dos “Contras”. Todo empreendimento energético, por mais sustentável que sejam suas premissas, geram impactos sócio-ambientais negativos. O que se deve ponderar são os benefícios que tais empreendimentos podem oferecer e contrabalancear com os inconvenientes decorrentes dos mesmos.

A construção de uma PCH, principalmente se implicar na construção de reservatório, pode gerar os seguintes impactos sócio-ambientais negativos (EGRÉ, 2002; GYORI, 2007; AGILAR, 2006):

- Início ou aceleração dos processos erosivos, devido aos movimentos naturais do espelho do reservatório nas fases de enchimento do lago e de operação do empreendimento;
- Alterações na fauna aquática a montante da barragem, causada pela diminuição da correnteza, pela diferença de temperatura entre o fundo do lago e a superfície do lago que propiciam a proliferação de matérias orgânicas e vegetais, que em decomposição causam a diminuição do oxigênio da água;
- Alteração na qualidade da água do reservatório, que ocorre por causa da decomposição orgânica mencionada anteriormente, favorecendo a emissão de gases de efeito estufa como o dióxido de carbono e o metano e gerando compostos nocivos à saúde humana, aumentando o risco de doenças;
- Maior proximidade de captação da água como recurso de uso múltiplo e, por conseguinte, necessária e premente regulamentação que coadune todos os seus múltiplos usos e usuários;
- Comprometimento de rotas migratórias, relacionado à barreira física introduzida com a implantação da barragem que cria um fator de isolamento para populações e espécies aquáticas que antes viviam em contato e impede ou dificulta a piracema de algumas espécies de peixes;
- Interferências de áreas de autorização e concessões minerais com reservatório;
- Terras cultiváveis, sítios históricos e reservas ambientais perdidos pela construção do reservatório e das instalações da usina;
- Deslocamento compulsório das populações ribeirinhas;
- Aumento nos custos dos serviços públicos, das taxas e dos impostos, no ressarcimento de desapropriações;
- Intensificação do tráfego nas rodovias vicinais que afluem à região de implantação da usina;
- Interferência e conflitos referentes aos aspectos paisagistas;
- Problemas de saúde pública devido à degradação ambiental.

Em contrapartida, destacam-se os seguintes impactos positivos decorrentes da implantação de uma PCH (EGRÉ, 2002; GYORI, 2007; AGILAR, 2006):

- Aumento da oferta de energia elétrica, que promove o desenvolvimento econômico e a melhoria na qualidade de vida da população local;
- Diminuição da utilização de combustíveis fósseis para a geração de energia através das usinas termelétricas, reduzindo custos e as emissões de poluentes na atmosfera;
- Oportunidade de se obter créditos de carbono, melhorando a imagem do município em relação ao desenvolvimento sustentável;
- Aumento da confiabilidade dos sistemas de fornecimento de energia elétrica;
- Diminuição dos custos referentes a sistemas de transmissão necessários para conectar os municípios isolados à rede de distribuição;
- Acesso à água potável e água para irrigações de plantações provenientes do reservatório;
- Alterações ao mercado de trabalho que se refere à geração de empregos durante a implantação e operação do empreendimento;
- Incentivo ao lazer, podendo o rio ser usado como balneário e para a pesca recreativa, incentivando o turismo na região;
- Alteração das arrecadações municipais, devido à contratação de trabalhadores e ao turismo, que aumenta o consumo de bens e serviços locais, potencializando a expansão do setor terciário;
- Desenvolvimento de projetos sócio-educacionais nas PCHs em parceria com instituições municipais, com o objetivo de tornar os cidadãos mais informados e conscientes quanto às questões energéticas no âmbito do desenvolvimento sustentável.

Existe uma tendência em se caracterizar a construção de PCHs como um empreendimento que gera impactos negativos irrelevantes, principalmente quando a base de comparação são as grandes centrais hidrelétricas, que geram esses efeitos,

entre outros, em proporções bem maiores. Contrariando este preceito, sabe-se que as PCHs podem gerar conflitos, tanto de ordem ambiental como sócio-econômico e cultural (AGILAR, 2006). A situação torna-se ainda mais delicada quando se trata da construção dessas usinas nos sistemas isolados na Amazônia, sendo que muitos se encontram em regiões de preservação ambiental e cultural das populações indígenas que ali habitam. Há quem defenda a idéia de que 400 PCHs de 5MW instaladas em 100 rios podem impactar o meio-ambiente mais do que uma grande usina hidrelétrica de 2000 MW instalada em um único rio (EGRÉ, 2002). A predominância de usinas termelétricas nas regiões isoladas induz os agentes envolvidos na comercialização de combustíveis fósseis a serem contrários à construção de PCHs como forma de defender seus interesses político-econômicos (FILHO, 2008).

Entretanto, é imprescindível considerar que a análise sobre a viabilidade deste tipo de empreendimento deve ser mais abrangente e imparcial, levando em consideração que as PCHs apresentam impactos negativos que podem ser mais facilmente absorvíveis e reversíveis (EGRÉ, 2002; GYORI, 2007). Tais impactos devem ser devidamente identificados, hierarquizados, além de se caracterizar sua respectiva fase de ocorrência e propor programas de mitigação com o objetivo de eliminá-los ou, pelo menos, minimizá-los (AGILAR, 2006).

Outro fator essencial no processo de inserção de uma PCH nos municípios são as audiências públicas, visto que a população deve tomar ciência de todos os aspectos que envolvem o projeto, para que o mesmo não seja encarado como algo que não lhes traz nenhum benefício, se traduzindo apenas em uma imposição a favor de interesses políticos e financeiros (AGILAR, 2006; BARRETO Fº; BAZANINI, 2003).

É importante que os agentes envolvidos na construção do empreendimento disponibilizem à sociedade informações verídicas quantos aos impactos que poderão ocorrer, quais são os projetos de mitigação propostos e como estes serão implementados, de modo que a população possa vislumbrar uma melhoria na sua qualidade de vida e no desenvolvimento da região em que estão inseridas (AGILAR, 2006; BARRETO Fº; BAZANINI, 2003).

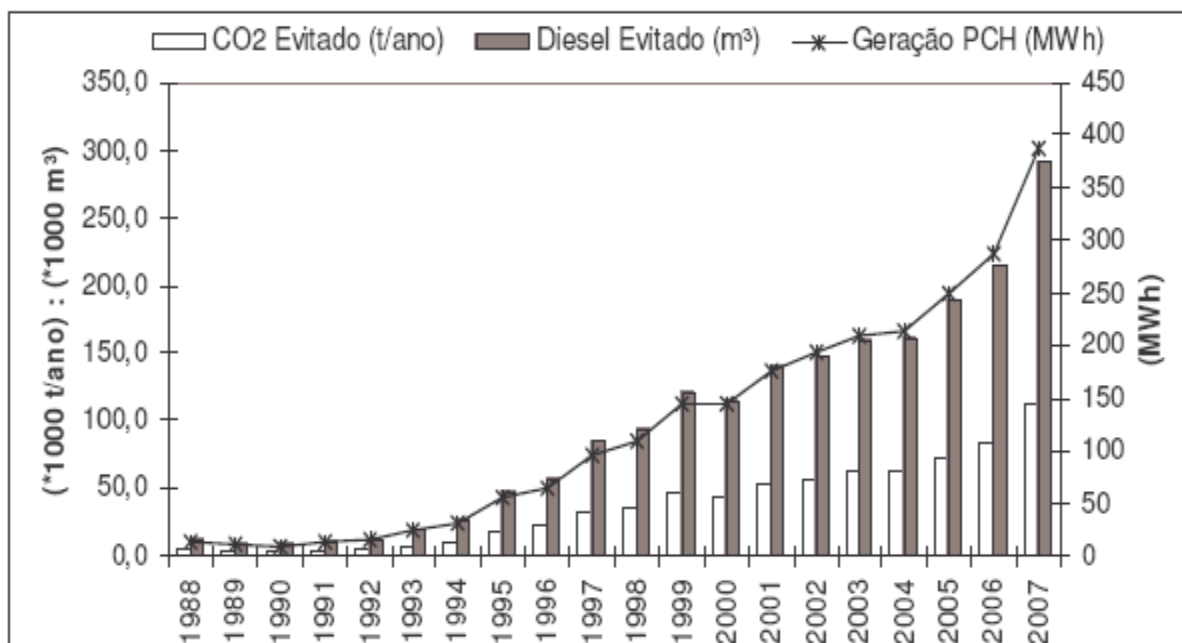
#### 5.4.1 PCHs no Estado de Rondônia: Um caso de sucesso e integração

A população do estado de Rondônia, pouco mais de 69 mil habitantes em 1960, superou os 490 mil em 1980, resultado da forte migração entre 1975 e 1990. Os dois municípios existentes em 1960, Porto Velho e Guajará Mirim, multiplicaram-se para 52 municípios em 1995. Durante o período da migração intensa, o atendimento à demanda de energia elétrica era realizado por sistemas termelétricos isolados, implantados sem planejamento (NETO; MORET, 2008). Na atualidade, a produção termelétrica responde por 64,77% da geração estadual (ANEEL, 2011a). A produção hídrica vem da Usina Hidrelétrica (UHE) Samuel (216,75 MW), da UHE Rondon II (49 MW) e de 15 PCHs. Essas PCHs totalizam 77,24 MW de potência, 7,88 % da demanda estadual de energia elétrica, que foram instaladas para suprir localidades isoladas e aos poucos foram se incorporando aos subsistemas interligados regionais: Acre-Rondônia ou Cone Sul (NETO; MORET, 2008; ANEEL, 2011a).

Alguns municípios isolados em Rondônia apresentaram um crescimento significativo após a implantação de PCHs, como é o caso de Chupinguaia, suprida desde 1988 por uma pequena central térmica (PCT) de 264 kW autorizada para operar 12 horas por dia. Em janeiro de 1995 passou a ser suprida pela PCH Chupinguaia, cuja capacidade é de 640 kW. A energia total requerida pelo mercado local passou de 395 MWh em 1994 para 2.831 MWh em 2000. A taxa de crescimento do número de consumidores, basicamente residencial, foi de 20,8% (de 166 para 517 consumidores) (NETO; MORET, 2008).

A inserção das PCHs no parque gerador estadual também representou uma significativa redução da dependência da geração térmica. A Figura 5.1 apresenta a quantidade de CO<sub>2</sub> emitidos na atmosfera e consumo de Diesel que foram evitados devido à implantação das PCHs no período de 1988 a 2007.

### CO<sub>2</sub>(t/ano) e Diesel (m<sup>3</sup>/ano) evitados e geração das PCHs (MWh) em Rondônia



**Fig. 5.1 - CO<sub>2</sub>(t/ano) e Diesel (m<sup>3</sup>/ano) evitados e geração das PCHs (MWh) em Rondônia – 1988/2007 (NETO; MORET, 2008)**

Uma importante contribuinte para este cenário é a PCH Cachoeira de 11,12MW de potência, localizada no município de Vilhena, no estado de Rondônia, e instalada no Rio Ávila, pertencente à bacia do Rio Madeira. A PCH Cachoeira entrou em operação em 1997 e atualmente atende 47% do mercado do subsistema Cone Sul (NETO; MORET, 2008).

A implantação das PCHs proporcionou os seguintes impactos à região (NETO; MORET, 2008; BLANCO; SECRETAN; MESQUITA, 2008):

- Contribuição para o fim do racionamento no Cone Sul de Rondônia, de forma que o suprimento de energia elétrica nas menores localidades aumentasse de 6h ou 12h para 24h por dia;
- Geração de uma economia de cerca de R\$20 milhões/ano aos cofres públicos em razão da substituição de geração térmica a diesel;
- Melhoria no atendimento à população, com aumento da confiabilidade e da qualidade da energia elétrica fornecida;

- Contribuição para a estabilização e crescimento do mercado de energia elétrica estadual, com base em um recurso natural de uso limpo e renovável;
- Geração de empregos e renda, direta e indiretamente;
- Introdução de estabelecimentos educacionais na região para a qualificação de profissionais em áreas técnicas;
- Redução no consumo de combustíveis derivados do petróleo e na emissão de gás carbônico, contribuindo com as necessárias medidas de combate ao aquecimento global da atmosfera.

As iniciativas referentes ao aumento da participação das PCHs na oferta de energia elétrica no estado de Rondônia visam maximizar os benefícios proporcionados pelo empreendimento e minimizar aspectos adversos, como impactos ambientais restritivos ou impeditivos, bem como os índices de custos benefício competitivos em face da plena compatibilidade de sua operação com quaisquer outros usos.

#### **5.4.2 PCHs no Estado do Mato Grosso: Um Caso de Conflitos Sócio-Ambientais**

O grande número de pequenas centrais hidrelétricas, PCHs, já instaladas ou em construção, em Mato Grosso tem chamado a atenção de políticos e da sociedade. De acordo com números da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, SEMA, no Mato Grosso tem 48 PCHs em operação; 36 em fase de implantação; 27 aguardando início das obras; 22 em estudo; e dez com a construção parada. Esses índices colocam o Estado como o segundo no Brasil com maior quantidade de PCHs.

O que realmente tem preocupado os ambientalistas é o número elevado de pequenas centrais planejadas para serem construídas em um mesmo rio e em uma mesma bacia hidrográfica, que pode vir a causar danos ambientais graves e trazer prejuízos socioeconômicos para algumas regiões do estado (TONIN, 2011). Das 116 PCHs previstas para serem construídas na Bacia do Alto Paraguai, formadora do Pantanal, 70% estão previstas para ser implantadas na parte norte da bacia mato-grossense, 29 das quais já estão em operação e pelo menos mais cinco com a construção autorizada. A sub-bacia do rio Cuiabá fornece 40% da água do Pantanal e



cinco rios que formam a sub-bacia já possuem grandes barragens: Casca, Manso, Correntes, Itiquira e São Lourenço. Para os pesquisadores, todas essas usinas em conjunto têm potencial de alterar o curso de inundação do Pantanal, já que a região em que serão implantadas é responsável por 75% da água do ecossistema (AMAZÔNIA INFORMA, 2011). Se toda essa água variar seu fluxo de forma artificial, pode haver alteração nos períodos de seca e cheia, interferindo no fator hidroecológico do Pantanal. No rio Juruá a produção pesqueira foi impactada, visto que os pescadores observaram uma queda drástica na quantidade de peixes após a construção das barragens (BONANOME, 2009).

Outro caso preocupante relacionado à implantação de PCHs refere-se ao rio Juruena, no noroeste do Mato Grosso. O rio é a principal fonte de alimentos e possui uma importância ritualística para a etnia indígena Enawenê Nawê, nativa da região (BONANOME, 2009). A importância cultural desse rito é tão grande que o Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) está registrando-o como Patrimônio Imaterial Brasileiro. Apesar disto, devido a não inclusão do leito do rio nas terras de conservação da etnia, foram planejadas a construção de 77 PCHs ao longo do rio (BONANOME, 2009). Com o anúncio das obras em 2007, os indígenas invadiram os canteiros de obra, atearam fogo em equipamentos e materiais de construção, sob a exigência da realização de estudos de impacto social independentes. Nenhuma das reivindicações indígenas foi levada a diante e acabaram aumentando o clima de tensão, seguido por diversos casos de violência e ameaças praticadas por funcionários do consórcio que realiza as obras sobre os indígenas. Mesmo com as pressões de entidades da sociedade civil e órgãos internacionais, as obras continuam, ameaçando alagar as terras indígenas e destruir o modo de vida dos Enawenê Nawê. Além das PCHs, outros projetos prevêem a instalação de mais 15 UHEs no rio Juruena e a criação de uma hidrovía para facilitar o escoamento da soja produzida pelo estado (BONANOME, 2009).

Diante de um cenário conflitante, em março de 2011 foi criada a Comissão Parlamentar de Inquérito (CPI) das PCHs para investigar os processos de concessão pela SEMA, de exploração de UHEs e PCHs em Mato Grosso que tenham sido aprovadas, rejeitadas ou ainda estejam em análise, nos últimos dez anos. De acordo

com o relatório que a SEMA encaminhou ao Poder Legislativo, a autorização para implantação dessas centrais teve um salto superior a 1000% nos últimos oito anos, passando de duas unidades em 2002, localizadas em Juscimeira e Sapezal, para 154 captadoras de energia espalhadas pelas bacias dos rios Paraguai, Araguaia, Amazonas e Tocantins. Entretanto, a Assembléia Legislativa, AL, analisou até agora somente 12 processos de abertura de PCHs neste período, contra as 154 autorizadas, contrariando o artigo 279 da Constituição Estadual que estabelece que a construção de centrais termoelétricas e hidroelétricas depende de projeto técnico de impacto ambiental, com a participação do Conselho Estadual do Meio Ambiente e aprovação da AL (SÓ NOTÍCIAS, 2011). Segundo o presidente da CPI das PCHs, o problema maior no Mato Grosso é que foi autorizada a construção de um grande número de pequenas hidrelétricas sem que fosse feita uma análise mais detalhada sobre os impactos tanto ao meio ambiente como às populações das regiões envolvidas. Tanto deputados como estudiosos defendem mudanças na legislação no caso da instalação de várias PCHs em um único rio ou bacia hidrográfica, para que sejam exigidos os relatórios e estudos de impactos ambientais do conjunto e não de cada empreendimento isolado, como é feito atualmente. É necessário ainda que antes da liberação para a instalação de uma PCH, a população da região seja informada sobre os impactos que ocorrerão e participe, em assembleias ou plebiscitos, da tomada de decisão referente à construção do empreendimento (TONIN, 2011).

Recentemente, os Ministérios Públicos Federal e Estadual de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul pediram que o Instituto Brasileiro para o Meio Ambiente, IBAMA, e as secretarias de Meio Ambiente dos dois Estados suspendam todos os processos de licenciamento de usinas hidrelétricas na bacia do Alto Paraguai, que forma o Pantanal. Recomendação encaminhada no dia 1º indica que seja feito um estudo detalhado sobre os empreendimentos na região. Há 47 em análise, 23 inventariados e 23 em fase de inventário, além de 44 usinas já em operação. Um laudo preliminar aponta que, se implantados, os projetos vão interferir no regime de cheias e na oferta de peixes e afetar o equilíbrio ambiental da região (JORNAL FOLHA DE SÃO PAULO, 2011).

## 5.5 Perspectivas: PCHs no Brasil – Impactos e Potencialidades

Diante do exposto neste trabalho, fica evidente a necessidade de melhorias nos sistemas de geração de energia elétrica nos municípios isolados do Brasil. Apesar da significativa inserção de fontes hidrelétrica nessas localidades nas últimas décadas, atualmente 83% da demanda de energia elétrica nos sistemas isolados são supridos por usinas termelétricas. Se o Brasil pretende se unir aos esforços mundiais em prol do desenvolvimento sustentável, é necessário aumentar a participação das fontes renováveis de energia no parque gerador dessas regiões do país.

Neste contexto é que as PCHs surgem como uma oportunidade de reduzir a dependência da geração à base de combustíveis fósseis. A atratividade deste tipo de empreendimento está na redução dos impactos sócio-ambientais que podem causar, na menor demanda de custo e tempo de implantação, nos incentivos legais, na possibilidade de ser inserido próximo aos centros de consumo e, deste modo, estar aumentando a confiabilidade do sistema e diminuindo perdas e custos referentes às linhas de transmissão.

De acordo com a Eletrobrás, cerca de 74% de todo o potencial hidrelétrico teórico estimado no Brasil refere-se somente à bacia do Rio Amazonas, que abrange grande parte dos sistemas isolados. Isto demonstra o grande potencial para a implantação das PCHs nessas localidades como fonte de geração distribuída, podendo resultar em uma melhoria na qualidade do fornecimento de energia elétrica e, conseqüentemente, contribuir para o desenvolvimento sócio-econômico dos municípios, como verificado no estado de Rondônia.

Até 1987, o estado de Rondônia tinha 100% de seu parque gerador formado por usinas termelétricas. Atualmente, esse percentual caiu para 65%, sendo que cerca de 8% da demanda de energia elétrica estadual é suprida pela geração proveniente das PCHs. Com a inserção das PCHs, estima-se que a quantidade de CO<sub>2</sub> que deixou de ser emitida na atmosfera passou de 5.000 t/ano para 110.000 t/ano e o consumo de diesel evitado passou de 10.000 m<sup>3</sup>/ano para 290.000 m<sup>3</sup>/ano, comparando os dados de 1988 com os de 2007. Além de reduzir o consumo de combustíveis fósseis no estado, as PCHs contribuíram para o fim do racionamento de energia, aumentaram a qualidade

dos sistemas de distribuição, geraram economia aos cofres públicos, além de diversos empregos diretos e indiretos. Este é um caso de desenvolvimento econômico e social aliado à sustentabilidade.

Em contrapartida, o estado do Mato Grosso tem sofrido as consequências negativas da implantação descontrolada de diversas PCHs em um mesmo rio ou bacia hidrográfica. O Pantanal, um dos maiores patrimônios ecológicos do Brasil, tem apresentado sinais de que sua biodiversidade está sendo impactada pela operação de 29 das 116 PCHs previstas para serem instaladas na bacia do Alto Paraguai. De acordo com a Secretaria de Estado do Meio Ambiente, na última década foi autorizada a construção de 154 hidrelétricas espalhadas pelas bacias dos rios Paraguai, Araguaia, Amazonas e Tocantins. Entretanto, a Assembléia Legislativa analisou somente 12 processos de abertura de PCHs neste período, sendo que todas as demais foram autorizadas de forma inconstitucional, sem que fosse feita uma análise detalhada sobre os impactos tanto ao meio ambiente como às populações das regiões envolvidas.

Deve-se destacar que o problema em questão não são as PCHs, mas sim a maneira como foram realizados os processos de implantação das mesmas. Quando todos estes empreendimentos operam em conjunto em uma mesma bacia hidrográfica, deve-se exigir a elaboração de relatórios e estudos dos impactos sócio-ambientais do complexo como um todo, pois a análise de uma PCH isoladamente não retrata a realidade e o ecossistema da região pode vir a sofrer danos irreversíveis.

Apesar de se tratar de um país que possui 828 dispositivos legais e administrativos que relacionam o meio ambiente ao setor elétrico, isto não impede a negligência que vem ocorrendo na análise de viabilidade dos empreendimentos, seja por interesses político-econômicos ou mesmo pela falta de estruturação do setor responsável. Deve-se investir em melhorias para elevar a eficiência dos órgãos competentes, aumentando a agilidade dos processos de outorga e ainda garantindo a alta qualidade e confiabilidade dos projetos, tanto no aspecto técnico-econômico como sócio-ambiental.

O Brasil dispõe de recursos hídricos abundantes para que se possa investir de forma adequada em PCHs, principalmente nas regiões onde se concentram a maioria dos municípios isolados, a fim de promover o bem estar da população, buscando

conciliar com responsabilidade: progresso, qualidade de vida e sustentabilidade.

## CAPÍTULO 6

### 6 ESTRUTURAÇÃO E APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA

#### 6.1 Estruturação e descrição das etapas

Fundamentado no que foi apresentado nos capítulos anteriores e, especificamente, nas ferramentas de análise e quantificação propostas e desenvolvidas no capítulo 4, estrutura-se a metodologia formulada. Inicialmente são estabelecidos os indicadores e quantificadores de desempenho, conforme abordado a partir item 4.7 deste trabalho – apresentados sob a forma de fatores de desempenho global, ou de desempenho conjunto, pois, incidem sob os valores de potência disponibilizados pelas plantas, sistemas de fontes múltiplas ou redes de suprimento energético. A aplicação destes fatores visa estabelecer procedimentos de escalonamento dos desempenhos dos sistemas energéticos, de modo que se estabeleçam as prioridades – ou critérios de seleção – de investimentos baseados nos impactos ambientais, níveis de integração entre plantas e o critério de quantificação da renovabilidade. Desta forma, a metodologia introduz uma ferramenta metodológica útil ao planejamento energético fundamentada no desempenho global, ou conjunto, de fontes energéticas integradas e, também, interligadas às redes pré-existentes.

Na primeira etapa da aplicação da metodologia são estabelecidos os fatores, conforme esquematicamente é apresentado no diagrama da figura 6.1. Posteriormente é apresentada (diagrama da figura 6.2) a sistemática de análise e estabelecimento das diretrizes de suporte ao planejamento – que constitui a síntese da metodologia proposta.

Nos diagramas que são apresentados estão ordenadas as etapas dos procedimentos específicos de “definição e aplicação dos fatores e índices de desempenho global” e um “diagrama esquemático dos procedimentos metodológicos”, respectivamente. No primeiro relacionam-se as etapas em que, a partir dos índices gerais de desempenho – tais como os atualmente empregados para determinar o nível

de eficiência dos energéticos - chega-se aos fatores propostos por este trabalho. Definido o Fator de Eficiência Global, conforme as equações (6.1), (6.2), (7.1), (7.2) e (7.3), procede-se com um enfoque primário que abrange uma análise de dados agregados do sistema energético orientado para a determinação da participação das energias renováveis e o impacto ambiental dos principais energéticos (através da aplicação dos fatores de impacto ambiental e renovabilidade). Com o acréscimo do fator de integrabilidade (ou complementaridade) realiza-se então a avaliação por energético, considerando a configuração das plantas: integradas ou não, interligadas ou isoladas. Da determinação do Fator de Eficiência Global dos subsistemas energéticos – o que corresponde ao enfoque secundário – chega-se à avaliação dinâmica e integrada.

## Definição e aplicação dos fatores e índices de desempenho Global

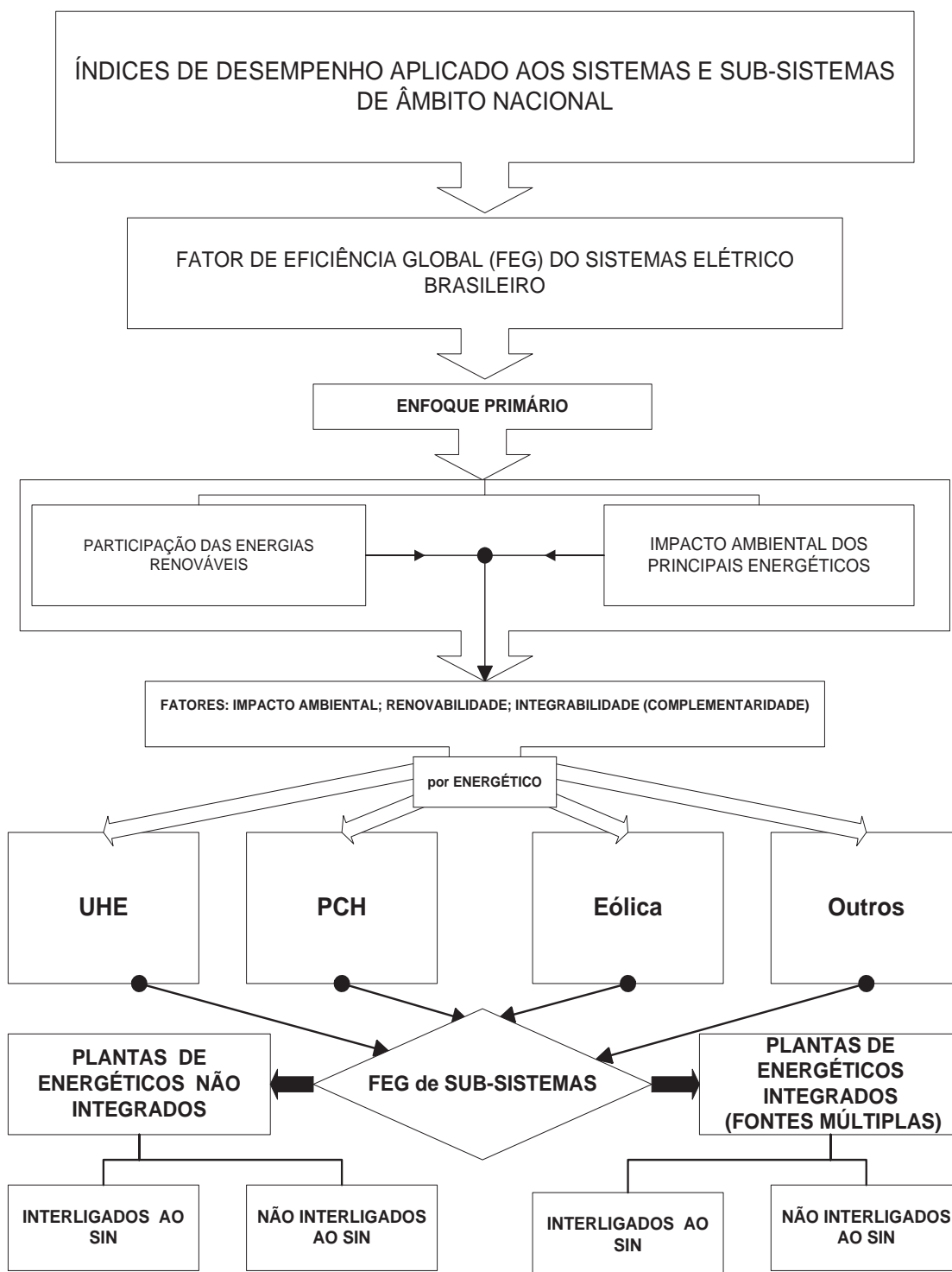


Figura 6.1 - Diagrama - Definição e aplicação dos fatores e índices de desempenho global

As plantas de energéticos não integrados correspondem às plantas definidas por um único energético – UEH, PCH, Eólica e outros – em geral de grande ou médio porte. As plantas integradas são constituídas por mais de um energético – dispendo de



um sistema de modulação, equalização ou estabilização para poderem ser conectados às cargas que suprem, sob a forma de uma energia firme assegurada. As plantas não interligadas à rede do Sistema Integrado Nacional correspondem aos sistemas energéticos isolados – tal como os auto-produtores de energia isolados. As plantas interligadas à rede SIN fazem, portanto, parte do SIN – com as suas especificidades e de forma que o crescimento da sua participação é um dos objetos da metodologia proposta que mais merece atenção, visto representar a perspectiva de aumento da participação dos energéticos renováveis com índices de eficiência globalmente avaliadas.

Enquanto o primeiro diagrama é específico – analítico e descritivo das etapas da determinação dos fatores de eficiência global, aplicáveis seja ao sistema elétrico brasileiro como um todo, ou aos subsistemas que o compõem (indo até o nível das plantas isoladas, quer sejam de fontes múltiplas, integradas ou não) – o segundo diagrama abrange toda a metodologia desenvolvida. O que realiza os procedimentos descritos no primeiro diagrama constitui uma etapa específica do segundo diagrama - designada ali de “Uso do FEG”. Deve ser observado que os procedimentos metodológicos ao serem aplicados tornam-se processos interativos a partir do instante em que são iniciados – de uma avaliação inicial dos índices de desempenho chega-se à determinação primária de fatores de desempenho que então são re-elaborados e atualizados (para obtenção de indicadores e índices de maior conformidade e precisão). A avaliação proposta pela metodologia chega a um termo – que poderia ser designado como ciclo de avaliação dinâmica do planejamento integrado – após algumas interações do seu fluxo de procedimentos e processos, o que corresponderia a uma avaliação no âmbito de um período de projeção, um ano, uma década, ou à periodicidade conforme se aplica ao atual planejamento energético brasileiro.

## Diagrama Esquemático dos Procedimentos Metodológicos

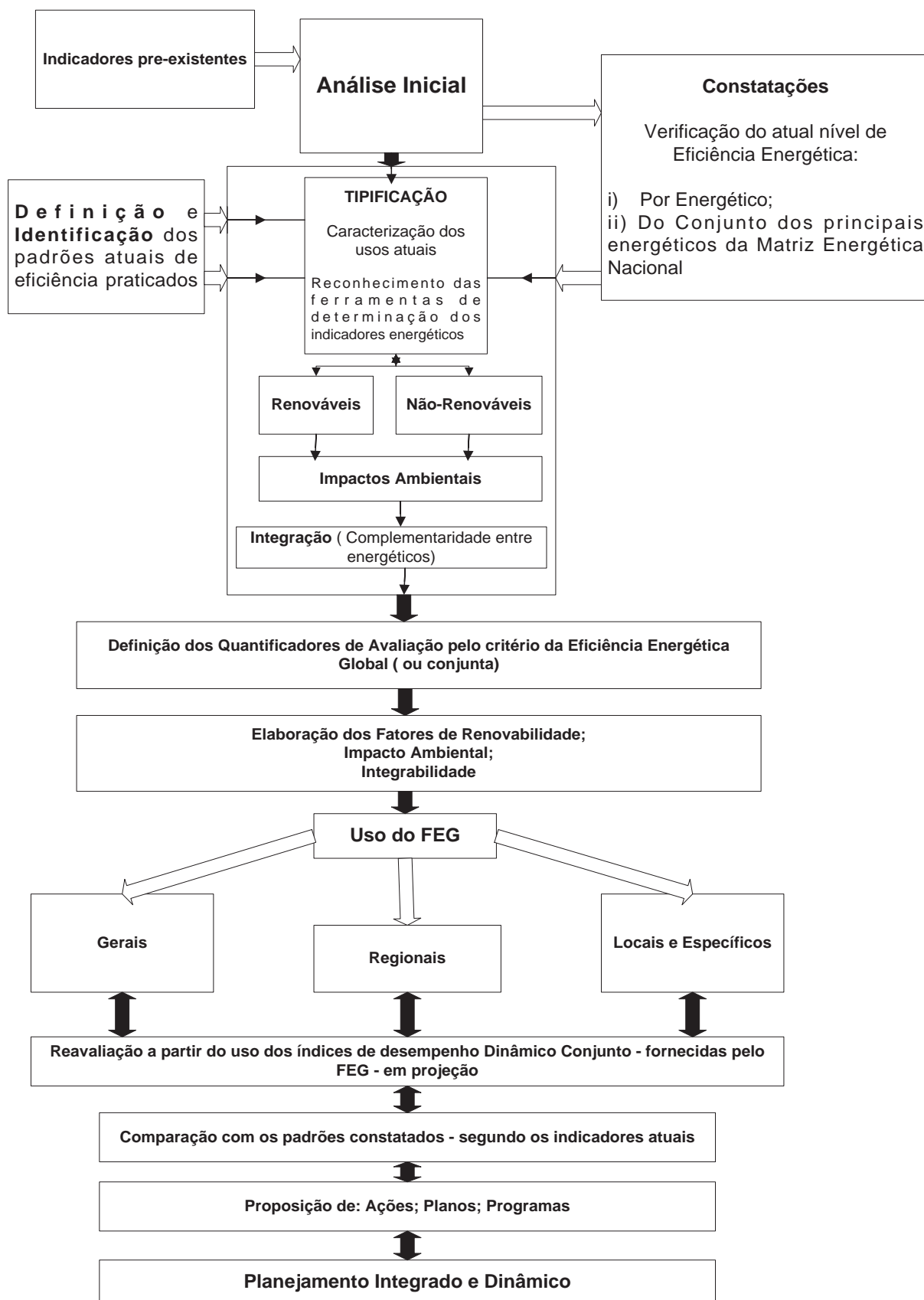


Figura 6.2 - Diagrama Esquemático dos procedimentos Metodológicos

Algumas considerações sobre aspectos quantitativos - dos índices e fatores de desempenho utilizados e desenvolvidos neste trabalho - merecem ser feitas, sob o ponto de vista da significância da quantificação disponível no âmbito da abordagem metodológica proposta - em relação aos valores assumidos, determinados ou estimados pelos agentes gerenciais e administrativos do sistema elétrico brasileiro. Ressalte-se que não constitui item da proposta de metodologia de planejamento energético proposto e não consta no escopo deste trabalho a elaboração ou substituição de valores estatísticos de larga escala. Avaliação dos principais índices de projeção da participação de energéticos foram estudados e considerados, acuradamente. O que se buscou enfatizar - e que constitui o foco fundamental da proposta apresentada - é a necessidade constatada (no nível de prospecção do estado da arte) de elaboração de uma abordagem de planejamento que considere a integração de energéticos e a projeção desta integração, considerando a singular potencialidade brasileira de auto-sustentabilidade energética. Esta abordagem converge para a proposição de desenvolvimento de um fator composto por índices que buscam expressar indicadores de renovabilidade, integrabilidade (complementaridade entre energéticos) e impacto ambiental – a ser utilizado, sobretudo, na identificação das transformações que estão, efetivamente, sendo operadas na matriz energética brasileira (por conta das tendências dominantes e comportamento inercial do sistema) e as que são percebidas como desejáveis, segundo a ótica de uma expansão energeticamente sustentável, de menores impactos ambientais e tecnicamente eficiente, o que, em conjunto, denominou-se por eficiência global.

## **6.2 Aplicação: Padrões e Referências**

### **6.2.1 Identificação de padrões de desempenho: energéticos complementares ou substitutos**

Pelo que foi visto anteriormente, torna-se imprescindível a identificação de padrões de desempenho geral para as fontes energéticas renováveis de maiores relevâncias bem como a definição de desempenhos referenciais para os energéticos

complementares ou substitutos. Neste aspecto a literatura internacional dedicada às definições de índices que buscam explicitar indicadores de eficiência – seja de forma mais estrita, utilizando de maior especificidade dedicada a determinadas plantas, ou, de forma mais geral, relacionados com desempenhos energéticos relacionados com aspectos ambientais e sociais – é ampla. Quando considerada, também, ou conjuntamente, a dimensão econômica, os trabalhos nesta área têm buscado uma uniformização de indicadores referenciais, de modo que se possa ter ampla aplicação e serem assimilados por órgãos, instituições e fóruns mundiais.

No Brasil, devido à proeminência do seu parque energético, predominantemente suprido por fontes hidroelétricas, torna-se imperativo adotar os indicadores destes energéticos como *padrões* a serem analisados. Deste modo estes indicadores passam a servir de balizadores sendo tomados como primeiro patamar de inferência – para a caracterização e determinação das linhas gerais das transformações que estão sendo operadas na matriz energética brasileira. Primordialmente, constata-se que são as hidrelétricas as responsáveis pela maior parcela de contribuição da geração de energia renovável, com a primazia da contribuição das hidrelétricas de médio e grande porte – diferenciadas das PCHs, que se caracterizam pela dimensão da potência disponibilizada pelas plantas unitárias, deve ser, no caso destas, maior que 1 MW e menor ou igual a 30 MW, conforme disciplina a Resolução 652 de 09/12/2003 da ANEEL. Com vistas aos itens mais relevantes da incorporação de novos energéticos – sobretudo, os renováveis, como é a ênfase deste trabalho – considera-se as hidrelétricas de pequeno porte, PCHs e a geração Eólica, como *referências* pela relevante, e crescente, participação destes energéticos na matriz energética (conforme explicitados nos capítulos II e III deste trabalho, alicerçado nas respectivas referências) brasileira atual. Sobretudo, considerando-se a ênfase nos aspectos dinâmicos da incorporação destes novos energéticos, enfatizado a dinâmica do crescimento da participação dos mesmos no parque gerador brasileiro, ressaltados os seus papéis de geração sustentável, complementar, e agregadora se soluções acentuadamente regionais e com características de geração distribuída e próximas dos centros de carga.

### 6.2.2 Análise e caracterização de Grandes Hidrelétricas – tomadas como ‘padrão’ – pelo critério do índice Eficiência Global

Considerando que a base energética brasileira é hidrelétrica, os fatores de *integrabilidade* e *renovabilidade*, ou, *reposição*, conforme definidos no capítulo 4, são tomados como iguais à unidade – já que são usados como referência, seja de custos índices ou de parâmetros técnicos de desempenho (sobretudo como energia renovável), por corresponder ao energético, de um modo geral, de menor custo e mais eficiente. Já o fator de impacto ambiental, considerado para efeito da aplicação da metodologia proposta, será estimado, uma vez que a sua determinação é complexa – objeto de estudos e de definições balizadoras – adquirindo significado consistente quando se comparam alternativas viáveis (sobretudo após levantamentos físico-geográficos e técnico-econômicos e sociais). A Potência Média, definida como a capacidade disponibilizada de fornecer energia, num dado período – que pode ser anual ou sazonal. Decorre da potência média a energia assegurada de cada energético que compõe o conjunto de fontes supridoras – podendo estar interligadas, ou não, a uma rede elétrica convencional.

Desta forma as disponibilidades comparativas de um conjunto de fontes de energia podem ser quantificáveis, para efeito comparativo com outros conjuntos, em função destas variáveis e parâmetros e assumindo importância para tomadas de decisão na escolha das alternativas disponíveis.

Assim, o **Fator de Eficiência Global** padrão para o conjunto das grandes hidrelétricas no Brasil, portanto, seria do tipo:

$$F_{EG} = \left[ \left( \sum_{i=1}^n f_{int(i)} \times f_{ren(i)} \times f_{imp(i)} \times P_{m(i)} \right) \times T / \text{Energia requerida} \right] \quad (6.1)$$

Para  $i = 1, 2, \dots, n$ .

Onde

$f_{int}$  - *Fator de Integrabilidade*

$f_{ren}$  - *Fator de Renovabilidade*

$f_{imp}$  - *Fator de Impacto Ambiental*

$P_m$  - *Potência Média ou Assegurada*

Desta forma, para o conjunto das hidrelétricas brasileiras, tomadas como padrão, para efeito de aplicação da metodologia proposta, o Fator de Eficiência Global resultaria em:

$$K_{amb} \times \text{Energia Disponibilizada} / \text{Energia Requerida} \quad (6.2)$$

Sendo  $K_{amb}$  um indicador do grau de crescimento do impacto ambiental conjunto da expansão do parque gerador atual segundo os padrões praticados – e indicaria a atratividade e viabilidade global, quando considerados os parâmetros ambientais, além dos demais parâmetros usuais. Serve, sobretudo, para balizar a evolução dos custos ambientais de novos empreendimentos quando comparados com outras alternativas energéticas - igualmente viáveis e de menores impactos ambientais. Para um dado momento do sistema composto pelas grandes hidroelétricas ( $P_{med} \geq 30MW$ ), havendo uma normalidade de suprimento, ou seja, não havendo racionamento ou disponibilidade de potência menor que o projetado, a razão Energia Disponibilizada / Energia Requerida = 1, nesta situação, então,  $K_{amb}$  corresponderia a um indicador do estado global de impacto ambiental – tomado, em valores numéricos, a partir de uma base de referência. Base de referência esta que poderia ser de cunho regional, característica para a tipificação de sistemas específicos, ou relacionados com as propriedades de determinadas plantas ou projetos – usados como balizadores referenciais para padronização de índices de desempenho (eficiência, sustentabilidade, custo/benefício, fatores de carga e de capacidade, renovabilidade e integrabilidade), tanto de sistemas isolados ou conjuntos de plantas, interligados ou não. Para efeito de planejamento, pode ser usado como critério de verificação da evolução do impacto ambiental decorrente da expansão da participação de determinado energético na matriz

energética brasileira.

### **6.2.3 Análise e caracterização das Pequenas Centrais Hidrelétricas, PCHs, e Unidades de Geração Eólica – tomadas como ‘referência’ – pelo critério do índice do Fator de Eficiência Global**

As PCHs correspondem ao energético que mais cresce, em termos de participação na Matriz Energética Brasileira – ao lado dos sistemas eólicos, que têm apresentado, recentemente, um rápido crescimento. Como se pode ver no capítulo 5, as oportunidades e atratividades são consideráveis, daí serem tomadas, juntamente com as unidades de geração Eolielétricas, como referência para os energéticos com mais viabilidade de complementarem a matriz energética como energéticos renováveis.

### **6.3 Fator de Eficiência Global: Reavaliação de Projetos de PCHs**

Dentre as varias possibilidades de substituição e complementação, duas situações são consideradas para avaliação do índice  $F_{EG}$  em PCHs: quando substituem, ou complementam, sistemas de geração de fontes renováveis – como é o caso que ocorre em regiões isoladas do Brasil (Gravatá, Comunidade Joanes, Morro do Camelinho outras – (GALINDO, 2007; TOLMASQUIN, 2003; CAMARGO, 2005; BARBOSA, 2004; BARBOSA; PINHO; VALE, 2005) – e quando complementam, ou substituem a expansão do sistema de rede suprido por Grandes Hidrelétricas (ou evitam a expansão da rede do SIN), ou ainda podem configurar como alternativa e complementação para a geração Eólica.

Com relação às hidrelétricas de grande porte, ou à rede do SIN, duas situações são consideradas.

- a) Se as PCH pertencem ao mesmo regime hidrológico – o que corresponde a regimes pluviométricos e vazões, ou deflúvios sazonais, praticamente coincidentes (ocorrem com as mesmas tendências, ou fatores de capacidade potencial).

- b) As PCHs são isoladas ou situadas em bacias hidrográficas com regimes hidrológicos diversos das grandes Hidroelétricas onde representam alternativas.

No primeiro caso os fatores de renovabilidade,  $f_{ren}$ , e de integrabilidade,  $f_{int}$ , são idênticos – significando que em termos de comparação podem ser considerados iguais à unidade.

No segundo caso, os fatores de renovabilidade,  $f_{ren}$ , ainda podem ser considerados idênticos, porém os fatores de integrabilidade são distintos, de um modo geral, pois, sejam como alternativas de substituição ou de complementação terão regimes hidrológicos diferentes e fatores de capacidades diferentes para as mesmas tipologias de plantas das PCHs – ou seja, características de geração a fio d'água. Participarão, seja como complementação entre si ou complementação ao suprimento da rede com índices de integrabilidade,  $f_{int}$ , diferentes.

Para o uso de PCHs e Geradores Eólicos, a menos de pormenores, relacionados aos de tempo de vida útil, por exemplo, e outros aspectos pertinentes às características de plantas individuais sobremaneira específicos – que não são considerados neste trabalho – os fatores de renovabilidade ainda podem ser considerados idênticos. Passando a ter relevância os fatores de integrabilidade, pois representam os potenciais de complementação, em termos de fatores de capacidade de fontes conjugadas – que geram fatores de capacidade do conjunto, ou sistemas de múltiplas fontes, maiores, o que corresponde a custos índice de geração menores e maior eficiência energética do conjunto.

Cabe ressaltar, como referência na elaboração do conceito de desempenho conjunto, a complementaridade - que se traduz no fator de integrabilidade, que constitui item significativo, desenvolvido pela proposta metodológica considerada neste trabalho. A Figura 6.1 ilustra o fenômeno de complementaridade natural que ocorre com os regimes fluviais e eólicos no nordeste brasileiro.



## Complementaridade – Regimes Hidrológicos e Eólicos no NE do Brasil

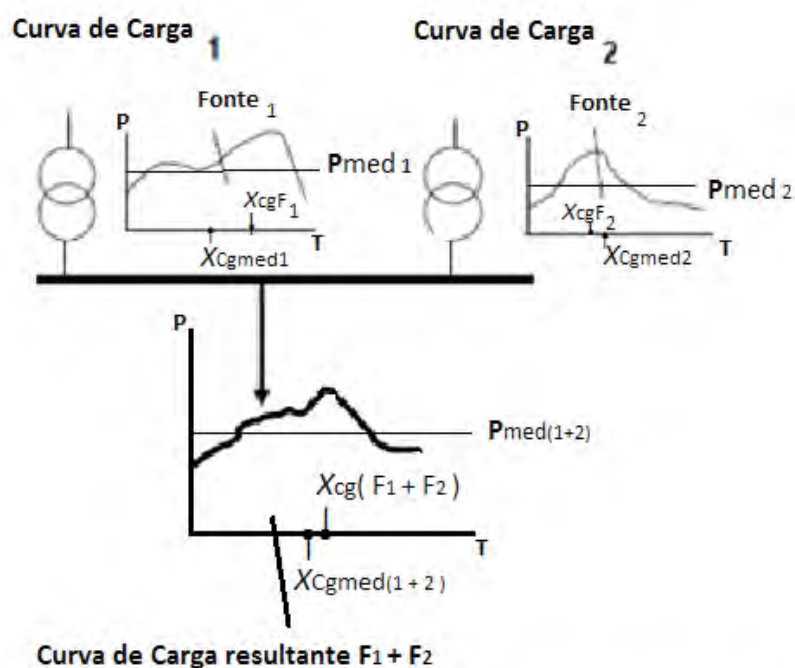


**Figura 6.3 - Complementaridade Hidrológica - Eólica**  
**Fonte: Centro Brasileiro de Energia Eólica**

O cálculo dos fatores de integrabilidade pode ser implementado a partir da análise das respectivas curvas de disponibilidade hidráulicas e eólicas, que são traduzidas, em termos de plantas específicas, em fatores de capacidade. Após o que um tratamento analítico adequado pode fornecer, para conjuntos de fontes múltiplas - compostos de plantas hidráulicas e eólicas - um fator de capacidade conjugado (ou conjunto), que servirá para a definição do fator de capacidade conjunta.

Procede-se assim na operação do cálculo do Fator de Integrabilidade Hidrelétrico-Eólico, através do Fator de Capacidade conjunto, para suprimentos conjugados de plantas Hidrelétricas e Eólicas atuando em conjunto. Da mesma forma e usando de procedimentos similares realiza-se o cálculo dos Fatores de Integrabilidade e Capacidade conjunto através da disponibilidade de fontes múltiplas. Para fontes distribuídas ou sistemas de pequeno porte, com poucas unidades geradoras, pode-se aplicar o fator de integrabilidade usando das propriedades das Curvas de Carga.

Para efeito de ilustração dos procedimentos de cálculos apresentados, definiu-se, dentre os diversos métodos utilizados no processamento das curvas de carga – que no geral consiste, fundamentalmente, em caracterizar o perfil ou traçado da curva – a análise gráfica, como segue (Figura 6.2):



**Figura 6.4 : Centróides de Curvas de Carga Compostas**  
**Fonte: Elaboração própria**

Conforme um procedimento geométrico de caracterização das curvas de cargas, primeiramente identifica-se o centro de gravidade das curvas de cargas, ou centróides – coordenadas  $X_{cgF_1}$  e  $X_{cgF_2}$ , respectivamente, devido às fontes  $F_1$  e  $F_2$ ; identifica-se, em seguida, as ordenadas das curvas planas, correspondentes às potência médias  $P_{med_1}$  e  $P_{med_2}$ , que, disponibilizada continuamente, forneceriam a mesma energia das fontes  $F_1$  e  $F_2$ , respectivamente; usando-se o mesmo procedimento para a curva correspondente ao suprimento conjunto das fontes  $F_1$  e  $F_2$  atuando simultaneamente, chega-se às coordenadas  $X_{cg(F_1 + F_2)}$  e  $X_{Cgmed(1+2)}$ .

O fator que mede o nível de integrabilidade, ou seja, o quanto duas determinadas fontes contribuem para compor o suprimento de uma determinada carga – ou conjunto de consumidores, em última instância – pode ser calculado através da expressão:

$$F_{int} = [(1 - |X_{cg(F_1 + F_2)} - X_{Cgmed(1+2)}|) / X_{Cgmed(1+2)}] \cdot P_r / P_m, \quad (6.3)$$

Onde

$P_r$  – é a Potência Requerida para suprir o conjunto de consumidores ou carga considerada;

$P_m$  – é a Potência média que deve ser assegurada pelo conjunto das fontes  $F_1$  e  $F_2$ ;

A figura 6.3 ilustra estes conceitos.

Sendo que  $P_m \geq P_r$  ; pois, deve haver uma folga entre o que é assegurado, enquanto disponibilidade, e o que é requerido como suprimento efetivamente disponibilizado, ou energia projetada para suprir a demanda da carga considerada – de forma que não haja descontinuidade no fornecimento de energia pelas fontes dedicadas a este propósito.

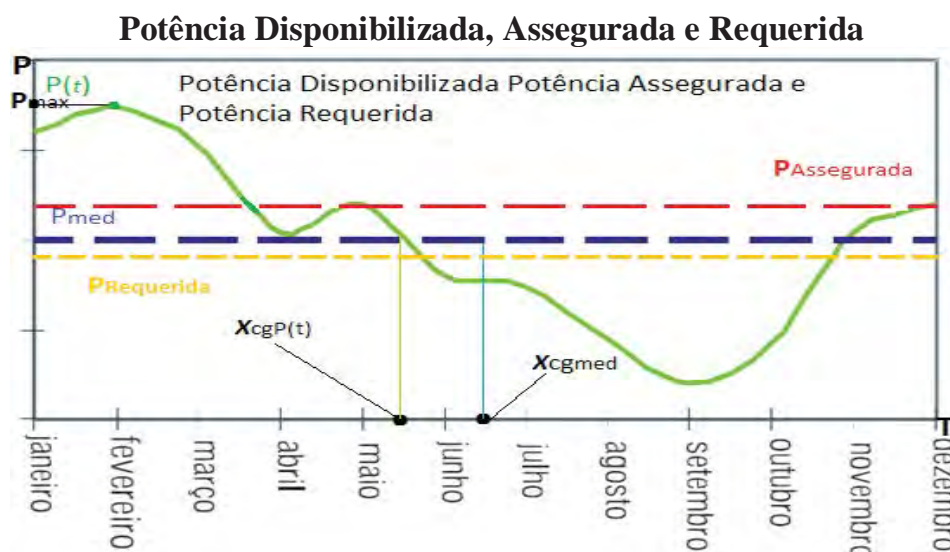
Observe-se que a expressão  $| X_{cg(F_1 + F_2)} - X_{cgmed(1 + 2)} |$ , usada para a curva de carga resultante da simultaneidade das fontes  $F_1$  e  $F_2$ , considerada em módulo, indica o quanto o centro de carga, ou centróide, da curva resultante se afasta do ponto de desempenho de máxima eficiência, correspondente a  $X_{cgmed(1 + 2)}$  – que é o ponto de ordenada média para um suprimento idealmente ótimo e plano.

Para as curvas devido, separadamente, às fontes  $F_1$  e  $F_2$ , um outro significado, não menos importante, deve ser considerado.

Se os sinais das expressões  $(X_{cgF_1} - X_{Cgmed_1})$  e  $(X_{cg F_2} - X_{Cgmed_2})$  são contrários isto significa que os centróides das curvas das fontes possuem posições diferentes em relação às coordenadas dos pontos médios das suas respectivas curvas, ou seja, alguma simetria em relação a este ponto, portanto, possuem uma complementaridade simétrica – uma compensando, com algum grau de eficácia, a outra (como é o caso dos regimes hidrológicos e eólicos da região nordeste do Brasil).

Para sistemas de grande porte, ou não distribuídos, como é o caso das grandes hidrelétricas que estão interligadas através da rede do SIN, e ainda os grandes parques, ou fazendas Eólicas, igualmente interligadas a esta rede, outros indicadores são utilizados – por servirem melhor a grandes volumes de energia em sistemas

interligados em rede. Os parques eólicos interligados à rede, neste caso, contam com dezenas de aerogeradores de potência individual da ordem de 1,5 MW, ou mais. Além dos aspectos de simetria (que nem sempre estão presentes, como no caso do regime complementar do nordeste brasileiro), as relações entre Energia Gerada, Energia Assegurada e Fatores de Capacidade, são tão ou mais relevantes.



Admitindo que o sistema energético esteja trabalhando sem contingência, isto é, sem deficiência, deve ser provida uma potência assegurada maior que a potência média – através de um sistema de rede equivalente, idealizado, e com potência assumida como sendo contínua e constante – o que ocorre com boa aproximação nos sistemas de rede reais, quando operam na condição de estabilidade. A potência requerida deve ser suprida, necessariamente, com folga - com um calculado nível de segurança - correspondente às reservas ou margens de operação, manobras e remanejamentos de cargas e de fontes. Deve-se isto, tanto a um indispensável tempo projetado de ampliação da rede - antecipadamente definido - como, também, imprescindível na eventualidade de falhas em alguma(s) unidade(s) da rede. Portanto, a potência que supre, efetivamente, o conjunto de cargas de um sistema energético seguro deve ser menor que a potência média solicitada ou a potência assegurada. Manobras diversas de remanejamento de fontes – no caso brasileiro, escalonamento de reservatórios, sobretudo de complementaridade entre os subsistemas norte e sul do país

– são utilizadas para garantir o suprimento contínuo, dentro dos padrões de economicidade e segurança estabelecidos (ver Figura 6.4 e a Tabela 6.1).

A potência assegurada no Brasil é garantida através do Sistema Interligado Nacional que transfere energia entre os subsistemas regionais e promove o remanejamento, seja sazonal, ou periódico, bianual entre os reservatórios das grandes bacias hidrográficas do país que desta forma mantem-se energeticamente integrados.



**Figura 6.6: Interligações Energéticas Interregionais no Brasil**

Em termos de valores projetados, segundo a (EPE, 2006), seriam os da Tabela 6.1. Onde se vê a variabilidade do intercâmbio do fluxo energético de complementaridade entre as regiões do país – que ora são positivos (quando uma dada região fornece para outra), ou negativo (quando uma dada região recebe de outra); ocorrendo que estes fluxos mudam de sinal ao longo do tempo e em face das projeções de mudanças no fluxo energético interregional.

Tabela 6.1 – Intercâmbios Regionais de Energia no Brasil

**Intercâmbios Regionais de Energia em valores ( MVA )**

<b>CARGA PESADA</b>										
<b>Interligações</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>
N-NE	401	1269	620	2003	1724	2972	1485	3462	1465	3043
SE-NE	520	348	603	447	816	599	906	679	657	618
N-SE	-1490	665	-2328	2009	-2151	763	-3157	2457	-797	1958
S-SE	2746	-2980	2782	-2821	2933	-2808	3043	-3815	3013	-3787
SE-Acre-Rondônia	-	-	248	247	248	157	152	158	119	130

<b>CARGA MEDIA</b>										
<b>Interligações</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>
N-NE	296	1267	539	1598	1576	2826	1314	3276	1704	3255
SE-NE	552	449	658	352	840	632	958	626	733	661
N-SE	-1375	631	-2223	2430	-1950	893	-3259	2654	-1150	2118
S-SE	3074	-3912	3105	-3965	3175	-3959	3228	-3867	3207	-3855
SE-Acre-Rondônia	-	-	248	248	247	129	99	121	67	68

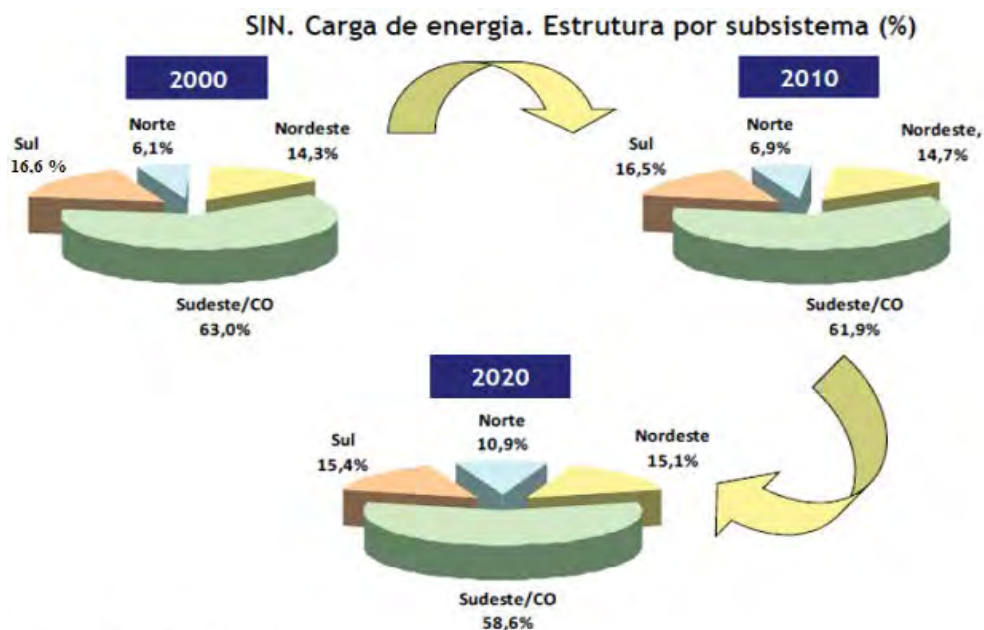
  

<b>CARGA LEVE</b>										
<b>Interligações</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>
N-NE	268	699	559	1463	1358	1645	1168	1764	852	1104
SE-NE	473	149	600	250	620	320	735	317	533	213
N-SE	-1472	918	-2386	2524	-2884	1321	-3453	2755	-1251	2087
S-SE	3050	-1905	3045	-1884	3129	-1759	3157	-2021	3175	-1927
SE-Acre-Rondônia	-	-	171	195	215	52	27	61	26	57

**Fonte:** EPE – MME - Estudos do Plano Decenal de Expansão 2006-2015

A interligação energética entre as bacias brasileiras garante energia assegurada contínua com a maior participação de energias renováveis no planeta, contudo, há limites para essa integração. O escalonamento de aproveitamentos prioritariamente mais eficientes, e mais próximos dos grandes centros de consumo, acarretando aumentos de custos seja da geração, como da transmissão, ao lado da limitação da capacidade de expansão dos grandes reservatórios (pelos custos e impactos sociais e ambientais crescentes) são limitantes já considerados num horizonte pluridecenal.

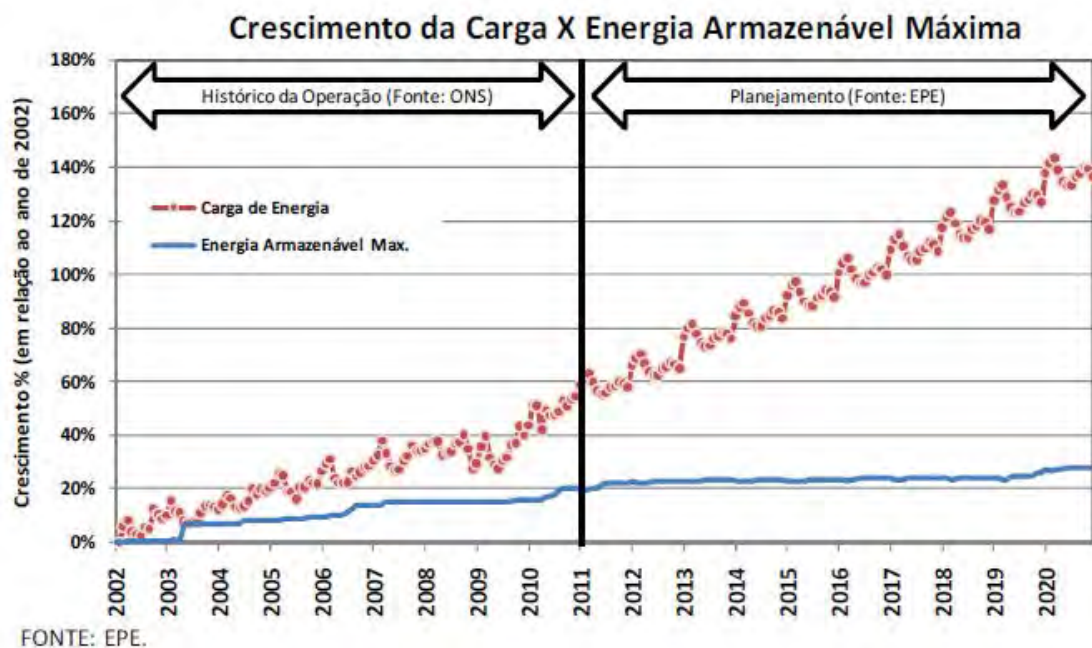
Em termos relativos, pode-se ver, na Fig. 6.5, a evolução da carga no Brasil, segundo os dados projetados pela Empresa de Pesquisas Energéticas, EPE – do Ministério das Minas e Energia:



Fonte: EPE - PDE 2020

**Figura 6.7: Evolução e projeção da carga de Energia no Brasil**

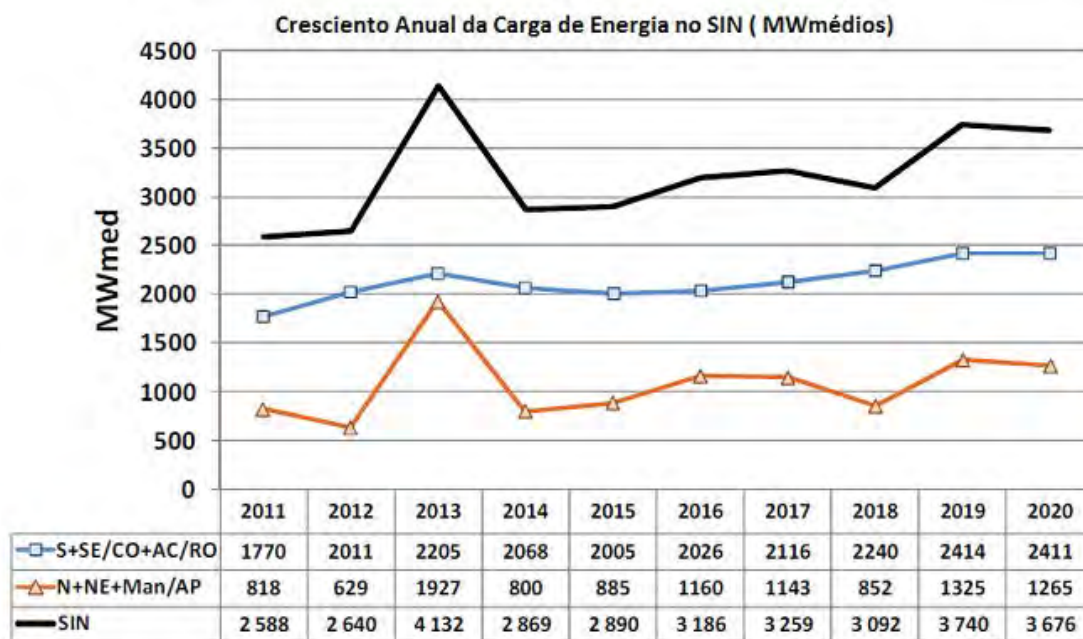
A capacidade de armazenamento, necessária para a garantia dos níveis de segurança do fornecimento de energia através do SIN, confrontada com a potência disponibilizada, é projetadamente decrescente, como demonstram as projeções da EPE, Fig. 6.6. Observe-se, conforme esta figura mostra, que a taxa de crescimento da carga tem sido muito maior que a taxa de crescimento da energia armazenada – através dos grandes reservatórios até então existentes ou dos projetados. Implicando, pois, que, em algum momento, mesmo o vasto potencial hidroelétrico brasileiro não será mais capaz de garantir uma base hídrica para o crescimento da carga – o que é expresso em termos do ritmo de crescimento incremental projetado pelas estatísticas e projeções oficiais (na figura isto está demonstrado em valores percentuais, a partir de uma referência, tomada no ano de 2002).



**Figura 6.8: Crescimento da Carga X Capacidade de Armazenamento Máximo**

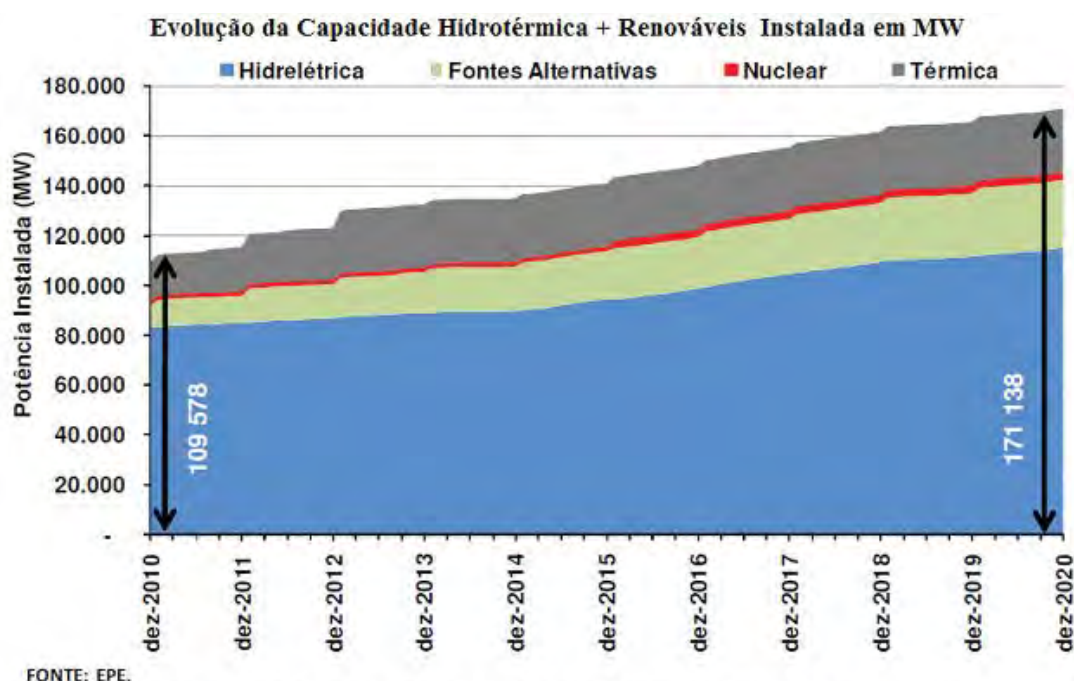
Os valores grafados na figura 6.7 mostram uma taxa de crescimento da carga de energia, em termos de MW médios solicitados pelo sistema, e da energia armazenável máxima de cada mês do período de estudo em relação a janeiro do ano 2002. Revelam que há uma redução da capacidade de regularização do sistema, associada à evolução acentuada da carga – segundo tais projeções, chega-se, em 2020, a um patamar cerca de 140% superior ao do ano de referência, 2002. Isto vem a ocorrer devido ao insuficiente incremento da capacidade de armazenamento - que no final do período corresponderá, em projeção, a aproximadamente 30% da verificada em 2002 – Fig. 6.7 (EPE, 2011). Em termos de valores físicos, estes valores são (EPE, 2011):





**Figura 6.9: Projeção de crescimento da carga por subsistemas do SIN**

Segundo as projeções deste PDE 2020, o elevado crescimento de mercado na região Norte em 2013 será decorrente da incorporação das cargas dos sistemas elétricos de Macapá e Manaus – programados para serem interligados ao SIN neste ano. Em termos de participação das principais modalidades energética, os valores, segundo a EPE, são os mostrados no gráfico da Figura 6.10 (EPE, 2011):



**Figura 6.10: Evolução da Capacidade Instalada: Hidrotérmica \_ Renováveis**

## CAPÍTULO 7

### 7 RESUMO DA METODOLOGIA E APLICAÇÃO ILUSTRATIVA

#### 7.1 Emprego da Abordagem Proposta para avaliação de Experiências Concretas

Uma aplicação da metodologia proposta pode ser utilizada para avaliar recursos que auxiliam a tomada de decisão e servem para escalonar prioridades em projetos e empreendimentos energéticos. Duas etapas são priorizadas como ponto de partida para a aplicação: **1)** Levantamento prévio das potencialidades e suas projeções, orientados para a avaliação das duas tendências gerais consideradas, a expansão, conforme projetada, da configuração da matriz energética atual e o incremento da diversificação através da ampliação estimulada de novos energéticos renováveis e **2)** Acompanhamento dedicado e detalhado da evolução dos projetos – com ênfase dada às alternativas energética renováveis, tais como PCHs e Centrais Eólicas (constatadas como os mais, efetivamente, promissores atualmente). Duas abordagens são delineadas: **a)** Aplicação de índices gerais de avaliação das alternativas energéticas, para identificação de prioridades escalonadas de investimento e implantação de projetos e **b)** Utilização de ferramentas que agilizem tanto o planejamento dinâmico como, também, permitam adaptações de percursos, sempre considerando aspectos variáveis, e mesmo, pouco quantificáveis, como a atratividade, ou a receptividade social frente às vantagens e os custos e impactos ambientais relacionados.

Para efeito de ilustração, utiliza-se a seguir a metodologia proposta aplicada na avaliação de três empreendimentos de PCHs: dois caracterizados pelo equilíbrio entre impactos ambientais, de um lado, e benefícios, de outro, e um terceiro, que é particularmente ilustrativo (exemplo característico da forma pela qual diversos outros empreendimentos no país foram embargados - definitivamente ou postergados em sua conclusão) em face dos problemas típicos pelos quais se chega ao impedimento do projeto e três empreendimentos Eólicos. Ressalte-se que o embargo judicial,

acarretando o impedimento de implantação da última PCH analisada ocorreu diante da marcante tomada de posição, por parte da comunidade potencialmente a ser atingida pelos impactos ambientais do projeto. Da mesma forma são consideradas as circunstâncias em que ocorreu o impedimento temporário da implantação de um parque eólico no Ceará.

As ferramentas de análise das condições anteriores à aplicação da metodologia, ou seja, que compõem um cenário energético num determinado momento – considerado para o tempo inicial de aplicação dos procedimentos de avaliação de uma eficiência energética, ampliada, ou global - podem ser consideradas pelos levantamentos e estatísticas oficiais, como abordado nos capítulos anteriores. O uso de indicadores para esta avaliação foi inicialmente proposto pelos autores na 8ª edição do CLAGTEE (BARRETO Fº, SOUZA, 2009b). Parte da consideração de um índice de Eficiência Global, composto de fatores de desempenho, oriundos da curva de carga, e outros fatores propostos, como o fator de integrabilidade (ou complementaridade),  $f_{int}$ , e um fator, estimado, de impacto ambiental  $f_{imp}$  avaliável.

Assim, o *Fator de Eficiência Global*, para um conjunto de plantas energéticas, de mesmas características e plenamente renováveis seria, portanto, do tipo:

$$F_{EG} = [ ( \sum_{i=1}^n f_{int(i)} \times f_{imp(i)} \times P_{m(i)} ) \times T / \text{Energia requerida} ] \quad (7.1)$$

Para  $i = 1, 2, \dots, n$ .

Onde

$f_{int}$  - *Fator de Integrabilidade*

$f_{imp}$  - *Fator de Impacto Ambiental*

$P_m$  - *Potência Média ou Assegurada*

Desta forma, para o conjunto das Pequenas Centrais Hidrelétricas consideradas como exemplo, para efeito de simplificação de aplicação da metodologia proposta –

uma vez que os fatores de integrabilidade podem ser considerados idênticos, para os exemplos típicos considerados - o Fator de Eficiência Global resultaria em:

$$F_{EG} = \mathbf{K}_{imp} \times \text{Energia Disponibilizada/Energia Requerida} \quad (7.2)$$

Onde

$\mathbf{K}_{imp}$  = quantificação do nível de impacto projetado, verificado e corrigível – através da atuação orientada por um planejamento dinâmico.

Como a razão Energia Disponibilizada / Energia Requerida, supõe-se equilibrada, portanto igual à unidade para cada projeto, o fator  $\mathbf{K}_{imp}$  passa a ser decisivo.

Observe-se que se trata de uma simplificação, pois, neste caso, ocorre a aplicação da metodologia na situação de maior simplificação – quando se restringe a análise de desempenho envolvendo energéticos de mesma natureza, PCHs. Outros fatores ainda podem ser considerados, como por exemplo, a própria natureza da renovabilidade ou sustentabilidade – quando características não tão facilmente redutíveis a uma simples quantificação devem ser consideradas. Outras aplicações, verificadas através de exemplos não tão simples, são mostradas adiante.

## 7.2 PCH Cachoeira: Um caso de Sucesso e Integração

PCH Cachoeira, localizada no município de Colorado do Oeste, no estado de Rondônia, e instalada no Rio Ávila, pertencente à bacia do Rio Madeira. A proprietária da usina é a Eletrogoes S/A, que investiu R\$25 milhões em sua construção. O início de sua operação se deu em 17 de março de 1997, agregando 11,12MW ao sistema elétrico regional, com uma capacidade de geração de 55 GWH/ano e fator de capacidade em torno de 0,7 (NETO; MORET, 2008). A PCH Cachoeira atende 47% do mercado do subsistema Cone Sul (EPE, 2006a).

A implantação desta PCH gerou os seguintes impactos à região (NETO; MORET, 2008; BLANCO; SECRETAN; MESQUITA, 2008):

- Contribuição para o fim do racionamento no Cone Sul de Rondônia, de forma que o suprimento de energia elétrica nas menores localidades aumentasse de 6h ou 12h para 24h por dia;
- Geração de uma economia de cerca de R\$20 milhões/ano aos cofres públicos em razão da substituição de geração térmica a diesel;
- Melhoria no atendimento à população, com aumento da confiabilidade e da qualidade da energia elétrica fornecida;
- Contribuição para a estabilização e crescimento do mercado de energia elétrica estadual, com base em um recurso natural de uso limpo, renovável e obtenção endógena;
- Geração de empregos e renda, direta e indiretamente;
- Incentivo à introdução de estabelecimentos educacionais na região para a qualificação de profissionais em áreas técnicas;
- Redução no consumo de combustíveis derivados do petróleo e na emissão de gás carbônico, contribuindo com as necessárias medidas de combate ao aquecimento global da atmosfera – ver Tabela 7.1.

**Tabela 7.1** - Efeitos das PCHs. Redução nos subsídios da CCC e na emissão de CO<sub>2</sub> em RO – 1992/2007.

Item	Valor	Unidade
Energia gerada	2.405	GWh
Diesel não queimado	723.036	m <sup>3</sup>
Economia na CCC	1.518.375	*1000 R\$
CO <sub>2</sub> evitado	1.879.893	*1000 t CO <sub>2</sub>
Média - CO <sub>2</sub> evitado	125.326	t CO <sub>2</sub> /ano

**Fonte:** (NETO; MORET, 2008).

A usina Cachoeira corresponde, pois, a um caso exemplar - por maximizar benefícios e minimizar aspectos adversos, como impactos ambientais restritivos ou

impeditivos, bem como os índices de custos benefício competitivos em face da plena compatibilidade de sua operação com quaisquer outros usos.

Mesmo com tantos benefícios observados, a fragilidade das políticas públicas de incentivo à construção de PCHs no estado de Rondônia, em particular a pequena atratividade dos mecanismos de financiamento para as condições do mercado, bem como as dificuldades na liberação de recursos da Conta de Consumo de Combustíveis, tem reduzido o ímpeto inicial dos empreendedores privados na implantação de novas usinas. Verifica-se a necessidade de mudanças nessas políticas, de modo que o financiamento e implantação de novas PCHs deixem de ser analisadas sob a simples ótica do custo de oportunidade (FILHO, 2008).

### **7.3 PCH Luiz Dias-MG: Uma Escola sobre Energia e Meio Ambiente**

A PCH Luiz Dias está localizada no rio Lourenço Velho, na sub-bacia hidrográfica do Rio Sapucaí, bacia do Rio Grande, no município de Itajubá/MG. Sua potência instalada é de 2,43 MW. A usina entrou em operação em 1914, quando ainda era conhecida como Usina Lourenço Velho. Em 1969, a usina foi adquirida pela Companhia Energética de Minas Gerais, CEMIG. Em julho de 1995, em uma reunião realizada entre a Universidade Federal de Itajubá, UNIFEI e a CEMIG, a operação e manutenção da usina Luiz Dias foi, formalmente, deixada a cargo da referida instituição. A partir desta data, iniciaram-se os estudos de viabilidade econômico-financeira da central. Em dezembro de 1998, a Cemig e a Unifei celebraram o Contrato de Operação de Manutenção da PCH Luiz Dias. A PCH Luiz Dias representa um quadro único no Brasil: uma PCH operada comercialmente e interligada ao sistema através de uma faculdade de engenharia (FILHO, 2006).

A particularidade desta PCH, que a torna importante no contexto deste trabalho, refere-se ao Parque de Alternativas Energéticas para o Desenvolvimento Auto-Sustentável, PAEDA, inaugurado no dia 16 de setembro de 2004, no sítio hidrológico da PCH Luiz Dias, fruto de uma parceria entre a UNIFEI, a CEMIG e o Ministério de Minas e Energia, MME, (FILHO, 2006). Este parque tornou-se um instrumento didático de ensino, integrando conceitos de energias alternativas, eficiência energética,

educação ambiental e lazer, associando o aprendizado à diversão, localizado as margens do rio Lourenço Velho em meio a uma rica biodiversidade de fauna e flora. Dentro da estrutura tecnológica existente no PAEDA encontram-se (FILHO, 2006):

Uma Casa Auto-Suficiente em Energia, uma construção bioclimática que utiliza 12 painéis fotovoltaicos para obtenção de eletricidade e o aquecimento de água é feito através de um coletor termo-solar. Para o cozimento é utilizado o biogás que é produzido em um biodigestor modelo indiano com capacidade para produzir 5 m<sup>3</sup> de gás, o suficiente para o acendimento do fogão e de lampiões para uso noturno, além do fogão a lenha sem fumaça. Esta casa possui um sistema de reuso de água da chuva que é usada para descarga, para aguar o jardim e para limpeza externa. No entorno da casa estão instalados diversos equipamentos feitos em tecnologia apropriada e que são utilizados na disseminação de conceitos simples de conservação de energia, física, matemática, geografia, biologia, química, história, ecologia, urbanismo, entre outros.

Uma Casa das Microcentrais Hidrelétricas, localizada às margens do rio Lourenço Velho, criada para demonstrar o funcionamento de diversos modelos de microcentrais hidrelétricas e é utilizada nas aulas experimentais sobre mecânica, física, geografia e energia.

A Casa da Ciência, um laboratório didático pedagógico utilizado durante as práticas de ensino de física e biologia e que permite a participação ativa do aluno através dos experimentos realizados tanto dentro da Casa da Ciência quanto dentro da área do parque.

As Trilhas Ecológicas, utilizadas para o repasse de informações sobre os mais diversos assuntos de acordo com as necessidades de aprendizado de cada grupo de visitante. São trilhas demarcadas, educativas, de nível fácil e médio e se destacam na procura por visitantes.

Um convênio estabelecido entre a UNIFEI e a Petrobrás tornou o PAEDA sede do Programa “CONPET (Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural) na Escola”, voltado para alunos de 5<sup>a</sup> a 8<sup>a</sup> série do ensino fundamental e das escolas técnicas das redes pública e particular. O projeto tem como objetivo ampliar o universo de conhecimento do aluno, no sentido de

conscientizá-lo da importância das questões relacionadas à sociedade, natureza, preservação dos recursos naturais e do meio ambiente. Estimulá-lo a ser um defensor do uso racional desses recursos e, em particular, dos derivados de petróleo e do gás natural (FILHO, 2006).

Além do aspecto educacional e sócio-cultural, o PAEDA e a PCH Luiz Dias encontram-se inseridos na estrutura turística de Itajubá e região (FILHO, 2006).

Diante do exposto, fica claro que o potencial educacional e de desenvolvimento cultural existente na estrutura de uma PCH e em seu entorno não podem ser desprezados. Esta é uma ferramenta real e que apresenta um leque de interdisciplinaridades capaz de atender toda a grade curricular, desde o ensino médio e fundamental até o ensino superior, fornecendo uma variedade e quantidade de material com uma qualidade capaz de subsidiar projetos e pesquisas de ensino nas mais diversas áreas do conhecimento.

#### **7.4 Embargo da Usina Hidrelétrica de Cubatão - SC**

O rio Cubatão nasce na Serra do Mar, na elevação 1100m e possui 75 km de extensão. Há 45 km à montante de sua foz encontra-se Salto 2, uma queda d'água de aproximadamente 40m. Salto 1 é uma outra queda d'água de 369 m de altitude, que se encontra há cerca de 5 km à jusante de Salto 2, também conhecida como Salto do Rio Cubatão, a maior e uma das mais belas cachoeiras do Brasil. Devido ao fato deste rio apresentar características de encachoeiramento, esta bacia atraiu empreendedores interessados em aproveitar o seu potencial hidráulico para a geração de energia elétrica. As especulações sobre o assunto teve início por volta de 1950 (PEREIRA, 2005). Entretanto, somente em 1988 ações se concretizaram através da realização de um estudo de impacto ambiental, EIA, no alto curso do rio Cubatão, encomendado pela Usina Hidrelétrica de Cubatão S.A., um consórcio formado por Centrais Elétricas de Santa Catarina (Celesc) e as empresas paranaenses Inepar e Desenvix (PEREIRA, 2005). A construção da usina foi a primeira concessão no país para iniciativa privada. Em 1996 a hidrelétrica obteve a titularidade da concessão da ANEEL para construção e exploração do rio Cubatão (LEONORA, 1996).



O início da obra estava previsto para 1997 e a duração seria de 33 meses. Seria, então, construída uma barragem de 138m de extensão e 35m de altura, resultando a inundação de 4,1 km<sup>2</sup>, a fim de se obter uma capacidade de geração de 50 MW, o equivalente a 2% do consumo do município de Joinville, onde seria instalada a usina que possui características muito próximas a de uma PCH. A construção da usina suprimiria 270 hectares de Mata Atlântica Nativa e comprometeria os Saltos 1 e 2, ocasionando a supressão de 15 km do fluxo do rio Cubatão devido ao desvio causado por um conduto forçado de 8 km de extensão (PEREIRA, 2005; SAAVEDRA, 1998). Na etapa inicial das obras, o rio teria 60% de seu volume interrompido e seria comprometida uma área significativa de remanescentes da Mata Atlântica, onde residem nove espécies endêmicas e 37 espécies consideradas sob risco de extinção (CÂMARA DE VEREADORES DE JOINVILLE, 1999).

Os principais argumentos dos empreendedores para justificar a construção da usina consistiam em que haveria, sobretudo, aumento na oferta de energia elétrica para o município que abriga 80% do parque industrial de Santa Catarina. Além de que a barragem a ser construída, decorrente do empreendimento, regularizaria a vazão do rio, por conseguinte, diminuindo as enchentes. Seriam criados, também, como componente das contribuições ao local, postos de trabalho e uma estação ecológica - como medida compensatória pela obra na área da serra (PEREIRA, 2005; PEREIRA, 2006).

Uma audiência pública sobre a Usina Hidrelétrica de Cubatão foi realizada em 1995, não obtendo grande repercussão na cidade. Então, em novembro de 1996, Paulo Tajés Lindner, ambientalista e autor do primeiro registro fotográfico de Salto 1, iniciou uma campanha pela preservação dessa cachoeira e de seu entorno, realizando uma série de exposições, abaixo-assinados e palestras junto à comunidade (PEREIRA, 2005). O movimento ganhou maior visibilidade quando chegou às páginas do jornal A Notícia, agregando partidários e iniciando uma intensa mobilização local contra a construção da usina. Em 1997, Lindner buscou o apoio do SOS Mata Atlântica, que estudou o caso e emitiu parecer técnico alertando sobre uma série de problemas relacionados ao EIA/RIMA da obra (PEREIRA, 2005). A Procuradoria da República, então, solicitou esclarecimentos sobre a obra, paralisando-a temporariamente. Os

promotores procederam no sentido de que elaboraram instruções técnicas compatíveis com o empreendimento e cobraram explicações ao órgão ambiental responsável no estado, a Fundação do Meio Ambiente, FATMA. Após os propositores da usina esclarecerem as indagações dos promotores, a FATMA acabou liberando a licença para a obra, sendo que a ANEEL já havia autorizado o início das obras. Porém, não havia sido dada a autorização do IBAMA para início da derrubada da vegetação (PEREIRA, 2005). A usina hidrelétrica iniciou o fechamento da maioria dos contratos, orçados em R\$ 50 milhões. Foi quando em dezembro de 1998, a Câmara de Vereadores de Joinville aprovou, por unanimidade, uma moção contrária à obra (SAAVEDRA, 1998).

Em março de 1999 nasceu o Comitê SOS Cubatão, um grupo que representava todas as entidades que lutavam contra a construção da usina e argumentavam que a obra seria desastrosa para a região por ser realizada em uma remanescente de Floresta Atlântica e ser uma área que ofereceria risco de rompimento da barragem pelo trincamento de rochas que se encontram abaixo da área de construção, devido ao peso da barragem e da água nela contida. Além disso, argumentavam que o EIA apresentava sérias falhas e que haveria o risco de um colapso no abastecimento de água da cidade (PEREIRA, 2005; CÂMARA DE VEREADORES DE JOINVILLE, 1999). Alegou-se na Câmara de Vereadores de Joinville que a área da usina é uma região com enorme potencial turístico e que seria totalmente descaracterizada. O Salto de Cubatão deixaria de existir, pois perderia a sua vazão, não estando, na ocasião definida a vazão sanitária mínima e nem a sua compatibilidade com a queda d'água, porque o rio Cubatão teria seu curso desviado pela construção da hidrelétrica (CÂMARA DE VEREADORES DE JOINVILLE, 1999).

Na época, a perspectiva do projeto de uma termelétrica a gás natural destinada a suprir a carência de energia, crítica no município, induzia à idéia de que a construção da PCH de 50 MW não teria sentido, já que a termelétrica se encarregaria da produção de 450 a 600 MW. Em contrapartida, a Cubatão S.A. alegava que a PCH poderia suprir os picos de demanda de Joinville. A cidade de Joinville na época demandava 173 MW médios (outubro de 1998), sendo que no horário de pico subia para 230 MW. Suprir a potência de pico com 50 MW seria a principal função da PCH. Com o

suprimento comprometido a PCH seria uma usina de produção de energia de ponta, enquanto a termelétrica só teria condição da produção de base, sem capacidade de atender os picos de consumo (CÂMARA DE VEREADORES DE JOINVILLE, 1999; PEREIRA, 2006)

Em maio de 1999, a câmara de vereadores de Joinville foi aberta para debate sobre a usina hidrelétrica, acompanhado por mais de 500 pessoas da comunidade local. Nesta ocasião, foi aprovada uma moção que apoiava a construção da usina, baseada na alegação de que um movimento carregado de interesses escusos havia mobilizado grande parte da população, apregoando inverdades sobre os reais impactos que seriam causados pela construção da usina, no intuito de inviabilizar a obra, que por sua vez, atenuaria o desemprego e traria benefícios à cidade, estando pautada no desenvolvimento sustentável (PEREIRA, 2005).

Os ambientalistas não desistiram e deram sequência em seu movimento contra a usina, conseguindo o apoio do clube Roter Tiger, entidade alemã com 9 mil associados que financia projetos ambientais no Brasil, e de Angelika Köester Lossak, deputada do Partido Verde em Berlim, que chegou a enviar cartas ao governador de Santa Catarina, ao prefeito e outras autoridades de Joinville, relatando preocupação com o projeto (PEREIRA, 2005).

Diante dos acontecimentos, desencadeados pela ampla mobilização popular, veio ocorrer que, em julho de 2003 foi aprovada, por unanimidade, na câmara de vereadores de Joinville a Lei Complementar 142, que proibia a instalação de hidrelétricas e de empreendimentos impactantes, como loteamentos, atividades industriais e de mineração, à montante da estação de captação da CASAN (concessionária de águas e esgotos) no rio Cubatão (PEREIRA, 2005). Entretanto, o consórcio Cubatão S.A. ainda não desistiu da construção da usina e em dezembro de 2010 foi divulgado que a obra poderá vir a ser viabilizada com novo projeto, de menor impacto ambiental e compensações compatíveis – que atenderia a todos os requisitos demandados pelas reivindicações ambientais. A perspectiva deste novo projeto passou a ser discutido com a SOS Mata Atlântica - reduziria em cerca de 98% a supressão da vegetação em relação ao projeto original, de 1998. Ainda será preciso obter a licença

ambiental e concluir a análise de viabilidade econômica (JORNAL A NOTÍCIA, 2010).

Constata-se que os  $\mathbf{K}_{\text{imp}}$ <sup>8</sup> foram definitivamente diferentes e definidores do sucesso ou fracasso dos empreendimentos. Variáveis difíceis de computar, e muitas vezes exógenas à própria quantificação mensurável do fator, participaram de forma decisiva – por exemplo, a participação da comunidade, o uso multifuncional e educacional de instalações relacionadas e participantes de uma abordagem mais abrangente da implantação de uma planta energética renovável.

Assim, como expresso na equação (6.1), é útil fornecer um indicador quantitativo, sobretudo quando são avaliados sistemas energéticos com qualidades distintas, como de serem renováveis ou não. O que pode ser ilustrado através dos dados relativos à PCH Cachoeira, exemplo do item 7.2, acima. Valores como o CO<sub>2</sub> ou Diesel evitado (ver Tabela 7.1) poderiam ser computados através de um indicador, tal como proposto na equação (7.1) – para o caso de comparação entre energéticos de qualidades distintas, do ponto de vista ambiental. Um outro fator poderia ser empregado – em situações como a descritas neste estudo de caso – que consideraria os aspectos ambientais envolvidos (definido como Fator de Renovabilidade,  $\mathbf{f}_{\text{ren}}$ , tal como desenvolvido e proposto no capítulo 4). O *Fator de Eficiência Global* para sistemas híbridos seria, então, calculado através da equação:

$$F_{EG} = [ ( \sum_{i=1}^n \mathbf{f}_{\text{int}(i)} \times \mathbf{f}_{\text{ren}(i)} \times \mathbf{f}_{\text{imp}(i)} \times \mathbf{P}_{m(i)} ) \times \mathbf{T} / \text{Energia requerida} ] \quad (7.3)$$

Para  $\mathbf{i} = 1, 2, \dots, n$ .

Com os demais fatores da equação (7.3) definidos como na equação (7.1).

---

<sup>8</sup> São utilizados atualmente no Brasil indicadores de impactos sócio ambientais para avaliação e escalonamento dos empreendimentos hidrelétricos, conforme as orientações do manual de Inventário Hidrelétrico de Bacias Hidrográficas (MME, 2007). Para o caso de comparação entre plantas hidrelétricas, tais indicadores podem orientar a definição dos  $\mathbf{K}_{\text{imp}}$ , tal como proposto na metodologia deste trabalho. Um dos indicadores deste manual é o Índice de Sustentabilidade para as Hidrelétricas, ISUH. Observa-se que a metodologia proposta abrange não só energéticos distintos, mas, também, os efeitos (benefícios) do uso (conjunto) integrado entre eles.

A formulação deste fator -  $f_{ren}$  - permitiria quantificar a eficiência conjunta de unidades, plantas ou sistemas de geração de energia, de qualidades, ou “naturezas”, distintas, mas, que, em termos de eficiência energética e impactos ambientais, possam ser redutíveis a um quantificador de eficiência conjunta, ou eficiência global do conjunto. O fator  $f_{ren}$  - incluído na equação (7.3) - pode ser considerado em diversas situações de suprimento, realizado por um conjunto de fontes, em que se comparem alternativas de suprimento energético – sobretudo, naqueles conjuntos onde nem todas as fontes sejam renováveis. Diante do qual o conjunto passa a ser avaliado e comparado quanto ao critério de ter maior ou menor participação relativa de fontes renováveis - ou possuir, ao menos um componente não renovável, onde seja computada a sua influência (em relação com um sistema referencial, por exemplo) no cálculo do *Fator de Eficiência Global* do conjunto. Sistemas convencionais, ou não renováveis, como termelétricas suprindo uma carga conjuntamente com PCHs, ou Usinas Eólicas com termelétricas, por exemplo. Para efeito de integração entre sistemas, tais como plantas eólicas ou PCHs, e a rede do SIN, o fator de renovabilidade deste sistema - a rede do Sistema Integrado nacional – pode ser tomado como o equivalente ao percentual da participação das energias renováveis na matriz de geração elétrica no Brasil, que é em torno de 80%, o que corresponderia a um  $f_{ren(SIN)} = 0,80$ .

A principal motivação para o uso de tais indicadores advém do fato de que um dado energético pode ser eficiente, do ponto de vista das variáveis técnicas – como rendimento, fator de capacidade ou fator de demanda – porém, pode não ser viável isoladamente ou em dadas circunstâncias concretas. No entanto, em conjunto, a composição integrada das eficiências pode corresponder a um sistema não só viável, mas, ainda, através da extensão da aplicação de tais indicadores de conjunto, como o Fator de Eficiência Global, serem comparáveis e permitirem que sejam avaliados quanto às suas competitividades.

Não se pode desconsiderar que embargos de plantas, projetadas - ou já em construção - continuam ocorrendo em muitos outros projetos no país. Muitas das quais, mais cedo ou mais tarde, haverão de serem retomadas - a exemplo do que ocorreu recentemente com a decisão da Justiça Federa acerca das PCHs da bacia do

alto Rio Paraguai, no Pantanal mato-grossense (JORNAL FOLHA DE SÃO PAULO, 2011). Isto evidencia a urgência da implantação de procedimentos que considerem o planejamento dinâmico e um conseqüente acompanhamento da implantação das metas e projetos previamente definidos e passíveis de ajustes de percurso.

#### **7.4.1 Considerações sobre o uso, limitações e perspectivas de aplicação das ferramentas propostas para as PCHs**

Através da aplicação da metodologia de avaliação proposta e mediante o uso das ferramentas desenvolvidas é possível estabelecer que, não só uma outra abordagem pode ser feita (diferentemente dos procedimentos que culminaram com o cancelamento da implantação de algumas plantas de energéticos no Brasil, recentemente) – aplicável tanto para o caso da última pequena hidrelétrica abordada, como, também, para outros empreendimentos do gênero que foram inviabilizados (tal como ocorreu nos casos em que PCHs foram embargadas). Procedimentos estes que podem ser aplicáveis de forma coerente e consistente com os requisitos sócio-ambientais, de forma a proceder de acordo com uma disciplina de avaliação e análise que tende a apresentar resultados diversos do apresentado pela apreciação da sociedade e agentes envolvidos. Assim, a metodologia desenvolvida busca orientar, de forma eficaz, a condução do planejamento, planificação e projeto de muitos outros empreendimentos deste tipo no país - alguns dos quais se encontram atualmente com as suas obras de implantação obstaculadas por questões de avaliação de significação, impactos ambientais e oportunidades (alguns estando atualmente *sub judice*).

No que diz respeito ao fator de impacto ambiental,  $f_{imp}$ , os procedimentos desenvolvidos a partir da edição do Manual de Inventário de Bacias Hidrográficas (MME, 2007) concorrem para estabelecer com maior rigor os níveis de impactos dos projetos de PCHs – devendo ser adaptados para a aplicação em plantas específicas destes energéticos. O nível crítico, a partir do qual um dado empreendimento do gênero torna-se inviável ou proibitivo – devido ao impraticável nível de impacto, incompatível com usos múltiplos e prioritários – pode assim ser estabelecido através do uso tanto dos critérios de ocupação do espaço físico do inventário hidrográfico,

como da avaliação dos demais fatores. Estes fatores contribuem para consolidar a avaliação do desempenho global – tanto em termos próprios (devido à aplicação do Fator de Eficiência Global,  $F_{EG}$ ), como em relação a uma referência onde se estabeleçam os limites de praticabilidade, definidos em escalas regionais, nacional ou específica (referenciados aos aspectos pertinentes às características geográficas e ambientais locais). Pelo que se levantou do empreendimento do projeto embargado da Hidrelétrica do Cubatão, pode-se verificar que a adoção de critérios, tais como os indicadores e quantificadores da metodologia proposta, conduz a considerações – como as de dimensionamento apropriado e análise de custos benefícios segundo uma abordagem referencial comparativa (que deve ser precisada, conforme decorre das análises e constatações propiciadas por este trabalho e indicadas através de desdobramentos, estudos e procedimentos, que necessariamente devem ser desenvolvidos, como consequências sob a forma de decorrências continuadas da metodologia proposta) – que podem levar à constatação de que o empreendimento pode, não apenas ser viabilizado, mas, também, ser estabelecida, previamente, esta caracterização (com um nível de avaliação perspicaz e quantificável) no nível de planejamento e projeto. No capítulo seguinte são apresentados valores de uma estimativa inicial decorrente da aplicação da metodologia numa abordagem inicial para avaliação – segundo estimativa de valores e tendências de práticas históricas – tanto do panorama energético brasileiro como um todo, como, também, das categorias de energéticos abordadas neste trabalho.

## **7.5 Empreendimentos Eólicos e suas perspectivas de uso integrado**

A crescente atratividade das plantas de aerogeradores (configuradas em “Parques Eólicos”, “Usinas Eólicas”, ou “Fazenda de Cataventos” – como são usualmente nomeados estes sistemas na mídia, em geral), está relacionada não só à redução do custo de escala, devido à ampliação da sua participação na composição da matriz energética brasileira, ou aos incrementos tecnológicos recentes. Certas simplificações, correspondentes a algumas facilidades de obtenção de licenciamento ambiental e a menores obstáculos de locação – sobretudo em face das grandes áreas disponíveis no

país, situadas relativamente próximos dos centros de consumo ou pontos de interconexão à rede do SIN – são relevantes. Acrescente-se a estes aspectos o uso, em geral, não compartilhado de sua fonte, os ventos – o que é uma característica presente, devido, por enquanto, à baixa incidência destes sistemas (o que deve persistir enquanto a sua disseminação não trazer impactos ambientais perceptíveis ou conflitos devido ao uso compartilhado, tais como a modificação da feição paisagística em áreas turísticas, ou coincidência com rota de migração de aves, por exemplo). Conflitos estes já presentes na implantação do energético que lhes são mais proximamente competitivos, as PCHs.

Deve-se atentar para o fato de que não existe exploração energética, de grande ou média escala, isenta de impactos ambientais (MME, 2007).

Por exemplo, a energia eólica, frequentemente classificada como limpa, causa problemas de ocupação extensiva de terras, ruído e pode ser uma ameaça a vida de aves silvestres. A energia solar, apesar de não poluir na fase de operação, utiliza células fotovoltaicas cuja fabricação envolve a produção de materiais perigosos tais como o arsênico, cádmio ou silício inerte. A queima de biomassa, apesar da absorção do CO<sub>2</sub> emitido pelo replantio, polui a atmosfera com particulados. A biomassa também estaria associada a necessidade de extensas áreas voltadas para o cultivo de energéticos podendo deslocar o plantio de outras culturas voltadas ao consumo humano (MME, 2007).

Como mostrado no capítulo 6, a característica primordial e atual do SIN - de regularização da disponibilidade hidrelétrica no país – devido, principalmente, à grande capacidade dos reservatórios hídricos (interligados energeticamente através da maior malha elétrica interregional do planeta) tende a ser modificada nas próximas décadas. De forma que a primazia desta estabilidade - alicerçada numa forte e inigualada predominância de energias renováveis, em torno de 80% (MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA, 2011) – sofrerá, inexoravelmente, forte transformação. Esta configuração, encontrada atualmente no sistema elétrico brasileiro, com o projetado declínio dos níveis de regularização hídrico e renovável (Fig. 6.6), remete à busca pelo forte incremento dos demais energéticos renováveis. Diante do qual os programas de estímulo a estes energéticos precisam se tornar determinantes desta transformação, ainda que alguns atrativos dos grandes reservatórios - em face do imenso potencial teórico brasileiro – posterguem as necessárias mudanças de



orientação no planejamento e ações decorrentes, ao tempo em que encubram algumas das suas características conservadoramente não eficientes.

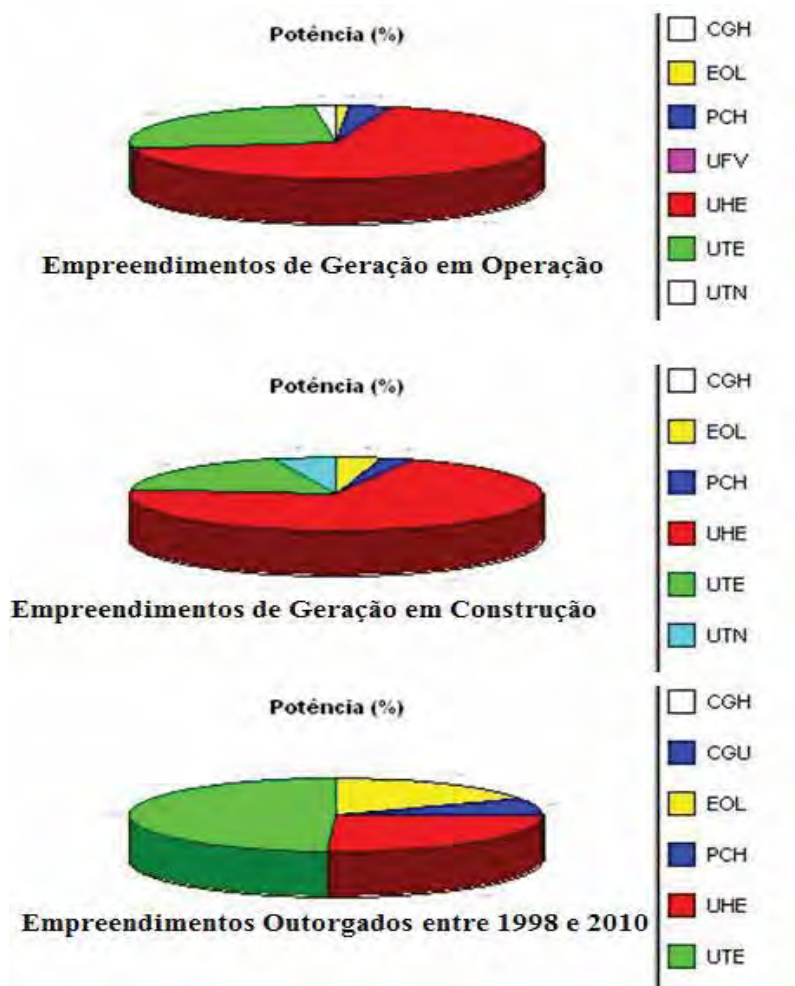
Organizações internacionais dedicadas ao tema, como a International Rivers Association, uma organização não governamental dedicada a apoiar as comunidades locais quanto ao uso de seus rios e fontes hídricas, publicou no documento “Twelve Reasons to Exclude Large Hydro from Renewables Initiatives” o que considera como pertinente à dimensão da forte resistência, como a hoje encontrada no Brasil, aos grandes projetos. Segundo essa organização, as grandes barragens (MME, 2007):

- Não reduzem a pobreza diante de opções mais descentralizadas.
- Classificadas como “renováveis”, absorveriam, por seu porte, os recursos das chamadas novas renováveis.
- Geralmente tem custos subestimados e benefícios exagerados.
- Aumentam a vulnerabilidade à mudança climática.
- Não promovem a transferência tecnológica.
- Tem impactos sociais e ambientais negativos.
- Esforços de mitigação de impactos geralmente falham.
- A maioria dos construtores e financiadores se opõem a medida de prevenção.
- Podem emitir gases de efeito estufa.
- São lentas, inflexíveis, cada vez mais caras e deficitárias.
- Alguns países são super dependentes da hidroeletricidade.
- Podem se tornar não renováveis por conta da sedimentação.

Alguns autores sustentam a tese de que grandes reservatórios que alagam florestas em ecossistemas tropicais seriam grandes emissores de CO<sub>2</sub>. Estudos recentes no reservatório de Tucuruí mostram que, no pior caso, o lago emite 213 g de CO<sub>2</sub> por kWh produzido. Tal estatística é cinco vezes menor do que para térmicas a carvão (MME, 2007, apud Hydropower and the World’s Energy Future – International Hydropower Association – International Commission on Large Dams – International Energy Agency – Nov. 2005).

O que ensejaria os investimentos em sistemas renováveis, como os grandes parques eólicos, que poderiam vir a somar energia firme à matriz elétrica brasileira providos por estes sistemas, além das PCHs e outros (bioeletricidade e energia solar). Contudo, representariam, potencialmente, apenas pequena parcela das necessidades energéticas do país.

Apesar do incremento da participação da energia Eólica e das PCHs nos planos e programas governamentais (MME-EPE, 2011), tem-se observado, como tendência que vem se confirmando no país, um crescimento da geração termelétrica convencional, conforme os dados da figura 7.1.



#### Legenda

<u>CGH</u>	<u>Central Geradora Hidrelétrica</u>
<u>CGU</u>	<u>Central Geradora Undi-Elétrica</u>
<u>EOL</u>	<u>Central Geradora Eolielétrica</u>
<u>PCH</u>	<u>Pequena Central Hidrelétrica</u>
<u>SOL</u>	<u>Central Geradora Solar Fotovoltaica</u>
<u>UFV</u>	<u>Usina Fotovoltaica</u>
<u>UHE</u>	<u>Usina Hidrelétrica de Energia</u>
<u>UTE</u>	<u>Usina Termelétrica de Energia</u>
<u>UTN</u>	<u>Usina Termonuclear</u>

**Figura 7.1: Situação atual e Evolução dos Empreendimentos de Geração no Brasil**

Fonte: Banco de Informações da Geração - BIG-ANEEL ( ANEEL, 2011)

Os dados da evolução, mostrados na figura 7.1, correspondem às tabelas 7.2 e 7.3, como segue abaixo, que reproduzem os dados do Banco de Informações da Geração da Agência Nacional de Energia Elétrica, BIG-ANEEL (ANEEL, 2011).

**Tabela 7.2 – Geração de Energia no Brasil – por categorias - 2011**

<b>Empreendimentos em Operação</b>				
<b>Tipo</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Potência Outorgada (kW)</b>	<b>Potência Fiscalizada (kW)</b>	<b>%</b>
CGH	361	208.346	205.525	0,18
EOL	60	1.205.138	1.163.742	1
PCH	409	3.780.416	3.725.950	3,21
UFV	6	5.087	1.087	0
UHE	180	78.718.073	78.141.904	67,40
UTE	1.488	32.288.027	30.691.250	26,47
UTN	2	2.007.000	2.007.000	1,73
<b>Total</b>	<b>2.506</b>	<b>118.212.087</b>	<b>115.936.458</b>	<b>100</b>

Os valores de porcentagem são referentes a Potência Fiscalizada. A Potência Outorgada é igual a considerada no Ato de Outorga. A Potência Fiscalizada é igual a considerada a partir da operação comercial da primeira unidade geradora.

**Fonte: BIG-ANEEL – (ANEEL, 2011)**

**Tabela 7.3 – Geração de Energia no Brasil – em construção e outorgadas (por categorias) - 2011**

<b>Empreendimentos em Construção</b>			
<b>Tipo</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Potência Outorgada (kW)</b>	<b>%</b>
CGH	1	848	0
EOL	37	1.008.190	3,66
PCH	53	668.198	2,42
UHE	12	19.585.600	71,07
UTE	47	4.944.585	17,94
UTN	1	1.350.000	4,90
<b>Total</b>	<b>151</b>	<b>27.557.421</b>	<b>100</b>

<b>Empreendimentos Outorgados entre 1998 e 2010 (não iniciaram sua construção)</b>			
<b>Tipo</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Potência Outorgada (kW)</b>	<b>%</b>
CGH	64	43.436	0,19
CGU	1	50	0
EOL	125	3.999.812	17,09
PCH	145	2.015.174	8,61
UHE	13	5.818.642	24,87
UTE	158	11.523.732	49,24
<b>Total</b>	<b>506</b>	<b>23.400.846</b>	<b>100</b>

**Fonte: BIG-ANEEL – (ANEEL, 2011)**

Os dados mostrados nas tabelas 7.2 e 7.3, quando confrontados com os embargos

de licenciamentos e de obras de novos empreendimentos de geração, revelam aspectos críticos no planejamento energético. Ocorrem devido ao dinamismo das contendas jurídicas e ambientais – em desacordo com os potenciais e necessidades energéticas do país.

### **7.5.1 Exemplos de parques Eólicos e as suas características**

#### **O Parque Eólico de Osório**

É composto por 75 aerogeradores de 2 MW, cada – o que corresponde a uma capacidade total instalada de 150 MW. Com um fator de capacidade de 34% corresponde a uma energia firme, ou média de projeto de 51 MW – com o que daria para suprir o consumo residencial de 240 mil unidades. Está localizado no litoral do estado do Rio Grande do Sul, no município de Osório. Sua dimensão o coloca entre os cinco maiores geradores eólicos do mundo - sendo o maior da América latina. O custo total da obra foi R\$ 670 milhões, ou seja R\$ 4,46 milhões por MW instalado e R\$ 13,1 milhões por MW efetivo, tendo começado a operar em 2006. O parque consiste de três terrenos próximos, Osório, Índios e Sangradouro, com área total de 130 km<sup>2</sup> - a taxa de ocupação efetiva do solo é de apenas 5% da área total, de modo que é compartilhado com atividade agropecuária, de forma que o consumo de solo é 0,043 km<sup>2</sup> por MW instalado e 0,127 km<sup>2</sup> por MW efetivo, o que dá 7,87 MW/km<sup>2</sup>. No Brasil a cupação média devido aos aproveitamentos hidrelétricos é de 0,49 km<sup>2</sup>/MW, ou 2,04 MW/km<sup>2</sup> (VENTURA Fº, 2011).

A área onde foi implantado o parque era originalmente de várzea, parcialmente alagada, pelo que foi aterrada e drenada, tendo o seu lençol freático rebaixado. Para reduzir o impacto ambiental, foram preservados corredores de 1 km de largura entre as três áreas. As torres são servidas por 24 km de estradas internas ao parque. Cada torre tem 98 m de altura e 810 toneladas de peso; é formada por 24 segmentos de concreto pré-moldado e um de aço, construídos em Gravataí (RS) e montados no local. Cada torre está assentada em uma base de concreto de 430 m<sup>3</sup> suportada por 32 estacas de 20 a 35 m de profundidade e 50 cm de diâmetro. As hélices tem diâmetro de mais de

70 m e atingem até 140 m acima do solo. As pás das hélices, de 35 m de comprimento, foram fabricadas em Sorocaba (SP) pela Wobben Windpower. Os conjuntos geradores foram fabricado pela Wobben Windpower alemã - modelo E-70/2000 KW (importados). Cada conjunto de 2MW, potência máxima, gera em corrente contínua a 400 V - que é convertida na própria torre para corrente alternada de 34,5 kV (pesa 100 toneladas). A energia disponibilizada na saída das unidades aerogeradoras é conduzida por cabos subterrâneos para uma subestação transformadora, instalada no parque, que eleva a tensão a 230 kV, para ser interligada, então, à rede regional (conectada ao SIN) por uma linha de transmissão de 8 km.

### **O Parque Eólico Alegria**

Instalado no município de Guamaré, no estado do Rio Grande do Norte, com capacidade instalada total de 151,9MW (quando em operação as 92 unidades aerogeradoras) e Fator de Capacidade médio de 30,1% - será, então, o maior parque eólico instalado no país. O parque, que ocupará uma área total de 2.243 ha, na Praia do Minhoto, a aproximadamente 170 km de Natal, é dividido em dois setores: Alegria I e Alegria II. O setor Alegria I é composto por 31 aerogeradores com potência total de 51,15 MW, e o setor Alegria II será composto por 61 aerogeradores, com potência total de 100,65 MW. A potência suprida pelo conjunto será suficiente para abastecer cerca de 215.000 residências.

A unidade Alegria I encontra-se em operação desde dezembro de 2010. A energia gerada está sendo escoada pela Linha de transmissão de 69 kV, com extensão de 3,5 km entre a subestação Alegria e a subestação Guamaré da Companhia Energética do Rio Grande do Norte, COSERN. Após a energização de Alegria II, a energia gerada pelo Parque Eólico Alegria será escoada pela linha de transmissão em 230 kV, com extensão de 89 km, entre a Subestação Alegria e a Subestação Açú II, onde será entregue ao Sistema Interligado Nacional – segundo dados do projeto, quando em plena operação evitará a emissão de 120.000 toneladas de CO<sub>2</sub> por ano. O fornecedor dos aerogeradores é a Vestas Wind Systems S/A, fabricante dinamarquês - aerogerador utilizado é Vestas V82-165.

Conflitos devido ao uso compartilhado das áreas ocupadas por parques eólicos começam a ser registrados, o que tem provocado as primeiras intervenções dos órgãos vinculados à proteção do meio ambiente. Entre os problemas acarretados pela exploração eólico-elétrica na costa nordestina, a devastação de dunas, o aterramento de lagoas, interferências em aquíferos, a destruição de casas e conflitos com comunidades de pescadores são os mais visíveis.

Mesmo entre os que, de alguma forma, são críticos da energia eólica não há, segundo o registro de denúncias formais, uma franca oposição à instalação dos parques, mas sim, em alguns casos, à localização escolhida. Segundo advertiu o professor Jeovah Meireles, do departamento de geografia da UFC, Universidade Federal do Ceará, o problema decorreria, sobretudo, do fato que os parques são instalados levando em conta apenas a dimensão econômica, ignorando os custos ambientais nos respectivos projetos (FERNANDES, 2009). Segundo denúncias veiculadas na mídia (FERNANDES, 2009), projetos instalados em praias, como na de Taíba (litoral oeste do Ceará) e outro na praia do Cumbe, em Aracati (litoral leste do Ceará) não apresentaram os procedimentos ambientais da mesma dimensão com que são exigidos, por exemplo, para a instalação de PCHs. No do caso dos parques eólicos frequentemente buscou-se aproveitar a altitude das dunas para potencializar a captação dos ventos – onde apresentam velocidades maiores. Mas, para isso, ocorre que dunas fixas são desmatadas, altera-se parte da topografia local, faz-se a compactação de dunas móveis, lagoas próximas são aterradas, além de acarretar a privatização de espaços de uso coletivo – em geral, atrativos turísticos. Nos projetos citados, se os parques tivessem sido instalados logo atrás das dunas, nas zonas dos tabuleiros, onde a velocidade dos ventos alcança níveis europeus, de 6 m/s não haveria conflitos, porém, nas dunas – onde são alcançados 8 m/s na velocidade modal dos ventos – os impactos surgem visivelmente.

Tais impactos poderiam ser evitados – ou ao menos consideravelmente reduzidos - se fosse cobrado os Estudos de Impacto Ambiental e o Relatório de Impacto Ambiental, EIA - RIMA, que levasse em conta projeções sobre o acúmulo das intervenções feitas na natureza pelos projetos eólicos. Segundo resolução 279 de 2001 do CONAMA, Conselho Nacional de Meio Ambiente, para a instalação de parques

eólicos normalmente é exigido apenas um relatório simplificado para a expedição da licença ambiental, dada pelos órgãos estaduais. Após denúncias formais à SEMACE, Superintendência Estadual de Meio Ambiente do Ceará ficou decidida a cobrança do EIA-RIMA, com base na Lei do Gerenciamento Costeiro (lei federal 7.661, de 1988), que regula os usos possíveis dos terrenos na costa brasileira. Desta forma, em princípio, a partir destes eventos, os novos projetos deverão apresentar esse documento no processo de licenciamento. Outras denúncias do gênero, feitas ao Ministério Público Federal, de degradação ambiental na praia do Cumbe (litoral cearense), levaram a Justiça Federal a determinar por esta época (23/10/2009), através dos instrumentos legais, a suspensão das obras de construção de um parque eólico – Parque Eólico de Aracati, formado por três usinas eólicas (Bons Ventos, Enacel e Canoa Quebrada). O projeto foi retomado, após deliberações dos órgãos envolvidos, e encontra-se atualmente em operação - tendo originado, com a contenda envolvendo a sua construção, a exigência dos procedimentos de participação dos órgãos ambientais nos projetos que decorreram das demandas ambientais havidas com a sua construção.

A ausência da ênfase nos aspectos regionais e dinâmicos do planejamento – e que impliquem, também, num acompanhamento contínuo, ao nível do projeto e atualização de cada planta – coloca o dilema ambiental, quando não plenamente incorporado às rotinas de planejamento. Se de um lado as plantas renováveis podem ser embargadas por conduzirem a um novo impacto (visível e atraente para as demandas ambientalistas), por outro lado, o crescimento da participação de energéticos não renováveis não só não é perceptível pelos consumidores e os agentes - sejam governamentais ou não governamentais – em todas as suas implicações, como desperdiçam e relegam a um tempo incerto no futuro (talvez nem sequer mais viável – para muitos empreendimentos distribuídos de pequeno e médio porte), potenciais plenamente viáveis, em todos os aspectos: renovabilidade, viabilidade técnica e econômica, atratividade e competitividade e compatibilidade com as demandas ambientais e sociais. Pelo que - é o que o trabalho permite constatar - a resposta condizente com tal dicotomia recairia sobre um planejamento que incorporasse aspectos de regionalidade. E que fosse, sobretudo, orientado para os potenciais, previamente e consistentemente inventariados, considerando o indispensável

dinamismo que implica em flexibilização responsável - diante dos entraves circunstanciais (tecnológicos, estruturais, educacionais e jurídicos) - e os indispensáveis ajustes de percurso. Daí a justificativa e o fundamento dos procedimentos e recursos apresentados pela metodologia de planejamento, propostos neste trabalho.

## 7.6 Exemplificação: Aplicação da Metodologia

Em termos de exemplificação, partindo de uma avaliação referencial histórica dos desempenhos, seja do sistema energético do país como um todo (considerado com as simplificações e aproximações necessárias) e das categorias de energéticos abordados neste trabalho, é possível obter, como resultado inicial da aplicação da metodologia proposta, valores preliminares, estimados, para uma primeira abordagem (mais significativamente qualitativa do que estritamente quantitativa). Pode-se, deste modo, considerar para o Sistema Elétrico Nacional, SEN, conforme estabelecido como estimativa considerada anteriormente – aplicando a equação (7.3):

$$\mathbf{F}_{EG(SEN)} = 1,00 \times 0,80 \times 0,90 \times 1,00 = 0,72 \quad (7.4)$$

Já que os fatores de integrabilidade, renovabilidade e impacto -  $\mathbf{f}_{int}$ ,  $\mathbf{f}_{ren}$ ,  $\mathbf{f}_{imp}$ , respectivamente – corresponderiam a 1,00; 0,80 e 0,90. Uma vez que se considerou que o Sistema Energético Nacional embora não sendo totalmente interligado – havendo, segundo os dados oficiais constantes na página oficial, na internet, do Operador Nacional do Sistema, ONS, em torno de 3% de produção de energia em sistemas isolados, correspondendo a uma área de 45% do território brasileiro, localizada na região norte, de baixíssima ocupação humana – é, praticamente, plenamente interligável (daí o valor deste fator corresponder à unidade). Como visto anteriormente, considerou-se o fator de renovabilidade correspondente à participação das energias renováveis na matriz energética brasileira – com um valor percentual de aproximadamente 80 % - daí o  $\mathbf{f}_{ren} = 0,80$ . Para o fator de impacto ambiental que, pelo que se expôs, é o mais crítico, por várias razões – entre as quais, ser o mais complexo,



mais visível e mais facilmente perceptível por um grande número de agentes e consumidores – considerou-se uma simplificação na sua estimativa. Segundo os procedimentos do Manual de Inventário das Bacias Hidrográficas (MME, 2007), os impactos ambientais são considerados para os projetos a serem propostos e que ainda vão ser construídos – o que equivale à avaliação de impactos relativos, por mais sistematizados, sofisticados e detalhados que sejam os critérios e levantamentos de dados deste inventário. Por esta razão, estabeleceram-se como procedimento adotado para a determinação do  $f_{imp}$  três vertentes: uma designada por ‘histórica’, por considerar, de alguma forma (generalizada), os impactos dos aproveitamentos hidrelétricos então existentes no Brasil, uma ‘crítica’, onde uma avaliação mais criteriosa e abrangente dos impactos seria considerada – sobretudo para efeito de rigorosa avaliação dos limites de viabilidade de um empreendimento; por último, uma terceira, de ‘projeção’, considerada para efeito de elaboração de cenários futuros. Por tais considerações nos melhores aproveitamentos hidrelétricos brasileiros poderiam se considerar um fator de impacto, estimado, igual à unidade - uma vez que o fator de impacto reflete, numericamente, (assim como os demais fatores componentes desenvolvidos no cálculo do  $F_{EG}$ ) a um valor inversamente proporcional os danos ou modificações irreversíveis ao meio ambiente, de modo que à unidade corresponderia, praticamente, à ausência de danos significativos ou perceptíveis ocorridos com o uso do espaço humano e físico-geográfico em que foi instalado. Já os que causaram maior impacto, e de forma irreversível, poderiam ter um valor do  $f_{imp} = 0,60$  – caso da hidrelétrica de Balbina, no estado do Amazonas (PAZ, 2006). Os empreendimentos hidrelétricos de baixos impactos, como a hidrelétrica de Xingó, no rio São Francisco – fronteira entre os estados de Alagoas e Sergipe – (que corresponde à maioria dos grandes reservatórios do país), poderiam contabilizar um  $f_{imp}$  próximo da unidade – algo como entre 0,90 e 1,00 – enquanto as barragens intermediárias poderiam contabilizar entre 0,70 e 0,80 (como a de Porto Primavera, localizada na região sudeste). Frisando sempre que estes valores correspondem a uma escala de grandezas estimativas, significando não mais que parâmetros para que se possa iniciar o processo interativo do processo proposto na metodologia. Como a maioria das hidrelétricas, sobretudo as de grande porte, já se conta com o ambiente de seus entornos

estabilizados e por não haver levantamentos amplos (de âmbito nacional), conclusivos e definitivos sobre os seus impactos, iniciais, atuais ou remanescentes - embora existam estudos referenciais localizados (GUIMARÃES, 2008) - optou-se por considerar um valor de impacto característico para o sistema elétrico nacional sem desprezar aspectos históricos, porém, sem enfatizar os aspectos críticos. A título de ilustração pode-se reconhecer que se os impactos iniciais da UHE de Balbina foram, na época, registrados como estando entre os maiores já havidos no país, hoje se encontram estabilizados – o que não significa que, para efeito de novos projetos na região amazônica, sobretudo, seus indesejados impactos não só devam ser considerados, mas, principalmente evitados em novas plantas.

Para as PCHs, atentando para os casos estudados e apresentados anteriormente, para efeito de exemplificação, podemos considerar, para as duas plantas modelares – PCHs de Cachoeira e Luiz Dias:

$$\mathbf{F}_{\text{EG(Luiz Dias)}} = \mathbf{F}_{\text{EG(Cachoeira)}} = 1,00 \times 1,00 \times 1,00 \times 1,00 = 1,00 \quad (7.5)$$

Considerando que operem interligadas ao SIN – o que foi tomado como referência anteriormente, correspondendo a ter um fator de capacidade unitário (além dos demais quatro fatores iguais à unidade, conforme a equação [7.3]). Já que a interligação do SIN fornece uma continuidade garantida – sendo o risco de desabastecimento de menos de 5% considerado, apenas, para efeito de planificação e projeção do suprimento, no nível de planejamento. Para PCHs operando isoladamente – como é o caso das plantas que se enquadram na condição de “Auto-Produtores” e sem que haja impactos ou conflitos ambientais, seus  $\mathbf{F}_{\text{EGs}}$  traduzem os seus respectivos fatores de capacidade (havendo que considerar o fator ponderado, como na equação [4.7], no caso das PCHs que entregam ‘excedentes’ de sua energia gerada para a rede do SIN). Ainda cabe considerar que, nestes casos, os fatores de impacto foram considerados unitários - pela razão de que as referidas PCHs terem introduzido benefícios compensatórios para os pequenos impactos que causaram. Cabendo destacar que algum impacto, geralmente, ocorre na implantação de plantas desta natureza (o que não as inviabilizam pela dimensão de grandeza que o benefício do

suprimento energético representa para a sociedade humana) – porém nem sempre ocorrem tais compensações, o que remete ao caso da PCH do Cubatão (Usina hidrelétrica, HE, do Cubatão, na controvérsia da sua dimensão projetada em confronto com a sua dimensão possível, como se pode constatar no histórico do caso relatado). No caso da usina hidrelétrica do Cubatão os impactos sócio-ambientais ultrapassaram o limite da viabilidade e colocam a questão do regramento jurídico e da participação da comunidade na implantação de empreendimentos desta natureza.

Para os parques eólicos tomados como exemplos, no item anterior deste capítulo, é importante ressaltar o fator de integrabilidade (ou complementaridade),  $f_{int}$ , que se revela particularmente expressivo na região nordeste, por haver complementaridade entre os regimes hidrológicos e de ventos – como se pode ver na Figura 6.1. Isto não ocorre com a mesma significância na região sul do Brasil – o que revela, para o caso do nordeste, uma atratividade a mais a considerar para este energético. Com relação aos impactos ambientais, não deve ser desprezado o surgimento de conflitos no litoral nordestino, uma vez que o compartilhamento das atividades pesqueira e turística com a exploração eólica, na faixa litorânea, revelaram já um potencial conflitivo. Desta forma, assumindo para os  $f_{int}$  do nordeste e sul, respectivamente, os valores de 0,90 e 0,70, e os correspondentes  $f_{imp}$ , 0,8 e 1,0 (para o caso específico do Parque Eólico de Osório), pode-se avaliar os seus fatores de eficiência global. Assim, considerando que os parques estejam interligados à rede do SIN:

$$F_{EG(Eólico-NE)} = 0,90 \times 1,00 \times 0,80 \times 1,00 = 0,72 \quad (7.6)$$

e

$$F_{EG(Eólico-SUL)} = 0,70 \times 1,00 \times 1,00 \times 1,00 = 0,70 \quad (7.7)$$

Observe-se que esta é uma primeira avaliação estimativa e que serve de parâmetro inicial de análise de eficiência global que, por seguinte, pode balizar critérios de atratividade técnica e econômica. Segundo os números relativos ao potencial eólico do Brasil, e no que concerne, também, ao valores de potência instalada e em implantação, a atratividade da geração eólica no nordeste corresponde a mais de 50% dessa modalidade energética no Brasil (EPE, 2009; EPE, 2011) - o que é

condizente com o mais elevado Fator de Eficiência Global verificado pelo fator proposto. Apesar do registro de conflitos relacionados ao uso compartilhado da área litorânea onde estão instalados na região.

Os valores do  $F_{EG}$  ainda que indicativos da viabilidade técnica, econômica e ambiental não podem ser definidores exclusivos do nível de atratividade, pois, como se observa através da avaliação das PCHs visto anteriormente, um fator de eficiência global máximo, igual à unidade - justificado pela caracterização dos benefícios produzidos por este energético, conforme relatado - não corresponde à maior atratividade, que ocorre atualmente na expansão da capacidade eólica. Este fato está relacionado, como foi observado, com aspectos dos impactos sócio-ambientais - que são maiores e mais visíveis no caso da instalação das PCHs - e na regulamentação das concessões e certificações ambientais (que tem sido mais brandas para o licenciamento dos parques eólicos, até então).

Ao se considerar categorias de energéticos – avaliados com as características representativas de suas plantas (tomadas com os valores das médias dos índices de um conjunto representativo de plantas) – pode-se obter uma avaliação comparativa de seus fatores de desempenho global. Por exemplo, considerando os seguintes fatores  $f_{int}$ ,  $f_{ren}$ ,  $f_{imp}$ , para os energéticos: Usinas Hidrelétrica de Grande Porte, UHE, PCH e Usinas Eólicas, respectivamente – ao lado dos correspondentes Fatores de Capacidade (VENTURA Fº, 2011) – conforme a tabela abaixo:

**Tabela 7.4 – Fatores de Capacidade, de Integrabilidade, de Renovabilidade e de Impacto médios representativos (valores históricos estimados)**

Energético	Fatores			
	$f_{int}$	$f_{ren}$	$f_{imp}$	$*F_{Cap}$
UHE	1,00	1,00	0,90	0,57
PCH	0,90	1,00	0,90	0,55
Eólica	0,80	1,00	0,90	0,35

\*  $F_{Cap}$  - fornecidos pelos agentes institucionais do setor

Fonte: Elaboração própria

O que fornece os seguintes valores médios estimados para a Eficiência Global:

$$\mathbf{F}_{\text{EG(UHE)}} = 0,51 \quad (7.8)$$

$$\mathbf{F}_{\text{EG(PCH)}} = 0,44 \quad (7.9)$$

$$\mathbf{F}_{\text{EG(Eólica)}} = 0,25 \quad (7.10)$$

Deve-se observar que os valores constantes no quadro decorrem de estimativas – consideradas numa perspectiva histórica, ressaltando-se que, no âmbito da pesquisa envolvida por este trabalho, não foi encontrado nenhum estudo abrangente que definisse valores para os impactos ambientais representativos das hidrelétricas, sejam as de pequeno ou grande porte (havendo estudos pontuais e metodologia de avaliação de impacto para novos projetos, a partir de 2007 (MME, 2007). O mesmo se pode afirmar das Usinas ou Parques Eólicos, onde, conforme se relatou neste trabalho, já há registro de conflitos (FERNANDES, 2009) envolvendo a reivindicação da necessária regulamentação da avaliação dos impactos ambientais – bem como as medidas adequadas à sua mitigação.

A partir dos quais cumpre ressaltar a adoção de um critério histórico de estimativas – envolvendo eventos havidos no âmbito de problemas ambientais causados pelas hidrelétricas. A atual atratividade dos empreendimentos Eólicos, e das PCHs, está relacionada tanto com os estímulo, garantias e subsídios governamentais para a implantação de empreendimentos destes gêneros, como alertam para a elevada – e crescente – ordem de grandeza dos níveis de impactos causados pelos novos grandes empreendimentos hidroelétricos. O que já é revelado pelos indicadores decorrentes das equações (7.8), (7.9) e (7.10), que remetem às seguintes constatações: a perspectiva de estimativa ‘histórica’ de valores de impactos ambientais é suplantada por uma perspectiva ‘crítica’, onde, a partir da constatação do declínio da folga de estabilidade operacional - representado pela grande capacidade regulatória dos grandes reservatórios hídricos do país - vai sendo acrescentada capacidade de reserva, através de energéticos que precisam ser avaliados num perspectiva de eficiência global.

Por tais considerações, vê-se que o  $F_{EG}$  tanto cumpre o papel de um fator, presente nas equações, como a (7.3) – uma vez que envolve a determinação da Potência Média (que decorre da aplicação do  $F_{Cap}$ ) e fornece um indicador da potência efetivamente disponível a partir dos potenciais teóricos inventariados – como, também, já se presta a servir de índice da disponibilidade efetiva, considerando uma avaliação da eficiência global.

## CAPÍTULO 8

### 8 APLICABILIDADE DIANTE DAS PERSPECTIVAS ENERGÉTICAS BRASILEIRAS

#### 8.1 O Uso de Indicadores de Desempenho e a necessidade de Índices Quantitativos Específicos para a Avaliação do Desempenho Global de Energéticos

Os indicadores relacionais de grandezas, utilizados sejam nas áreas mais gerais ou mais específicas da disciplina técnica, constituem elementos que, analogicamente, corresponderiam aos morfemas da sintaxe na gramática - em última instância, da natureza própria dos sistemas utilizados pelo homem. Índices de custos, como *Unidades Monetárias/MW*, disponibilizado por uma fonte ou sistema de suprimento de energia, ou *Unidades Monetárias/MWh* disponíveis ou entregues a uma carga ou conjunto de consumidores, fornecem elementos de avaliação econômica geral da energia usada. Outros, mais elaborados, como a *elasticidade-renda do consumo* ou *elasticidade-renda da oferta*, buscam quantificar o nível e, de certo modo, o grau de equilíbrio atingido na satisfação - conformidade *oferta-procura*, ou o grau de demanda reprimida por um determinado bem ou serviço (num determinado momento e em vista de uma referência considerara, ou, ainda, numa dada circunstância concreta). No âmbito da energia suprida e consumida por uma determinada sociedade, ou agrupamento humano, os sistemas correspondentes a esta atividade utilizam recursos da engenharia que tem por objetivo a identificação e a precisão de grandezas e relações entre elas, com crescente nível de precisão. No entanto, dada a variabilidade e disponibilidade de recursos energéticos – consideravelmente diversificados - bem como as suas distintas modalidades e intensidades de usos, os quantificadores utilizados necessitam não só de ajustes, mas, sobretudo, da correta interpretação. O que corresponde ao emprego de ferramentas precisas, relacionadas tanto aos aspectos qualificativos (tipologia, especificidades, padronizações) quanto a aspectos nem sempre facilmente quantificáveis – muitas vezes complexos e difíceis de avaliar. O

comportamento de um conjunto de consumidores ou as disponibilidades tecnológicas – para não citar, por razões de simplificação, os complicadores políticos – são exemplos de fenômenos difíceis de quantificar (ainda que as ferramentas matemáticas busquem acompanhar tal complexidade com recursos cada vez mais poderosos, tais como: modelagem matemática, processamento computacional, estatísticas multivariacionais, análises variacionais, entre outros).

O registro dos dados de disponibilidade e uso de uma determinada planta, ou sistema energético, processado através das curvas de carga - conforme visto no capítulo 6 - fornece quantificadores precisos como os que podem ser deduzidos dos valores numéricos apresentados em gráficos. Valores estes que correspondem à potência fornecida no tempo, bem como certas relações entre as grandezas envolvidas, dos quais são inferidas as propriedades gráficas correspondentes, tais como, fatores de carga, de demanda e de capacidade, assim como os valores representativos da topologia destas curvas: potência máxima disponibilizada e potência média – decorrente das propriedades matemáticas das funções contínuas. Os centros de supervisão dos sistemas energéticos, por conseguinte, utilizam de tais recursos que visam representar as quantidades, disponibilidades e formas, ou modalidades de suprimento de uma determinada fonte, ou sistema de geração. Deste modo obtêm, tanto sob a forma instantânea, como também sob a forma de banco de dados de análise, os valores da potência firme, ou assegurada, potência de base, potência de pico e as propriedades de ajustes da forma das curvas - através da atuação de um conjunto de fontes, ou sistemas de fontes e cargas, interligados aos consumidores por intermédio de uma rede comum. São características que podem ser tratadas através de manipulação e processamento das propriedades gráficas. Modulação, por exemplo, é a ação de modificar a feição ou topologia de uma curva de forma a aplainá-la, ou aproximá-la de uma reta horizontal. Pelo que, neste trabalho, são apresentados, pois, como recursos e técnicas de obtenção de ganhos de eficiência de crucial importância, desde que a sua aplicação se revele plena e sem restrições – indisponibilidade de recursos de aquisição, registro, processamento e acessos dos dados (visuais e gráficos), seriam os limitadores. Constitui-se, desta forma, como ferramenta representativa da busca por máxima eficiência, sobretudo, quando correspondente à meta teoricamente



atingível, porém, na prática, apenas aproximável, de fornecimento, plano para um consumo plano. De outra forma, uma curva, ou curvas, de exata (ou máxima) conformidade entre um e outro (suprimento e consumo) é almejada, como o que se permitiria alcançar os melhores desempenhos e, por conseguinte, os menores custos de exploração e fornecimento.

Quando trazidos para a atualidade e considerados não só a escassez econômica, mas o esgotamento previsível de fontes hoje usualmente predominantes, como os combustíveis fósseis e ainda os impactos – traduzidos em poluição ou esgotamento de recursos potencialmente renováveis – o processamento de tais grandezas torna-se tarefa mais que hercúlea. Identificar potenciais, inventariar reservas e calcular disponibilidades viáveis de fontes e recursos energéticos, corresponde às dimensões da atividade de planejamento energético.

Indicadores que procuram relacionar tais dimensões – como orientadoras das definições e busca da quantificação – como a dos impactos, decorrentes da atividade de exploração energética, tem sido objeto de dedicados estudos em diversos níveis da comunidade internacional dedicada ao tema. Diversos organismos internacionais, como agências e instituições de pesquisas da área, tem se dedicado à questão de formalizar indicadores que permitam relacionar os itens técnicos de eficiência energética com as variáveis e parâmetros econômicos. Conforme estudos dedicados e continuados, coordenados pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, o uso de indicadores tem merecido especial atenção internacional. A elaboração e uso de bases consolidadas de indicadores energéticos vem sendo objeto de agências de âmbito internacional, como a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), o Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais das Nações Unidas (UNDESA), a Agência Internacional de Energia (AIE), a Eurostat e a Agência Ambiental Européia, AAE (CIMA, 2006).

A aplicação dessa base consolidada de indicadores energéticos, denominadas de ISED (Indicators for Sustainable Energy Development) permitiu a montagem de uma estrutura paramétrica de indicadores, baseada nas inter-relações existentes entre eles, para que ações de resposta pudessem ser propostas no sentido de se alcançar os objetivos do processo de planejamento de uma maneira integrada (CIMA, 2006).

Estudos mais específicos, dedicados à avaliação de unidades hidrográficas compreendidas por bacias – como é o caso de estudos da UFRJ, aplicados no estado do Rio de Janeiro (GUIMARÃES, 2008) – permitem, através da sua ampliação e aplicação em bacias especificamente detentoras de potenciais para geração hidrelétrica (sobretudo das PCHs), fornecer parâmetros de avaliação de impactos relacionados com o uso energético. Estes estudos têm sido orientados no sentido de ocupar lacunas existentes nos levantamentos dedicados à avaliação dos aspectos de renovabilidade destes energéticos e buscam fornecer parâmetros de avaliação de impactos e benefícios - de forma que possam fornecer parâmetros para políticas governamentais e investimentos com maiores níveis de consistência na área.

O sistema de Indicadores de Desenvolvimento Sustentável, aplicado à bacia hidrográfica, é uma ferramenta que auxilia na gestão dos recursos hídricos e na área da Bacia, e pode orientar o desenvolvimento de políticas ambientais que tenham como objetivo o acompanhamento e a manutenção das condições do meio natural. O *feedback* obtido através dos indicadores permite que as noções de desenvolvimento sustentável sejam internalizadas nas políticas públicas, na medida em que eles espelham a qualidade do meio ambiente e de vida da população, permitindo seu acompanhamento ao longo do tempo (GUIMARÃES, 2008).

Estudos que seguem a sistemática do Planejamento Integrado de Recursos, PIR, quando se dedicam para as etapas dos processos, que correspondem aos procedimentos de aproximação com a tomada de decisão, propriamente dita, encontram dificuldades de orientação de investimento ou escolhas de alternativas. Tais dificuldades decorrem da complexidade de avaliar itens muito diversificados e distintos. Além de indicadores quantificáveis, construídos a partir de critérios usuais de projetos, então praticados, como custo índice da potência disponibilizada, ou da energia entregue - e outros relativos às grandezas e variáveis econômicas - existem aqueles não quantificáveis. Impactos ambientais, padrões de comportamento, expectativas de continuidade ou transformação do ambiente social e político – assim como as respostas aos estímulos orientados, ou chamadas à participação dos agentes envolvidos (como a comunidade de consumidores), bem como a percepção do nível de acesso ao conhecimento por intermédio da educação focada no tema – são imprecisos e de difícil previsão. Ainda

que os aspectos do nível de participação e esclarecimento da comunidade de consumidores sejam relevantes (DIAS, 2003) (embora imprecisos), decisões e definições de alternativas de projetos ou plantas energéticas são, decisivamente, tomadas baseando-se em critérios que, de qualquer forma, são aquilatáveis - com maiores ou menores níveis de precisão ou acerto. Diante disto, o que se propõe na metodologia elaborada neste trabalho é um enfoque orientado para uma quantificação abrangente (que sirva como parâmetro de análise e planejamento) em termos da busca da construção de indicadores de avaliação que englobem tanto os aspectos facilmente quantificáveis como, também, os principais componentes, não exatamente quantificáveis, que influenciam o desempenho energético - considerando o sistema energético ampliado em termos das interações socioambientais - a partir de claros e objetivos critérios de comparação entre energéticos e suas inserções no meio onde operam.

O conjunto de recursos e ferramentas disponibilizados para a análise e identificação do problema da decisão de implantação de alternativas energéticas, no âmbito do PIR, é vasto e poderoso. Contudo, a indispensável etapa de simplificação, ou aproximação (arredondamentos, ou estimativas), sempre é usada - e em todas as dimensões do problema do planejamento, seja na escala do nível de agregação de valores e variáveis numa abrangência nacional, ou na tomada de decisão ao nível regional ou de definição e escolha de plantas, discretas ou distribuídas, a serem construídas. Sofisticadas técnicas de otimização de funções objetivos são utilizadas, como restrições múltiplas, mono ou múltiplos objetivos; critérios de decisão de Pareto; processos de otimização linear combinados e com múltiplas etapas; critérios de decisão baseados no menor arrependimento; escalas de atribuição de atributos e pesquisas de opinião categorizadas, tipo Delphi, são utilizadas, por exemplo (UDAETA, 2007).

Contudo, questões que podem ser fundamentadas a partir dos dados disponibilizados pelas estatísticas e levantamentos oficiais - assim como os que podem ser complementados por estudos e levantamentos in loco, levantamentos e definições ao nível de planta (orientações e características oriundas do planejamento e prospecções regionalizados), têm permanecido em aberto. Segundos dados oficiais do

Ministério das Minas e Energia, MME – Balanço Energético Nacional, 2011 (MME, 2011), os valores de emissões de gases de efeito estufa evitados são computados como indicadores da participação e evolução das energias renováveis na Matriz Energética Brasileira. Mas, qual o significado relativo destes valores - diante do potencial de contenção de emissão destes gases no Brasil ? Da mesma forma, considerando os dados utilizados para quantificar as vantagens e ganhos em programas como o PROINFA, como o do exemplo tratado no capítulo anterior - relacionados à implantação de PCHs em Rondônia (item 7.4, do Capítulo 7), que significado relativo possuem ? Custos evitados de consumo de óleo diesel são igualmente anunciados, porém, diante de qual potencial que a região, ou localidade, pode oferecer – em termos de redução do consumo de combustíveis não renováveis e poluentes ?

Tais lacunas conduzem a uma necessária busca por prospecção de potenciais globais, ou decorrente do uso combinado de múltiplas fontes, e a comparação entre alternativas – o que justifica e fundamenta os procedimentos de uso dos critérios e indicadores de eficiência global, conforme apresentados no capítulo anterior. Da mesma forma, a busca pela definição (estímulos e propostas de construção) de projetos e plantas referenciais são indispensáveis no processo de ampliação da participação de energéticos renováveis na matriz energética brasileira. A ausência ou indisponibilidade de fontes de dados e levantamentos físicos relacionados ao inventariamento de potenciais energéticos só podem ser sanados com a construção de projetos pilotos, tratados como referenciais e conduzidos com a participação ampla dos agentes envolvidos. Dentre os agentes que merecem destaque, além da própria comunidade diante da receptividade aos recursos de acesso à informação e à educação, são as instituições de pesquisa alicerçadas em programas orientados, governamentais ou mistos – com participação da iniciativa privada. Os aspectos dinâmicos do planejamento envolvem, também, além do estímulo e construção de tais referenciais - de balizamento do desempenho energético e avaliação dos potenciais disponibilizáveis - o acompanhamento contínuo, necessário para os discretos e continuados ajustes de percurso.

Manuais de procedimentos de avaliação de impactos ambientais têm sido elaborados enfocando aspectos específicos, como os indicadores utilizados no Manual

de Inventário Hidroelétrico das Bacias Hidrográficas (MME, 2007). Indicadores tais como, Índice de Sustentabilidade – dos empreendimentos hidroelétricos, ISUH, ou das Linhas de Transmissão, ISULT – Índice de Sustentabilidade Ambiental, começam a ser usados no organograma de projeto destas plantas. Contudo, ainda são específicos e dedicados a apenas esta modalidade energética – devendo ser considerado que a sua metodologia de levantamento e aplicação, como critério de viabilidade ambiental, ou escalonamento, são plenamente válidos e passíveis de serem ampliados e adaptados para a avaliação de outros energéticos. De tais indicadores surgem procedimentos de avaliação – ainda incipientemente normatizados – tais como, Avaliação Ambiental Integrada, AAI, Avaliação Ambiental Distribuída, AAD, ao lado de normas de instrução, como Relatório Ambiental de Sustentabilidade.

São, ainda, dedicados e restritos aos aproveitamentos hidroelétricos e seus impactos – conquanto comecem a orientar a avaliação dos impactos de outros energéticos, como os parques eólicos (como se viu no capítulo 7). Da necessária ampliação do seu uso e a integração a uma abordagem que incorpore a eficiência energética, no nível da avaliação da oportunidade de investimento e o planejamento, decorrerá a prática de um planejamento integrado e dinâmico que propicie a busca efetiva pela máxima eficiência energética do sistema energético, tomado em sua totalidade.

## CAPÍTULO 9

### CONCLUSÕES – SUGESTÕES – INDICAÇÕES PARA ESTUDOS CONTINUADOS

Dentre os enormes desafios do Planejamento Energético Brasileiro colocados pelas oportunidades e dilemas conflitivos, entre os quais a expansão da produção de energia, por exemplo – tal qual se pratica nos moldes atuais – e a realização da vocação do seu potencial energético sustentável, constatou-se, neste trabalho, alguns aspectos cruciais: **(i)** a necessidade de ampliar as bases de dados da produção de energia no Brasil – desde os dados agregados e consolidados de âmbito nacional e, sobretudo, dos dados regionais; **(ii)** a necessária e indispensável ampliação de uma abordagem regionalizada – onde haja a planificação numa estruturação local, compatível com os recursos e potencialidades existentes, em prospecção, ou implementáveis, a partir de políticas e programas de eficiência energética específicas e, crucialmente, **(iii)** a imprescindível criação de um fórum permanente de discussões, estudos e elaboração de políticas energéticas – tanto na dimensão localizada (regional), como coordenada em nível nacional – de modo a não só realizar os potenciais nacionais e regionais, mas, também, compatibilizá-los com os grandes programas e orientações internacionais voltados para os ganhos de eficácia na exploração de energia na mais ampla dimensão.

Constatou-se, também, não só a tendência internacional do uso crescente das abordagens de planejamento energético dinâmico, através do uso de sofisticados recursos e ferramentas computacionais hoje disponíveis – computação evolucionária, técnicas de inteligência artificial, redes neurais, sistemas especialistas, algoritmos genéticos e lógica nebulosa - mas, a sua imprescindível aplicação no planejamento energético do país, diante da complexidade de prospecção, gestão e equacionamento consistente dos recursos energéticos do Brasil.

O acompanhamento que decorre do uso das abordagens dinâmicas do Planejamento Energético deve ser, necessariamente, implementado através de uma estrutura regionalizada com a participação ampla de todos os agentes do setor e de

todas as modalidades de consumidores. Tais procedimentos são indispensáveis, na medida em que a questão do uso de recursos energéticos não está dissociada das questões políticas, em múltiplas dimensões. Da regionalização e do acompanhamento pontual e contínuo podem ser implementadas várias etapas de ganhos de eficiência: **1)** ganhos demonstrados, viáveis e imediatamente factíveis; **2)** ganhos de eficiência de percursos – decorrente dos ajustes na realização dos planos e metas gerais e específicos e, por fim, **3)** os ganhos de eficiência estruturais. Estes últimos consolidados e obtidos através da prática continuada de metodologias dinâmicas de planejamento regionalizado com acompanhamento permanente. Enfatizando que, entre a etapa da planificação em grande escala, e os indicadores de eficiência, viabilidade e competitividade – definidos no nível de cada projeto ou planta – existe uma etapa intermediária, onde, imprescindivelmente, a abordagem regionalizada e que use de indicadores de eficiência conjunta para esta dimensão, necessita ser considerada.

Os levantamentos de potenciais energéticos, tais como são atualmente realizados pelos órgãos e agentes institucionais – que suprem dados e informações tanto para o planejamento como para a tomada de decisão, ao nível do escalonamento dos empreendimentos (segundo critérios de competitividade econômica) – carecem de indicadores que incorporem aspectos atualizados da dinâmica da atividade energética. O uso compartilhado de recursos fornecedores do insumo energético, como as bacias hidrográficas, e as áreas costeiras – de uso múltiplo, como ocorre com os mangues aptos à preservação e à piscicultura, além do uso turístico, ao lado da exploração eólioelétrica, por exemplo – requer uma avaliação da exploração planejada em termos abrangentes: dos potenciais energéticos levantados e inventariados – como são os dados fornecidos pelo Sistema de Informações do Potencial Hidrelétrico Brasileiro, SIPOT – seja na condição de teoricamente exploráveis, ou tecnicamente viáveis, quanto, efetivamente, podem ser explorados sem o empecilho de potenciais conflitos sócio-ambientais e ainda, em que ordem de prioridade devem ser escalonados os estímulos à exploração de novas fontes energéticas (sobretudo as renováveis). São questões que determinam a elaboração de indicadores globais de eficiência, tal como os fator  $F_{EG}$  – e outros relacionados – conforme se estabeleceu, como proposição inicial, através deste trabalho. A aplicação e disseminação de índices e indicadores

deste gênero pressupõe a elaboração de pesquisas, levantamentos e determinação de valores de forma interativa e regionalizada – como, também ao nível de plantas – que forneçam parâmetro mais precisos. Daí a proposição, relacionada com o fundamento da própria proposta metodológica, da necessidade de elaboração de plantas referenciais – que possam indicar, ao nível do estado da arte contemporâneo, para cada energético e suas configurações de projeto e usos típicos, valores de desempenho que sirvam de balizamento para as novas e mais eficientes plantas, bem como possam ser avaliados ao nível da eficiência energética global de todo um sistema energético, tal como o Sistema Energético Brasileiro.

Pelo que, desta forma, ficou estabelecido, como conclusão - através da aplicação da metodologia de avaliação proposta - que, além da constatação da necessidade de aplicação de índices de quantificação para escalonamento das prioridades e disciplina de dimensionamento dos impactos ambientais na implantação de energéticos renováveis no Brasil, significativa é a contribuição destes procedimentos quando aplicados ao planejamento energético.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGILAR, G. T., 2006. **Avaliação de impacto social e proposição de medidas mitigadoras – compromisso com a responsabilidade social**. [Online]. Disponível em:<http://www.cerpch.unifei.edu.br/Adm/artigos/93413270923e589e01b32ee9e24d8f1d.pdf> Acesso em 29/11/2010.

ALMEIDA, R. A.; SANTOS, A. H. M.; BAJAY S. V. “**Designing industrial cogeneration systems with the help of a genetic algorithm: an application for an oil refinery**”. In: International Conference on Efficiency, Cost, Optimisation, Simulation and Environmental Aspects of Energy and Process Systems - ECOS 2000. Enschede, Netherland, 2000. Proceedings. Part 3. University of Twente, Enschede, The Netherland, p. 1567-74.

ALVARENGA, M. I. N. et al. 2005. **Entraves da Legislação Ambiental aplicada às Pequenas Centrais Hidrelétricas no Brasil**. [Online]. Disponível em: <http://www.cerpch.unifei.edu.br/Adm/artigos/1830138e83006a8ad6c34ae09d552976.pdf>. Acesso em 13/09/2010.

ALVES, G., YAMAGUSHI, H. R., BRAUN, P. V. C. B., 2008. **A exploração de PCHs no Brasil – A Regulação e a Prática**. [Online]. Disponível em: <http://www.cerpch.unifei.edu.br/Adm/artigos/d8b990638896cc53e06c4f8d0f436d45.pdf>. Acesso em 25/08/2011.

AMAZÔNIA INFORMA. **Das 116 pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) previstas para serem construídas na Bacia do Alto Paraguai, 29 já estão em operação**. Notícias da Amazônia, publicado em: 05/02/2011. [Online]. Disponível em: <http://www.amazoniainforma.org/2011/02/das-116-pequenas-centrais-hidreletricas.html> Acesso em 12/02/2012.

ANDRADE, C. S, “**Energia elétrica e as populações tradicionais do estado do Amazonas: Aprendizado a partir da experiência na comunidade do Roque na Reserva Extrativista do Médio Juruá.**” Tese de Doutorado, Pós Graduação em Planejamento Energético, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

ANEEL – Agência Nacional de Energia – **Cadernos Temáticos 3 – Energia Assegurada.** Brasília: ANEEL. [Online]. 2005. Acesso em 15/02/2012.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil, 3ª Edição.** Brasília. 2008 [Online]. Disponível em:  
[http://www.aneel.gov.br/visualizar\\_texto.cfm?idtxt=1689](http://www.aneel.gov.br/visualizar_texto.cfm?idtxt=1689). Acesso em 17/06/2009.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Banco de Informações da Geração/Capacidade Geração no Estado de Rondônia.** 2011. [Online].Disponível em:<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/ResumoEstadual/CapacidadeEstado.asp?cmbEstados=RO:RONDÔNIA>. 2011a. Acesso em: 06/05/2011.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resumo do Relatório de Acompanhamento de Estudos e Projetos.** [Online]. Disponível em:  
[http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/RELATORIO\\_RESUMO\\_SGH\\_30\\_03\\_11.pdf](http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/RELATORIO_RESUMO_SGH_30_03_11.pdf). 2011b. Acesso em: 06/05/2011.

ARAÚJO, J. L. R. H., “**Modelos de Energia para Planejamento**”, Tese preparada para o Concurso de Professor Titular, Área Interdisciplinar de Energia, Programa de Engenharia Nuclear e Planejamento Energético, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 1988.

BAJAY, S. V., **“Formulação de políticas públicas, planejamento e regulação de mercados de energia: as visões das administrações FHC e Lula e os desafios pendentes”**. 2004 [Online].

Disponível em: <http://www.comciencia.br2004/reportagens/2004/12/07.shtml> 2004a. Acesso em 20/05/2011.

BAJAY, S. V., **“Modelos de planejamento da expansão de sistemas energéticos”**. XCEB 26 - 28 out 2004. Rio de Janeiro. [Online]. Disponível em: <http://jaspar.sites.uol.com.br/xcbe.pdf> 2004b

BAJAY, S. V. **“Uma revisão crítica do atual planejamento da expansão do setor elétrico brasileiro”**. In Revista Brasileira de Energia Vol. 9 | Nº 1 – 2002.

BAJAY, S. V.; WALTER A. C. S., **“Relatório Técnico da Fase 9: Levantamento de experiências no exterior sobre planejamento indicativo e sua relação com a regulação, no setor elétrico, Projeto de Pesquisa sobre "Setor elétrico: ferramentas e metas do planejamento indicativo e instrumentos regulatórios associados" (Meta 2), Convênio ANEEL/FUNCAMP sobre "Regulação de Mercados de Energia Elétrica”**”, Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético NIPE, UNICAMP, 1999, 132 pags.

BAJAY, S. V. **“Planejamento energético regional: A experiência paulista à luz de práticas que a inspiraram, no exterior”**. In: La Rovere, E. L. & Robert, M. (eds.), Planejamento Energético: Elementos para um Novo Enfoque, Projeto FINEP/PNUD/UNESCO BRA 82/004, Escritório Regional de Ciência e Tecnologia da UNESCO para a América Latina e Caribe, Montevideo, Uruguai, p. 271322, 1989b.

BAJAY, S. V.; HOUCARDE J. C., **“As experiências americana, francesa e brasileira no campo do planejamento energético regional”**. In: Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, 1. Campinas, 1989a. Anais. v.4, UNICAMP, Campinas, p.181-200.

BAJAY, S. V., **“Reestruturação do MME e Criação de um Órgão de Apoio, Relatório Técnico, Departamento Nacional de Política Energética, Secretaria de Energia”**. Ministério de Minas e Energia, Brasília, dezembro de 2001b.

BAJAY, S. V., **“Long term electricity demand forecasting models: a review of methodologies”**, *Electr. Power Syst. Res.*, 6 (4): 243-57, 1983.

BAJAY, S. V., **“Proposta de modelagem do plano energético integrado de longo prazo e das projeções de 2003 da matriz energética brasileira”**, Relatório, Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), Projeto BRA/01/039 – Apoio à Reestruturação do Setor Energético, Contrato no 2003/000971, Brasília, 2003a, 58 p.

BAJAY S. et al. **“Planejamento Integrado de Recursos: Conceito, origem, difusão e vantagens em comparação com o planejamento tradicional da expansão do setor elétrico”**. In: Congresso Brasileiro de Energia, 7. Rio de Janeiro, RJ, 1996. Anais, v. 3. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, p. 1714-24.

BAJAY, S. V., **“Desafios metodológicos e organizacionais no planejamento da expansão do setor elétrico brasileiro e na elaboração das projeções da matriz energética brasileira”**. In: 5th CLAGTEE, USP. São Paulo-SP. 2003b.

BARBOSA, C. F. O. et al. **“Situação da Geração Elétrica através de Sistemas Híbridos no Estado do Pará e Perspectivas frente à Universalização da Energia Elétrica”**. AGRENER GD 2004 - 5º Encontro de Energia no Meio Rural e Geração Distribuída, Unicamp - Campinas, out. 2004.

BARBOSA, C. F. O.; PINHO, J. T.; VALE, S. B. **“Solar/Wind/Diesel Hybrid Power Systems for the Electrification of Isolated Communities in the Brazilian Amazon Region - Present State and Future Developments”**. VI CLAGTEE - Congresso Latinoamericano de Generación y Transporte de la Energía Eléctrica, Mar Del Plata, Argentina, nov. 2005.

BARRETO F<sup>o</sup>, A. A.; BAZANINI, G. **Avaliação de Impactos, Viabilidade Técnico-Econômica e Compatibilidade Ambiental de Pequenas Centrais Hidrelétricas em Regiões de Mata Atlântica: Estudo de Caso - Usina Hidrelétrica de Cubatão, Avaliação e Perspectivas**. In: I Seminário Integrado de Ensino, Pesquisa e Extensão, 2003, Criciúma, SC. Caderno de Resumos. I Seminário Integrado de Ensino, Pesquisa e Extensão. 2003. p. 303-304.

BARRETO F<sup>o</sup>, A. A.; SOUZA, T. M. **“Planejamento Energético Dinâmico no Brasil: Expansão versus Diversificação da Matriz Energética”**. In 9th Latin-American Congress: Electricity Generation and Transmission. Mar del Plata: CLAGTEE. 2011a.

BARRETO F, A. A.; GYORI, D. F. S.; BALESTIERI, J. A. P.; ASTORGA, O. M. **“Análise de Implantação de PCHs em Municípios Isolados do Brasil”**. In 9th Latin-American Congress: Electricity Generation and Transmission. Mar del Plata: CLAGTEE. 2011b.

BARRETO F<sup>o</sup>, A. A.; SOUZA, T. M., **Planejamento para o Suprimento Energético Sustentável: Implantação de Novas Tecnologias, Eficiência e Compatibilidade Ambiental - Estratégias, Eficiência e Impactos Ambientais**, Anais do 37<sup>o</sup> COBENGE, Universidade de Pernambuco, Recife 2009a.

BARRETO F<sup>o</sup>, A. A.; T. M. SOUZA, **“Diversificação de Fontes – Otimização do Consumo”**. In: 8th Latin-American Congress on Electricity and Transmission – VIII CLAGTEE. São Paulo. 2009b.

BLANCO, C. J. C., SECRETAN, Y., MESQUITA, A. L. A., 2008. **Decision support system for micro-hydro power plants in the Amazon region under a sustainable development perspective**. Energy for Sustainable Development, Volume XII No. 3, 25–33.

BÖHRINGER, C. **“The synthesis of bottom-up and top-down in energy policy modeling”**, in: Energy Economics, 20: 233-248, 1988

BONANOME, F. **PCHs engrossam os números dos atingidos por barragens**, Fonte: Amazonia.org.br, publicado em: 14/03/2009. [Online]. Disponível em: <http://www.amazonia.org.br/noticias/noticia.cfm?id=303618> Acesso em 27/05/2010.

CÂMARA DE VEREADORES DE JOINVILLE, **“Usina Hidrelétrica do Cubatão – Reunião Especial: Debate – Prós e Contras da Implantação da PCH Cubatão em Joinville”** 10/05/1999. Biblioteca da Câmara dos Vereadores de Joinville, Joinville, 1999

CAMARGO, A. S. G. **Análise do Potencial das Usinas Eólicas de Camelinho e Palmas e Avaliação do Potencial Eólico de Localidades do Paraná**. Dissertação de Mestrado CEFET Paraná, Curitiba, 2005.

CAPOZOLI, R., **Pequenas Hidrelétricas Crescem em Importância, Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, Clipping Seleção de Notícias**, publicado em: 28/04/2011. Disponível em: <https://conteudoclippingmp.planejamento.gov.br/cadastros/noticias/2011/4/28/pequenas-hidreletricas-crescem-em-importancia> Acesso em 30/05/2011.

CAPROS, P. et al. **“The energy model MIDAS”**. In: Lesourd, J. B., Percebois, J. & Valette, F. (Eds.), Models for Energy Policy, Routledge, London, 1996, p. 41-64.

CERPCH - CENTRO NACIONAL DE REFERÊNCIA EM PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS **Leilão A-3: PCH tem preço de R\$ 149 por MWh, Canal Energia**, publicado em: 28/08/2010. Disponível em: <http://www.cerpch.unifei.edu.br/not01.php?id=4557>. Acesso 15/03/2011.

CIMA, F. M. **“Utilização de Indicadores Energéticos no Planejamento Energético Integrado”**. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro: UFRJ – COPPE. 2006

CORREIA, T. B.; BAJAY S. V.; CORREIA P. B. **“Teoria dos leilões e planejamento do setor elétrico brasileiro”**. In: Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, 4. Itajubá, MG, 2004. Anais. SBPE e UNIFEI, Itajubá, MG, 12 p. (anais distribuídos na forma de CD-ROM, sem numeração das páginas).

COSTA, R. C. e PIEROBON, E. **Leilão de Energia Nova: Análise da Sistemática e dos Resultados**, Relatório Técnico: Setor Energético, BNDES, Brasília 2008.

CRESESB – Centro de Referência para a Energia Solar e Eólica Sergio de Salvo Brito. **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**. Brasília: MME. 2001.

DALENCE, G. W. H. **“Modelagem Probabilística de Fontes Eólicas de Energia Integradas em Sistemas de Potência Convencional”**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica – Sistemas de Potência) - Laboratório de Sistemas de Potência, Universidade Federal de Santa Catarina UFSC. Florianópolis, 1990.

DALMAZ, A. **“Estudo do Potencial Eólico e Previsão de Ventos para Geração de Eletricidade em Santa Catarina”**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica – Energias Alternativas) LEPTEN - Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC. Florianópolis, 2007.

DIAS, F. S. **“Perspectiva das Pequenas Centrais Hidroelétricas – PCH Associação Brasileira dos Pequenos e Médios Produtores de Energia Elétrica (APMPE)”**. In: Anais do 1º Seminário do Centro-Oeste de Energias Renováveis, Goiânia, 2007. Disponível em: <http://www.seplan.gov.gov.br/energias/livro/cap11>.

DIAS, R. A. “**Desenvolvimento de um Modelo Educacional para a Conservação de Energia**”. Tese. (Doutorado em Engenharia Mecânica – Planejamento Energético).

FEG - Universidade Estadual Paulista. UNESP. Guaratinguetá, 2003.

EGRÉ, D., Milewski, J. C., 2002. **The diversity of hydropower projects**. Energy Policy 30, 1225–1230.

ELETROBRÁS. **Sistema de Informações do Potencial Hidrelétrico Brasileiro (SIPOT) - Potencial Hidrelétrico Brasileiro por Bacia Hidrográfica**. 2010 [Online]. Disponível em: <http://www.eletronbras.com/elb/data/Pages/LUMIS21D128D3PTBRIE.htm> Acesso em 20/02/2011.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Estudos para a Licitação da Expansão da Transmissão**. Nº EPE-DEE-RE-005/2011-r0. Análise técnico-econômica das Alternativas Relatório R1 Estudo para Dimensionamento das ICG às referentes Centrais Geradoras Eólicas do LFA e LER 2010, nos Estados: Ceará, Rio Grande do Norte e Bahia. Ministério das Minas e Energia-EPE. Rio de Janeiro, 2011.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Metodologia de Cálculo da Garantia Física das Usinas**. Comunicado Técnico Nº EPE-DEE-RE-099/2008 – r0, Brasília, 2008.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Aspectos Fundamentais do Planejamento Energético**. Brasília: EPE-ADENE. 2005.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA **Índice de Custo Benefício de Geração Termelétrica - Metodologia de Cálculo**, Comunicado Técnico No: EPE-DEE-RE-023/2005-R2, Brasília, 2006a.

EPE – EMPRESA DE PESQUISAS ENERGÉTICAS – MME. **Estudos do Plano Decenal de Expansão 2006-2015**. 2006 [Online]. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/PDEE/Forms/EPEEstudo.aspx>. 2006b. Acesso em 15/10/2010.



EPE - **Balço Energético Nacional 2008**: Ano base 2007: Resultados Preliminares  
Rio de Janeiro: EPE, 2008a.

EPE - Empresa de Pesquisas Energéticas. **Série: Recursos energéticos - Nota técnica DEN 03/08. Considerações sobre repotenciação e modernização de usinas hidrelétricas**. Rio de Janeiro: MME - Ministério de Minas e Energia. 2008b.

EPE - Empresa de Pesquisas Energéticas. **“Primeiro leilão de energia eólica do país tem 441 projetos inscritos”** Informe à Imprensa - Leilão de Energia de Reserva – Eólica Ministério das Minas e Energia Brasília. 2009.

FERNANDES, K. **“Denúncias atribuem danos ambientais a parques eólicos no Ceará”**. Especial-UOL Notícias, Ed. do dia 26/10/2009. Fortaleza – Ceará. [Online]. Disponível em: <http://noticias.uol.com.br/cotidiano/2009/10/26/ult5772u5785.jhtm>  
Acesso em 09/03/2012.

FILHO, G. L. T, LEMOS, H., 2007. **Energização de comunidade isolada na Amazônia projeto microcentral Canaã**. Disponível em: <http://www.cerpch.unifei.edu.br/Adm/artigos/ffe5b73694cd202577b891e3b975cad0.pdf>.

FILHO, G. L. T. et al. 2008. **Pequena Central Hidrelétrica Luiz Dias: uma escola sobre energia e meio ambiente**. In VI Simpósio Brasileiro sobre Pequenas e Médias Centrais Hidrelétricas, Belo Horizonte, Minas Gerais.

FORTUNATO, L. A. M. et al. **Introdução ao Planejamento da Expansão e Operação de Sistemas de Produção de Energia Elétrica**. Rio de Janeiro: EDUFF, 1990. 232 p.

FRANCO, E. M. C. **“Previsão espacial de demanda em sistemas de distribuição com uma base reduzida de dados”**. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica – Automação) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - Universidade Estadual Paulista. UNESP, Ilha Solteira. 2008.

FREI, C. W.; HALDI, P. A.; SARLOS, G. (2003) **“Dynamic formulation of a top-down and bottom up merging energy policy model”**. In: Energy Policy 31:1017–1031

GALINDO, J. **Uma Abordagem sobre a Implantação de Sistemas Energéticos Solares e Eólicos em Pernambuco**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) Instituto de Geografia – PRODEMA. Universidade Federal de Alagoas-UFAL. Maceió, 2007.

GOLDEMBERG, J. **Energia, meio ambiente e desenvolvimento**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1998, 235p.

GRIFFIN, J. M., **“Methodological advances in energy modeling: 1970-90”**. In: Lesourd, J. B., Percebois, J. & Valette, F. (Eds.), *Models for Energy Policy*, Routledge, London, 1990, p. 3-13.

GUIMARÃES, L. T. **“Proposição de um Sistema de Indicadores de Desenvolvimento Sustentável para Bacias Hidrográficas”**. Tese (Doutorado em Planejamento Energético – Desenvolvimento Sustentável) – COPPE-UFRJ – Universidade Federal do rio de Janeiro. Rio de Janeiro. UFRJ, 2008.

GYORI, D. F. S., **“Análise de viabilidade técnica-econômica de repotenciação de PCHs com inserção de benefícios ambientais: estudo de caso.”** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica – Transmissão e Conversão de Energia) FEG - Universidade Estadual Paulista. UNESP. Guaratinguetá, 2007.

HAGE, F. S. “**A estrutura tarifária de uso das redes de distribuição de energia elétrica no Brasil: análise crítica do modelo vigente e nova proposta metodológica.**” Tese (Doutorado em Engenharia – Sistemas de Potência) Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo - USP. São Paulo, 2011.

HOLLAUER, G. “**Metodologia do planejamento indicativo**”, Secretaria Nacional de Energia / MME, Brasília, DF, março de 2001, 14 pags.

IEA – International Energy Agency. **Energy Technology and Perspectives 2006 – Scenarios & Strategies to 2050**. Paris; 2006. Available at <http://www.iea.org>.

JORNAL A NOTÍCIA. “**Usina do Cubatão: Novo Projeto é discutido em Joinville**”. [online]. Ed. nº. 980, de 16 de dezembro de 2010. Disponível em: <http://www.clicrbs.com.br/anoticia/jsp/default2.jsp?uf=2&local=18&source=a3143807.xml&template=4187.dwt&editon=16097&section=88>. Acesso em 04/02/2010.

JORNAL FOLHA DE SÃO PAULO. “**Justiça aponta impacto ambiental no Pantanal**”, São Paulo, 08 de junho de 2011. [Online]. Disponível em: <http://www1.folha.uol.com.br/fsp/mercado/me0806201113.htm> Acesso em 12/06/2011.

KAZAY, H. F. “**O Planejamento da Expansão da Geração do Setor Elétrico Brasileiro Utilizando os Algoritmos Genéticos**”, Tese de Doutorado. Rio de Janeiro. COPPE/UFRJ, 2001.

KOEHLER, M., “**Impactos no sistema de proteção da rede de distribuição com a ligação de pequenas centrais hidrelétricas**”. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Potência – proteção de Sistemas Elétricos) Escola Politécnica, Universidade de São Paulo - USP. São Paulo, 2006.

KUMPULAINEN, L. et al. *Os sistemas de Fornecimento de Energia Elétrica do Futuro*. Anais do XIX Cired, Viena, EM nº 414 set/2008 pp. 83-89. São Paulo.

LAGE, J. *“Lobão afirma que país terá mais 50 usinas nucleares”*. São Paulo: 13 set de 2008. Jornal Folha de São Paulo. São Paulo. [Online]. Disponível em: <http://www1.folha.uol.com.br/fsp/dinheiro/fi1309200812.htm> (Acesso em 18/05/2011).

LEÃO, L. L., *“Considerações sobre impactos sócio-ambientais de PCHs – modelagem e análise.”* Dissertação de Mestrado, Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

LEGEY, L. F. L. 1997. *“Electricity Expansion Planning: A Fuzzy Approach to the Minimization of the Maximum Regret Criterion”*. In: Proceedings of the 5th EUFIT - European Congress on Intelligent Techniques and Soft Computing, pp. 1625-1629, Aachen, Germany, September 8-11.1997.

LEITE, R. C. C. *“O segundo ocaso da energia nuclear”*, Jornal Folha de São Paulo, Opinião - Tendências e Debates, São Paulo, 03 de outubro de 2008.

LEONORA, A. *“Concorrência para concessão da exploração de usina em Joinville”*. Jornal Gazeta Mercantil, edição de 05 de agosto de 1996. [Online]. Disponível em: <http://infoener.iee.usp.br/scripts/infoener/hemeroteca/EmDiaComEnergia.asp?decrio=5%2F8%2F96&buPesquisar=Pesquisar>. Acesso em 27/1/2009.

LOPES, D. G. *Análise Comparativa entre dois Sistemas de Geração de Energia Elétrica para a Comunidade Isolada no Interior do Amazonas: Células Combustível com Reformador para Gás Natural X Gerador Diesel*. In AGRENER GD 2004 5º Encontro de Energia no Meio Rural e Geração Distribuída, 2004 Campinas-SP.

MATHIESEN, L. *“Computation of economic equilibria by a sequence of linear complementarity problems”*, in: Mathematical Programming, 23: 144-162, 1985.

MEIER, P., **Energy Systems Analysis for Developing Countries**, Springer-Verlag, Berlin, 1984.

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA – MME – **Resenha Energética Brasileira, Exercício 2010 (Preliminar)**. Maio de 2011. [Online]. Disponível em: [http://www.mme.gov.br/mme/menu/todas\\_publicacoes.html](http://www.mme.gov.br/mme/menu/todas_publicacoes.html) Acesso em 25/09/2011.

MME – EPE. **Plano Decenal de Energia 2020**. Ministério das Minas e Energia e Empresa de Pesquisa Energética EPE, Brasília Janeiro, 2011.

MME - **Plano Decenal de Expansão de Energia 2008/2017**. Brasília: 2008. MME. [Online] Disponível em: <https://www.mme.gov.br/site/news/detail.do?newsId=17717>, 2008. Acesso em 17/06/2009.

MME-LUZ PARA TODOS. **Programa Luz para Todos**, MME. Brasília: 2009. [Online]. Disponível em: <http://luzparatodos.mme.gov.br/luzparatodos/asp/>. (Acessado em 17/06/2009).

MME – MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. **Manual de Inventário Hidroelétrico de Bacias Hidrográficas**. Ministério das Minas e Energia e Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL), Rio de Janeiro, 2007

NETO, A. A. S. M.; MORET, A. S. **Contribuição técnica, econômica e ambiental das PCHs no sistema elétrico isolado de Rondônia**. Espaço Energia 09, ISSN: 1807-8575. 2008.

PAZ, L. R. L. **Hidrelétricas e Terras Indígenas na Amazônia: Desenvolvimento Sustentável?** Tese de doutorado - COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro 2006.

OUD, E., 2002. **The evolving context for hydropower development**. Energy Policy 30, 1215–1223.

PEREIRA Jr, A. O. et al. 2008. Energy in Brazil: **Toward sustainable development?** Energy Policy 36, 73–83.

PEREIRA, M. E. “**Compartilhando a Gestão dos Recursos Hídricos: Joinville e o Rio Cubatão**”. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental – Recursos Hídricos) PROCAM - Universidade de São Paulo, USP. São Paulo, 2005.

PEREIRA, R. “**Risco de apagão assombra o País**”, Jornal O Estado de São Paulo, edição de 28/08/2006. [Online]. Disponível em: <http://www.abraceel.com.br/noticias/2702/risco-de-apagao-assombra-o-pais-jornal-%E2%80%9Cco-estado-de-sao-paulo%E2%80%9D-edicao-de-28.08-reporter-renee-pereira>. Acesso em 27/11/2009.

PIRES, S. H. M. “**Planejamento ambiental da expansão da oferta de energia elétrica: subsídios para a discussão de um modelo de desenvolvimento sustentável para a Amazônia**”. In: Modelos e Cenários para a Amazônia: o papel da ciência, Parcerias Estratégicas, Nº12, setembro, 2001.

PROINFA - **Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica**. MME. Brasília: 2009. [Online]. Disponível em: [http://www.mme.gov.br/programs\\_display.do?prg=5](http://www.mme.gov.br/programs_display.do?prg=5); (Acesso em 17/06/2009).

ROSA, L. P., 1996, “**A aplicação de conceitos, paradigmas e métodos da física à economia: do mecanicismo ao indeterminismo e à imprevisibilidade do caos determinístico**” In: Silveira, A. M., Moreira, I. C., Martins, R. C., Fuks, S., Caos, Acaso e Determinismo, 1 ed., cap. 5, Rio de Janeiro, RJ, editora UFRJ.

RUIZ, B. J., RODRÍGUEZ, V., BERMANN, C., 2007. **Analysis and perspectives of the government programs to promote the renewable electricity generation in Brazil**. Energy Policy 35, 2989–2994.

SAAVEDRA, J. “**Ameaça ao salto provoca polêmica. Ambientalistas não aceitam a construção de hidrelétrica**”, Jornal A Notícia, edição do dia 29/12/1998. [Online]. Disponível em <http://www1.an.com.br/1998/dez/29/0ger.htm>. (Acessado em 28/11/2009)

SALES, A. L. “**Perspectivas de evolução, a médio e longo prazos, do parque gerador de energia elétrica no Brasil**”, Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica – Planejamento de Sistemas Energéticos) Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Campinas, 2007.

SANTOS Jr., M. F., 2008. **As opções de comercialização da energia proveniente de PCHs pertencentes a empresas estatais**. VI Simpósio Brasileiro sobre Pequenas e Médias Centrais Hidrelétricas, Belo Horizonte, Minas Gerais.

SCHMIDT, C. A. J.; LIMA, M. A. M. “**A demanda por energia elétrica no Brasil**”. Rev. Bras. Econ., Rio de Janeiro, v. 58, n. 1, Mar. 2004. [Online]. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-71402004000100004&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-71402004000100004&lng=en&nrm=iso).doi:10.1590/S0034-71402004000100004.

SÓ NOTÍCIAS. **Assembléia instala CPI das PCHs e elege presidente e relator, Política**. Fonte: Só Notícias com assessoria, publicado em: 28/03/2011. [Online]. Disponível em: <http://www.sonoticias.com.br/noticias/10/123625/assembleia-instala-cpi-das-pchs-e-elege-presidente-e-relator>.

TIAGO F, G. L. et al. **Um Panorama das Pequenas Centrais no Brasil**. 2006. Artigo Técnico (CERPCH). [Online] Disponível em: <http://www.cerpch.unifei.edu.br/Adm/artigos/cafb336260fde61ef735194edff77b60.pdf>

TOLMASQUIM, M. T. (org.) **Fontes Renováveis no Brasil**, Coppe-UFRJ/Cenergia/Interciência. Rio de Janeiro, 2003.

TOLMASQUIM, M. T., **Novo Modelo do Setor Elétrico**, Brasília: Synergia/EPE 2011. 320p.

TONIN, D. **Rios da região sul são ‘povoados’ pelas PCHs**, Jornal: Diário de Cuiabá, Ed. 13009, publicado em: 15/05/2011. Disponível em: <http://www.diariodecuiaba.com.br/detalhe.php?cod=392765>.

UDAETA, M. E. M. “**Planejamento Integrado de Recursos – PIR – Para o Setor Elétrico; (Pensando o desenvolvimento sustentável)**”. Tese (Doutorado em Engenharia – Sistemas de Potência) Escola Politécnica - Universidade do Estado de São Paulo - USP. São Paulo, 2007

VENTURA Fº, A. **O Plano Nacional de Energia Elétrica 1993/2015**, Revista Brasileira de Energia, 5 (2): 7-35, 1996.

VENTURA Fº, A. **O empreendimento de Belo Monte e o planejamento da expansão do Sistema Elétrico Brasileiro**. Workshop. Brasília - 17/05/2011. MME - Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético. Brasília, 2011.

WEC 2007 - **The energy industry unveils its blueprint for tackling climate change** - WEC Statement 2007, London 2007.

WORLD ENERGY OUTLOOK 2008 – **Perspectivas de la energia en el mundo-2008**, Key World Energy Statistics, AIE/OCDE, Paris 2008.

ZADEH, L. A., 1973. “**Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes**”. In: IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Vol. SMC-3, no. 1, Jan 1973.



ZHU, J.; CHOW, M-Y. “**A Review of Emerging Techniques on Generation Expansion Planning**”. In: IEEE Transactions on Power Systems, vol. 12, no. 4, pp. 1722-1728, 1997.

## APÊNDICES

## APÊNDICE A

### PRODUÇÃO DE ENERGIA EM UMA USINA HIDRELÉTRICA

A potência instantânea natural disponível em uma usina hidrelétrica é dada pela seguinte expressão (EPE, 2008b):

$$P = K \cdot \rho \cdot h \cdot Q \quad (1)$$

Onde

$P$  = potência natural disponível ou capacidade instantânea de produção de energia elétrica (em MW);

$K$  = constante que depende da aceleração da gravidade e da densidade específica da água;

$\rho$  = rendimento do conjunto turbina-gerador (valor médio sobre todas as unidades);

$h$  = altura de queda líquida, correspondente à diferença entre os níveis de montante e de jusante, menos as perdas médias por atrito na tubulação (em m);

$Q$  = vazão total turbinada pelo conjunto de unidades geradoras (em m<sup>3</sup>/s).

A potência instalada da usina é determinada com base nos critérios de dimensionamento de usinas hidrelétricas (MME, 2007), tendo em conta que os valores de  $h$  e  $Q$  podem variar significativamente com o tempo e com a operação da usina. Assim, de forma simplificada, o cálculo da potência instalada é dado pela seguinte expressão:

$$PI = K \cdot r \cdot h_r \cdot Q_r \quad (2)$$

Onde

PI = potência instalada na usina (em MW);

r = rendimento do conjunto turbina-gerador – específico de cada planta;

$h_r$  = altura de queda líquida usada como referência para o projeto da turbina, ou seja, para a qual o rendimento da turbina será máximo (em m);

$Q_r$  = vazão total turbinada de referência, ou seja, vazão nominal utilizada como referência para se determinar a potência nominal dos geradores (em m<sup>3</sup>/s).

Naturalmente, a capacidade de produção de energia elétrica de uma usina estará sempre limitada pela potência efetiva total dos geradores. Além disso, em um instante qualquer, a potência total disponível para geração pode estar reduzida devido às indisponibilidades forçadas e programadas de unidades geradoras. Assim, em média, tem-se:

$$P_d = f_d \cdot PI \quad (3)$$

Onde

$P_d$  = potência média disponível ou capacidade média de geração da usina (em MW);

$f_d$  = fator de disponibilidade média das unidades geradoras.

Para se determinar a produção de energia de uma usina ao longo de um ano, é necessário conhecer a evolução dos parâmetros h e Q ao longo do ano. Entretanto, utilizando-se valores médios para os parâmetros r, h e Q, ou seja, admitindo-se uma

potência efetiva média constante ao longo do ano, pode-se estimar a quantidade total de energia produzida pela usina hidrelétrica, através da seguinte expressão:

$$E = 8760 \cdot f_p \cdot f_d \cdot PI \quad (4)$$

Onde

$E$  = energia total gerada na usina ao longo de um ano, ou 8.760 horas (em MWh/ano);

$f_p$  = fator de permanência, que reflete a disponibilidade média anual de vazão e queda líquida na usina, ou seja, do produto  $h \cdot Q$ , para a produção de energia elétrica. A energia firme de uma usina corresponde à sua geração média ao longo do período crítico do sistema de referência. Desta forma, utilizando-se a expressão (4), pode-se definir a energia firme ( $E^*$ ) de uma usina da seguinte forma:

$$E^* = 8.760 \cdot f_p^* \cdot f_d \cdot PI \quad (5)$$

Onde

$f_p^*$  = fator de permanência crítico, ou seja, computado ao longo do período crítico do sistema de referência.

A expressão (5) pode ser usada também para se calcular o fator de capacidade (FC) da usina hidrelétrica, definido como:

$$FC = E^* / (8.760 \cdot PI) = f_p^* \cdot f_d \quad (6)$$

Substituindo a expressão (2) em (5), tem-se então,

$$E^* = 8760 \cdot f_p^* \cdot f_d \cdot K \cdot r \cdot h_r \cdot Q_r \quad (7)$$

## APÊNDICE B

### ENERGIA DISPONIBILIZADA POR UM AEROGERADOR

A energia produzida por um aerogerador pelo vento incidente na mesma direção do eixo de suas pás – ou da componente do vento nesta direção - deve-se a um momento de forças conjugadas atuando sobre a área de contato perpendicular de suas pás. A quantidade de energia transferida ao rotor pelo vento depende da densidade do ar, da área de varrimento do rotor e da velocidade do vento.

**Alguns fatores participam na determinação da energia útil disponibilizada pelo aerogerador.**

- **Densidade do ar:** Quanto maior a densidade do ar maior quantidade de energia recebida pela turbina. A energia cinética de um corpo em movimento é proporcional a sua massa - energia cinética do vento depende da densidade do ar (da sua massa por unidade de volume). À pressão atmosférica normal a densidade do ar é de  $1,225 \text{ kg/m}^3$ . Nas grandes altitudes a pressão do ar diminui e o ar é menos denso.

- **Área de varrimento do rotor:** A área de varrimento (área da circunferência definida pelo movimento circular das pás do aerogerador) determina a energia que o vento é capaz de transferir à turbina. Dado que a área do rotor aumenta com o quadrado do raio, uma turbina duas vezes maior recebe quatro vezes mais energia.

- **Fenômenos aerodinâmicos do vento:** O aerogerador modifica a trajetória do vento quando este chega ao plano das pás, muda a sua velocidade e transfere uma determinada quantidade de movimento (que será convertida em energia útil na saída do aerogerador). Esta mudança nas propriedades do vento antes deste transferir energia ao rotor determina que nunca será possível capturar toda a energia do vento – conforme a Lei de Betz. O rotor da turbina eólica “trava” o vento quando captura a sua

energia cinética e a converte em energia rotacional. Isto implica que o vento terá velocidade menor ao ultrapassar o plano das pás. O ar desviado radialmente produz um tubo de escoamento de área de seção maior que o da entrada no plano definido pelas pás. Este efeito é definido pela dispersão do chamado tubo de corrente, ao redor do rotor. O tubo de corrente mostra como o vento em movimento lento para a esquerda ocupará um grande volume na parte posterior do rotor.

- **Distribuição da pressão no rotor:** A pressão do ar aumenta gradualmente à medida que o vento se aproxima do rotor, uma vez que o rotor atua como barreira ao vento - atrás do rotor a pressão cai imediatamente, estabilizando gradualmente à medida que se afasta. À medida que o vento se afasta do rotor a turbulência do vento provoca que o vento mais lento se misture com o vento mais rápido da área circundante, reduzindo o efeito de “abrigo ao vento”.

#### **Potência útil disponibilizada por um gerador:**

$$P = \frac{1}{2} \rho A_r V^3 C_p \eta$$

Onde,

$P$  = Potência disponibilizada pelo aerogerador.

$\rho$  = densidade do ar em  $\text{kg/m}^3$ .

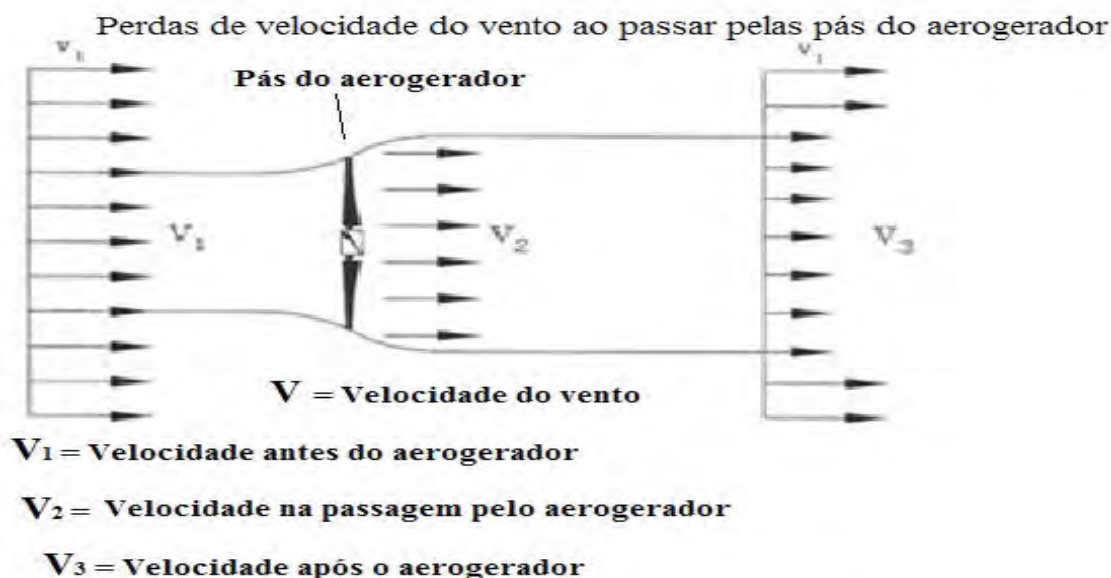
$A_r = \pi \cdot D^2/4$ , sendo  $D$  o diâmetro das pás, é a área do rotor.

$V$  = Velocidade do vento.

$C_p$  = coeficiente aerodinâmico de potência do rotor.

$\eta$  = eficiência do conjunto gerador/transmissão

O valor de  $C_p$  máximo teórico seria de  $16/27 = 0,59$  - na condição em que a velocidade do vento após passar pelas pás seria de  $1/3$  da velocidade ao atingir frontalmente as pás, conforme a figura B.1. Esta relação é conhecida como Lei de Betz<sup>9</sup>.



**Figura B.1: Perdas de velocidade do vento no Aerogerador**

A definição do Fator de Capacidade,  $F_{cap}$ , para os aerogeradores é feita em estudos empíricos e levantamentos realizados em campo – conduzidos criteriosamente para cada projeto de unidades ou conjunto de aerogeradores (parques ou fazendas de aerogeradores). As constatações adotadas na definição do fator de capacidade para aerogeradores são fundamentadas em limites teóricos definidos por considerações do comportamento dos ventos, segundo distribuição de probabilidades, como as de Weibull. A distribuição estatística de Weibull foi desenvolvida na década de 1930 pelo físico sueco Wallodi Weibull. No estudo da energia eólica, a distribuição de Weibull é bastante aceita para representar a distribuição de velocidades do vento e suas características, assim como é uma ferramenta para a análise da potência e geração de energia (DALMAZ, 2007).

<sup>9</sup> Albert Betz, físico alemão que em 1919 concluiu que nenhuma turbina eólica pode converter mais do que  $16/27$  (59,3%) da energia cinética do vento em energia mecânica no rotor, o que é conhecido pelo limite de Betz ou a lei de Betz. Este limite decorre da própria natureza dos fenômenos que ocorrem nas turbinas eólicas. O trabalho, de sua autoria, em que apresenta esta lei foi publicado no livro *Wind Energie*, em 1926.



Para conjuntos de aerogeradores é a distribuição de probabilidades da velocidade média dos ventos que define a potência disponibilizada – o que também é corroborado por fundamentação teórica (DALENCE, 1990). Da mesma forma que para as plantas individuais, os valores que definem a energia efetivamente disponibilizada são determinados, empiricamente, por estudos e levantamentos de campo.

Por conseguinte, o Fator de Capacidade para as plantas de aerogeradores são objeto de estudos, definições e revisões em projetos - sendo definidos conforme a região, localidades e condições geográficas do terreno onde são instaladas. O órgão que disciplina a matéria e define estes fatores, formal e oficialmente, é a ANEEL, através de informes e disposições técnicas realizadas pelo setor de fiscalização e outorga. Os índices de desempenho dotados e verificados “in loco” no Brasil - utilizados para definição formal das plantas eólicas – revelam, para algumas áreas litorâneas da região nordeste, os valores típicos mais altos para o Fator de Capacidade, ficando entre 0,25 e 0,35.

## APÊNDICE C

### PROPRIEDADES DAS CURVAS DE CARGA

O registro periódico dos valores da potência fornecida por uma determinada fonte de energia, ou entregue a uma certa carga, dispostos num gráfico com abscissas no eixo horizontal, correspondendo ao tempo – período padronizado para análise (dia, semana, mês, intervalo sazonal ou anual) e ordenadas no eixo vertical, correspondendo aos valores da grandeza, na unidade adequada, é utilizada com múltiplos propósitos em sistemas energéticos. É designado, genericamente, como Curva de Carga, Curva de Demanda ou Curva de Capacidade.

A forma padronizada é usualmente apresentada em duas dimensões e tem emprego dedicado nas unidades de redes de distribuição de energia – concessionários dos serviços de redes elétricas de baixa e média tensão (valores típicos entre 110 V a 69 kV). É usada também em outros níveis de tensão de rede e, mais recentemente, como registro do consumo em unidades de consumo residenciais. Nos sistemas de geração de energia, como também nos sistemas de transmissão e distribuição, que dispõem de registro de dados – tensão elétrica de rede, potência ativa e reativa, entre outros - como também nas instalações, públicas ou privadas, bem como nos demais sistemas que fazem usos deste recurso (registro de dados), é possível obter as propriedades topológicas das curvas de carga, relacionadas com as aproximações paramétricas das funções da potência disponibilizada no tempo,  $P(t)$ . Os valores extremos, correspondentes aos picos e vales de uma curva de carga, permitem, através do cálculo de grandezas secundárias, ou derivadas do comportamento da curva no tempo, a inferência de propriedades muito importantes, relacionadas com o desempenho destes sistemas.

Fator de Capacidade, ou Fatores de Demanda ou Carga, fornecem a medida da variabilidade do nível de potência – sobretudo quando utilizados para comparação com desempenhos referenciais padronizados (como a curva linear constante, e aquelas que dão a medida das variações no tempo, derivadas de primeira ordem da função correspondente à curva).

As análises das propriedades decorrem das propriedades gráficas ou topológicas tratadas através das ferramentas do cálculo – sendo processadas, continuamente, nos sistemas supervisórios dos controles de cargas ou centro de despacho nos sistemas de geração e distribuição de energia.

As características de simetria, em relação ao ponto médio do intervalo de tempo das medidas de tempo de uma curva de carga, quando usadas para comparar curvas de potência em sistemas de geração de energia, dão uma medida da complementaridade. A complementaridade de duas ou mais fontes de energia dá a medida de como, suprindo conjuntamente uma dada carga, aplainam, ou suavizam a curva resultante, com o que melhoram o desempenho – o que se traduz em menores custos-índice de geração de energia, traduzidos em mais elevados fatores de capacidade ou fatores de carga.

O ponto médio, no intervalo de tempo das medidas, pode ser comparado com a abscissa do centro de carga, ou centróide, para fornecer a medida da simetria de complementaridade – quando existe – entre duas curvas de carga. Na sequência são apresentadas estas propriedades.

Para uma curva de carga onde a potência em função do tempo,  $P = p(t)$ , tem-se, para as coordenadas,  $X_c$  e  $Y_c$ , dos centróides (ou centros de carga) – sendo  $X_m$  e  $P_m$ , respectivamente a ordenada do ponto médio e a potência média :

$$\mathbf{P} = p(t) \tag{1}$$

$$X_c = \frac{1}{2A} \int_a^b [p(t)]^2 dt \tag{2}$$

$$Y_c = \frac{1}{A} \int_a^b t \cdot p(t) dt \tag{3}$$

$$A = \int_a^b p(t) dt \tag{4}$$

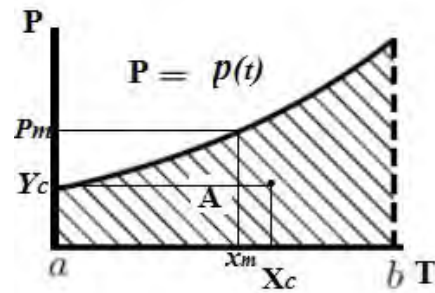


Figura C.1: Centróide de uma Curva de Carga

Para uma curva de carga resultante de duas fontes  $F_1$  e  $F_2$ , teríamos, então:

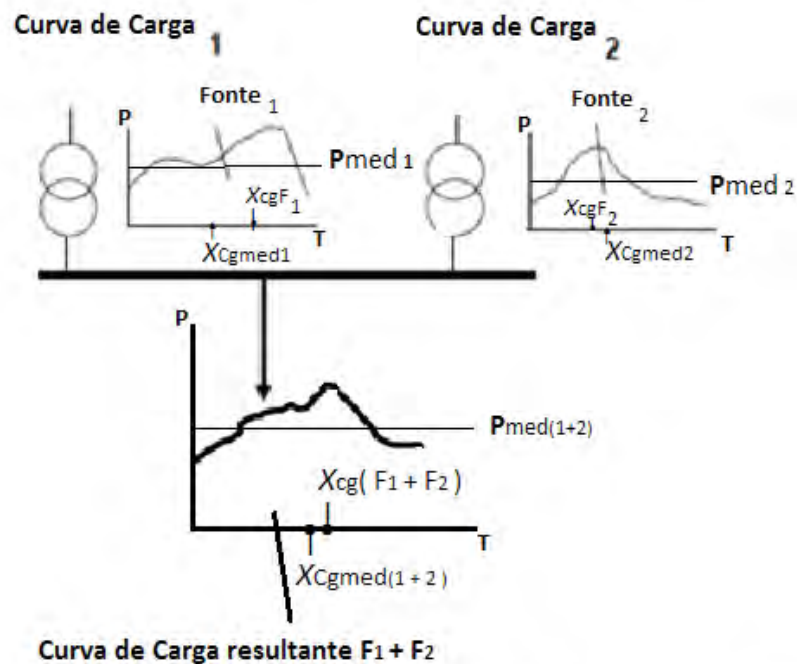


Figura C.2: Centróides de Curvas de Carga Compostas

Onde  $X_{cgF_1}$  e  $X_{cgF_2}$  correspondem, respectivamente, às coordenadas dos centróides das fontes  $F_1$  e  $F_2$ . Por sua vez  $P_{med1}$  e  $P_{med2}$  seriam a potências médias (que suprindo continua e constantemente o mesmo valor) equivaleriam ao mesmo suprimento das fontes  $F_1$  e  $F_2$ . Com o mesmo procedimento para a curva correspondente ao suprimento conjunto das fontes  $F_1$  e  $F_2$ , atuando simultaneamente,

chega-se às coordenadas  $X_{cg(F1 + F2)}$  e  $X_{Cgmed(1 + 2)}$  – assim como o suprimento constante equivalente, dado por  $P_{med(1+2)}$ .

## EXEMPLO ILUSTRATIVO DAS PROPRIEDADES DE UMA CURVA DE CARGA

Os dados da tabela a seguir foram obtidos da simulação de demanda requerida de um gerador tipo Francis.

**Tabela C.1 – Potência fornecida por um gerador hidrelétrico**

Hora	Demanda [kW]	Hora	Demanda [kW]
00:00	147,2	12:00	165,6
01:00	110,4	13:00	156,4
02:00	73,6	14:00	156,4
03:00	92	15:00	174,8
04:00	92	16:00	211,6
05:00	128,8	17:00	257,6
06:00	147,2	18:00	331,2
07:00	156,4	19:00	294,4
08:00	156,4	20:00	257,6
09:00	110,4	21:00	220,8
10:00	128,8	22:00	202,4
11:00	165,6	23:00	165,6



**Figura C.3 – Curva de Carga de um suprimento típico**

### **Curva secundária obtida a partir da curva de carga: Curva de Duração de Demanda**

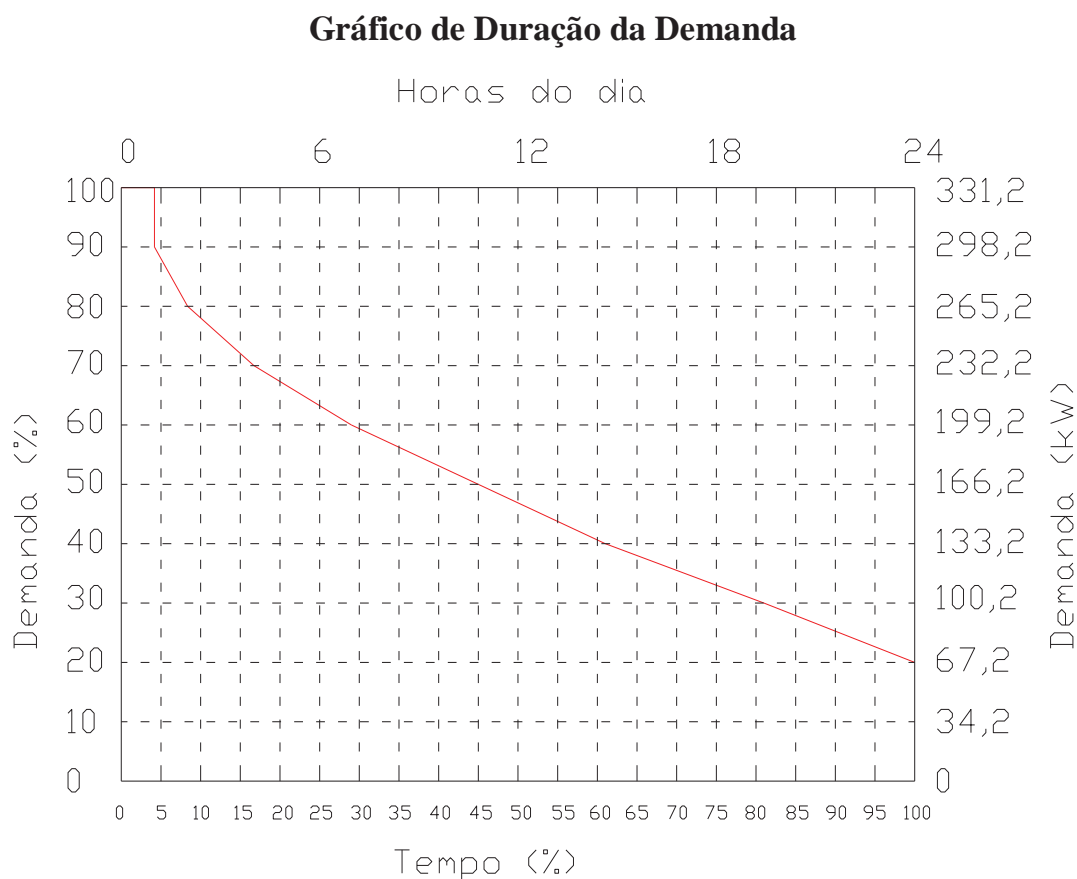
Define-se Curva de Duração de Demanda como o registro das potências supridas, segundo faixas estratificadas, fornecida por uma dada fonte ou sistema de fontes de suprimento energético.

Para a curva de duração de demanda registram-se os valores da potência fornecida em valores percentuais (%) no eixo das ordenadas e o tempo (%) no eixo das abscissas.

Para a determinação da curva de demanda do exemplo considerado, utilizou-se de intervalos de 33 kW, entre as faixas de potência, conforme mostrado na tabela a seguir:

**Tabela C.2 – Frequência de Demanda de Energia**

<b>Faixa Demanda [kW]</b>	<b>Potência Utilizada [%]</b>	<b>Frequência</b>		
		<b>Simples</b>	<b>Acumulada</b>	<b>Tempo [%]</b>
331,2	100	1	1	4,17
298,2 – 331,2	90	0	1	4,17
265,2 – 298,2	80	1	2	8,33
230,2 – 265,2	70	2	4	16,67
197,2 – 232,2	60	3	7	29,17
164,2 – 199,2	50	4	11	45,83
131,2 – 166,2	40	5	16	66,67
98,2 – 133,2	30	4	20	83,33
65,2 – 100,2	20	4	24	100,0



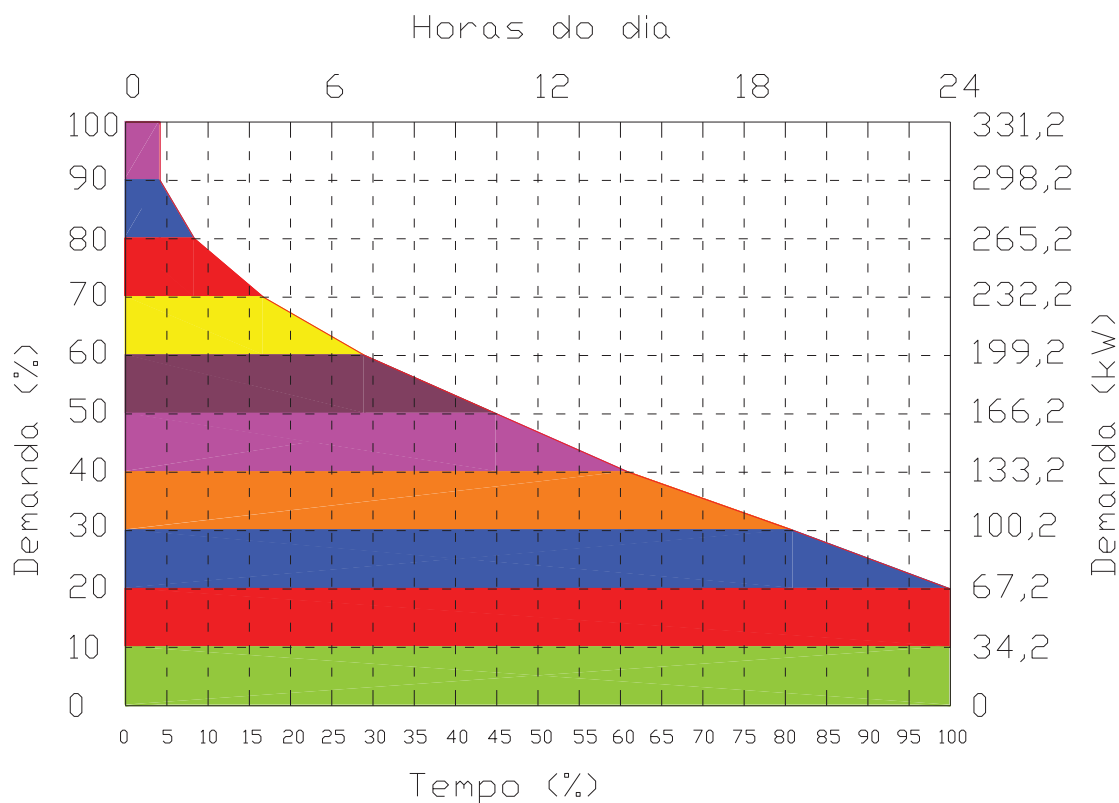
**Figura C.4 – Curva de Duração da Demanda.**

### Curva de Demanda-Energia

Uma outra curva secundária, obtida a partir dos dados da curva de duração de demanda é a Curva de Demanda-Energia, de onde se pode determinar, graficamente, o fator de carga, através de uma reta definida pela tangente à curva de demanda-energia.

A soma das demandas registradas nas 24 horas do dia retorna como resultado a energia total produzida durante o dia, portanto, a energia produzida é a área sob a curva de duração. Apresenta-se agora a mesma curva anterior, mas com faixas coloridas para facilitar o cálculo da faixa de potência:





**Figura C.5 – Cálculo da Energia sob a Curva de Duração.**

Para o intervalo entre 0% e 5% :

$$A = 0,05 \cdot 1 = 0,05$$

Para o intervalo entre 5% e 10% :

$$A = 0,05 \cdot 1 = 0,05$$

Para o intervalo entre 10% e 15% :

$$A = 0,05 \cdot 1 = 0,05$$

Para o intervalo entre 15% e 20% :

$$A = 0,05 \cdot 1 = 0,05$$

Para o intervalo entre 20% e 25% :

$$A = 0,05 \cdot 0,91 + \frac{0,05 \cdot (1 - 0,91)}{2} = 0,04775$$

Para o intervalo entre 25% e 30% :

$$A = 0,05 \cdot 0,81 + \frac{0,05(0,91 - 0,81)}{2} = 0,043$$

Para o intervalo entre 30% e 35% :

$$A = 0,05 \cdot 0,71 + \frac{0,05(0,81 - 0,71)}{2} = 0,038$$

Para o intervalo entre 35% e 40% :

$$A = 0,05 \cdot 0,615 + \frac{0,05 \cdot (0,71 - 0,615)}{2} = 0,0331$$

Para o intervalo entre 40% e 45% :

$$A = 0,05 \cdot 0,53 + \frac{0,05 \cdot (0,615 - 0,53)}{2} = 0,00286$$

Para o intervalo entre 45% e 50% :

$$A = 0,05 \cdot 0,45 + \frac{0,05 \cdot (0,53 - 0,45)}{2} = 0,0245$$

Para o intervalo entre 50% e 55% :

$$A = 0,05 \cdot 0,375 + \frac{0,05 \cdot (0,45 - 0,375)}{2} = 0,0206$$

Para o intervalo entre 55% e 60% :

$$A = 0,05 \cdot 0,29 + \frac{0,05 \cdot (0,375 - 0,29)}{2} = 0,0166$$

Para o intervalo entre 60% e 65% :

$$A = 0,05 \cdot 0,23 + \frac{0,05 \cdot (0,29 - 0,23)}{2} = 0,013$$

Para o intervalo entre 65% e 70% :

$$A = 0,05 \cdot 0,17 + \frac{0,05 \cdot (0,23 - 0,17)}{2} = 0,01$$

Para o intervalo entre 70% e 75% :

$$A = 0,05 \cdot 0,125 + \frac{0,05 \cdot (0,17 - 0,125)}{2} = 0,00735$$

Para o intervalo entre 75% e 80% :

$$A = 0,05 \cdot 0,085 + \frac{0,05 \cdot (0,125 - 0,085)}{2} = 0,00525$$

Para o intervalo entre 80% e 85% :

$$A = 0,05 \cdot 0,065 + \frac{0,05 \cdot (0,085 - 0,065)}{2} = 0,00375$$

Para o intervalo entre 85% e 90% :

$$A = 0,05 \cdot 0,04 + \frac{0,05 \cdot (0,065 - 0,04)}{2} = 0,00262$$

Para o intervalo entre 90% e 95% :

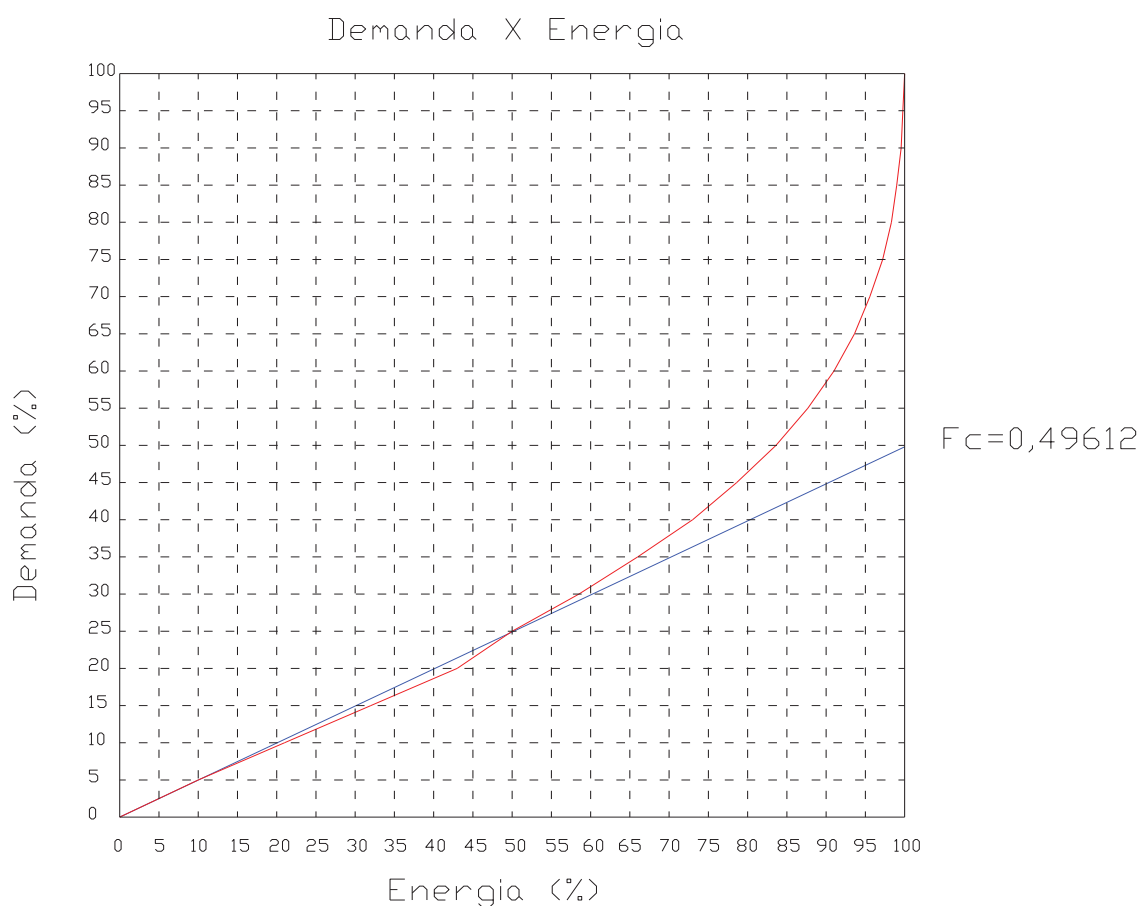
$$A = 0,05 \cdot 0,02 = 0,001$$

Para o intervalo entre 95% e 100% :

$$A = 0,05 \cdot 0,02 = 0,001$$

**Tabela C.3 – Cálculo da energia sob a Curva de Duração.**

Demanda (%)	Demanda [kW]	Faixa de Potência	Totalizada	Relativa (%)
5	16,56	0,05	0,05	10,08
10	33,12	0,05	0,10	20,16
15	49,68	0,05	0,15	30,24
20	66,24	0,05	0,20	40,32
25	82,80	0,04775	0,24775	49,94
30	99,36	0,043	0,29075	58,60
35	115,92	0,038	0,32875	66,26
40	132,48	0,0331	0,36185	72,94
45	149,04	0,0286	0,39045	78,70
50	165,60	0,0245	0,41495	83,64
55	182,16	0,0206	0,43555	87,79
60	198,72	0,0166	0,45215	91,14
65	215,28	0,013	0,46515	93,77
70	231,84	0,01	0,47515	95,78
75	248,40	0,00735	0,4825	97,26
80	264,96	0,00525	0,48775	98,32
85	281,52	0,00375	0,4915	99,07
90	298,08	0,00262	0,49412	99,61
95	314,64	0,001	0,49512	99,80
100	331,20	0,001	0,49612	100,00



**Figura C.6: Curva de Demanda – Energia e Fator de Carga**

Os valores da curva de capacidade são inversamente proporcionais aos custos dos sistemas de energia, tanto do lado da geração como do lado da carga (consumidor). Isto está relacionado com a ociosidade e as flutuações da potência – no sentido que os picos se afastam dos valores médios, planos - correspondentes a uma curva de potência, ou de carga, constante, linear e horizontal - ou de desempenho ótimo. O que está diretamente relacionado com as perdas e a eficiência dos sistemas de geração de energia. Os incrementos tecnológicos e os arranjos de configuração de fontes em redes de suprimento interligados buscam as complementaridades recíprocas de modo a melhorar o desempenho conjunto destes sistemas.

O uso das curvas de cargas é cada vez mais ampliado e de forma dinâmica, para diversas análises e estudos relacionados com custos e desempenhos dos sistemas de energia. Definição de tarifas e procedimentos de redução dos custos de suprimento,

por exemplo, a definição da estrutura tarifária (HAGE, 2011). Da mesma forma, ao processamento dinâmico, *on line*, utilizado nos centro de operação e controle de cargas pelos concessionários dos serviços de distribuição vão sendo incorporados recursos computacionais cada vez mais sofisticados, como os que elaboram estimativas paramétrais dos valores armazenados das curvas de carga e geram as funções correspondentes, de onde são inferidas as propriedades e as características de geração e consumo de energia (FRANCO, 2008).