



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**AVALIAÇÃO DA ENERGIA EÓLICA PARA O DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL DIANTE DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO
NORDESTE DO BRASIL**

(Dissertação de mestrado)

ANDRÉ DELGADO DE SOUZA

Recife, 21 de abril de 2010

ANDRÉ DELGADO DE SOUZA

**AVALIAÇÃO DA ENERGIA EÓLICA PARA O DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL DIANTE DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO
NORDESTE DO BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, sob a orientação da Profa. Dra. Maria do Carmo Martins Sobral e co-orientação do Prof. Dr. João Nildo de Souza Vianna, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, área de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos.

Recife, 21 de abril de 2010

Catálogo na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

S729a

Souza, André Delgado de.

Avaliação da energia eólica para o desenvolvimento sustentável diante das mudanças climáticas no nordeste do Brasil / André Delgado de Souza. - Recife: O Autor, 2010.
x, 150 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientadora: Profa. Dra. Maria do Carmo Martins Sobral.

Co-Orientador: Prof. Dr. João Nildo de Souza Vianna.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2010.

Inclui Referências Bibliográficas.

1. Engenharia Civil. 2. Energia Eólica. 3. Mudanças Climáticas. 4. Desenvolvimento Sustentável. I. Sobral, Maria do Carmo Martins. (Orientadora). II. Vianna, João Nildo de Souza. (Orientador). III. Título.

UFPE

624 CDD (22. ed.)

BCTG/2012-221

AVALIAÇÃO DA ENERGIA EÓLICA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DIANTE DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO NORDESTE DO BRASIL

ANDRÉ DELGADO DE SOUZA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos.

Profa. Maria do Carmo Martins Sobral (Orientadora, Ph.D.)
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Prof. João Nildo de Souza Vianna (Co-orientador, Dr.Ing.)
Universidade de Brasília (UnB)

Prof. Edmilson Santos de Lima (Examinador interno, Ph.D.)
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Prof. Sandro Valença da Silva (Examinador externo, D. Sc.)
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Prof. Nemésio Neves Batista Salvador (Examinador externo, D. Sc.)
Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR)

Recife, PE
Maio de 2010

Desde o começo da colonização, não temos feito outra coisa senão derrubar árvores e queimar matas. Descobrimos tudo, descampamos várzeas e morros. Deixamos a terra desnuda, exposta à intensidade do sol tropical. Malhamos, criminosamente, o machado, não somente nos paus sem nome ou prestígio. Derrubamos os paus-brasil, os louros, os amarelos, as sucupiras, os paus-d'arcos, os angicos, as baraúnas, as aroeiras. Levamos a ira destruidora às mangueiras, aos cajueiros, aos coqueiros

José Nivaldo (1970)

Aos meus pais, Ricardo e Ladjane;
aos meus irmãos Tuca e Bruninho;
e à minha esposa Ju,
por todos os momentos que passamos juntos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus avôs paternos José Nivaldo e Neíse Gondim e à minha avó materna Luiza Delgado, pelo exemplo de vida que cada um, ao seu modo, é;

Aos meus pais, Ricardo e Ladjane, aos quais agradeço todos os dias por serem o que são;

A tio Sérgio, pelo apoio prestado, sempre com muito carinho;

A Artur e Bruno, porque são meus dois irmãos queridos;

A Juliana, minha esposa, pelo amor que sinto por ela;

Aos meus sogros, Seu Nestor e Dona Rosele, pelo constante incentivo e apoio;

À Profa. Maria do Carmo Sobral, pela excelente orientação desde os tempos de iniciação científica, e pela confiança depositada no meu trabalho;

Ao Prof. João Nildo Vianna, pelas indicações e recomendações sempre exatas;

À Secretária da Pós-Graduação, Andréa Negromonte, pela disponibilidade e eficiência.

Aos professores do curso de Graduação e Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, pelos ensinamentos que tanto contribuíram, e ainda contribuem, para minha constante formação profissional.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES e ao Serviço de Intercâmbio Acadêmico - DAAD, pela bolsa de estudo concedida no âmbito do Programa de Intercâmbio Acadêmico Unibras, que ressaltou ainda mais meu interesse pela ciência.

Aos colegas da Agência Nacional de Energia Elétrica e do Tribunal de Contas da União, pelo profissionalismo exemplar.

Resumo da dissertação apresentada à UFPE como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil (M.Sc.).

AVALIAÇÃO DA ENERGIA EÓLICA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DIANTE DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO NORDESTE DO BRASIL

André Delgado de Souza
Abril/2010

Orientadora: Profa. Dra. Maria do Carmo Sobral (UFPE)

Co-orientador: Prof. Dr. João Nildo de Souza Vianna (UnB)

A partir da análise de documentos oficiais, realização de visitas técnicas, entrevistas com especialistas e consultas a relatórios de impactos ambientais, a tecnologia eólica foi avaliada, sob o prisma de cinco dimensões da sustentabilidade, como alternativa para geração de eletricidade considerando as perspectivas de mudanças climáticas no Nordeste do Brasil. O Nordeste é uma das regiões mais vulneráveis às consequências das alterações climáticas no mundo. Estudos oficiais projetam desaceleração no desempenho econômico, com queda na disponibilidade de empregos, redução da qualidade de vida e migração das áreas mais carentes para os grandes centros urbanos. O setor energético é o que mais contribui para o efeito estufa no mundo e as fontes alternativas de geração de eletricidade, entre as quais a eólica, surgem como opção para promoção do desenvolvimento sustentável. Em todos os continentes a exploração da energia eólica é crescente e o Brasil detém pouca experiência, embora tenha um grande potencial inventariado. Das análises efetuadas concluiu-se que a tecnologia eólica é apropriada como fonte complementar de geração de eletricidade e apresenta-se como importante ferramenta para combater os efeitos das alterações climáticas no Nordeste brasileiro. Espera-se contribuir para a formulação de estratégias de desenvolvimento sustentável na expansão do setor elétrico, em específico para as fontes alternativas de energia, com maior aproveitamento dos parques eólicos, que devem ser considerados também como instrumento para mitigar os efeitos das alterações climáticas nessa vulnerável região.

Palavras-chave: energia eólica, mudanças climáticas, desenvolvimento sustentável

Abstract of thesis presented to UFPE as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.).

ASSESSMENT OF THE WIND ENERGY AS A TECHNOLOGY FOR SUSTAINABLE
DEVELOPMENT AT THE PROSPECT OF CLIMATE CHANGES IN THE NORTHEAST
OF BRAZIL

André Delgado de Souza
Abril/2010

Supervisor:: Profa. Dra. Maria do Carmo Sobral (UFPE)
Co-supervisor: Prof. Dr. João Nildo de Souza Vianna (UnB)

From the analysis of official documents, technical visits, interviews with experts and consulting environmental impacts reports, the wind energy was evaluated, through five dimensions of sustainability, as an alternative for electricity generation considering the consequences of climate changes in the Northeast of Brazil. The Northeast is one of the most vulnerable regions of the world to the impacts of climate changes. Official studies project slowdown in economic performance, decline in jobs availability, reduction in quality of life and migration from poor areas to urban centers. The energy sector is the major contributor to greenhouse gas emissions worldwide. Alternative sources of energy, including wind energy, appear as an option for promoting sustainable development. On every continent the use of wind energy is growing and Brazil has little experience but a great potential. It was concluded that the wind energy technology is suitable as an additional source of electricity generation and presents itself as an important tool to combat the effects of climate changes in the Northeast of Brazil. It is expected to contribute for the formulation of strategies for a sustainable development in the power sector, specifically for alternative energy sources. The greater use of wind energy must be considered also as an important tool to mitigate the effects of climate changes in this vulnerable region.

Keywords: wind energy, climate change, sustainable development

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Matriz elétrica brasileira	2
Figura 2	Cinco dimensões da sustentabilidade.....	23
Figura 3	Mudanças na concentração de CO ₂	30
Figura 4	Alterações na temperatura, no nível do mar e na cobertura de neve.....	31
Figura 5	Mudanças na temperatura global e continental.....	32
Figura 6	Cenários de emissão de gases do efeito estufa de 2000 até 2100	33
Figura 7	Variações da temperatura média global para os modelos avaliados.....	34
Figura 8	Projeções de mudanças na precipitação	35
Figura 9	Resumo das projeções para as diferentes regiões do Brasil.....	39
Figura 10	Efeito da mudança climática sobre o PIB do Nordeste.....	41
Figura 11	Relação entre IDH e consumo <i>per capita</i> de energia.....	44
Figura 12	Interfaces entre energia e água, saúde, agricultura e biodiversidade	45
Figura 13	Produção de energia elétrica mundial, por fonte, em 1937 e em 2007	55
Figura 14	Tradicional moinho holandês.....	56
Figura 15	Parque eólico em operação.....	58
Figura 16	Diversas partes de um sistema eólico	61
Figura 17	Curva de potência de uma turbina eólica	63
Figura 18	Capacidade instalada mundial acumulada de eólicas de 1996 a 2009.....	64
Figura 19	Os dez países com maior capacidade total instalada de eólicas.....	65
Figura 20	Os dez países com maior incremento anual de eólicas em 2009	65
Figura 21	Incremento da capacidade instalada anual, por fonte, na União Européia.....	66
Figura 22	Evolução da participação dos diversos tipos de fonte no Brasil	72
Figura 23	Distribuição do parque instalado por subsistema em 2008 e em 2017	72
Figura 24	Evolução da capacidade instalada termelétrica.....	73
Figura 25	Parque eólico em construção.....	77
Figura 26	Custos das externalidades de fontes de geração de energia na União Européia ...	84
Figura 27	Emissões do parque termelétrico nacional no período 2003 – 2007.....	85
Figura 28	Emissões projetadas (máximas) de CO ₂ equivalente por subsistema	87
Figura 29	Contribuição das diversas fontes para as emissões de CO ₂ no sistema elétrico ...	87
Figura 30	Emissão anual de CO ₂ para geração de 615 MW médios.....	89
Figura 31	Evolução da potência unitária das turbinas eólicas (kW)	92
Figura 32	Fluxo de água do Rio São Francisco e o regime de vento no Nordeste.....	96

LISTA DE FIGURAS

(continuação)

Figura 33	Custo médio (US\$/MWh) por fonte de geração segundo o PNE	103
Figura 34	Preços da energia elétrica no Brasil	104
Figura 35	Evolução de preços para petróleo, gás e carvão (US\$/tep).....	113
Figura 36	Comparação do número de empregos gerados, por fonte	117
Figura 37	Fundação de uma eólica em obras	118
Figura 38	Mapa do potencial eólico brasileiro	125
Figura 39	Velocidade média anual do vento em 2100 para o cenário A2.....	126
Figura 40	Choques na oferta de terra para a agropecuária, para cada cenário climático	128
Figura 41	Parque eólico em operação no Ceará	129
Figura 42	Parque eólico em operação no Rio Grande do Sul.....	129
Figura 43	Parque eólico em operação no Ceará	130

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Alterações no meio ambiente resultantes de atividades humanas	47
Tabela 2	Variação da vazão em relação às projeções para 2100.....	49
Tabela 3	Faixas de variação de decibéis aceitáveis.....	79
Tabela 4	Emissão média de CO ₂ de diferentes tecnologias de geração de energia.....	88
Tabela 5	Desvios projetados relativos à energia média.....	95
Tabela 6	Custos da eletricidade a partir de diferentes fontes renováveis.....	112
Tabela 7	Geração de empregos por fonte de energia.....	116
Tabela 8	Estrutura típica de custos para implantação de um parque eólico.....	127

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Síntese da estrutura do trabalho.....	11
Quadro 2	Relações entre a opção energética e questões sociais.....	46
Quadro 3	Indicadores de Sustentabilidade, segundo a ONU (2000).....	51
Quadro 4	Pilares e indicadores de sustentabilidade, segundo Bermann (2002).....	52
Quadro 5	Indicadores sociais, segundo IAEA (2005).....	53
Quadro 6	Indicadores econômicos, segundo IAEA (2005).....	53
Quadro 7	Indicadores ambientais, segundo IAEA (2005).....	54
Quadro 8	Impactos ambientais no meio físico	80
Quadro 9	Impactos dos parques eólico nos pássaros e morcegos	81
Quadro 10	Impactos ambientais no meio biótico	81
Quadro 11	Impactos ambientais no meio antrópico	115
Quadro 12	Incentivos para energia eólica no Brasil.....	120

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABEEólica	Associação Brasileira de Energia Eólica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BACEN	Banco Central do Brasil
BEN	Balanço Energético Nacional
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CBIE	Centro Brasileiro de Infra-Estrutura
CCC	Conta de Consumo de Combustível
CCEE	Câmara Comercializadora de Energia Elétrica
CDE	Conta de Desenvolvimento Energético
CEPEL	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
CME	Custo marginal de expansão
CMMAD	Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento
CO ₂	Gás carbônico
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPPE	Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia
COP	Conferência das Partes sobre Clima
CPDS	Comissão de Políticas de Desenvolvimento Sustentável
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica
DMSE	Departamento de Monitoramento do Setor Elétrico
DWTMA	<i>Danish Wind Turbine Manufactures Association</i>
ELETROBRAS	Centrais Elétricas Brasileiras
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FBDS	Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável
EEA	<i>European Environment Agency</i>
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
EOL	Usina eólica
EUA	Estados Unidos da América
ES	<i>Eurostat</i>
EWEA	<i>European Wind Energy Association</i>
FADURPE	Fundação Apolônio Salles de Desenvolvimento Educacional

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

(continuação)

FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler
FIOCRUZ	Fundação Oswaldo Cruz
GW	Giga watt
GWEC	<i>Global Wind Energy Council</i>
IAG	Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas
IAEA	International Atomic Energy Agency
ICB	Índice de custo benefício
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IEA	<i>International Energy Agency</i>
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPPC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
kW	Quilo watt
kWh	Quilo watt hora
LP	Licença prévia
LI	Licença de instalação
MCT	Ministério de Ciência e Tecnologia
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
MW	Mega watt
MWh	Mega watt hora
NAE	Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República
OMM	Organização Meteorológica Mundial
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
ONU	Organização das Nações Unidas
PCH	Pequena central hidroelétrica
PDE	Plano Decenal de Energia
P&D	Pesquisa e desenvolvimento
PIB	Produto Interno Bruto
PMO	Programa Mensal de Operação
PNE	Plano Nacional de Energia

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

(continuação)

PNMC	Política Nacional de Mudanças Climáticas
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
ROL	Receita operacional líquida
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
SIN	Sistema interligado nacional
SI	Sistema isolado
TWh	Tera watt hora
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
UHE	Usina hidroelétrica
UNDP	<i>United Nations Development Programme</i>
UNDESA	<i>United Nations Department of Economic and Social Affairs</i>
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
USP	Universidade de São Paulo
UTE	Usina termoelétrica
W	Watt
WCI	<i>World Coal Institute</i>
WEC	<i>World Energy Council</i>

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
LISTA DE FIGURAS	iv
LISTA DE TABELAS	vi
LISTA DE QUADROS	vii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	viii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos.....	5
1.1.1 <i>Objetivo geral</i>	5
1.1.2 <i>Objetivos específicos</i>	5
1.2 Metodologia.....	5
1.2.1 <i>Cenários projetados para o Nordeste em face das alterações climáticas</i>	6
1.2.2 <i>Estado da arte da energia eólica e suas principais características</i>	7
1.2.3 <i>Planejamento setorial para a matriz elétrica brasileira</i>	7
1.2.4 <i>Análise da tecnologia eólica como alternativa para o desenvolvimento sustentável</i>	8
1.3 Descrição dos capítulos	9
2. REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1 Evolução das questões ambientais	13
2.2 Desenvolvimento sustentável	19
2.2.1 <i>Dimensões da sustentabilidade</i>	23
2.3 Mudanças climáticas	29
2.4 Energia, desenvolvimento e meio ambiente	43
2.4.1 <i>Indicadores de sustentabilidade do setor energético</i>	50
2.5 Energia eólica.....	54
2.5.1 <i>Histórico</i>	55
2.5.2 <i>Estado da arte</i>	59
2.5.3 <i>Panorama mundial</i>	63
2.5.4 <i>Panorama brasileiro</i>	67
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES	75
3.1 Dimensão ecológica.....	75

3.1.1 Redução da poluição do ar, contaminação dos recursos hídricos e do solo e perda de biodiversidade.....	75
3.1.2 Limitação das emissões de gases do efeito estufa.....	85
3.1.3 Substituição de recursos energéticos não renováveis, incremento da participação de fontes alternativas e desenvolvimento de tecnologias novas e renováveis.....	91
3.1.4 Promoção de educação ambiental	92
3.2 Dimensão econômica/estratégica.....	93
3.2.1 Aumento da oferta de energia elétrica em função da demanda e incremento das reservas energéticas em relação à produção total de energia.....	94
3.2.2 Promoção de eficiência energética	98
3.2.3 Grau de independência energética e capacitação tecnológica das indústrias de equipamentos para geração de energia	99
3.2.4 Modicidade tarifária	102
3.3 Dimensão social.....	114
3.3.1 Geração de emprego e renda	115
3.3.2 Aumento dos índices de eletrificação e qualidade do serviço.....	120
3.3.3 Participação da sociedade civil na tomada de decisões energéticas.....	122
3.3.4 Capacitação de recursos humanos.....	123
3.4 Dimensão territorial	124
3.4.1 Equidade entre regiões.....	124
3.4.2 Promoção de desenvolvimento local e diminuição do êxodo rural	127
3.5 Dimensão cultural.....	130
3.5.1 Aumento do uso de fontes endógenas de energia.....	131
3.5.2 Equilíbrio entre tradição e inovação.....	131
3.5.3 Difusão tecnológica.....	132
3.5.4 Promoção de educação ambiental e aumento da confiança da população em energias alternativas	132
4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES FINAIS.....	133
5. REFERÊNCIAS	139

1. INTRODUÇÃO

O efeito estufa e conseqüentes alterações climáticas ameaçam tornar o mundo um lugar mais desconfortável, com alterações na temperatura e nas precipitações em diferentes regiões do planeta. Projeta-se uma atmosfera mais quente e com eventos extremos ocorrendo com maior frequência e intensidade, a exemplo de secas mais rigorosas e enchentes mais desastrosas. Há riscos de diversos efeitos maléficos para a população e para alguns ecossistemas em especial, trazendo sérios efeitos para a sociedade.

O Quarto Relatório de Avaliação do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2007a), da Organização das Nações Unidas - ONU e da Organização Meteorológica Mundial - OMM, alertou que o aquecimento global está mais evidente nas observações dos aumentos das temperaturas médias do ar e do oceano, do derretimento generalizado da neve e do gelo e da elevação do nível global médio do mar. A melhor compreensão das influências antrópicas nas alterações do clima permite afirmar, com uma confiança de 90%, que o efeito líquido global das atividades humanas desde 1750 foi de aquecimento. Os cenários climáticos projetados pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* - IPCC sinalizam aumento das temperaturas mundiais até o final do século.

De acordo com o IPCC, nenhuma região do planeta estará totalmente a salvo dos efeitos decorrentes das alterações do clima. Há perspectivas de mudanças climáticas e conseqüentes efeitos maléficos no Brasil. O Nordeste brasileiro, em particular, apresenta-se como uma das regiões brasileiras mais suscetíveis aos efeitos do aquecimento global (MARENGO et al., 2007, p. 134).

Projeções apontam para possível desaceleração no desempenho econômico do Nordeste, com queda na disponibilidade de empregos decorrente essencialmente dos efeitos do aumento da temperatura sobre a agricultura, base de subsistência para milhões de famílias. É possível a redução na geração de energia e disseminação de doenças, resultando em impactos negativos econômicos, sociais e ambientais, mesmo para os cenários mais otimistas (FIOCRUZ & UFMG, 2009, p. 4).

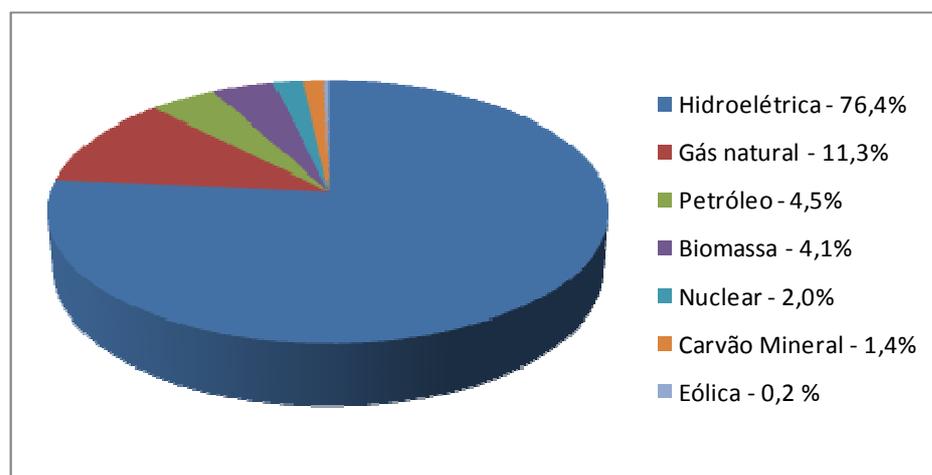
O desenvolvimento sustentável é representado como o crescimento econômico aliado às questões sociais e ambientais. A melhoria da qualidade de vida da população e a busca incansável pela diminuição da pobreza devem ser perseguidas, buscando-se sempre alternativas compatíveis com a capacidade de suporte dos ambientes naturais. Esse conceito deve ser avaliado nas suas múltiplas dimensões, entre elas a ecológica, econômica/estratégica, social, territorial e cultural (SACHS, 1993).

O setor de energia é o maior responsável pelo crescimento na emissão dos gases do efeito estufa, tendo nos combustíveis fósseis sua principal fonte de contribuição (IPCC, 2007a, p. 36). Dos gases que contribuem para o efeito estufa, o gás carbônico é o de maior participação.

No âmbito da geração de eletricidade, as fontes alternativas, representadas em termos de pequenas centrais hidroelétricas, biomassa, eólica e solar, apresentam-se como uma das opções para a diversificação da matriz elétrica brasileira com reduzidos impactos ambientais e baixas emissões de gases do efeito estufa. A utilização dessas fontes garantirá maior confiabilidade e segurança de abastecimento, promovendo complementaridade energética sazonal à energia hidráulica, responsável por 76% da potência instalada de geração de eletricidade no País (MME & EPE, 2009, p. 77).

O Brasil é um país com tradição no uso de fontes renováveis, como se pode inferir a partir da matriz elétrica nacional. A Figura 1 apresenta a participação de cada fonte de energia na matriz elétrica nacional, que totalizam cerca de 100 GW de potência instalada.

Figura 1 - Matriz elétrica brasileira



Fonte: Elaborada pelo autor a partir de MME & EPE (2009, p. 77)

Analisando a matriz elétrica, observa-se uma forte dependência hidrológica, que aliada a não execução dos planos de expansão, foram duas das razões que resultaram na crise energética de 2001 (BERMANN, 2002, p. 50; WINROCK, USAID & EGAT, 2002, p. 13).

É crescente a importância das fontes alternativas na matriz eletro-energética mundial. Pelo menos 45 países, incluindo 10 países em desenvolvimento, têm metas políticas para incrementar o uso das fontes renováveis de energia (GWEC, 2006, p. 6). Essas fontes ganham mais destaque devido à preocupação crescente com o desenvolvimento sustentável, às discussões a respeito dos impactos ambientais do setor, à necessidade de substituição de combustíveis fósseis e ao interesse na diversificação da matriz (SILVA, 2006, p. 7). Destaque para as reduzidas taxas de emissões de gases do efeito estufa das fontes alternativas de energia elétrica, fator que tem sido bastante discutido visto, entre outros, a oportunidade de se beneficiar dos mecanismos de compensação e as possibilidades de negócios de Certificados de Redução de Emissão de Carbono, nos termos do Protocolo de Quioto.

A implantação de centrais geradoras eólicas, solares, termelétricas a biomassa e pequenas centrais hidrelétricas – PCH's encontram dificuldades no Brasil, com destaque para os custos, embora se observe tendência de redução com a sua maior exploração (TOLMASQUIM, 2003; PORTO, 2003, p. 182).

Em decorrência dos reduzidos impactos ambientais, pela base tecnológica industrial e devido à experiência e confiabilidade de operação de grandes sistemas adquiridos nos últimos 20 anos, a energia eólica vem despontando como uma das principais fontes alternativas de energia elétrica (CAMARGO, 2005, p. 4). A capacidade instalada dessa fonte vem tomando proporções cada vez maiores em nível internacional, passando de 1,7 GW, em 1990, para 158 GW em 2009 (EWEA, 2004, p. 117; GWEC, 2010, p. 2).

Diante da necessidade de diversificação da matriz elétrica nacional e buscando o desenvolvimento sustentável, cresce a importância de implementação de políticas nacionais de incentivo à energia eólica, que apresenta grande potencial de exploração no País e se trata de uma fonte facilmente renovável.

O Governo Federal Brasileiro apresentou ações para incentivar as fontes alternativas, com destaque para o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – PROINFA, instituído por meio da Lei Federal nº 10.438, de 26 de abril de 2002.

O PROINFA é um instrumento de incentivo a empreendimentos concebidos com base em fontes eólica, pequenas centrais hidroelétricas - PCH's e biomassa. O Programa foi planejado para duas etapas. A primeira estabelece a meta de contratação de 3.300 MW, com previsão inicial para entrada em operação das usinas até dezembro de 2010. A segunda, a ser implementada depois de alcançadas as metas da primeira, prevê o desenvolvimento do Programa de forma que a participação dessas fontes atendam a 10% do consumo anual de energia elétrica no País. A eólica, das três fontes contempladas no PROINFA, é a de menor participação na matriz elétrica nacional e a que teve a maior capacidade selecionada na primeira etapa do Programa, com 1.423 MW, divididos entre 54 empreendimentos (ANEEL, 2006).

No final de 2009, a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL promoveu leilão específico para contratação de eletricidade gerada pelos ventos. Foram contratados 71 empreendimentos, totalizando 753 MW médios de energia, com início de operação previsto para 2012 e potência instalada total de 1.805 MW. Dos 71 empreendimentos, 63 têm localização prevista para o Nordeste (CCEE, 2009).

O objetivo desta pesquisa consiste em avaliar a energia eólica como tecnologia para promover o desenvolvimento sustentável no Nordeste, principalmente considerando que o Brasil detém pouca experiência no aproveitamento de parques eólicos, a existência de significativo potencial estimado e, em especial, os cenários futuros preocupantes para a região em decorrência das mudanças climáticas.

Espera-se contribuir para a formulação de estratégias de desenvolvimento sustentável para o Nordeste no tocante à política de expansão do setor elétrico, em específico para as fontes alternativas de energia, que devem ser avaliadas não apenas como fonte complementar de energia, mas também como instrumento para mitigar os efeitos das alterações climáticas nessa vulnerável região do País.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar, sob o enfoque do desenvolvimento sustentável, a tecnologia eólica como uma alternativa apropriada para geração de energia elétrica considerando as perspectivas de mudanças climáticas no Nordeste brasileiro.

1.1.2 Objetivos específicos

- analisar a tecnologia eólica diante dos cenários de alterações climáticas;
- analisar o estado da arte da energia eólica, suas principais características e impactos ambientais e vantagens e desvantagens da tecnologia; e
- analisar o planejamento setorial e a inserção da energia eólica na matriz elétrica brasileira.

1.2 Metodologia

Esta pesquisa utilizou como referência, para avaliar a energia eólica no Nordeste considerando as perspectivas de mudanças climáticas, dados obtidos a partir de estudos oficiais, em especial relatórios elaborados pelo Ministério de Minas e Energia - MME, Empresa de Pesquisa Energética – EPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, Fundação Oswaldo Cruz - FIOCRUZ, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG e Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia – COPPE.

A pesquisa foi dividida em quatro etapas, elencadas abaixo, e que serão detalhadas em seguida:

- Cenários projetados para o Nordeste em face das alterações climáticas;
- Estado da arte da energia eólica e suas principais características;
- Planejamento setorial para a matriz elétrica brasileira; e
- Análise da tecnologia eólica como alternativa para o desenvolvimento sustentável.

1.2.1 Cenários projetados para o Nordeste em face das alterações climáticas

Inicialmente foi efetuado levantamento das conseqüências esperadas para o Nordeste em face das alterações climáticas. Três estudos em especial foram utilizados como referência, um elaborado por equipe de especialistas do INPE (MARENGO et al., 2007), outro da FIOCRUZ & UFMG (2009) e o terceiro da COPPE (SCHAEFFER et al., 2008):

- INPE: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI;
- FIOCRUZ & UFMG: Mudanças climáticas, migrações e saúde: cenários para o Nordeste brasileiro, 2000-2050; e
- COPPE: Mudanças climáticas e segurança energética no Brasil.

O documento elaborado pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - CPTEC/INPE (MARENGO et al., 2007) em colaboração com o Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo – IAG/USP e com a Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável - FBDS, descreve tendências climáticas observadas desde o início do século XX e as projeções climáticas para o século XXI, com ênfase na precipitação, temperatura, descarga fluvial e extremos climáticos. Para sua elaboração foram utilizados os modelos climáticos globais do IPCC no Terceiro Relatório de Avaliação.

Adotando os modelos climáticos do INPE, a pesquisa coordenada pela FIOCRUZ & UFMG (2009) mapeou algumas das conseqüências sociais e econômicas das mudanças climáticas sobre a região Nordeste nas próximas décadas. O estudo integrou quatro modelos matemáticos básicos e então projetou o desempenho econômico, os fluxos migratórios, a redistribuição populacional e como essas conseqüências poderiam afetar a saúde, tudo isso incorporando os efeitos das mudanças climáticas.

No estudo elaborado por especialistas da COPPE (SCHAEFFER et al., 2008) são analisados os possíveis efeitos das mudanças climáticas sobre a oferta e a demanda de energia no País. Foi analisado como o sistema energético brasileiro planejado para 2030 responderia às novas condições do clima. O estudo também aponta medidas de política energética que podem ser adotadas para aliviar os impactos negativos.

1.2.2 Estado da arte da energia eólica e suas principais características

Conhecidos os efeitos projetados para o Nordeste em decorrência do aquecimento global, passou-se ao levantamento do estado da arte da energia eólica no mundo e no Brasil e suas principais características.

Foram realizadas três visitas técnicas a parques eólicos em construção e em operação (no Parque Eólico RN 15 - Rio do Fogo, no município de Rio do Fogo/ RN, em maio e junho de 2006, e na Eólica Tubarão, no distrito de Fernando de Noronha/ PE, em julho de 2007) e entrevistas não estruturadas com especialistas da área de fontes alternativas, sendo um representante do Governo Federal, um fabricante de equipamentos e um construtor.

Os principais documentos utilizados para levantamento do estado da arte da tecnologia eólica foram elaborados por: (i) associações do setor (Associação Brasileira de Energia Eólica - ABEEólica, *Global Wind Energy Council* – GWEC e *European Wind Energy Association* - EWEA); (ii) Ministério de Minas e Energia (utilizou-se, em especial, o Plano Nacional de Energia – PNE 2030; MME & EPE, 2007) e; (iii) Empresa de Pesquisa Energética – EPE (utilizou-se, em especial, a Proposta para a expansão da energia eólica no Brasil e Estudos socioambientais: critérios e procedimentos para análise socioambiental do sistema elétrico; EPE, 2009a, e EPE, 2008).

Para a identificação dos principais impactos ambientais foram utilizados: (i) avaliações de impacto ambiental de parques eólicos (em especial o Relatório ambiental simplificado do Parque Eólico Serra da Macambira e Parque Eólico Poçoão; FADURPE, 2003); (ii) licenças ambientais prévias e de instalação (LI n° 798/2003-DL, LP n° 481/2004-DL, LP n° 754/2004-DL, LI n° 108/2004-DL, LI n° 139/2005-DL emitidas pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler; FEPAM/RS, 2003; 2004a; 2004b; 2004c; 2005) e; (iii) estudos teóricos sobre o tema (em especial o Plano Nacional de Energia 2030; MME & EPE, 2007).

1.2.3 Planejamento setorial para a matriz elétrica brasileira

O autor participou de reuniões técnicas mensais de planejamento e monitoramento setorial no Ministério de Minas e Energia – MME, no âmbito do Departamento de Monitoramento do

Setor Elétrico - DMSE, no período de julho de 2006 a junho de 2007, com a presença de representantes do MME, Centrais Elétricas Brasileiras - ELETROBRAS, Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, Empresa de Pesquisa Energética – EPE, Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS e Câmara de Comercialização de Energia Elétrica - CCEE.

A partir do Plano Decenal de Expansão de Energia 2008-2017 (MME & EPE, 2009) foram obtidas as expectativas de crescimento da energia eólica na matriz elétrica nacional. Esse documento é referência para o planejamento e a expansão do setor, nele consta a previsão das usinas a serem implantadas. Trata-se de um documento oficial, indicativo para o setor, em que constam as principais características das usinas com expectativa de serem implantadas, incluindo potência instalada, situação contratual (se já há energia negociada), preço e dificuldades ambientais esperadas.

No Plano Decenal é feita também uma análise ambiental dos empreendimentos, objetivando identificar os impactos socioambientais mais relevantes, as interações e os conflitos com o planejamento de outros setores da economia, contribuindo para reduzir os riscos e incertezas na implantação dos empreendimentos, bem como para atender os compromissos com o desenvolvimento sustentável. Busca-se conhecer, com a maior antecedência possível, os principais aspectos socioambientais relativos à estratégia adotada para a expansão da oferta de energia no País, de modo a indicar as ações necessárias para a viabilização dos projetos e o conseqüente atendimento aos objetivos do Plano.

1.2.4 Análise da tecnologia eólica como alternativa para o desenvolvimento sustentável

Levantados todos esses dados, a próxima etapa da pesquisa consistiu na análise das eólicas como alternativa sustentável para geração de eletricidade no Nordeste e promoção do desenvolvimento sustentável.

A avaliação foi efetuada de acordo com critérios estabelecidos por Sachs (1993), que propõe a análise da sustentabilidade em cinco dimensões – ecológica, econômica/estratégica, social, territorial e cultural.

A energia eólica como fonte de geração de eletricidade no Nordeste foi comparada com a energia termoeletrica a carvão mineral. Essa comparação consistiu em avaliar os reflexos

potenciais advindos de hipotética substituição de uma central termelétrica a carvão a ser implantada no Ceará, por um parque eólico. O critério foi adotado porque no Plano Decenal de Expansão de Energia há previsão de instalação das primeiras centrais termelétricas a carvão mineral no Nordeste, e entre elas destaque-se uma grande térmica a carvão de 700 MW no Ceará com conclusão prevista para operação em meados de 2011. De acordo com dados do Plano Decenal, essa termoelétrica, quando concluída, será a maior em operação no Brasil movida a carvão mineral (MME & EPE, 2009, p. 93).

A partir de três estudos foram identificados parâmetros (indicadores) relacionados à promoção do desenvolvimento sustentável do setor energético. Esses parâmetros foram compilados e agrupados para cada uma das cinco dimensões da sustentabilidade. Os estudos utilizados como referência foram:

- *World energy assessment: energy and the challenge of sustainability* (UNDP et al., 2000);
- *Proyecto Cono Sur sustentable: propuestas de politicas energeticas Sustentables para el Cono Sur* (BERMANN, 2002); e
- *Energy indicators for sustainable development: guidelines and methodologies* (IAEA et al., 2005).

A partir dessa compilação tornou-se possível avaliar a energia eólica como alternativa para geração de eletricidade no Nordeste do Brasil.

Em síntese, para obtenção dos resultados pretendidos foi efetuada análise das conseqüências advindas de hipotética substituição de uma central termelétrica a carvão mineral por um parque eólico no Ceará. A avaliação foi feita para cinco dimensões da sustentabilidade e foram consideradas as perspectivas traçadas por estudos oficiais no tocante aos efeitos esperados das alterações climáticas no Nordeste.

1.3 Descrição dos capítulos

A presente dissertação é estruturada em cinco capítulos, incluindo o presente e o último concernente às referências bibliográficas.

No segundo capítulo é feita uma revisão bibliográfica sobre o tema, abordando diferentes aspectos relacionados às perspectivas de mudanças climáticas e à relação entre energia, desenvolvimento e meio ambiente. São apresentados um histórico e reflexões sobre o conceito de desenvolvimento sustentável e as dimensões da sustentabilidade. Em seguida discorre-se sobre o estado da arte do aproveitamento eólico como fonte de geração de eletricidade e apresentam-se as perspectivas futuras para a matriz elétrica nacional.

No terceiro capítulo são apresentados os resultados decorrentes da avaliação da energia eólica como uma alternativa para o desenvolvimento sustentável no Nordeste brasileiro. A análise é efetuada com base em abordagem para cinco dimensões da sustentabilidade e considerando as perspectivas de mudanças climáticas. No quarto capítulo encontram-se as conclusões e considerações finais da dissertação.

A seguir é apresentado um quadro resumo com a síntese da estrutura do trabalho.

Quadro 1 - Síntese da estrutura do trabalho

Título

AVALIAÇÃO DA ENERGIA EÓLICA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DIANTE DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO NORDESTE DO BRASIL

Palavras-chave: energia eólica, mudanças climáticas, desenvolvimento sustentável

Pergunta condutora

A tecnologia eólica é uma alternativa apropriada para geração de energia elétrica no Nordeste?

Justificativa

Os cenários futuros são preocupantes para o Nordeste brasileiro em decorrência das mudanças climáticas.

O Brasil detém pouca experiência no aproveitamento de parques eólicos e um grande potencial inventariado.

A energia eólica apresenta-se como uma alternativa para promoção do desenvolvimento sustentável.

Objetivo geral

Avaliar, sob o enfoque do desenvolvimento sustentável, a tecnologia eólica como uma alternativa viável e apropriada para geração de energia elétrica considerando as perspectivas de mudanças climáticas no Nordeste brasileiro.

Objetivos específicos

Analisar a tecnologia eólica diante dos cenários de alterações climáticas.

Analisar o estado da arte da energia eólica, suas principais características e impactos ambientais e vantagens e desvantagens da tecnologia.

Analisar o planejamento setorial e a inserção da energia eólica na matriz elétrica brasileira.

Metodologia

- Levantamento das consequências das mudanças climáticas por meio de estudos oficiais.
- Realização de visitas técnicas a eólicas em construção e em operação, entrevistas com especialistas, consultas a estudos de associações setoriais e a relatórios e licenças ambientais.
- Participação em reuniões de planejamento e monitoramento do setor elétrico e consulta ao Plano Decenal de Expansão.
- Comparação das eólicas com uma térmica a carvão mineral a ser implantada no Ceará. A avaliação foi realizada para cinco dimensões da sustentabilidade.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Na busca do desenvolvimento sustentável é importante o conhecimento da evolução das questões ambientais no mundo e das interações entre energia, desenvolvimento e meio ambiente.

A preocupação com o desenvolvimento sustentável é relativamente recente e evoluiu a partir da percepção da sociedade de que os recursos naturais são finitos. Essa preocupação acentuou-se na década de 70, com a crise do petróleo, que até então era encarado por muitos como abundante e inesgotável. A crise acabou por gerar sérios danos econômicos, causando recessão, inflação e desemprego em vários países, e suscitou questionamentos a respeito dos modelos de desenvolvimento adotados.

A geração de energia elétrica é ponto crucial para a promoção do desenvolvimento e melhoria da qualidade de vida, porém, da forma como vem sendo planejada e implementada, apresenta sérios riscos relativos à sustentabilidade, conforme alerta de UNDP et al. (2000, p. iii):

A energia é ponto central para alcançar os objetivos econômicos, sociais e ambientais do desenvolvimento humano sustentável. Porém, se nós quisermos alcançar este importante objetivo, as formas como produzimos e consumimos energia terão que mudar. Caso contrário, a degradação ambiental acelerará, a desigualdade social aumentará e o crescimento econômico global estará em perigo.

Na escolha das alternativas de geração de energia, o enfoque no desenvolvimento sustentável torna-se necessário. Questões relativas à poluição atmosférica, efeito estufa, esgotamento das reservas de combustíveis fósseis, segurança no abastecimento e equidade são alguns dos motivadores. As fontes renováveis destacam-se como opção a esse modelo de geração de energia. A análise das múltiplas dimensões e de indicadores de sustentabilidade surge como ferramenta para tornar o planejamento mais rico e efetivo. A formulação de políticas públicas considerando as múltiplas dimensões da sustentabilidade não é tarefa simples, mas é imprescindível para assegurar a promoção do desenvolvimento sustentável.

2.1 Evolução das questões ambientais

A partir da década de 60 a preocupação com as questões ambientais e com a qualidade de vida das gerações futuras ganhou proporções junto à sociedade, deixando de ser restrita à comunidade científica. Assuntos relacionados com a deterioração ambiental, consumo excessivo de bens não renováveis, crescimento populacional descontrolado, acidentes ambientais e problemas envolvendo a camada de ozônio e o aquecimento global eram as principais pautas dos movimentos ambientalistas.

Em 1962 um importante acontecimento foi o Tratado de Proibição Parcial de Testes Nucleares. O tratado foi assinado pelos Estados Unidos, Grã-Bretanha e a antiga União Soviética. Outro marco importante foi a criação do Clube de Roma, em 1968, com o intuito de debater os problemas ambientais que ocorriam na Europa e no mundo e o futuro da humanidade. No mesmo ano ocorreu a Conferência Internacional para o Uso Racional e Conservação da Biosfera, organizada pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura – UNESCO.

Nos anos 70 a conscientização ambiental continuou tomando proporções maiores. A década foi marcada, entre outros fatores, pelo avanço nos aspectos referentes à regulamentação e controle ambiental, criação de diversas organizações internacionais e pelo maior envolvimento do sistema político. Foi nessa época que passaram a ser exigidos os Estudos de Impactos Ambientais – EIA's nos Estados Unidos.

Em abril de 1970 ocorreu um movimento ambientalista com a participação de aproximadamente 300.000 norte-americanos, que ficou conhecido como o Dia da Terra e é até hoje considerada a maior manifestação ambientalista da história. A manifestação teve enorme repercussão, recebendo grande destaque em diferentes veículos de comunicação.

Em 1972 o Clube de Roma divulgou o seu primeiro relatório denominado *The limits to growth* (Os limites do crescimento). Entre outros aspectos foram apresentados problemas que as futuras gerações poderiam enfrentar caso não fossem tomadas medidas para maior proteção ambiental. Nesse mesmo ano, aconteceu na Suécia a Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente Humano, também conhecida como Conferência de Estocolmo, promovida pela Organização das Nações Unidas - ONU e que contou com a participação de 113 países. Os principais produtos desta Conferência foram a Declaração sobre o Ambiente Humano, ou

Declaração de Estocolmo, e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente – PNUMA. A Conferência colocou a dimensão do meio ambiente na agenda internacional e foi seguida por encontros e relatórios que culminaram, vinte anos depois, na Conferência da ONU sobre Desenvolvimento e Meio Ambiente - Rio 92 (SACHS, 2002, p. 48).

Em 1973 surgiu o conceito de ecodesenvolvimento, formulado por Maurice Strong. O conceito foi consolidado em 1976 por Ignacy Sachs, que propôs seis princípios básicos: (i) satisfação das necessidades básicas; (ii) solidariedade para com as gerações futuras; (iii) participação da população envolvida; (iv) preservação dos recursos naturais e do meio ambiente; (v) elaboração de um sistema social que garanta emprego, segurança social e respeito a outras culturas; (vi) programas de educação. Foram essas discussões que abriram espaço para o conceito de desenvolvimento sustentável (ROSSETTO, 2003, p. 31).

Entre os anos de 1973 e 1974 ocorreu a primeira crise do petróleo. Nesse período, foi constatada a degradação da camada de ozônio, causada principalmente pelos compostos cloro-flúor-carbono. Tais acontecimentos destacaram ainda mais os problemas decorrentes de um desenvolvimento não sustentável, serviram como alerta para a sociedade e geraram questionamentos quanto aos riscos do consumo desordenado dos recursos naturais.

A década de 80 ficou marcada pelo surgimento em muitos países de leis regulamentando a poluição da atividade industrial. Em 1983, foi criada pelo PNUMA a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento – CMMAD, ou Comissão Brundtland, que era presidida pela Primeira Ministra da Noruega, *Gro Harlme Brundtland*. Essa Comissão visava reavaliar e formular propostas de soluções para os problemas ambientais mais críticos, de forma a assegurar a sustentabilidade do progresso humano sem comprometer os recursos naturais necessários às futuras gerações. No Brasil, destaque para a promulgação da Lei Federal nº 6.938/1981, que dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente, e a Constituição Federal de 1988, que reservou um capítulo específico sobre meio ambiente.

Graves acidentes ambientais, como o de Bhopal (Índia), em 1984, e o de Chernobyl (antiga União Soviética), em 1986, foram fundamentais para mudanças nas políticas e planejamentos governamentais relacionados ao meio ambiente. O acidente de Bhopal é tido como o pior desastre químico da história, e foi resultado de um vazamento de gás tóxico de uma fábrica de agrotóxicos, resultando na morte de milhares de pessoas e em uma série de doenças crônicas. O de Chernobyl é considerado o pior acidente nuclear de todos os tempos, e ocorreu devido a

problemas em um reator da Usina Nuclear de Chernobyl, resultando em incêndio e emissão de radiação nuclear que, além das mortes causadas pelo incêndio e da evacuação e reassentamento de milhares de pessoas, resultou em mortes e problemas de saúde posteriores.

Impulsionado pelos graves problemas ambientais que ocorriam, tais como os dois desastres supracitados e questões de degradação ambiental em geral, foi elaborado, em 1987, pela CMMAD, o relatório *Our common future* (Nosso futuro comum), ou Relatório Brundtland. O relatório apresentou uma visão complexa das causas dos problemas socioeconômicos e ecológicos da sociedade e destacou as diferentes inter-relações entre economia, tecnologia, sociedade e política. Como forma de garantir o futuro das próximas gerações, apontou-se a necessidade de uma nova postura ética, marcada pela responsabilidade coletiva (OLIVEIRA, 2003, p. 16).

Na década de 90, a ONU organizou no Brasil a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente, também conhecida como Rio 92, ou Cúpula da Terra. Essa conferência contou com a participação de 179 países e teve como principais produtos a Declaração do Rio de Janeiro sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, ou Carta da Terra, a Agenda 21 Global e a Convenção sobre Mudanças Climáticas.

A Carta da Terra caracterizou-se por apresentar propostas e destacar a importância de acordos internacionais visando à proteção do meio ambiente. A Agenda 21 consiste em um plano de ações para o século XXI, de forma a garantir o desenvolvimento sustentável e a atingir os objetivos propostos na Declaração do Rio. O documento foi resultado de um processo que durou vários anos de iniciativas e ações de âmbito local, regional e internacional, visando deter e reverter a constante degradação dos ecossistemas. Outras questões prioritárias são voltadas para alterar políticas que resultam em desigualdades sociais e econômicas, por meio de programas de erradicação e atenuação da pobreza, conservação, tratamento e exploração sustentável dos recursos naturais e melhores serviços de educação e saúde.

A discussão a respeito da Convenção sobre mudanças climáticas foi aberta durante a Rio 92. Após intensas negociações, o texto definitivo foi aprovado na sede das Nações Unidas em Nova York. Com o término da Rio 92 foi dado início a um novo ciclo de conferências sobre meio ambiente e desenvolvimento na esfera da ONU, entre as quais destacam-se a Conferência sobre direitos humanos (Viena, 1993), a Conferência sobre população e desenvolvimento (Cairo, 1994), a Conferência sobre desenvolvimento social (Copenhague,

1995), a Conferência sobre mudança climática (Berlim, 1995), a Conferência sobre a mulher (Pequim, 1995) e a Conferência sobre assentamentos urbanos (Istambul, 1996).

Desde 1995 os representantes dos países signatários do Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas passaram a se reunir anualmente nas Conferências das Partes sobre Clima – COP's. Essas reuniões são o foro de tomadas de decisão sobre a Convenção-Quadro. Nesses encontros, as deliberações são operadas por meio de consenso entre os representantes dos governos de todos os países que ratificaram os acordos, por isso o processo de negociação exige muito esforço e se torna lento. A primeira delas ocorreu em Berlim, Alemanha.

No fim de cada COP, decisões são tomadas e são encaminhados os trabalhos do ano seguinte, que culminam na próxima conferência sobre o clima. Cada convenção segue uma agenda durante o ano, com vários encontros e sessões de seus órgãos subsidiários, ou seja, a COP não é um evento isolado que ocorre uma vez por ano, mas faz parte de um complexo processo.

Em 1997, em Quioto no Japão, contando com representantes de 159 nações, foi adotado o Protocolo de Quioto. O Protocolo definiu que os países industrializados reduziram em pelo menos 5,2% suas emissões combinadas de gases de efeito estufa em relação aos níveis de 1990 até o período entre 2008 e 2012. O Protocolo entrou em vigor em 16 de fevereiro de 2006, após a entrada da Rússia. Os Estados Unidos não ratificaram o Protocolo de Quioto, no entanto, têm metas próprias, vinculadas a políticas internas, de redução das emissões.

A partir do Protocolo de Quioto o mercado ganhou mais importância no processo de redução das emissões de gases do efeito estufa. Dentre os mecanismos previstos destaca-se o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo - MDL. A proposta do MDL consiste em que cada tonelada de CO₂ deixada de ser emitida ou retirada da atmosfera por um país em desenvolvimento poderá ser negociada no mercado mundial, criando atrativo econômico para a redução das emissões globais.

A importância da energia como ferramenta para alcançar os objetivos do desenvolvimento sustentável foi reconhecida em quase todas as grandes conferências da ONU na década de 90 (UNDP et al., 2000, p. 3).

Em 2002, foi realizada em Joanesburgo, na África do Sul, mais uma Conferência Mundial sobre Meio Ambiente, a Rio+10. O encontro resultou em dois documentos, a Declaração Política e o Plano de Implementação.

A Declaração Política, intitulada “O compromisso de Joanesburgo sobre desenvolvimento sustentável” reafirmou princípios e acordos estabelecidos anteriormente, em Estocolmo e no Rio de Janeiro. Além disso, foi destacada a necessidade do alívio da dívida externa e o aumento da assistência financeira para os países pobres, reconhecendo que os desequilíbrios e a má distribuição de renda são questões primordiais para o desenvolvimento sustentável.

O Plano de Implementação estabeleceu três objetivos principais, a erradicação da pobreza, a mudança nos padrões insustentáveis de produção e consumo e a proteção dos recursos naturais. O plano reafirmou o comprometimento com os princípios estabelecidos na Rio 92, e com a implementação plena da Agenda 21.

Construída a partir das diretrizes da Agenda 21 Global e entregue à sociedade em 2002, a Agenda 21 Brasileira é um instrumento de planejamento participativo para o desenvolvimento sustentável do País. Sua elaboração foi coordenada pelo Ministério do Meio Ambiente – MMA e tem como base os seguintes temas: agricultura sustentável; cidades sustentáveis; infra-estrutura e integração regional; gestão dos recursos naturais; redução das desigualdades sociais e ciência e tecnologia para o desenvolvimento. Das 21 ações prioritárias estabelecidas na Agenda, a energia renovável ganhou destaque em uma delas em especial – Objetivo 4: Energia renovável e a biomassa. A seguir, transcreve-se trecho da Agenda:

A energia é o fator essencial de promoção do desenvolvimento. É pela capacidade de gerar e consumir energia que se mede o nível de progresso técnico de uma civilização. Nos últimos duzentos anos, o desenvolvimento industrial teve como fonte de energia básica o carvão e o petróleo, altamente poluentes e não-renováveis e que são hoje os grandes responsáveis pelo efeito estufa.

Não resta dúvida de que precisamos construir urgentemente alternativas ao uso do petróleo. Caminhamos para um modelo energético diversificado, mais limpo e renovável (CPDS, 2002, p. 38.)

Alguns Estados brasileiros também já elaboraram suas agendas, como é o caso de Pernambuco.

Em Buenos Aires, no ano de 2004, na 10ª Conferência das Partes sobre Clima - COP 10, o IPCC apresentou quadro assustador relativo aos desastres climáticos. A substituição de florestas por savanas na Amazônia foi incluída entre as possibilidades de alto risco das próximas décadas. Foi verificado que o Brasil ocupava o sexto lugar entre os maiores poluidores (REIS & CUNHA, 2006, p. 12).

O desenvolvimento econômico do século XX baseou-se no uso de combustíveis fósseis, que contribuem para o efeito estufa e, conseqüentemente, para o aquecimento do planeta, conforme destacado por Goldemberg (2004):

O uso de combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás), no qual se baseou o desenvolvimento econômico do século 20, está lançando na atmosfera enormes quantidades de dióxido de carbono, alterando sua composição e provocando o aquecimento do globo terrestre, que já está levando a sérios problemas climáticos. Alguns dos efeitos destes problemas, como o derretimento das calotas polares ou o aumento do nível do mar, já são visíveis.

Em 2007, o IPCC publicou o Quarto Relatório de Avaliação do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2007a), que sinaliza para significativas alterações climáticas até o final do século, resultando em prejuízos significativos a ecossistemas e à sociedade em geral.

Na Polônia foi realizada a COP 14, no ano de 2008, em que países emergentes, como Brasil, China, Índia, México e África do Sul, sinalizaram uma abertura para assumir compromissos na redução das emissões de carbono, embora não tenham falado em números (FALCO, 2009). Em dezembro de 2009 foi realizada em Copenhague, Dinamarca, a COP 15, na qual existiam boas perspectivas, mas que terminou sem um novo acordo global sobre o clima (FALCO, 2010).

No Brasil, com a crescente preocupação mundial decorrente das alterações climáticas, foi publicada a Lei Federal nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009, que institui a Política Nacional de Mudanças Climáticas - PNMC. A lei estabelece a meta de redução das emissões nacionais de gases de efeito estufa entre 36,1% e 38,9% até 2020. A Política Nacional de Mudanças Climáticas estabelece princípios, objetivos e diretrizes para a redução de emissões de gases de efeito estufa. Um decreto presidencial deverá ser editado com as metas que cada setor deverá assumir para contribuir com a redução das mudanças climáticas.

As últimas décadas têm sido fortemente marcadas por discussões relacionadas à insustentabilidade das práticas atuais de desenvolvimento, destaque para a degradação ambiental acelerada, grandes disparidades sociais, mudanças climáticas e aquecimento global do planeta. Embora a energia seja fator imprescindível para o desenvolvimento, atividades de geração de energia são freqüentemente apontadas como um dos principais fatores que contribuem para o efeito estufa, além de causadoras de grandes impactos ambientais locais e regionais, colocando em questionamento as práticas que vem sendo adotadas.

Com as conseqüências do crescimento econômico, em especial da interação entre energia e meio ambiente, e destacando os cenários preocupantes traçados para as mudanças climáticas, cresce a importância de se avaliar a influência das diferentes alternativas de desenvolvimento na promoção do desenvolvimento sustentável, considerando suas diferentes dimensões.

2.2 Desenvolvimento sustentável

A capacidade de suporte do planeta terra é limitada. Caso não sejam adotadas determinadas medidas e mudanças de paradigmas, a humanidade estará sujeita a sérios problemas econômicos, sociais e ambientais. Como alternativa tem-se o desenvolvimento sustentável.

Há vários conceitos e interpretações para o termo, os mais conhecidos estão presentes no relatório Nosso futuro comum (CMMAD, 1991), dentre eles:

- *Desenvolvimento sustentável é um novo tipo de desenvolvimento capaz de manter o progresso humano não apenas em alguns lugares e por alguns anos, mas em todo o planeta e até um futuro longínquo (p. 4);*
- *O desenvolvimento sustentável é aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade de as gerações futuras atenderem à suas próprias necessidades (p. 46);*
- *Em essência, o desenvolvimento sustentável é um processo de transformação no qual a exploração dos recursos, a direção dos investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional se harmonizam e reforçam o potencial presente e futuro, a fim de atender às necessidades e aspirações humanas (p. 49).*

Embora seja aceito mundialmente, os procedimentos para o alcance do desenvolvimento sustentável estão longe de serem adotados de forma sistemática e universal. Entre as dificuldades tem-se a pouca atenção dispensada aos aspectos não-econômicos (ROSSETTO, 2003, p. 34).

Torna-se cada vez mais evidente que apenas com o crescimento econômico não se alcança o desenvolvimento ideal. Trata-se de uma condição necessária, mas não suficiente. Preservação ambiental, igualdade, equidade e solidariedade são exemplos de conseqüências de longo alcance quando se pensa em desenvolvimento sustentável, que não são passíveis de serem atingidos apenas com o crescimento econômico.

A Agenda 21 Brasileira trata o assunto nos seguintes termos (CPDS, 2002, p. 4):

A primeira grande inovação da Agenda 21 é que o objetivo comum a ser atingido não está restrito à preservação do meio ambiente, mas ao desenvolvimento sustentável ampliado e progressivo que introduz, na discussão, a busca do equilíbrio entre crescimento econômico, equidade social e preservação ambiental. Trata-se, portanto, da procura por uma nova racionalidade que garanta a solidariedade e a cooperação, tanto quanto a continuidade do desenvolvimento e da própria vida para as gerações futuras, ameaçadas pelo consumismo perdulário e pela exploração predatória dos recursos naturais.

O Plano de Implementação de Joanesburgo (ONU, 2002, p. 5-6) destacou a energia no contexto do desenvolvimento sustentável, e estabeleceu, entre outras, as seguintes ações como prioritárias:

- melhorar o acesso a serviços de energia mais confiáveis, economicamente viáveis, socialmente aceitáveis e que degradem ao mínimo o meio ambiente;
- reconhecer que os serviços da energia têm impactos positivos na erradicação da pobreza e na melhoria dos padrões de vida;
- desenvolver e disseminar tecnologias de energia alternativa com o objetivo de aumentar a participação das energias renováveis na matriz energética;
- diversificar a geração de energia por meio do desenvolvimento de tecnologias mais avançadas, eficientes e econômicas;
- combinar tecnologias de energia, incluindo tecnologias mais avançadas e limpas de combustíveis fósseis, para atender o crescimento da demanda energética;

- acelerar o desenvolvimento, a disseminação e a distribuição de tecnologias acessíveis e mais limpas de conservação de energia; e
- tomar medidas, considerando as devidas peculiaridades, no sentido de retirar subsídios que inibam o desenvolvimento sustentável.

Para o caso específico da energia, cenários sustentáveis estão relacionados ao uso eficiente e à adoção de tecnologias avançadas de fornecimento. Outras características imprescindíveis estão ligadas aos baixos impactos ambientais (locais, regionais e globais), alocação justa e adequada de recursos e busca constante da universalização do acesso ao fornecimento e serviços de energia (UNDP et al., 2000, p. 334).

Sachs (2004, p. 14) alerta que, mesmo de forma acelerada, o crescimento não é sinônimo de desenvolvimento, salvo se ampliar o emprego e reduzir a pobreza, diminuindo as desigualdades. O desenvolvimento exige equilíbrio entre cinco diferentes dimensões. Deve-se evitar cair na armadilha da competitividade autodestrutiva, com base na depreciação da força de trabalho e dos recursos naturais.

O desenvolvimento sustentável é representado como o crescimento econômico aliado às questões sociais e ambientais. A melhoria da qualidade de vida da população e a busca incansável pela diminuição da pobreza devem ser perseguidas, buscando-se sempre alternativas compatíveis com a capacidade de suporte dos ambientes naturais. É nesse contexto que a energia eólica apresenta-se como opção para geração de energia elétrica seguindo os princípios do desenvolvimento sustentável.

Tendo em vista a complexidade e as diferentes interfaces envolvidas nas correlações entre o desenvolvimento sustentável e a energia elétrica, propõe-se avaliar e analisar separadamente a sustentabilidade sob as suas diferentes dimensões (OLIVEIRA, 2003, p. 45). Dois exemplos, apenas a título ilustrativo, da diferença entre considerar ou não as diferentes dimensões da sustentabilidade na avaliação de alternativas de projetos são expostos abaixo:

- aumento da oferta de energia elétrica: pode-se escolher, dentre as alternativas, a de menor custo, freqüentemente as grandes hidrelétricas. Nesse caso pode-se pensar numa partição de queda de forma a maximizar os ganhos energéticos, sem se preocupar com outros aspectos. Por outro lado, visando obter melhores resultados para o desenvolvimento do País, sugere-se efetuar uma análise sistêmica. Além dos custos, devem ser avaliadas questões como geração de emprego (termelétrica a

biomassa), impactos ambientais (fontes alternativas), diversificação da matriz elétrica, difusão tecnológica (energia eólica, por meio de projetos de cooperação) e desenvolvimento local (hidrelétrica, desde que se abra mão da máxima geração de energia para outros usos do reservatório);

- diminuição da dependência nacional no suprimento de óleo diesel: como alternativa tem-se o biodiesel, óleo vegetal obtido a partir de diferentes culturas como mamona, dendê e soja. Trata-se de um programa de subsídio do Governo, que para alcançar o objetivo supracitado, pode-se simplesmente iniciar um processo licitatório e adquirir o óleo vegetal pelo menor preço ofertado. Por outro lado, analisando-se as diferentes dimensões da sustentabilidade, a escolha deve considerar não apenas o critério de menor custo. O programa pode ser aproveitado para fixação do homem no campo, geração de emprego e renda, desenvolvimento local (agricultura familiar - mamona), diminuição de custos de transporte do óleo, descentralizando a produção (implementação de unidades de processamento espalhadas pelo País e próximas aos locais de cultivo), entre outros.

Existem diversas dimensões da sustentabilidade, como econômica, estratégica, cultural, ecológica, social, espacial, política, institucional e tecnológica. Independente das dimensões utilizadas na análise das alternativas, não há limite claro entre cada uma delas, principalmente em virtude das relações de interdependência entre elas (OLIVEIRA, 2003, p. 32).

A Agenda 21 Brasileira consagrou o conceito de sustentabilidade ampliada e progressiva. A sustentabilidade ampliada preconiza a idéia da sustentabilidade permeando todas as dimensões da vida: a econômica, a social, a territorial, a científica e tecnológica, a política e a cultural. A progressiva significa que não se deve aguçar os conflitos a ponto de torná-los inegociáveis, e sim, fragmentá-los em fatias menos complexas, tornando-os administráveis no tempo e no espaço. De acordo com a Agenda 21 Brasileira (CPDS, 2002, p. 21):

Ao contrário do que ocorreu no passado, quando o termo desenvolvimento praticamente se confundia com o crescimento econômico, hoje a mesma palavra designa um conjunto de variáveis, novas e interdependentes, que transcendem a economia em seu sentido estrito. As dimensões social, ambiental, político-institucional, científico-tecnológica e cultural impregnam o paradigma de tal sorte que fica difícil até mesmo distingui-las ou precisar entre elas a mais relevante. Esse é o sentido mais profundo da dimensão holística no novo paradigma de desenvolvimento sustentável.

Na presente pesquisa adotou-se a proposta apresentada por Sachs (1993), representada de forma esquemática na Figura 2.

Figura 2 - Cinco dimensões da sustentabilidade



Fonte: Elaborada pelo autor a partir de Sachs (1993)

2.2.1 Dimensões da sustentabilidade

(i) Dimensão ecológica

Os padrões de vida devem ser compatíveis com os limites da natureza. Entende-se que a qualidade de vida está diretamente relacionada à qualidade do mundo natural. O uso dos recursos não-renováveis deve ser limitado e o potencial econômico da natureza para produção de recursos renováveis deve ser preservado.

Sachs (2002, p. 29) propõe uma nova civilização fundamentada no aproveitamento sustentável da biomassa. Para tal, as ciências de ponta, com ênfase na biologia e biotecnologia, necessitam ser aproveitadas ao máximo.

Na análise ecológica deve-se olhar com restrição alternativas de empreendimentos gigantes, segundo Branco (1990, p. 94):

Em ecologia sabe-se que os efeitos ambientais de pequenos empreendimentos, somados, são muito menores que os efeitos negativos de um grande empreendimento. Isso acontece porque a natureza dispõe de uma capacidade de recuperação sempre presente, capaz de corrigir pequenos defeitos, mas não grandes estragos.

Sachs (1993, p. 25-26) aponta que a sustentabilidade ecológica deve ser alavancada por meio das seguintes ações:

- *aumento da capacidade de carga da Espçonave Terra por meio da engenhosidade ou, em outras palavras, intensificação do uso dos recursos potenciais dos vários ecossistemas - com o mínimo de danos aos sistemas de sustentação da vida – para propósitos socialmente válidos;*
- *limitação do consumo de combustíveis fósseis e de outros recursos e produtos facilmente esgotáveis ou ambientalmente prejudicáveis, substituindo-os por recursos ou produtos renováveis e/ou abundantes e ambientalmente inofensivos;*
- *redução do volume de resíduos e de poluição, por meio da conservação e reciclagem de energia e de recursos;*
- *autolimitação do consumo material pelos países ricos e pelas camadas sociais privilegiadas em todo o mundo;*
- *intensificação da pesquisa de tecnologias limpas e que utilizem de modo mais eficiente os recursos para a promoção do desenvolvimento urbano, rural e industrial;*
- *definição das regras para uma adequada proteção ambiental, concepção da máquina institucional, bem como escolha do conjunto de instrumentos econômicos, legais e administrativos necessários para assegurar o cumprimento das regras.*

A terra constitui-se de um conjunto de ecossistemas em equilíbrio, buscando promover a vida e a sua renovação. Esses ecossistemas são recursos naturais que podem, e devem, ser explorados em busca do bem estar coletivo. Se utilizados de forma apropriada, respeitando-se seus limites de recomposição, tratam-se de recursos renováveis, com vida útil prolongada, se não infinita.

(ii) Dimensão econômica/estratégica

Segundo Sachs (2002, p. 71), a sustentabilidade econômica aparece como uma necessidade, mas não se trata de condição prévia para as outras. Acredita-se que o transtorno econômico resulta em transtorno social, que por sua vez obstrui a sustentabilidade ambiental.

É de fundamental importância promover o desenvolvimento intersetorial equilibrado, garantir a inserção da economia nacional no contexto internacional e buscar instrumentos para modernização contínua da capacidade produtiva, além de razoável nível de autonomia na pesquisa científica e tecnológica (SACHS, 2002, p. 85).

A alocação e a gestão dos recursos financeiros devem ser eficientes, atingindo um fluxo contínuo de investimentos públicos e privados, de modo a manterem-se por prazos mais longos e assim promover mudanças positiva (LAGE, 2001, p. 35).

Ainda do ponto de vista estratégico, Lage (2001, p. 49) destaca que:

Na nova ordem mundial, não há nação verdadeiramente soberana que não disponha de um acervo de inovações tecnológicas impulsionando seu sistema produtivo para uma atuação competitiva enquanto nação. Por outro lado, não há nação forte sem um mínimo de autonomia tecnológica que lhe possibilite participar vantajosamente dos intercâmbios tecnológicos que contribuem para aumentar a competitividade das economias nacionais. Nesse cenário, a tecnologia passou a representar um fator relevante e decisivo no processo de desenvolvimento sustentável, a medida que se percebe que os países mais desenvolvidos são aqueles que produzem e se utilizam de tecnologia ou inovações tecnológicas e os países mais pobres aqueles que dependem de tecnologia para impulsionarem seus sistemas produtivos e que muitas vezes não podem arcar com seus custos e investimentos.

O grau de independência de produtos e tecnologia externa é fator de grande relevância, tornando o país mais ou menos susceptível a problemas econômicos ou políticos externos. Produtos de grande influência na economia e desenvolvimento do país devem ter a sua dependência externa reduzida cada vez mais, buscando-se, na medida do possível, a autonomia nacional.

(iii) Dimensão social

Na análise de alternativas, a sustentabilidade social merece destaque especial. Além de fatores como geração de emprego, distribuição de renda e acesso a serviços e infra-estrutura básicos, ressalta-se o envolvimento das comunidades nas tomadas de decisão. Atividades como planejamento local e participativo e monitoramento das ações públicas pelas comunidades ganham destaque.

Acreditando que o desenvolvimento humano é preponderante para o desenvolvimento sustentável, o Relatório Brundtland (CMMAD, 1991, p. 10) vai mais além quando afirma que:

Para haver um desenvolvimento sustentável é preciso atender às necessidades básicas de todos e dar a todos a oportunidade de realizar suas aspirações de uma vida melhor. Um mundo onde a pobreza é endêmica estará sempre sujeito a catástrofes, ecológicas ou de outra natureza.

A redução das desigualdades é “indispensável” de acordo com a Agenda 21 Brasileira, quando aponta que são necessárias ações no sentido de que “*a estrutura do sistema político nacional apresente maior grau de abertura para as políticas de redução das desigualdades e de eliminação da pobreza absoluta*” (CPDS, 2002, p. 17).

Camargo (2002, p. cxxv) aponta como principais entraves sociais para o desenvolvimento sustentável, entre outros: desigualdade e exclusão social; inexistência ou falta de uma educação ambiental mais efetiva e adequada; questões relacionadas à pobreza, como fome, endemias, analfabetismo, baixo nível de escolaridade, violência e falta de condições básicas de sobrevivência; indivíduos descontextualizados econômica e politicamente; falta ou superficialidade e parcialidade de informações para a organização da sociedade civil e também para um exercício mais consciente e pleno da cidadania; e baixa representatividade social.

Acserald, Mello e Bezerra (2009, p. 9) conceituam “justiça ambiental” como contraponto ao fenômeno de imposição desproporcional dos riscos ambientais às populações menos dotadas de recursos financeiros, políticos e informacionais (“injustiça ambiental”). Justiça ambiental é, portanto, a denominação de um quadro de vida futuro no qual essa dimensão ambiental da

injustiça social venha a ser superada. Essa noção tem sido utilizada para constituir uma nova perspectiva a integrar as lutas ambientais e sociais.

Acreditando que a promoção da justiça social é princípio fundamental da dimensão social e que a pobreza, crescente e crônica, torna a sociedade “doente” e sem “cura”, Lage (2001, p. 42) destaca que:

(...) a pobreza não pode ser combatida com políticas assistencialistas que não resultam no desenvolvimento de capacidades dos que estão nessa situação, ao contrário acentuam ainda mais o status quo de incapacidade de superação das condições de pobreza e da permanente relação de dependência, que em última instância gera o clientelismo político.

Além disso, Lage (2001, p. 42) destaca que “*outro ponto fundamental na luta para a superação das condições de pobreza é a questão da educação, pois ela influencia o desenvolvimento das capacidades e habilidades humanas*”.

Nesse sentido, deve-se buscar sempre a melhora da qualidade de vida da população, conceito abstrato, mas que deve atender, no mínimo, as necessidades básicas para a sobrevivência como alimentação adequada, saúde, habitação, saneamento básico, educação e lazer.

(iv) Dimensão territorial

Configurações urbanas e rurais balanceadas, melhoria do ambiente urbano e superação de disparidades inter-regionais são condições a serem perseguidas. Os limites e potencialidades locais e regionais devem ser bem conhecidos, de forma a aproveitá-los ao máximo (SACHS, 2002, p. 71 e 86).

Rossetto (2003, p. 20) aponta que as cidades têm se apresentado como palco de inúmeros contrastes. As cidades, mesmo sendo cerne de progresso, possibilitando a proximidade às oportunidades de geração de renda, acesso à cultura, lazer, serviços e vida social diversificada, também geram inúmeros problemas. Existem sérios impactos ao meio ambiente, espaços desqualificados e insalubres, exclusão e marginalidade e, freqüentemente, impõem um ritmo de vida incompatível com os conceitos estabelecidos de qualidade de vida. Outros problemas estão relacionados à violência, engarrafamentos extensos, inundações e poluição sonora e do ar.

Lage (2001, p. 45) alerta que:

De fato, não é mais possível e nem admissível o aumento populacional nas áreas urbanas e o esvaziamento nas áreas rurais. A Terra não suporta, nem a sociedade. Nessa perspectiva, as políticas públicas voltadas para o desenvolvimento sustentável devem ser orientadas para a construção de um cenário urbano-rural mais equilibrado e com uma melhor distribuição territorial dos assentamentos humanos e das atividades econômicas.

Como opções para viabilizar a sustentabilidade territorial, fundamentando-se nos princípios de frear a mobilidade demográfica e promover um desenvolvimento sustentável das cidades, tem-se: desconcentração de atividades econômicas; acesso a serviços e implantação de infraestrutura básica à localidades rurais e; planejamento, gestão e políticas públicas que minimizem os impactos das concentrações urbanas.

(v) Dimensão cultural

Segundo Sachs (2002, p. 71), quando da mudança de aspectos culturais é importante o equilíbrio entre a tradição e a inovação. É necessária autonomia para elaboração de um projeto nacional integrado e endógeno, em oposição a cópias de modelos externos/alienígenas. A combinação entre a abertura para o mundo e a autoconfiança é fundamental.

Lage (2001, p. 48) destaca o potencial da cultura para a geração de riqueza:

(...) o uso da cultura como estratégia para o desenvolvimento sustentável pode se transformar num forte aliado para a geração de riqueza, a partir da exploração dos recursos culturais, composto por bens tangíveis tais como os monumentos, as obras de arte e o artesanato, e por bens intangíveis, que são aqueles guardados nas mentes e corações das pessoas, como as histórias e as tradições, além do patrimônio natural preservado. Dentro dessa ótica, as atividades econômicas voltadas para o turismo podem se transformar num meio propulsor para um desenvolvimento equitativo e sustentável, ao mesmo tempo que fortalece e preserva as culturas locais.

A mesma autora (2001, p. 48) ressalta que a oportunidade de desenvolvimento econômico pode ser conflitante com os valores e padrões culturais. Nesses casos, o aspecto econômico

não deve servir como meio para descaracterização cultural, o que desvalorizaria a riqueza contida na língua, costumes e artes populares.

Rubim (2007, p. 147) aponta para a necessidade de preservação da diversidade cultural. O autor ressalta a importância da diversidade cultural como uma das maiores riquezas da humanidade, tão fundamental quanto a biodiversidade para o futuro do planeta e da humanidade.

A inserção de tecnologias pouco conhecidas nas comunidades deve ser limitada. Na medida do possível, devem-se aliar práticas já inseridas na tradição local com inovações tecnológicas. As tradições culturais devem ser mantidas e incentivadas, equilibrando-as com novas práticas.

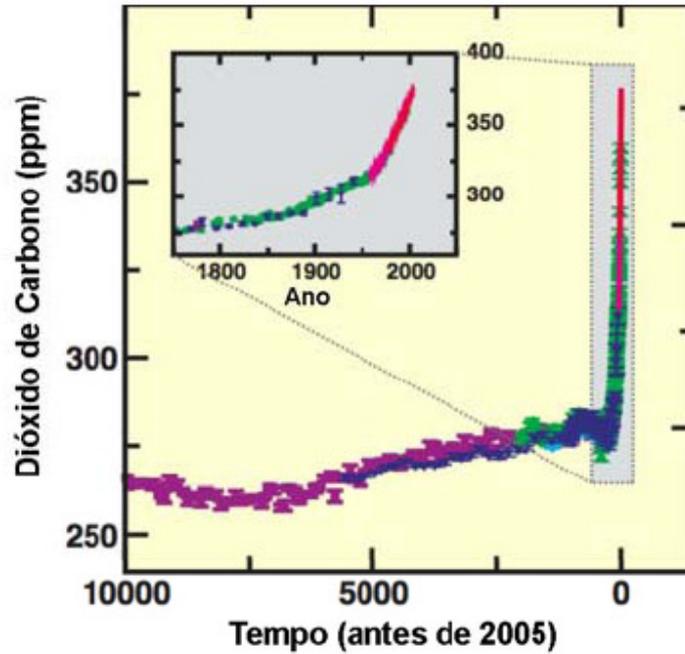
Estudos relacionados às mudanças climáticas apontam cenários preocupantes para o planeta e enfatizam a necessidade de adoção de práticas mais sustentáveis.

2.3 Mudanças climáticas

O Quarto Relatório de Avaliação do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2007a, p. 31-33) descreve significativos avanços no entendimento dos fatores relacionados às mudanças climáticas. O progresso científico tem como base uma grande quantidade de dados novos e mais compreensíveis, uma análise de dados mais sofisticada e uma melhora no entendimento dos processos e suas simulações em modelos.

Os cenários climáticos projetados pelo IPCC sinalizam para significativas alterações climáticas até o final do século, podendo trazer significativos prejuízos à sociedade.

O relatório apontou que a concentração de gás de carbono, de gás metano e de óxido nitroso na atmosfera global tem aumentado marcadamente como resultado de atividades humanas. A Figura 3 apresenta o drástico crescimento nas concentrações de CO₂ a partir da Revolução Industrial (o quadro grande representa o comportamento nos últimos 10.000 anos, enquanto que o quadro menor, desde 1750).

Figura 3 - Mudanças na concentração de CO₂

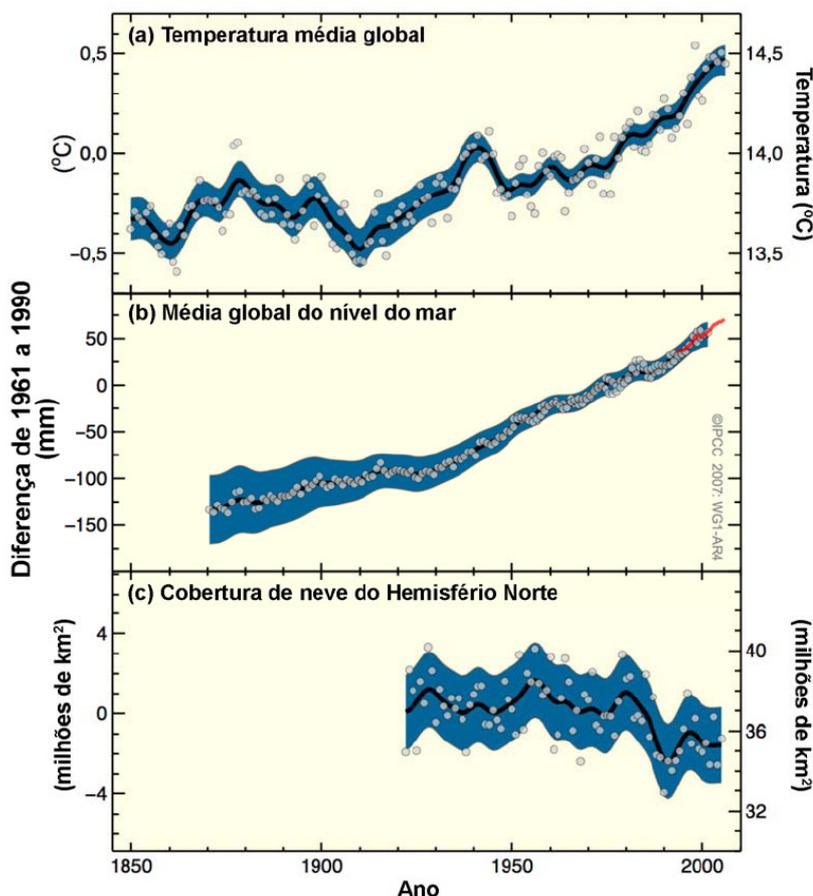
Fonte: Adaptada de IPCC (2007b, p. 4)

O gás carbônico é o de maior participação para o efeito estufa, sendo os combustíveis fósseis a sua principal fonte de contribuição (IPCC, 2007a, p. 39). A melhor compreensão das influências antrópicas nas alterações do clima permitiu afirmar, com uma confiança de 90%, que o efeito líquido global das atividades humanas desde 1750 foi de aquecimento.

Foram constatadas mudanças de longo prazo no clima, em escalas continental e regional, abrangendo alterações de temperatura, padrões de vento e aspectos de eventos climáticos extremos, como secas, precipitação forte, ondas de calor e intensidade dos ciclones tropicais.

Considerando os avanços na compreensão do clima desde a publicação do Terceiro Relatório, o IPCC evidenciou o aquecimento climático, baseando-se nas observações dos aumentos das temperaturas médias globais do ar, do derretimento da neve no hemisfério norte e da elevação do nível global médio do mar, conforme Figura 4.

Figura 4 - Alterações na temperatura, no nível do mar e na cobertura de neve

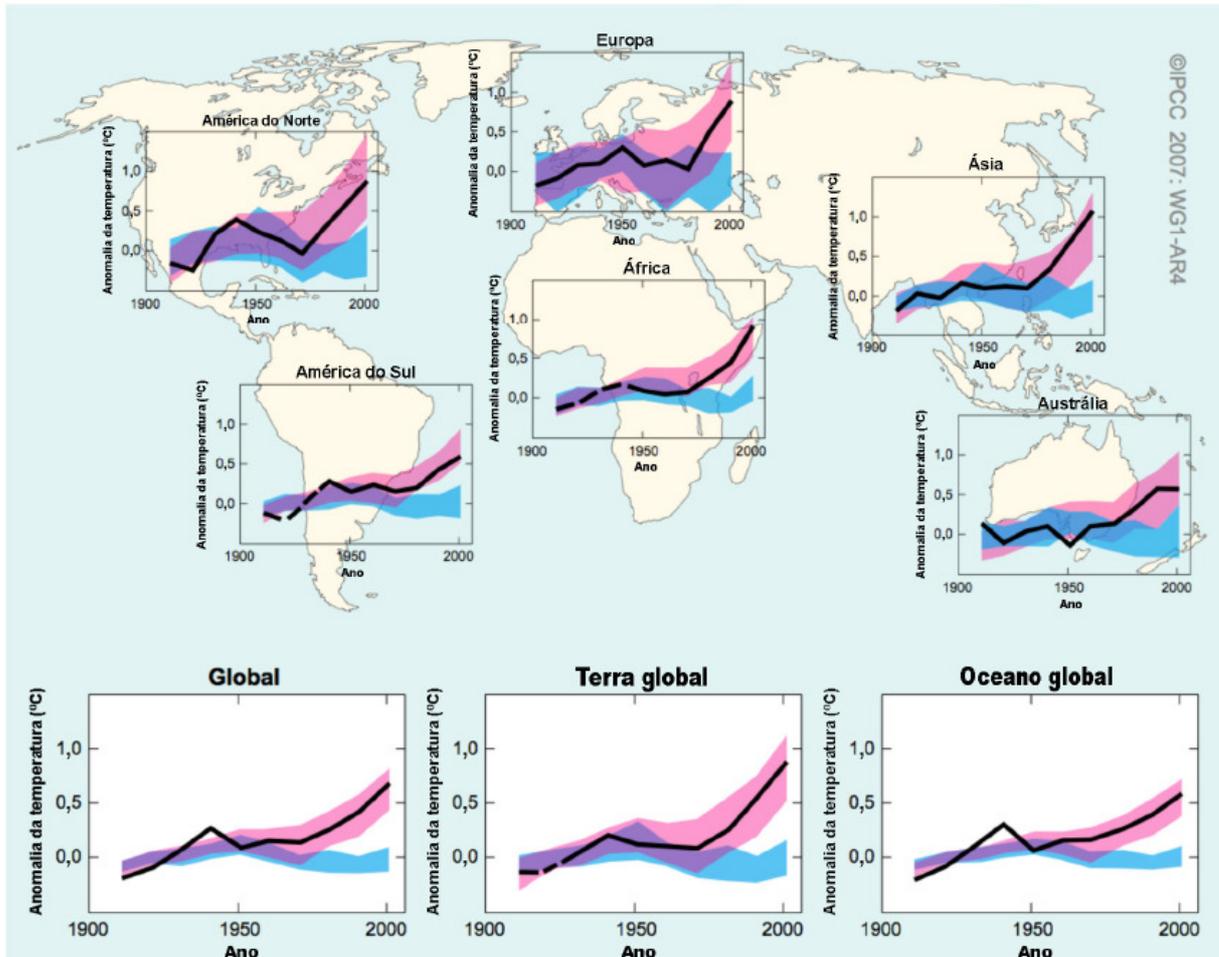


Fonte: IPCC (2007b, p. 9)

O Quarto Relatório de Avaliação do IPCC apresenta um avanço na avaliação das projeções da mudança do clima em função do grande número de simulações disponíveis feitas com uma gama maior de modelos. Juntamente com as informações adicionais obtidas de observações, elas fornecem uma base quantitativa para estimar as probabilidades de muitos aspectos da mudança do clima no futuro.

Na Figura 5 observam-se as mudanças de temperatura como resultado de simulações de modelos climáticos, usando-se influências naturais e humanas. As linhas pretas representam medições. As zonas azuis indicam as simulações dos modelos climáticos com o uso apenas das influências naturais devidos à atividade solar e aos vulcões. As zonas rosas mostram as simulações dos modelos climáticos com influências de eventos naturais e antrópicos.

Figura 5 - Mudanças na temperatura global e continental



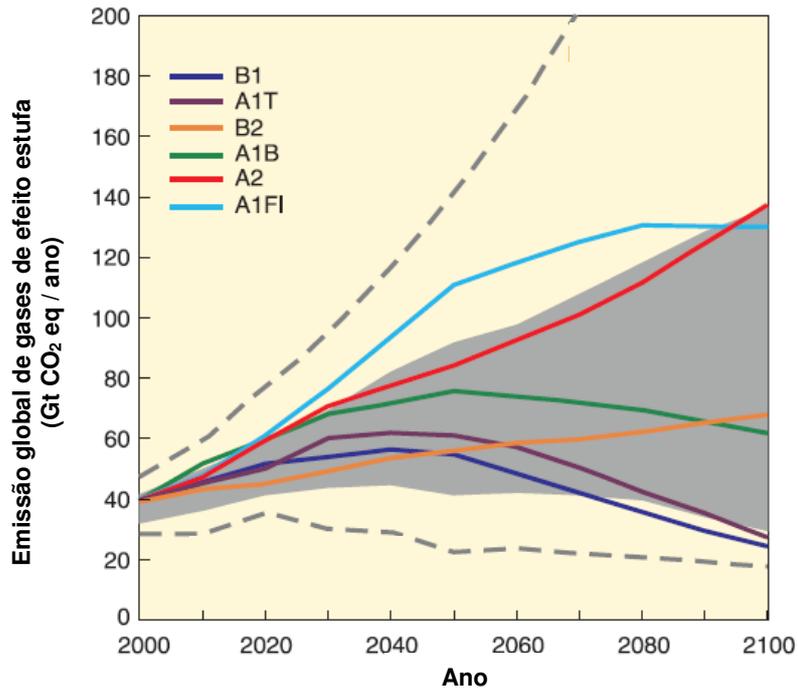
Fonte: IPCC (2007b, p. 17)

A modelagem do clima baseia-se em equações matemáticas que buscam reproduzir o comportamento do sistema climático global e prever o que acontecerá com a temperatura e com outros parâmetros do clima até 2100.

Nas simulações são utilizados diferentes cenários futuros, inclusive suposições idealizadas de emissão ou concentração de gases do efeito estufa. Os modelos operam a partir de seis cenários possíveis, que pressupõem trajetórias distintas para uma série de fatores econômicos. O cenário mais otimista, chamado de B1, é aquele em que todos os países deixariam progressivamente de usar os combustíveis fósseis como fonte de energia e passariam a consumir a energia obtida de fontes alternativas. No cenário mais pessimista, o A1FI, todas as nações adotariam o caminho oposto, ou seja, buscariam o crescimento econômico a qualquer custo, sem tentar reduzir o uso de fontes poluentes de energia, como o petróleo e o carvão.

A Figura 6 apresenta a projeção de emissão de gases do efeito estufa (eixo y) para os diferentes cenários ao longo do tempo (eixo x). A linha azul clara representa o cenário mais pessimista (A1F1), enquanto que a linha azul escura ilustra as projeções considerando o cenário mais otimista (B1). Os outros cenários representam situações intermediárias.

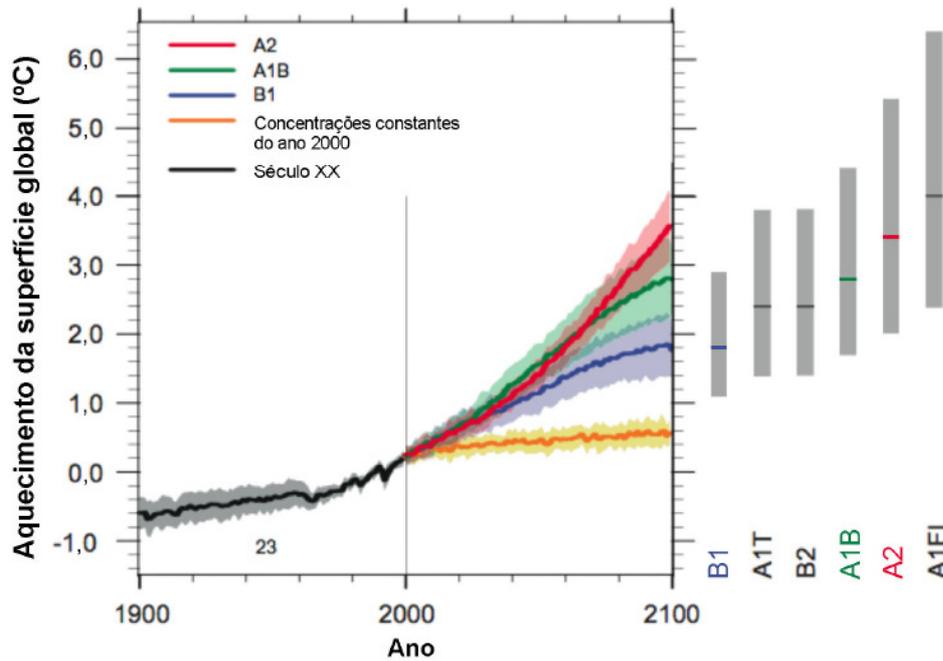
Figura 6 - Cenários de emissão de gases do efeito estufa de 2000 até 2100



Fonte: Adaptado de IPCC (2007a, p. 44)

Com relação ao aumento das temperaturas, conforme retratado na Figura 7, para o cenário mais otimista, os modelos indicam um aumento entre 1,1 e 2,9 graus Celsius na temperatura média global (linha azul do gráfico), enquanto que para o mais pessimista, a elevação da temperatura seria mais intensa, de 2,4 a 6,4 graus (linha vermelha). A linha laranja representa as projeções se fossem mantidas constantes as concentrações do ano 2000.

Figura 7 - Variações da temperatura média global para os modelos avaliados

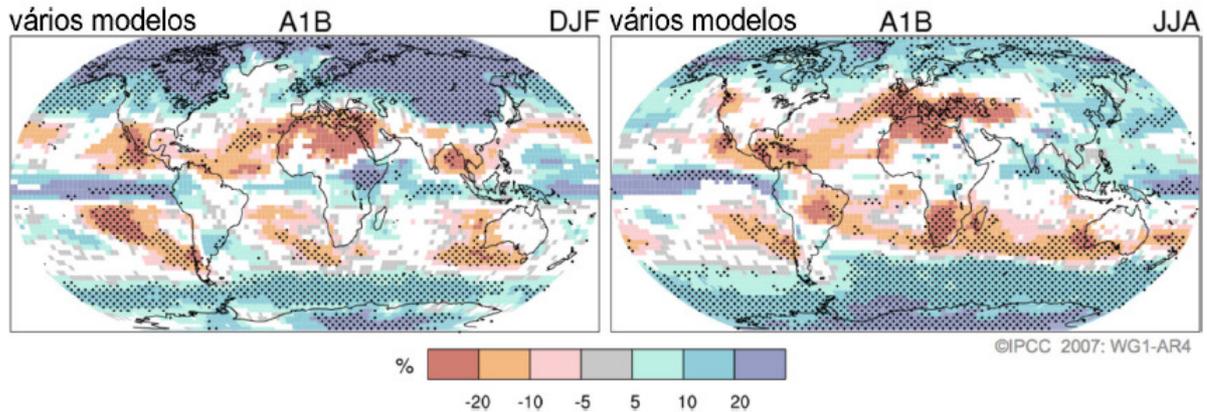


Da Figura 7, observa-se também que mesmo mantidos constantes nos níveis do ano 2000, uma tendência de aquecimento adicional ocorreria nas próximas duas décadas a uma taxa de cerca de 0,1°C por década (linha laranja). Adicionalmente, nas próximas duas décadas, é esperado um aquecimento de 0,2°C por década independente do cenário.

A continuação das emissões de gases de efeito estufa nas taxas atuais ou acima delas acarretaria um aquecimento adicional e induziria muitas mudanças no sistema climático global durante o século XXI.

Foram constatadas também tendências de alterações nas precipitações. A Figura 8, a seguir, apresenta os resultados encontrados pelos modelos utilizando o cenário A1B (intermediário). As áreas em vermelho/rosa representam redução nas precipitações, as áreas em azul, acréscimo, e as áreas em que os modelos não convergiram estão em branco. A figura da esquerda refere-se aos meses de dezembro a fevereiro, e a da direita, aos meses de junho a agosto. Foi comparado o período 2090 – 2099 em relação ao período 1980 – 1999.

Figura 8 - Projeções de mudanças na precipitação



Fonte: IPCC (2007b, p. 23)

Com base nos progressos alcançados em relação ao Terceiro Relatório do IPCC, há mais certeza nas projeções dos padrões de aquecimento e de outras características de escala regional, inclusive das mudanças nos padrões do vento, precipitação e alguns aspectos dos eventos extremos e do gelo. O relatório aponta que é muito provável que extremos de calor e eventos de forte precipitação continuem sendo mais frequentes.

Os prejuízos à sociedade em caso de se concretizarem as mudanças climáticas sinalizadas pelos modelos são alarmantes:

Uma elevação na temperatura média do planeta até o final do século, como previsto nos cenários mais pessimistas do IPCC, pode reduzir a disponibilidade de alimentos e levar mais 530 milhões de pessoas a passar fome. Calcula-se também que 3,2 bilhões de indivíduos venham a enfrentar escassez de água, enquanto 20% da população mundial passe a viver em zonas sujeitas a enchentes. Mais preocupante: estudos mais recentes sugerem que essas estimativas são conservadoras e que as conseqüências das alterações climáticas podem ser ainda mais graves (FIOCRUZ & UFMG, 2009, p. 8)

Os impactos decorrentes de aumento na temperatura média global vão depender da intensidade das alterações. Apresentam-se nos parágrafos seguintes alguns dos principais impactos projetados.

Com relação à disponibilidade de água, espera-se aumento da disponibilidade nos trópicos úmidos e nas altas latitudes, redução da disponibilidade e aumento das secas nas latitudes

médias e nas latitudes baixas e centenas de milhões de pessoas expostas ao aumento da escassez de água (IPCC, 2007a, p. 48-51).

Para os ecossistemas, até 30% das espécies correm risco crescente de extinção, mesmo sem considerar os cenários mais pessimistas. Adicionalmente, projeta-se aumento das alterações da distribuição das espécies e do risco de incêndios florestais. Estima-se aumento dos danos decorrentes de inundações e tempestades e mais pessoas podem ser atingidas por inundações em áreas litorâneas.

Para os alimentos, impactos negativos localizados e complexos nos pequenos proprietários, fazendeiros de subsistência e pescadores. Há uma tendência de redução da produtividade dos cereais nas latitudes baixas. Na área da saúde, os impactos variam do aumento da mortalidade decorrente de ondas de calor, inundações e secas, aumento da desnutrição, diarreia, doenças cardiorespiratórias e infecciosas e incremento nos gastos com serviços de saúde (IPCC, 2007a, p. 48-51).

A confiabilidade das informações e projeções futuras aumentou em decorrência dos aprimoramentos metodológicos. Os impactos à sociedade mundial decorrentes do aquecimento global são evidentes e de conseqüências desanimadoras. Ações preventivas tornam-se extremamente necessárias.

Há evidências da ocorrência de eventos extremos decorrentes das alterações climáticas. Secas, enchentes, ondas de calor e de frio, furacões e tempestades afetaram diferentes partes do planeta, produzindo enormes prejuízos à sociedade, inclusive no Brasil. Marengo & Valverde (2007, p. 6) mencionam o furacão Catarina em março de 2004, a recente seca da Amazônia em 2005 e as secas observadas no sul do Brasil em 2004, 2005 e 2006. De acordo com os autores, alterações na biodiversidade, aumento no nível do mar e impactos na saúde, agricultura e geração de energia hidrelétrica, já podem estar afetando o Brasil, assim como o restante do planeta.

Partindo dos resultados apresentados pelo IPCC, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE realizou estudos específicos buscando avaliar cenários de mudanças climáticas para o Brasil no Século XXI (MARENGO et al., 2007). A ênfase do estudo é nos cenários A2 (segundo cenário pessimista, considera que o mundo continuará consumindo energia gerada predominantemente a partir de combustíveis fósseis), A1B (situação intermediária) e B2

(segundo cenário otimista, aposta no surgimento de uma matriz energética global mais equilibrada com igual participação de fontes renováveis e combustíveis fósseis).

Os pesquisadores concluíram que muitos dos cenários produzidos pelos modelos ainda podem ter problemas em representar realmente os processos físicos que acontecem na natureza. Projeções de extremos climáticos, geradas pelos modelos do IPCC, apontam para um aquecimento maior durante o inverno e estações de transição, assim como para uma tendência de noites mais quentes. O risco de haver ondas de calor é bastante grande, especialmente nas regiões subtropicais da América do Sul (MARENGO et al., 2007, p. 153-158).

Com relação ao Brasil, na bacia do Prata, as simulações indicam elevação na temperatura do ar, resultando em um acréscimo previsto na evaporação e evapotranspiração, podendo comprometer a disponibilidade de água para agricultura, consumo ou geração de energia. Na Amazônia, os modelos sinalizam para redução de chuvas, embora exista tendência de aumento da chuva no futuro. A extensão de uma estação seca nessa região poderia afetar o balanço hidrológico regional, comprometendo atividades humanas.

Para o Nordeste, a tendência é de redução de chuvas acompanhada de aumento da temperatura para finais do século XXI. Para algumas regiões, em especial o Pantanal, os modelos apontaram diferenças entre tendências de mudanças de temperatura e chuvas geradas, sugerindo que ainda há um grau de incerteza nas projeções do clima futuro na região. Ainda assim, pode-se afirmar uma tendência de clima mais quente e possivelmente com chuvas mais irregulares concentradas em poucos dias nessa região (MARENGO et al., 2007, p. 155).

Embora ainda não se tenha um resultado claro e certo sobre os possíveis impactos da mudança do clima na distribuição espacial e temporal dos recursos hídricos no continente, esse fato não pode ser utilizado para evitar ações imediatas.

Regiões como o Nordeste e o Centro Oeste são altamente vulneráveis, pela dependência da energia elétrica e a presença ou a ausência de água. Nessas regiões as mudanças do clima podem aumentar o risco imposto pela crescente população, industrialização e mudanças no uso da terra associadas à agricultura e à pecuária.

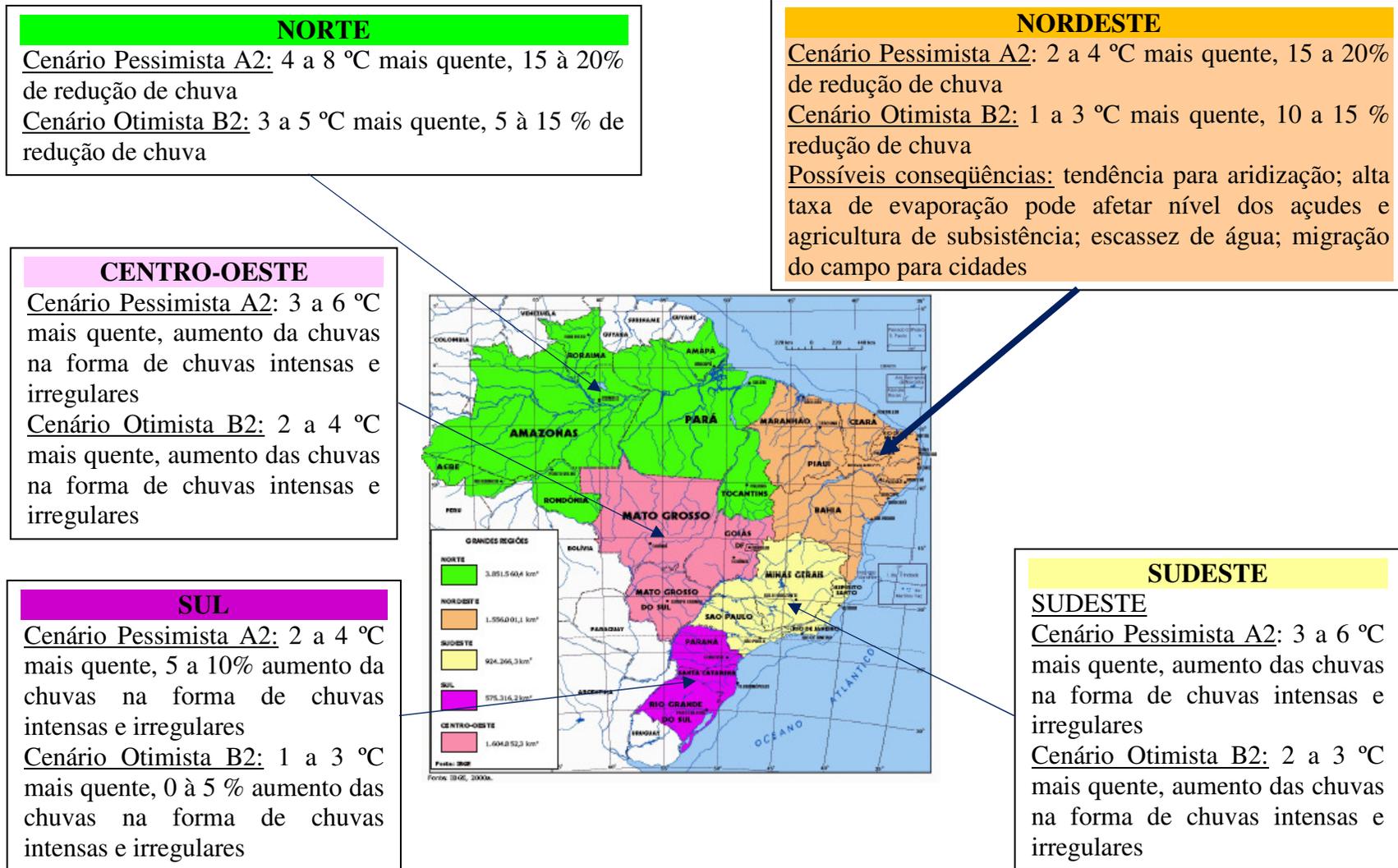
Evidências científicas apontam para o fato de que as mudanças climáticas representam um sério risco para os recursos hídricos no Brasil. As projeções do clima sugerem que na

Amazônia e no Nordeste a chuva pode reduzir em até 20% no final do século XXI, em um cenário de altas emissões. O Sul do Brasil experimenta um aumento da chuva na forma de extremos (MARENGO, 2008, p. 11).

Tanto os cenários mais pessimistas como os mais otimistas projetados pelo IPCC sinalizam para o aumento na temperatura média global mundial, com graves consequências para a sociedade. O Nordeste brasileiro em particular, fortemente heterogêneo do ponto de vista natural e socioeconômico, é apontado com uma das regiões a ser mais afetada pelas mudanças climáticas (MARENGO et al., 2007, p. 134).

A Figura 9, elaborada a partir de dados do relatório do INPE, apresenta breve resumo dos cenários projetados para as regiões do Brasil.

Figura 9 - Resumo das projeções para as diferentes regiões do Brasil



Fonte: Elaborada pelo autor a partir de MARENGO et al. (2007)

Diante da necessidade de construir respostas para enfrentar esses problemas, a Fundação Oswaldo Cruz - FIOCRUZ juntamente com a Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, partindo de estudos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, elaboraram estudo a respeito dos impactos econômicos, sociais, ambientais e demográficos conseqüentes das mudanças climáticas no Nordeste do Brasil até 2050 (FIOCRUZ & UFMG, 2009).

Diante dos diferentes cenários utilizados pelo IPCC, o estudo adotou apenas dois cenários, que seriam mais adequados para a realidade brasileira: (i) o A2 (o segundo mais pessimista), que prevê que o mundo continuará consumindo energia gerada predominantemente a partir de combustíveis fósseis, ocasionando uma elevação de 2 a 5,4 °C na temperatura; (ii) o B2 (o segundo cenário mais otimista), que aposta no surgimento de uma matriz energética global mais equilibrada, com igual participação de fontes renováveis e de combustíveis fósseis, resultando em um aumento de 1,4 a 3,8 °C.

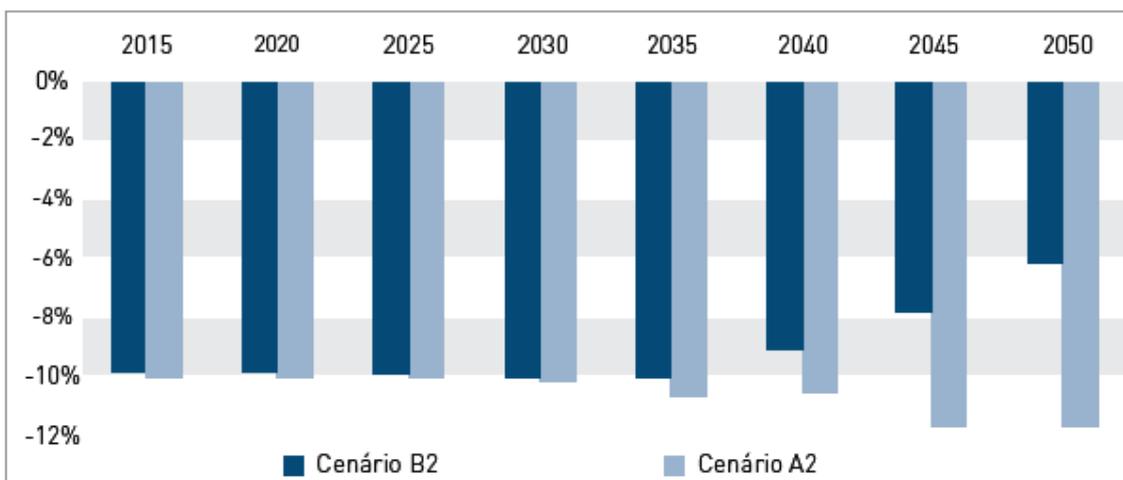
O estudo aponta que a nova realidade climática poderá afetar toda a cadeia econômica da região. Além disso, os impactos resultarão em degradação da qualidade de vida, em especial de crianças e idosos. O aumento da temperatura deverá afetar de modo mais intenso as regiões mais pobres do planeta, que são menos aptas a se adaptarem às imposições resultantes das alterações climáticas. No Brasil, a região mais vulnerável é o Nordeste, sendo o Semi-Árido a área que deverá enfrentar as transformações mais drásticas. Projeções climáticas regionais feitas pelo INPE indicam uma grande redução de chuvas no Semi-Árido, que se tornará ainda mais seco. Com a diminuição das chuvas, pode haver uma redução de até 70% na recarga dos aquíferos da região (FIOCRUZ & UFMG, 2009, p. 10).

Projeta-se uma desaceleração no desempenho econômico da região, com possível queda na disponibilidade de empregos, que decorrerá essencialmente dos efeitos do aumento da temperatura sobre a agricultura, base de subsistência para milhões de famílias.

As alterações no clima deverão diminuir significativamente a disponibilidade de terras aptas para a agropecuária, na medida em que alteram parâmetros cruciais como a temperatura e a precipitação. Os estados mais afetados pela redução de terras agricultáveis serão Ceará, com perda de até 79,6% em área, Piauí, Paraíba e Pernambuco, com perda de até 64,9%, considerando variação até 2050 (FIOCRUZ & UFMG, 2009, p. 26).

Caso as mudanças climáticas se confirmem, prevê-se a redução da produção agrícola, em especial da agricultura de subsistência, fonte de renda para milhões de famílias. Essa redução atingirá o crescimento do PIB da região. As estimativas são preocupantes, tanto considerando o cenário de maior emissão de gases do efeito estufa, quanto o mais otimista deles. Para ambos os cenários, modelos econômicos indicam que a queda na produção agrícola, resultaria em um crescimento no PIB inferior ao esperado sem os efeitos das alterações climáticas. Para o cenário pessimista, projeta-se uma redução de 11,4% em relação ao crescimento sem as alterações, enquanto que para o mais otimista, a redução seria de 6,4%, conforme Figura 10.

Figura 10 - Efeito da mudança climática sobre o PIB do Nordeste



Fonte: FIOCRUZ & UFMG (2009, p. 25)

A redução de 11,4% (cenário mais pessimista) equivale a dois anos de expansão na economia da região, tendo como base o crescimento observado entre 2000 e 2005. Analisando cada um dos estados em separado, o mais susceptível às alterações climáticas é Pernambuco (com queda de 18,6% na taxa de evolução do Produto Interno Bruto - PIB para o cenário de mais emissão de gases), seguido da Paraíba (17,7%), PiauÍ (17,5%) e Ceará (16,4%).

Trabalhadores rurais e suas famílias se deslocarão para outras regiões de seus Estados ou do País e para setores menos afetados da economia, gerando migração e deslocamento de capital. O crescimento mais lento da economia, associado a uma possível redução de trabalho nas áreas mais afetadas pela seca, pode desencadear importantes ondas migratórias.

Sem o efeito das mudanças climáticas, estima-se uma taxa de migração quinquenal do Nordeste em torno de 0,29% no período entre 2010 e 2050 (migração para grandes centros urbanos do Nordeste e de outras regiões). Projeções demográficas sugerem o aumento de até

24% nos índices de migração quinquenal caso o cenário mais pessimista se concretize. Embora, mesmo para esse cenário, a taxa de migração não se compara às observadas no período do milagre econômico (1960 – 1970), quando até 4% dos nordestinos deixaram as suas terras.

Uma das dificuldades adicionais dos imigrantes no novo local de moradia é a restrição do acesso a serviços públicos, em especial água e esgoto. Além do aumento na demanda em locais que já não fornecem serviços adequados e não dispõem da necessária infra-estrutura. Estudos já mostraram que famílias com menos de cinco anos de residência no município para onde migraram apresentam uma chance menor de residir em habitações com água encanada do que as pessoas do mesmo nível sócio-econômico que já moram no lugar há mais tempo.

Com o rearranjo populacional projetam-se também acréscimos nos gastos com saúde. A probabilidade de disseminação de enfermidades endêmicas no Nordeste tende a aumentar (como mal de Chagas, dengue e esquistossomose), sendo essa uma consequência indireta das alterações climáticas na saúde. A elevação da temperatura poderá agravar as enfermidades crônico-degenerativas da população de idosos. Em função dessas alterações, projeta-se o crescimento dos gastos com internações hospitalares e atendimentos ambulatoriais, que devem aumentar 49% em relação aos gastos de 2005 (FIOCRUZ & UFMG, 2009, p. 17).

Deve-se considerar também que os grandes centros urbanos nordestinos apresentam restrições na oferta de água tratada. Associada aos efeitos das mudanças climáticas, a redistribuição da população poderá ampliar ainda mais a escassez de água, prejudicando significativamente as atividades econômicas e a qualidade de vida.

O trabalho da FIOCRUZ e UFMG, mesmo quando considera os cenários otimistas de alterações climáticas, aponta para graves problemas no Nordeste, como queda taxa de crescimento do PIB, maior incidência e suscetibilidade a doenças, maiores gastos com saúde, redução da qualidade de vida e migração das áreas mais carentes para os grandes centros urbanos do Nordeste e para outras regiões do País.

As consequências decorrentes das alterações climáticas são preocupantes. Embora ainda exista um grande grau de incerteza acerca dos modelos utilizados para previsão do clima, torna-se cada vez mais clara a tendência do aquecimento global e dos seus resultados danosos.

A energia é o fator humano de maior influência para as emissões de gases do efeito estufa (IPCC, 2007a, p. 36). É imprescindível para o desenvolvimento social e econômico do planeta, sendo necessário o entendimento das complexas interações entre energia, desenvolvimento e meio ambiente. Além disso, trata-se de uma área sensível aos efeitos das alterações climáticas.

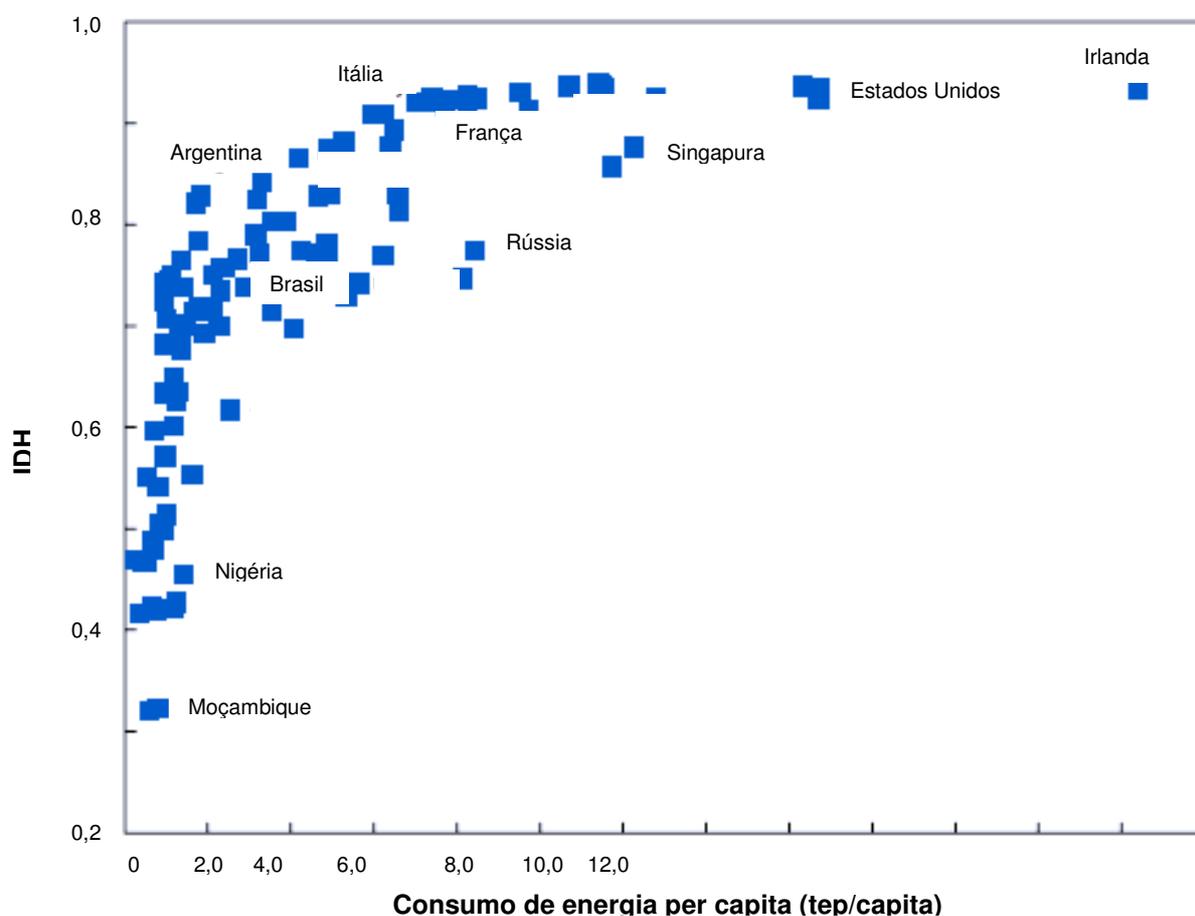
No tópico seguinte serão tratados aspectos relacionados à energia e meio ambiente e como as alterações climáticas podem influenciar o setor energético no Brasil, em especial a geração de eletricidade no Nordeste. Serão também apresentados indicadores de sustentabilidade para o setor.

2.4 Energia, desenvolvimento e meio ambiente

Uma forma de mensurar o desenvolvimento humano é por meio do levantamento das oportunidades e escolhas dos indivíduos, e a energia é capaz de modificá-las completamente. A utilização de moinhos de vento, rodas d'água e motores elétricos, por exemplo, representam ganhos significativos de produtividade e alteram hábitos dos cidadãos beneficiados. O acesso à energia permite uma melhora de vida significativa à população, resultando em satisfação de necessidades básicas, como alimentação, vestuário e habitação, além de promover maior conforto, produtividade e mobilidade.

Por outro lado, embora o consumo de energia cresça cada vez mais e resulte numa série de benefícios, o acesso, a quantidade e a forma da energia consumida variam drasticamente dos países desenvolvidos para os em desenvolvimento e da parcela mais rica para a pobre da população de um mesmo país ou região (UNDP et al., 2000, p. 3).

Países com maiores Índices de Desenvolvimento Humano – IDH's caracterizam-se por um maior consumo de energia *per capita*, conforme Figura 11 (o eixo y representa o IDH e o eixo x representa o consumo *per capita* de energia). Da mesma forma, as regiões que mais sofrem com a falta de energia elétrica são aquelas com menores IDH's. No Brasil, as regiões Norte e Nordeste são as mais afetadas (PNUD, 2004).

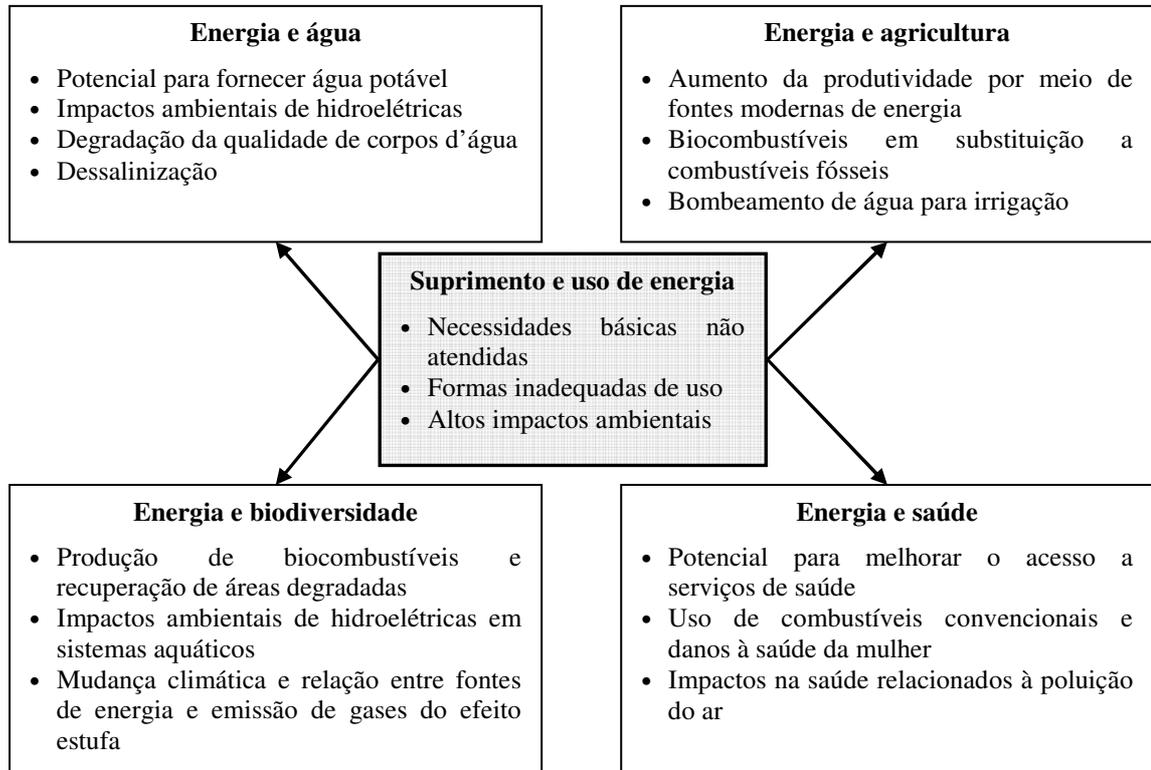
Figura 11 - Relação entre IDH e consumo *per capita* de energia

Fonte: UNDP et al. (2004, p. 27)

A possibilidade de um mundo mais equilibrado e sustentável, com consumo energético *per capita* bem distribuído e atendendo às necessidades básicas da humanidade, parece factível. Acredita-se que graus de desenvolvimento comparáveis aos alcançados até o presente são possíveis sem aumento semelhante no consumo de energia (REIS & CUNHA, 2006, p. 21).

A energia tem papel fundamental em diversas questões relacionadas à qualidade de vida. A Figura 12 exemplifica diversas interfaces da energia com abastecimento de água, saúde, agricultura e biodiversidade.

Figura 12 - Interfaces entre energia e água, saúde, agricultura e biodiversidade



Fonte: Adaptada de UNDP et al. (2004, p. 21)

Os desafios sociais também estão relacionados com as opções energéticas. Diferentes alternativas de produção e consumo de energia podem resultar em melhoras nas condições sociais. Universalizar os serviços de eletricidade é um exemplo da importância, e influência, de políticas energéticas na qualidade de vida da sociedade. No Brasil, a universalização dos serviços de eletricidade não tem sido tarefa fácil, nem no mundo. Estima-se que 30% da população mundial não têm acesso a energia elétrica (REIS, FADIGAS & CARVALHO, 2005, p. 24). O Quadro 2 apresenta relações entre a opção energética e questões sociais.

Quadro 2 - Relações entre a opção energética e questões sociais

Desafios sociais	Interfaces entre energia e questões sociais
Redução da pobreza nos países em desenvolvimento	<ul style="list-style-type: none"> • Melhorar à saúde e aumentar a produtividade promovendo universalização do acesso adequado aos serviços de energia – particularmente para cozinha, iluminação e transporte. • Permitir acesso à fontes comerciais de energia para aumentar oportunidades de geração de renda.
Aumento de oportunidades para as mulheres	<ul style="list-style-type: none"> • Incentivar o uso fornos modernos e combustíveis líquidos ou gasosos para reduzir a poluição do ambiente, melhorando a saúde da mulher. • Promover o acesso à energia comercial para minimizar tempo e condições insalubres de serviço na casa ou trabalho. • Aproveitar as habilidades gerenciais e empreendedoras da mulher para um melhor aproveitamento de sistemas descentralizados de energia.
Aceleração da transição demográfica (baixar taxas de mortalidade e natalidade)	<ul style="list-style-type: none"> • Reduzir a mortalidade infantil pela introdução de combustíveis e serviços de cozinha mais limpos e de água potável. • Usar serviços de energia para diminuir a necessidade da ajuda das crianças em trabalhos domésticos. • Influenciar o tamanho da família por meio de campanhas de comunicação, acessíveis por meio de equipamentos dependentes de energia.
Mitigação dos problemas associados à rápida urbanização	<ul style="list-style-type: none"> • Reduzir os motivos de migração do campo para cidade, melhorando os serviços de energia nas áreas rurais. • Potencializar as vantagens e minimizar as desvantagens de assentamentos urbanos de alta densidade populacional, por meio do planejamento de uso e ocupação do solo. • Promover o acesso universal de serviços multi-modais de transporte e transporte público • Aproveitar novas tecnologias para evitar usos intensivos de energia e degradação ao meio ambiente.

Fonte: Adaptado de UNDP et al. (2004, p. 35)

A exploração das fontes de energia apresenta riscos ao meio ambiente, podendo trazer conseqüências locais, regionais e globais. A Tabela 1 apresenta substâncias tóxicas e outros poluentes atribuídos aos sistemas de geração de energia e outras atividades humanas. O índice de influência humana utilizado na tabela representa o quociente entre a geração humana de determinado produto e a geração natural. Por exemplo, no caso do enxofre, a emissão natural para a atmosfera é de 31 milhões de toneladas por ano e o índice de influência humana é de 2,7, indicando que atividades antrópicas resultam na emissão de 84 milhões de toneladas por ano de enxofre, que é 2,7 vezes maior que a natural. Juntamente com outras atividades, os sistemas de energia afetam significativamente o ciclo global de importantes substâncias

químicas. Embora o índice por si só não demonstre que as emissões resultem em impactos negativos, as suas magnitudes alertam que tais impactos podem ser consideráveis.

Tabela 1 - Alterações no meio ambiente resultantes de atividades humanas

Alteração no meio ambiente	Índice de influência humana	Parcela da influência humana causada pela queima de combustíveis fósseis
Emissão de enxofre para atmosfera	2,7	8,5%
NOx liberado para a atmosfera	0,5	12%
CO ₂ liberado para a atmosfera	0,05	75%
Emissão de material particulado para atmosfera	0,12	35%

Obs.: Embora o índice de influência humana relativo à emissão de CO₂ possa aparentar ser pequeno, esse desbalanceamento está causando significativo acréscimo na concentração global do gás carbônico.

Fonte: UNDP et al. (2004, p. 41)

Além da queima de combustíveis fósseis, um exemplo de empreendimentos de geração de energia com elevado risco para impactos ambientais são as grandes hidroelétricas. Esses empreendimentos trazem inúmeros benefícios para a sociedade, como aumento da oferta de energia elétrica e oportunidade para dinamizar o desenvolvimento regional. Por outro lado, não se devem desprezar os impactos negativos decorrentes dos reservatórios, visto que podem resultar em sérios danos ao meio ambiente, muitas vezes irreversíveis. Entre os impactos negativos tem-se: perda de ecossistemas naturais (aquáticos e terrestres), emissões de gases do efeito estufa, assoreamento, mudanças significativas no regime de vazão do rio, mudanças na morfologia da área da costa, erosão do solo, desmatamento, deslocamentos populacionais, perda de riquezas arqueológicas e culturais, surgimento de ambientes adequados para a proliferação de vetores transmissores de doenças (como malária) e perda de áreas agriculturáveis, florestas e paisagens.

A forma de geração de energia apresenta riscos ao desenvolvimento sustentável do planeta. Alarde semelhante está contido na Agenda 21 Global, no capítulo 9.9 (ONU, 1992):

A energia é essencial para o desenvolvimento social e econômico e para uma melhor qualidade de vida. Boa parte da energia mundial, porém, é hoje produzida e consumida de maneira que não poderiam ser sustentadas caso a tecnologia permanecesse constante e as quantidades globais aumentassem substancialmente. A necessidade de controlar as emissões atmosféricas de gases que provocam o efeito estufa e de outros gases e substâncias deverá basear-se cada vez mais na eficiência, produção, transmissão, distribuição e consumo da energia, e em uma dependência cada vez maior de sistemas

energéticos ambientalmente saudáveis, sobretudo de fontes de energia novas e renováveis. Todas as fontes de energia deverão ser usadas de maneira a respeitar a atmosfera, a saúde humana e o meio ambiente como um todo.

Segurança no abastecimento energético é estratégica para o desenvolvimento. Recentes aspectos relacionados à dependência externa no suprimento de energia servem de alerta, tais como aqueles ligados ao petróleo e ao gás natural. Essa é uma preocupação dos países que têm forte dependência de importação de combustíveis, principalmente os fósseis. A diminuição da dependência externa deve ser uma busca constante. As fontes alternativas surgem como opção para a diversificação e aumento da capacidade de produção de energia, de forma endógena, diminuindo a importação de combustíveis.

O setor de energia é o responsável pelo maior crescimento na emissão dos gases do efeito estufa, tendo nos combustíveis fósseis sua principal fonte de contribuição (IPCC, 2007a, p. 39). Dos gases que contribuem para o efeito estufa, o gás carbônico é o de maior participação.

O maior responsável pelas emissões de gases do efeito estufa no mundo é o setor energético, que também pode sofrer graves conseqüências em decorrência das alterações climáticas. Em estudo realizado por especialistas da COPPE (SCHAEFFER et al., 2008) para o caso brasileiro, considerando cenários traçados pelo IPCC e projeções feitas pelo INPE, concluiu-se que “*o sistema energético brasileiro é vulnerável à mudança climática*” (SCHAEFFER et al., 2008, p. 21). Entre as regiões, “*o Nordeste será a região mais afetada*”.

Para o setor elétrico, o estudo aponta significativas reduções nas vazões dos rios, e, conseqüentemente, na geração hidroelétrica. A Tabela 2 apresenta as estimativas de redução da vazão média em diferentes bacias, segundo dois cenários, ambos pessimistas (A2 – mais pessimista e B2 – mais otimista). Embora o cenário A2 seja mais pessimista, as previsões de redução de vazão são menores em virtude de que, se o cenário A2, tal como modelado pelo INPE, prevê temperaturas mais elevadas causadas pelas emissões maiores, o cenário B2 prevê menos chuva. No estudo não foi considerada a evaporação nos reservatórios.

Tabela 2 - Variação da vazão em relação às projeções para 2100

Bacia	A2	B2
Rio Paraná Grande	-2,4%	-8,2%
Paranaíba	1,0%	-3,4%
Parapanema	-5,9%	-5,9%
Parnaíba	-5,0%	-5,7%
São Francisco	-10,1%	-10,3%
Tocantins-Araguaia	-23,4%	-26,4%
Média	-14,7%	-15,8%
	-8,6%	-10,8%

Fonte: Schaeffer et al. (2008, p. 23)

A redução da vazão resulta em menor geração hidroelétrica, embora não na mesma intensidade, em razão dos efeitos amortecedores dos reservatórios. Considerando as crescentes restrições ambientais para os grandes reservatórios, há uma tendência de utilização maior das usinas a fio d'água (baixa capacidade de regularização de vazão), logo, os efeitos de redução de vazão serão maiores na redução da geração elétrica.

Com relação ao potencial eólico, o estudo também aponta para queda. Em ambos os cenários a redução pode ser de até 60%, comparando o existente em 2001 com as projeções para 2100. As simulações indicam tendência de perda de potencial eólico no interior e concentração das áreas favoráveis à geração no litoral do Norte-Nordeste, onde a ocorrência de altas velocidades aumentará, mas não o suficiente para compensar as perdas no interior.

Projeta-se uma concentração do potencial eólico em áreas do litoral nordestino. Com as modificações no regime dos ventos, essas áreas, que nas condições atuais já são propícias ao aproveitamento eólico, passariam a ser ainda mais, favorecendo a viabilidade econômica dos projetos, especialmente no litoral do Nordeste (Schaeffer et al., 2008, p. 32).

O estudo aponta também para uma redução na eficiência das térmicas a gás natural, em virtude da perda de rendimento das turbinas com o aumento da temperatura ambiente.

Para mensurar e avaliar a sustentabilidade, uma das ferramentas é a utilização de indicadores. Trata-se de medidas fundamentais para operacionalizar o conceito de desenvolvimento sustentável. Estudos são realizados com objetivo de aprimorar os parâmetros de sustentabilidade do setor energético e do elétrico em específico.

2.4.1 Indicadores de sustentabilidade do setor energético

A utilização de indicadores é uma das metodologias aplicadas na análise da sustentabilidade do setor energético. Acredita-se que por meio desses é possível melhor compreender as relações, movimentos e resultados das ações.

Existem várias pesquisas que apresentam indicadores para avaliação da sustentabilidade no setor energético. Dentre os documentos relativos aos indicadores de sustentabilidade para a geração de energia elétrica energia, três foram destacados na presente pesquisa:

- *World Energy Assessment – Energy and the Challenge of Sustainability* (UNDP et al., 2000): relatório coordenado pelo Prof. José Goldemberg, foi resultado de uma atuação conjunta do *United Nations Development Program – UNDP*, *United Nations Department of Economic and Social Affairs - UNDESA* e *World Energy Council – WEC*. O relatório apresenta uma análise de questões sociais, econômicas, ambientais e de segurança, relativos à oferta e consumo de energia, e aponta opções para a sustentabilidade;
- *Propuestas de Políticas Sustentables para el Cono Sur* (BERMANN, 2002): relatório coordenado pelo Prof. Célio Bermann, foi elaborado por um grupo de trabalho constituído por participantes do Programa Chile Sustentável, Programa Uruguai Sustentável, Projeto Brasil Sustentável e Democrático e Programas Argentina Sustentável e Paraguai Sustentável. No documento é exposto um diagnóstico das reservas, produção e consumo energético desses países, e apresentado pilares de sustentabilidade, princípios para integração energética e políticas e mecanismos para promoção da sustentabilidade energética;
- *Energy Indicators for Sustainable Development: Guidelines and Methodologies* (IAEA et al., 2005): esse documento foi elaborado por *International Atomic Energy Agency – IAEA*, *United Nations Department of Economic and Social Affairs*, *International Energy Agency – IEA*, *Eurostat – ES* e *European Environment Agency – EEA*, com objetivo de definir uma lista de indicadores energéticos para o desenvolvimento sustentável, assim como metodologia e diretrizes para a sua utilização. A expectativa dos autores é de que o trabalho possa ser utilizado para os países avaliarem seus sistemas energéticos, assim como monitorar seus progressos ao longo do tempo.

Nos parágrafos seguintes apresenta-se breve descrição dos estudos supracitados.

(i) *World Energy Assessment – Energy and the Challenge of Sustainability*

No relatório da ONU, a partir de diferentes cenários projetados, foram exploradas perspectivas futuras para a terra. Os diferentes cenários foram analisados utilizando-se de forma qualitativa os indicadores do Quadro 3.

Quadro 3 - Indicadores de Sustentabilidade, segundo a ONU

1	Erradicação da pobreza
2	Redução das diferenças de renda
3	Promoção da universalização do acesso à energia
4	Aumento da disponibilidade de energia
5	Redução de impactos adversos à saúde
6	Redução da poluição do ar
7	Limitação do uso de elementos radioativos de longa vida
8	Limitação do uso de materiais tóxicos
9	Limitação das emissões de gases do efeito estufa
10	Aumento do uso de fontes endógenas de energia
11	Melhoria da eficiência do fornecimento de energia
12	Aumento da eficiência no uso final
13	Difusão tecnológica

Fonte: UNDP et al. (2000, p. 339)

Algumas conclusões do estudo foram:

- há cenários que são compatíveis com os objetivos do desenvolvimento sustentável;
- desenvolvimento sustentável não será alcançado com as políticas e tendências de desenvolvimento vigentes. Para atingi-lo é necessária uma grande mudança de paradigma;
- mudanças de paradigmas são mais eficientes se implementadas de forma gradual e contínua, de forma a atingirem resultados significativos ao longo do tempo, ou seja, acumulando efeitos que somados representam mudanças radicais;
- acesso adequado aos serviços de energia e alocação de recursos de forma bem distribuída são questões cruciais para a sustentabilidade; e
- medidas de proteção e preservação são essenciais, visto que a geração e o consumo de energia resultam em impactos negativos ao meio ambiente.

(ii) *Propuestas de Políticas Sustentables para el Cono Sur*

Para a elaboração das propostas de políticas públicas e mecanismos de implementação de uma integração energética sustentável, foram utilizados os pilares e indicadores quali-quantitativos apresentados no Quadro 4.

Quadro 4 - Pilares e indicadores de sustentabilidade, segundo Bermann

Pilares	Indicadores
Dependência e vulnerabilidade	<ul style="list-style-type: none"> • Grau de independência energética.
Segurança e qualidade energética	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento da oferta em função da demanda; • Redução de perdas;
Equidade	<ul style="list-style-type: none"> • Índices de eletrificação e qualidade do serviço; • Diminuição das carências energéticas; • Percentual dos gastos do cidadão com energia; • Equidade entre regiões.
Meio ambiente	<ul style="list-style-type: none"> • Emissão de gases do efeito estufa; • Substituição de recursos energéticos não renováveis; • Redução de impactos locais e/ou regionais como contaminação dos recursos hídricos e do solo e perda de biodiversidade.
Democracia	<ul style="list-style-type: none"> • Participação dos órgãos de regulação; • Participação da sociedade civil na tomada de decisões energéticas (acesso a informações e ao conhecimento técnico científico, construção de consensos e instâncias adequadas para discussão com a sociedade).
Potencial de sustentabilidade	<ul style="list-style-type: none"> • Promoção de eficiência energética; • Desenvolvimento de tecnologias novas e renováveis; • Incremento da participação de fontes alternativas; • Capacitação tecnológica das indústrias de equipamentos para geração de energia; • Capacitação de recursos humanos; • Promoção de educação ambiental; • Restrição a produtos mais eletros-intensivos.

Fonte: Adaptado de Bermann (2002)

Os autores alertam que os princípios para integração energética do Cone Sul não devem ser baseados unicamente na lógica de mercado. Tal lógica resulta fundamentalmente na fórmula de redução de custos, que implica em medidas que favorecem acumulação de capital e não resolvem o problema de suprimento energético. A estratégia sustentável não deve seguir o sistema clássico, de grandes geradores privados, grandes hidroelétricas ou termoelétricas, em pequeno número, conectados à rede de transmissão.

A alternativa a ser adotada deve pautar-se em um processo de complementação energética que fortaleça a região e seu entorno, e permita alcançar aceitáveis níveis de autonomia, respeitando variações sazonais e características locais. O processo de negociação das alternativas deve ser transparente e com participação das autoridades locais e da sociedade civil organizada.

(iii) *Energy Indicators for Sustainable Development: Guidelines and Methodologies*

Os indicadores energéticos para o desenvolvimento sustentável listados no estudo foram agrupados em três grandes grupos – Sociais, Econômicos e Ambientais, e divididos por temas e sub-temas, conforme Quadros 5, 6 e 7. No Quadro 5 são apresentados os indicadores sociais, no Quadro 6 encontram-se os econômicos e no Quadro 7 os ambientais.

Quadro 5 - Indicadores sociais, segundo a IAEA

Tema	Sub-tema	Indicador
Igualdade	Acessibilidade	• Percentual de residências (ou população) sem eletricidade ou energia comercial, ou fortemente dependente de energia não-comercial
	Capacidade de aquisição	• Percentual do orçamento doméstico gasto em combustível ou eletricidade
	Disparidades	• Consumo energético doméstico (por tipo de combustível) de acordo com a classe social
Saúde	Segurança	• Acidentes fatais por energia produzida em toda a cadeia

Fonte: IAEA et al (2005, p. 11)

Quadro 6 - Indicadores econômicos, segundo a IAEA

Tema	Sub-tema	Indicador	
Consumo e Produção	Consumo	• Consumo de energia <i>per capita</i>	
	Produtividade	• Consumo de energia / PIB	
	Eficiência no suprimento	• Eficiência na conversão e na distribuição de energia	
	Produção		• Reservas energéticas/ produção total de energia
			• Recursos energéticos totais estimados/ produção total de energia
	Uso final		• Uso energético na indústria
			• Uso energético na agricultura
			• Uso energético no comércio
			• Uso energético residencial
			• Uso energético no setor de transportes
Diversificação (mix de combustíveis)		• Matriz energética e elétrica	
		• Participação de combustíveis não fósseis na matriz energética e elétrica	
		• Participação de fontes renováveis na matriz energética e elétrica	
Preços		• Preço final da energia por combustível	
Segurança	Importação	• Percentual de energia importada	
	Estoque estratégico de combustíveis	• Estoque de combustível (gás, petróleo...)/ consumo total do combustível	

Fonte: IAEA (2005, p. 12-13)

Quadro 7 - Indicadores ambientais, segundo a IAEA

Tema	Sub-tema	Indicador
Atmosfera	Mudanças climáticas	• Emissão de gases do efeito estufa <i>per capita</i> e pelo PIB
	Qualidade do ar	• Concentrações de poluentes atmosférico em áreas urbanas
Água	Qualidade da água	• Descarga de efluentes líquidos, incluindo óleo
Solo	Qualidade do solo	• Área de solo com níveis de acidificação acima do crítico
	Área verde	• Taxa de desmatamento
	Geração e manejo de resíduos sólidos	• Geração de resíduos sólidos
		• Disposição adequada de resíduos sólidos
• Geração de resíduos sólidos radioativos		
		• Percentual de resíduos sólidos radioativos aguardando disposição adequada

Fonte: IAEA et al (2005, p. 14-15)

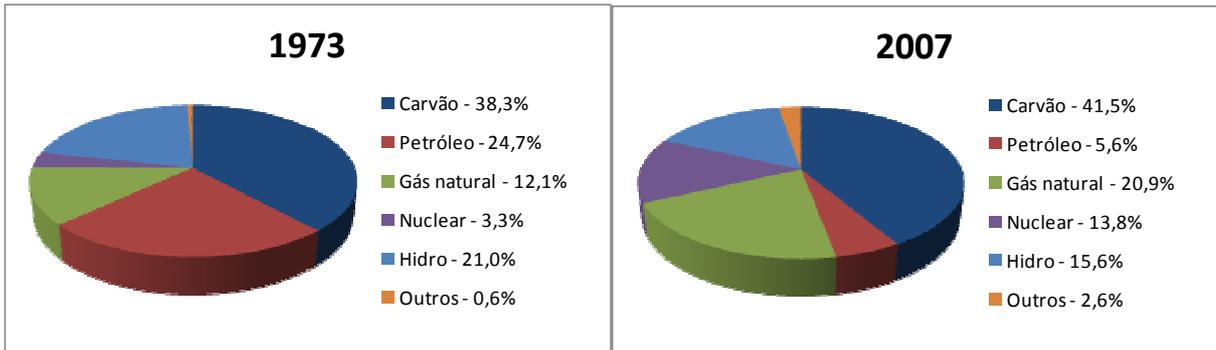
A necessidade de se promover o desenvolvimento sustentável passa a ser cada vez mais evidente. A análise dos projetos sob o prisma de diferentes dimensões da sustentabilidade e a utilização de indicadores apresentam-se como opção para uma avaliação mais efetiva.

O setor energético é responsável por uma série de impactos positivos e mantém relação direta com o desenvolvimento, por outro lado, é também responsável por impactos negativos para o planeta. No setor elétrico em especial, as fontes alternativas apresentam-se como opção para promoção de desenvolvimento menos agressivo ao meio ambiente. No tópico seguinte apresenta-se o estado da arte da energia eólica no mundo e no Brasil.

2.5 Energia eólica

Anualmente são produzidos mais de 19.000 bilhões de kWh de energia elétrica no mundo (IEA, 2009a, p. 24). Desses, cerca de 68% são provenientes da queima de combustíveis fósseis (sendo 41,5% de carvão), seguido das hidrelétricas, usinas nucleares e outras fontes, conforme apresentado na Figura 13, que retrata o percentual de cada fonte na produção elétrica mundial dos anos de 1973 e 2007.

Figura 13 - Produção de energia elétrica mundial, por fonte, em 1937 e em 2007



Fonte: IEA (2009a, p. 24)

A participação da energia eólica na matriz mundial ainda é pequena, no entanto sua contribuição vem crescendo rapidamente nos últimos anos. Atualmente a energia eólica para geração de eletricidade é a fonte que mais cresce na União Européia, com um crescimento médio anual de 25% desde 1990 (GWEC, 2006, p. 6; EWEA, 2009, p. 3; GWEC, 2009, p. 11). Incentivos e regulamentos específicos vêm sendo criados ao redor do mundo e têm papel fundamental na expansão eólica.

Na seqüência deste capítulo é apresentado o histórico, estado da arte da tecnologia eólica para geração de energia elétrica e panorama da sua utilização no mundo e no Brasil. Além dos aspectos técnicos, é de grande relevância uma discussão mais ampla, buscando-se levantar questões históricas e entender a motivação que levou países desenvolvidos a incentivarem a energia eólica.

2.5.1 Histórico

O vento vem da associação entre a energia solar e a rotação planetária. Os movimentos de translação e rotação e a não uniformidade de temperaturas na superfície terrestre resultam na circulação atmosférica. A radiação solar é absorvida pelo solo ou água e por condução transferida para o ar, o aquecimento desigual provoca diferenças de densidade e pressão, resultando no movimento do ar. Energia eólica é a denominação dada à energia cinética contida nas massas de ar em movimento.

O início do aproveitamento da energia eólica tem data imprecisa. Acredita-se que por volta 5000 A.C os egípcios já faziam uso prático do vento (CAMARGO, 2005, p. 60-63). O

aproveitamento do vento foi utilizado por diferentes civilizações, auxiliando na condução de embarcações e substituindo a força motriz humana e animal em atividades agrícolas.

A partir da Idade Média as forças aerodinâmicas passaram a ser utilizada em maior escala. Grandes navegações tornaram-se viáveis e as máquinas eólicas ficaram mais eficientes (RIBEIRO, 2008, p. 36-41).

No século XIV houve uma diversificação no uso de moinhos de vento, as máquinas já apresentavam grande evolução técnica e eram largamente utilizadas como fonte de energia para moagem de grãos, serrarias e bombeamento de água. Nos séculos seguintes o uso das máquinas eólicas teve grande expansão na Europa, destacando-se na Holanda. A Figura 14 representa o moinho holandês.

Figura 14 - Tradicional moinho holandês



Fonte: EWEA (2004, p.8)

Com a Revolução Industrial, as máquinas a vapor se destacaram e houve um declínio dos moinhos de vento, inicialmente na Europa, posteriormente nas Américas (DUTRA, 2007, p. 315-317). Na segunda metade do século XIX, motivado pelo fim da escravidão, houve uma maior aplicação de máquinas eólicas nos EUA. Os cataventos multipás eram utilizados principalmente para bombeamento de água, e seu uso expandiu-se para outros países do continente, inclusive o Brasil.

A primeira turbina eólica para geração de energia elétrica foi desenvolvida em 1888 pelo americano Charles Brush (1849-1929), para carregar um sistema de baterias. A turbina era composta por um gerador de 12 kW, e o diâmetro do rotor tinha 17 metros. Esse sistema contribuiu muito para o progresso da tecnologia eólica. No final do século XIX, na Dinamarca, surgiram as primeiras turbinas eólicas para geração de eletricidade na Europa.

No início do século XX foram desenvolvidas e utilizadas turbinas eólicas de pequeno porte para suprimento de energia elétrica em comunidades isoladas, tendo vasta aplicação nos EUA, entre 1930 e 1960. Na medida em que as redes de distribuição passaram a atender as comunidades rurais isoladas, essas máquinas foram gradualmente caindo em desuso.

Até a Segunda Guerra Mundial, foram desenvolvidas pesquisas em vários países para produção de aerogeradores de grande porte (DUTRA, 2007, p. 318-320). Em 1939 foi instalada em Vermont, EUA, uma turbina eólica de 1,25 MW, com diâmetro das pás de 53 m. Essa eólica representou um importante marco tecnológico e promoveu valiosas informações sobre diferentes parâmetros de projeto e fadiga dos equipamentos. Com o início da era dos combustíveis fósseis e o término da Segunda Guerra, pouco foi incrementado ao parque eólico existente.

Após o choque do petróleo, na década de 70, foram retomados investimentos na diversificação da matriz de energia e as fontes alternativas começaram a entrar em evidência. Principalmente os europeus e americanos vislumbraram nessas fontes uma saída para reduzir a dependência do petróleo e carvão. Iniciou-se, em escala comercial, a utilização dos ventos para geração elétrica, aproveitando-se conhecimentos da indústria aeronáutica. Em 1971, o Programa Federal de Energia Eólica adotado pelos EUA promoveu o levantamento do potencial eólico em várias regiões do País. Pesquisas referentes a diferentes concepções e materiais foram desenvolvidas.

Nas décadas de 80 e 90, incentivados por políticas específicas, os parques eólicos de maior porte interligados na rede elétrica começaram a competir com fontes convencionais de energia elétrica. Desde a década de 80, quando a primeira turbina comercial foi implementada, a capacidade instalada, eficiência e designe visual evoluíram muito (GWEC, 2008, p. 11).

Acredita-se que vários aspectos levaram os países desenvolvidos a investirem nas fontes renováveis, entre eles destacam-se: grandes demandas energéticas, visto que são países de consumo intensivo; necessidade de diminuição da dependência de importação de combustíveis, por questões estratégicas (econômicas e políticas) - os combustíveis fósseis encontram-se concentrados em poucas regiões, que historicamente têm conflitos, com tendências de agravamento, assim como aumento dos preços; a demanda por eletricidade é crescente; preocupação com as condições climáticas globais, como o aquecimento do planeta, em decorrência dos gases de efeito estufa.

A energia eólica aparece como uma das opções para mitigar os problemas supracitados, visto: grande potencial para exploração; o combustível é o vento, ou seja, não apresenta riscos geopolíticos, nem variações de preço; fonte endógena de energia e permanentemente disponível; centrais eólicas são construídas em curto período de tempo; grande perspectiva de redução dos custos; baixos impactos ambientais e pouca emissão de gases de efeito estufa (considerando todo ciclo de vida dos equipamentos).

No Brasil, o primeiro aerogerador de maior porte foi implantado em 1992, na Ilha de Fernando de Noronha/ PE, com potência nominal de 75 KW, 3 pás e 17 metros de diâmetro. A Figura 15 representa um parque eólico com tecnologia atual (Parque Eólico RN 15 - Rio do Fogo, no Rio Grande do Norte), cujo início de operação foi em 2006.

Figura 15 - Parque eólico em operação



Fonte: André Delgado, 2006

2.5.2 Estado da arte

Nos parágrafos seguintes é realizada uma breve descrição dos princípios de conversão da força dos ventos para geração de eletricidade e da tecnologia atualmente adotada.

A energia cinética dos ventos é convertida em energia mecânica de rotação da turbina e em seguida em elétrica pelo gerador. A força resultante da energia cinética depende do perfil aerodinâmico das pás, que com pequenas mudanças podem resultar em significativas alterações na potência do vento extraída pela turbina.

A taxa de energia eólica por unidade de tempo (potência) é dada pela Equação 1:

$$P = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times v^3 \quad (1)$$

Onde:

P = potência eólica disponível;

ρ = massa específica do ar;

A = área da seção transversal;

v = velocidade do vento.

A partir da fórmula apresentada observa-se que:

- a potência eólica é diretamente proporcional à densidade do ar: considerando que a densidade do ar tende a ser menor com o aumento da altitude, tem-se que em locais de grande altitude extrai-se menos energia que ao nível do mar, mantendo-se os outros parâmetros constantes;
- a potência eólica é diretamente proporcional à área varrida pelas pás: dessa forma a potência é proporcional ao quadrado do diâmetro do rotor;
- a potência eólica é proporcional ao cubo da velocidade: evidenciando que a escolha do local adequado para implantação do parque eólico é de fundamental importância.

Há uma série de fatores que interferem na velocidade do vento e devem ser considerados quando da escolha do local dos parques, como a rugosidade do terreno por exemplo. A velocidade do vento diminui com a fricção na superfície, logo o tipo da superfície (mar aberto, área agrícola...) determinará a variação da velocidade em função da altura. A turbulência é outro fator importante, uma vez que mudanças rápidas de velocidade resultam

em perda de eficiência dos aerogeradores e podem ocorrer devido à interferência de obstáculos como prédios e árvores. Existe também a interferência entre turbinas (efeito parque), que deve ser avaliado e mitigado na fase de projeto.

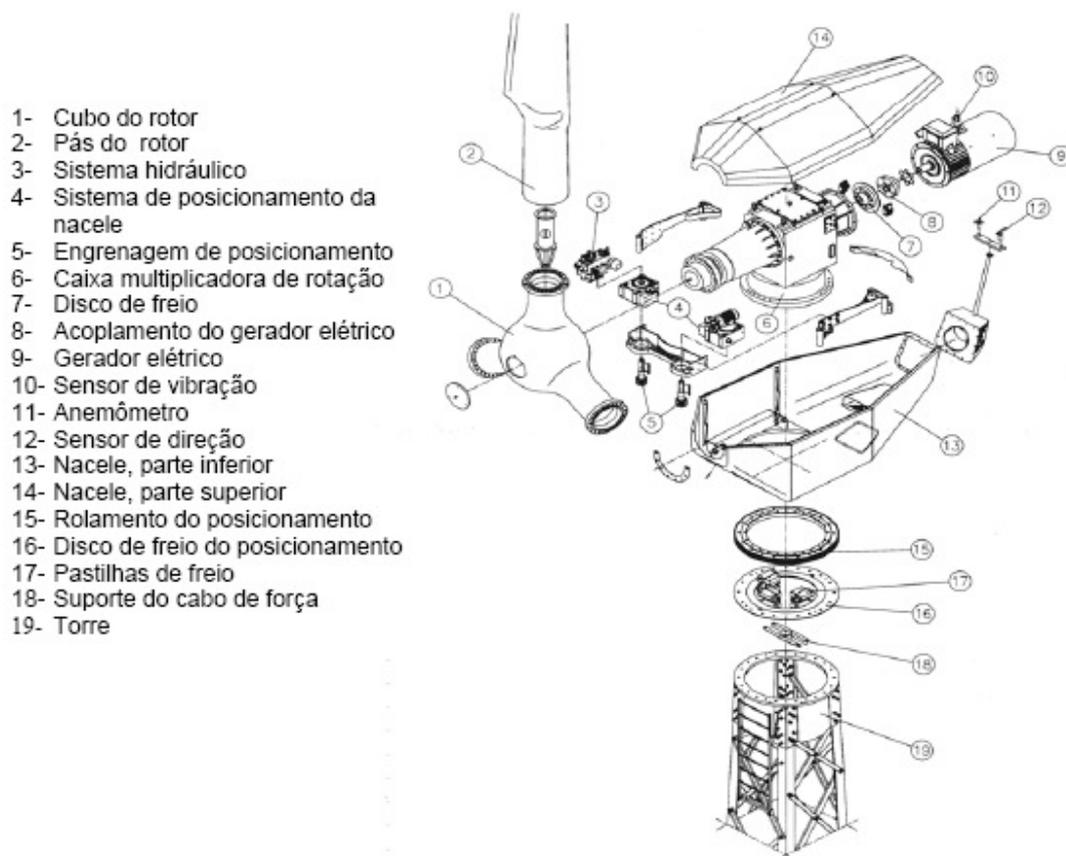
Os parques eólicos são constituídos pelos aerogeradores, torres de sustentação, transformadores e subestação. O trabalho harmônico entre essas partes resultará em um maior rendimento final. A seguir são apresentados resumidamente os componentes que devem ser considerados para o sistema eólico:

- vento: disponibilidade energética local para instalação do sistema;
- pás do rotor: captam o vento e convertem sua potência ao centro do rotor;
- rotor: transforma a energia cinética do vento em trabalho mecânico de rotação;
- transmissão e caixa multiplicadora: transmite a energia mecânica do rotor para o gerador. Alguns geradores não utilizam a caixa multiplicadora, sendo o eixo do rotor diretamente conectado ao do gerador;
- gerador elétrico: converte o trabalho mecânico em energia elétrica, pode ser síncrono ou assíncrono;
- mecanismos de controle: instrumentos responsáveis pela orientação do rotor, controle de velocidade, etc.;
- nacelle: contém as principais componentes da turbina, protegendo-os de elementos externos;
- torre: sustenta e posiciona a turbina na altura e posição conveniente;
- conversor: equipamento eletrônico (composto por retificador, inversor, etc.) que converte a energia gerada pela turbina, em geral em corrente alternada de tensão e frequências variáveis, para níveis adequados à injeção na rede;
- transformador: transforma a voltagem de saída do gerador na da rede elétrica;
- subestação: local onde é realizada a conexão à rede elétrica.

As turbinas eólicas, ou aerogeradores, são responsáveis pela transformação da energia cinética do vento em eletricidade. As turbinas podem ser de eixo horizontal ou vertical, sendo estas últimas de reduzida utilização. As horizontais podem ter rotor de uma, duas, três, quatro ou mais pás. Os rotores de três pás são os mais comumente utilizados. Os materiais mais utilizados na fabricação das pás são plásticos reforçados (poliéster ou epóxi) e fibra de vidro. Fibra de carbono, aço, alumínio, madeira e madeira-epóxi são outros materiais usados em menor escala. O ideal é que as pás sejam leves, para girarem facilmente, e resistentes.

A Figura 16 representa, esquematicamente, os componentes de uma turbina eólica, lembrando que nem todas apresentam essa configuração.

Figura 16 - Diversas partes de um sistema eólico



Fonte: CRESESB/CEPEL (2006, p. 8)

Há grande variação no porte dos aerogeradores. A potência dos equipamentos varia de centenas de W a unidades de kW, com diâmetros do rotor entre 2 e 8 m, até centenas de kW e unidades de MW, com diâmetros entre 30 e pouco mais de 100 m.

A partir de 1980, o aumento da potência unitária das turbinas e da altura das torres caracterizou a evolução tecnológica da indústria eólica. Em 2005, atingiu-se a marca de 5 MW, superada no ano seguinte por turbinas de 6 MW instaladas a 126 m do solo, destinadas principalmente ao uso *offshore* (parques eólicos fora do continente). Para o ano de 2012, projeta-se a operação comercial da turbina *Britannia*, de 7,5 MW. Em horizonte temporal mais distante, o projeto europeu denominado *UpWind* tem como meta o desenvolvimento de tecnologia para a construção de turbinas com potência superior a 10 MW (EPE, 2009a, p. 5).

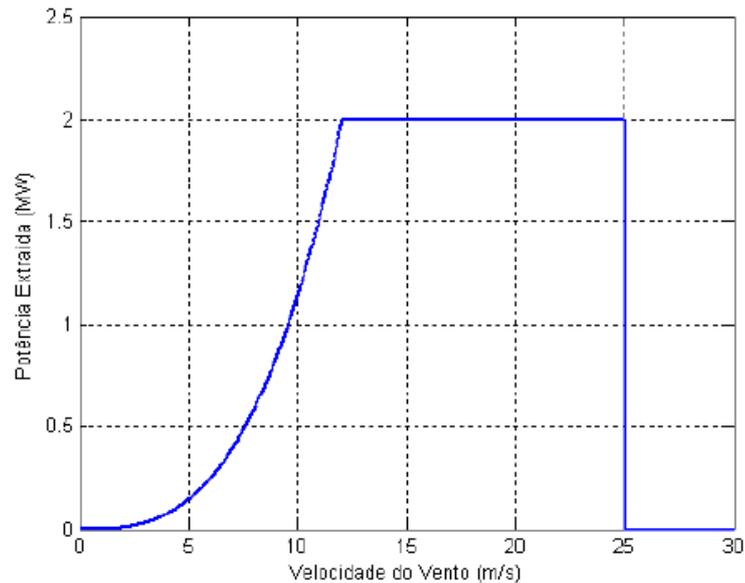
Embora incipiente, o aproveitamento da energia eólica *offshore* detém um potencial relevante e tende a ser cada vez mais aproveitado. Atualmente, da potência total instalada no mundo, apenas 1% é proveniente de eólicas fora do continente. Existem estudos com perspectivas de que até 2030, 10% do consumo de eletricidade da União Européia seja proveniente de parques eólicos *offshore* (EWEA, 2009, p. 7 e 14).

De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Energética – EPE (2009a, p. 6), para sítios eólicos localizados no continente (*onshore*), a preferência tem recaído sobre turbinas de potência unitária entre 1,0 e 3 MW, instaladas a cerca de 100 m de altura. Em 2006, na Europa, a potência média das turbinas instaladas foi de 1,7 MW, valor semelhante ao verificado nos Estados Unidos.

A transformação da energia mecânica em elétrica é tecnologia dominada. Por outro lado, determinadas questões merecem atenção, tais como: variações na velocidade do vento (extensa faixa de rotações em curtos intervalos de tempo); variações do torque de entrada (visto que variações na velocidade do vento induzem a variações de potência no eixo); exigência de frequência e tensão constante para a energia produzida (CRESESB/CEPEL, 2006, p. 13).

Os aerogeradores necessitam de uma velocidade mínima de vento para começarem a trabalhar, em geral entre 2,5 e 4,0 m/s. O aumento da velocidade do vento representa o aumento da geração elétrica, até que seja atingida a potência nominal da máquina, em geral com velocidade do vento variando entre 9,0 e 15,0 m/s. Para velocidades maiores, a potência permanece constante, até alcançar a velocidade de corte, próxima à 25 m/s, na qual o sistema de controle tira a máquina de operação automaticamente. A Figura 17 ilustra uma curva de potência de uma turbina eólica.

Figura 17 - Curva de potência de uma turbina eólica



Fonte: Silva (2006, p. 33)

A evolução tecnológica dos equipamentos tem sido muito rápida nas últimas décadas (SILVA, 2006, p. 7) e tem resultado, entre outros, em altas taxas de disponibilidade das centrais eólicas, maiores que 96% (UNDP et al., 2000, p. 234).

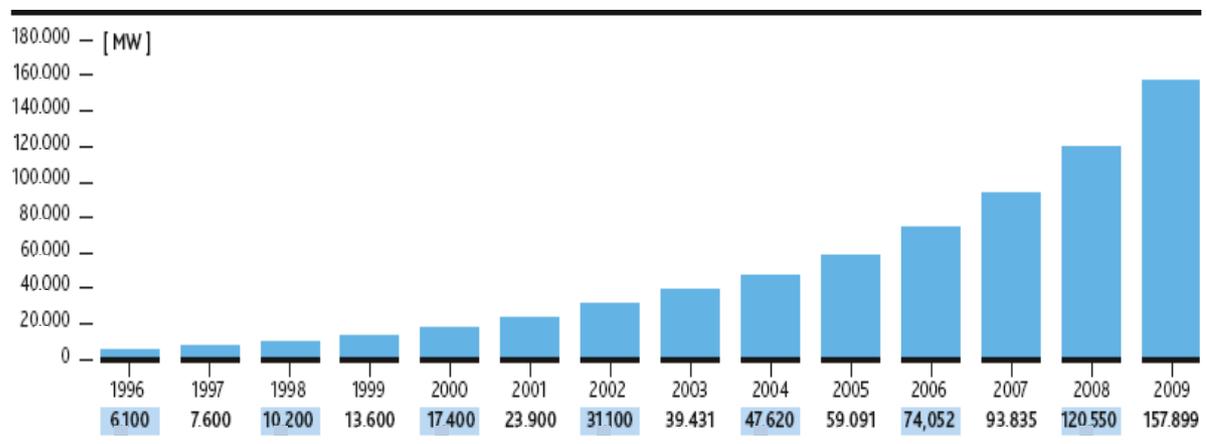
Outra evolução que influencia positivamente no aproveitamento da tecnologia eólica refere-se às previsões meteorológicas. Pesquisas nesse campo têm contribuído bastante. A previsibilidade dos ventos vem se tornando cada vez maior, prevendo-se com horas de antecedência qual será a geração de um determinado parque eólico. Esse avanço, juntamente com modelos matemáticos, vêm auxiliando na otimização da operação do sistema elétrico da região, valorizando ainda mais a energia eólica (UNDP et al., 2000, p. 233).

2.5.3 Panorama mundial

O incentivo às fontes renováveis, em geral, visa a atender objetivos estratégicos nacionais ou regionais relacionados à segurança energética, à redução de gases de efeito estufa e à geração de emprego e renda. Na Europa, em especial, a perspectiva do desabastecimento em razão do esgotamento dos recursos energéticos mais tradicionais e as metas acordadas de redução de emissão de gases de efeito estufa justificam a busca por fontes renováveis (EPE, 2009a, p. 3).

O potencial eólico mundial para geração de eletricidade é de 53.000 TWh por ano (GRUBB & MEYER, 1994 apud GWEC, 2006, p. 23), que representa cerca de três vezes o consumo atual de energia elétrica. A potência instalada de energia eólica no mundo alcançou 158 GW em 2009, que representa quase 150% da capacidade instalada total de energia elétrica do Brasil. Nos últimos dez anos houve um acréscimo de 145 GW. Apenas em 2009, o incremento foi de 37 GW, o que representa um acréscimo próximo de 30% em relação a 2008. O gráfico da Figura 18 apresenta a evolução mundial da capacidade instalada acumulada.

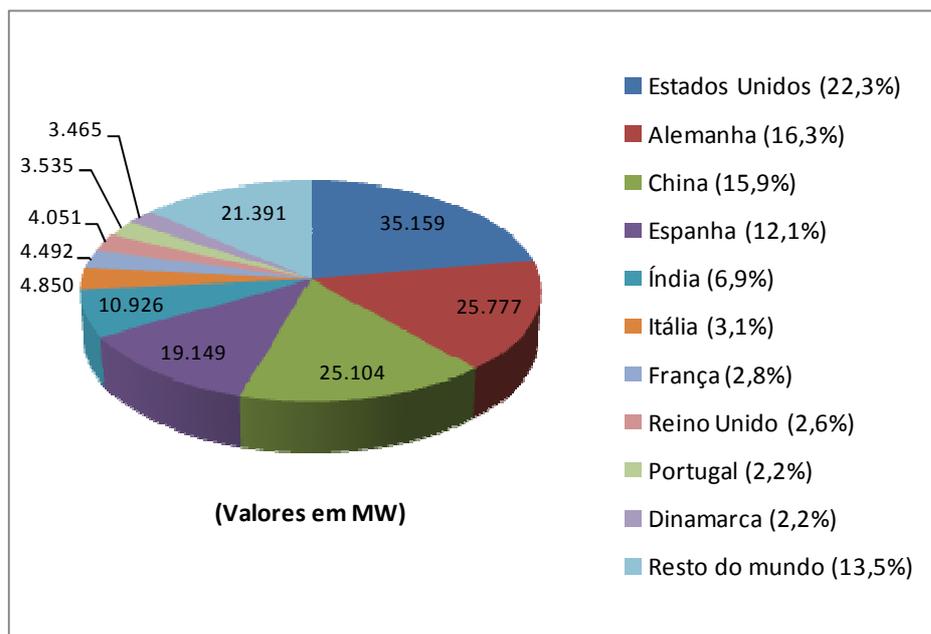
Figura 18 - Capacidade instalada mundial acumulada de eólicas de 1996 a 2009



Fonte: GWEC (2010, p. 2)

Em potência total acumulada, os Estados Unidos aparecem como país com maior potência instalada, seguido da Alemanha, que até 2008 era a primeira, e China. Conforme dados expostos na Figura 19, percebe-se que a geração de energia elétrica por fontes eólicas encontra-se concentrada em poucos países. Observa-se que 86,5% (136,5 GW) do total instalado (157,899 GW) está concentrado em dez países.

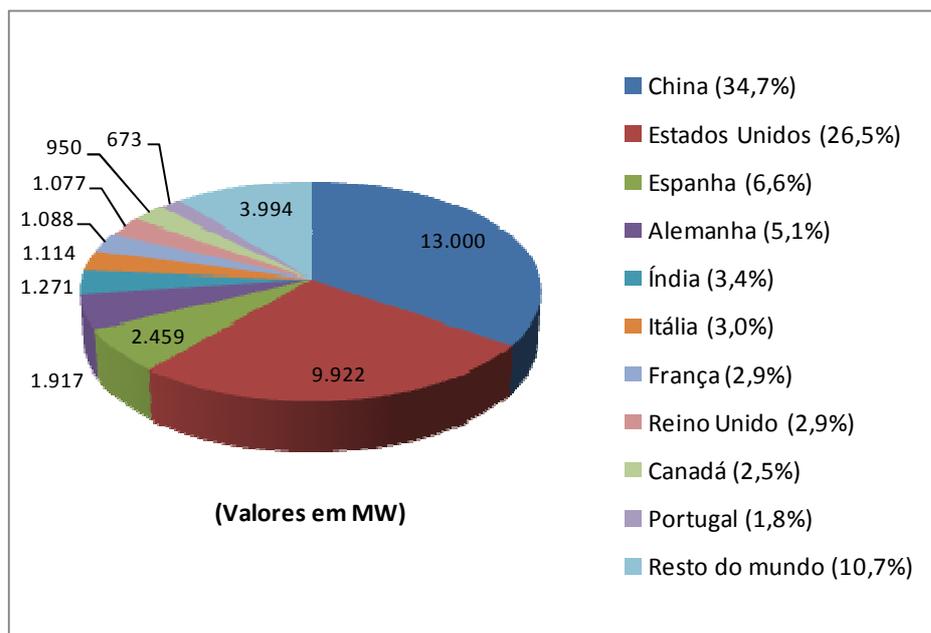
Figura 19 - Os dez países com maior capacidade total instalada de eólicas



Fonte: GWEC (2010, p. 2)

A Figura 20 apresenta os dez países com maior capacidade implantada no ano de 2009, tendo a China em primeiro, seguida dos Estados Unidos e da Espanha. De forma semelhante ao constatado na análise da potência total acumulada, observa-se que para as novas instalações ocorridas em 2009, 89,3 % (33,4 GW) do total implantado (37,466 GW) concentra-se em dez países.

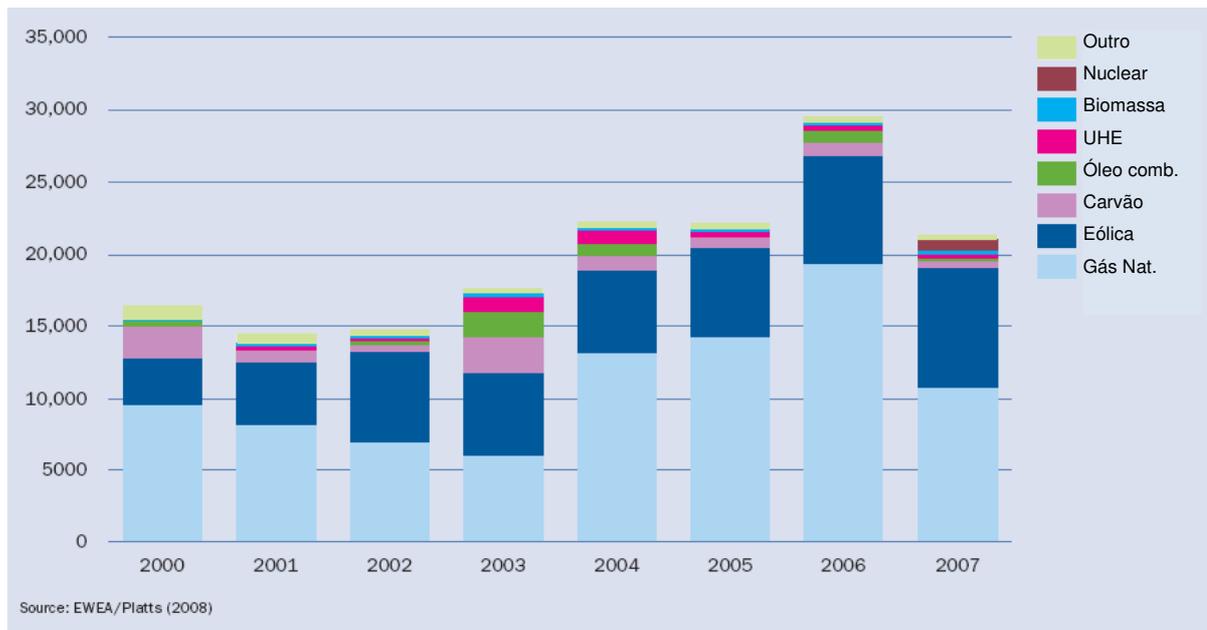
Figura 20 - Os dez países com maior incremento anual de eólicas em 2009



Fonte: GWEC (2010, p. 2)

A geração elétrica a partir de fontes eólicas tem crescido significativamente e demonstra sinais de que continuará crescendo. Em 2008 os parques eólicos foram responsáveis por cerca de 30% da potência total das novas usinas instaladas na União Européia (GWEC, 2009, p. 11). A Figura 21 apresenta a crescente importância das eólicas nas novas instalações para geração de eletricidade na Europa.

Figura 21 - Incremento da capacidade instalada anual, por fonte, na União Européia



Fonte: Adaptado de EWEA (2009, p. 20)

Os aerogeradores e demais componentes das eólicas são fabricados em vários países do mundo. As bases das indústrias de fabricação dos aerogeradores são na Dinamarca, Alemanha, Espanha, Estados Unidos, Índia e China. Embora a produção em massa tenha começado na Europa, a demanda global por tecnologia gerou um mercado produtor em outros países. A China é, atualmente, o local da maior indústria de aerogeradores do mundo (GWEC, 2008, p. 12).

Os custos de implantação de parques eólicos e da energia gerada variam muito de acordo com o país, com as características de cada projeto e peculiaridades locais. Historicamente, os custos relacionados à energia eólica vêm decaindo. As reduções nos custos estão principalmente relacionadas ao melhor conhecimento do processo de produção dos equipamentos, aperfeiçoamentos tecnológicos e economia de escala. Os valores das fontes alternativas ainda são maiores que de outras fontes convencionais, embora se observe tendência de redução com a sua maior exploração (TOLMASQUIM, 2003; PORTO, 2003, p.

182). Apostando-se nos diferentes benefícios das fontes renováveis, são criadas políticas públicas para incentivar seu desenvolvimento.

Os países que desenvolveram a utilização das centrais eólicas adotaram diferentes tipos de políticas de incentivo. Segundo Tavares (2003, p. 13), as políticas de incentivo às fontes alternativas devem seguir algumas premissas básicas, tais quais: ter vigência por um período transitório, terminando quando a fonte tornar-se competitiva; incentivar a criação de indústrias no país; criar o máximo possível de empregos por MW instalado; incentivar a participação do maior número possível de atores; proporcionar um retorno razoável e riscos aceitáveis e não lucros rápidos e extraordinários; os custos extras para os consumidores devem ser os menores possíveis e decrescentes ao longo do tempo.

Há diferenças particulares entre as políticas de incentivo mais frequentemente adotadas para as fontes alternativas de energia elétrica, as mesmas podem ser agrupadas em: Subsídios para Investimentos, Medidas Fiscais, *Feed-in Tariff*, Sistemas de Cotas/Certificados Verdes, Sistema de Licitação (trata-se de uma forma de selecionar os empreendedores que receberão apoio do governo, por meio de subsídios para investimento ou *Feed-in Tariff*) (DUTRA, SZKLO & TOLMASQUIM, 2005, p. 208; UNDP et al., 2000, p. 235; BWE, 2005, p. 8).

Ressalta-se que nenhum desses mecanismos é facilmente adaptado de um país para outro. Circunstâncias legais e de aceitação pública devem ser minuciosamente equacionados. Os incentivos são frequentemente adotados conjuntamente e com outras políticas públicas, buscando-se maximizar os benefícios potenciais e minimizar as adversidades.

2.5.4 Panorama brasileiro

O Brasil possui grande potencial eólico para produção de energia elétrica, no entanto, apenas pequena parcela desse potencial vem sendo aproveitado. Segundo o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro elaborado pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL/ ELETROBRAS (AMARANTE, ZACK & SÁ, 2001, p. 43), o potencial eólico estimado para geração de energia elétrica é de 143 GW distribuídos ao longo do território nacional. Dentre as diferentes regiões do Brasil, destaque para o Nordeste com um potencial estimado de 75 GW.

A energia eólica para geração elétrica começou a ganhar visibilidade no Brasil a partir do final da década de 70 e ao longo da década de 80, em decorrência da crise do petróleo (NÓBREGA & POMPERMAYER, 2003, p. 54). As atividades eram desenvolvidas por universidades e instituições de pesquisa e objetivavam o desenvolvimento de aerogeradores com tecnologia nacional. Apesar dos avanços obtidos, os estudos não tiveram continuidade, ou por falta de incentivos ou dificuldades institucionais.

No ano de 2005 a capacidade geradora do parque eólico nacional era de apenas 29 MW, o que correspondia a 0,03% da matriz elétrica brasileira. Para incentivar o incremento da produção de energia elétrica a partir de fontes eólicas foram instituídos diversos benefícios.

Em meio à crise energética de 2001, o Governo Federal, por meio da Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica, criou o Pró-eólica, conforme Resolução nº 24, de 5 de julho de 2001. O principal objetivo do Programa era viabilizar a implantação de 1.050 MW de usinas eólicas no Sistema Interligado Nacional - SIN, até dezembro de 2003. Entre os incentivos para os investidores, destacava-se a aquisição, pela ELETROBRAS, da energia a ser produzida, por um prazo mínimo de quinze anos.

O Pró-eólica resultou em muitas usinas eólicas autorizadas pela ANEEL, no entanto, em nada acrescentou efetivamente na potência instalada nacional. Antes mesmo da sua regulamentação foi instituído o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica - PROINFA, por meio de Lei Federal nº 10.438/2002 (NÓBREGA & POMPERMAYER, 2003, p. 56).

O PROINFA busca incentivar a implantação de PCH's, eólica e térmicas a biomassa, em um total de 3.300 MW, na sua primeira etapa. Entre os incentivos previstos no Programa está, principalmente, a compra da energia produzida por meio dos contratos celebrados com a Centrais Elétricas Brasileiras S.A - ELETROBRAS por um período de 20 anos. Para incentivar a indústria nacional, foi exigido um índice de nacionalização de no mínimo 60% dos equipamentos e serviços (em relação ao custo).

A chamada pública da primeira fase do PROINFA para os projetos de geração foi considerada um sucesso e atraiu um total de 6.601 MW, o dobro do limite que a ELETROBRAS estava autorizada a contratar. Os projetos em energia eólica somaram mais da metade, num total de 3.682 MW, sobressaindo-se a região Nordeste com 2.688 MW (MME, 2006). Para geração eólica, 54 empreendimentos (1.423 MW) assinaram o contrato de venda de energia.

A lei de criação do PROINFA estabeleceu também uma segunda fase, a ser iniciada depois de atingidas as metas da primeira. O desenvolvimento do Programa será realizado de forma que as fontes alternativas atendam a 10% do consumo de eletricidade do País, em um prazo de 20 anos. Até o término de 2009, não houve decreto regulamentando essa fase.

Em decorrência das políticas de incentivo, a capacidade instalada de geração eólica no País é de 414 MW, o que corresponde 0,4% da matriz elétrica nacional (dados até o término de 2008, conforme o Balanço Energético Nacional – BEN; EPE, 2009b, p. 138). Da potência instalada total, 59% são decorrentes de empreendimentos localizados no Nordeste do País.

Além dos empreendimentos em operação, há cerca de 1.000 MW com energia contratada no âmbito do PROINFA e previsão para operação comercial até o término de 2010, e mais 2.400 MW com autorização para serem implantados, porém sem contratos negociados para venda da energia (EPE, 2009a, p. 8).

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética – EPE, o custo médio de geração eólica ainda se mostra elevado para viabilizar sua participação em leilões concorrenciais com outras fontes, embora seja crescente o interesse por parte dos investidores (EPE, 2009a, p. 8).

No final de 2009, a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL promoveu leilão específico para contratação de eletricidade gerada pelos ventos. Foram contratados 71 empreendimentos com início de operação previsto para 2012 e potência instalada total de 1.805 MW. Dos 71 empreendimentos, 63 têm localização prevista para o Nordeste (CCEE, 2009).

Existem alguns estudos no Brasil avaliando a sustentabilidade da energia eólica (LAGE, 2001; CAMARGO, 2005; SOUZA et al., 2006; RIBEIRO, 2008), no entanto, nesses estudos não foram levados em consideração os cenários de alterações climáticas. Além disso, entende-se que algumas premissas utilizadas não estão de acordo com a realidade atual - essas e outras ponderações relacionadas às cinco dimensões da sustentabilidade serão objeto de análise detalhada no presente estudo.

Lage (2001, p. 19), em análise no programa eólico do Ceará, concluiu pela sustentabilidade nas dimensões ecológica, econômica, social, espacial e cultural, destacando que:

A conversão da energia eólica não degrada o ambiente. Também não há quaisquer resíduos resultantes do processo de geração eólica, devido as suas próprias particularidades” (p. 115), e “o custo atual da geração eólica no Brasil pode ser considerado como sendo de 40 US\$/MWh, sendo este custo decrescente. A curto prazo este custo pode chegar a 35 US\$/MWh, e até mesmo a 30 US\$/MWh a médio prazo.

Como serão demonstrados na análise da dimensão ecológica, os resultados obtidos na presente pesquisa indicam para a ocorrência de impactos negativos no meio ambiente em decorrência da geração eólica. Esses resultados, portanto, são divergentes da transcrição apresentada no parágrafo anterior.

Camargo (2005, p. 177), em estudo realizado em centrais eólicas do Paraná, apresenta algumas conclusões um pouco diferentes. O estudo traz importantes conclusões relativas à sustentabilidade sócio-econômica, sinalizando para uma fonte ainda pouco competitiva e pequena geração de emprego no local, tendo potencial para maior geração de empregos nas indústrias de aerogeradores, ainda incipientes no Brasil. Por meio de entrevistas, o autor conclui que o desenvolvimento local foi pouco influenciado.

Souza et al. (2006) em análise realizada no PROINFA destaca alguns benefícios das eólicas para a sociedade, embora existam alguns aspectos questionáveis da tecnologia eólica para geração de eletricidade no Brasil, entre eles: elevado custo, os mecanismos utilizados no PROINFA não estimulam os projetos mais eficientes e o acréscimo nas tarifas decorrentes do programa pode gerar insatisfação da população. Por outro lado, a energia eólica apresenta-se como alternativa estratégica para rápido incremento e diversificação da matriz elétrica com relativos baixos impactos ambientais negativos e elevado potencial inventariado, possibilidade de geração de empregos, oportunidade de difusão tecnológica, boa distribuição espacial e alternativa de geração no Nordeste do País.

Em estudo de caso para um parque eólico previsto para ser implantado no estado da Bahia, Ribeiro (2008, p. 127), entre as suas conclusões, cita que “*os subsídios serão necessários para incentivar e colocar a energia eólica em posição de destaque, uma vez que a energia eólica é mais cara se comparada com outras matrizes energéticas*”. A autora ressalta a

complementaridade da energia eólica e da hídrica e destaca a necessidade de incentivar uma indústria nacional, enfatizando que é necessária vontade política. Embora faça menção à crescente importância das fontes alternativas em razão do efeito estufa, não é objeto do citado estudo a análise detalhada dos possíveis efeitos das alterações climáticas na geração eólica.

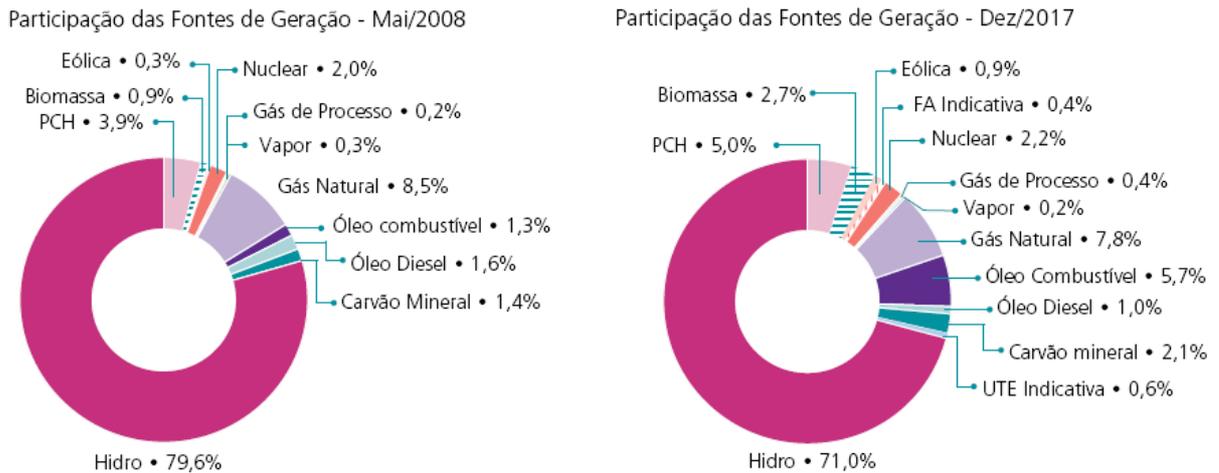
O Plano Decenal de Expansão de Energia 2008-2017 Brasileiro (MME & EPE, 2009) é a referência oficial de expansão do setor de elétrico, nele consta o planejamento indicativo das próximas usinas a serem implantadas para os 10 anos seguintes. No Plano, além de aspectos técnicos e econômicos, leva-se também em consideração aspectos ambientais, no sentido de identificar potenciais conflitos socioambientais e reduzir os riscos e incertezas na implantação dos empreendimentos, buscando também indicar as ações necessárias para a viabilização dos projetos e o conseqüente atendimento aos objetivos do Plano. Em síntese:

O objetivo do planejamento decenal da expansão do sistema energético nacional consiste em se definir um cenário de referência para implementação de novas instalações na infra-estrutura de oferta de energia, necessárias para se atender ao crescimento dos requisitos do mercado, segundo critérios de garantia de suprimento pré-estabelecidos, de forma ambientalmente sustentável e minimizando os custos totais esperados de investimento, inclusive socioambientais, e de operação (MME & EPE, 2009, p. 11).

Um aspecto destacado no plano refere-se à significativa participação das térmicas movidas a combustível fóssil nos últimos leilões de contratação de eletricidade. Esse fato deve-se à dificuldade para obtenção de licenças ambientais para hidroelétricas.

O Plano Decenal apresenta estimativa de evolução na capacidade total instalada nacional de 101 GW em 2008 para 155 GW em 2017, com a seguinte distribuição percentual entre as fontes de geração de energia elétrica:

Figura 22 - Evolução da participação dos diversos tipos de fonte no Brasil

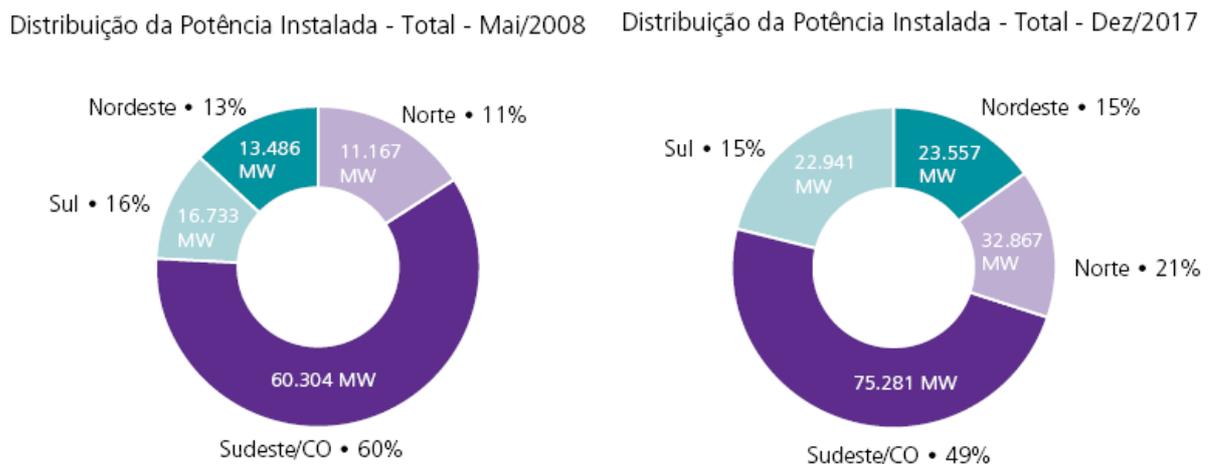


Fonte: MME & EPE (2009, p. 113)

Percebe-se um crescimento percentual na participação das eólicas na matriz, mas ainda de forma discreta, passando, ao término do horizonte, a 0,9% da matriz elétrica nacional. O acréscimo refere-se à totalidade da energia contratada na primeira fase do PROINFA (1,4 GW), que foi o único incremento de energia eólica considerado pelo plano.

Com relação à participação de cada região brasileira (subsistema) no total da potência instalada nacional, percebe-se um crescimento percentual do Nordeste, que passa de 13% em 2008 para 15% em 2017, conforme Figura 23.

Figura 23 - Distribuição do parque instalado por subsistema em 2008 e em 2017

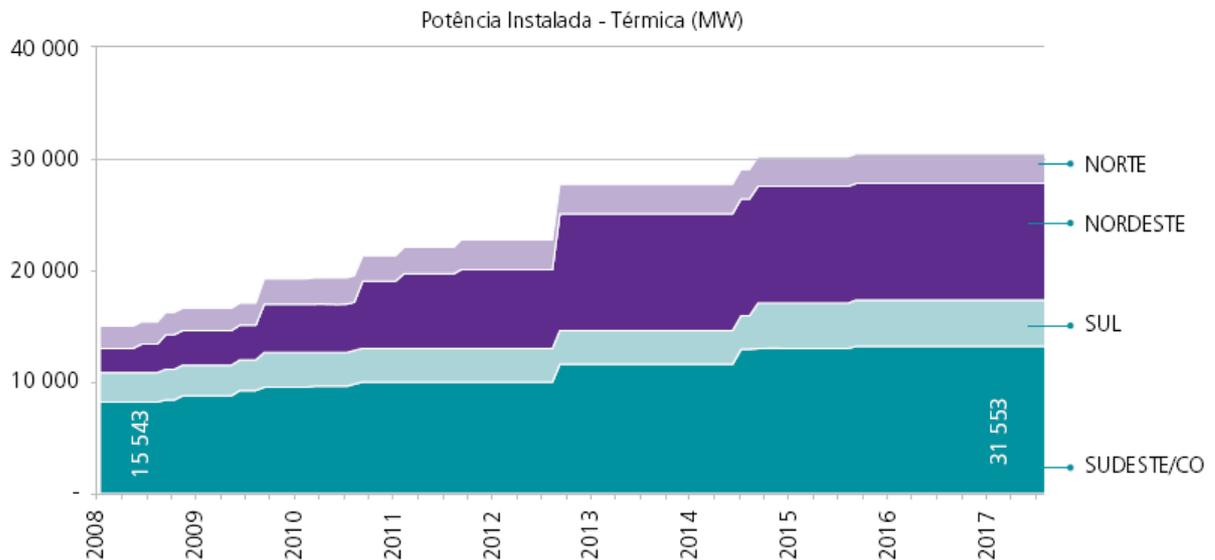


Fonte: MME & EPE (2009, p. 114)

A participação da região Nordeste no total das hidroelétricas instaladas no País é decrescente, caindo de 13% em 2008, para 10% em 2017. Já com relação às térmicas, há um significativo acréscimo. Do total das térmicas instaladas no Brasil em 2008, 14% estavam no Nordeste,

enquanto que, em 2017, planeja-se para 34%, portanto mais do que o dobro. A Figura 24 apresenta a previsão da capacidade termelétrica no Brasil, de acordo com cada subsistema.

Figura 24 - Evolução da capacidade instalada termelétrica



Fonte: MME & EPE (2009, p. 109)

Percebe-se um significativo acréscimo de termelétricas no Nordeste, em detrimento das hidroelétricas e das fontes alternativas. O Plano Decenal aponta para um incremento total da ordem de 10 GW no Nordeste (do total de 54 GW no Brasil), dos quais 8,8 GW (88%) são referentes a térmicas. Do total de térmicas com previsão para serem implantadas no Brasil (13 GW), 67% está no Nordeste. Ressalta-se que o plano considera dois tipos de previsão para as usinas, uma parte referente às usinas que já têm sua energia contratada por meio de leilões, e outra parte, com indicativo de implantação, mas sem energia contratada ainda. Todas as térmicas do Nordeste já estão com energia contratada, portanto a chance dessas usinas realmente serem implantadas é maior.

Das térmicas a serem implantadas no Nordeste, 1,4 GW (16%) refere-se a carvão mineral, um tipo de geração inédito na região, sendo uma das usinas previstas de 700 MW no Ceará, que é a maior térmica prevista para ser implantada no País, com exceção da usina nuclear de Angra 3.

Do levantamento efetuado neste tópico, percebe-se que há crescente interesse mundial na energia eólica, em especial dos Estados Unidos, da China e da Europa. O cenário relacionado às mudanças climáticas é preocupante e ressalta a importância de fontes energéticas com menores taxas de emissão de gases de efeito estufa.

O potencial estimado para geração de energia eólica no Brasil é significativo, em especial para o Nordeste. Embora existam medidas de incentivo, ainda é discreta a participação e o incremento das centrais eólicas na matriz nacional. Trata-se de uma fonte energética com custos econômicos aparentemente superiores a outras modalidades de geração de eletricidade.

Há estudos relacionados à contribuição da energia eólica para o desenvolvimento sustentável, sendo o fator econômico frequentemente citado como ressalva. Por outro lado, há carência no tocante a análises da sustentabilidade da energia eólica no País em face dos cenários projetados considerando os efeitos do aquecimento global no Brasil, que podem trazer significativas mudanças e prejuízos à sociedade, em especial para o Nordeste brasileiro.

Torna-se necessária a avaliação da energia eólica como fonte de geração de eletricidade no Nordeste do País e como possível instrumento para mitigação dos efeitos projetados para a vulnerável região em decorrência das alterações climáticas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nos itens a seguir é realizada uma análise de cinco dimensões da sustentabilidade da energia eólica no Nordeste do Brasil diante das perspectivas de mudanças climáticas. Ao longo da análise são apontadas vantagens e desvantagens da alternativa de geração elétrica por meio da força dos ventos para a região.

Os três estudos apresentados no capítulo de Referencial Teórico relacionados a indicadores de sustentabilidade do setor energético (tópico 2.4.2) foram compilados e agrupados para cada uma das cinco dimensões da sustentabilidade. A partir dessa compilação passa-se a avaliar a energia eólica como alternativa para geração de eletricidade no Nordeste.

3.1 Dimensão ecológica

Para a dimensão ecológica a análise será realizada considerando os seguintes parâmetros de sustentabilidade:

- Redução da poluição do ar, contaminação dos recursos hídricos e do solo e perda de biodiversidade;
- Limitação das emissões de gases do efeito estufa;
- Substituição de recursos energéticos não renováveis;
- Incremento da participação de fontes alternativas;
- Desenvolvimento de tecnologias novas e renováveis; e
- Promoção de educação ambiental.

3.1.1 Redução da poluição do ar, contaminação dos recursos hídricos e do solo e perda de biodiversidade

Os impactos ambientais de empreendimentos eólicos são provenientes das diferentes etapas do processo, desde a obtenção das matérias primas a serem utilizadas na fabricação dos aerogeradores, até a operação e o descomissionamento do parque eólico.

No presente trabalho não foram levantados os impactos decorrentes da obtenção das matérias primas e da conformação dos materiais, etapas que precedem a montagem dos componentes das nacelas, das torres e das pás, aqui chamadas de fabricação. Os impactos negativos decorrentes do descomissionamento foram considerados desprezíveis, por tratar-se de materiais comuns e passíveis de reciclagem.

Na fabricação destacam-se as atividades relacionadas à montagem do gerador, caixa de engrenagem, moldagem das pás, pré-moldagem dos segmentos das torres em concreto ou em aço, freios hidráulicos, sistemas eletrônicos e a montagem dos componentes das nacelas. Durante a fase de implantação, tem-se a mobilização e funcionamento do canteiro de obras, terraplanagem, cortes e aterros, escavações para passagem de fiação subterrânea, fundações, recrutamento de mão-de-obra, aquisição de material, transporte, implantação e montagem das torres e aerogeradores, entre outros. Na fase de operação, o funcionamento das unidades geradoras e a distribuição da energia gerada.

Os impactos foram separados em meio físico e meio biótico. Os impactos no meio antrópico não são analisados diretamente neste tópico, uma vez que estão mais relacionados às outras dimensões da sustentabilidade. No entanto, alguns impactos negativos no meio físico que serão analisados no presente tópico, como ruído e alteração da paisagem, também têm influência direta no meio antrópico.

As fontes consultadas para elencar os impactos foram Banco do Nordeste (1999), FADURPE (2003), Camargo (2005), MME & EPE (2007) e algumas licenças ambientais emitidas para parques eólicos (FEPAM/RS, 2003, 2004 e 2005).

Após breve descrição dos impactos é apresentada uma tabela resumo, em que os impactos são classificados quanto à intensidade (B – Baixa, M – Média e A – Alta) e duração (E – Eventual, T – Temporário e P – Permanente), conforme metodologia apresentada por Sobral (2004).

Em seguida são apresentadas algumas medidas mitigadoras e é realizada a análise da influência da geração de eletricidade pelos parques eólicos na redução da poluição e perda de biodiversidade.

A etapa de fabricação, conforme considerada neste trabalho, não envolve maiores impactos físicos ou bióticos, tendo em vista que as indústrias normalmente são instaladas em locais relativamente urbanizados. Ademais, trata-se de um tipo de indústria sem maiores peculiaridades.

Para o meio físico, na fase de implantação destacam-se os impactos negativos relativos à emissão de gases e ao incremento da poeira e de material particulado, que são decorrentes das atividades relacionadas à limpeza do terreno, movimentação de terra, utilização de maquinário e maior circulação de veículos. As atividades de corte e aterro podem resultar no início de processos erosivos e a utilização de bota-foras de forma inadequada é um risco potencial para contaminação dos recursos hídricos. O aumento do barulho no local da obra é um outro exemplo de impacto ao meio físico. A Figura 25 refere-se à construção de um parque eólico (Parque Eólico RN 15 - Rio do Fogo, no Rio Grande do Norte).

Figura 25 - Parque eólico em construção



André Delgado, 2006

Durante a fase de operação tem-se a alteração da paisagem natural, podendo vir a obstruir cenários de relevante interesse paisagístico e eco-turístico. As pás das turbinas produzem sombras e/ou reflexos móveis que são indesejáveis nas áreas residenciais (esse problema é mais evidente em pontos de latitudes elevadas). Pode ocorrer interferência nas transmissões de rádio e televisão. O incremento da poeira e de material particulado, visto o aumento do tráfego no local, ocorre em pequena proporção.

Na operação dos parques há emissão de ruído (de baixa frequência). Os ruídos ocorrem devido ao funcionamento mecânico e ao efeito aerodinâmico. A percepção do ruído depende de características locais, como topografia, nível de urbanização e tipo de comunidade afetada (residencial, comercial, industrial).

O desenvolvimento de tecnologias, ao longo dos últimos anos, na aerodinâmica das pás e nas partes mecânicas críticas, principalmente a caixa de engrenagem (parte responsável pela alta rotação do gerador na turbina), tornou possível o surgimento de turbinas eólicas com reduzidos níveis de ruído. A tecnologia atual mostra que é possível a construção de turbinas eólicas com níveis de ruído aceitáveis (MME & EPE, 2007, p. 28).

Para turbinas de grande porte, o ruído nas proximidades é de aproximadamente 100 dB, e, com distâncias entre 200 e 300m, menores do que 50 dB (MME & EPE, 2007, p. 187). O nível de conforto acústico recomendável para o ser humano, de acordo com a NBR 10.152/2000 e a Resolução CONAMA nº 001, de 08 de março de 1990, varia de 35 dB (enfermarias berçários, salas de concerto e teatro) a 60 dB (pavilhões fechados para espetáculos e atividades esportivas).

Dessa forma, de acordo com o ambiente, deve-se atender a uma distância mínima entre turbinas e área habitada. A Tabela 4 apresenta faixas de variação de decibéis (dB) consideradas aceitáveis, de acordo com o tipo de ambiente.

Tabela 3 – Faixas de variação de decibéis aceitáveis

Locais	DB (A)
Hospitais	
Apartamentos, enfermarias, berçários, centros cirúrgicos	35-45
Laboratórios, áreas para uso do público	40-50
Serviços	45-55
Escolas	
Bibliotecas, salas de música, salas de desenho	35-45
Salas de aula, laboratórios	40-50
Circulação	45-55
Hotéis	
Apartamentos	35-45
Restaurantes, salas de estar	40-50
Portaria, recepção, circulação	45-55
Residências	
Dormitórios	35-45
Salas de estar	40-50
Auditórios	
Salas de concertos, teatros	30-40
Salas de conferências, cinemas, salas de uso múltiplo	35-45
Restaurantes	40-50
Escritórios	
Salas de reunião	30-40
Salas de gerência, salas de projetos e de administração	35-45
Salas de computadores	45-65
Salas de mecanografia	50-60
Igrejas e templos (cultos meditativos)	40-50
Locais para esporte	
Pavilhões fechados para espetáculos e atividades esportivas	45-60

Notas:

(i) O valor inferior da faixa representa o nível sonoro para conforto, enquanto o valor superior significa nível sonoro aceitável para a finalidade.

(ii) Níveis superiores aos estabelecidos nesta tabela são considerados de desconforto, sem necessariamente implicar em risco de dano à saúde.

Fonte: Adaptado de ABNT (2000, p. 2)

O Quadro 8 apresenta um resumo dos principais impactos ambientais ao meio físico, classificados quanto à intensidade e duração.

Quadro 8 - Impactos ambientais no meio físico

Impactos ambientais potenciais	Construção	Operação
Alteração da paisagem natural	A/P	A/P
Incremento da poeira e de material particulado	B/T	B/E
Início de processos erosivos	B/E	B/E
Contaminação dos recursos hídricos	B/E	B/E
Emissão de ruídos	B/T	B/P
Sombras e/ou reflexos móveis	-	A/P
Interferência nas transmissões de rádio e televisão	-	B/E

Legenda: Intensidade (B – Baixa, M – Média e A – Alta); Duração (E – Eventual, T – Temporário e P – Permanente)

Fonte: Adaptado de Camargo (2005, p. 97-99)

Para o meio biótico, na fase de implantação do empreendimento, há interferências na vegetação e na flora. As atividades de mobilização do canteiro de obras, limpeza do terreno e movimentação de terra resultam em remoção da vegetação. O aumento do tráfego de veículos forma poeira, que pode causar danos à vegetação próxima, tendendo a adquirir uma camada de poeira na folhas, comprometendo a fotossíntese. A movimentação de homens e máquinas, além da caça realizada pelos operários, resulta em evasão e morte de animais silvestres.

Riscos de choques entre as pás e as aves ganham destaque em locais utilizados como rota migratória. Em análise de 127 diferentes estudos relacionados ao assunto (incluindo pássaros e morcegos), Hötker, Thomsen & Jeromim (2005, p. 6-7) chegaram a duas principais conclusões. A primeira delas é que os principais impactos resultam em distúrbios na taxa de mortalidade e alteração de rotas migratórias. A outra é que faltam dados estatísticos consistentes, sendo necessário desenvolver mais estudos, além de que maioria das pesquisas realizadas utilizou períodos curtos de investigação (menos que dois anos) e não incluiu a fase anterior a implantação dos parques. Além dessas, o estudo apontou outras conclusões, que se encontram resumidas no Quadro 9.

Quadro 9 - Impactos dos parques eólico nos pássaros e morcegos

Item analisado	Conclusão
Impactos na reprodução dos pássaros	Faltam dados estatísticos consistentes, embora exista um certo consenso entre especialistas. Observou-se que, com exceção de algumas espécies, os pássaros continuam utilizando áreas próximas às turbinas para reprodução.
Impactos fora da fase de reprodução	Várias espécies afastam-se dos parques, além de que não foram encontradas evidências de que os pássaros acostumam-se com a presença das turbinas.
Rotas migratórias	Há interferência na rota migratória de várias espécies.
Taxas de colisão	Variam entre 0 e 50 colisões por turbina por ano (para pássaros e morcegos) as maiores taxas ocorrem para turbinas de maior diâmetro, e em áreas alagadas e próximas à florestas. Entre as espécies, os predadores apresentam maiores taxas de mortalidade.

Fonte: elaborado pelo autor a partir de Hötker, Thomsen & Jeromim (2005, p. 6-7)

Durante a operação, a evasão de animais de uma forma geral é resultado, principalmente, do aumento do fluxo de veículos e das atividades de manutenção.

O Quadro 10 apresenta um resumo dos principais impactos ambientais ao meio biótico, classificados quanto à intensidade e duração.

Quadro 10 - Impactos ambientais no meio biótico

Impactos ambientais potenciais	Construção	Operação
Destruição ou alteração na fauna	M/T	B/P
Destruição ou alteração na flora	M/T	B/P
Colisão de aves ou morcegos nas pás e eletrificação em linhas elétricas	-	B/P

Legenda: Intensidade (B – Baixa, M – Média e A – Alta); Duração (E – Eventual, T – Temporário e P – Permanente)

Fonte: Adaptado de Camargo (2005, p. 97-99)

Como medidas mitigadoras ou compensatórias para os impactos ambientais, há uma série de atividades relacionadas a maiores cuidados na fase de projeto e planejamento do parque, como será demonstrado nos parágrafos seguintes, cujas principais informações foram obtidas a partir de FADURPE (2003), MME & EPE (2007) e FEPAM/RS (2003, 2004 e 2005).

Para problemas mais relacionados à fase de construção e que envolvem a ocupação do solo pelo parque eólico e subestações (preparação, terraplenagem, desmatamento, etc.) e aqueles decorrentes do transporte de equipamentos pesados tem-se, entre outras, as seguintes medidas mitigadoras/ compensatórias:

- Compensação monetária ou permuta de áreas para população residente;
- Exigência de que as praças de lançamento não sejam implantadas em áreas de ocorrência de matas nativas;
- Não abertura de acessos no interior da mata nativa;
- Áreas úmidas e de banhados não devem ser drenadas ou aterradas;
- Utilização de sistemas anti-poeiras;
- Recuperação de áreas degradadas;
- Investimentos em atividades de implantação ou consolidação de unidade de conservação, na região do empreendimento;
- Melhor regulação das máquinas utilizadas, evitando produção de ruídos e emissões desnecessárias; e
- Planejamento do sistema de tráfego de modo a se evitar os horários de pico.

Para impactos mais relacionados à fase de operação, como poluição visual e sonora (que têm influência direta nos impactos antrópicos) e morte de aves e morcegos, algumas medidas mitigadoras são:

- Projetos paisagísticos e arquitetônicos para redução do impacto visual;
- Exigência de que as redes interligadoras sejam subterrâneas, tanto as entre os aerogeradores, como entre esses e a subestação;
- Exigência de implantação de barreiras naturais ou outra solução técnica para resolver possíveis conflitos com a população devido à incidência de sombreamento ocasionado por alguns aerogeradores em áreas residenciais;
- Projetos e programas específicos para redução de ruído;
- Monitoramento de ruídos;
- Exigência de distâncias mínimas entre os aerogeradores e áreas com residências;
- Não construção do parque em rotas de migração, exigindo distâncias mínimas em relação a locais relevantes para a avifauna;
- Exigência de Plano de Monitoramento Ambiental contemplando:
 - Locais relevantes para a avifauna: áreas de pouso, descanso e alimentação. Apresentá-los separadamente para cada espécie, ou por grupos de espécies, de acordo com o tipo de ambiente;
 - Locais de importância de morcegos, apresentados para cada espécie, de acordo com o ambiente (cavernas, furnas, ocos de árvores, telhados e pontes);
 - Locais de concentração de presas potenciais de aves e morcegos como: insetos, peixes, pequenas aves e répteis, anfíbios; e

- Locais de ocorrência de espécies raras, endêmicas e/ou ameaçadas da fauna, apresentados para cada espécie, especificando a importância em nível local, regional ou nacional.
- Adoção de arranjo adequado das turbinas no parque eólico.

Há riscos ambientais relacionados à fase de construção dos parques. No entanto, não se observa grandes peculiaridades se comparadas a obras de outras fontes, como o carvão mineral.

Durante a fase de projeto, e depois de iniciada a operação da usina, atenção especial deve ser dedicada à interferência em rotas migratórias de aves. Áreas alagadas ou próximas a florestas, além das que interferem em rotas migratórias, necessitam de maiores cuidados.

Aspectos relacionados ao impacto visual, emissão de ruído e interferência nos pássaros podem vir a tornar-se um problema, se não forem bem equacionados nas etapas de projeto e de licenciamento ambiental. As medidas mitigadoras apontadas não são de difícil implementação e mostram-se de grande relevância.

Em países como a Alemanha, impactos relativos à alteração da paisagem vêm dificultando a instalação de novos parques eólicos. Há casos de algumas prefeituras que relatam reclamações por parte dos moradores (DEUTSCHE WELLE, 2004).

Com o incremento da implantação dos parques eólicos, é esperado que aumente a preocupação dos órgãos ambientais responsáveis, o que já começa a ocorrer no Brasil (PIRES, 2009). Esse é um fato positivo sob o aspecto da dimensão ecológica, uma vez que permitirá um melhor conhecimento dos impactos e, conseqüentemente, das medidas mitigadoras mais adequadas, ou, a depender da situação, indicar a inviabilidade ambiental da implantação do parque no local inicialmente desejado.

Importante a característica de que a exploração não substitui o uso de recursos naturais na área do parque, ou seja, não impede a utilização do local para outros fins. As instalações físicas dos parques eólicos ocupam apenas pequena parcela da área.

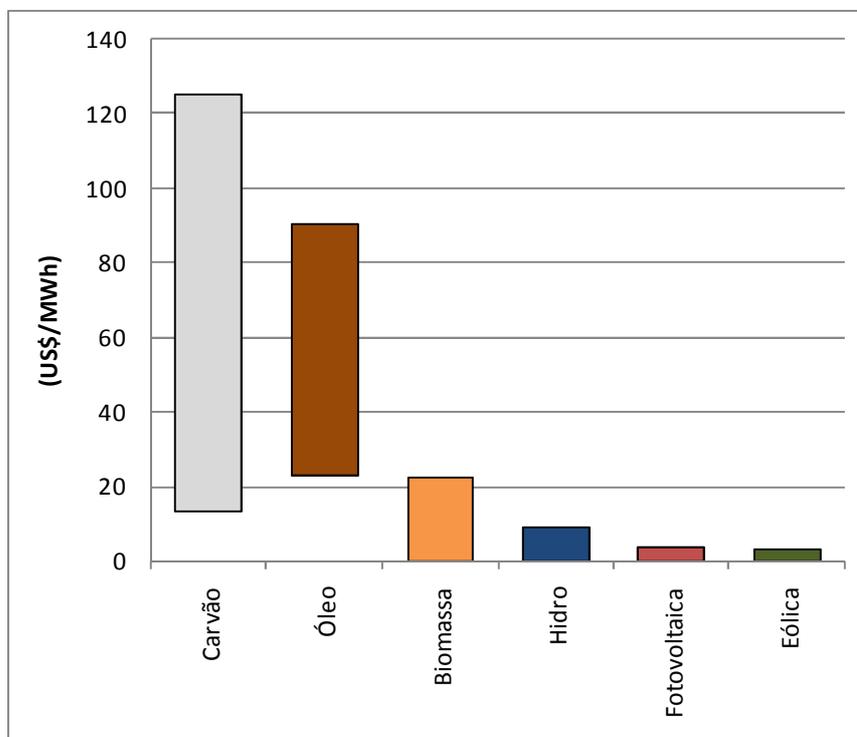
Utilizando térmicas a carvão para comparação, observam-se, em especial, dois aspectos relevantes na operação das usinas: emissão de material particulado e os resíduos sólidos

resultantes da queima do carvão (OLIVEIRA, 2009, p. 26-31). A queima do carvão produz grandes volumes de partículas muito finas, que absorvem o Dióxido de Enxofre do ar e, com a umidade, formam-se partículas ácidas, nocivas para o sistema respiratório e o meio ambiente. Os resíduos sólidos resultantes da queima do carvão, quando não são removidos devidamente, podem resultar em lixiviação, carreando substâncias tóxicas para as drenagens adjacentes. As cinzas produzidas pela queima, que concentram metais pesados, podem parar nos cursos d'água, provocando assoreamento e alta contaminação do solo.

Para as térmicas a carvão mineral existem também os impactos locais causados pela mineração, que, apesar de relevantes, não foram apontados neste estudo, uma vez que a térmica a ser implantada no Ceará tem previsão de utilização de carvão importado. As emissões de gases do efeito estufa serão objeto de análise no próximo subtópico.

As fontes alternativas de energia apresentam-se como opção de menor degradação ao meio ambiente. UNDP et al. (2004, p. 73), a partir de dados de vários autores, relacionou diferentes fontes de geração de eletricidade e os custos das externalidades, conforme Figura 26.

Figura 26 - Custos das externalidades de fontes de geração de energia na União Européia



Fonte: Adaptado de UNDP et al. (2004, p. 73)

Da Figura 26, ficam claras as reduzidas externalidades da energia eólica se comparadas a outras fontes, como o óleo combustível e o carvão mineral, em especial.

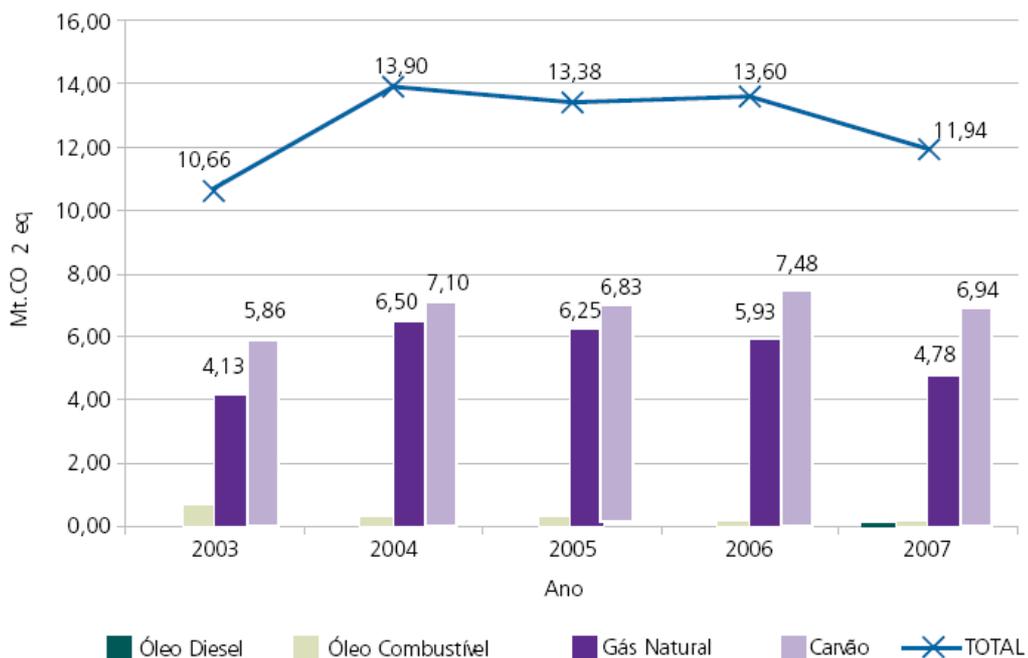
As fontes alternativas, e em particular a eólica, apresentam-se como opção de geração de eletricidade com menores impactos à qualidade do ar, aos recursos hídricos, ao solo e à biodiversidade. Mesmo assim, é necessário constante aprimoramento no processo de licenciamento ambiental dos empreendimentos, principalmente considerando a tendência mundial de expansão da energia eólica.

3.1.2 Limitação das emissões de gases do efeito estufa

Os parques eólicos resultam em reduzida emissão de gases do efeito estufa, sendo esses emitidos durante a fase de construção do parque e fabricação das turbinas. De acordo com GWEC (2008, p. 6), o tempo de operação de uma usina eólica para recuperar as emissões decorrentes da construção e fabricação é entre 3 e 6 meses, se comparado à taxa média de emissão do setor. Tendo em vista que a vida útil de uma usina eólica é da ordem de 20 anos, tem-se um saldo significativamente positivo de emissão de gases.

No Brasil, o carvão mineral é a fonte de eletricidade que mais emite gases do efeito estufa, conforme representado na Figura 27.

Figura 27 - Emissões do parque termelétrico nacional no período 2003 – 2007



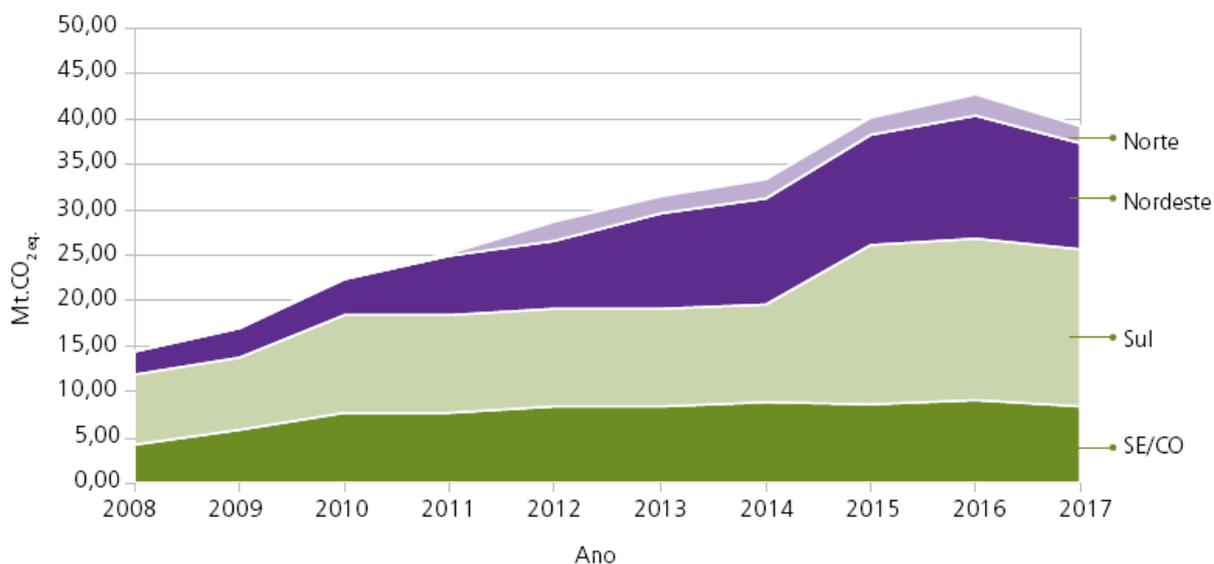
Fonte: MME & EPE (2009, p. 362)

As usinas a carvão, seguidas das térmicas a gás natural, foram as maiores responsáveis pelas emissões de gases do efeito estufa entre 2003 e 2007, apesar da potência instalada de usinas a diesel e a óleo combustível ser aproximadamente equivalente à potência instalada das usinas a carvão. Isso se justifica porque as usinas a óleo combustível e diesel foram menos despachadas (geraram menos energia), em vista do seu preço mais elevado, resultando em uma menor emissão de gases. Por outro lado, as usinas a gás natural, apesar de apresentarem taxas de emissão muito inferiores aos demais combustíveis fósseis, emitiram grande volume de gases pelo fato de terem sido mais despachadas.

As indicações de expansão do Plano Decenal de Energia – PDE (MME & EPE, 2007, p. 400), que incluem a previsão de instalação de muitas térmicas a combustível fóssil no Nordeste, demonstram dois momentos importantes de crescimento da geração termelétrica. Um no período 2010-2014, quando crescerá a geração termelétrica na região Nordeste, tornando-se, em 2013, a região do País com maior participação no volume de emissão de gases do efeito estufa oriundos de termelétricas. O outro momento importante será no período 2014-2016, quando se estima um crescimento significativo da geração termelétrica na região Sul. Na região Nordeste, espera-se crescimento da geração a partir de óleo combustível e carvão mineral. Já na região Sul, o referido aumento da geração termelétrica terá como combustível o carvão mineral.

As estimativas de emissão de gases de efeito estufa oriundas das termelétricas alcançam, em 2017, um aumento de 172% em relação ao valor das emissões estimadas em 2008 (MME & EPE, 2009, p. 400). A Figura 28 apresenta as perspectivas de emissão de gases do efeito estufa no Brasil, separado por subsistema.

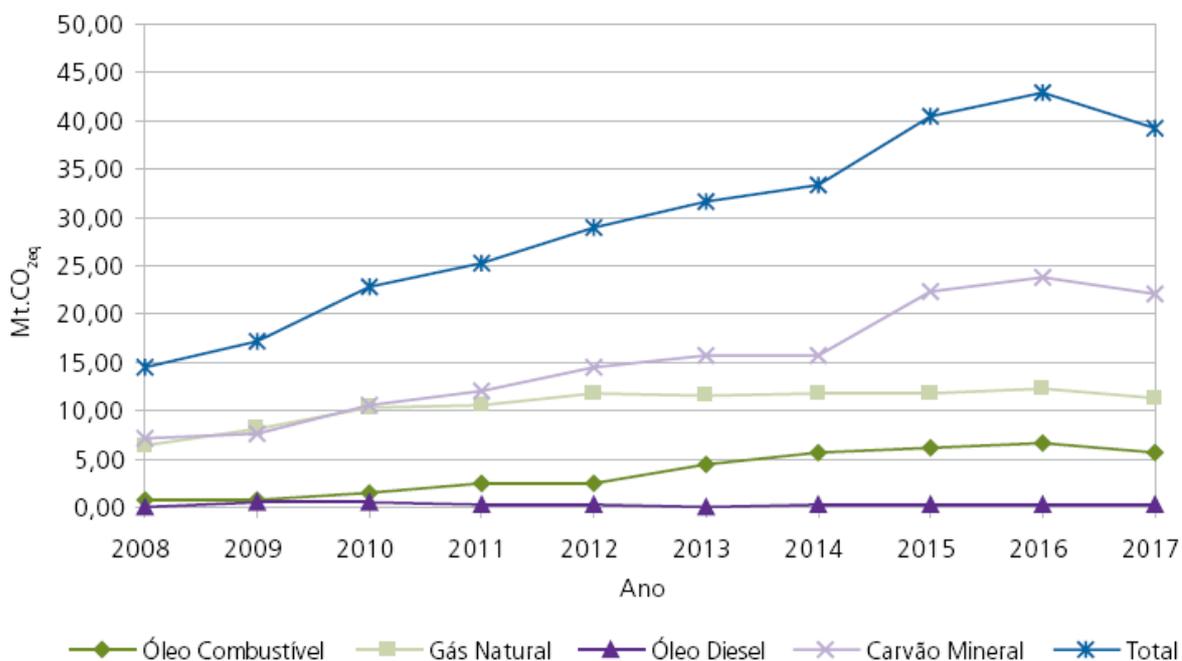
Figura 28 - Emissões projetadas (máximas) de CO₂ equivalente por subsistema



Fonte: MME & EPE (2009, p. 400)

A Figura 29 mostra a perspectiva de evolução das emissões de gases do efeito estufa no setor elétrico brasileiro, para cada tipo de combustível fóssil.

Figura 29 - Contribuição das diversas fontes para as emissões de CO₂ no sistema elétrico



Fonte: MME & EPE (2009, p. 401)

De acordo com IEA (1998, p. 15), a reduzida emissão de gases poluentes na atmosfera é o mais importante benefício das fontes renováveis de energia. A Tabela 5 apresenta valores médios de emissão de gases do efeito estufa para diferentes fontes de geração, discriminado por estágio de produção de energia (extração do combustível, fabricação dos equipamentos, construção da usina e operação). Os valores informados na tabela servem como referência para demonstrar a menor emissão de gases do efeito estufa pelas fontes renováveis, em que pese não ser completa uma vez que não apresenta as emissões de metano, por exemplo, que tem efeito mais poluidor que o gás carbônico para o efeito estufa.

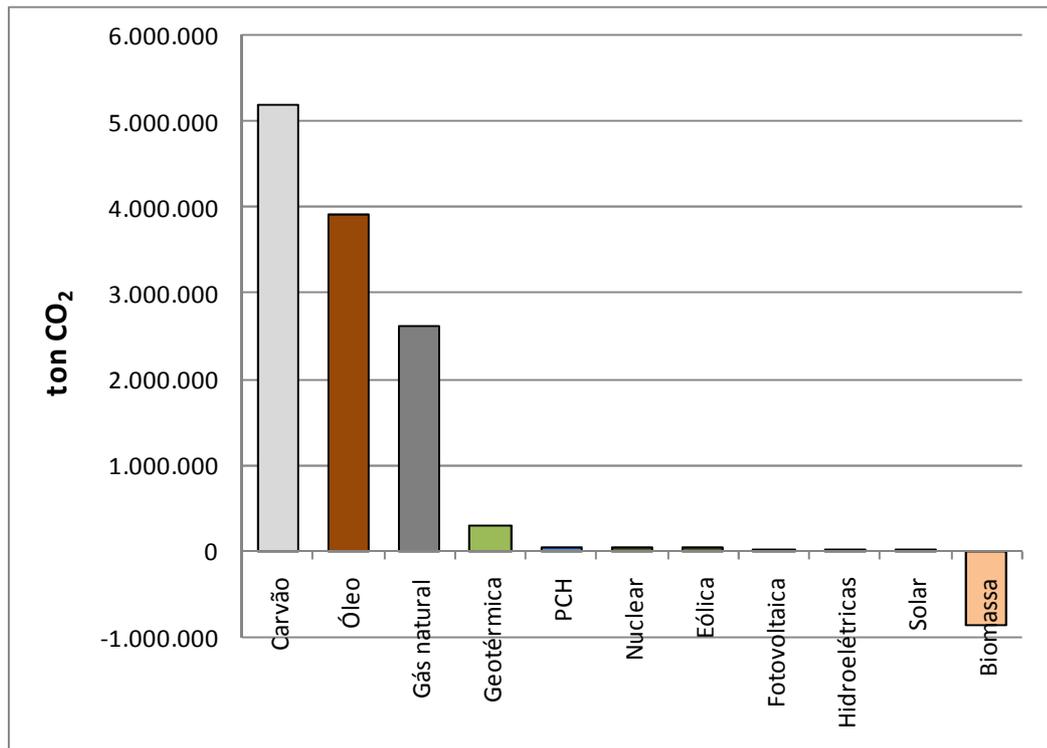
Tabela 4 - Emissão média de CO₂ de diferentes tecnologias de geração de energia

Tecnologias	Emissão de CO ₂ nos estágios de produção de energia (ton/GWh)			
	Extração do Combustível	Construção	Operação	Total
Carvão	1	1	962	964
Óleo	-	-	726	726
Gás natural	-	-	484	484
Geotérmica	<1	1	56	57
PCH	N/A	10	-	10
Nuclear	~2	1	5	8
Eólica	N/A	7	-	7
Fotovoltaica	N/A	5	-	5
Hidroelétricas	N/A	4	-	4
Solar	N/A	3	-	3
Biomassa	-1.509	3	1.346	-160

Legenda: N/A – Não se aplica

Fonte: IEA (1998, p. 15) e CAMARGO (2005, p. 113)

A Figura 30 apresenta estimativa da quantidade anual de emissão de CO₂ para cada fonte de energia considerando a geração de 615 MW médios (que equivalem a 5.387.400 MWh por ano). Essa foi a quantidade de energia contratada para a térmica a carvão mineral a ser instalada no Ceará.

Figura 30 - Emissão anual de CO₂ para geração de 615 MW médios

Fonte: elaborado pelo autor a partir de IEA (1998, p. 15) e Camargo (2005, p. 113)

Do gráfico exposto, tem-se que a substituição hipotética de uma térmica a carvão de 700MW por eólicas com produção anual de energia equivalente, resultaria em cerca de 5 Mt de emissão de CO₂ evitada. Essa redução pode ser um pouco menor considerando que o estado da arte da tecnologia a carvão permite emissões mais reduzidas (WCI, 2007, p. 14).

De forma ilustrativa, tem-se que a tonelada de CO₂ negociada no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo - MDL é da ordem de US\$ 15,00 (GREENPEACE, 2008, p. 13; GWEC, 2008, p. 53; POINT CARBON, 2008, p. 4). Considerando a quantidade de emissão de CO₂ evitada pela substituição hipotética da térmica a carvão pela eólica, tem-se um valor de US\$ 77 milhões por ano.

É necessário ressaltar que esta pesquisa de mestrado utiliza a usina térmica a carvão apenas como critério de avaliação e não tem como objetivo descartar a utilização dessa fonte na matriz nacional. A participação das térmicas a carvão no País é discreta (1,4% da matriz elétrica nacional), no entanto, o mesmo não se observa na matriz mundial. O carvão mineral é a fonte de geração mais utilizada no mundo. Do total da eletricidade produzida, cerca de 40% é proveniente da queima de carvão (IEA, 2009a, p. 24).

De acordo com o Plano Nacional de Energia 2030 (MME & EPE, 2009, p. 159-166), a contenção da expansão da geração a carvão em contrapartida ao aumento de outras fontes, principalmente do gás natural, se explica, em parte, pelas pressões ambientais, não obstante continue figurando como principal fonte geradora de eletricidade no mundo.

Conforme relatado no Plano Nacional, registra-se que desde 1980 houve redução, em nível mundial, das emissões de CO₂ e redução significativa de material particulado produzido na geração de eletricidade a partir do carvão. Esses resultados foram decorrentes da experiência operativa, da otimização das instalações e com base em pesquisas governamentais e de empresas privadas. No mesmo período, a Alemanha gastou mais de US\$ 20 bilhões em pesquisas com tecnologias mais limpas na área. E os Estados Unidos têm orçamento de US\$ 10 bilhões para o desenvolvimento do uso sustentável do carvão para os próximos 15 anos. Destaque para o Projeto FutureGen, patrocinado pelo governo norteamericano, que tem por meta construir uma térmica a carvão com emissão “zero”, produzindo hidrogênio e eletricidade e capturando e armazenando o carbono.

Ademais, historicamente, os países industrializados têm sido responsáveis pela maior parte das emissões de gases de efeito estufa. Contudo, na atualidade, vários países em desenvolvimento, entre eles China, Índia e Brasil, também se encontram entre os grandes emissores. No Brasil, ao contrário do que ocorre no mundo, o setor energético não é a maior fonte de emissão dos gases (MME & EPE, 2009, p. 410-411; IEA, 2009b, p. 17).

De acordo com IEA (2009b, p. 17), o Brasil é o quinto país com maior taxa de emissão de gases do efeito estufa, com a particularidade de não ser o setor energético o maior responsável pelas contribuições (corresponde a 19%), sendo a agricultura, o uso do solo e o desmatamento os principais responsáveis pela emissão dos gases no País (81%), principalmente em decorrência da expansão das fronteiras agrícolas na região amazônica.

Para o setor elétrico em específico, o Brasil, mesmo considerando as perspectivas de implantação significativa de térmicas, não se apresenta como destaque entre os maiores emissores. As emissões do País ficam bem abaixo dos principais emissores, como China, Estados Unidos, Índia e Japão (EPE & MME, 2009, p. 411).

A alta participação das hidrelétricas na matriz de geração elétrica nacional proporciona ao Brasil uma baixa taxa de emissão de gases do efeito estufa por unidade de energia elétrica

gerada (0,07 tonCO₂/MWh) se comparada com a média mundial (0,5 tonCO₂/MWh) e com outros países em desenvolvimento, como Índia (0,9 tonCO₂/MWh), China (0,8 tonCO₂/MWh) e Argentina (0,4 tonCO₂/MWh) (IEA, 2009b, p. 101-103).

Mesmo com as devidas ressalvas no tocante a perspectivas futuras do carvão mineral, tem-se que a energia eólica apresenta uma série de benefícios ecológicos. Com o seu aproveitamento evitam-se os combustíveis fósseis e, conseqüentemente, as emissões de gases do efeito estufa e alterações climáticas, que sinalizam para prejuízos ao meio ambiente e à sociedade, com efeitos ainda maiores no Nordeste do Brasil.

3.1.3 Substituição de recursos energéticos não renováveis, incremento da participação de fontes alternativas e desenvolvimento de tecnologias novas e renováveis

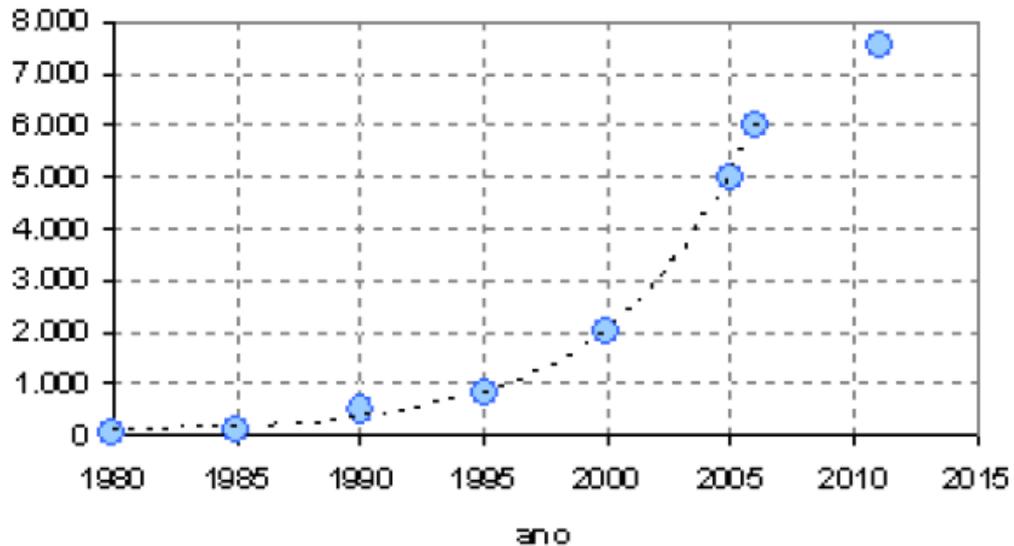
Na presente análise faz-se uma comparação entre a energia eólica, facilmente renovável, e o carvão mineral, combustível fóssil não renovável. Portanto, o incentivo a geração elétrica por meio de parques eólicos pode ser vista como uma substituição de recursos energéticos não renováveis.

Trata-se também de uma fonte alternativa de geração. O seu incentivo constitui no desenvolvimento de novas tecnologias renováveis. O Brasil não tem experiência consolidada na implantação e operação de parques eólicos, logo o incentivo à geração eólica permite o desenvolvimento de tecnologias novas.

No mundo, mesmo com toda a evolução tecnológica e de incremento de capacidade instalada, ainda há muito para evoluir, como na área de previsão meteorológica, aerodinâmica, materiais, manutenção, designe e operação de parques eólicos e integração e operação da rede elétrica (EWEA, 2009, p. 4-9).

A tecnologia empregada tem apresentado evolução (HERBERT et al., 2005, p. 2). A Figura 31 representa a evolução comercial das turbinas eólicas, no tocante à potência nominal unitária.

Figura 31 - Evolução da potência unitária das turbinas eólicas (kW)



Fonte: EPE (2009a, p. 6)

O tempo de vida útil dos equipamentos eólicos varia entre 15 e 20 anos (CRESEB, 2006; UNDP et al., 2000, p. 233). Após esse período, inicia-se a fase de descomissionamento. A partir de dados de Camargo (2005, p. 111) e UNDP et al., (2000, p. 233), que indicam que em menos de 6 meses a energia consumida nas diferentes fases do ciclo de vida dos equipamentos é recuperada, tem-se que a razão entre energia gerada e energia consumida é superior a 45. Portanto, o balanço energético é bastante positivo. Além disso, os materiais utilizados são passíveis de reciclagem, resultando em bons resultados do ponto de vista ambiental.

Tem-se que, para esses parâmetros de sustentabilidade, a energia eólica contribui de forma positiva, principalmente se comparada a uma térmica a carvão mineral. O investimento nas eólicas representa incremento das fontes alternativas renováveis na matriz elétrica e o incentivo a tecnologias novas e renováveis.

3.1.4 Promoção de educação ambiental

As fontes alternativas de uma forma geral, e a eólica em específico, têm forte ligação cultural com a proteção do meio ambiente. Em face disso, há grande potencial para promoção de programas de educação ambiental e difusão de conhecimentos relativos às fontes alternativas.

Nas consultas realizadas nesta pesquisa (relatório de avaliação ambiental simplificado, licenças prévias e de instalação e estudos teóricos), não foi identificado destaque no sentido

de promover a educação ambiental local ou regional. Embora sem o devido destaque, foram encontrados procedimentos relacionados a medidas mitigadoras ou compensatórias no meio social que resultam em educação ambiental de forma subsidiária, tal como apresentado por FADURPE (2003, p. 135):

As medidas mitigadoras, no meio social, devem ser adotadas na perspectiva de reduzir e atenuar seus prováveis impactos. Para tanto, faz-se necessário promover ações junto à administração pública municipal e representações comunitárias: Associações de moradores, sindicato dos Trabalhadores, conselhos setoriais instalados, para divulgação dos propósitos com a instalação de Parques Eólicos naquelas comunidades.

Outra medida identificada no sentido da educação ambiental é a exigência de programas de educação, mas restrita aos funcionários envolvidos na obra, conforme previsto por FEPAM/RS (2004, p. 3):

12 - deverão ser previstas atividades de educação ambiental para todos os funcionários envolvidos na implantação do empreendimento visando a adoção de posturas relacionadas à mitigação dos impactos ambientais relacionados às obras;

Iniciativas locais são essenciais na promoção da educação ambiental e o elevado potencial das fontes alternativas não está sendo devidamente aproveitado. As audiências públicas, possíveis de serem realizadas quando da etapa de análise e aprovação dos estudos de impacto ambiental, também têm bom potencial de divulgação dos aspectos positivos das fontes alternativas.

Do exposto, tem-se que a energia eólica apresenta bom potencial de promoção da educação ambiental, apesar de que pouco tem sido aproveitado nesse sentido.

3.2 Dimensão econômica/estratégica

Para a dimensão econômica/estratégica a análise será realizada considerando os seguintes parâmetros de sustentabilidade:

- Aumento da oferta de energia elétrica em função da demanda;
- Incremento das reservas energéticas em relação à produção total de energia;

- Promoção de eficiência energética;
- Grau de independência energética;
- Capacitação tecnológica das indústrias de equipamentos para geração de energia; e
- Modicidade tarifária.

3.2.1 Aumento da oferta de energia elétrica em função da demanda e incremento das reservas energéticas em relação à produção total de energia

O potencial eólico no Brasil, de acordo com levantamento efetuado pelo CEPEL/ELETROBRAS, é de 143 GW (AMARANTE, ZACK & SÁ, 2001, p. 43). Esse montante equivale a 1,4 vezes a atual capacidade total instalada no País (100 GW), portanto, trata-se de uma fonte abundante. Do total estimado, mais da metade encontra-se na região Nordeste do País (75 GW).

A geração elétrica do Nordeste é na sua maior parte hídrica, no entanto, os melhores aproveitamentos hidroelétricos na região já foram construídos, destacando a necessidade se procurar outras alternativas.

O Plano Decenal de Energia apresenta estimativa de decréscimo na participação da região Nordeste no total das hidroelétricas instaladas no País (passando de 13% em 2008 para 10% em 2017). Em contrapartida, ocorre um significativo acréscimo para as térmicas (do total das térmicas instaladas no Brasil, em 2008, 14% estavam no Nordeste, enquanto que, em 2017, planeja-se para 34%). Caso o plano esteja correto nas previsões, haverá um acréscimo de 10 GW no Nordeste, sendo 8,8 GW provenientes de térmicas tendo combustível fóssil como fonte de geração.

Observa-se que o potencial estimado de energia eólica na região é bem maior que os 8,8 GW de geração térmica previsto para implantação no Plano Decenal de Energia, apresentando-se, portanto, como uma alternativa de substituição de parte das térmicas.

Em decorrência das alterações climáticas, estima-se uma redução no potencial eólico no Brasil (SCHAEFFER et al., 2008, p. 32). Por outro lado, essa redução será mais concentrada no interior, ocorrendo fenômeno inverso no litoral, onde se espera um acréscimo nos ventos.

Esse acréscimo sinaliza para uma melhora na viabilidade econômica da energia eólica, em especial no litoral no Nordeste.

A redução da geração é também projetada para outras fontes, como a hidroelétrica, em decorrência da redução na vazão dos rios, que pode chegar a até 7,7% nas usinas localizadas no rio São Francisco (SCHAEFFER et al., 2008, p. 30) e a térmica a gás natural, decorrente de perda na eficiência de transformação da energia térmica em elétrica. A Tabela 5 apresenta as reduções projetadas na geração média de energia para diferentes bacias, sem considerar reduções decorrentes de aumento na evaporação.

Tabela 5 - Desvios projetados relativos à energia média

Bacia	A2	B2
Rio Paraná	0,7%	-1,2%
Grande	0,1%	-0,8%
Paranaíba	-1,4%	-1,9%
Parapanema	-1,4%	-2,5%
Parnaíba	-0,8%	-0,7%
São Francisco	-4,3%	-7,7%
Tocantins-Araguaia	-0,1%	-0,3%
Média	-1,0%	-2,2%

Fonte: Schaeffer et al. (2008, p. 31)

As projeções dos efeitos das alterações climáticas no setor elétrico são preocupantes para diferentes fontes de geração. Em que pese a sinalização de redução no potencial total de geração eólica, a fonte continua apresentando-se como alternativa para geração na região Nordeste, uma vez que as projeções indicam para melhora dos ventos no litoral e grande potencial a ser explorado.

De acordo com EPE (2009a, p. 9), uma vez que com a evolução tecnológica as torres tornaram-se mais altas, aproveitando um maior potencial de vento, estudos recentes apontam para possibilidade de aumento no potencial total indicado no atlas vigente. O levantamento utilizado leva em conta a tecnologia de geração eólica então predominante, que se limitava a turbinas de menor potência e instaláveis até 50 m de altura do solo.

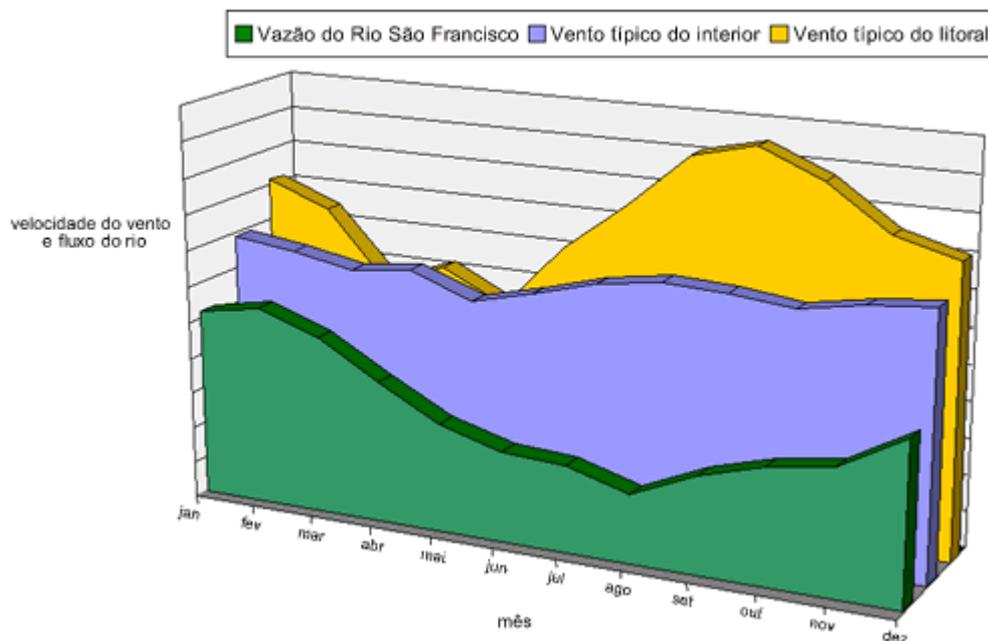
Mais recentemente, diversos estados da federação, como São Paulo, Bahia, Alagoas e Rio Grande do Sul, têm procurado realizar mapeamento mais atualizado do potencial nos seus territórios, considerando o progresso da geração eólica, que agora permite utilizar as turbinas em estruturas mais altas, próximas a 100 m de altura do solo. O Centro de Pesquisas de

Energia Elétrica - CEPEL está preparando um novo atlas eólico com medidas de vento a 100 m de altura EPE (2009a, p. 10). Como resultado, o valor numérico do potencial brasileiro deve ser consideravelmente ampliado. Um exemplo, que não deve ser generalizado, é o expressivo aumento do potencial eólico do Rio Grande do Sul, que passou de 15,8 GW a 50 m para 115,2 GW para a altura de 100 m.

A Empresa de Pesquisa Energética - EPE (2009a, p.11) aponta também que, embora exista estimativa do potencial brasileiro e medições em locais específicos, ainda não há um histórico de medições que permitam uma avaliação mais precisa do potencial e do benefício energético da geração eólica em operação no sistema hidrotérmico brasileiro. O potencial de geração *offshore*, que não está incluído no atlas eólico vigente, apresenta tendência mundial de maior aproveitamento (GWEC, 2008, p. 9).

Com relação à complementaridade da vazão dos rios com o regime de vento, observa-se que as eólicas apresentam-se como alternativa complementar de geração elétrica na bacia do São Francisco (CBEE, 2006; ROCHA et al., 2003, p. 220). Observando-se a Figura 32, percebe-se que as maiores velocidades de vento ocorrem quando o fluxo de água do rio é menor.

Figura 32 - Fluxo de água do Rio São Francisco e o regime de vento no Nordeste



Fonte: CBEE (2006)

A diversificação da matriz elétrica e complementaridade sazonal com a energia hidráulica, com destaque para a bacia do São Francisco, são estratégicas. As centrais eólicas apresentam-

se como alternativa para mitigar o dilema do uso da água do Rio São Francisco (água para gerar eletricidade versus irrigação). Projetos de irrigação às margens do rio e possível transposição de águas podem causar conflitos na geração elétrica das usinas hidrelétricas, prejudicando o fornecimento de energia para a região. Os conflitos são ainda maiores se consideradas as projeções de redução na vazão do rio em face das mudanças climáticas.

Dutra (2007, p. 282) avalia que a complementação hídrico-eólico mostra-se bastante adequada para o Brasil e deveria ser a razão primeira a ser perseguida por meio de um programa de incentivo. Para tal, torna-se de extrema importância uma melhor avaliação desse efeito no gerenciamento da geração hidrelétrica e nas oportunidades dos usos múltiplos da água.

Os parques eólicos têm como característica uma rápida implantação e a possibilidade de ampliações graduais, de acordo com o aumento da demanda, uma vez que apresentam características modulares.

Quanto ao licenciamento ambiental, por se tratar de uma fonte de energia de baixos impactos, normalmente não têm ocorrido grandes dificuldades para obtenção do licenciamento ambiental, reduzindo riscos de comprometimento nos cronogramas de implantação. Embora que, com o incremento da implantação dos parques eólicos, seja esperado o aumento da preocupação dos órgãos ambientais responsáveis, o que já começa a ocorrer no Brasil (PIRES, 2009).

Observa-se que a demora e incertezas nos processos de licenciamento ambiental, em especial para as grandes hidroelétricas, vem trazendo dificuldades e imprevistos adicionais no planejamento do setor, e é apontado como uma das justificativas para o significativo incremento das térmicas na matriz elétrica (MME & EPE, 2009, p. 76).

Das análises efetuadas, tem-se que a fonte eólica apresenta-se como alternativa para o aumento da oferta de energia elétrica em função da demanda e para o incremento das reservas energéticas em relação à produção total de energia, uma vez que há significativo potencial a ser explorado, é de rápida implantação, possibilita a ampliação em módulos de acordo com a necessidade e não são identificados significativos entraves ambientais

No tocante aos aspectos até aqui analisados não se observam vantagens das térmicas a carvão em relação às eólicas. Com relação à implantação de térmicas, espera-se a redução das

reservas e uma velocidade de implantação e de ampliação menor que as eólicas. E ainda, considerando cenários de aquecimento global, espera-se um aumento da eficiência das eólicas (ventos mais fortes) e uma redução na eficiência de conversão das térmicas (temperaturas ambientes mais elevadas).

A impossibilidade de armazenamento do vento limita o potencial a ser explorado para geração de energia elétrica. A sua utilização deve ser sempre complementar às outras fontes da matriz elétrica. Questões referentes às incertezas de determinação da energia assegurada também indicam a importância da fonte ser utilizada apenas como energia complementar.

Embora existam tecnologias para armazenamento da energia eólica (por meio de bombeamento de água para tanques de armazenamento ou compressores de ar), as mesmas não são alternativas interessantes no contexto atual, uma vez que resultam em significativas perdas de eficiência (GWEC, 2008, p. 26). Ao contrário, as térmicas a carvão apresentam boa capacidade de armazenamento.

Maiores taxas de disponibilidade dos equipamentos, aliado aos avanços nas previsões meteorológicas, aumentam a confiabilidade na energia eólica. A previsibilidade da geração do parque eólico com horas de antecedência traz benefícios econômicos para o sistema elétrico, visto a possibilidade de otimizar a operação. Com as ferramentas atuais, o erro estimado para um parque eólico em um horizonte de 36 horas é de 10 a 20%. Esse percentual tende a diminuir quando se consideram vários parques eólicos em uma região (GWEC, 2008, p. 15).

De todo o exposto, tem-se que a alternativa de implantação de parques eólicos no Nordeste sinaliza para o aumento da oferta de energia, o aproveitamento de potencial energético antes não explorado e a promoção de maior eficiência energética.

3.2.2 Promoção de eficiência energética

Com relação à eficiência energética, têm-se dois aspectos a serem avaliados. O primeiro deles é que, com a maior implantação de parques eólicos, passará a ser aproveitado um potencial energético antes não explorado, de uma fonte continuamente renovável.

O segundo aspecto refere-se à eficiência dos projetos de geração eólica a serem implantados. Nesse caso, há duas situações distintas no Brasil, a dos projetos selecionados e contratados no âmbito do PROINFA e os contratados por meio do leilão específico de eólicas, realizado no final de 2009:

- No PROINFA, um dos principais critérios utilizados na seleção dos projetos foi a licença ambiental de instalação mais antiga (Licença de Instalação – LI). Para a definição do valor a ser pago pela energia de cada usina, utilizou-se uma curva de preços que varia em função do fator de capacidade (usinas com menor fator de capacidade, logo menos eficientes, têm um preço maior de energia). Ambos os critérios citados não incentivam a escolha de projetos eólicos mais eficientes. Além disso, o mecanismo de remuneração utilizado foi a definição e garantia de um preço mínimo para aquisição da energia gerada, com valor acima do preço de mercado (*feed-in tariff*). De acordo com Dutra, Szklo & Tolmasquim (2005, p. 208) e Dutra (2007, p. 280), esse mecanismo não necessariamente estimula os projetos mais eficientes e é incapaz de gerar por si só um mercado mais competitivo entre as fontes renováveis.
- No leilão para contratação de energia eólica, posterior ao PROINFA, esses critérios (LI mais antiga e valor da energia em função do fator da capacidade) não foram utilizados, prevalecendo a competição entre os empreendimentos eólicos que ofertassem o menor preço de venda da energia a ser gerada e priorizando a seleção de projetos mais eficientes.

Do exposto, tem-se que a exploração da energia eólica no Nordeste é sustentável no tocante a eficiência energética, na medida em que se passa a aproveitar um potencial que antes não era utilizado e, com os procedimentos adotados no leilão específico para eólicas, prevaleceu a escolha de projetos mais eficientes.

3.2.3 Grau de independência energética e capacitação tecnológica das indústrias de equipamentos para geração de energia

Como o combustível das eólicas é o vento, não há dependência externa no fornecimento do combustível. Para a implantação de novos parques, resta a dependência dos equipamentos, caso não seja consolidada uma indústria nacional para aerogeradores.

No tocante ao carvão mineral, observa-se que o País tem reservas de carvão equivalentes a 28 GW durante 100 anos, sendo 89% localizadas no sul do País (MME & EPE, 2009, p. 92). No entanto, para as usinas térmicas a serem implantadas no Nordeste, com entrega prevista para 2012, a previsão é operar com carvão mineral importado (MME & EPE, 2009, p. 93), resultando em maior dependência energética. A necessidade de importação desse combustível pode ser em função do baixo poder calorífico do carvão nacional, e, por isso, seu transporte por longas distâncias não seja economicamente justificável (OLIVEIRA, 2009, p. 37).

De acordo com EPE (2009a, p. 9), a partir do PROINFA, desenvolveu-se no País uma indústria de aerogeradores com capacidade de produção de 750 MW por ano e com índice de nacionalização da ordem de 70%. A *Wobben Wind Power* produz, em suas fábricas instaladas no Brasil, componentes e aerogeradores de 800 kW, 900 kW e 2.300 kW. Em 2008, a *Impsa Energy* instalou em Suape/PE uma unidade industrial para fabricação de aerogeradores de 1.500 kW. A *Tecsis*, empresa de capital nacional instalada em Sorocaba, é uma das maiores fabricantes mundiais de pás, exportadas principalmente para a Europa e Estados Unidos.

A indústria de aerogeradores no Brasil ainda é limitada, embora tenha aumentado significativamente depois das políticas de incentivo. A indústria nacional tem capacidade de produção próxima a 750 MW por ano, enquanto que em 2006 a capacidade era de 300 MW (EPE, 2009a, p. 9). Portanto, embora ainda limitada, a indústria de aerogeradores no Brasil cresceu muito nos últimos anos. A maior utilização das eólicas é uma oportunidade para desenvolvimento da indústria e da engenharia nacional, tornando o País mais independente no fornecimento de equipamentos e um potencial exportador de aerogeradores, equipamentos de alto valor agregado. Em paralelo ao desenvolvimento da indústria, houve também a capacitação de empresas de consultoria em prospecção, projeto e certificação.

Embora esteja prevista em lei a implementação da segunda fase do PROINFA, existem incertezas relativas ao interesse do Governo na sua execução. O Plano Decenal de Expansão de Energia – PDE (MME & EPE, 2009) não contempla de forma clara a segunda etapa do Programa. Destaca-se que o PDE tem, entre outros, o objetivo de proporcionar sinalização para orientar as ações e decisões relacionadas ao equacionamento do equilíbrio entre as projeções de crescimento da demanda de energia elétrica e a necessidade de expansão da oferta, em bases técnica, econômica e ambientalmente sustentável.

Os resultados obtidos com o leilão específico para eólicas (contratação de 753 MW médios, que equivalem a 1.805 MW) sinalizam para uma maior implantação e consolidação da indústria de aerogeradores no País, embora não garanta a efetiva implantação das usinas.

Entre as ações necessárias para viabilização da energia eólica no Brasil, a EPE (2009a, p. 1-2) aponta o estabelecimento de um programa de aquisições de energia em prazo e quantidade que viabilize a implantação da indústria eólica nacional de fornecimento de componentes e montagem no País e de índice progressivo de nacionalização dos equipamentos eólicos.

Ressalta-se a necessidade de continuidade e aperfeiçoamento dos incentivos às eólicas, sob o risco da descontinuidade de crescimento da indústria nacional, com destaque para a necessária vontade política do incentivo (RIBEIRO, 2008, p. 127).

É necessária uma maior reflexão a respeito do incentivo para a engenharia nacional. É importante avaliar o grau de independência tecnológica. Mesmo com a maior capacidade para fornecimento de equipamentos pela indústria nacional, ocorre que o desenvolvimento tecnológico não se mostra pautado na pesquisa e na inovação, e sim na aprendizagem do contato com a tecnologia (LAGE, 2001, p. 129).

É nesse contexto que Dutra (2007, p. 256-257 e 283-284) conclui pela necessidade de avaliação do funcionamento das turbinas eólicas no perfil de regime de vento tipicamente brasileiro. O estudo das pás adaptados aos perfis típicos de velocidade do vento no Brasil torna-se de grande relevância visando uma maior eficiência na geração de energia elétrica. Estudos relacionados aos efeitos da salinidade e abrasividade características da costa brasileira nos equipamentos eólicos também são necessários.

O potencial de crescimento do mercado de energia eólica é enorme. Por outro lado, esse crescimento só será mantido e expandido com a adoção de políticas de incentivo. O mercado de energia eólica é fortemente ligado às políticas adotadas, e só é possível nos locais que oferecem incentivos (GWEC, 2006, p. 10).

A crescente demanda internacional por usinas eólicas, além da tendência de sua maior utilização em face das alterações climáticas, reforça a necessidade de incentivos à indústria nacional de aerogeradores.

Da análise efetuada, conclui-se que a energia eólica apresenta-se como alternativa para redução da dependência energética, além de estímulo para maior capacitação tecnológica da indústria de equipamentos para geração de energia. No entanto, são necessários maiores investimentos em pesquisa e desenvolvimento, considerando as características particulares do País, como regime de vento, salinidade e abrasividade.

3.2.4 Modicidade tarifária

O custo efetivo da energia eólica no Brasil é de difícil mensuração, tendo em vista a exploração ainda incipiente. Como parâmetros de referência tem-se o preço estipulado no PROINFA, que é da ordem de R\$ 192/MWh (variando de R\$ 180/MWh e R\$ 204/MWh, em função do fator de capacidade; MME, 2004), e, mais recentemente, os valores contratados no leilão específico para geração de energia nova proveniente de eólicas, que variaram de R\$ 131/MWh até R\$ 153/MWh, tendo o valor médio de R\$ 148/MWh (2º Leilão de Energia de Reserva - Leilão nº 003/2009; CCEE, 2009)¹.

O Plano Nacional de Energia 2030 – PNE 2030 (MME & EPE, 2007, p. 218) apresenta comparação dos custos estimados para geração de eletricidade por fonte. Na Figura 33 são indicadas faixas de variação de preço para diferentes fontes de geração (em US\$/MWh). A Figura indica o crescimento do custo esperado da energia hidroelétrica, na medida em que os melhores aproveitamentos vão sendo explorados (deslocamento para a direita no eixo das abscissas). A implantação das hidroelétricas tende a seguir a lógica de primeiro explorar as usinas que fornecerão energia a custos menores. Logo, seus custos médios tendem a aumentar na medida em que os melhores aproveitamentos sejam implantados.

¹ Os valores apresentados referem-se às datas-base originais.

Figura 33 - Custo médio (US\$/MWh) por fonte de geração segundo o PNE



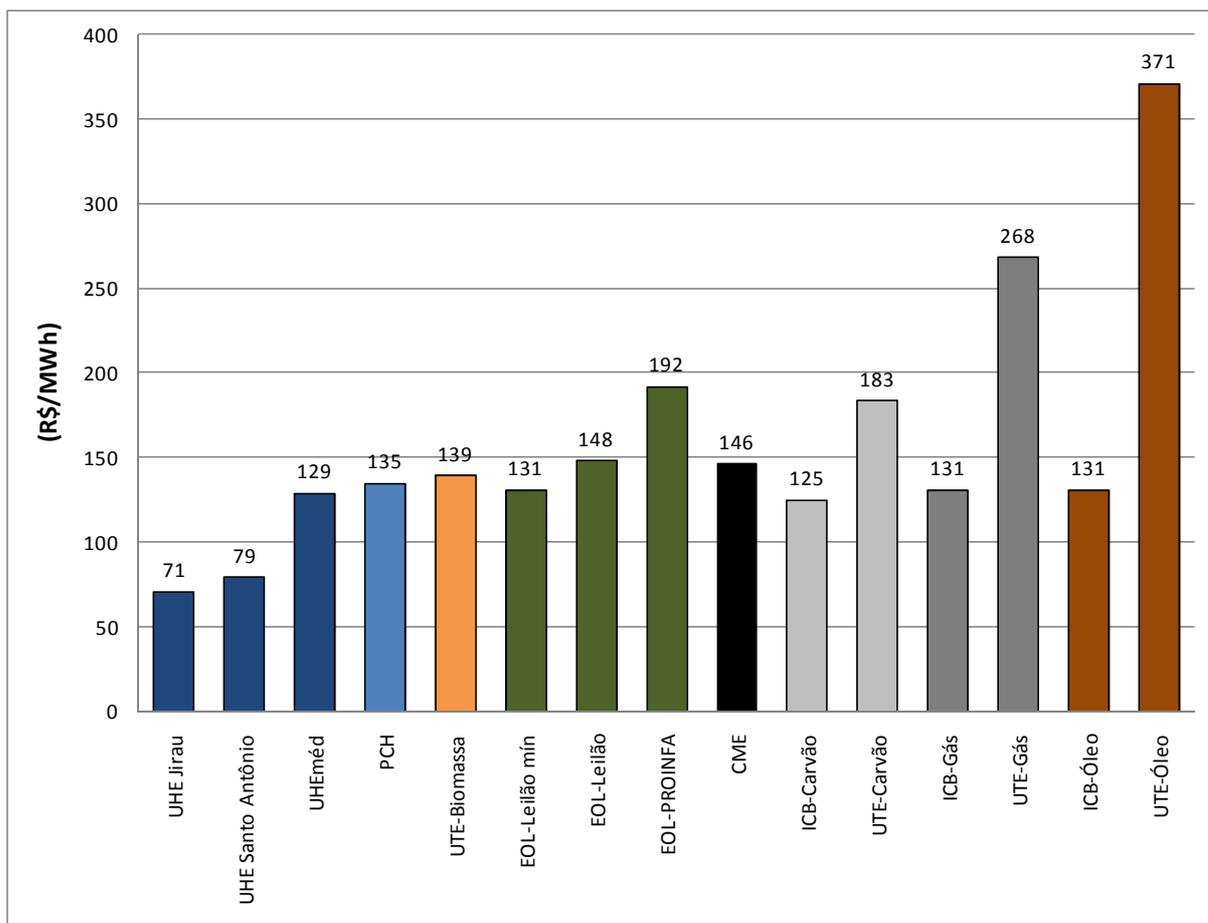
Fonte: MME & EPE (2007, p. 218)

As eólicas aparecem com custos superiores aos das outras fontes, e em particular das térmicas a carvão, que é utilizada como critério de comparação na presente pesquisa.

Neste estudo faz-se necessário aferir os valores da Figura 33, considerando os preços praticados nos últimos leilões públicos de venda de energia e, em especial, os negociados para a térmica a carvão a ser implantada no Ceará e o leilão específico de eólicas, que teve 90% da energia contratada proveniente de empreendimentos previstos para o Nordeste (CCEE, 2009).

Do levantamento realizado, obteve-se a Figura 34, que apresenta valores de referência para o preço de geração de eletricidade proveniente de diferentes fontes de geração no Brasil. Para chegar aos preços de cada fonte, como regra, considerou-se os valores contratados nos leilões de energia, obtidos a partir de dados da Câmara Comercializadora de Energia Elétrica - CCEE, instituição responsável pela realização dos leilões, por delegação da ANEEL.

Figura 34 - Preços da energia elétrica no Brasil

**Legenda:**

UHE Jirau – preço para a Hidroelétrica de Jirau, notadamente inferior à média das hidroelétricas

UHE Santo Antônio – preço para a Hidroelétrica de Santo Antônio, notadamente inferior à média das hidroelétricas

UHEméd – referência para hidroelétricas

PCH – referência para pequenas centrais hidroelétricas

UTE-Biomassa – referência para térmicas a biomassa

EOL-Leilão mín – preço mínimo obtido no leilão específico

EOL-Leilão – referência para as eólicas negociadas no leilão específico

EOL-PROINFA – referência para as eólicas o PROINFA

CME – referência para o planejamento de expansão do setor elétrico

ICB-Carvão – valor do ICB da térmica a carvão mineral prevista para o Ceará

UTE-Carvão – referência para o custo efetivo de geração da térmica a carvão mineral prevista para o Ceará

ICB-Gás – referência para o ICB das térmicas a gás natural liquefeito

UTE-Gás – referência para o custo efetivo de geração das térmicas a gás natural liquefeito

ICB-Óleo – referência para o ICB das térmicas a óleo combustível

UTE-Óleo – referência para o custo efetivo de geração das térmicas a óleo combustível

Fonte: Elaborada pelo autor a partir de MME (2004), CCEE (2007a; 2007b; 2008; 2009), ANEEL (2007; 2008) e MME & EPE (2009).

Nos parágrafos seguintes, detalham-se os critérios utilizados para chegar aos valores constantes da Figura 34. Em seguida será realizada a análise dos valores apresentados.

(i) Detalhamento dos critérios utilizados²

- Hidroelétricas (UHEméd; UHE Jirau; UHE Santo Antônio)

Para as hidroelétricas – UHEs, apresentaram-se três valores na Figura 34: (i) a média do 5º Leilão de Energia Nova, realizado em 2007 (CCEE, 2007a), no valor de R\$ 129/MWh; (ii) valor negociado em leilão público para a UHE Jirau, no valor de R\$ 71/MWh (ANEEL, 2008); e (iii) valor negociado para a UHE Santo Antônio, no valor de R\$ 79/MWh (ANEEL, 2007).

Os preços negociados para a eletricidade proveniente das usinas do rio Madeira (Jirau e Santo Antônio) são apresentados de forma ilustrativa, e não sinalizam como valores esperados das hidroelétricas em geral. Trata-se de dois potenciais hidroelétricos com características particulares e, provavelmente, com custos de geração inferiores à média das hidroelétricas que serão implantadas no País.

- Pequenas Centrais Hidroelétricas (PCH)

No caso das pequenas centrais hidroelétricas - PCHs, utilizou-se o valor médio das PCHs do 1º Leilão de Fontes Alternativas, realizado em 2007 (CCEE, 2007b), cujo valor foi de R\$ 135/MWh.

- Térmicas a biomassa (UTE-Biomassa)

No caso das térmicas a biomassa, utilizou-se o valor médio negociado para as térmicas no 1º Leilão de Fontes Alternativas (CCEE, 2007b), no valor de R\$ 139/MWh.

- Eólicas (EOL-PROINFA; EOL-Leilão; EOL-Leilão mín)

Para as eólicas, foram apresentados três valores: (i) o valor médio aproximado praticado no PROINFA, no valor de R\$ 192/MWh (MME, 2004); (ii) o valor médio do leilão exclusivo para fonte eólica, ocorrido em 2009, que foi de R\$ 148/MWh (CCEE, 2009); (iii) o valor mínimo do leilão exclusivo para fonte eólica, ocorrido em 2009, que foi de R\$ 131/MWh.

² Os valores apresentados referem-se às datas-base originais.

- Custo Marginal de Expansão (CME)

O Custo Marginal de Expansão – CME é um dos principais critérios de planejamento utilizados no Plano Decenal de Energia. É o preço de energia planejado para atender a uma demanda adicional do sistema elétrico. Na elaboração do Plano, adota-se como CME, o preço da energia do empreendimento mais caro obtido nos últimos leilões. O Plano utilizou o valor de R\$146/MWh (MME & EPE, 2009, p. 77).

Importante ressaltar que caso esse valor se refira a energia proveniente de uma térmica, ele é baseado no Índice Custo Benefício - ICB, que é um valor menor que o custo efetivo de geração, conforme será comentado nos próximos parágrafos.

- Térmica a carvão mineral (ICB-Carvão; UTE-Carvão)

Para a térmica a carvão, adotaram-se como referência os valores praticados especificamente para térmica a ser implantada no Ceará. Foram apresentados dois valores: ICB-Carvão e UTE-Carvão.

A seleção das térmicas nos leilões públicos de energia não é realizada pelo menor preço da energia em si (como ocorre com as outras fontes). Os leilões são decididos em função do Índice de Custo-Benefício – ICB. Esse índice reflete o custo esperado da geração de energia do empreendimento, e é baseado em estimativas teóricas de geração das usinas. O seu valor é obtido pela aplicação de uma equação matemática que pondera os custos fixos, que independem da quantidade de energia gerada, e os variáveis, que envolvem custos operacionais, sendo o principal deles, o combustível utilizado na geração. O ICB é um valor menor do que o custo efetivo de geração da energia.

O valor a ser efetivamente pago pela energia é composto por uma parcela fixa e outra variável. A parcela fixa é paga independentemente de a usina gerar ou não energia. Já a parcela variável é função dos custos de geração e, principalmente, da queima de combustível. Em síntese, tem-se que nos períodos em que os reservatórios das hidroelétricas estão com níveis mais altos, há menos despacho das térmicas, uma vez que seu custo de geração é maior. Já em períodos de precipitação mais críticos, recorre-se às termoelétricas em complementação às fontes mais baratas de geração. De forma a retirar esse risco dos investidores, garante-se uma receita fixa anual, independente do despacho da usina. Caso a usina seja chamada a despachar, paga-se uma receita adicional relativa aos custos de geração.

A contratação de eletricidade das usinas termelétricas é realizada por meio de contratos de disponibilidade de energia. Nesses contratos, os custos associados aos riscos hidrológicos, que determinam os níveis de despacho das usinas, são integralmente assumidos pelos agentes compradores (as distribuidoras). Dessa forma, os custos de compra de combustível são assumidos pelas distribuidoras e repassados aos consumidores finais.

O ICB-Carvão apresentado no gráfico refere-se ao valor do ICB da térmica de 700 MW prevista para ser implantada no Ceará, negociado no 5º Leilão de Energia Nova, realizado em 2007 (CCEE, 2007a), que foi de R\$ 125/MWh.

O UTE-Carvão refere-se a uma estimativa do valor efetivo de geração da térmica. Na estimativa foram considerados os custos correspondentes à receita fixa anual (cujo valor constitui o preço ofertado pelo empreendedor durante o leilão de energia nova, conforme CCEE, 2007a) e o custo variável de operação e manutenção específico para essa usina, obtido no Plano Decenal de Energia (MME & EPE, 2009, p. 139), uma vez que esses valores não são definidos nos leilões. A metodologia aplicada foi semelhante à utilizada por ELETRONUCLEAR (2008).

O custo efetivo para produção de energia elétrica da térmica, por unidade de energia (R\$ /MWh), foi, portanto, determinado segundo a equação 2:

$$CE = \frac{RF + CVU}{EC} \quad (2)$$

Onde:

CE = Custo efetivo de geração de energia (R\$ /MWh);

RF = Receita fixa anual (R\$ /ano);

CVU = Custo Variável Unitário (R\$ /MWh);

EC = Energia contratada (MWh /ano).

Da aplicação da fórmula, tem-se o valor de R\$ 183/MWh, que representa o custo efetivo de geração de energia caso a térmica seja despachada para toda a energia contratada.

- Térmica a gás natural liquefeito (ICB-Gás; UTE-Gás)

Para as térmicas a gás natural, aplicou-se metodologia semelhante à utilizada para a térmica a carvão mineral.

O ICB-Gás apresentado no gráfico refere-se ao valor médio dos ICBs contratados no 6º Leilão de Energia Nova, realizado em 2008 (CCEE, 2008), que foi de R\$ 131/MWh.

O valor referente a UTE-Gás foi obtido seguindo a mesma metodologia adotada para determinação do valor da UTE-Carvão, resultando no valor médio de R\$ 268/MWh.

- Térmica a óleo combustível (ICB-Óleo; UTE-Óleo)

Para as térmicas a óleo combustível utilizou-se metodologia semelhante a das térmicas a carvão e a gás natural.

Os valores utilizados foram obtidos do 5º Leilão de Energia Nova (CCEE, 2007) e do Plano Decenal (MME & EPE, 2009, p. 139), resultando em: ICB-Óleo com valor de R\$ 131/MWh e UTE-Óleo com valor de R\$ 371/MWh.

(ii) Análise dos dados

Os resultados obtidos no leilão específico para empreendimento eólicos (preço médio de R\$ 148/MWh), que ocorreu em 2009, indicam uma significativa redução em relação aos valores do PROINFA (preço médio de R\$ 192/MWh).

Existem alguns aspectos que podem justificar a diferença observada. O primeiro deles é o próprio método de contratação. Enquanto que no leilão específico houve competição pelo menor preço ofertado pelos investidores, no PROINFA, o principal critério de seleção foi a licença ambiental mais antiga.

Exigências relativas ao índice mínimo de nacionalização dos equipamentos, também podem ser apontadas como fator de diferença de valores. No PROINFA foi exigido percentual mínimo de nacionalização de 60%, enquanto que no leilão não houve essa exigência, o que amplia a competitividade no fornecimento de equipamentos, maior responsável pelos custos dos parques eólicos (da ordem de 75% do valor total de implantação).

Outra diferença refere-se à possibilidade de negociação de créditos de carbono. No PROINFA, os valores da negociação dos créditos gerariam efeitos financeiros para a ELETROBRAS e não para os empreendedores. No leilão de eólicas, a previsão é de que a receita oriunda de negociação dos créditos de carbono é dos empreendedores.

A seguir, transcreve-se trecho do Decreto nº 5.882/2006, que regulamentou o PROINFA, no que se refere aos créditos de carbono:

§ 2º Compete à ELETROBRAS desenvolver, direta ou indiretamente, os processos de preparação e validação dos Documentos de Concepção de Projeto - DCP, registro, monitoramento e certificação das Reduções de Emissões, além da comercialização dos créditos de carbono obtidos no PROINFA.

Para comparação, apresenta-se trecho da Portaria nº 211/2009-MME, que regulamentou o leilão específico de energia eólica:

Art. 6º Os empreendedores, que assim o desejarem, poderão pleitear para si créditos oriundos do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL, sendo de sua inteira responsabilidade a elaboração e a obtenção de todos os documentos necessários e a execução de todas as etapas para o registro de seu empreendimento junto ao Conselho Executivo do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.

Quando do lançamento do PROINFA, as incertezas para os investidores eram maiores, tratava-se do primeiro programa de grande porte de incentivo às eólicas que efetivamente trouxe acréscimo significativo na potência instalada no País. Além disso, a indústria nacional era bem menor que a atual, conforme já relatado, resultando inclusive em dificuldades no atendimento do percentual mínimo de nacionalização e no atendimento da demanda de equipamentos.

Comparando os valores obtidos no leilão específico de eólicas com outras fontes, observa-se que o preço das eólicas (médio de R\$ 148/MWh) é razoavelmente maior que o médio das hidroelétricas (R\$ 129/MWh), mas próximo dos valores médios negociados para PCHs (R\$ 135/MWh) e térmicas a biomassa (R\$ 139/MWh), também fontes alternativas de energia. O valor mínimo negociado no leilão para eólicas (R\$ 131/MWh) é inferior à média das PCHs e das térmicas a biomassa.

Trata-se de uma sinalização positiva no sentido da competitividade econômica das eólicas com outras fontes de geração de eletricidade no País.

A comparação das eólicas com o Custo Marginal de Expansão - CME sinaliza para maior inserção em planejamentos futuros. Constatou-se que, embora o valor médio negociado no leilão (R\$ 148/MWh) esteja um pouco acima do CME (R\$ 146/MWh), o menor preço contratado no leilão das eólicas (R\$ 131/MWh) é menor que o Custo Marginal de Expansão - CME, um dos principais critérios utilizados no planejamento da expansão do setor elétrico.

O custo de geração de energia elétrica dos parques eólicos (R\$ 131/MWh - mínimo e R\$ 148/MWh - médio) em comparação com as térmicas a combustível fóssil (carvão - R\$ 183/MWh, gás natural liquefeito - R\$ 268/MWh e óleo combustível - R\$ 371/MWh) indicam tendência de maior modicidade tarifária com a exploração das eólicas.

No tocante a comparação do custo efetivo de geração das eólicas com a térmica a carvão, em específico, é importante destacar dois aspectos.

O primeiro deles é que, mesmo tendo firmado contratos de venda de energia, sujeitando-se inclusive a penalidades caso não venham a implantar as eólicas, o valor negociado no leilão pelas eólicas só poderá ser realmente adotado como referência de preços no Brasil, na medida em que as usinas sejam efetivamente implantadas. Explica-se: o PROINFA, que prevê preços de energia mais elevados, não teve ainda total implantação das eólicas contratadas, e já houve sucessivas prorrogações de prazo, uma vez que o prazo inicial para fornecimento de energia era para 2006, posteriormente passou para 2008, e atualmente é para o final de 2010.

O segundo é que as térmicas em geral, mesmo considerando os custos elevados e a variabilidade dos preços dos combustíveis, têm papel relevante na operação e otimização do sistema elétrico. Trata-se de uma fonte geradora que pouco depende das condições climáticas, como chuva ou vento. Em períodos em que os reservatórios das hidroelétricas estão com níveis mais baixos (ou em períodos de pouco vento), pode-se recorrer à geração térmica, diminuindo o risco de racionamentos, por exemplo.

O valor para geração térmica a carvão utilizado neste estudo refere-se a uma térmica específica: a de 700 MW prevista para ser implantada no Ceará. Portanto, o valor apresentado não representa uma “média nacional” dos custos de térmicas a carvão mineral. Nessa usina, de acordo com o Plano Decenal de Energia, o carvão será importado, e não o nacional proveniente das reservas localizadas na região Sul do País. As térmicas a carvão do sul têm custos de geração inferiores à utilizada neste estudo de caso. Para exemplificar, no próprio

Plano Decenal, há previsão de implantação de uma térmica a carvão no Sul do País com custo variável de R\$ 41/MWh (MME & EPE, 2009, p. 138), significativamente inferior ao valor indicado para a térmica adotada como referência no presente estudo (custo variável de R\$ 106/MWh).

Não é objeto da análise realizada na presente pesquisa os critérios utilizados para precificação das térmicas nos leilões, ou seja, a utilização do Índice de Custo Benefício - ICB, que se baseia em uma equação matemática com base na geração esperada. No entanto, considerando as diferenças apontadas neste trabalho no tocante aos valores do ICB e do custo efetivo (ICB-Carvão com valor de R\$ 125/MWh e UTE-Carvão com valor de R\$ 183/MWh, por exemplo), percebe-se que caso as térmicas sejam mais despachadas do que o previsto quando da formação do ICB, os custos de geração do setor serão significativamente maiores que os indicados pelo índice, resultando em aumentos tarifários acima do previsto.

De acordo com o Centro Brasileiro de Infra-Estrutura – CBIE (2007), é preocupante a utilização do ICB, visto que exemplos reais mostraram que, em alguns casos, o custo variável unitário de geração de usinas a óleo diesel pode chegar a R\$ 1.000/MWh, quando o ICB indicava valores da ordem de R\$ 130/MWh. A metodologia de cálculo do ICB favorece usinas com baixo custo de investimento e combustíveis caros. Como essas usinas serão construídas em tese para operarem apenas em períodos hidrológicos desfavoráveis, tem-se a impressão de que o objetivo do governo de modicidade tarifária é alcançado. Enquanto isso, o modelo tem sido incapaz de viabilizar tecnologias limpas de geração com custos de investimentos mais elevados, que ficam prejudicados com os baixos preços dos leilões.

Como já relatado no presente estudo, no tópico “2.2 Mudanças Climáticas”, estudos apontam para modificação positiva no regime de ventos no litoral no Nordeste, resultando em uma tendência de custos da energia eólica inferiores aos atuais.

Com relação ao panorama internacional da energia eólica, tem-se que os custos de implantação de parques eólicos e da energia gerada variam muito de acordo com o país, com as características de cada projeto e peculiaridades locais. Os valores encontrados na literatura internacional têm uma grande amplitude de variação. Como valor médio pode-se utilizar 1.800 US\$/kW para implantação e 75 US\$/MWh para a energia gerada (WINROCK, USAID & GEC, 2004, p. F-3; UNDP et al., 2004, p. 50; GWEC, 2008, p. 42 e 43; EWEA, 2009, p. 13). Segundo esses autores, os custos de implantação variam de 1.000 até 2.000 US\$/kW e a

energia gerada entre 40 e 85 US\$/MWh. Estima-se que os custos com operação e manutenção (O&M) são entre 15 e 20 US\$/MWh (EWEA, 2004, p. 98 e 100); EWEA, 2009, p. 15).

Há grande variação nos custos de implantação e da energia gerada para as fontes alternativas de energia, que dependem de uma série de fatores, como particularidades do local de implantação. A Tabela 6 apresenta estimativa de custos da eletricidade a partir de diferentes fontes renováveis. São apresentados também estimativas de redução dos custos no futuro.

Tabela 6 - Custos da eletricidade a partir de diferentes fontes renováveis

Tecnologia	Fator de capacidade	Custo de implantação (US\$/kW)	Custo atual da energia (US\$/MWh)	Custo futuro da energia (potencial) (US\$/MWh)
Geotérmica	45 - 90	800 – 3.000	20 – 100	20 – 80
Hidroelétricas	35 - 60	1.000 – 3.500	20 – 100	20 – 100
PCHs	20 - 90	700 – 8.000	20 – 120	20 – 100
Biomassa	25 - 80	500 – 6.000	30 - 120	40 - 100
Eólica	20 - 40	850 – 1.700	40 - 80	30 -100
Fotovoltaica	6 - 20	5.000 – 18.000	25 - 160	6 – 25

Fonte: Adaptado de UNDP (et al., 2004, p. 50)

Considerando as referências mundiais de preço da energia eólica, tem-se que os preços praticados no leilão específico para energia eólica no Brasil (que teve 90% dos empreendimentos no Nordeste) apresentam potencial de redução, visto que o País apresenta áreas propícias para o aproveitamento eólico e os preços praticados no leilão específico (mínimo de US\$ 75/MWh e médio de US\$ 85/MWh³) se encontram em patamares superiores às referências mundiais.

Outra sinalização para redução nos custos da energia eólica, no Nordeste em específico, é decorrente de estudo feito por pesquisadores da COPPE (SCHAEFFER et al., 2008, p. 32), que apontam para uma maior projeção de vento no litoral em decorrência das alterações climáticas, melhorando a viabilidade econômica das eólicas no região.

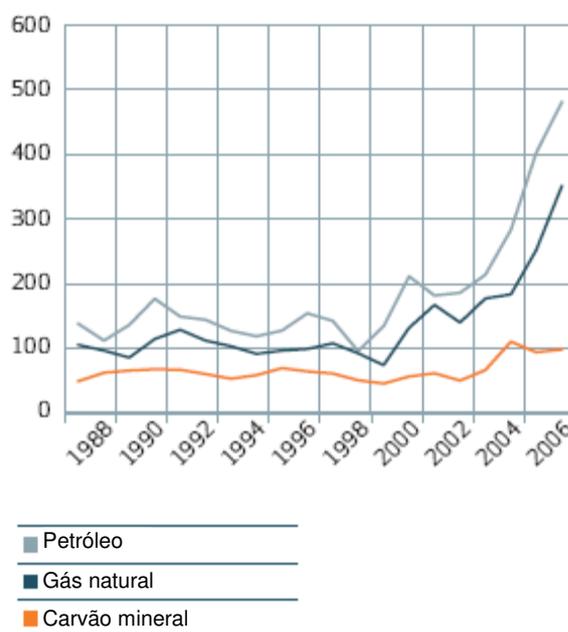
A maior parte das eólicas, tanto as contratadas no âmbito do PROINFA quanto no leilão específico, são no Nordeste. Em relação ao total contratado no PROINFA, 52% é proveniente

³ Foi utilizada a seguinte taxa de câmbio: US\$ 1,0 = R\$ 1,75 (referência 14/dez/2009, data de realização do leilão; fonte: site do BACEN).

de usinas localizados no Nordeste, e, para o leilão, o percentual foi de 90% (MME & EPE, 2009, p. 101; CCEE, 2009).

O valor da energia eólica está sujeito a variações, que dependem, principalmente, dos preços dos insumos necessários a fabricação das turbinas. Como o combustível das eólicas é o vento, o preço da energia não fica tão sujeito a variações de mercado como ocorre com combustíveis fósseis. A Figura 35 apresenta evolução dos preços de óleo, gás natural e carvão mineral.

Figura 35 - Evolução de preços para petróleo, gás e carvão (US\$/tep)



Fonte: Adaptado de WCI (2007, p. 11)

O preço da energia elétrica gerada a partir do vento é, portanto, mais estável, ao contrário da volatilidade característica de combustíveis fósseis. Nesse aspecto há de se considerar que a variação dos preços do carvão mineral é menor que a dos derivados do petróleo, sendo o preço da energia elétrica proveniente das térmicas a carvão menos sujeito a variações que os outros combustíveis.

De grande relevância também para a energia eólica, ao contrário das térmicas, são as perspectivas futuras para o mercado de carbono, principalmente em decorrência dos cenários projetados de aquecimento global. O valor da tonelada de CO₂ é negociado no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL em torno de US\$ 15,00 (GREENPEACE, 2008, p. 13; GWEC, 2008, p. 53; POINT CARBON, 2008, p. 4). Ocorre que pesquisa conduzida por POINT CARBON (2008, p. 48), envolvendo profissionais do mercado de

carbono, aponta que o valor esperado da tonelada de CO₂ pode chegar ao preço de US\$ 45,00 em 2020, representando um potencial de redução considerável nos custos da eletricidade proveniente das eólicas.

A redução de emissões de CO₂ de um projeto de MDL de geração de energia elétrica no Brasil é calculada com base na média das emissões do Sistema Interligado Nacional - SIN. O crédito de carbono é calculado considerando a redução na emissão de carbonos do projeto. Considerando uma taxa de emissão média do sistema elétrico brasileiro de 0,23 toneladas de CO₂ equivalente por MWh (média dos anos 2006, 2007 e 2008 a partir de dados publicados pelo Ministério de Ciência e Tecnologia – MCT, 2008) e o acréscimo esperado no valor da tonelada de CO₂ (até 2020), estima-se uma receita adicional para a geração de energia eólica de US\$ 8 /MWh em 2020.

De acordo com o Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República - NAE (2005, p. 107), o Brasil ocupa um papel de destaque no mundo em termos de exportação de créditos de carbono. Na América Latina, o País responde por cerca de 20% do total de créditos de carbono negociados. Em termos mundiais, os principais vendedores são China, Índia e Brasil.

Das análises efetuadas, tem-se que a energia eólica é sustentável frente às demais fontes de geração no tocante a modicidade tarifária, em especial se comparada a uma térmica a carvão mineral prevista para implantação no Ceará, cujo preço da energia efetivamente gerada é bem superior. Os valores negociados em leilão público específico para as eólicas, ocorrido no final de 2009, sinalizam que os parques eólicos, embora ainda pouco explorados, apresentam custo já bastante próximos aos de outras fontes renováveis. As eólicas ganham mais importância se consideradas as perspectivas futuras de alterações climáticas para o Nordeste.

3.3 Dimensão social

Para a dimensão social a análise será realizada considerando os seguintes parâmetros de sustentabilidade:

- Geração de emprego e renda;
- Aumento dos índices de eletrificação e qualidade do serviço;
- Participação da sociedade civil na tomada de decisões energéticas; e
- Capacitação de recursos humanos.

Antes de iniciar a análise detalhada da sustentabilidade social, apresenta-se o Quadro 11, que complementa a pesquisa dos impactos ambientais realizada no tópico referente à sustentabilidade ecológica. O Quadro 11 resume os impactos relacionados ao meio antrópico, excluídos os já tratados anteriormente, de forma a subsidiar o estudo da dimensão social.

Quadro 11 - Impactos ambientais no meio antrópico

Impactos ambientais potenciais	Fabricação	Construção	Operação
Produção de energia elétrica	-	-	A/P
Distúrbios nos padrões de qualidade da rede elétrica local	-	-	B/E
Geração de emprego e renda	A/T	A/T	B/P
Incentivo ao comércio local	A/T	A/T	B/P
Receitas locais em decorrência do arrendamento do terreno	-	-	M/P
Incremento do ICMS com a geração de energia	-	-	A/P

Legenda: Intensidade (B – Baixa, M – Média e A – Alta); Duração (E – Eventual, T – Temporário e P – Permanente)

Fonte: Adaptado de CAMARGO (2005, p. 97-99)

3.3.1 Geração de emprego e renda

A geração de energia elétrica é uma atividade de capital intensivo e não tem como característica intrínseca a geração de empregos. No entanto, com vistas ao desenvolvimento sustentável, todas as oportunidades de geração de empregos e distribuição de renda devem ser potencializadas.

Goldemberg (2004, p. 5; 2005, p. 37), como resultado da consolidação de vários estudos, apresenta comparação das taxas de geração de empregos diretos entre diferentes fontes de energia, contemplando o ciclo de produção, incluindo a fabricação e manutenção dos equipamentos e a produção de combustível, conforme Tabela 7.

Tabela 7 - Geração de empregos por fonte de energia

Tecnologia	Homem-ano⁴/TWh
Petróleo	260
Gás natural	250
Carvão mineral	370
Nuclear	75
Hidro	250
PCH	120
Eólica	918 – 2.400
Fotovoltaica	29.589 – 107.000
Biomassa (cana-de-açúcar)	3.711 – 5.392

Fonte: Goldemberg (2004, p. 5; 2005, p. 37)

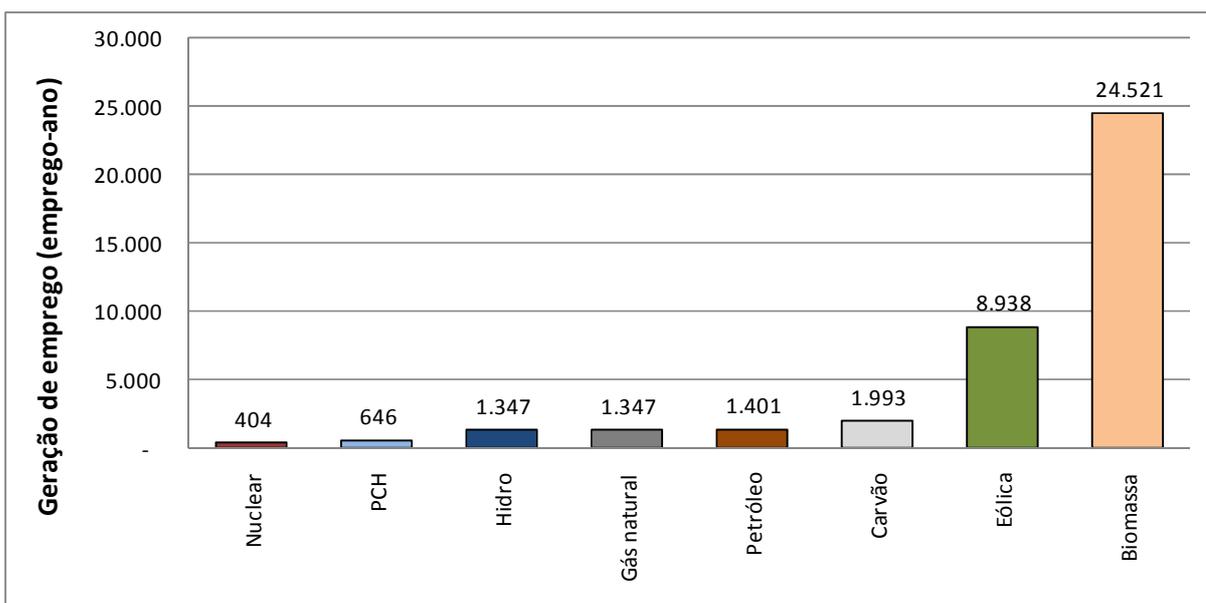
A Tabela 7 apresenta uma estimativa de geração de emprego para cada TWh de energia produzida, incluindo a operação das usinas, a construção, a fabricação de equipamentos e a extração de combustível, quando for o caso. Percebe-se que os parques eólicos aparecem como uma das fontes que geram mais empregos diretos. A fotovoltaica apresenta valores extremamente elevados, uma vez que a capacidade de produção por placa solar é muito reduzida. Os valores estimados para biomassa também são altos, visto que a produção do combustível necessita de grandes plantações, que resultam em elevada geração de empregos.

Os dados apresentados na Tabela 7 foram extraídos das fontes mencionadas. Não fez parte do escopo da presente pesquisa a aferição dos mesmos. Esses dados são utilizados nesta análise apenas para fins de comparação do potencial de geração de emprego de diferentes fontes. No caso da necessidade de utilização mais precisa dessas taxas, entende-se pertinente avaliar as particularidades de cada caso concreto. A própria faixa de variação na taxa esperada para as eólicas (de 918 até 2.400 homem-ano/TWh) sinaliza nesse sentido.

A Figura 36 apresenta estimativa da quantidade de empregos gerados (em homem-ano) para cada fonte de energia, considerando a geração de 615 MW médios (quantidade de energia contratada para a térmica a carvão mineral a ser instalada no Ceará) durante o período de um ano. Para elaboração da figura multiplicou-se a taxa de homem-ano de cada fonte pela geração de 615 MW médios, que equivale a 5,4 TWh por ano (615 MW médios x 365 dias x 24h / 10⁶). Para as fontes que a tabela apresentada indica uma faixa de variação na taxa de geração de empregos, adotou-se a média. A fonte fotovoltaica foi excluída do gráfico, uma vez que seus valores são muito superiores aos das outras fontes, distorcendo o gráfico.

⁴ Entende-se como “homem-ano” (*person-year*) o número de empregos gerados com duração de um ano. Explica-se: uma obra que dure 2 anos com uma quantidade de 100 trabalhadores, equivale a geração empregos de 200 homem-ano.

Figura 36 - Comparação do número de empregos gerados, por fonte



Fonte: Adaptado de Goldemberg (2004, p. 5; 2005, p. 37)

Percebe-se um acréscimo da ordem de 7 mil emprego-ano quando se compara a opção de geração por meio das eólicas com as térmicas a carvão mineral, para uma geração de energia de 615 MW médios, considerando o geração por um ano.

A preocupação com a geração de empregos deve ser ainda maior se consideradas as projeções para o Nordeste em decorrência dos efeitos climáticos. Em decorrência das alterações climáticas de temperatura e precipitação, projetam-se significativas reduções nas áreas de terra agricultáveis. Para o Ceará, por exemplo, a redução estimada pode ser de até 79,6% (FIOCRUZ & UFMG, 2009, p. 26), resultando em falta de empregos e conseqüente maior migração para centros urbanos. Para Pernambuco, a redução pode chegar a até 64,9%. Nesse sentido, ressalta-se ainda mais a necessidade de se buscar alternativas para fixação do homem no campo. A Figura 37 ilustra obras civis de um parque eólico (Parque Eólico de Osório, no Rio Grande do Sul).

Figura 37 - Fundação de uma eólica em obras



Fernando Meneses, 2006

De acordo com EPE (2009a, p. 3), em 2007, a indústria eólica europeia empregava quase 70.000 pessoas, sendo 43.250 na fabricação, 21.200 na montagem e instalação e 5.000 em manutenção de instalações eólicas. Nos Estados Unidos, o objetivo de redução das emissões de gases de efeito estufa se consorcia com uma política de geração de emprego, como explicitado no Plano Obama-Biden, que pretende criar 5 milhões de novos empregos na indústria da energia. Tudo isto levou, e continuará levando, a uma expansão das fontes alternativas, em especial da energia eólica.

Além do número de empregos gerados, é importante a avaliação de que, para a energia eólica, cerca de 60% dos empregos gerados está relacionado à fabricação de aerogeradores, logo, a localização das indústrias é de grande importância. Isso significa que para uma maior efetividade na geração de empregos, deve-se incentivar a implantação das fábricas de aerogeradores no local. Esses aspectos serão analisados em detalhes quando da análise da dimensão territorial.

Existem também estudos que indicam perspectivas para incremento do turismo decorrente de parques eólicos (FADURPE, 2003, p. 119), mas, em virtude de problemas decorrentes de impactos visuais negativos, eventual acréscimo decorrente do turismo não foi considerado no presente estudo. Acredita-se que, ao contrário, caso não sejam devidamente estudados os locais de implantação, áreas podem ser prejudicadas no tocante ao turismo.

Há também oportunidade para incrementar o desenvolvimento econômico local, visto a geração de emprego e renda e a possibilidade de maior profissionalização da comunidade (FADURPE, 2003, p. 119). A renda proveniente do arrendamento do terreno, que varia em torno de 1% do faturamento, é um exemplo (WINROCK, USAID & GEC, 2004, p. 48). A receita do arrendamento do terreno (aproximadamente R\$ 8 milhões por ano, para parques eólicos com geração somada total anual de 615 MW médios), pode ser investida em atividades produtivas na própria área dos parques, trazendo benefícios sociais. Considerando uma ocupação média de 2 MW/km² (RIBEIRO, 2008, 90; CAMARGO, 2005, p. 125), torna-se necessário uma área total superior a 750 km² (todos os parques somados; considerou-se um fator de capacidade de 0,4).

Algumas fragilidades relativas à sustentabilidade social devem, no entanto, ser melhor avaliadas. O incremento ao desenvolvimento sócio-econômico das comunidades locais ocorrerá se as políticas nacionais de incentivo à energia eólica forem complementadas por políticas locais. A sinergia entre a atuação do setor público, economia privada e lideranças locais aumentam as chances de sucesso de programas de incentivo. Observam-se esforços ainda incipientes dos empreendedores para melhorar a qualidade de vida das comunidades locais, que, em alguns casos, não têm acesso a infra-estruturas básicas, como água encanada e coleta de esgoto (FADURPE, 2003, p. 88).

As políticas locais e regionais de incentivo são essenciais para a sustentabilidade da geração de emprego e renda. Lima (1995, p. 5) vai de acordo com essa visão quando enumera três precondições para que a geração de emprego e renda ocorra de forma sustentável, são elas: resolução dos problemas de educação; criação e consolidação de um sistema público de emprego⁵; participação ativa de investimentos do Estado, particularmente no que diz respeito ao provimento de infra-estrutura social e econômica para a agricultura e para as pequenas e médias cidades da região.

Mesmo com as devidas ponderações, os parques eólicos são uma opção sustentável para acréscimos na geração de emprego, principalmente considerando perspectivas de alterações climáticas, e conseqüentes prejuízos à sociedade.

⁵ Entende-se por sistema público de emprego aquele que integra as ações do seguro-desemprego com a reciclagem ou formação profissional e a recolocação do trabalhador no mercado de trabalho. Em geral incorpora ainda a função de geração de emprego e renda por meio de programas especialmente voltados para esse objetivo.

3.3.2 Aumento dos índices de eletrificação e qualidade do serviço

Há vários dispositivos legais para incentivar a energia eólica, conforme resumo apresentado no Quadro 12.

Quadro 12 - Incentivos para energia eólica no Brasil

Comando legal	Legislação	Benefício
1. Livre comercialização de energia com consumidores cuja carga seja igual ou superior a 500 kW ligados em qualquer tensão	Lei nº 9.648, de 27 de maio de 1998; e Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002	As oportunidades de negócios são ampliadas, tendo em vista que os demais geradores são limitados a negociar livremente com consumidores cuja carga seja igual ou superior a 3 MW, em tensão igual ou superior a 69kV.
2. Isenção de aplicação de no mínimo 1% da receita anual operacional líquida - ROL em pesquisa e desenvolvimento - P&D	Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000	O benefício financeiro referente a este incentivo representa um custo evitado de cerca de 1 US\$/MWh
3. Descontos não inferiores a 50% nos encargos de uso dos sistemas de transmissão e distribuição, para potência instalada menor ou igual a 30 MW	Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002; Resolução ANEEL nº 281, de 10 de outubro de 1999; e Resolução ANEEL nº 219, de 23 de abril de 2003	O benefício referente a este incentivo representa um custo evitado de cerca de 0,6 US\$/MWh.
4. Comercialização da energia gerada com concessionárias de serviço público tendo como teto tarifário o valor normativo	Resolução ANEEL nº 248, de 06 de maio de 2002	Este incentivo garante um valor de repasse para a tarifa relativa à compra de energia distribuída pela concessionária de até 35 US\$/MWh.
5. Participação no rateio da Conta de Consumo de Combustível - CCC, quando substituir geração térmica a óleo diesel nos sistemas isolados - SI	Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002	Quando da substituição de uma térmica a óleo diesel, no Sistema Isolado - SI, o empreendedor terá até 75% dos seus custos ressarcidos, via participação no rateio da CCC.
6. Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia - PROINFA	Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002; e Portaria MME nº 45, de 30 de março de 2006	É garantida a compra de energia elétrica, por um preço acima do praticado no mercado e linhas de créditos especiais do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social - BNDES.
7. Pagamento aos geradores, por meio da Conta de Desenvolvimento Energético - CDE, da diferença entre o valor econômico e o valor correspondente a energia competitiva, quando a compra e venda se fizer com consumidor final	Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002	Previsto para ser utilizado na implementação da 2ª etapa do PROINFA
8. Leilão específico para contratação de energia eólica	Edital ANEEL Leilão nº 03/2009	Realizado no final de 2009, resultou na contratação de 753 MW médios.

Fonte: Adaptado de Souza et al. (2006)

Os maiores programas da política atual de incentivo aos parques eólicos são o PROINFA e a realização de leilão específico, ambos referentes à implantação de eólicas para fornecimento de energia ao Sistema Interligado Nacional - SIN. A implantação de usinas geradoras no sistema interligado por si só em pouco contribui ao fornecimento de energia para a população local que eventualmente ainda não tenha acesso à rede elétrica.

O acesso à rede elétrica é mais deficitário no sistema isolado do País, que é localizado na região norte, com poucas exceções. Há programas de incentivo específicos para a implantação de eólicas nesse sistema, como é o caso do rateio de até 75% dos custos de implantação do empreendimento quando a sua geração for substituir geração térmica a óleo diesel, conforme apresentado no quadro anterior. No entanto, não há usina eólica registrada no sistema isolado brasileiro, com exceção da EOL Fernando de Noronha, que contribui no fornecimento de eletricidade à ilha de Fernando de Noronha/ PE (ANEEL, 2010).

Com relação à qualidade no fornecimento, a inserção de eólicas no sistema elétrico, em seu aspecto geral, não introduz grandes perturbações à rede (BEZERRA & SIMÕES, 2003, p. 316). Sua utilização pode atingir valores até 20% da produção de eletricidade em grandes redes, sem prejudicar a estabilidade, tendo como exemplo o caso da Dinamarca (EWEA, 2009, p. 9 e 13). Rosas, Pereira e Feitosa (2003, p. 261) apontam que a certificação das turbinas é uma ferramenta para garantir uma operação ainda mais segura, além de permitir uma melhor otimização do projeto e mais facilidade na identificação dos poluidores da rede elétrica pelos órgãos fiscalizadores.

A tecnologia tem evoluído no sentido de permitir maior previsibilidade meteorológica. Mesmo assim, a dependência das condições climáticas e as incertezas intrínsecas a previsão do tempo não podem ser desprezadas. Por esses e outros motivos, as eólicas devem ser tratadas como uma fonte complementar de fornecimento de energia elétrica.

A geração por meio de térmicas a carvão trata-se de uma fonte com fornecimento mais garantido de energia, uma vez que seu “combustível” não depende de condições climáticas. Essa tecnologia apresenta características mais apropriadas que a geração eólica no tocante a confiabilidade do fornecimento, qualidade e na estabilidade da rede. Por outro lado, a térmica a carvão prevista para o Ceará utilizará combustível importado, reduzindo o grau de independência energética do País, aspecto já analisado no tópico 3.2.3.

O fato do combustível não depender de condições climáticas é uma característica positiva das térmicas em geral. Ao contrário das eólicas, as térmicas podem, e muitas vezes são, a principal fonte de geração de eletricidade dos sistemas.

Por outro lado, alguns cuidados são necessários. Em 2006 foi necessária a geração elétrica por meio de térmicas a gás natural que se encontravam, em tese, disponíveis para operar. Ocorre que foi constatado que as mesmas, embora para o planejamento do setor constassem como aptas para operar, não dispunham de combustível suficiente para gerar a energia solicitada. A seguir trecho da Resolução ANEEL nº 231/2006:

Os resultados do Programa Mensal de Operação - PMO e suas revisões têm indicado despachos por ordem de mérito de custo de usinas térmicas, e essas têm estado indisponíveis por falta de combustível (...)

As térmicas freqüentemente têm papel relevante no planejamento do setor elétrico uma vez seu combustível independe de condições climáticas adversas. Para aproveitar de forma mais eficaz essa característica das térmicas, torna-se necessária atuação eficiente dos órgãos de fiscalização do setor elétrico de forma a evitar indesejáveis ocorrências como verificado em 2006, quando o País necessitou da geração térmica movida a gás natural, e não havia o combustível para geração.

As eólicas, pela obrigatória dependência das condições meteorológicas, não devem ser tratadas como principal fonte da matriz elétrica. No entanto, caso participem como fonte complementar (até 20%), não prejudicam a qualidade da operação do sistema.

3.3.3 Participação da sociedade civil na tomada de decisões energéticas

EWEA (2009, p. 26) indica que a abordagem inicial junto à população local, além de práticas de gestão do parque, é mais relevante para a aceitação do público do que aspectos meramente técnicos. O envolvimento da população durante o processo de licenciamento é importante para permitir uma melhor aceitação dos moradores. Audiências públicas visando o esclarecimento de dúvidas aos interessados e para apresentar as características e potenciais benefícios do empreendimento, é uma prática que diminui problemas futuros relacionados à aceitação da população afetada. Entende-se que esse tipo de conclusão é válida para qualquer tipo de empreendimento.

Lage (2001, p. 129-131), em estudo de caso realizado no Ceará, constatou que, na elaboração de um projeto de incentivo às eólicas no estado, houve envolvimento por parte do Governo Estadual e consultas a organismo internacionais e empresas privadas, mas pouco foi realizado

no tocante ao envolvimento da sociedade em geral. No estudo, a autora ressaltou que o processo não incentivou o controle social, seja pelo acompanhamento das metas estabelecidas, seja por meio de discussões a respeito dos objetivos do projeto.

Destaca-se a importância da exigência de EIA/RIMA para a implantação e operação de novos parques eólicos, uma vez que, esse instrumento, entre outros, permite a realização de audiências públicas e, conseqüentemente, maior envolvimento e esclarecimento da população local.

Como já demonstrado no presente estudo (tópico 3.1.1), é esperado que com a maior implantação de parques eólicos, as exigências dos órgãos ambientais no processo de licenciamento sejam mais rigorosas, conforme já ocorre em alguns casos no País e no exterior (PIRES, 2009; DEUTSCHE WELLE, 2004). Dessa forma, espera-se um maior envolvimento da sociedade civil no tocante à implantação dos parques eólicos, de forma a permitir um desenvolvimento sustentável mais efetivo para a região.

3.3.4 Capacitação de recursos humanos

A capacitação de recursos humanos está diretamente relacionado ao desenvolvimento da indústria e engenharia nacional, já analisado no presente estudo na dimensão econômica (tópico 3.2.3). Como demonstrado, houve um acréscimo na indústria nacional e também a capacitação técnica de empresas de consultoria em prospecção, estimativa de produção, projeto e certificação.

EPE (2009a, p.11) aponta que para possibilitar uma expansão sustentada das eólicas como fonte complementar no parque gerador nacional, é necessário o estabelecimento de ações para internalização da tecnologia. Além disso, tem-se que o ganho de conhecimento e de competitividade de uma fonte pode ser acelerado pela antecipação da sua inclusão, ou do aumento de sua participação na matriz energética.

Portanto, o incentivo à energia eólica passa por uma capacitação de recursos humanos, seja por meio de treinamentos específicos, seja por cooperação internacional.

3.4 Dimensão territorial

Para a dimensão territorial a análise será realizada considerando os seguintes parâmetros de sustentabilidade:

- Equidade entre regiões;
- Promoção de desenvolvimento local; e
- Diminuição do êxodo rural.

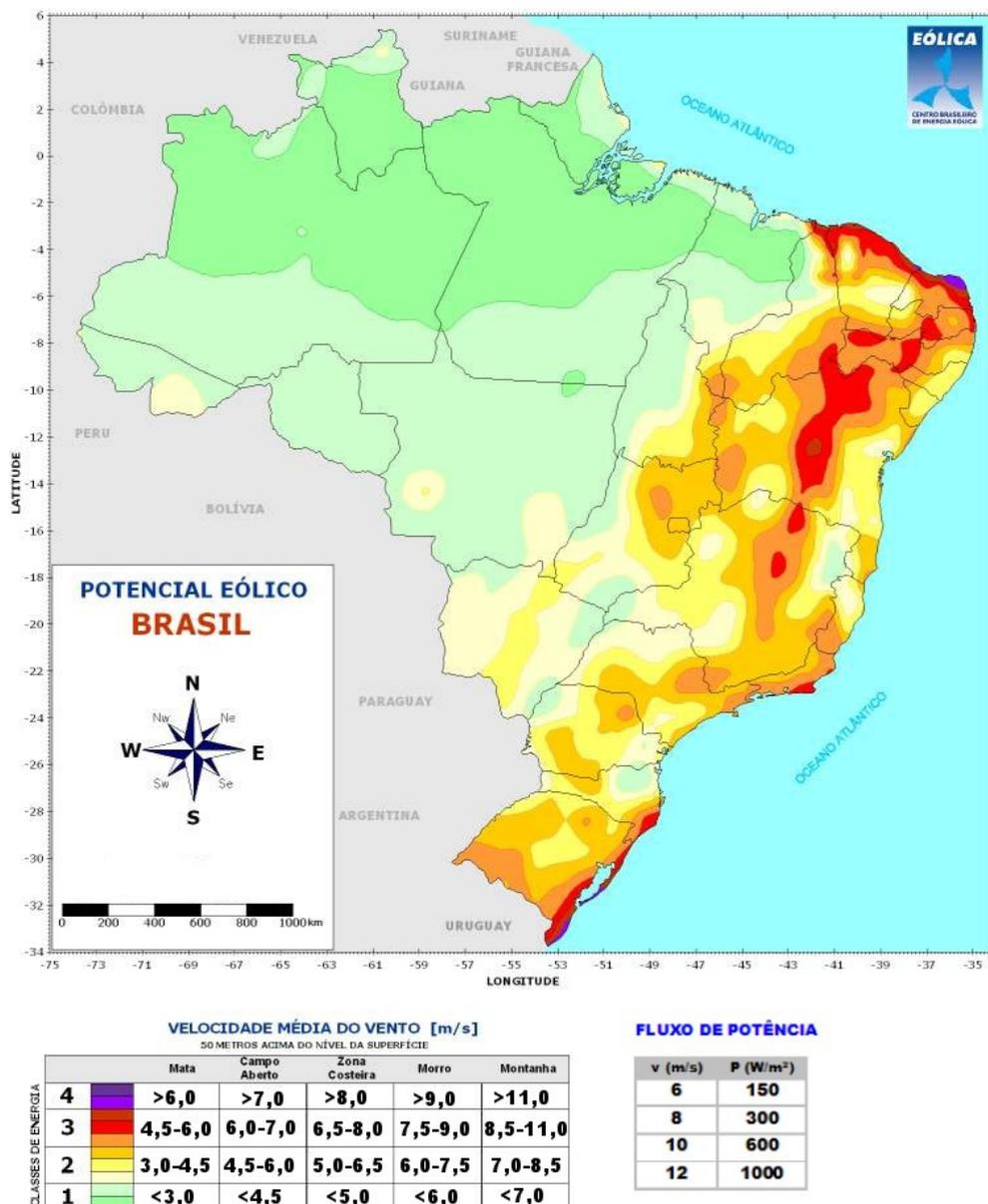
3.4.1 *Equidade entre regiões*

O potencial eólico é passível de aproveitamento em diferentes áreas do País, especialmente ao longo do litoral, com destaque para a região Nordeste. Trata-se de uma fonte de energia estratégica para essa região, que tem grande intensidade de ventos e cujo potencial hidroelétrico já é significativamente utilizado.

A geração eólica, além do potencial para ser utilizada no sistema interligado, apresenta-se como opção para fornecimento à sistemas isolados, desde que acoplada a outra fonte de energia elétrica, como é o caso da Eólica Tubarão, em Fernando de Noronha/ PE, que funciona em complementação à geração termoelétrica.

A Figura 38 apresenta o Mapa do Potencial Eólico Brasileiro, que demonstra regime de vento passível de ser utilizado na geração de eletricidade tanto no litoral como no interior, com destaque para a região Nordeste, em especial no litoral do Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba.

Figura 38 - Mapa do potencial eólico brasileiro



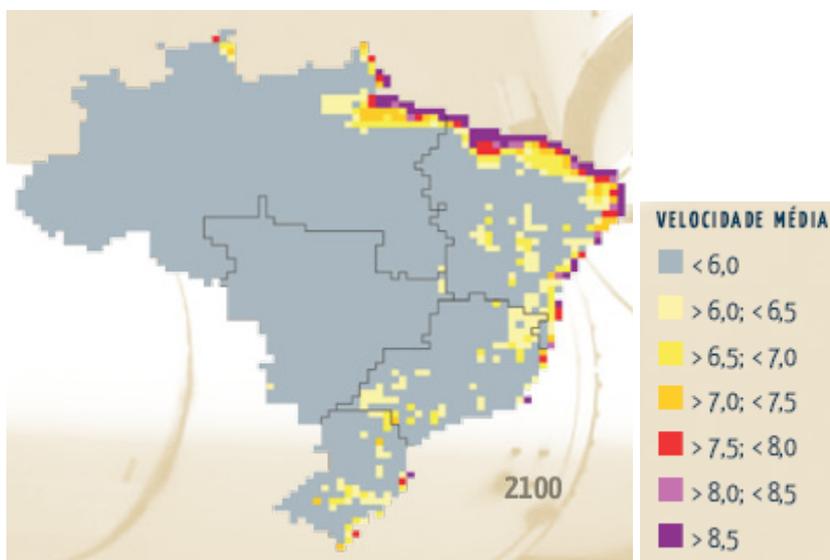
Fonte: Adaptado de Feitosa et al. (2003, p. 21)

As térmicas a carvão, devido a condições econômicas ligadas ao transporte do combustível, devem ser preferencialmente localizadas próximas aos locais de extração do mesmo. Observa-se que 89% das reservas de carvão mineral do País estão localizadas na região Sul (MME & EPE, 2009, p. 92). Para o Nordeste, resta a alternativa de carvão importado, cuja exploração deve ser próxima aos portos existentes, uma vez que o transporte é por meio de navios.

Em decorrência das alterações climáticas, projeta-se alteração no regime dos ventos, sinalizando para redução no potencial eólico nacional e para maior concentração no litoral (SCHAEFFER et al., 2008, p. 34). A Figura 39 apresenta projeção do potencial de vento

considerando um cenário pessimista de emissão de gases do efeito estufa (cenário A2, projeção para 2100).

Figura 39 - Velocidade média anual do vento em 2100 para o cenário A2



Fonte: Schaeffer et al. (2008, p. 34)

As alterações climáticas podem resultar em modificações no regime dos ventos e redução do potencial eólico nacional. Áreas localizadas mais ao centro do continente terão seu potencial reduzido, podendo inviabilizar as eólicas como fonte de geração de eletricidade nesses locais. As eólicas devem ficar mais concentradas no litoral, continuando com elevado potencial na região Nordeste.

Mesmo com a tendência de redução no potencial total e maior concentração no litoral, as eólicas apresentam-se como uma alternativa para inverter a tendência projetada no Plano Decenal de Energia, que indica para uma grande concentração de térmicas movidas a combustíveis fósseis na região Nordeste, transformando-a, inclusive, no ano de 2013, na região do País com maior emissão de gases do efeito estufa do setor elétrico (MME & EPE, 2009, p. 400).

3.4.2 Promoção de desenvolvimento local e diminuição do êxodo rural

O potencial de geração de empregos da energia eólica foi demonstrado quando da análise da dimensão social (tópico 3.3.1). Estima-se que são gerados 9,0 empregos diretos e indiretos por MW na fabricação dos componentes, seguido da construção, com 4,0 homem.ano/MW, e por último, a operação do parque 0,2 homem/MW⁶ (WINROCK, USAID & GEC, 2004, p. 90; EWEA, 2004, p. 137-138; EWEA, 2009, p. 18). Isso significa que do total de empregos gerados, cerca de 60% está relacionado à fabricação de aerogeradores.

Uma maior efetividade na geração de empregos e promoção do desenvolvimento local, com conseqüente fixação do homem no campo e diminuição do êxodo rural, depende da implantação das fábricas de aerogeradores próximas aos locais dos parques eólicos.

A maior parcela do investimento na implantação de uma usina eólica é nos equipamentos, demonstrando, sob outra ótica, a importância de se incentivar a implantação das fábricas na região que se deseja incrementar o desenvolvimento local. A Tabela 8 apresenta percentuais aproximados da distribuição dos custos de uma eólica.

Tabela 8 - Estrutura típica de custos para implantação de um parque eólico

Etapa	Participação (%)
Turbinas	75,6%
Fundações	6,5%
Instalações elétricas	1,5%
Conexões à rede	8,9%
Sistemas de controle	0,3%
Consultoria técnica	1,2%
Terreno	3,9%
Custos financeiros	1,2%
Estradas	0,9%
Total	100%

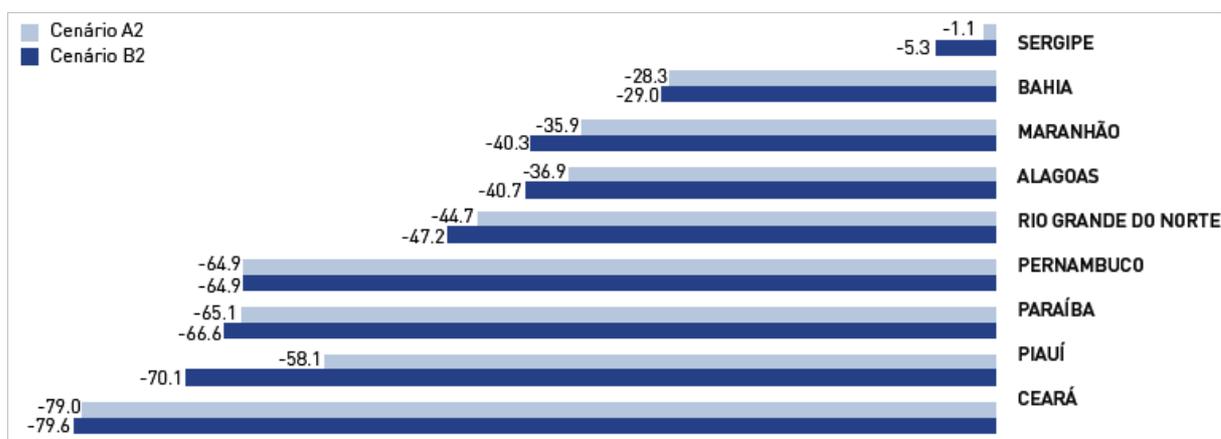
Fonte: Adaptada de EWEA (2009, p. 14)

⁶ Os índices de geração de empregos na etapa de fabricação e construção foram calculados pelo autor a partir de dados referentes à realidade europeia, acredita-se que para a realidade brasileira o quociente homem.ano/MW pode ser diferente. Foram encontradas variações significativas desses índices na literatura, por exemplo, DWTMA (1996) apresenta estimativa na etapa de manufatura de 14 homem.ano/MW e na construção de 8,5 homem.ano/MW. O próprio relatório da EWEA (2004b, p. 129) apresenta índices distintos para diferentes países da União Europeia Ressalta-se a dificuldade na mensuração desses índices, tendo em vista: (i) grande número de empregos indiretos envolvidos; (ii) peculiaridades de cada parque e local.

O incentivo para implantação de indústrias de equipamentos em locais estratégicos, próximas dos projetos eólicos, é uma alternativa que deve ser avaliada. Os equipamentos equivalem a aproximadamente 75% do custo total do empreendimento, e são responsáveis pela maior parte empregos gerados. Essa pode ser uma forma de potencializar ainda mais os benefícios, reduzindo custos com transporte dos equipamentos e maximizando impactos positivos locais.

A relevância de incentivar as indústrias para a região Nordeste é ainda maior se consideradas as perspectivas futuras de redução das áreas agropecuárias e conseqüentes ondas migratórias em decorrência do aquecimento global. Conforme relatado no tópico “2.2 Mudanças climáticas”, as projeções decorrentes dos efeitos climáticos apontam para significativa redução na disponibilidade de terras agricultáveis. De acordo com FIOCRUZ & UFMG (2009, p. 26), estados como Ceará e Pernambuco terão perdas de até 79,6% e 64,9%, respectivamente, conforme Figura 40. Por outro lado, deve-se considerar que há previsão de concentração do potencial eólico na região litorânea.

Figura 40 - Choques na oferta de terra para a agropecuária, para cada cenário climático



Fonte: FIOCRUZ & UFMG (2009, p. 26)

Da área total destinada ao parque apenas 4% é ocupada pelas instalações físicas e estradas de acesso, deixando 96% de terreno livre para outras atividades (WINROCK, USAID & GEC, 2004, p. 33). A Figura 41 (Eólica Praias de Parajurú/CE) ilustra a baixa ocupação física.

Figura 41 - Parque eólico em operação no Ceará



Ricardo Barbosa, 2009

As Figuras 42 (Parque Eólico de Osório/RS) e 43 (Eólica Praias de Parajuru/CE) ilustram a utilização da área do parque para outros fins, no caso a pecuária.

Figura 42 - Parque eólico em operação no Rio Grande do Sul



Fernando Meneses, 2006

Figura 43 - Parque eólico em operação no Ceará



Ricardo Barbosa, 2009

Os parques eólicos resultam em reduzidas alterações no aproveitamento da área para atividades agropecuárias. Observa-se que as instalações físicas e estradas de acesso ocupam pequena parcela da área total, permitindo que as atividades produtivas que antes eram desenvolvidas na área continuem sendo exploradas.

Os incentivos às eólicas, caso aliados a políticas locais e explorado ao máximo o potencial para desenvolvimento local, apresentam-se como alternativa de fixação do homem distante dos grandes complexos urbanos.

Do exposto, tem-se a energia eólica como alternativa para auxiliar na promoção do desenvolvimento local e fixação do homem no campo. No entanto, tais benefícios, sem políticas locais apropriadas, tanto de incentivo às indústrias, como para o aproveitamento da área com outras fontes de renda, ficam ameaçados.

3.5 Dimensão cultural

Para a dimensão cultural a análise será realizada considerando os seguintes parâmetros de sustentabilidade:

- Aumento do uso de fontes endógenas de energia;
- Equilíbrio entre tradição e inovação;
- Difusão tecnológica;

- Promoção de educação ambiental; e
- Aumento da confiança da população em energias alternativas.

3.5.1 Aumento do uso de fontes endógenas de energia

O aproveitamento do potencial eólico para geração de eletricidade no Nordeste apresenta-se como alternativa para garantir a utilização ainda maior de fontes endógenas de energia. Ao contrário, o combustível previsto para utilização na térmica do Ceará será carvão mineral importado.

3.5.2 Equilíbrio entre tradição e inovação

O uso da força dos ventos faz parte da tradição de campo, em especial por meio de cataventos. Trata-se, de certa forma, de uma tecnologia conhecida da população em geral. A força dos ventos no litoral também é freqüentemente aproveitada nas jangadas, e fazem parte da cultura da região.

De acordo com Lage (2001, p. 124), “*a cultura dos cataventos é tão enraizada, que os parques eólicos são tidos como símbolos do progresso dos cataventos, e a sociedade local sente orgulho por produzir energia eólica*”.

Com relação à térmica, tem-se que a usina prevista para instalação no Ceará será a primeira da região Nordeste movida a carvão mineral, além de ser a maior térmica prevista no Plano Decenal, com exceção da usina nuclear de Angra 3. O combustível previsto para a usina será importado.

A energia eólica é uma tecnologia pouco utilizada no Brasil e, em um curto período, pretende-se ampliar significativamente a capacidade de geração elétrica pela fonte eólica. Até 2005, a potência total instalada no País era de 29 MW, enquanto que existem 3.228 MW de potência contratada, considerado a primeira etapa do PROINFA e o leilão específico de energia eólica (EPE, 2009b, p. 164; ANEEL, 2006; CCEE, 2009). Isso pode representar falta de equilíbrio entre inovação *versus* tradição.

Surgem imprecisões relativas à energia firme, a operação do sistema nacional, aos impactos na rede de transporte e à otimização do dimensionamento dos equipamentos, visto a pouca experiência. Camargo (2005, p. 180-184), em análise de eólicas no Paraná, identificou problemas relativos a: montantes de energia produzidos inferiores aos estimados; baixo fator de disponibilidade das máquinas; aerogeradores dimensionados para condições de vento diferentes; desempenho dos aerogeradores inferior à curva fornecida pelo fabricante e; massa específica do ar inferior à de projeto. Características particulares do País, como regime de vento, salinidade e abrasividade, que influem diretamente no funcionamento, manutenção e durabilidade dos equipamentos necessitam ser avaliados (DUTRA, 2007, p. 256-257 e 283-284).

3.5.3 Difusão tecnológica

A evolução da indústria nacional de componentes eólicos e a capacitação de recursos humanos já foi objeto de análise nos tópicos 3.2.4 e 3.3.5 da presente pesquisa, em que se concluiu pela promoção do desenvolvimento tecnológico no País e capacitação técnica.

3.5.4 Promoção de educação ambiental e aumento da confiança da população em energias alternativas

A promoção da educação ambiental foi enquadrada como de relevância também para a dimensão ecológica (tópico 3.1.4), em que se concluiu pelo elevado potencial de promoção da educação ambiental, apesar de que pouco tem sido aproveitado.

A divulgação de resultados de sucesso pode acelerar a confiança da população na energia eólica. Sua imagem está culturalmente ligada à proteção do meio ambiente, tal aspecto deve ser aproveitado com programas de educação ambiental, na tentativa de inserir a variável ambiental no pensamento da população.

Ao mesmo tempo em que aparece como uma oportunidade para acelerar a aceitação da população com relação às fontes alternativas, há risco de se criar certa aversão, tendo em vista que os valores contratados no PROINFA resultam em acréscimos nas contas de energia.

4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES FINAIS

Os cenários climáticos projetados sinalizam para significativas alterações climáticas durante o século XXI. Os prejuízos à sociedade no caso de se concretizarem as mudanças sinalizadas são alarmantes, com impactos negativos nos ecossistemas, na economia e na saúde. Eventos extremos, como secas, enchentes, ondas de calor e de frio, furacões e tempestades, já afetam diferentes partes do planeta, inclusive o Brasil.

Para o Nordeste brasileiro, a tendência é de redução de chuvas acompanhada de aumento da temperatura. A região é apontada como uma das que serão mais afetadas pelas mudanças climáticas no mundo. Projeta-se desaceleração no desempenho econômico, com possível queda na disponibilidade de empregos, que decorrerá essencialmente dos efeitos do aumento da temperatura sobre a agricultura, acarretando redução da qualidade de vida e migração das populações das áreas mais carentes para os grandes centros urbanos.

As fontes alternativas de geração de eletricidade surgem como opção para promoção do desenvolvimento sustentável no Nordeste. Estratégias de desenvolvimento que englobem aspectos não só econômicos, como também sociais e ambientais, tornam-se necessárias. O setor elétrico também pode sofrer as conseqüências das alterações climáticas. Projeções indicam que o sistema energético brasileiro é vulnerável, sendo o Nordeste a região mais afetada. Para a bacia do São Francisco, onde estão as principais hidroelétricas da região, aponta-se para redução significativa da vazão média.

Com relação ao potencial eólico nacional, estima-se queda no total, com perda no interior e concentração das áreas favoráveis à geração no litoral do Nordeste, onde a ocorrência de ventos com altas velocidades aumentará. Por outro lado, essas áreas, que já são propícias nas condições atuais, passarão a ser ainda mais, favorecendo a viabilidade econômica dos projetos.

A participação da energia eólica na matriz mundial ainda é pequena, no entanto, sua contribuição vem crescendo rapidamente. A partir de 1980, o aumento da potência unitária das turbinas e da altura das torres caracterizou a evolução tecnológica da indústria eólica. Na União Européia, por exemplo, as eólicas são a fonte de geração de eletricidade que mais

crece. Regulamentos específicos vêm sendo criados em todo o mundo e têm papel fundamental na expansão eólica. O incentivo às fontes renováveis, em geral, visa atender objetivos estratégicos nacionais ou regionais relacionados à segurança energética, à redução de gases de efeito estufa e à geração de emprego e renda.

Em potência total acumulada, os Estados Unidos aparecem como país com maior potência eólica instalada, seguido da Alemanha, que até 2008 era a primeira, e da China. Os custos relacionados à energia eólica vêm decaindo. As reduções estão principalmente relacionadas aos aperfeiçoamentos tecnológicos e economia de escala. Os custos e a necessidade de investimentos das fontes alternativas ainda são maiores que de fontes convencionais, embora se observe tendência de redução com a sua maior exploração. Acreditando-se nos diferentes benefícios das fontes renováveis, estão sendo criadas políticas públicas para incentivar seu desenvolvimento.

No Brasil, o Nordeste concentra mais da metade do potencial nacional. Entre os programas de incentivo criados para a energia eólica, destaca-se o PROINFA, criado em 2002, que já resultou em significativo acréscimo da potência eólica no País, e o 1º leilão específico para parques eólicos (Leilão nº 003/2009 – CCEE), que ocorreu no final de 2009. Em relação ao total contratado no PROINFA, 52% é proveniente de usinas localizadas no Nordeste, e, para o leilão, o percentual foi de 90%.

O planejamento decenal de energia elétrica brasileiro indica para um crescimento percentual na participação das eólicas na matriz, mas ainda de forma discreta. O acréscimo refere-se à energia contratada no PROINFA, que foi o incremento de eólicas considerado pelo plano.

Com relação à participação de cada região brasileira no total da potência instalada, percebe-se um crescimento percentual do Nordeste, que passa de 13% em 2008, para 15% em 2017. Para as térmicas, há um significativo acréscimo da participação nordestina. Do total das térmicas instaladas no Brasil até 2008, 14% estavam no Nordeste, enquanto que, em 2017, planeja-se um aumento para 34%. Dessas térmicas, grande parte refere-se a carvão mineral, um tipo de geração inédito no Nordeste e com elevada taxa de emissão de CO₂. Destaque para a previsão de uma usina de 700MW no Ceará, sendo essa a maior térmica prevista para ser implantada no País, com exceção da usina nuclear de Angra 3.

Da avaliação efetuada nesta pesquisa conclui-se que:

(i) Dimensão ecológica

- Há impactos ambientais positivos e negativos relacionados à fase de construção dos parques. No entanto, não se observam grandes peculiaridades se comparadas a obras de outras fontes.
- Aspectos relacionados ao impacto visual negativo, emissão de ruído e interferência nos pássaros podem vir a tornar-se um problema, se não forem bem equacionados nas etapas de projeto e de licenciamento ambiental. As medidas mitigadoras apontadas não são de difícil implementação e mostram-se de grande relevância.
- As eólicas apresentam-se como opção de geração de eletricidade com menores impactos ambientais negativos. Mesmo assim é necessário constante aprimoramento no processo de licenciamento ambiental dos empreendimentos.
- A substituição hipotética de uma térmica a carvão de 700MW por eólicas com produção anual de energia equivalente, resultaria em significativa redução na emissão de gases do efeito estufa.
- O incentivo às eólicas é uma opção para alterar o perfil traçado no planejamento de expansão setorial, que prevê a região Nordeste como umas maiores emissoras de gases do efeito estufa no País, no âmbito do setor elétrico.
- O incentivo às eólicas resulta em substituição de recursos energéticos não renováveis e implica no incentivo de novas tecnologias renováveis, tal como a utilização de torres mais elevadas, permitindo melhor aproveitamento do vento.
- O balanço energético das eólicas é bastante positivo considerando as diferentes fases do ciclo de vida dos equipamentos.
- A energia eólica apresenta grande potencial de promoção da educação ambiental, mas pouco tem sido aproveitado nesse sentido.

(ii) Dimensão econômica/estratégica

- A geração de energia elétrica no Nordeste é na sua maior parte hídrica, porém, os melhores aproveitamentos já foram construídos. As centrais eólicas apresentam-se como opção complementar de geração na bacia do São Francisco, em razão da complementaridade dos regimes de ventos e hídricos.
- Em que pese a sinalização de redução no potencial total em decorrência de alterações climáticas, a fonte eólica continua apresentando-se como alternativa. Estima-se um aumento da velocidade dos ventos no litoral nordestino, viabilizando ainda mais o aproveitamento nessa região.

- As eólicas são de rápida implantação, com possibilidade de ampliações graduais.
- A impossibilidade de armazenamento do vento limita o potencial a ser explorado, devendo a utilização das eólicas ser complementar às outras fontes de energia elétrica.
- Os procedimentos adotados no leilão específico para eólicas permitiram a escolha de projetos mais eficientes, ao contrário do que ocorreu com o PROINFA.
- Constatou-se desenvolvimento da indústria nacional de aerogeradores, mas são necessários maiores investimentos em pesquisa, considerando características particulares do País, como regime de vento, salinidade e abrasividade.
- Os resultados obtidos no leilão específico para eólicas, ocorrido em 2009, indicam redução do preço em relação aos valores de energia negociados no PROINFA.
- A comparação do preço das eólicas com o Custo Marginal de Expansão - CME sinaliza para a sua maior inserção em planejamentos futuros. O custo da energia em comparação com as térmicas a combustível fóssil, indica tendência de maior modicidade tarifária com a exploração das eólicas. Os valores negociados no leilão específico são próximos aos de outras fontes renováveis.
- As perspectivas futuras para o mercado de carbono são favoráveis às eólicas, principalmente em decorrência dos cenários projetados de aquecimento global.
- Os preços da energia eólica praticados no Brasil apresentam potencial de redução se comparados com referências mundiais.

(iii) Dimensão social

- A geração de eletricidade convencionalmente é uma atividade de capital intensivo. Portanto, não tem como característica intrínseca a geração de muitos empregos.
- Os parques eólicos aparecem como uma das fontes de eletricidade que geram mais empregos diretos. Há também oportunidade para incrementar a qualidade de vida local, visto a receita proveniente do arrendamento do terreno, que pode ser investida em atividades produtivas na própria área do parque.
- As eólicas pouco contribuem para o aumento dos índices de eletrificação, uma vez que os maiores incentivos são para implantação no sistema interligado.
- As eólicas não se apresentam como risco à qualidade da prestação do serviço público e confiabilidade do fornecimento de energia, desde que participem apenas como fonte complementar na matriz elétrica (até 20%).
- Um maior envolvimento da sociedade civil no processo de implantação dos parques eólicos é esperado na medida em que os órgãos ambientais passem a exigir a

realização de audiências públicas. Isso destaca a importância da exigência de EIA/RIMA. O envolvimento da população durante o processo de licenciamento resulta em melhor aceitação dos moradores.

- O incentivo à energia eólica passa por uma capacitação de recursos humanos locais, seja por meio de treinamentos específicos, seja por cooperação internacional.
- O incremento na qualidade de vida da população local depende de políticas nacionais de incentivo às eólicas complementadas por políticas locais. Observam-se esforços ainda incipientes para melhorar a qualidade de vida das comunidades locais, que, em alguns casos, não têm acesso a infra-estruturas básicas, como água encanada e coleta de esgoto.

(iv) Dimensão territorial

- O potencial eólico é passível de aproveitamento em diferentes áreas do País, especialmente ao longo do litoral, com destaque para a região Nordeste.
- Em decorrência das alterações climáticas, projeta-se alteração no regime dos ventos, sinalizando para maior concentração no litoral nordestino, embora com redução no potencial eólico nacional total.
- A energia eólica é uma alternativa para auxiliar na promoção do desenvolvimento local e fixação do homem longe dos grandes centros urbanos, em que pese a tendência de concentração na região litorânea. A sua maior efetividade depende da implantação das fábricas de componentes eólicos próximas aos locais dos parques.
- A relevância de incentivar as indústrias para a região Nordeste é ainda maior se consideradas as perspectivas futuras de redução das áreas agropecuárias e conseqüentes ondas migratórias em decorrência das mudanças climáticas.

(v) Dimensão cultural

- As eólicas apresentam-se como alternativa para maior utilização de fontes endógenas de energia.
- O uso da força dos ventos faz parte da tradição de campo, em especial por meio de cataventos.
- As usinas eólicas ainda são pouco utilizadas no Brasil e, em um curto período, pretende-se ampliar significativamente a capacidade de geração elétrica pela fonte eólica. Isso pode causar dissonância entre inovação e tradição. Desse desequilíbrio surgem riscos potenciais relativos a imprecisões na energia firme, operação do sistema, impactos na rede de transporte e ausência de otimização do

dimensionamento dos equipamentos. Características particulares do País, como regime de vento, salinidade e abrasividade, que influem diretamente no funcionamento, manutenção e durabilidade dos equipamentos, necessitam ser melhor avaliadas.

- A imagem das eólicas está culturalmente ligada à proteção do meio ambiente, assim tal aspecto deve ser mais aproveitado com programas de educação ambiental.
- Trata-se de oportunidade para difusão tecnológica, cooperação internacional e aceleração da confiança da população em energias alternativas. Por outro lado, há risco de se criar certa aversão, tendo em vista que os valores contratados no PROINFA resultam em acréscimos nas contas de energia.

A tecnologia eólica apresenta-se como alternativa apropriada para promoção do desenvolvimento sustentável no Nordeste. Uma maior utilização da fonte torna-se mais importante com os cenários projetados de mudanças climáticas na região. Benefícios decorrentes de menores impactos ambientais negativos, a exemplo da baixa taxa de emissão de gases do efeito estufa, e de maiores perspectivas de geração de emprego, com conseqüente diminuição da migração para os grandes centros urbanos, possivelmente serão alcançados caso ocorra um maior incentivo às eólicas.

Maiores exigências no licenciamento dos parques eólicos são esperadas, o que potencializará ainda mais os benefícios da fonte. No entanto, demanda-se um maior planejamento do setor de forma a diminuir as incertezas com os cronogramas de implantação, como exemplo das dificuldades que ocorrem atualmente com as hidroelétricas.

O preço da energia eólica mostra-se mais competitivo e, com as perspectivas de mudanças climáticas, o regime de vento no litoral do Nordeste sinaliza para reduzir o preço da energia produzida pelos parques eólicos. Trata-se de uma alternativa que deve ser considerada na diversificação da matriz elétrica nacional. Recomenda-se que o planejamento setorial considere um maior aproveitamento dos parques eólicos no Nordeste em especial, que tem significativo potencial para a exploração dos ventos na geração de eletricidade. Em paralelo, são necessários maiores investimentos em pesquisa para conhecimento de características particulares do litoral nordestino, como regime de ventos e salinidade.

A energia eólica é uma alternativa viável e apropriada para geração complementar de eletricidade no Nordeste e apresenta-se como importante instrumento para mitigar os efeitos das mudanças climáticas nessa vulnerável região.

5. REFERÊNCIAS

ABNT. *NBR 10.152. Níveis de ruído para conforto acústico*. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2000.

ACSELRAD, H.; MELLO, C. C. A.; BEZERRA, G. N. *O que é justiça ambiental*. Garamond: Rio de Janeiro, 2009.

AMARANTE, O. A.; ZACK, M. B. J. & SÁ, A. L. *Atlas do potencial pólico brasileiro*. MME: Brasília, 2001. Disponível em: www.cresesb.cepel.br/atlas_eolico_brasil/atlas-web.htm. Acessado em: 08/06/2006.

ANEEL. *Acompanhamento de centrais geradoras do PROINFA*. 2006. Disponível em: www.aneel.gov.br/37.htm. Acessado em: 07/09/2006.

_____. *Resolução normativa nº 231 de 19/09/2006*. Estabelece procedimentos e critérios para determinação da disponibilidade observada de usina térmica despachada centralizadamente, em função da falta de combustível. Disponível em: www.aneel.gov.br/37.htm. Acessado em: 30/01/2010.

_____. *Resultado do leilão da UHE Santo Antônio*. 2007. Disponível em: www.aneel.gov.br/hotsite/hotsite_ver2/default.cfm#. Acessado em: 30/01/2010.

_____. *Resultado do leilão da UHE Jirau*. 2008. Disponível em: www.aneel.gov.br/hotsite/hotsite_ver2/default.cfm#. Acessado em: 30/01/2010.

_____. *Banco de Informações de Geração – BIG*. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/15.htm>. Acessado em: 10/03/2010;

BANCO DO NORDESTE. *Manual de impactos ambientais: orientações básicas sobre aspectos ambientais de atividades produtivas*. Coordenação: Marilza do Carmo Oliveira Dias. Fortaleza: Banco do Nordeste, 1999.

BERMANN, C. (Coordenação). *Proyecto Cono Sur sustentable: propuestas de políticas energéticas sustentables para el Cono Sur*. 2002. Disponível em: www.riosvivos.org.br/arquivos/511814105.pdf. Acessado em: 06/06/2006.

BEZERRA, P. & SIMÕES, V. *Avaliação do impacto elétrico da inserção de centrais eólicas no sistema CHESF*. In: MONTENEGRO, A. A. (Org.) *Fontes Não-Convencionais de Energia: as Tecnologias Sola, Eólica e de Biomassa*. 2ª Ed. Florianópolis: LABSOLAR: UFSC, 1999.

BRANCO, S., M. *Energia e meio ambiente*. 17. ed. São Paulo: Moderna, 1990.

BRASIL. *Constituição da República Federativa do Brasil de 1988*. Disponível em www.presidencia.gov.br/legislacao/. Acessado em: 18/09/2006.

_____. *Decreto nº 5.882, de 31 de agosto de 2006*. Modifica os arts. 5º, 12 e 16 do Decreto nº 5.025, de 30 de março de 2004, que regulamenta o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica - PROINFA, e dá outras providências. Disponível em www.aneel.gov.br/biblioteca/pesquisadigit.cfm. Acessado em: 28/11/2006.

_____. *Lei Federal nº 6.938, de 31 de agosto de 1981*. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em <http://www.presidencia.gov.br/legislacao/>. Acessado em: 18/09/2006.

_____. *Lei Federal nº 10.438, 26 de abril de 2002*. Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), dispõe sobre a universalização do serviço público de energia elétrica, dá nova redação às Leis no 9.427, de 26 de dezembro de 1996, no 9.648, de 27 de maio de 1998, no 3.890-A, de 25 de abril de 1961, no 5.655, de 20 de maio de 1971, no 5.899, de 5 de julho de 1973, no 9.991, de 24 de julho de 2000, e dá outras providências. Disponível em <http://www.presidencia.gov.br/legislacao/>. Acessado em: 13/06/2006.

_____. *Lei Federal nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009*. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências. Disponível em <http://www.presidencia.gov.br/legislacao/>. Acessado em: 10/04/2010.

BWE. *Minimum Price System compared with the Quota Model – which system is more efficient?* 2005. Disponível em: www.wind-energie.de. Acessado em: 19/06/2006.

CAMARGO, A. L. B. *As dimensões e os desafios do desenvolvimento sustentável: concepções, entraves e implicações à sociedade humana*. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Florianópolis.

CAMARGO, A. S. G. *Análise da operação das Usinas Eólicas de Camelinho e Palmas e avaliação do potencial eólico de localidades no Paraná*. 2005. Dissertação (Mestrado em Tecnologia), CEFET-PR, Curitiba.

CBEE. *Panorama da energia eólica*. Disponível em: www.eolica.com.br/index_por.html. Acessado em: 18/11/2006.

CBIE. *Resultados dos leilões A-3 e A-5*. 2007. In: *Energia em Foco*, n. 65. Disponível em: www.duke-energy.com.br/Newsletter/newsletter0208_imprimir.htm. Acessado em: 30/01/2010.

CCEE. *5º leilão de energia nova (edital nº 001/2007-ANEEL) - resumo vendedores*. 2007a. Disponível em: www.ccee.org.br/cceeinterdsm/v/index.jsp?vnextoid=d3caa5c1de88a010VgnVCM100000aa01a8c0RCRD. Acessado em: 30/01/2010.

_____. *1º leilão de fontes alternativas - resumo vendedores*. 2007b. Disponível em: www.ccee.org.br/cceeinterdsm/v/index.jsp?vnextoid=d3caa5c1de88a010VgnVCM100000aa01a8c0RCRD. Acessado em: 30/01/2010.

_____. *6º leilão de energia nova (edital nº 002/2008-ANEEL) - resumo vendedores*. 2008. Disponível em: www.ccee.org.br/cceeinterdsm/v/index.jsp?vnextoid=d3caa5c1de88a010VgnVCM100000aa01a8c0RCRD. Acessado em: 30/01/2010.

____. *Resultado do leilão nº 03/2009*. 2009. Disponível em: www.ccee.org.br/cceeinterdsm/v/index.jsp?vgnextoid=d3caa5c1de88a010VgnVCM100000aa01a8c0RCRD. Acessado em: 30/01/2010.

CMMAD. *Nosso futuro comum*. Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getulio Vargas, 1991.

CPDS. *Agenda 21 brasileira – ações prioritárias*. 2002. Disponível em: www.cprh.pe.gov.br/educacao_ambiental/agenda_21/39744%3B59261%3B0401%3B0%3B0.asp. Acessado em 20/11/2009.

CRESESB/CEPEL. *Energia eólica: princípios e aplicações*. Disponível em: www.cresesb.cepel.br/abertura.htm. Acessado em: 10/11/2006.

DEUTSCHE WELLE. *Setor de energia eólica aposta na exportação*. 2004. Centro de Estudos de Sustentabilidade. Disponível em: www.ces.fgvsp.br/index.cfm?fuseaction=noticia=12856=&Ididioma=1... Acessado em: 13/07/2006;

DUTRA, R. M.; SZKLO, A. S. & TOLMASQUIM, M. T. *Experiência de políticas para o desenvolvimento de mercados eólicos, perspectivas e transformações no parque gerador de energia elétrica brasileiro*. In: SOUZA, H. M., SILVA, P. C., DUTRA, R. M. (Org.) *Coletânea de artigos: energias solar e eólica*. Vol 2. Rio de Janeiro: CRESESB, 2005.

DUTRA, R. M. *Propostas de políticas específicas para energia eólica no Brasil após a primeira fase do PROINFA*. Tese (Doutorado em Planejamento Energético), COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2007.

ELETRONUCLEAR. *Análise comparativa entre os custos correspondentes às usinas termelétricas vencedoras do leilão de energia nova realizado em 16/10/07 e os custos previstos para a usina nuclear Angra 3*. 2008. Disponível em: www.eletronuclear.gov.br/downloads/noticias//aTo1NTY7/79.pdf. Acessado em: 01/03/2010.

EPE. Nota técnica 140/2008-r0 - *Estudos socioambientais: critérios e procedimentos para análise socioambiental do sistema elétrico - PDE 2008/2017*. Rio de Janeiro: EPE, 2008. Disponível em: www.epe.gov.br/MeioAmbiente/Documents/NT%20-

%20Estudos%20socioambientais%20do%20PDE%202008-2017.pdf. Acessado em: 20/11/2009.

_____. *Nota técnica pre 01/2009-r0: proposta para a expansão da geração eólica no Brasil*. Rio de Janeiro: EPE, 2009a. Disponível em: www.epe.gov.br/leiloes/Documents/Leil%C3%A3o%20de%20E%C3%B3lica%202009/NT-%20Eolica%20EPE-PRE01-2009-R1.pdf. Acessado em: 20/11/2009.

_____. *Balanço energético nacional 2009: ano base 2008*. Rio de Janeiro: EPE, 2009b.

EWEA. *Wind energy – the facts*. 2004. Disponível em: www.ewea.org. Acessado em: 13/06/2006.

_____. *Wind energy – the facts*. 2009. Disponível em: <http://www.wind-energy-the-facts.org/>. Acessado em: 20/11/2009.

FADURPE. *Relatório ambiental simplificado – RAS: Parque Eólico Serra da Macambira e Parque Eólico Poçoão, Município de Poçoão*. Recife: FADURPE, 2003.

FALCO, A. (Coord.). *COP 14 e as tendências para 2009*. 2009. Disponível em: www.mudancasclimaticas.andi.org.br/node/828. Acessado em 10/04/2010.

_____. *Um acordo sem metas e sem consenso*. 2010. Disponível em: www.mudancasclimaticas.andi.org.br/node/1283. Acessado em 10/04/2010.

FEITOSA, E. A. N. et al. *Panorama do Potencial Eólico no Brasil*. Brasília: Dupligráfica, 2003.

FEPAM/RS. *Licença de instalação nº 798/2003-DL*. Porto Alegre: 2003.

_____. *Licença de instalação nº 108/2004-DL*. Porto Alegre: 2004a.

_____. *Licença de instalação nº 139/2005-DL*. Porto Alegre: 2005.

_____. *Licença prévia nº 481/2004-DL*. Porto Alegre: 2004b.

_____. *Licença prévia nº 754/2004-DL*. Porto Alegre: 2004c.

FIOCRUZ & UFMG. *Mudanças climáticas, migrações e saúde: cenários para o Nordeste, 2000-2050*. 2009. Disponível em: www.cedeplar.ufmg.br/pesquisas/migracoes_saude/MIGRACAO_E_SAUDE_NORDESTE.pdf. Acessado em: 20/11/2009.

GOLDEMBERG, J. *The case for renewable energies*. In: Internationale Konferenz für Erneuerbare Energien. Bonn, 2004. Disponível em: www.regie-energie.qc.ca/audiences/3526-04/MemoiresParticip3526/Memoire_CCVK_07_TBP01-rationale.pdf. Acessado em: 06/06/2006.

_____. *Os Limites do Planeta Terra*. O Estado de São Paulo. São Paulo: 18/07/2006.

GOLDEMBERG, J. et al. *Technical report: renewable energy technologies to improve energy access in Brazil*. 2005. Disponível em: www.gnesd.org/Downloadables/RETs/CENBIO-COPPE%20RETs%20final%20version.pdf. Acessado em 06/06/2006.

GWEC. *Global wind 2005 report*. 2006. Disponível em: www.gwec.net/fileadmin/documents/Publications/GWEC-Global_Wind_05_Report_low_res_01.pdf. Acessado em: 06/06/2006.

_____. *Global wind energy outlook 2008*. 2008. Disponível em: www.gwec.net/. Acessado em: 30/11/2009.

_____. *Global wind 2008 report*. 2009. Disponível em: www.gwec.net/fileadmin/documents/Global%20Wind%202008%20Report.pdf. Acessado em: 30/11/2009.

_____. *Annex stats 2009*. 2010. Disponível em: www.gwec.net/. Acessado em: 10/03/2010.

GREENPEACE. *A caminho da sustentabilidade energética: como desenvolver um mercado de renováveis no Brasil*. 2008. Disponível em:

www.greenpeace.org/brasil/documentos/energia/a-caminho-da-sustentabilidade. Acessado em: 10/11/2009.

HERBERT, G. M. J. et al. *A review of wind energy technologies*. Renewable & Sustainable Energy Reviews. Elsevier. Disponível em: www.sciencedirect.com. Acessado em: 10/10/2005.

HÖTKER, H; THOMSEN, K. M. & JEROMIM, H. *Impacts on biodiversity of exploitation of renewable energy sources: the example of birds and bats*. NABU: Bonn, 2005. Disponível em: www.lpo.fr/etudes/eolien/doc/englische20windkraftstudie.pdf. Acessado em: 25/11/2006.

IAEA et al. *Energy indicators for sustainable development: guidelines and methodologies*. International Atomic Energy Agency, United Nations Department of Economic and Social Affairs, International Energy Agency, Eurostat, European Environment Agency, 2005. Disponível em: <http://cin.cnen.gov.br/boletimBVE/junho2005/publicacoes.htm>. Acessado em: 06/06/2006.

IEA. *Benign energy? The environmental implications of renewable*. Paris: OECD/ IEA, 1998.

_____. *Key world energy statistics 2009*. Paris: OECD/ IEA, 2009a. Disponível em: www.iea.org/stats/index.asp. Acessado em: 10/03/2009.

_____. *CO₂ emissions from fuel combustion 2009 - highlights*. Paris: OECD/ IEA, 2009b. Disponível em: www.iea.org/stats/index.asp. Acessado em: 10/03/2009.

IPCC. *Climate change 2007: synthesis report*. Valência: 2007a. Disponível em: www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf. Acessado em: 20/11/2009.

_____. *Mudança do clima 2007: a base das ciências físicas - sumário para os formuladores de políticas*. Paris: 2007b. Disponível em: http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/relatorio_ipcc/IPCCWG3.pdf. Acessado em: 20/11/2009.

LAGE, A. C. *Administração pública orientada para o desenvolvimento sustentável. Um estudo de caso: os ventos das mudanças no Ceará também geram energia*. 2001. Dissertação

(Mestrado em Administração Pública) – Escola Brasileira de Administração Pública, FGV, Rio de Janeiro.

LIMA, R. A. *Projeto áridas - Nordeste: uma estratégia para geração de emprego e renda*. 1995. Texto para discussão nº 387. Disponível em: www.ipea.gov.br/pub/td/td_387.pdf. Acessado em 10/10/2005.

MARENGO, J. A. *Água e mudanças climáticas*. São Paulo: Estudos Avançados, v. 22, n. 63, 2008. Disponível em http://www.scielo.br/scielo.php?pid=0103-401420080002&script=sci_issuetoc. Acessado em: 20/11/2009.

MARENGO, J. A. & VALVERDE, M. C. *Caracterização do clima no século XX e cenário de mudanças de clima para o Brasil no século XXI usando os modelos do IPCC-AR4*. In: Revista Multiciência, Edição nº 8, Campinas, 2007.

MARENGO, J. A. et al. *Caracterização do clima no século XX e cenários no Brasil para o século XXI derivados dos modelos do clima do IPCC*. São Paulo: CPTEC/INPE, 2007.

MMA. *Resolução CONAMA nº 001, de 08 de março de 1990*. Dispõe sobre critérios e padrões de emissão de ruídos, das atividades industriais. Disponível em: www.mma.gov.br/port/conama/legiano.cfm?codlegitipo=3. Acessado em: 20/11/2009.

MCT. *Fatores de emissão de CO₂ pela geração de energia elétrica no sistema interligado nacional do Brasil*. 2008. Disponível em: www.mct.gov.br/index.php/content/view/72764.html. Acessado em: 10/03/2010.

MME. *Portaria nº 211, de 28 de maio de 2009*. Aprova as diretrizes para o Leilão para Contratação de Energia de Reserva de que trata a Portaria MME nº 147, de 30 de março de 2009, a ser promovido, direta ou indiretamente, pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. Disponível em: www.aneel.gov.br/cedoc/prt2007045mme.pdf. Acessado em: 10/03/2010.

MME. *Portaria nº 45, de 30 de março de 2004*. Autoriza a ELETROBRAS a convocar a Chamada Pública para compra de energia elétrica no âmbito do Programa de Incentivo às

Fontes Alternativas de Energia Elétrica – PROINFA. Disponível em: www.aneel.gov.br/cedoc/prt2007045mme.pdf. Acessado em: 10/10/2005.

_____. *PROINFA atrai 6.601 MW em projetos de geração*. 2006. Disponível em: www.mme.gov.br/programs_display.do?chn=931. Acessado em: 19/03/2006;

MME & EPE. *Plano nacional de energia 2030*. Rio de Janeiro: EPE, 2007.

_____. *Plano decenal de expansão de energia 2008/2017*. Rio de Janeiro: EPE, 2009.

NAE. *Mudança do clima: volume II – mercado de carbono*. Cadernos NAE nº 4. Brasília: 2005.

NIVALDO, J. *O desmatamento do Nordeste*. Recife: Jornal do Commercio, 03/02/1970.

NÓBREGA, A. P.; POMPERMAYER, M. L. *Energia eólica: o panorama do setor elétrico brasileiro e o cenário internacional*. X Encontro Latino-Americano e do Caribe em Pequenos Aproveitamentos Hidroenergéticos, Poço de Caldas, 2003.

OLIVEIRA, D. A. S. *Desenvolvimento, energia e sustentabilidade: uma perspectiva do Relatório de Brundtland*. 2003. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Unicamp, Campinas.

OLIVEIRA, E. A. *Perspectivas da geração termelétrica a carvão no Brasil no horizonte 2010-2030*. 2009. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético). UFRJ/ COPPE/ Programa de Planejamento Energético, Rio de Janeiro.

ONU. *Plano de implementação de Joanesburgo*. 2002. Disponível em: www.mma.gov.br/estruturas/ai/_arquivos/pijoan.doc. Acessado em: 13/07/2006.

_____. *Agenda 21 Global. Capítulo 9: Proteção da atmosfera*. 1992. Disponível em: www.cprh.pe.gov.br/educacao_ambiental/agenda_21/39744%3B59261%3B0401%3B0%3B0.asp. Acessado em 20/11/2009.

PIRES, D. *"Licenciamento de eólica agora só com EIA/RIMA"*. 2009. O Povo on line. Disponível em: <http://opovo.uol.com.br/opovo/economia/913036.html>. Acessado em: 20/11/2009.

PNUD. *Energia limpa ajuda a levar luz para todos*. Centro de Estudos de Sustentabilidade Out/2004. Disponível em: <http://www.pnud.org.br/energia/reportagens/index.php?id01=776&lay=ene>. Acessado em: 13/07/2006.

POINT CARBON. *Carbon 2008: post-2012 is now*. 2008. Disponível em: www.pointcarbon.com/research/carbonmarketresearch/analyst/1.912721. Acessado em: 10/03/2009.

PORTO, L. C. F. et al. *Políticas de energias alternativas renováveis no Brasil*. In: SOUZA, H. M., SILVA, P. C., DUTRA, R. M. (Org.) Coletânea de artigos: energias solar e eólica. Vol. 1. Rio de Janeiro: CRESESB, 2003.

REIS, L. B. & CUNHA, E. C. N. *Energia elétrica e sustentabilidade: aspectos tecnológicos, socioambientais e legais*. Barueri, SP: Manole, 2006.

REIS, L. B.; FADIGAS, E. A. A. & CARVALHO, C. E. *Energia, recursos naturais e a prática do desenvolvimento sustentável*. Barueri, SP: Manole, 2005.

RIBEIRO, L. P. *Energia eólica, uma alternativa energética para o semi-árido baiano: estudo de caso do Complexo Eólico de Caetitê-Igaporã - Bahia*. 2008. Monografia (Especialização em Gerenciamento Ambiental) – Universidade Católica do Salvador, Salvador.

ROCHA et al. *Estabilização sazonal da oferta de energia através da complementaridade entre os regimes hidrológico e eólica*. In: SOUZA, H. M., SILVA, P. C., DUTRA, R. M. (Org.) Coletânea de Artigos: Energias Solar e Eólica. Vol. 1. Rio de Janeiro: CRESESB, 2003;

ROSAS, P.; PEREIRA, A. & FEITOSA, E. *Testes e Certificação de Turbinas Eólicas de Grande Porte: Parte 2 – Qualidade de Energia Elétrica*. In: MONTENEGRO, A. A. (Org.)

Fontes Não-Convencionais de Energia: as Tecnologias Solar, Eólica e de Biomassa. 2ª Ed. Florianópolis: LABSOLAR/UFSC, 1999;

ROSSETTO, A. M. *Proposta de um sistema integrado de gestão do ambiente urbano (SIGAU) para o desenvolvimento sustentável de cidades*. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção), UFSC, Florianópolis, 2003.

RUBIM, A. A. C. *Políticas culturais: entre o possível & o impossível*. In: MARCHIORI, G. (Org.) *Teorias e políticas da cultura: visões multidisciplinares*. Nussbaumer. Salvador: EDUFBA, 2007.

SACHS, I. *Estratégias de transição para o século XXI: desenvolvimento e meio ambiente*. São Paulo: Studio Nobel e Fundação de Desenvolvimento Administrativo (FUNDAP), 1993.

_____. *Pensando sobre o desenvolvimento sustentável na era do meio ambiente*. In: STROH, P. Y. (Org.) *Caminhos para o desenvolvimento sustentável*. 3. ed. Rio de Janeiro: Garamond, 2002.

_____. *Desenvolvimento: includente, sustentável, sustentado*. Rio de Janeiro: Garamond, 2004.

SCHAEFFER et al. *Mudanças climáticas e segurança energética no Brasil*. Rio de Janeiro: Nova Brasileira, 2008.

SILVA, K. F. *controle e integração de centrais eólicas à rede elétrica com geradores de indução duplamente alimentados*. 2006. Tese de Doutorado (Sistemas de Potência) - Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas, USP, São Paulo.

SOBRAL, M. C. M. *Avaliação de impactos ambientais - notas de aula*. Recife: UFPE, 2004.

SOUZA, A. D.; GARDINO, L. M.; SOBRAL, M. C. M. & VIANNA, J. N. S. *Sustainability of the wind energy in Brazil*. In: Program RIO 6 – World Climate & Energy Event, Rio de Janeiro, 2006.

TAVARES, G. M. *Brasil – a primeira nação totalmente abastecida por energias renováveis*. CRESESB Informe, Ano VIII, nº 8 Julho – 2003.

TOLMASQUIM, M. T. (Coord.). *Fontes renováveis de energia no Brasil*. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.

UNDP et al. *World energy assessment – energy and the challenge of sustainability*. Coordenação: José Goldemberg. Nova Iorque: Communications Development Incorporated, 2000.

_____. *World energy assessment: overview 2004 update*. Coordenação: José Goldemberg. Nova Iorque: 2004.

WCI. *Coal meeting the climate challenge technology to reduce greenhouse gas emissions*. Richmond: World Coal Institute, 2007.

WINROCK, USAID & EGAT. *Trade guide on renewable energy in Brazil*. 2002. Disponível em: www.winrock.org.br. Acessado em: 06/06/2006.