

Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica – PPGEE

**A valoração dos impactos ambientais associados à
expansão da Matriz Elétrica Brasileira: proposta de
instrumentos econômicos para a promoção das fontes
alternativas e limpas**

Laura Araujo Alves

Dissertação submetida à banca examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof^ª. Wadaed Uturbey da Costa, Dr^ª.

Belo Horizonte, junho de 2009.

Agradecimentos

“Se é verdade que o sonho sem a técnica é impotente, verdade é também que a técnica sem o sonho é burra” – Rubem Alves.

Agradeço àqueles que contribuíram com a técnica e foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho. À minha orientadora, Professora Doutora Wadaed, por todo o apoio e ensinamento na construção desta pesquisa. Aos meus pais, Paulo e Célia, pelas boas idéias e pelas revisões durante as madrugadas em claro. À minha irmã, Paula, por ajudar a abrir caminhos. Aos meus colegas de trabalho, em especial ao Munir, por partilharem comigo a prática dos assuntos pesquisados. À amiga Dalva pela comidinha gostosa de todos os dias. À dedicação dos Professores da Escola de Engenharia da UFMG pela minha formação pessoal e profissional como Engenheira Eletricista. Ao Daniel pelas análises e percepções positivas.

Agradeço àqueles que contribuíram com a realização do sonho. À minha orientadora, Wadaed, por compartilhar o sonho e acreditar na minha pesquisa. Aos meus pais, Paulo e Célia, e à minha irmã, Paula, pela crença e pelos momentos de paz e aconchego. À toda a minha querida família pelo carinho e compreensão dos momentos ausentes. Aos meus primos Tiago, Tadeu e Vitor, por serem assim, especiais. À Maúde, Arlindo, Mariana e famílias, pelos momentos de alegria. Ao Tosh pelos suspiros de alívio. Às minhas queridas amigas e aos grandes amigos pelo prazer das boas conversas e pelas viagens de descanso por Minas Gerais. Ao meu amado, amigo e companheiro, Daniel, por compartilhar meus sonhos e por proporcionar vivências incríveis. À natureza pela sua beleza, por suas cores e por seus sons. À experiência de pensar, criar e construir!

“Todo ato de criação tem por objetivo realizar um sonho. E quando o sonho se realiza, vem a experiência da alegria” – Rubem Alves.

*Aos meus pais,
por me mostrarem as
preciosidades do saber.*

Resumo

As fontes alternativas e limpas de energia elétrica, apesar do imenso potencial a ser explorado no Brasil, ainda permanecem com participação inexpressiva, sendo um dos grandes entraves para a sua ampliação os problemas da falha de mercado. Para a adequada expansão dessas fontes é essencial a elaboração de políticas ambientais cujos instrumentos econômicos promovam a participação destas no processo de diversificação da matriz elétrica nacional. Neste contexto, essa dissertação discute como devem ser tratados os impactos ambientais associados às diferentes tecnologias de geração de energia elétrica com o objetivo de propor alternativas para se atingir a sustentabilidade do Setor Elétrico Brasileiro. Primeiramente, é aplicada uma metodologia de valoração dos custos dos impactos ambientais, relativos à saúde humana e às mudanças climáticas, associados ao processo de geração de energia elétrica, com o intuito de obter valores econômicos, em Reais por kWh. Com base nos valores encontrados, é avaliado o cenário de expansão previsto no Plano Decenal de Expansão de Energia 2007/2016, com o objetivo de mapear a situação do Brasil em relação aos custos dos impactos ambientais que seriam pagos pela sociedade caso esse Plano seja efetivamente implementado. Os custos relativos à saúde humana, por envolverem diretamente o valor da vida estatística, apresentam valores extremamente elevados. Os custos relativos às mudanças climáticas estão fortemente relacionados às usinas termelétricas a combustíveis fósseis e, portanto, pequenos incrementos na geração de energia elétrica por essas fontes correspondem a elevados aumentos nos custos ambientais. Por fim, são discutidas propostas de instrumentos econômicos de políticas ambientais, seguindo as tendências nacionais e as experiências internacionais, que podem ser adotados no Brasil para a promoção das fontes alternativas e limpas de geração de energia elétrica. Apresentam-se diferentes oportunidades que devem ser exploradas e avaliadas de maneira mais detalhada para a elaboração de uma política ambiental consolidada no Brasil.

Palavras Chave: Geração de energia elétrica; Fontes alternativas; Valoração de impactos ambientais; Externalidade; Instrumentos econômicos de políticas ambientais.

Abstract

Despite of the great potential of exploration in Brazil, alternative and clean energy sources still have an inexpressive use. The market failure is one of the main causes which compromise the expansion of this type of energy. Therefore, in order to achieve a significant grow of these sources, it is essential that governments elaborate environmental politics in which the economic instruments considered adequately promote their participation in the electrical energy generation sector. In this context, this work discusses the environmental impacts related to the different technologies used in power generation, aiming at proposing solutions for the sustainability of the Brazilian Electrical Sector. At first, methodologies for evaluating the environmental impact costs related to human health and climatic changes are applied with the objective of finding the economic values, measured in Reais/kWh. Based on these values, the expansion scenario predicted by the Plano Decenal de Expansão de Energia 2007/2016 is evaluated. This evaluation aims at describing the nation's situation regarding the environmental costs paid by the society in case of the effective implementation of this government plan. The costs related to human health, considering that they represent directly the value of statistical life concept, showed extremely high values. The costs related to climate changes are strongly related to fossil fuels thermoelectric plants and, therefore, small increments in the production of energy that use these sources represent great increase in environmental costs. Finally, proposals of economic instruments in the context of environmental politics are discussed. They are based on national tendencies and international experiences and could be adopted in Brazil to promote clean and alternative sources of energy. It is shown that different opportunities exist and should be evaluated in detail when elaborating a consolidated environmental politic for Brazil.

Keywords: Power generation; Alternative sources; Valuation of environmental impacts; Externalities; Economic instruments of environmental politics.

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Motivação do trabalho	2
1.2	Objetivos da dissertação	4
1.3	Metodologia e limitações da pesquisa	4
1.4	Estrutura da dissertação	5
2	As tendências de expansão da oferta de energia elétrica e os principais impactos ambientais associados	7
2.1	O cenário atual do Setor Elétrico Brasileiro e as tendências de expansão da oferta de energia elétrica	7
2.1.1	Estrutura atual do Setor Elétrico Brasileiro	8
2.1.2	A Empresa de Pesquisa Energética e o Plano Decenal de Expansão de Energia	10
2.1.3	Tendências de expansão da oferta de energia elétrica no Brasil	11
2.2	As mudanças climáticas e a poluição do ar	17
2.2.1	Mudanças climáticas	17
2.2.2	Poluição do ar por materiais particulados	21
2.3	As questões ambientais como um assunto de preocupação mundial	21
2.4	Considerações finais	25
3	Os instrumentos econômicos de políticas ambientais para a promoção das fontes alternativas de energia elétrica	26
3.1	Entendendo o modelo de concorrência perfeita e o problema das falhas de mercado sobre o setor elétrico	26
3.1.1	A teoria econômica e o papel do economista	26
3.1.2	A economia do bem-estar e o problema das externalidades	28
3.1.3	O problema das falhas de mercado no o setor elétrico e no o desenvolvimento de fontes alternativas	33

3.2 Os esforços da academia para solucionar o problema das externalidades ambientais	35
3.3 As formas de participação do governo por meio das políticas ambientais	37
3.3.1 O surgimento de políticas ambientais	38
3.3.2 As orientações das ações do governo ao desenvolver uma política ambiental	40
3.4 Instrumentos econômicos de políticas ambientais para a promoção das fontes limpas no setor elétrico	43
3.5 Considerações finais	48
4 O marco regulatório de promoção de fontes alternativas no Brasil e as principais tendências de atuação do governo brasileiro	49
4.1 O Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – PROINFA	49
4.2 Regulamentações estabelecidas para incentivar a comercialização das fontes alternativas	53
4.3 A tendência nacional para as políticas ambientais	54
4.3.1 O Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica e o Sistema de Leilão	54
4.3.2 O Plano Nacional sobre Mudança do Clima	57
4.4 Considerações finais	66
5 Valoração dos impactos ambientais causados pelo processo de geração de energia elétrica	68
5.1 O valor econômico dos recursos ambientais	68
5.1.1 A Economia do Meio Ambiente	68
5.1.2 O valor econômico dos recursos ambientais	69
5.1.3 Os métodos de valoração econômica dos recursos ambientais	72
5.2 A valoração dos impactos ambientais causados pelo processo de geração de energia elétrica	77
5.2.1 Os impactos ambientais relacionados às atividades de geração de energia elétrica	77

5.2.2	A classificação dos impactos ao meio ambiente e às mudanças climáticas devidos às atividades de geração de energia elétrica	79
5.2.3	As metodologias de valoração dos impactos ambientais	80
5.2.4	Valoração do impacto à saúde humana ocasionado pela emissão de material particulado	84
5.2.5	Valoração do impacto às mudanças climáticas ocasionado pela emissão de gases de efeito estufa	99
5.3	Considerações finais	105
6	Os custos dos impactos ambientais relativos à expansão da matriz elétrica brasileira entre os anos de 2007 e 2016	109
6.1	A oferta futura de energia elétrica segundo o PDE 2007/2016	109
6.2	A metodologia de cálculo utilizada na valoração dos custos dos impactos ambientais relativos à expansão da matriz elétrica brasileira	110
6.3	Os custos dos impactos ambientais relativos à expansão da matriz elétrica brasileira entre os anos de 2007 e 2016	112
6.4	Análise dos resultados	125
6.4.1	Os custos relativos aos impactos à saúde humana	125
6.4.2	Os custos dos impactos às mudanças climáticas	127
6.5	Considerações finais	131
7	Um panorama dos instrumentos econômicos de políticas ambientais para o Brasil	132
7.1	Classificação das fontes geradoras de energia elétrica do ponto de vista dos seus impactos ambientais	133
7.2	Propostas de instrumentos econômicos de políticas ambientais para promoção de fontes alternativas e limpas para a geração de energia elétrica	136
7.2.1	Promover recursos financeiros para desenvolver fontes alternativas e limpas	136
7.2.2	Taxas sobre a geração de energia por fontes poluidoras	137
7.2.3	Sistema de Leilão	138

7.2.4	Sistemas de Quotas, Certificados Verdes e o Mecanismo de Promoção Adicional da Energia Renovável e da Eficiência Energética	139
7.2.5	O <i>Feed-in tariff</i>	141
7.2.6	O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo	142
7.3	Considerações finais	145
8	Conclusão	146
	Referências Bibliográficas	152

Lista de Figuras

Figura 2.1 – Diagrama das instituições que compõem o setor elétrico.

Figura 2.2 – Evolução da capacidade instalada, em MW (PDE 2007/2016).

Figura 2.3 – Evolução da capacidade instalada, em MW (PDE 2008/2017).

Figura 2.4 – Resultado 6º leilão de energia nova.

Figura 2.5 – Resultado 7º leilão de energia nova.

Figura 2.6 – Concentração dos gases de efeito estufa.

Figura 2.7 – Temperatura média global estimada (°C).

Figura 3.1 – Curva de demanda e excedente do consumidor.

Figura 3.3 – Mercado em equilíbrio entre oferta e demanda.

Figura 3.4 – Equilíbrio ótimo com externalidades positivas.

Figura 3.5 – Equilíbrio ótimo com externalidades negativas.

Figura 4.1 – Número de projetos de MDL.

Figura 4.2 – Emissões reduzidas para o primeiro período de obtenção de crédito.

Figura 4.3 – Distribuição das atividades de projeto no Brasil por tipo de projeto.

Figura 5.1 – Desagregação do valor econômico dos recursos ambientais.

Figura 5.2 – Resumo dos métodos de valoração.

Figura 5.3 – Impacto das ações antrópicas.

Figura 5.4 – Esquema da metodologia IPA.

Figura 6.1 – Evolução da capacidade instalada em MW.

Lista de Tabelas

- Tabela 2.1 – Participação das fontes na expansão do sistema entre 2007 e 2016.
- Tabela 2.2 – Participação das fontes na expansão do sistema entre 2008 e 2017.
- Tabela 4.1 – Empreendimentos contratados pelo PROINFA.
- Tabela 4.2 – Situação atual dos empreendimentos contratados pelo PROINFA.
- Tabela 5.1 – Valores possíveis de serem captados pela aplicação de cada método.
- Tabela 5.2 – Identificação dos empreendimentos de geração de energia elétrica.
- Tabela 5.3 – A classificação dos impactos ao meio ambiente e às mudanças climáticas das atividades de geração de energia elétrica.
- Tabela 5.4 – Os valores das emissões de material particulado em g/kWh por empreendimento de geração de energia elétrica.
- Tabela 5.5 – Concentração de material particulado por empreendimentos de geração [$\mu\text{g}/\text{m}^2(\text{kWh}/\text{ano})$].
- Tabela 5.6 – Coeficientes dose-resposta de morbidade [doenças respiratórias].
- Tabela 5.7 – Riscos individuais de morbidade por empreendimento de geração [casos de doenças respiratórias/100.000 habitantes por kWh].
- Tabela 5.8 – Número de casos de doenças associados aos empreendimentos de geração para as três faixas de densidade demográfica [número de casos de doenças / kWh].
- Tabela 5.9 – Número de óbitos associados aos empreendimentos de geração de energia elétrica para as três faixas de densidade demográfica. [número de óbitos / kWh].
- Tabela 5.10 – Dados necessários para o cálculo do custo de doença.
- Tabela 5.11 – Valores obtidos pela aplicação do método do custo de doença.
- Tabela 5.12 – Valor do impacto à saúde humana ocasionado pela emissão de material particulado por kWh [R\$/kWh].
- Tabela 5.13 – Os valores das emissões de GEE em g/kWh por empreendimento de geração de energia elétrica.
- Tabela 5.14 – Valor do impacto às mudanças climáticas ocasionado pela emissão de GEE por kWh [R\$/kWh].
- Tabela 5.15 – Classificação dos empreendimentos do ponto de vista dos impactos à

saúde humana ocasionado pela emissão de material particulado. Ordem decrescente do impacto causado.

- Tabela 5.16 – Classificação dos empreendimentos do ponto de vista dos impactos às mudanças climáticas ocasionado pela emissão de GEE. Ordem decrescente do impacto causado.
- Tabela 6.1 – Fatores de capacidade por empreendimento de geração.
- Tabela 6.2 – Energia elétrica gerada anualmente por cada empreendimento que compõem a matriz elétrica nacional.
- Tabela 6.3 – As emissões de CO_{2eq} em Mt por ano para os empreendimentos de geração de energia elétrica listados na Tabela 5.13 no Capítulo 5.
- Tabela 6.4 – Emissões de material particulado em toneladas por ano para os empreendimentos de geração de energia elétrica listados na Tabela 5.4 no Capítulo 5.
- Tabela 6.5 – Os custos relativos aos impactos à saúde humana para baixa densidade demográfica em milhões de Reais por ano.
- Tabela 6.6 – Os custos relativos aos impactos à saúde humana para média densidade demográfica em milhões de Reais por ano.
- Tabela 6.7 – Os custos relativos aos impactos à saúde humana para alta densidade demográfica em milhões de Reais por ano.
- Tabela 6.8 – Os custos relativos aos impactos às mudanças climáticas em milhões de Reais por ano.
- Tabela 6.9 – Os custos médios dos impactos à saúde humana para cada empreendimento em dez anos - considerando os tipos de empreendimentos UTBC TCE 40 e UTCN.
- Tabela 6.10 – Os custos médios dos impactos à saúde humana para cada empreendimento em dez anos - considerando os tipos de empreendimentos UTBC BIG/GT e UTCI.
- Tabela 6.11 – Os custos dos impactos às mudanças climáticas para cada empreendimento em dez anos - considerando os tipos de empreendimentos UTCN.
- Tabela 6.12 – Os custos dos impactos às mudanças climáticas para cada empreendimento em dez anos - considerando os tipos de empreendimentos UTCI.
- Tabela 7.1 – Ordenação das fontes de geração de energia elétrica do ponto de vista dos seus impactos à saúde humana e às mudanças climáticas.
- Tabela 7.2 – Volume de créditos de carbono das atividades de geração de energia elétrica alternativa no Brasil.

Lista de Gráficos

- Gráfico 6.1 – Emissões de CO_{2eq} para cada empreendimento de geração [Mt por ano].
- Gráfico 6.2 – Emissões de MP para cada empreendimento de geração [t por ano].
- Gráfico 6.3 – Os custos relativos aos impactos à saúde humana para baixa densidade demográfica em R\$/ano.
- Gráfico 6.4 – Os custos relativos aos impactos à saúde humana para baixa densidade demográfica, sem os custos do carvão mineral nacional e importado.
- Gráfico 6.5 – Os custos relativos aos impactos à saúde humana para média densidade demográfica em R\$/ano.
- Gráfico 6.6 – Os custos relativos aos impactos à saúde humana para média densidade demográfica, sem os custos do carvão mineral nacional e importado.
- Gráfico 6.7 – Os custos relativos aos impactos à saúde humana para alta densidade demográfica em R\$/ano.
- Gráfico 6.8 – Os custos relativos aos impactos à saúde humana para alta densidade demográfica, sem os custos do carvão mineral nacional e importado.
- Gráfico 6.9 – Os custos relativos aos impactos às mudanças climáticas em R\$/ano.
- Gráfico 6.10 – Participação de cada empreendimento no total dos custos dos impactos às mudanças climáticas.
- Gráfico 6.11 – Participação das hidrelétricas e das termelétricas a combustíveis fósseis no total dos custos dos impactos às mudanças climáticas.

Siglas e Abreviaturas

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BIG	Banco de Informações de Geração
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CD	Custo de Doença
CE	Central Eólica
CIM	Comitê Interministerial sobre Mudanças do Clima
CMSE	Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico
CNPE	Conselho Nacional de Políticas Energéticas
DAA	Disposição a Aceitar
DAP	Disposição a Pagar
DCP	Documento de Concepção de Projeto
EPC	Engenharia, Projeto e Construção
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FNMC	Fundo Nacional sobre Mudança do Clima
GEE	Gases de Efeito Estufa
GWP	<i>Global Warming Potential</i>
IPA	<i>Impact Pathway</i>
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
PDE	Plano Decenal de Expansão de Energia
PNE	Plano Nacional de Energia

PNMC	Plano Nacional sobre Mudança do Clima
PPP	<i>Polluter Pays Principle</i>
PURPA	<i>Public Utility Regulatory Policy Act</i>
UHE	Usina Hidrelétrica
UNFCCC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima
UTB	Usina Termelétrica a Biomassa
UTBC	Usina Termelétrica a Bagaço de Cana
UTBC BIG/GT	Usina Termelétrica a Bagaço de Cana - Ciclo combinado com gaseificação do bagaço e turbina a gás
UTBC TCE 40	Usina Termelétrica a Bagaço de Cana - Tecnologia de Condensação/ Extração com 40 bar de pressão
UTBC TCE 60	Usina Termelétrica a Bagaço de Cana - Tecnologia de Condensação/ Extração com 60 bar de pressão
UTBC TCE 80	Usina Termelétrica a Bagaço de Cana - Tecnologia de Condensação/ Extração com 80 bar de pressão
UTC	Usina Termelétrica Carvão Mineral
UTC CI Conv	Usina Termelétrica Carvão Mineral Internacional – Convencional
UTC CN Conv	Usina Termelétrica Carvão Mineral Nacional – Convencional
UTD	Usina Termelétrica a Diesel
UTD Conv	Usina Termelétrica a Diesel – Convencional
UTGP	Usina Termelétrica a Gás de Processo
UTGN	Usina Termelétrica a Gás Natural
UTGN CC	Usina Termelétrica a Gás Natural - Ciclo Combinado
UTind	Usina Termelétrica Indicativa
UTN	Usina Termelétrica Nuclear
UTO	Usina Termelétrica a Óleo Combustível
UTO Conv	Usina Termelétrica a Óleo Combustível – Convencional
VE	Valor de Existência

VERA	Valor Econômico do Recurso Ambiental
VI_MC	Valor do Impacto às Mudanças Climáticas
VI_SH	Valor do Impacto à Saúde Humana
VNU	Valor de Não Uso
VO	Valor de Opção
VU	Valor de Uso
VUD	Valor de Uso Direto
VUI	Valor de Uso Indireto

Capítulo 1

Introdução

O Setor Elétrico Brasileiro é constituído por um sistema basicamente hidrotérmico que, historicamente, vem sendo suprido, predominantemente, por empreendimentos hidrelétricos. Assim, tradicionalmente, a Matriz Elétrica Brasileira é considerada uma matriz renovável. Entretanto, devido ao processo de diversificação baseado em fontes poluidoras, estima-se que esta característica será modificada no médio prazo, passando a geração termelétrica a ter maior participação. A diversificação é um processo essencial para o setor reduzir a vulnerabilidade do sistema aos períodos de seca e garantir a segurança da oferta de energia elétrica. Porém, ao se elaborar o planejamento da evolução do setor elétrico, é preciso levar em consideração os riscos ambientais associados ao processo de geração de energia. Os cenários de expansão dos dois últimos Planos Decenais da Expansão da Energia indicam uma evolução e diversificação da capacidade instalada da matriz elétrica nacional baseada em fontes poluidoras, intensivas em emissão de material particulado e gases de efeito estufa, ocasionando diversos riscos ambientais. Neste sentido, destaca-se que, segundo os relatórios do *Intergovernmental Panel on Climate Change*, nunca ocorreu um aumento tão rápido da temperatura do planeta como nos últimos 100 anos e essa elevada taxa de crescimento está associada, diretamente, às atividades humanas intensivas em emissões de gases de efeito estufa. Além das mudanças climáticas mencionadas, outro grave problema ambiental relacionado à geração de energia elétrica é a emissão de material particulado, que provoca efeitos danosos à saúde humana. Esses riscos ambientais evidenciam o importante papel das fontes de energia alternativa e limpa para o desenvolvimento de um futuro energético mais sustentável.

1.1. Motivação do trabalho

É preciso garantir que a oferta de energia acompanhe o desenvolvimento do país, para manter a confiabilidade do crescimento econômico. Os cenários de expansão dos dois últimos Planos Decenais da Expansão da Energia indicam uma evolução e diversificação da capacidade instalada da matriz elétrica nacional baseada em fontes poluidoras, intensivas em emissão de material particulado e de gases de efeito estufa, e não em fontes alternativas e limpas. As emissões de gases de efeito estufa e material particulado são responsáveis por dois graves problemas ambientais: as mudanças climáticas e a poluição do ar, respectivamente.

Para reverter essa tendência de expansão e, conseqüentemente, promover a mitigação e a adaptação às questões ambientais destacadas é necessário que o Brasil elabore políticas que busquem promover e incentivar os empreendimentos de geração de energia elétrica por fontes alternativas e limpas. Os resultados dos últimos leilões de energia nova e os dois últimos planos decenais indicam que o Brasil carece de uma política ambiental forte e de longo prazo que efetivamente promova a ampla participação dessas fontes alternativas e limpas no processo de expansão e diversificação da matriz elétrica nacional.

Portanto, tem-se como desafio a promoção do desenvolvimento de um setor elétrico em conformidade com os princípios de sustentabilidade, equilibrando os benefícios ambientais, a inclusão social e o desenvolvimento econômico, garantindo, assim, um futuro energético sustentável.

Para discutir as possibilidades de atuação do governo brasileiro perante esse assunto, é aplicada nesse trabalho uma metodologia de valoração dos impactos ambientais causados pelas atividades de geração de energia elétrica no cenário de expansão atual. Com a aplicação dessa metodologia objetiva-se obter um valor econômico do serviço proporcionado pela natureza que foi perdido pela degradação ambiental. Segundo Tolmasquim (2001), a valoração dos impactos ambientais causados pelos empreendimentos de geração de energia elétrica no desenvolvimento das estratégias do planejamento do setor elétrico fornece importante contribuição para se

alcançar a sustentabilidade. A não incorporação dos valores dos impactos ambientais levará a alocações inadequadas dos recursos no setor elétrico. Ainda, de acordo com Tolmasquim (2001), a aplicação dessas metodologias de valoração no planejamento a longo prazo é feita levando em consideração algumas simplificações para a sua adequada utilização. Isso ocorre, pois as metodologias de valoração foram elaboradas para serem aplicadas em casos específicos com o intuito de identificar seus custos e benefícios incorporando suas questões ambientais. Porém, essas limitações não inviabilizam a aplicação das metodologias para se obter os valores dos impactos ambientais e orientar as tomadas de decisão na elaboração das estratégias no planejamento a longo prazo.

No planejamento a longo prazo, o objetivo principal da valoração é proporcionar indicadores quantitativos de sustentabilidade dos empreendimentos de geração de energia elétrica que atenderão as demandas futuras, tornando possível ordenar e classificar todas as possibilidades de geração de energia elétrica para orientar as estratégias e a tomada de decisão [Tolmasquim (2001)].

De acordo com as análises de Holmgren & Amiri (2007), devido às limitações e incertezas das metodologias, a valoração é importante para indicar a magnitude dos impactos ambientais e identificar os caminhos que se deve seguir e os instrumentos políticos a serem adotados para se atingir soluções sustentáveis. Inclusive, dar suporte ao desenvolvimento de políticas que buscam internalizar os custos dos impactos ambientais por meio de instrumentos econômicos é uma das funções primordiais de se valorar os impactos ambientais [ExternE (25/03/2009)].

O Manual para Valoração Econômica de Recursos Ambientais, desenvolvido pelo Ministério de Minas e Energia, também enfatiza a importância de se obter os valores dos recursos ambientais para proporcionar o aperfeiçoamento da gestão pública. Enfim, a valoração econômica dos impactos ambientais causados pela geração de energia elétrica é um importante critério a ser avaliado no processo de tomada de decisão na definição de instrumentos políticos, para que ocorra o adequado desenvolvimento das estratégias sustentáveis estabelecidas no planejamento a longo prazo do setor elétrico [Maia et al. (2004); Klaassen & Riahi (2007) e Nguyen (2005)].

1.2. Objetivos da dissertação

Dessa forma, o objetivo geral deste trabalho é discutir como devem ser tratados os impactos ambientais associados às diferentes tecnologias de geração de energia elétrica visando a sustentabilidade do Setor Elétrico Brasileiro. Os objetivos específicos são basicamente três: (i) Fornecer dados quantitativos para avaliação das fontes de geração de energia elétrica do ponto de vista dos seus impactos ambientais, visando a utilização desses dados como indicadores de sustentabilidade para o desenvolvimento de políticas de internalização dos custos dos impactos ambientais por meio de instrumentos econômicos; (ii) Determinar a tendência atual de evolução da matriz elétrica nacional em termos das questões ambientais por meio da valoração dos impactos ambientais dos empreendimentos indicados no PDE 2007/2016; (iii) Por fim, discutir as possibilidades de instrumentos econômicos de políticas ambientais que podem ser adotados no Brasil para promoção de fontes alternativas e limpas de geração de energia elétrica.

1.3. Metodologia e limitações da pesquisa

Neste trabalho é utilizada para valoração dos danos ambientais a metodologia desenvolvida pelo Projeto ExternE, intitulada *Impact Pathway*, adaptando-a para a aplicação nos estudos de planejamento a longo prazo. Para essa adaptação deverão ser realizadas algumas simplificações, que adicionam incertezas nas análises, já que a metodologia de valoração foi desenvolvida para ser aplicada a projetos específicos, identificando os custos e os benefícios ambientais de um dado empreendimento. Entretanto, essas limitações não inviabilizam a aplicação dessa metodologia para se obter os valores dos impactos ambientais e orientar as tomadas de decisão na elaboração das estratégias no planejamento a longo prazo. É importante ressaltar que essa metodologia aplicada é largamente aceita pela comunidade científica, sendo considerada a referência mundial no assunto [EC (2005)].

Os impactos ambientais¹ avaliados nesse trabalho são:

- Impactos à saúde humana provocados pela inalação de material particulado liberados na atmosfera durante o processo de geração de energia elétrica. De acordo com EC 2005, a poluição do ar é um dos mais graves impactos à saúde humana, sendo o material particulado o maior culpado; e
- Impactos às mudanças climáticas provocados pela concentração de gases de efeito estufa liberados na atmosfera durante o processo de geração de energia elétrica. O aumento da concentração dos gases de efeito estufa na atmosfera ocasiona a alteração do equilíbrio climático natural do planeta, representando um dos mais graves problemas ambientais discutidos na atualidade.

1.4. Estrutura da dissertação

No Capítulo 2 é realizada a contextualização do trabalho, por meio da apresentação da estrutura institucional do setor elétrico nacional, com ênfase na Empresa de Pesquisa Energética, e da discussão da tendência de expansão da matriz elétrica nacional. São abordados os principais impactos ambientais relativos ao processo de geração de energia elétrica. Ao final, são apresentadas algumas ações que marcaram o processo de evolução das questões ambientais como um assunto global.

No Capítulo 3 é discutido o problema da falha de mercado, em especial sobre o setor elétrico, ocasionado pelas externalidades que surgem devido à incapacidade de certos mercados em alocar de forma eficiente seus recursos. São apresentados os principais motivos que levam ao surgimento de políticas ambientais e as orientações das

¹ A definição de Impacto Ambiental utilizada neste trabalho refere-se a impactos negativos e segue os conceitos estabelecidos pelo Projeto ExternE da Comissão Européia, incluindo impactos negativos ao meio ambiente e à mudança climática, apresentado com maiores detalhes na seção 5.2.1 do Capítulo 5

ações do governo ao desenvolver uma política ambiental. Ao final, são apresentados os principais instrumentos econômicos de políticas ambientais que podem ser adotados para a promoção das fontes alternativas e limpas no setor de energia elétrica.

No Capítulo 4 são analisadas as ações do governo brasileiro em relação à promoção das fontes alternativas e limpas e o seu comprometimento em incentivá-las. Além disso, são discutidas as principais tendências de atuação do governo brasileiro no intuito de estabelecer um ambiente favorável para a participação dessas fontes no processo de expansão e diversificação da matriz elétrica nacional

No Capítulo 5 são aplicadas metodologias de valoração econômica dos impactos ambientais no intuito de quantificar o valor dos impactos ambientais ocasionados pela geração de energia elétrica. Ao final do capítulo, são obtidos os valores econômicos, em Reais por kWh gerados por ano, para cada fonte de geração que compõem a matriz elétrica nacional, sendo possível classificar essas fontes do ponto de vista dos seus impactos ambientais.

No Capítulo 6, com base nos valores econômicos encontrados no Capítulo 5, são quantificados os custos dos impactos ambientais relativos à expansão da matriz elétrica nacional, indicada no PDE 2007/2016. É possível mapear a situação do Brasil em relação aos custos dos impactos ambientais que seriam pagos pela sociedade caso esse Plano seja efetivamente implementado. Pelo resultado dessa análise é possível identificar quais as fontes limpas com baixa participação na expansão que precisariam ser incentivadas, e quais as fontes poluidoras com alta participação que deveriam ser desestimuladas pelas políticas ambientais.

No Capítulo 7 são apresentadas algumas propostas de instrumentos econômicos de políticas ambientais para promoção de fontes alternativas e limpas para geração de energia elétrica com base nas tendências nacionais identificadas no Capítulo 4 e nas experiências internacionais.

Por fim, no Capítulo 8, é apresentada a conclusão do trabalho desenvolvido.

Capítulo 2

As tendências de expansão da oferta de energia elétrica e os principais impactos ambientais associados

Este capítulo tem como principal função a contextualização do trabalho realizado. Para tanto, inicialmente, descreve-se de forma sucinta a estrutura institucional do Setor Elétrico Brasileiro, com ênfase na função de planejamento do setor, e apresenta-se a tendência de expansão da capacidade instalada da matriz elétrica nacional nos próximos anos. Na sequência, abordam-se os principais impactos ambientais associados ao processo de geração de energia elétrica e as principais ações internacionais a favor do tratamento das questões ambientais como um assunto global.

2.1. O cenário atual do Setor Elétrico Brasileiro e as tendências de expansão da oferta de energia elétrica

A estrutura atual do Setor Elétrico Brasileiro foi instituída com a principal função de promover um sistema capaz de oferecer energia elétrica da forma mais econômica possível e, ao mesmo tempo, garantir a qualidade e a segurança do adequado funcionamento do sistema.

2.1.1. Estrutura atual do Setor Elétrico Brasileiro

A partir de 2004, com a administração Lula, um novo modelo para o Setor Elétrico Brasileiro foi instituído, baseado em três objetivos principais como descrito abaixo [CCEE (25/03/2009)]:

- Garantir a segurança do suprimento de energia elétrica;
- Promover a modicidade tarifária;
- Promover a inserção social no Setor Elétrico Brasileiro, em particular por meio de programas de universalização de atendimento.

Nesse novo modelo, como um dos mecanismos para garantir a segurança no suprimento de energia, as atividades de planejamento a curto, médio e longo prazo, foram retomadas. Dessa forma, em termos institucionais, esse novo modelo definiu a criação de novas instituições:

- Empresa de Pesquisa Energética - EPE: responsável pelo planejamento do setor energético;
- Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico – CMSE: responsável por avaliar permanentemente a segurança do suprimento de energia elétrica;
- Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE: responsável pelas atividades relativas à comercialização de energia elétrica no sistema interligado.

A atual estrutura do setor é apresentada na Figura 2.1.

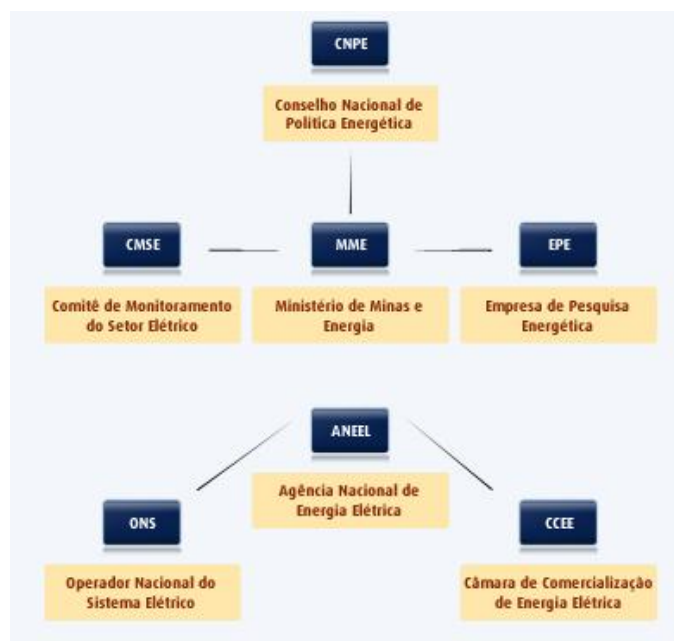


Figura 2.1 – Diagrama das instituições que compõem o setor elétrico [CCEE (25/03/2009)].

O Conselho Nacional de Políticas Energéticas - CNPE, órgão interministerial de assessoramento à Presidência da República, é responsável pela formulação de políticas energéticas, assim como, pelo estabelecimento de diretrizes para programas relativos ao uso da energia, tais como os programas de incentivo às fontes renováveis. As atividades das demais instituições presentes no setor estão condicionadas às diretrizes apontadas pelo CNPE.

A EPE é uma empresa vinculada ao Ministério de Minas e Energia – MME, sendo sua função desenvolver estudos relativos ao planejamento do setor energético, determinando estratégias para o Setor Elétrico Brasileiro. Uma das principais atribuições da EPE é o desenvolvimento de estudos que propiciem o planejamento da expansão da geração e da transmissão de energia elétrica no curto, médio e longo prazo, indicando quais empreendimentos deveriam ser construídos para garantir, com segurança, o suprimento da demanda futura por energia elétrica [CCEE (25/03/2009)].

O objetivo deste trabalho está intimamente relacionado à atividade de planejamento da expansão. Logo uma atenção maior será dada à Empresa de Pesquisa Energética - EPE.

2.1.2. A Empresa de Pesquisa Energética e o Plano Decenal de Expansão de Energia

A EPE foi criada em 2004 com a finalidade de *“prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético, tais como energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados, carvão mineral, fontes energéticas renováveis e eficiência energética, dentre outras.”* [Lei (2004)].

Anualmente a EPE elabora o Plano Decenal de Expansão de Energia – PDE, que *“proporciona sinalizações para orientar as ações e decisões relacionadas ao equacionamento do equilíbrio entre as projeções de crescimento econômico do país, seus reflexos nos requisitos de energia e da necessária expansão da oferta, em bases técnica, econômica e ambientalmente sustentável. Neste sentido, o PDE apresenta as alternativas cabíveis para compor o plano de oferta, contemplando o programa de obras para a expansão das infra-estruturas de oferta e de transporte dos energéticos contemplados nesse horizonte de planejamento.”* [EPE (01/05/2009)].

Por meio do PDE desenvolve-se um cenário de referência para os próximos dez anos, que estabelece quais empreendimentos deveriam ser implementados para atender a crescente demanda do mercado, garantindo o suprimento energético e minimizando os custos totais esperados de investimento e de operação.

O PDE é assim um instrumento que induz a alocação eficiente dos investimentos por meio da orientação das ações futuras, fornecendo uma correta sinalização a todos os agentes do setor elétrico.

É importante destacar que as avaliações socioambientais relativas ao cenário de expansão são realizadas apenas ao final do plano, quando este cenário já está estabelecido e não será mais alterado. O objetivo dessas avaliações é antecipar o conhecimento das principais questões socioambientais relativas aos projetos planejados e caracterizar os níveis de ação necessários para viabilização desses projetos dentro do cronograma decenal. Portanto, o cenário de expansão não é definido levando em consideração as grandezas socioambientais e utilizando-as como critério para tomada de decisão.

2.1.3. Tendência de expansão da oferta de energia elétrica no Brasil

Segundo o Plano Decenal da Expansão de Energia 2007/2016, a matriz elétrica do Brasil pode ser ainda caracterizada como predominantemente renovável, já que a geração hidrelétrica (incluindo PCH) correspondente a 83,6% de toda a potência instalada, como pode ser verificado na Figura 2.2 [PDE (2007)]. Os demais empreendimentos de geração de energia elétrica foram, durante anos, considerados como complementares, geralmente utilizados para abastecer os sistemas isolados ou como suporte ao sistema interligado.

Atualmente, uma das principais necessidades que se identifica é a diversificação da matriz elétrica nacional, alterando o patamar de relevância dos empreendimentos, até então, secundários no sistema. As principais razões dessa mudança são [IAEA et al. (2006)]:

- A vulnerabilidade do sistema aos períodos de seca;
- O esgotamento do potencial hidráulico nas regiões centrais do país e as barreiras socioeconômicas para exploração dos demais potenciais;
- A necessidade da rápida expansão da oferta para atendimento à crescente demanda;
- O aprimoramento da qualidade da energia privilegiando os empreendimentos próximos aos centros de carga.

Pelos motivos apresentados acima, os empreendimentos termelétricos ganharam maiores incentivos por estarem próximos aos centros de carga e por apresentarem menor tempo de implantação, ampliando assim sua participação na matriz elétrica nacional.

O PDE 2007/2016 aponta claramente essa tendência de diversificação baseada em termelétricas, como pode ser observado na Figura 1.2 e na Tabela 2.1. Importante destacar que o PDE considera, apenas, a biomassa do bagaço de cana nas suas projeções.

Tipo	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Hidro	80.193	80.456	81.243	82.720	84.386	86.060	90.686	97.697	104.660	109.058
PCH	2.023	3.249	3.374	4.558	4.939	5.324	5.680	5.715	5.715	5.925
Biomassa	570	742	1.021	1.961	2.464	2.964	3.544	3.744	3.944	3.944
Eólica	208	320	320	320	320	320	320	320	320	320
Gás	9.300	9.983	10.061	10.377	12.277	12.947	13.897	13.897	13.897	13.897
Nuclear	2.007	2.007	2.007	2.007	2.007	2.007	2.007	3.357	3.357	3.357
Carvão	1.415	1.415	1.415	1.765	1.765	3.565	3.565	3.565	3.565	4.065
Óleo	1.311	1.311	1.743	1.743	1.775	1.775	1.775	1.775	1.775	1.775
Diesel	1.367	1.367	1.861	1.797	1.971	1.972	1.972	1.972	1.972	1.972
Gás Proc	0	0	0	0	490	490	490	490	490	490
Total	98.394	100.850	103.045	107.248	112.394	117.424	123.936	132.532	139.695	144.803

Figura 2.2 – Evolução da capacidade instalada, em MW [PDE (2007)].

Tabela 2.1 – Participação das fontes na expansão do sistema entre 2007 e 2016.

Tipo	Acréscimo no total da capacidade nos 10 anos (MW)	% do total da capacidade instalada em 2016	% de expansão da respectiva fonte
UHE	28.865	75,3%	36%
PCH	3.902	4,1%	193%
UTB*	3.374	2,7%	592%
CE	112	0,2%	54%
UTGN	4.597	9,6%	50%
UTN	1.350	2,4%	67%
UTC	2.650	2,8%	187%
UTO	464	1,2%	35%
UTD	605	1,4%	44%
UTGP	490	0,3%	-
Total	46.409	100%	-

* Biomassa do bagaço da cana.

Por meio da análise da Tabela 2.1 pode-se observar que a geração hidrelétrica (incluindo PCH) permanece com participação predominante em 2016 de 79,4%, apresentando uma queda de 4,2% em comparação com a sua participação em 2007. As termelétricas a gás permanecem como a segunda fonte com maior participação, possuindo uma expansão de 50% sobre sua capacidade instalada em 2007 e representando 9,6% do total instalado.

Os empreendimentos renováveis, PCH e UTB, apresentam percentuais de crescimento iguais a 193% e 592%, respectivamente. Porém, os mesmos não são expressivos, representando apenas 6,8% do total instalado ao final de 2016. As usinas termelétricas a carvão mineral apresentam, também, um percentual alto de crescimento, igual a 187%. As fontes fósseis como um todo apresentam um elevado percentual de crescimento e representarão, em 2016, 15% do total da capacidade instalada.

As demais fontes apresentam expansões moderadas, da ordem de 50%. A energia eólica, apesar de ser considerada uma das fontes de energia mais limpas do planeta, de estar disponível em abundância no Brasil e ser uma excelente alternativa às energias poluentes, apresenta um crescimento de 54%, representando, entretanto, apenas 0,2% do total instalado em 2016.

O Plano Decenal de Expansão de Energia mais recente, PDE 2008/2017, indica que a tendência de expansão é um cenário ainda mais intenso em fontes fósseis e com menores participações de fontes alternativas, como pode ser visto na Figura 2.3 e na Tabela 2.2.

Evolução da capacidade instalada por fonte de geração (MW)^a

FONTES	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Hidro ^b	84 374	86 504	89 592	91 480	92 495	95 370	98 231	103 628	110 970	117 506
Nuclear	2 007	2 007	2 007	2 007	2 007	2 007	3 357	3 357	3 357	3 357
Óleo ^c	1 984	3 807	5 713	7 153	7 397	10 463	10 463	10 463	10 463	10 463
Gás Natural	8 237	8 237	8 453	8 948	10 527	12 204	12 204	12 204	12 204	12 204
Carvão	1 415	1 415	1 765	2 465	2 815	3 175	3 175	3 175	3 175	3 175
F.Alternativa ^d	1 256	2 682	5 420	5 479	5 479	5 593	5 593	5 913	6 233	6 233
Gás de Processo e Vapor	469	959	959	959	959	959	959	959	959	959
UTE Indicativa	-	-	-	-	-	-	-	900	900	900
Total	99 742	105 611	113 909	118 491	121 679	129 771	133 982	140 599	148 261	154 797

^a potência instalada em dezembro de cada ano^b inclui PCH^c óleo combustível e óleo diesel^d biomassa e eólica

Figura 2.3 – Evolução da capacidade instalada, em MW [PDE (2008)].

Tabela 2.2 – Participação das fontes na expansão do sistema entre 2008 e 2017.

Tipo	Acréscimo no total da capacidade nos 10 anos (MW)	% do total da capacidade instalada em 2017	% de expansão da respectiva fonte
UHE + PCH	33.132	75,9%	39%
UTN	1.350	2,2%	67%
UTO + UTD	8.479	6,8%	427%
UTGN	3.967	7,9%	48%
UTC	1.760	2,0%	124%
UTB + CE	4.977	4,0%	396%
UTGP	490	0,6%	104%
UTind*	900	0,6%	-
Total	55.060	100%	-

* UTind são as termelétricas indicativas, ou seja, representam um montante de energia ainda não comercializada em leilão.

Analisando a Tabela 2.2 observa-se que a geração hidrelétrica (incluindo PCH) permanecerá predominante, representando 75,9% do total da capacidade instalada, um percentual da ordem de 4,4% menor que o apresentado pelo PDE 2007/2016. No PDE 2008/2017, as fontes biomassa e eólica são avaliadas em conjunto e pode-se observar

que a participação destas no total instalado não é elevada, representando apenas 4%. Um resultado importante desse último Plano em relação ao anterior é o aumento da participação das termelétricas a óleo combustível e diesel. Essas fontes apresentam um aumento de 427% e representariam 6,8% no total instalado em 2017. Esse aumento significativo é resposta aos resultados dos últimos leilões de energia nova que ocorreram em 2008. As Figuras 2.4 e 2.5 apresentam os resultados desses leilões e mostram a expressiva participação dessas fontes na oferta de energia.



6º Leilão de Energia Nova (Edital nº 002/2008-ANEEL) -Resumo Vendedores

Empreendimento Outras Fontes- OF-15

Vendedor	Empreendimento	Combustível	Tipo	Sub-mercado	Energia Contratada (lotas)	ICB (R\$/MWh)	Receita Fixa (R\$/ano)
CONS.AGROENERGIA	Jose de Alencar	GNL	EOF	NE	169	131,44	87.159.929,67
CONS.LINHARES	Linhares	GNL	EOF	SE	96	130,00	46.550.026,54
CONS.MC2 EB BA1	MC2 Camacari 1	Oleo Combustivel B1	EOF	NE	102	125,85	56.296.864,00
CONS.MC2 EB BA1	MC2 Catu	Oleo Combustivel B1	EOF	NE	102	126,85	57.190.384,00
CONS.MC2 EB BA2	MC2 Dias Davila 1	Oleo Combustivel B1	EOF	NE	102	126,35	56.743.624,00
CONS.MC2 EB BA2	MC2 Dias Davila 2	Oleo Combustivel B1	EOF	NE	102	125,35	55.850.104,00
CONS.MC2 EB BA3	MC2 Senhor do Bonfim	Oleo Combustivel B1	EOF	NE	102	127,84	58.074.969,00
CONS.MC2 EC RS BA	MC2 Feira de Santana	Oleo Combustivel B1	EOF	NE	101	127,85	57.579.745,00
CONS.PERNAMBUCO IV	Pernambuco IV	Oleo Combustivel B1	EOF	NE	107	130,97	63.002.812,91
CONS.SANTA RITA DE CASSIA	Santa Rita de Cassia	Oleo Combustivel B1	EOF	NE	93	129,79	53.781.727,77
Total					1076		

Figura 2.4 – Resultado 6º leilão de energia nova [CCEE (25/03/2009)].


7º Leilão de Energia Nova (Edital nº 003/2008-ANEEL) -Resumo Vendedores
Empreendimento Hidro H-30

Vendedor	Empreendimento	Rio	Tipo	Sub-mercado	Energia Contratada (lotes)	Preço de Lance (R\$/MWh)	Preço de Venda (R\$/MWh)
NEO	UHE Beixo Iguacu	Rio Iguacu	NEH	S	121	99	98,98
Total					121		

Empreendimento Outras Fontes- OF-15

Vendedor	Empreendimento	Combustível	Tipo	Sub-mercado	Energia Contratada (lotes)	ICB (R\$/MWh)	Receita Fixa (R\$/ano)
CONS CACIMBAES	Cacimbaes	Gas Natural Regaseificado (GNL)	EOF	SE	64	145,00	41.432.552,31
CONS ESCOLHA	Escolha	Gas Natural Regaseificado (GNL)	EOF	SE	189	144,50	123.667.598,10
CONS MC2 BE ES	Iconha	Oleo Combustivel B1	EOF	SE	100	146,00	73.380.349,63
CONS MC2 EB BA	MC2 Camacari 2	Oleo Combustivel B1	EOF	NE	99	145,98	71.661.916,48
CONS MC2 EB BA	MC2 Camacari 3	Oleo Combustivel B1	EOF	NE	99	145,97	71.653.244,08
CONS MC2 EB BA	MC2 Governador Mangabeira	Oleo Combustivel B1	EOF	NE	99	146,00	71.679.261,28
CONS MC2 EB BA PE	MC2 Santo Antonio de Jesus	Oleo Combustivel B1	EOF	NE	99	145,99	71.670.588,88
CONS MC2 EB BA PE	MC2 Sapeacu	Oleo Combustivel B1	EOF	NE	99	146,00	71.679.261,28
CONS MC2 EB BA PE	MC2 Suape II B	Oleo Combustivel B1	EOF	NE	201	146,00	145.345.946,38
CONS MC2 EB MA AL SE	MC2 Messias	Oleo Combustivel B1	EOF	NE	97	146,00	70.392.313,82
CONS MC2 EB MA AL SE	MC2 Nossa Senhora do Socorro	Oleo Combustivel B1	EOF	NE	97	146,00	70.404.193,80
CONS MC2 EB MA AL SE	MC2 Rio Largo	Oleo Combustivel B1	EOF	NE	97	146,00	70.392.313,82
CONS MC2 EC ES RS	MC2 Joinville	Gas Natural Regaseificado (GNL)	EOF	SE	225	146,00	161.905.421,72
CONS MC2 GP CE	MC2 Pecem 2	Oleo Combustivel B1	EOF	NE	201	146,00	145.345.946,38
CONS MC2 GP ES RN	MC2 Joao Neiva	Gas Natural Regaseificado (GNL)	EOF	SE	225	146,00	161.905.421,72
CONS MC2 GP ES RN	MC2 Macaiba	Oleo Combustivel B1	EOF	NE	224	146,00	162.505.481,68
CONS MC2 GP ES RN	MC2 Nova Venecia 2	Oleo Combustivel B1	EOF	SE	98	146,00	71.899.231,92
CONS PEIII	Pernambuco III	Oleo Combustivel B1	EOF	NE	104	144,70	74.607.401,10
CONS TP V	Termopower V	Oleo Combustivel B1	EOF	NE	104	145,90	75.700.649,10
CONS TP VI	Termopower VI	Oleo Combustivel B1	EOF	NE	104	144,80	74.698.505,10
COSAN CENTROESTE	Parauna	Bagaco de Cana	EOF	SE	35	145,00	44.702.280,00
HEXAGONAL	Cauhyra I	Oleo Combustivel B1	EOF	SE	68	146,00	47.712.870,19
MPX	Porto do Pecem II	Carvao Mineral Importado	EOF	NE	276	140,00	206.976.736,63
Total					3004		

Figura 2.5 – Resultado 7º leilão de energia nova [CCEE (25/03/2009)].

Segundo o cenário apresentado pelo PDE 2008/2017, as fontes fósseis representarão 16,7% da capacidade instalada total da matriz elétrica nacional ao final de 2017. A grande preocupação com relação a essa expansão é a de que essas fontes são altamente poluidoras e ocasionam tanto a emissão de particulados, responsáveis pela poluição do ar, quanto à emissão de gases de efeito estufa, responsáveis pelas alterações climáticas globais. Por meio das análises das informações apresentadas, conclui-se que a matriz elétrica nacional segue uma tendência de diversificação não sustentável, pois ao reduzir a participação das hidrelétricas amplia, consideravelmente, a participação de termelétricas a gás natural, a carvão mineral, a óleo combustível e a óleo diesel. Como citado anteriormente, essas fontes são intensivas em emissões de material particulado e gases de efeito estufa.

Apesar de menos expressiva que as fontes fósseis, a biomassa apresenta, também, um elevado crescimento de participação. Porém, como será avaliado neste trabalho, apesar de renovável, essa fonte, dependendo da tecnologia utilizada, apresenta níveis consideráveis de emissão de material particulado ocasionando significativos impactos ambientais. A energia eólica, apesar dos seus benefícios ambientais, permanece com baixa participação no processo de diversificação, assim como indicado no PDE anterior. A energia nuclear também permanece pouco expressiva, com 2,2% do total instalado. A energia solar, que também contribui para uma evolução sustentável da expansão da matriz elétrica nacional, permanece com percentuais nulos de participação.

Os estudos feitos ao longo deste trabalho utilizaram como base de dados o PDE 2007/2016 por dois grandes motivos: (i) não foi publicada a versão oficial do PDE 2008/2017, este se encontra em fase de consulta pública; (ii) a versão do PDE 2008/2017 liberada para consulta pública, como pode ser visto na Figura 2.3, não discrimina as fontes alternativas, sendo fornecidos os valores das PCHs em conjunto com as hidrelétricas e os valores das centrais eólicas em conjunto com as termelétricas a biomassa.

2.2. As mudanças climáticas e a poluição do ar

A seguir é feita uma breve discussão sobre os principais impactos ambientais associados ao processo de geração de energia elétrica.

2.2.1. Mudanças climáticas

Um dos maiores desafios enfrentados atualmente pela humanidade está relacionado com o fenômeno das mudanças climáticas. Por afetar todos os níveis de atividade (desenvolvimento tecnológico, econômico, social) a sociedade se expõe a um grande risco ao não propor ações mitigadoras e adaptativas a estas mudanças.

Enquanto vários fatores influenciam a dinâmica do clima, os cientistas do *Intergovernmental Panel on Climate Change* – IPCC² demonstraram que as atividades humanas tem sido os grandes responsáveis pelas alterações climáticas observadas nos últimos anos. Estas alterações são majoritariamente causadas pela emissão de gases de efeito estufa³ - GEE, emissão de materiais particulados e uso da terra [IPCC (2007)]. As crescentes emissões antrópicas de GEE, largamente relacionadas à queima de combustíveis fósseis em usinas termelétricas, indústria, veículos e sistemas domésticos, estão promovendo o aumento da concentração desses gases na atmosfera e, conseqüentemente, ampliando a capacidade de absorção de energia, alterando o equilíbrio energético natural do Planeta [Alves et al. (2008)]. Dentre os fatores naturais que influenciam o clima, pode-se citar as alterações na quantidade de energia emitida pelo Sol e as oscilações na órbita terrestre que afetam a distância entre a Terra e o Sol [Invivo (2008)]. Consta-se que os impactos antrópicos amplamente excedem, em muito, as influências naturais.

A Figura 2.6 apresenta o aumento da concentração dos principais gases de efeito estufa na atmosfera.

² O IPCC é formado por um grupo internacional de cientistas fundado no intuito de fornecer, a todos os interessados nas discussões sobre as mudanças climáticas, informações objetivas sobre essas questões. Os relatórios do IPCC são neutros no que diz respeito a políticas.

³ O efeito estufa é um fenômeno natural do Planeta Terra com a propriedade de absorver e reemitir parte da irradiação infravermelha emitida da Terra para o espaço, mantendo a temperatura média na superfície da Terra em torno de 14°C, sendo assim, essencial para a existência de vida tal como conhecemos. Os gases de efeito estufa são aqueles capazes de absorver e refletir a luz infravermelha [Alves et al. (2008)].

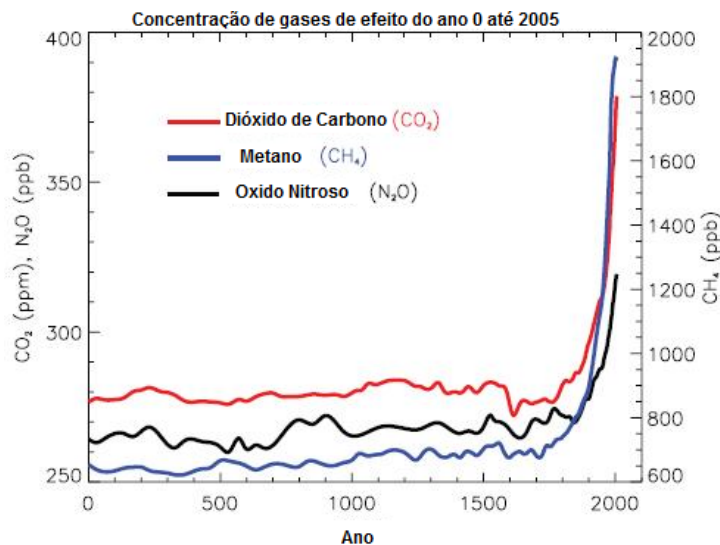


Figura 2.6 – Concentração dos gases de efeito estufa [IPCC (2007)].

A alteração da concentração desses gases pode ocasionar um aquecimento ou resfriamento do clima. Os estudos do IPCC constataam que, desde a era industrial, o efeito de aquecimento é o fator predominante nas mudanças climáticas.

Ao longo de milhões de anos, a Terra passou por períodos climáticos distintos, oscilando entre épocas quentes e frias. O atual período (últimos 2 milhões de anos até o presente momento), denominado Período Quaternário, oscilou entre eras glaciais e inter-glaciais, sendo os últimos 10.000 anos caracterizado por um intervalo quente. Embora ocorram estas alterações naturais de temperatura nesses milhares de anos, não há evidências de aumento tão rápido quanto o registrado nos últimos 100 anos, como apresentado pela Figura 2.7 [IPCC 2 (2007)].

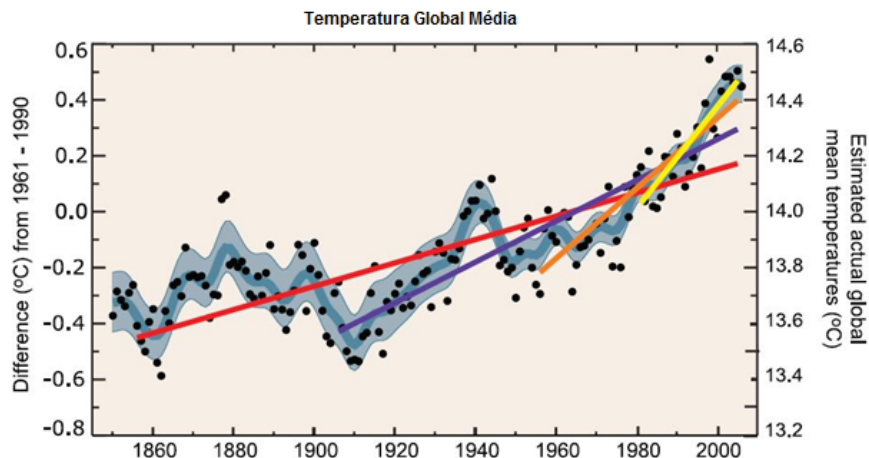


Figura 2.7 – Temperatura média global estimada (°C) [IPCC (2007)].

Devido às mudanças na temperatura, os eventos climáticos estarão susceptíveis a alterações de padrão. Estima-se que alguns fenômenos se tornarão mais frequentes e/ou intensos. Segundo Coppe (2008), as mudanças no clima irão afetar as atividades relativas à geração de energia no Brasil. Os resultados destacam que o potencial eólico ficará concentrado na costa, a bacia do Rio São Francisco será a mais impactada dentre as analisadas e a produção de biodiesel será negativamente afetada, em especial na região Nordeste, prejudicando o desenvolvimento social na região.

Com o objeto de promover ações de mitigação e adaptação, o governo federal instituiu em 21 de novembro de 2007, por meio do Decreto nº 6.263, o Comitê Interministerial sobre Mudanças do Clima - CIM para, entre outras funções, orientar a elaboração, a implementação, o monitoramento e a avaliação do Plano Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC.

A primeira versão do PNMC foi lançada em dezembro de 2008, com o objetivo de propor ações e medidas para o enfrentamento dos desafios oriundos das mudanças climáticas visando à mitigação e à adaptação a essas mudanças.

2.2.2. Poluição do ar por materiais particulados

A poluição do ar é ocasionada tanto pela emissão de gases poluentes como pela emissão de materiais particulados. As principais fontes de emissão são: as unidades industriais, como refinarias, siderurgias; as plantas de geração de energia elétrica; e as fontes móveis, em especial o transporte rodoviário.

A emissão de materiais particulados apresenta efeitos danosos sobre a saúde humana. As partículas poluentes suspensas no ar entram no corpo humano por meio da respiração e ficam alojadas nos pulmões, afetando o sistema respiratório, que ocasiona doenças como asma, bronquite crônica, infecções nos pulmões, enfisema pulmonar, doenças do coração e cancro do pulmão [Conpet (2008)].

No setor de energia elétrica, as principais atividades que contribuem para a emissão de material particulado são as usinas termelétricas a carvão mineral e as usinas termelétricas a bagaço de cana. Segundo os resultados apresentados por EC (2005), os estudos mais recentes identificaram os particulados como os principais poluidores responsáveis pelas doenças cardiopulmonares e mortes prematuras.

2.3. As questões ambientais como um assunto de preocupação mundial

A preocupação sistematizada com o meio ambiente iniciou-se na segunda metade do século XX, marcada pela Conferência de Estocolmo de 1972, que definiu as questões ambientais como um assunto global e que devem ser incluídas nas pautas das políticas públicas. Após essa conferência iniciaram as discussões sobre o futuro comum do planeta que forneceram a base para o desenvolvimento sustentável. Em 1987 foi publicado o Relatório *Brundtland*, elaborado pela Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, que contém o conceito de desenvolvimento sustentável cujo objetivo principal é promover, conjuntamente, o desenvolvimento econômico, o desenvolvimento social e a preservação ambiental. Essas novas idéias foram

posteriormente incorporadas como um princípio na ECO-92 para a elaboração da Agenda 21⁴. A partir daí, passou-se a discutir quais seriam as mudanças na estrutura da sociedade, como sistemas políticos, econômicos, tecnológicos, necessárias para alcançar esses novos princípios [IAEA et al. (2006); MME (01/05/2009) e Clóvis Cavalcanti (org.) (1994)].

Alguns países, motivados pela crise do petróleo, passaram a partir da década de 70, a incentivar internamente a utilização de fontes renováveis, mas somente na década de 90 que as discussões ambientais ganharam mais força e foram incorporadas nas estratégias políticas e econômicas [Costa (2006)].

Um marco importante no desenvolvimento de políticas ambientais foi o PURPA (*Public Utility Regulatory Policy Act*) estabelecido nos EUA em 1978. O PURPA foi criado em meio a crise do petróleo em que o Congresso dos EUA pretendia reduzir a dependência de energéticos importados, promover as fontes alternativas e a eficiência energética e diversificar a matriz elétrica do país. Um dos principais incentivos do PURPA foi o requerimento de compra de energia elétrica pelas concessionárias da energia produzida pelos produtores independentes e auto-produtores. A idéia principal era que estes produziram uma energia mais barata promovendo o chamado “custo evitado”. As principais consequências positivas do PURPA foram a queda no preço do óleo e o aumento da participação de plantas de co-geração à gás natural [UCSUSA (2009)].

Devido ao seu caráter inovador, as propostas do PURPA tiveram que passar por alterações para se adaptar às exigências do mercado. Uma das maiores falhas do PURPA é que, devido à abertura do mercado e incentivo à competição e menor custo, apenas as fontes renováveis com custos competitivos aos das fontes tradicionais é que foram incorporadas [UCSUSA (2009)]. Foi identificado que, enquanto os preços das fontes poluidoras tradicionais continuassem caindo e os benefícios das fontes renováveis não fossem levados em conta no preço, por exemplo, a qualidade do ar, apenas o PURPA não seria capaz de promover o incentivo das demais fontes limpas.

⁴ A Agenda 21 estabelece as ações que devem ser tomadas para se alcançar os objetivos do desenvolvimento sustentável. Nela estão definidos os instrumentos de planejamento que conciliam métodos de proteção ambiental, justiça social e eficiência econômica [MMA (22/04/2009)].

Logo, novas políticas foram elaboradas como o *Energy Policy Act* em 2005, definindo taxas, subsídios e o *Renewable Portfólio Standard* - RPS. A idéia central do RPS é usar as ferramentas mercadológicas para garantir que uma determinada porcentagem da energia comercializada venha de fontes renováveis. Nesse sistema são definidos os níveis mínimos de energia que devem ser providos por fontes renováveis e os créditos de energia renovável que serão negociados pelas partes interessadas [Palmer & Burtraw (2005)].

A União Européia também participa ativamente no processo de criação de políticas ambientais que buscam mitigar os impactos ambientais. Em outubro de 2001, a Comissão Européia publicou a Diretriz, “*Promotion of electricity produced from renewable energy sources*”, que estabelece metas percentuais a cada país membro para a produção de energia elétrica por fonte renovável, sendo a soma dos percentuais de cada país igual a 21% do total de energia elétrica fornecida até 2010. Espera-se que 19% dos 21% sejam atingidos ao final de 2010. Os benefícios desta Diretriz são muitos, destacando-se: a mitigação das mudanças climáticas pela redução da emissão dos gases de efeito estufa, a contribuição para o desenvolvimento sustentável, o desenvolvimento de novas tecnologias, o crescimento econômico, a geração de empregos e o desenvolvimento regional e rural [COM (2008)].

Reconhecendo a necessidade de aprimorar o sistema de incentivos às fontes renováveis, tendo em vista os benefícios destacados, a Comissão Européia publicou, em 2008, outra Diretriz - “*Directive of the European parliament and of the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources*”, que estabelece como meta geral a participação em 20% das fontes renováveis ao final de 2020. Nesse sistema, cabe a cada país membro determinar qual a política ambiental mais adequada a ser implementada para se atingir metas estabelecidas [COM (2008)].

Outro marco histórico deste processo de busca por soluções que promovam uma sociedade cujo desenvolvimento socioeconômico siga padrões mais sustentáveis e ambientalmente adequados foi a adoção do Protocolo de Kyoto na Terceira Sessão de Conferência das Partes (COP-3) da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC) em Kyoto, Japão, em Dezembro 1997. O Protocolo

entrou em vigor em 16 de fevereiro de 2005, quando foi ratificado por 183 Partes da Convenção.

O Protocolo de Kyoto é um acordo internacional ligado à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima que estabelece, para países industrializados (conhecidos como países do Anexo I), a meta de redução das emissões de gases de efeito estufa - GEE em 5% referente às emissões em 1990 para o período de 2008 – 2012. As regras para sua implementação foram adotadas na COP-7 em 2001 no chamado Acordo de Marrakesh. Para alcançar as metas estabelecidas, foram criados três mecanismos de Kyoto [UNFCCC (2007)]:

- Implementação conjunta;
- Comércio Internacional de Emissões;
- Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL).

Este último mecanismo, o MDL, permite que países desenvolvidos, listados no Anexo I do protocolo, atinjam suas metas de redução de emissão de GEE por meio de financiamentos de projetos sediados em países em desenvolvimento. O MDL surgiu de uma proposta da delegação brasileira durante uma das Conferências das Partes para certificação de projetos que contribuam para a redução de emissões de GEE [Alves et al. (2008)].

O Brasil possui destaque por ser o primeiro país a assinar, em 1994, a Convenção Quadro das Nações Unidas para a Mudança do Clima, se comprometendo a elaborar e atualizar periodicamente inventários nacionais de emissões por fontes antrópicas. Desde então o governo federal tem estabelecido instituições nacionais responsáveis pelo desenvolvimento sustentável do país. Em 1997 foi criada a Comissão de Políticas de Desenvolvimento Sustentável e da Agenda 21 Brasileira. Em 1999, foi criada a Comissão Interministerial de Mudança do Clima, responsável por articular as ações decorrentes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima e seus instrumentos subsidiários. Em 2000, foi criado o Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas, com o objetivo de promover a mobilização e a conscientização da sociedade sobre as mudanças climáticas. Como já citado anteriormente, o governo federal instituiu

em 2007 o Comitê Interministerial sobre Mudanças do Clima (CIM) para realizar a elaboração da Política Nacional sobre Mudanças do Clima e o Plano Nacional sobre Mudança do Clima [MMA (22/04/2009) e MCT(22/04/2009)].

A principal política ambiental desenvolvida no Brasil para promover as fontes alternativas e limpas o setor elétrico foi o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica - PROINFA com a aprovação da Lei 10.438 em 2002. O objetivo do PROINFA é aumentar a participação da energia elétrica produzida por empreendimentos de Produtores Independentes e Auto Produtores, concebidos com base em fontes eólica, pequenas centrais hidrelétricas e biomassa no Sistema Elétrico Interligado Nacional [Lei (2002)]. Porém, como apresentado na seção 2.1, o PDE sinaliza uma tendência de evolução e diversificação da capacidade instalada da matriz elétrica nacional baseada em fontes poluidoras e não renováveis.

2.4. Considerações finais

Pode-se concluir, então, que a matriz elétrica nacional passa por um processo não sustentável de expansão e diversificação baseado em fontes intensivas em emissões de material particulado e gases de efeito estufa. Essas fontes contribuem intensamente para o agravamento dos impactos ambientais relativos às mudanças climáticas e à poluição do ar.

Pode-se concluir, também, que a preocupação mundial referente às questões ambientais vem se fortalecendo nos últimos anos e ganhando pauta nas políticas nacionais e internacionais que buscam, por meio de diferentes mecanismos de ação, mitigar os impactos ambientais causados pela ação do homem.

Capítulo 3

Os instrumentos econômicos de políticas ambientais para a promoção das fontes alternativas de energia elétrica

A preocupação com relação aos níveis de emissões de poluentes, fruto do processo de geração de energia elétrica, e os conseqüentes impactos às mudanças climáticas e à saúde humana, evidenciam o importante papel das fontes de energia alternativa e limpa para o desenvolvimento de um futuro energético mais sustentável.

Há, como desafio, a elaboração de políticas ambientais para promover essas fontes de energia alternativas e limpas e, ao mesmo tempo, torná-las cada vez mais competitivas para atuarem adequadamente no mercado de energia elétrica. Dessa forma, o setor elétrico irá garantir que a oferta de energia acompanhe o desenvolvimento do país por meio de uma matriz elétrica diversificada e sustentável.

3.1. Entendendo o modelo de concorrência perfeita e o problema das falhas de mercado

3.1.1. A teoria econômica e o papel do economista

A palavra economia, segundo Mankiw (2007), vem do grego e pode ser entendida como “*aquele que administra o lar*”. Pensando na rotina de uma família, diariamente, é preciso definir tarefas, determinar quem irá executá-las e o que cada um receberá em troca. Geralmente, as questões são como: Quem irá fazer as compras?

Quem escolhe o filme na televisão? Como se gastará o dinheiro da poupança? Ou seja, uma família precisa tomar decisões alocando “*seus recursos escassos aos seus diversos membros, levando em consideração as habilidades, esforços e desejos de cada um.*” [Mankiw (2007) p.3].

A sociedade, assim como uma família, precisa tomar decisões continuamente na tentativa de alocar seus recursos escassos nas tarefas estabelecidas que serão executadas por determinados membros. O gerenciamento de recursos escassos é uma das premissas da economia. Ainda segundo Mankiw (2007), a escassez significa que “*a sociedade tem recursos limitados e, portanto, não pode produzir todos os bens e serviços que as pessoas desejam ter. Assim como uma família não pode dar a seus membros tudo que eles desejam, uma sociedade não pode dar a cada membro um padrão de vida alto ao qual eles aspirem*” [Mankiw (2007) p.4].

De acordo com a definição de Stiglitz & Walsh (2003), a economia estuda como pessoas, empresas, governos e outras organizações da sociedade fazem escolhas e como essas escolhas determinam a forma como a sociedade utiliza seus recursos. Resumidamente, a economia analisa e estuda como a sociedade administra seus recursos escassos.

Os economistas atuando como cientistas

Os economistas como cientistas estudam a economia com a mesma objetividade que os cientistas, seguindo a essência do método científico: “*o desenvolvendo e o teste imparcial de teorias sobre como funciona o mundo.*” Com as mesmas premissas de um físico, os economistas se fundamentam de observações, desenvolvem hipóteses, coletam dados, analisam esses dados para confirmar ou refutar suas hipóteses e, por fim, elaboram modelos para representar e explicar as teorias formadas sobre o comportamento da sociedade perante suas escolhas [Mankiw (2007) p.20].

Ou seja, com o mesmo olhar científico de um biólogo sobre o funcionamento do corpo humano, o economista enxerga o funcionamento do mundo buscando desenvolver teorias e elaborar modelos sobre o comportamento da sociedade.

Os economistas atuando como conselheiros políticos

Em determinadas situações os economistas deixam o papel de cientista, que tentam explicar o mundo, e passam a atuar como conselheiros políticos, que buscam melhorar a situação do mundo. Nesse caso, os economistas são solicitados para aconselharem o desenvolvimento de políticas que melhorem os resultados da economia.

Quando o economista passa de cientista a conselheiro político, ele troca as declarações positivas por declarações normativas. Segundo Mankiw (2007), as declarações positivas são afirmações a respeito de como o mundo é, enquanto as declarações normativas são afirmações que tentam prescrever como o mundo deveria ser.

Dessa forma, a teoria econômica, além de explicar como o mundo funciona, também pode ser utilizada para melhorar a maneira como o mundo funciona.

3.1.2. A economia do bem-estar e o problema das externalidades

O excedente do consumidor

O excedente do consumidor, definido por Mankiw (2007), é a quantia que o comprador está disposto a pagar⁵ por um bem menos a quantia que ele efetivamente paga pelo bem.

Por exemplo, imagine um sistema de leilão em que uma pessoa coloca a venda um quadro de Picasso e aparecem três compradores interessados. Cada comprador possui uma disposição a pagar pelo quadro que será refletida no preço. Suponhamos que os três compradores, Artur, Beto e Carla, estejam dispostos a pagar, respectivamente, R\$100,00, R\$120,00 e R\$140,00. Os lances são dados até que o valor atinja um pouco mais de R\$120,00, por exemplo, R\$122,00. Para esse valor, apenas Carla está disposta a pagar e leva o quadro por um valor abaixo do que está disposta a pagar, recebendo,

⁵ A disposição a pagar representa o valor que o comprador atribui ao bem em questão.

assim, um excedente do consumidor de R\$18,00. Ou seja, este excedente mede o benefício do consumidor ao obter um produto no mercado.

Uma forma de representar esse excedente do consumidor é ilustrada pela curva de demanda de um produto, que reflete a disposição para pagar dos compradores. A Figura 3.1 apresenta uma curva de demanda em que a altura da curva mede o valor atribuído pelos compradores ao bem versus a quantidade demandada pelo referido preço. A diferença entre a disposição a pagar e o preço de mercado é o excedente do consumidor, e é determinado pela área colorida na curva. Ou seja, o excedente do consumidor é uma boa medida do seu bem-estar econômico.

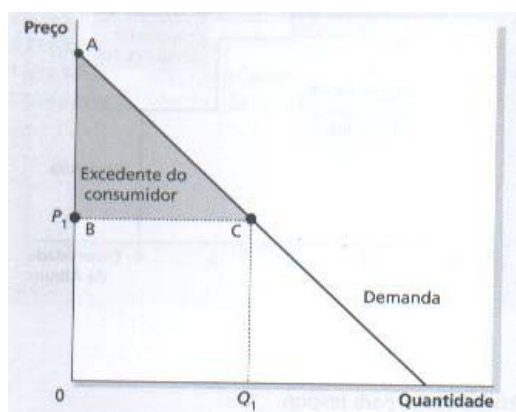


Figura 3.1 – Curva de demanda e excedente do consumidor [Mankiw (2007) p.143].

O excedente do produtor

O excedente do produtor, definido por Mankiw (2007), é a quantia recebida pelo vendedor de um bem menos o custo para o vendedor de produzir o bem.

Por exemplo, imagine que uma pessoa deseja reformar a casa e apareçam três arquitetos. Cada arquiteto possui um custo que representa a sua disposição para vender⁶. Suponhamos que os três arquitetos, Alice, Bruna e Caetano, estejam dispostos a vender por, respectivamente, R\$100,00, R\$120,00 e R\$140,00. Os orçamentos envolvem

⁶ A disposição para vender representa o valor pelo qual o vendedor aceitaria trabalhar.

preços que decaem, pois há competição entre os arquitetos, até Alice propor um orçamento de R\$118,00. Para esse valor, apenas Alice está disposta a vender e prestar o serviço por um preço acima de seu custo recebendo, assim, um excedente do produtor de R\$18,00. Ou seja, este excedente mede o benefício do produtor ao vender um produto no mercado.

Uma forma de representar esse excedente do produtor é ilustrada pela curva de oferta de um produto, que reflete os custos dos vendedores. A Figura 3.2 apresenta uma curva de oferta em que a altura da curva mede os custos dos vendedores versus a quantidade ofertada pelo referido preço. A diferença entre o preço de mercado e a disposição a vender é o excedente do produtor, e é determinado pela área colorida na curva. Ou seja, o excedente do produtor é uma boa medida do seu bem-estar econômico.

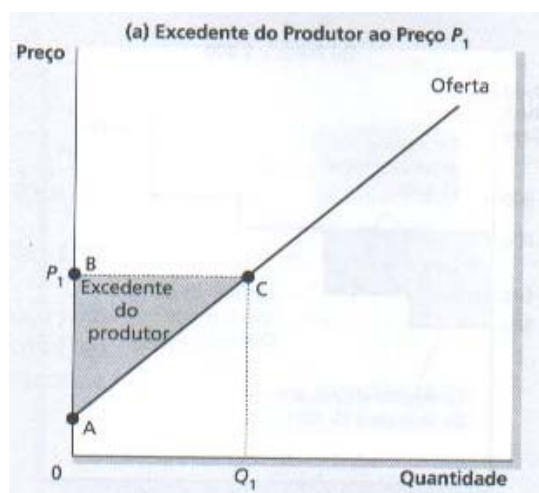


Figura 3.2 – Curva de oferta e excedente do produtor [Mankiw (2007) p.146].

O bem-estar

A hipótese de mercado eficiente parte da premissa de que os recursos terão uma alocação ótima e que o mercado atingirá o equilíbrio que maximizará o bem-estar da sociedade como um todo. A Figura 3.3 apresenta esse ponto de equilíbrio pelo cruzamento da curva de demanda com a curva de oferta.

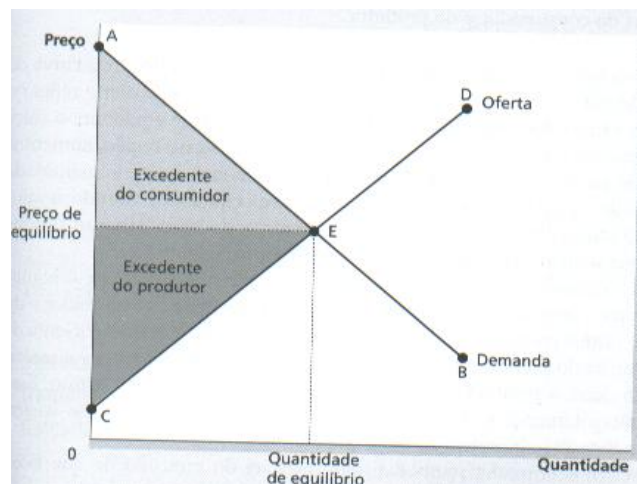


Figura 3.3 – Mercado em equilíbrio entre oferta e demanda [Mankiw (2007) p.149].

As externalidades

O modelo básico de concorrência perfeita, de acordo com Stiglitz & Walsh (2003), supõe que os custos de produzir um bem e os benefícios de vendê-lo vão todos para o vendedor, e os benefícios de receber o bem e os custos de comprá-los correspondem todos ao comprador. Em muitos dos casos, em que há custos e benefícios extras, denominados externalidades, não capturados pela transação de mercado, esse modelo básico de concorrência perfeita não representa o bem-estar da sociedade.

As externalidades surgem, de acordo com Mankiw (2007), quando a ação de um agente econômico provoca impacto no bem-estar de outro agente econômico que não participa dessa ação sem pagar nem receber nenhuma compensação por esse impacto. Ou seja, não há nenhum mecanismo de mercado que faça com que este último seja compensado por isso [Costa (2005)]. Quando há externalidades, a alocação de bens pelo mercado é ineficiente. Como os consumidores e produtores desconsideram os efeitos externos de suas ações ao estabelecer o ponto de equilíbrio de mercado, este será ineficiente por não maximizar o benefício total para a sociedade. Em outras palavras, há externalidades quando o mecanismo de formação de preço, dado pelos custos da oferta e da demanda, não contempla certos aspectos do mercado. As externalidades podem ser positivas ou negativas.

As externalidades positivas

A externalidade positiva ocorre quando a ação de um agente econômico provoca impacto positivo ao bem-estar de um terceiro. Este aproveita dos benefícios adicionais pelos quais não produziu. Um exemplo é a pesquisa de novas tecnologias que possui como externalidade positiva o conhecimento que outras pessoas podem usufruir.

A avaliação da externalidade positiva pode ser feita observando a Figura 3.4. Quando há externalidades positivas o valor do bem para a sociedade é maior que o valor do bem para o consumidor.

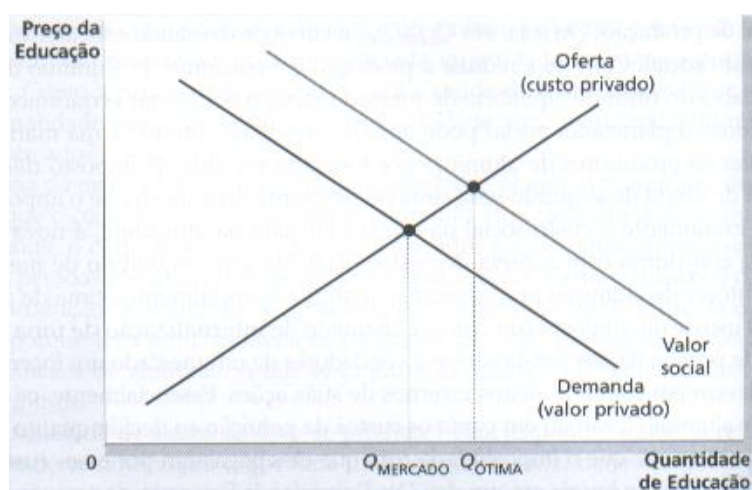


Figura 3.4 – Equilíbrio ótimo com externalidades positivas [Mankiw (2007) p.208].

As externalidades negativas

A externalidade negativa ocorre quando a ação de um agente econômico provoca impacto negativo ao bem-estar de um terceiro. Este sofrerá os efeitos adversos pelos quais não gerou. Um exemplo são os impactos ambientais negativos associados à geração de energia elétrica.

A avaliação da externalidade negativa pode ser feita observando a Figura 3.5. Quando há externalidades negativas o custo do bem para a sociedade é maior que o custo do bem para o produtor.

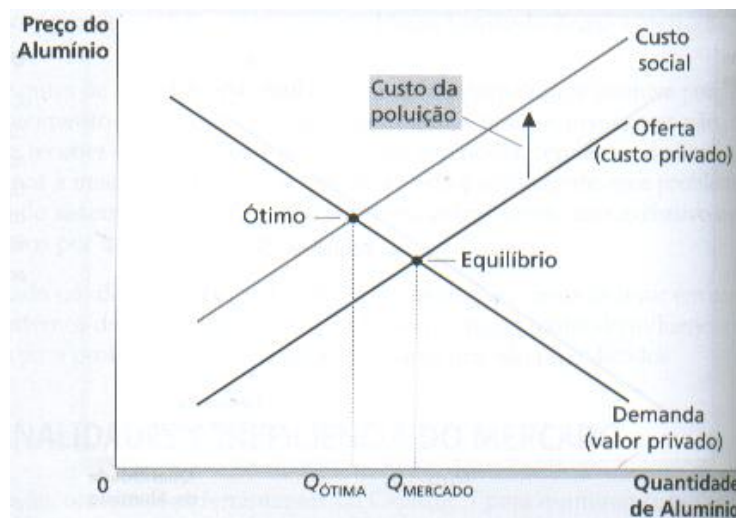


Figura 3.5 – Equilíbrio ótimo com externalidades negativas [Mankiw (2007) p.206].

Nos casos em que os custos e benefícios extras não são capturados pela transação de mercado, ocorre a chamada falha de mercado. Segundo a definição de Mankiw (2007), a falha de mercado se refere “a uma situação em que o mercado, por si só, não consegue produzir uma alocação eficiente de recursos” [Mankiw (2007) p.11].

3.1.3. O problema das falhas de mercado no setor elétrico e no desenvolvimento de fontes alternativas

Como discutido na seção acima, o modelo de concorrência perfeita, que supõe que o resultado em um mercado importe somente para os compradores e vendedores, às vezes não está correto e os resultados afetam, também, pessoas que não participam desse mercado.

Esses efeitos extras, denominados externalidades, fazem com que o bem-estar em um mercado dependa de outras questões além do valor para os compradores e do custo para os vendedores. Segundo Mankiw (2007), essa incapacidade que alguns mercados não regulamentados têm de alocar recursos com eficiência são exemplos de falhas de mercado.

No setor elétrico, a falha de mercado pode ser identificada no processo de formação de preços no mercado de energia elétrica. Como dito, há um elevado nível de emissões de poluentes causados pela atividade de geração de energia elétrica que ocasionam significativos impactos às mudanças climáticas e à saúde humana. Esses impactos ambientais não são alocados pelas transações do mercado, que ocasionam o surgimento de externalidades negativas para a sociedade. Ou seja, o sistema de formação de preços no setor elétrico não modela os impactos ambientais (externalidades negativas) e nem possíveis benefícios ambientais (externalidades positivas) relativos ao processo de geração de energia elétrica. Há, assim, uma alocação inadequada dos recursos no setor.

Tem-se, dessa forma, que o custo da produção de energia elétrica para a sociedade como um todo é maior do que o custo para os geradores de energia elétrica. Além dos problemas da falha de mercado, tem-se que, no modelo econômico competitivo do setor elétrico, as fontes alternativas e limpas, cujos preços não representam seus benefícios ambientais, permanecem menos competitivas para atuarem no mercado de energia elétrica. Por outro lado, as fontes convencionais, cujos impactos negativos ao meio ambiente não são manifestados nos preços da energia, permanecem mais competitivas e atuantes no mercado de energia elétrica. Como consequência direta desses problemas, tem-se a expansão e diversificação não sustentável da matriz elétrica nacional, baseada em fontes intensivas em emissões de material particulado e gases de efeito estufa, como apresentada no Capítulo 2.

Dessa forma, para viabilizar a participação das fontes alternativas e limpas e promover a expansão de uma matriz elétrica sustentável é necessário a participação do governo por meio da elaboração de políticas ambientais que reajam contra essa falha de mercado.

3.2. Os esforços da academia para solucionar o problema das externalidades ambientais

Muitos estudos têm sido desenvolvidos no intuito de incorporar as externalidades ambientais nas relações de mercado e promover soluções para esses problemas provenientes das transações ineficientes. Um conceito básico associado a todos os modelos de internalização das externalidades, introduzido em 1973 pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (*Organisation for Economic Co-operation and Development - OECD*), é o Princípio do Poluidor Pagador -PPP (*Polluter Pays Principle*) [Rahman (2004)]. De acordo com o Community Guidelines (2008), o PPP determina que as externalidades ambientais negativas podem ser resolvidas garantindo que o poluidor pague pela poluição que ele causou, o que implica a total internalização dos custos ambientais pelo poluidor. A total internalização do PPP proporcionaria a correção das falhas de mercado.

Segundo o Community Guidelines (2008), o PPP pode ser implementado por meio de políticas ambientais com instrumentos de comando e controle ou com instrumentos econômicos. Esses instrumentos são apresentados na seção seguinte, 3.3. Pelos estudos apresentados por Rahman & Edwards (2004), ao se internalizar os custos ambientais as curvas de oferta são deslocadas alterando o ponto de equilíbrio do mercado. No caso do mercado de energia elétrica há dois agentes econômicos: o produtor de energia elétrica, que produz um bem baseado no princípio de custo-eficiência de seus negócios, e o consumidor de energia elétrica, que utiliza a energia elétrica para garantir suas necessidades básicas e qualidade de vida. Para Rahman & Edwards (2004) nesse caso as duas partes são responsáveis pela poluição e devem compartilhar os custos da internalização das externalidades negativas.

Um trabalho interessante é o de Holmgren & Amiri (2007), que buscou relacionar os valores econômicos dos custos das externalidades determinados pela aplicação das metodologias do ExternE⁷ e os custos de diferentes instrumentos

⁷ A metodologia ExternE é explicada com maiores detalhes no Capítulo 5.

econômicos de políticas ambientais. Os instrumentos econômicos analisados por Holmgren & Amiri (2007), foram as taxas, o mercado de comercialização de emissões e os certificados verdes. Pelas suas conclusões, os instrumentos econômicos das políticas têm por objetivo incorporar os custos das externalidades, alterando as relações de compra e venda, porém realiza essa incorporação de maneira indireta. Devido às limitações das metodologias de valoração, mesmo tendo encontrado valores da mesma ordem de grandeza entre os custos das políticas e os custos das externalidades, não é possível utilizar diretamente os custos das externalidades na determinação dos níveis dos instrumentos econômicos das políticas ambientais. Assim, os resultados da aplicação das metodologias de valoração são importantes para orientar os desenvolvedores de políticas ambientais.

Segundo Owen (2004) determinar preços apropriados que refletem os custos dos impactos ambientais provenientes da geração de energia elétrica por fontes poluidoras é uma estratégia política essencial para incentivar o desenvolvimento das tecnologias de energias limpas. Esse processo pode ser implementado por meio de diferentes instrumentos políticos.

Recentemente, várias políticas foram elaboradas propondo diferentes instrumentos para promover tanto a redução das emissões de gases poluentes (causadores do efeito estufa e da poluição do ar) quanto o desenvolvimento e difusão das fontes limpas de energia elétrica. Algumas políticas buscam desestimular certas fontes poluidoras, taxando diretamente a energia proveniente dessas fontes ou tornando caras as emissões de poluentes por meio, por exemplo, de sistemas de licenças comercializáveis de poluição⁸. Alternativamente, outras políticas buscam viabilizar economicamente a difusão das tecnologias limpas e ambientalmente benéficas por meio, por exemplo, de sistemas de subsídios ou sistemas como o *Renewable Portfolio Standard*, apresentado no Capítulo 2, que garante que determinada porcentagem da energia comercializada venha de fontes renováveis. Outras políticas buscam, ainda, promover subsídios aos programas de pesquisas e desenvolvimento (P&D) em

⁸ “Consiste em determinar um nível máximo de poluição/degradação desejado para uma determinada região e, a partir daí, distribuir licenças entre os interessados em “poluir”. Assim, cada unidade de licença representaria uma certa quantidade de poluição que o agente pode emitir e o seu total seria o máximo admissível para a região em questão.” [Nogueira & Pereira (1999)].

tecnologias renováveis e tecnologias mais eficientes e menos poluidoras [Dannenberg et al. (2008); Kammen & Pacca (2004); Palmer & Burtraw (2005); Fischer & Newell (2008); Marchenko (2007); Holmgren & Amiri (2007); Winkler (2005); Itaya (2008) e Lesser & Su (2008)].

3.3. As formas de participação do governo por meio das políticas ambientais

Antes de iniciar a discussão a seguir, é importante destacar que, para alguns economistas, as falhas de mercado podem, em certas situações, ser solucionadas por ações privadas, sem ser necessária a intervenção do governo. Nesses casos, o mercado privado é capaz de resolver a questão das externalidades a partir do interesse próprio das partes interessadas.

Essa teoria é defendida no teorema de Coase⁹ que sugere que “*os agentes econômicos privados podem solucionar o problema das externalidades entre si. Qualquer que seja a distribuição inicial dos direitos, as partes interessadas sempre podem chegar a um acordo no qual todos fiquem numa situação melhor e o resultado seja eficiente.*” [Mankiw (2007) p.211].

Para funcionar adequadamente é preciso que “*os direitos de emissão de externalidades sejam adequadamente definidos e que não haja custos de transação*”¹⁰ entre as partes, a livre negociação entre as mesmas deve levar ao nível ótimo de emissão destas externalidades” [Costa (2005) p.312].

Porém, apesar da boa lógica do teorema, na maioria das vezes os agentes econômicos privados não atingem, sozinhos, as soluções das externalidades. Como apresentado por Costa (2005), o teorema se aplica quando as partes interessadas não têm

⁹ Denominado como Teorema de Coase em homenagem ao economista Ronald Coase que o desenvolveu.

¹⁰ Custos dispendidos pelas partes interessadas durante a negociação e implementação do acordo.

dificuldades em negociar e chegar a um comum acordo, o que na prática, em que há diversas partes interessadas e diferentes custos de transação, não é uma realidade. Logo, a ação do governo torna-se imprescindível para solucionar as falhas de mercado.

3.3.1. O surgimento de políticas ambientais

O governo possui um papel importante na economia ao fornecer a estrutura legal que permite ao setor privado funcionar à medida que busca a estabilidade macroeconômica da economia e obriga a aplicação dos regulamentos destinados a promover a competição, a preservar o meio ambiente e a proteger consumidores e trabalhadores.

A intervenção do governo na economia ocorre, de acordo Stiglitz & Walsh (2003), por três razões básicas:

- I. Melhorar a eficiência econômica corrigindo falhas de mercado;
- II. Perseguir valores de justiça ou equidade, alterando resultados de mercado;
- III. Perseguir outros valores sociais tornando obrigatório o consumo de certos bens e proibindo o consumo de outros.

A seguir é apresentada uma breve discussão sobre as três razões para intervenção do governo.

I. Melhorar a eficiência econômica corrigindo falhas de mercado

Na seção 3.1.3 foi discutida uma fonte de falha de mercado que é a externalidade proveniente da incapacidade que alguns mercados não regulamentados têm de alocar recursos com eficiência. Como apresentado, há falha de mercado quando os custos e benefícios extras não são capturados pela transação de mercado. Além da externalidade, existem outras fontes de falhas de mercado apresentadas por Stiglitz & Walsh (2003), são elas:

- Concorrência imperfeita;

- Informação imperfeita; e
- Bens públicos e mercados ausentes.

Para cada categoria de fonte de falha de mercado é preciso desenvolver programas governamentais destinados a corrigi-la.

II. Perseguir valores de justiça ou equidade, alterando resultados de mercado

A desigualdade é uma preocupação do governo por estare quase sempre associada a uma série de problemas sociais e políticos o que, em muitas vezes, resultam num clima adverso para os investimentos. De acordo com Stiglitz & Walsh (2003), mesmo que os mercados fossem eficientes, o seu resultado seria que alguns indivíduos receberiam uma renda insuficiente para sobreviver com o padrão de vida considerado aceitável. Logo, o governo precisa agir e oferecer um padrão de vida aceitável a todo cidadão por meio de programas que, por exemplo, ofereçam alimentação, saúde e educação aos grupos mais necessitados da sociedade.

III. Perseguir outros valores sociais tornando obrigatório o consumo de certos bens e proibindo o consumo de outros

Neste caso de intervenção o governo busca impor valores sociais aos indivíduos, os obrigando ou os encorajando a fazer mais certas coisas e a fazer menos outras coisas. Ou seja, faz-se um julgamento do mérito dos bens, que pode ser positivo ou negativo. Por exemplo, o governo desencoraja o consumo de cigarros por meio dos impostos e encoraja o consumo de produtos nacionais por meio dos subsídios.

De acordo com as razões de intervenção do governo apresentadas acima, pode-se concluir que as políticas ambientais são elaboradas na tentativa de modificar o comportamento dos indivíduos que compõem a sociedade por meio da correção de falhas de mercado e implantação de novos valores que alterem os resultados de mercado e os padrões de consumo.

Resumidamente, as razões para o surgimento das políticas ambientais podem ser classificadas em duas causas básicas: (i) há uma falha na modelagem dos preços dos produtos e, como consequência direta, tem-se a alocação inadequada de recursos

naturais; (ii) há um movimento de conscientização ambiental crescente em todo o mundo abrangendo desde a classe civil até as pautas políticas internacionais.

Ao elaborar uma política pública, incluindo as políticas ambientais, o governo precisa, inicialmente, definir qual o instrumento de orientação da política que deve ser adotado para reagir contra os problemas de maneira mais eficaz. No caso do setor elétrico os instrumentos adotados devem refletir a condução da política energética de determinado país. Esses instrumentos podem ser classificados como:

1. Instrumentos de comando e controle; e
2. Instrumentos econômicos,

Na seção a seguir são detalhados esse dois instrumentos de orientação.

3.3.2. As orientações das ações do governo ao desenvolver uma política ambiental

3.3.2.1. Políticas ambientais orientadas por instrumentos de comando e controle

As políticas ambientais orientadas por instrumentos de comando e controle regulam diretamente o comportamento da sociedade, por meio de fiscalização e sanção para o não cumprimento das normas e padrões estabelecidos. Nesse tipo de política o governo tenta solucionar certo problema tornando obrigatório ou proibindo determinados tipos de comportamentos. De acordo com Nogueira & Pereira (1999), a maioria das políticas ambientais no Brasil são baseadas em instrumentos de comando e controle, como, por exemplo, o Licenciamento Ambiental que consiste na obrigação legal prévia à instalação de qualquer empreendimento ou atividade potencialmente poluidora ou degradadora do meio ambiente.

Um exemplo típico de política ambiental orientada por instrumento de comando e controle é a imposição de níveis máximos de poluição ou de utilização de determinado

recurso ambiental¹¹ estabelecendo multas para aqueles que descumprirem a lei [Seroa da Motta (2002)]. Em outras situações, em que o nível dos impactos ambientais é elevado e os custos para a sociedade superam em muito os benefícios do produtor, o governo decreta crime e proíbe a determinada atividade.

Ainda, para outras ocasiões, quando se deseja atingir reduzidos níveis de emissão de um determinado poluente, o governo pode exigir que empresas adotem uma tecnologia específica em detrimento a outra mais poluidora, combatendo, assim, uma externalidade negativa para a sociedade.

As políticas ambientais orientadas por instrumentos de comando e controle foram as primeiras soluções adotadas pelos governos e logo passaram a ter problemas [Stiglitz & Walsh (2003)]. Nesse modelo não são levadas em conta as diversidades circunstanciais dos agentes econômicos, os quais possuem custos completamente diferentes, mas que acabam recebendo o mesmo tratamento.

Além disso, políticas ambientais com instrumentos de comando e controle possuem um lento processo de execução, além de exigir um alto grau de conhecimento técnico para a fiscalização do sistema, podendo tornar o processo extremamente custoso para os órgãos responsáveis [Seroa da Motta (2002)]. Ademais, essas políticas não se mostraram eficazes para incentivar o desenvolvimento de tecnologias mais eficientes, mesmo quando estas funcionavam melhor que as tecnologias regulamentadas [Stiglitz & Walsh (2003)]. Esses problemas resultaram em custos totais para a sociedade mais elevados do que os custos incorridos pelas políticas ambientais que utilizam instrumentos mais flexíveis e baseados nas soluções de mercado.

Ao elaborar uma política ambiental, é essencial realizar uma análise mais detalhada dos custos e benefícios dos instrumentos de comando e controle, para que o governo somente interfira quando os benefícios provenientes da adoção da política excedem os custos associados [Stiglitz & Walsh (2003)].

¹¹ Recursos ou ativos ambientais: são os bens não produziáveis pelo homem. Eles são classificados como: (i) renováveis, cuja utilização é feita respeitando os ciclos naturais do recurso, ou seja, a reposição do recurso pela natureza é tão rápida quanto a utilização; (ii) não-renováveis, cuja utilização não pode acompanhar o ciclo natural do recurso, ou seja, a reposição é mais lenta que o uso [Reis (2001)].

3.3.2.2. Políticas ambientais orientadas por instrumentos econômicos

As políticas ambientais orientadas por instrumentos econômicos apresentam soluções baseadas no mercado com o intuito de alinhar incentivos privados com eficiência social. Essas políticas se mostram mais flexíveis, pois incentivam uma maior redução do nível dos impactos ambientais por aqueles que enfrentam menores custos para realizar as ações mitigadoras [Stiglitz & Walsh (2003)]. Segundo Nogueira & Pereira (1999), os instrumentos econômicos buscam alcançar metas ambientais por meio de incentivos e desincentivos via sistema de preços.

A consequência direta desta característica é o menor custo total para a sociedade no combate aos impactos ambientais, quando se adotam políticas ambientais orientadas por instrumentos econômicos. Além disso, essas políticas incentivam a inovação tecnológica e promovem soluções mais eficientes e limpas, reduzindo os impactos ambientais e as externalidades negativas que seriam pagas pela sociedade [Seroa da Motta (2002)].

As políticas ambientais orientadas por instrumentos econômicos, segundo Seroa da Motta (2002), podem assumir diferentes formas, variando desde políticas cujos instrumentos são menos flexíveis e mais orientados para comando e controle, até políticas mais flexíveis e mais orientados para o mercado, sendo estas baseadas nos preços ou na criação de novos mercados. Além disso, as políticas ambientais orientadas por instrumentos econômicos são uma ferramenta útil quando se deseja alterar o comportamento da sociedade por meio de novos valores e padrões de consumo.

3.4. Instrumentos econômicos de políticas ambientais para a promoção das fontes limpas no setor elétrico

Analisando as experiências mundiais observa-se que o estabelecimento dos instrumentos econômicos de políticas ambientais para a promoção das fontes limpas no setor elétrico está, na maioria dos casos, vinculado a um plano estratégico sustentável

mais abrangente, seja nos níveis municipal, estadual, nacional ou internacional. As estratégias sustentáveis definem as diretrizes a serem tomadas e as metas a serem atingidas enquanto os instrumentos das políticas fornecem os mecanismos práticos, sejam regulamentais e/ou econômicos. Assim, é importante salientar que a adequada determinação dos instrumentos a serem utilizados, sejam instrumentos regulamentais e/ou econômicos, é crucial para o sucesso do plano estratégico de sustentabilidade defendido por uma política ambiental.

No caso das políticas de promoção das fontes limpas no setor elétrico, esses instrumentos devem ser capazes de incentivar, de forma eficaz, a promoção das fontes limpas, assim como o desenvolvimento das tecnologias mais eficientes e menos poluidoras.

Como discutido na seção anterior, as políticas ambientais orientadas por instrumentos econômicos incentivam uma maior redução do nível dos impactos ambientais por aqueles que enfrentam custos menores para realizar estas reduções. Além disso, elas promovem de forma mais eficaz a inovação tecnológica de soluções mais eficientes e limpas e, conseqüentemente, a redução dos impactos ambientais associados [Seroa da Motta (2002)]. Ao implementar políticas ambientais por meio de instrumentos econômicos, a sociedade irá combater as externalidades ambientais de maneira mais custo-eficiente possível [Owen (2004) e Stiglitz & Walsh (2003)]. Por estas razões, são discutidas nessa dissertação apenas as políticas ambientais orientadas por instrumentos econômicos.

A seguir são apresentados alguns instrumentos econômicos de políticas ambientais mais alinhados com as tendências nacionais, cuja estratégia de sustentabilidade é promover a participação das fontes alternativas e limpas de energia elétrica e reduzir as emissões de gases poluentes (causadores do efeito estufa e da poluição do ar).

O Sistema de Leilão

Este é um sistema que envolve a administração do governo para promover leilões em que os empreendedores de fontes de energia alternativa concorrem para ganhar os contratos ou para receber um subsídio de um fundo administrado pelo

governo, sendo vencedor aquele que apresentar a oferta mais competitiva. Podem ser realizados, também, leilões de venda de energia para um tipo específico de tecnologia alternativa e limpa em que os agentes consumidores comprarão a energia daqueles que ofertarem os preços mais competitivos. Nesse tipo de sistema há um forte envolvimento do governo federal no desenvolvimento das fontes alternativas e limpas uma vez que, além de poder determinar a quantidade de energia a ser licitada no leilão, define quais as tecnologias a serem contempladas e qual o preço máximo para cada tipo de tecnologia a partir do qual serão feitas as ofertas [Duta (2007)].

Um exemplo de aplicação do Sistema de Leilão foi a política adotada no Reino Unido, entre 1990 e 1998, em que foram realizadas chamadas públicas para uma determinada quantidade de energia renovável e as ofertas mais baratas ganhavam o contrato. Esse sistema enfrentou problemas devido ao foco excessivo na competição e à característica centralizada do sistema de planejamento no Reino Unido. Somente outros dois países europeus optaram pelo sistema, a Irlanda e a França, ambos com resultados pouco expressivos [Costa (2006)]. De acordo com Costa (2006), não se cogita mais o uso do Sistema de Leilão na harmonização dos instrumentos dentro da União Européia.

Sistema de Quotas e Certificados Verdes

O Sistema de Quotas busca promover as fontes alternativas aumentando a demanda por energia elétrica limpa por meio da obrigatoriedade de que determinada quantidade de energia elétrica comercializada em um mercado seja proveniente de fontes limpas. Ou seja, o governo estabelece a quantidade ou porcentagem de energia elétrica que deve ser produzida, vendida ou distribuída a partir de determinados tipos de tecnologias limpas [Duta (2007)]. A idéia é que estas não concorram diretamente com as fontes de geração de menor custo.

Após definidas as quotas, é estabelecido um mercado paralelo de Certificados Verdes de geração de energia limpa. Segundo Holmgren & Amiri (2007), os produtores de energia elétrica recebem Certificados Verdes quando geram energia proveniente de fontes limpas. Ou seja, os Certificados Verdes credenciam a produção de energia limpa. Dessa forma, as quotas estabelecidas serão cumpridas pela compra desses Certificados Verdes emitidos para os geradores de energia elétrica por fontes limpas.

A venda dos Certificados Verdes garante aos geradores uma renda adicional em relação à renda da comercialização da energia elétrica. Dessa forma, esse sistema viabiliza a participação desses geradores no mercado de energia elétrica uma vez que serão capazes de oferecer preços mais competitivos, já que possuem uma renda adicional. Como discutido por Marchenko (2007), nesse sistema dois mercados são operados simultaneamente: o mercado de energia elétrica e o mercado de Certificados Verdes.

Um exemplo de aplicação do Sistema de Quotas com Certificados Verdes é a política adotada, em 2002, pelo Reino Unido denominada “*Renewables Obligation*”. Nesse sistema, as empresas distribuidoras de energia são obrigadas a fornecer certa quantidade de energia elétrica a partir de fontes renováveis para seus consumidores. Também, de acordo com Costa (2006), o Sistema de Quotas com Certificados Verdes, adotado no Reino Unido, é caracterizado por uma natureza mais complexa, uma vez que os geradores de energia limpa precisam lidar, simultaneamente, com o mercado de energia elétrica e com o mercado dos Certificados Verdes. Esse fato causa, ainda, certa insegurança nos agentes geradores.

Os Sistemas *Feed-in tariffs*

No sistema *Feed-in*, o governo estabelece o preço da energia elétrica gerada a partir de fontes limpas, denominado “preço-premium”, e obriga aos consumidores a adquirirem esta energia. Dessa forma, esse sistema garante o retorno financeiro aos geradores e garante, também, o preço aos consumidores. O caráter regulatório deste sistema está relacionado à imposição do governo em obrigar a compra de energia limpa pelos consumidores. É importante ressaltar que a quantidade de energia a ser adquirida não é fixada pelo governo e será livremente negociada pelo mercado.

Segundo Lesser & Su (2008), uma característica básica do sistema *Feed-in* é a garantia de um preço mínimo para a geração de energia elétrica no longo prazo atraindo, assim, o interesse dos investidores.

A definição do valor do “preço-premium” da energia limpa pode estar baseada em diferentes parâmetros como, por exemplo, o preço final da energia para o consumidor somado com um bônus relacionado aos benefícios ambientais

proporcionados pela fonte limpa, ou o nível de motivação necessário para atrair investidores para o negócio. Um modelo interessante para ser aplicado no sistema *Feed-in* é o modelo de regressão anual no valor do “preço-premium” de forma a promover o avanço tecnológico [Duta (2007)].

A Alemanha adotou o sistema *Feed-in* em 1991 por meio da política denominada *Electricity Feed Act*. Essa política garantia ao gerador de energia renovável um preço mínimo por kWh entregue à rede, além de obrigar as empresas distribuidoras a conectá-los, reduzindo assim o percentual de energia convencional. Para fornecer segurança ao sistema, o sistema *Feed-in* adotado garantia um preço fixo para a energia elétrica gerada por fontes renováveis por um prazo de 20 anos [Costa (2006)].

Essa política foi muito importante para a promoção da energia eólica na Alemanha, uma vez que os investidores se sentiam seguros no médio e longo prazo devido à garantia do recebimento de um valor fixo pela geração de energia. Em 2000 essa política foi reformulada e um sistema de decaimento no valor do “preço-premium” para as diferentes tecnologias foi introduzido. O objetivo desta mudança foi o de promover a redução dos custos de geração e aumentar a eficiência das tecnologias. Além disso, foi estabelecido um sistema de distribuição dos custos dessa política entre todas as empresas distribuidoras e, conseqüentemente, entre todos os consumidores finais.

Os resultados do *Feed-in* são positivos e as fontes renováveis se desenvolveram rapidamente na Alemanha após a sua implementação. Um dos principais fatores que contribuíram para o sucesso desse sistema foi a determinação de um valor de “preço-premium” suficientemente alto para garantir retorno financeiro e a segurança do investimento no longo prazo [Costa (2006)].

Subsídios Financeiros

No sistema de Subsídios são oferecidos subsídios financeiros às tecnologias alternativas que, freqüentemente, necessitam de alto investimento inicial. Este incentivo atrai empreendedores que poderão competir com seu produto de forma mais igualitária no mercado de energia. A grande vantagem do subsídio financeiro está na redução do montante de capital inicial próprio necessário para iniciar o projeto. Este instrumento é

uma forma de ajustar as falhas de mercado por incorporar as externalidades positivas ao reduzir o preço do produto refletindo seus benefícios ambientais para a sociedade [Duta (2007)].

Incentivos Fiscais

Os incentivos fiscais podem ser aplicados de diferentes formas como a isenção de taxas aplicadas ao consumo da energia para fontes alternativas e limpas, redução ou abatimento em impostos aplicados à geração de energia elétrica, utilização de fundos específicos para a geração de energia limpa. Nesse sistema os incentivos se estendem ao longo da vida útil do projeto [Duta (2007)].

Taxas

Neste sistema são cobradas taxas sobre as atividades que geram impactos ambientais. A idéia principal é corrigir a falha de mercado provocada pelas externalidades negativas aumentando o preço na energia elétrica proveniente de fontes poluidoras e alterando o seu consumo. Diferente da lógica apresentada anteriormente, de promoção de fontes alternativas e limpas, as taxas buscam reduzir o consumo de fontes poluidoras alterando o preço e conseqüente demanda. Um exemplo clássico de sistemas de taxas é o *Carbon tax*, que cobra uma taxa sobre as emissões de gás carbônico devido à geração de energia elétrica por fontes poluidoras. Este foi um dos primeiros sistemas empregados na União Européia na tentativa de reduzir suas emissões de CO₂. Este tipo de sistema pode se tornar popular ao vincular as receitas das taxas à redução de outras taxas pagas pela população ou à criação de fundos voltados para projetos ambientais e sociais. Um dos pontos negativos das taxas é que elas causam distorções na livre competitividade do mercado necessitando uma avaliação mais cuidadosa em sua implementação [Dannenberg et al. (2008)].

3.5. Considerações finais

Após avaliação desse Capítulo, pode-se concluir que uma grande parte dos problemas ambientais que a sociedade enfrenta atualmente é consequência direta da falha de mercado, uma vez que não são levadas em consideração nas transações de mercado as externalidades ambientais, tanto negativas quanto positivas.

Como foi apresentado, para combater essa ineficiência do mercado é imprescindível a participação do governo por meio da elaboração de políticas ambientais, em especial as orientadas por instrumentos econômicos, que busquem mitigar os impactos e incentivar ações ambientalmente corretas.

Analisando esses fatores dentro do contexto do setor elétrico, conclui-se que a estrutura competitiva adotada para o mercado de energia elétrica no mundo não fornece um ambiente adequado para o desenvolvimento das fontes alternativas de energia elétrica.

Dessa forma, para proporcionar a expansão das fontes limpas, e, conseqüentemente, desenvolver um futuro energético sustentável, é preciso que o governo brasileiro esteja realmente interessado em promovê-las e se comprometa em elaborar políticas ambientais que criem um ambiente favorável para a sua participação. Nesse sentido, são analisadas no Capítulo 4 as ações do governo brasileiro em relação à promoção das fontes alternativas e limpas e o seu comprometimento em incentivá-las no processo de expansão e diversificação da matriz elétrica nacional. Além disso, são discutidas as principais tendências de atuação do governo brasileiro no sentido de mapear o cenário futuro da aplicação de instrumentos econômicos nas políticas ambientais nacionais.

Capítulo 4

O marco regulatório de promoção de fontes alternativas no Brasil e as principais tendências de atuação do governo brasileiro

O grande marco regulatório de promoção de fontes alternativas no Brasil foi o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – PROINFA. Ainda, recentemente, algumas iniciativas vêm sendo tomadas para viabilizar a comercialização da energia proveniente dessas fontes e fornecer condições favoráveis para a expansão das mesmas.

4.1. O Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – PROINFA

O principal marco regulatório relativo à promoção de fontes alternativas foi o PROINFA por meio da aprovação da Lei 10.438 em 2002. O PROINFA é coordenado pelo Ministério de Minas e Energia - MME e tem como seu braço de implementação as Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (Eletrobrás). O Programa foi regulamentado em 30 de março de 2004 inaugurando *“uma nova estratégia para a inserção sustentável das energias alternativas renováveis na matriz energética brasileira, reforçando a política brasileira de diversificação da matriz e de estímulo ao desenvolvimento de fontes renováveis”* [PNMC (2008)].

A implementação do PROINFA foi, inicialmente, prevista para ocorrer em duas fases [Lei (2002)]:

- PROINFA 1 – o objetivo da primeira fase é adicionar 3.300MW até o final de 2008, divididos igualmente entre energia eólica, biomassa e PCH e utilizando um sistema de “preço-premium” semelhante ao sistema *Feed-in*.
- PROINFA 2 – após atingida a meta de adicionar os 3.300MW o objetivo da segunda fase é atingir 10% de energia eólica, biomassa e PCH no consumo anual de energia elétrica em 20 anos. Além disso, o PROINFA 2 contempla a possibilidade da emissão de Certificados de Energia Renovável para atestar a origem da energia elétrica.

Durante o PROINFA 1 foram realizadas chamadas públicas para escolha dos projetos, considerando-se, primeiramente, os empreendimentos com licença de instalação e, posteriormente, aquelas com licença prévia. Os contratos de compra e venda de energia foram celebrados pela ELETROBRÁS assegurando a compra da energia a ser produzida no prazo de vinte anos, a partir da data de entrada em operação definida no contrato. Os custos administrativos, financeiros e encargos tributários incorridos pela ELETROBRÁS na contratação, serão rateados, após prévia exclusão da Subclasse Residencial Baixa Renda, entre todas as classes de consumidores finais atendidas pelo Sistema Elétrico Interligado Nacional, proporcionalmente ao consumo verificado [Lei (2002) e Duta (2007)].

Inicialmente, a segunda fase do PROINFA previa a programação anual de compra da energia elétrica proveniente de fontes eólica, biomassa e PCHs, de forma que as referidas fontes atendam o mínimo de 15% do incremento anual da energia elétrica a ser fornecida ao mercado consumidor nacional. Além disso, a segunda fase previa, também, que os produtores de energia emitiriam Certificados de Energia Renovável para atestar a origem da energia alternativa, constando informações jurídicas, tipo de fonte primária utilizada e a quantidade de energia elétrica efetivamente comercializada. Os certificados seriam apresentados à Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL para fiscalização e controle das metas anualmente definidas [Lei (2002)]. O Certificado

de Energia Renovável orientaria o setor para um possível desenvolvimento de um Sistema de Quotas com Certificados Verdes comercializáveis [Duta (2007)].

Como ressaltado por Duta (2007), o PROINFA apresentou características de dois instrumentos econômicos: o *Feed-in* ao estipular a tarifa de compra de energia para os empreendimentos por meio de contratos de vinte anos e o Sistema de Quotas ao determinar a quantidade de energia elétrica a ser contratada. Além disso, o PROINFA apresentou características de sistemas de financiamento para investimentos ao disponibilizar linhas especiais do Banco Nacional de Desenvolvimento - BNDES para os empreendimentos selecionados pelo programa.

Segundo o PNMC (2008), até fevereiro de 2005 o PROINFA contratou 144 empreendimentos geradores em 19 estados da federação, resultando em um total de 3.299,40MW de potência instalada provenientes de Usinas Eólicas, PCHs e Centrais a Biomassa, gerando 150.000 empregos em todo o país. Esses empreendimentos, de acordo com PNMC (2008), devem ser implementados até o ano de 2009, um ano de atraso em relação ao estabelecido na Lei 10.438. O total de energia gerada pelos empreendimentos resulta em aproximadamente 12.000GWh/ano. A Tabela 4.1 apresenta a distribuição da potência contratada, 3.299,40MW, discriminando por fonte de geração de energia elétrica.

Tabela 4.1 – Empreendimentos contratados pelo PROINFA.

Fonte de Energia Alternativa	Potência Contratada (MW)
Usinas eólicas	1.422,92
PCHs	1.191,24
Centrais a biomassa	685,24
Total	3.299,40

A Tabela 4.2 apresenta a situação atual dos empreendimentos contratados pelo PROINFA. Nota-se que 90% da potência instalada já está viabilizada [PNMC (2008)].

Tabela 4.2 – Situação atual dos empreendimentos contratados pelo PROINFA.

Fase do empreendimento	Potência Contratada (MW)
Operação	1.440,48
Construção	1.066,28
Com EPC	461,14
Total	2967,6

A expectativa do governo era a de que o PROINFA 1 fosse suficiente para alavancar as fontes alternativas e reduzir seus custos, para que, no PROINFA 2, estas pudessem ser mais competitivas e atuar no mercado de energia elétrica. Porém, devido a um conjunto de mudanças nas prioridades do governo (como o Programa Luz para Todos e a modicidade tarifária) e algumas falhas nas estratégias do PROINFA (como fixar preço e demanda), há dúvidas com relação a sua segunda fase e indecisão de como ela ocorrerá [Duta (2007)].

De acordo com as análises desenvolvidas por Costa (2006), as principais barreiras do PROINFA foram:

- O baixo valor do “preço-premium” estabelecido, em especial para a biomassa e eólica, não foi suficiente para atrair o capital privado e viabilizar o investimento;
- Dificuldades para atender as exigências estabelecidas pelo BNDES para obtenção de financiamento;
- A indefinição da segunda fase do PROINFA contribui para as dificuldades enfrentadas pelo PROINFA 1;
- A falta de uma política forte e clara para o desenvolvimento a longo prazo, inibindo a participação de maiores investimentos, em especial no setor de energia eólica.

Dessa forma, há ainda incertezas com relação à execução da segunda fase do PROINFA. Apesar de ser o grande marco regulatório, o PROINFA não determinou um

sistema claro para o adequado incentivo às fontes alternativas e limpas, e as mudanças em sua estrutura criam maiores incertezas para o futuro destas.

4.2. Regulamentações estabelecidas para incentivar a comercialização das fontes alternativas

Recentemente, por meio de resoluções normativas, decretos e notas técnicas, o governo brasileiro vem buscando incentivar a comercialização de energia elétrica por fontes alternativas. A Resolução Normativa nº 247, de 21 de dezembro de 2006, da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) estabelece as condições para comercialização de energia elétrica proveniente de empreendimentos de geração que utilizem fontes primárias incentivadas por consumidores especiais, cuja carga é maior ou igual a 500kW. As fontes primárias incentivadas são classificadas, de acordo com a RN 247 (2006), como:

- *“Aproveitamentos de potencial hidráulico de potência superior a 1.000 kW e igual ou inferior a 30.000 kW, destinados à produção independente ou autoprodução, mantidas as características de pequena central hidrelétrica”;*
- *“Empreendimentos com potência instalada igual ou inferior a 1.000 kW”;*
- *“Empreendimentos com base em fontes solar, eólica e biomassa, cuja potência instalada seja menor ou igual a 30.000 kW”.*

Os consumidores especiais são classificados como consumidores pertencentes ao Grupo “A” cuja carga seja maior ou igual a 500kW. O objetivo principal da RN 247 (2006) é promover um ambiente especial para a comercialização de energia elétrica proveniente de fontes alternativas, por meio da criação de uma categoria especial de agente consumidor, denominada consumidor especial. Este consumidor terá a opção de não mais ser um consumidor cativo, e estar sujeito a pagar a tarifa regulada, para

livremente comercializar energia elétrica com agentes geradores de fontes de energia incentivada. Importante destacar que, diferente dos consumidores livres cuja carga deve ser maior ou igual a 3MW e que podem comercializar energia com qualquer agente gerador, os consumidores especiais só podem adquirir energia proveniente de fontes incentivadas. Nesse mercado de energia incentivada, tanto os agentes geradores de fontes alternativas como os consumidores especiais podem se beneficiar de descontos, não inferiores a 50%, das Tarifas de Uso do Sistema de Transmissão e Distribuição. [RN 247 (2006) e Silva & Ramos (2008)].

Outra ação importante do governo foi o Decreto nº 6.048, de 27 de fevereiro de 2007, instituindo uma categoria especial de leilão para as fontes alternativas, denominado Leilão de Compra de Energia Proveniente de Fontes Alternativas. Na seção 4.3.1 a seguir, será discutido com maior detalhe esse sistema de leilão por se caracterizar como instrumento econômico da tendência de atuação do governo brasileiro [Decreto (2007) e Silva & Ramos (2008)].

Porém, como constatado pelas análises apresentadas no Capítulo 2, todas as ações tomadas até o momento pelo governo brasileiro não foram suficientes para deslanchar a efetiva participação das fontes alternativas e limpas na matriz elétrica nacional.

4.3. A tendência nacional para as políticas ambientais

4.3.1. O Sistema de Leilão

Analisando as ações atuais do governo brasileiro em relação aos estímulos às fontes alternativas pode-se identificar uma tendência ao desenvolvimento de um sistema de leilões e, possivelmente, o governo adotará esse modelo para condução da política de incentivo às fontes alternativas em vez de implementar a segunda fase do PROINFA como estabelecido na Lei nº 10.438.

Na tentativa de adequar a inserção das fontes alternativas ao novo modelo do setor elétrico, o governo vem promovendo leilões com categorias especiais para a participação destas fontes, já que ainda necessitam de condições especiais para tornar viável sua comercialização. Uma modalidade criada nesse intuito é o Leilão de Compra de Energia Proveniente de Fontes Alternativas, em que apenas empreendimentos baseados em fontes alternativas podem participar.

Em 2007, o primeiro e até agora o único Leilão de Compra de Energia Proveniente de Fontes Alternativas foi concluído vendendo um total de 30TWh (12TWh para PCH e 18TWh para a biomassa). Os comentários gerais sobre o resultado do leilão foram de que a energia vendida ficou abaixo das expectativas, principalmente porque o governo estipulou um preço teto muito baixo, não atraindo um número significativo de empreendimentos [IAB (2007)].

Outra modalidade de leilão, elaborada para aumentar a segurança do Sistema Interligado Nacional e que contribui diretamente para a promoção das fontes alternativas, é o Leilão de Energia de Reserva. Diferente dos leilões de energia nova, nesta modalidade os contratos não estão diretamente associados a uma estimativa de demanda futura das concessionárias de distribuição. Nesse sistema, o Ministério de Minas e Energia - MME define o montante total de Energia de Reserva a ser contratada, com base nos indicativos fornecidos pela EPE [PNMC (2008)].

O objetivo deste Leilão de Energia de Reserva é obter uma folga de capacidade no sistema elétrico e garantir maior confiabilidade no seu funcionamento, permitindo a entrega de energia aos consumidores dentro dos padrões esperados e na quantidade desejada. Para atender esse objetivo, o MME focou na biomassa da cana de açúcar, dada a sua característica de complementaridade com as UHEs, e realizou o 1º Leilão de Energia de Reserva em agosto de 2008. O período típico da safra de cana é entre os meses de maio e novembro, coincidindo com o período seco do sistema elétrico, no qual o nível dos reservatórios sofre expressiva diminuição. As usinas entram em operação exatamente num momento sensível para o sistema, no qual é preciso poupar a energia armazenada nos reservatórios e suprir o sistema por fontes que não as UHEs. Os empreendimentos que venderam energia no leilão irão operar na base, poupando energia

das UHEs e criando uma energia de reserva nos reservatórios [Castro e Leite (2008); Castro (2008) e PNMC (2008)].

Para atrair o interesse dos empreendimentos do setor sucroalcooleiro foi preciso superar algumas barreiras que até então os mantinham afastados e sem motivação de atuarem no setor de energia elétrica. A principal barreira identificada foram os valores máximos das tarifas definidas tanto no PROINFA quanto no Leilão de Energia Alternativa, que não forneceram atrativos suficientes. De acordo com Castro (2008), o setor sucroalcooleiro trabalha, usualmente, com taxas de retorno da ordem de 25% na produção de álcool e de açúcar sendo que os preços máximos para as tarifas até então estipuladas forneciam taxas médias de retorno da ordem de 12%. Esse baixo nível de taxa de retorno não viabiliza economicamente a geração de bioeletricidade, ou seja, não estimula a participação dos agentes sucroalcooleiros que têm como opção mais lucrativa expandir a produção do açúcar e do álcool [Castro e Leite (2008) e Castro (2008)].

No intuito de superar essa barreira sem comprometer o princípio da modicidade tarifária, foi preciso determinar uma tarifa para a energia do leilão de reserva que estimulasse a entrada das usinas de bagaço de cana no setor elétrico e não impactasse o preço final para o consumidor. A solução desenvolvida foi fazer com que todos os agentes que consomem energia elétrica, cativos e livres, paguem pela tarifa de reserva. Dessa forma, foi possível definir uma tarifa atrativa e diluir o valor final com todos os que consomem energia elétrica [Castro e Leite (2008); Castro (2008) e PNMC (2008)].

Avaliando o resultado do 1º Leilão de Energia de Reserva pode-se observar que, apesar de indicar uma maior participação e interesse dos agentes do setor sucroalcooleiro, apenas 548MWmed dos 2.101,6MWmed habilitados foram comercializados [Castro e Dantas (2008)]. Ou seja, mesmo com todo o esforço de promover um cenário atraente para o investidor, não foi possível atingir o montante de energia habilitada.

Ainda neste caminho de promoção de fontes alternativas por meio do sistema de leilões, o MME estuda a realização em 2009 de um leilão específico para a fonte de energia eólica. De acordo com o PNMC (2008), para gerar confiança nos investidores, a fim de que novos fabricantes e empresas de geração de energia venham a se instalar no

País, promovendo a formação de uma indústria eólica nacional, é preciso realizar periodicamente leilões específicos de energia eólica.

4.3.2. O Plano Nacional sobre Mudança do Clima

O Plano Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC foi desenvolvido com o intuito de propor ações e medidas para o enfrentamento dos desafios oriundos das mudanças climáticas visando à mitigação, bem como à adaptação a essas mudanças, contendo os seguintes objetivos específicos [PNMC (2008) p.9-13]:

- *“Fomentar aumentos de eficiência no desempenho dos setores da economia na busca constante do alcance das melhores práticas”;*
- *“Buscar manter elevada a participação de energia renovável na matriz elétrica, preservando posição de destaque que o Brasil sempre ocupou no cenário internacional”;*
- *“Fomentar o aumento sustentável da participação de biocombustíveis na matriz de transportes nacional e, ainda, atuar com vistas à estruturação de um mercado internacional de biocombustíveis sustentáveis”;*
- *“Buscar a redução sustentada das taxas de desmatamento, em sua média quadrienal, em todos os biomas brasileiros, até que se atinja o desmatamento ilegal zero”;*
- *“Eliminar a perda líquida da área de cobertura florestal no Brasil, até 2015”;*
- *“Fortalecer ações intersetoriais voltadas para redução das vulnerabilidades das populações”;*
- *“Procurar identificar os impactos ambientais decorrentes da mudança do clima e fomentar o desenvolvimento de pesquisas científicas para que se possa traçar uma estratégia que minimize os custos socioeconômicos de adaptação do País”.*

Para atingir os objetivos destacados acima o PNMC contemplará o desenvolvimento de novos mecanismos econômicos, técnicos, políticos e institucionais que [PNMC (2008) p.14]:

- *“Promovam o desenvolvimento científico e tecnológico do setor produtivo que inclua as considerações ambientais a favor da coletividade”;*
- *“Aumentem a consciência coletiva sobre os problemas ambientais da atualidade e propiciem o desenvolvimento de uma sociedade mais justa, fraterna e solidária”;*
- *“Valorizem a floresta em pé e façam com que a conservação florestal seja uma atividade atraente, que gere riqueza e bem-estar àqueles que dela vivem”;*
- *“Incentivem e estimulem medidas regionais que sejam adequadas às condições diferenciadas, onde cada região e mesmo cada estado da nação possa identificar suas melhores oportunidades de redução de emissões e remoção de carbono, e suas necessidades de adaptação à mudança do clima”.*

O PNMC será implementado de forma dinâmica e por fases, sendo que nessa primeira fase buscou-se *“organizar as ações em curso, reforçar medidas existentes e identificar e criar novas oportunidades, para permitir o intercâmbio de experiências e a integração de ações”* [PNMC (2008) p.14].

Dessa forma, uma boa maneira de avaliar a tendência de ação do governo em relação à promoção das fontes alternativas para geração de energia elétrica é por meio das soluções apresentadas na primeira fase do PNMC, já que ao buscar ações de mitigação e adaptação às mudanças climáticas há, como consequência direta, o fomento às fontes limpas e com baixas emissões de gases de efeito estufa.

A seguir serão apresentadas as tendências de ação do governo apresentadas no PNMC que, diretamente ou indiretamente, estão voltadas à promoção das fontes alternativas e limpas para geração de energia elétrica.

Investimento e financiamento público

Uma ação já existente do governo e reforçada no PNMC é utilizar o investimento e financiamento público como elemento propulsor de estímulo a investimento privados por meio de linhas, fundos e programas de financiamento público, seguindo a lógica de indução ao desenvolvimento. O BNDES e a Caixa Econômica Federal já possuem diferentes linhas, fundos e programas de crédito relacionados às atividades do PNMC. A intenção do governo é dar o primeiro passo para o desenvolvimento de determinadas atividades e criar sinergias positivas entre o estado e o capital privado.

Seguindo a mesma linha de raciocínio desenvolvida nesta dissertação, o PNMC destaca a necessidade de um esforço complementar de estruturação de mercado *“via ação normativa e reguladora do Estado, em que se procurará oferecer os sinais adequados em termos de custos e potencial de retorno de investimentos aos atores que potencialmente ofertaram e demandaram bens e serviços relacionados à adaptação, mitigação e inovação tecnológica. Os sinais adequados são indutores de comportamentos e compõem-se de elementos das políticas públicas”* [PNMC (2008) p.115]

Dessa forma, o PNMC afirma que será feito um maior detalhamento dos instrumentos econômicos na segunda fase do PNMC e que, além dos fundos e linhas de financiamento, *“deverá ser construído um conjunto de instrumentos econômicos coerente com a noção de fomento do mercado de bens e serviços ligados à adaptação e mitigação”* [PNMC (2008) p.115]. Porém, não há indicações exatas se serão e como serão implementadas as ações do governo.

O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo - MDL é o único dos três mecanismos de flexibilização do Protocolo de Kyoto que permite a participação de países em desenvolvimento. O objetivo principal do MDL é ajudar os países signatários do Protocolo de Kyoto a cumprirem suas metas de reduções por meio de projetos que promovam a redução de emissão de gases de efeito estufa em países em desenvolvimento. Ao mesmo tempo, os países signatários ajudam os países não

signatários a passarem por processo de desenvolvimento baseado nos princípios da sustentabilidade, já que todos os projetos de MDL devem garantir, não somente a redução de emissões, mas, também, a promoção da sustentabilidade social, ambiental e econômica [UNFCCC (2005)].

Resumidamente, os países signatários conseguem atingir suas metas por um custo mais barato ao adquirirem os créditos de carbono¹² dos projetos de MDL e, ao mesmo tempo, os países em desenvolvimento obtêm financiamento para permitir um processo de desenvolvimento baseado nas premissas da sustentabilidade.

Segundo o PNMC (2008), o Brasil ocupa uma posição mundial de destaque, tanto em termos de potencial de redução de emissões de gases de efeito estufa por meio do MDL, quanto de números de projetos de MDL. O primeiro projeto registrado no Conselho Executivo¹³ do MDL foi o projeto brasileiro do aterro sanitário de Nova Iguaçu, no Estado de Rio de Janeiro, que utiliza tecnologias bem precisas de engenharia sanitária.

O Brasil ocupa atualmente o terceiro lugar em número de atividades de projetos, com 346 projetos representando 8% do total. Em primeiro lugar encontra-se a China com 1571 projetos e, em segundo, encontra-se a Índia com 1199 projetos. A Figura 4.1, retirada do documento “*Status atual das atividades de projeto no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) no Brasil e no mundo*”, cuja última atualização foi em 06 de fevereiro de 2009, apresenta a distribuição do número de projetos por países participantes.

¹² Os créditos de carbono são os Certificados de Emissão Reduzida adquiridos por cada tonelada de dióxido de carbono equivalente que deixa de ser emitido devido à implementação de um projeto no âmbito do MDL [UNFCCC (2005)].

¹³ O Conselho Executivo é o responsável por supervisionar o MDL, sendo uma de suas atribuições aprovar metodologias de linha de base e monitoramento [UNFCCC (2007)].

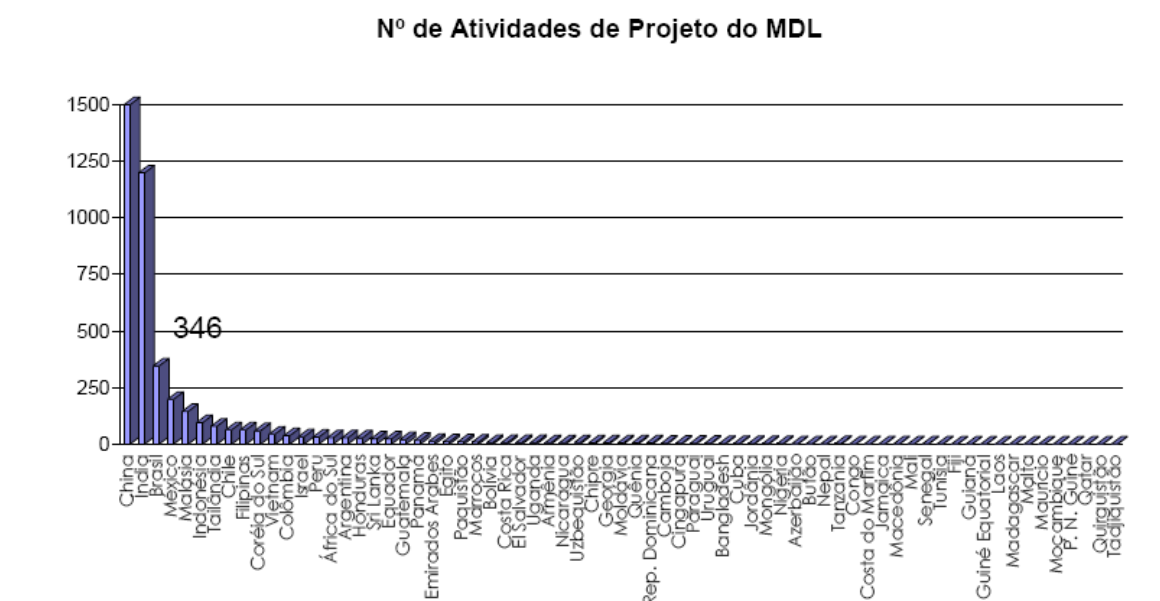


Figura 4.1 – Número de projetos de MDL [MCT (2009)].

Em termos do montante de emissões reduzidas o Brasil ocupa, também, o terceiro lugar com 330.722.468 tCO₂equivalente representando 6% do total mundial. A china ocupa novamente o primeiro lugar com 2.527.037.342 tCO₂equivalente representando 47% do total, seguido da Índia com 1.345.998.122 tCO₂equivalente. A Figura 4.2, retirada do documento “*Status atual das atividades de projeto no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) no Brasil e no mundo*”, cuja última atualização foi em 06 de fevereiro de 2009, apresenta as emissões reduzidas para o primeiro período de obtenção de crédito. O primeiro período de obtenção de crédito pode ser de 7 anos, renováveis por mais duas vezes totalizando 21 anos, ou 10 anos fixos. Os projetos de MDL são classificados em 15 diferentes escopos setoriais e a definição do período dependerá do tipo e escopo setorial do projeto.

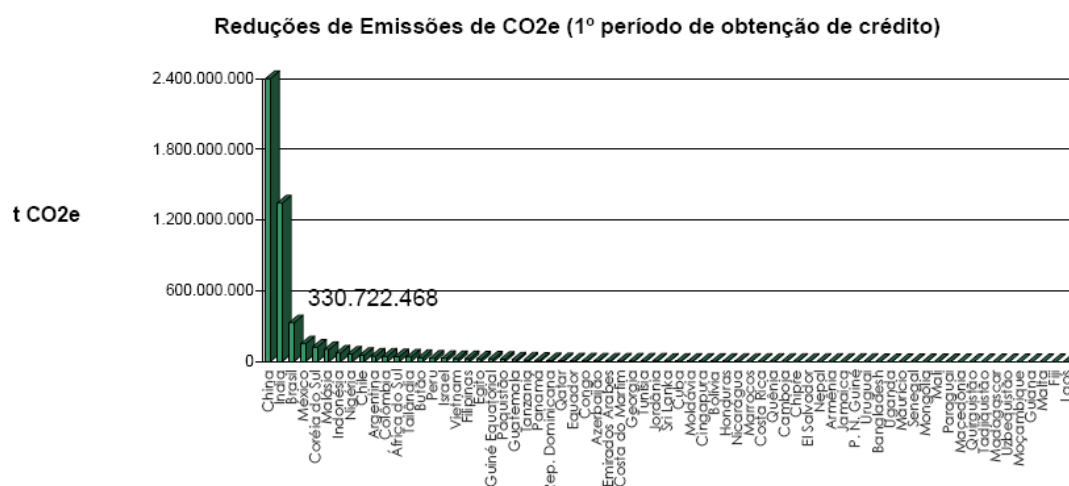


Figura 4.2 – Emissões reduzidas para o primeiro período de obtenção de crédito [MCT (2009)].

A grande porcentagem (65%) dos projetos submetidos pelo Brasil está relacionada à energia renovável e à suinocultura. De acordo com o PNMC (2008), 49% dos projetos de MDL no Brasil envolvem diretamente a geração de energia elétrica por fonte renovável. A Figura 4.3 apresenta a distribuição das atividades de projeto no Brasil por tipo de projeto. As reduções anuais apresentadas na Figura 4.3 correspondem a tCO₂equivalente.

Projetos em Validação/Aprovação	Número de projetos	Redução anual de emissão	Redução de emissão no 1º período de obtenção de crédito	Número de projetos	Redução anual de emissão	Redução de emissão no 1º período de obtenção de crédito
Energia renovável	163	16.971.045	119.565.353	48%	39%	36%
Suinocultura	58	2.854.044	26.834.620	17%	7%	8%
Aterro Sanitário	30	10.156.054	75.048.699	9%	24%	23%
Processos industriais	7	832.946	6.131.592	2%	2%	2%
Eficiência Energética	21	1.490.288	14.535.192	6%	3%	4%
Resíduos	13	1.270.537	10.255.823	4%	3%	3%
Redução de N ₂ O	5	6.373.896	44.617.272	1%	15%	14%
Troca de combustível fóssil	40	2.944.658	24.541.512	12%	7%	7%
Emissões fugitivas	1	34.685	242.795	0%	0%	0%
Reflorestamento	1	262.352	7.870.560	0%	1%	2%

Figura 4.3 – Distribuição das atividades de projeto no Brasil por tipo de projeto [PNMC (2008)].

Há ainda no Brasil um grande potencial a ser explorado de atividades de projeto de MDL relacionadas ao setor de energia. A intenção do Ministério de Minas e Energia é realizar um estudo para o levantamento concreto dos potenciais projetos de MDL no setor energético, com o objetivo de fornecer uma abordagem consolidada no nível nacional, identificando medidas necessárias para sua viabilização.

Ou seja, há uma intenção do governo em auxiliar o desenvolvimento dos potenciais projetos de MDL ainda inexplorados no Brasil por meio de um estudo cujos objetivos são [PNMC (2008) p.100-101]:

- *“Levantar o potencial de oportunidades concretas de atividades de projeto MDL relacionadas ao setor energético brasileiro, detalhando a natureza das atividades e Plano Nacional sobre Mudança do Clima fornecendo estimativas quantificadas da expansão da oferta de energia ou controle da demanda e de reduções de emissões”;*
- *“Diagnosticar as barreiras que impedem que essas atividades de projeto MDL possam ser implementadas”;*
- *“Identificar as medidas necessárias para a viabilização do potencial levantado”; e*
- *“Formular recomendações de medidas setoriais para criação das condições apropriadas para incrementar o número de atividades de projeto MDL do setor energético no Brasil”.*

Outra ação do governo com o objetivo de apoiar as atividades de projeto de MDL é o Pró-MDL – Programa de Apoio a Projetos do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. Este programa oferece financiamento, reembolsáveis e não reembolsáveis, para projetos de pré-investimento e de desenvolvimento científico e tecnológico relacionados às atividades de projeto no âmbito do MDL. Os financiamentos são de extrema importância para viabilizar os projetos de MDL.

Apesar das receitas dos créditos de carbono, há, inicialmente, elevados custos para se desenvolver o projeto e posteriormente registrá-lo no Conselho Executivo do MDL. Em alguns casos, não há metodologias aprovadas pelo Conselho Executivo que

se adéqüem à atividade de projeto, sendo preciso desenvolver uma metodologia de linha de base, cálculo de emissões e monitoramento para então elaborar o Documento de Concepção de Projeto¹⁴ (DCP). De qualquer forma, todas as etapas até a obtenção do crédito de carbono envolvem custos elevados, tornando necessária, na maioria dos casos, a aquisição de financiamento. Esses financiamentos podem ser fornecidos para viabilizar estudos e projetos como, por exemplo: estudos de inventário de emissões; elaboração do Documento de Concepção de Projeto de MDL; validação, aprovação e registro do DCP junto ao Conselho Executivo do MDL. Além disso, o financiamento pode ser utilizado para a criação de novas tecnologias menos poluidoras e desenvolvimento de metodologias de linha de base, cálculo de emissões e monitoramento de projetos de MDL.

Pelo apresentado acima, nota-se uma tendência do governo em fomentar o desenvolvimento de projetos no âmbito do MDL, acreditando ser uma oportunidade para que o Brasil contribua ativamente no combate à mudança climática. Além disso, o Brasil se beneficiará do recebimento de receitas externas, da transferência de tecnologia e da implantação de projetos que propiciem redução de emissões, geração de empregos e melhorias na qualidade ambiental e social.

Proposta de Criação de Mecanismo de Promoção Adicional da Energia Renovável e da Eficiência Energética (MPA)

O PNMC sinaliza a criação de um Mecanismo de Promoção Adicional da Energia Renovável e da Eficiência Energética frente à geração de energia por meio de usinas térmicas a combustíveis fósseis a serem instaladas no País.

O objetivo deste mecanismo é promover de forma adicional a geração de energia renovável e/ou eficiência energética como forma de amenizar a participação de combustíveis fósseis na matriz energética brasileira. Para tanto, o empreendedor de uma usina termelétrica a combustível fóssil com capacidade instalada acima de 100MW, deverá adotar ações compensatórias, de forma a aumentar a oferta de energia por meio

¹⁴ O Documento de Concepção de Projeto (*Project Design Document – PDD*) é o documento oficial do projeto, elaborado pelos participantes do projeto, contendo todas as informações necessárias para a obtenção dos créditos de carbono.

de novos empreendimentos com energia renovável e/ou ações referentes a programas de eficiência energética.

Ademais, deseja-se assegurar as ações compensatórias por meio da vinculação dessas ações às atividades de projeto no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. Acredita-se que o MDL ajudará o Brasil a estabelecer medidas adicionais sem criar ônus aos desenvolvedores do projeto já que contarão com as receitas da venda dos créditos de carbono. Porém, não são especificadas como serão implementadas as ações do governo.

Fundo Nacional sobre Mudança do Clima - FNMC

Além das ações apresentadas acima há no PNMC a proposta de criação do Fundo Nacional sobre Mudança do Clima, com o projeto de Lei nº 3.820/2008. O objetivo do fundo é prover recursos financeiros para a implementação da Política e do Plano sobre Mudanças Climáticas.

O fundo prevê que uma parcela dos recursos provenientes da exploração e da produção do petróleo *“deve ser utilizada como forma de evitar ou minimizar os danos ambientais causados por essas atividades, notadamente aqueles associados à utilização desse recurso natural como fonte energética que contribui para geração de gases de efeito estufa e conseqüente aquecimento global”* [PNMC (2008) p.121].

Dessa forma, essa parcela dos recursos será utilizada para efetivar a implementação da Política e do Plano podendo ser utilizada de diferentes formas: (i) reembolsáveis mediante concessão de empréstimo, por intermédio do agente financeiro; (ii) não reembolsáveis, a projetos ou estudos com foco em ações de mitigação da mudança do clima ou de adaptação à mudança do clima e aos seus efeitos, escolhidos segundo as diretrizes emanadas do Comitê Gestor do FNMC.

Ao final das análises realizadas nas seções acima, 4.3.1 e 4.3.2, é possível identificar as duas tendências principais de ação do governo brasileiro frente à necessidade de promover fontes limpas e alternativas:

- Para dar continuidade ao processo de promoção das fontes alternativas de energia nota-se a tendência de se estabelecer sistema de leilão com

categorias específicas para a comercialização de determinadas fontes incentivadas;

- Com relação às mudanças climáticas há uma tendência de se utilizar o financiamento e investimento público para viabilizar os projetos de fontes alternativas e limpas com o intuito de promover a mitigação e adaptação às mudanças climática. Esse investimento poderá ser utilizado diretamente, por meio, por exemplo, das linhas de crédito, ou indiretamente, por meio, por exemplo, dos estudos dos potenciais projetos de MDL ainda inexplorados. Além disso, há um forte interesse em incentivar os projetos de MDL para que as receitas da venda dos créditos de carbono possam viabilizar e incentivar o desenvolvimento de projetos sustentáveis.

4.4. Considerações finais

Pelo apresentado neste capítulo é possível concluir que o Brasil ainda carece de uma política de planejamento a longo prazo com forte marco regulatório que especifique as ações do governo e defina como as tendências identificadas poderão ser implementadas, para que estas forneçam atrativos suficientes para a participação do capital privado. Além disso, falta uma orientação para o desenvolvimento de políticas cujos instrumentos econômicos estejam orientados para as ações do mercado, seguindo as tendências e experiências internacionais. A única iniciativa identificada com possibilidades de se criar um mercado interno de promoção de fontes renováveis é o Mecanismo de Promoção Adicional da Energia Renovável e da Eficiência Energética.

Para discutir as possibilidades de atuação do governo brasileiro perante esse assunto, torna-se extremamente importante conhecer o real valor dos impactos ambientais causados pelas atividades de geração de energia elétrica no cenário de expansão atual que estarão sujeitas à aplicação dos instrumentos econômicos. O objetivo principal das metodologias de valoração é determinar o valor econômico do

serviço proporcionado pela natureza que foi perdido pela degradação. No planejamento a longo prazo o objetivo principal da valoração é proporcionar indicadores quantitativos de sustentabilidade dos empreendimentos de geração de energia elétrica que atenderão as demandas futuras, tornando possível ordenar e classificar todas as possibilidades de geração para orientar as estratégias e a tomada de decisão.

Dessa forma, no Capítulo 5 é aplicada uma metodologia de valoração dos impactos ambientais no intuito de quantificar o valor desses impactos ambientais ocasionados pela geração de energia elétrica. Por meio dessa valoração é possível determinar qual o cenário de expansão das questões ambientais relativas ao desenvolvimento da matriz elétrica nacional, para então definir quão expressivos são os impactos ambientais e quais as fontes que representam ameaças, e devem ser desestimuladas, e quais devem ser incentivadas.

Capítulo 5

Valoração dos impactos ambientais causados pelo processo de geração de energia elétrica

Como discutido por Holmgren & Amiri (2007) e pela EC (2005), uma das funções primordiais da valoração dos impactos ambientais é dar suporte ao desenvolvimento de políticas que buscam internalizar os custos dos impactos ambientais por meio de instrumentos econômicos. O Manual para Valoração Econômica de Recursos Ambientais, desenvolvido pelo Ministério de Minas e Energia, também enfatiza a importância de se obter os valores dos recursos ambientais para proporcionar o aperfeiçoamento da gestão pública. Portanto, é aplicada, neste capítulo, a metodologia de valoração econômica dos impactos ambientais com o objetivo de quantificar o valor dos impactos ambientais ocasionados pela geração de energia elétrica dos empreendimentos que compõem a matriz elétrica nacional.

5.1. O valor econômico dos recursos ambientais

As metodologias de valoração dos impactos ambientais se baseiam na Economia do Meio Ambiente, que é descrita nesta seção.

5.1.1. A Economia do Meio Ambiente

A economia é uma disciplina que estuda “*como pessoas, empresas, governos e outras organizações da sociedade fazem escolhas e como essas escolhas determinam a*

forma como a sociedade utiliza seus recursos” [Stiglitz & Walsh (2003)]. A Economia do Meio Ambiente¹⁵ é um campo da economia que busca aplicar a teoria econômica nas questões ambientais com o objetivo de obter o valor econômico de um recurso ambiental que, normalmente, não é representado no sistema de formação de preços nos mercados.

A Economia do Meio Ambiente está baseada na teoria neoclássica e, logo, supõe que os consumidores são racionais, que as empresas são maximizadoras de lucros e que os mercados em que interagem são altamente competitivos. A proposta da Economia do Meio Ambiente é tratar as questões ambientais como um bem ou serviço a ser comercializado e, ao valorá-las e incorporá-las nas ações do mercado, mais próximo ao modelo de livre concorrência estarão as relações desse mercado [Stiglitz & Walsh (2003)].

No contexto das discussões propostas por esse trabalho de dissertação, em que se busca promover o desenvolvimento das fontes alternativas no setor elétrico nacional, as metodologias desenvolvidas baseadas na Teoria Econômica do Meio Ambiente fornecem importante contribuição para se alcançar a sustentabilidade do setor. A valoração econômica desses impactos é um importante fator na definição dos instrumentos econômicos de políticas ambientais que devem direcionar o planejamento a longo prazo do setor elétrico para o adequado cumprimento das estratégias sustentáveis. A não incorporação dos valores dos impactos ambientais causados pelos empreendimentos de geração de energia elétrica levará a alocações inadequadas dos recursos nesse setor [Tolmasquim (2001)].

5.1.2. O valor econômico dos recursos ambientais

De acordo com Tolmasquim et al. (2000), *“O valor econômico de um recurso ambiental normalmente não é observado no mercado por intermédio do sistema de preços. No entanto, como os demais bens e serviços presentes no mercado, seu valor econômico deriva de seus atributos, com a peculiaridade de que estes atributos podem estar ou não associados a um uso”* [Tolmasquim et al. (2000) p.6]. Há os atributos

¹⁵ De acordo com Duta (2007), a Economia do Meio Ambiente é uma especialidade que utiliza as ferramentas neoclássicas para analisar os problemas do meio ambiente.

definidos pelo seu valor de uso determinados pelos fluxos de bens e serviços ambientais gerados pelo seu consumo. Há, também, os atributos definidos pelo seu valor de não uso relacionados à própria existência do recurso, sem qualquer associação ao seu uso presente ou futuro. O valor de uso é ainda classificado em três categorias: valor de uso direto, valor de uso indireto e valor de opção [Maia et al. (2004)]. O Valor Econômico do Recurso Ambiental (VERA) é, assim, desagregado em Valor de Uso (VU) e Valor de Não Uso (VNU). A Figura 5.1 apresenta esta desagregação.

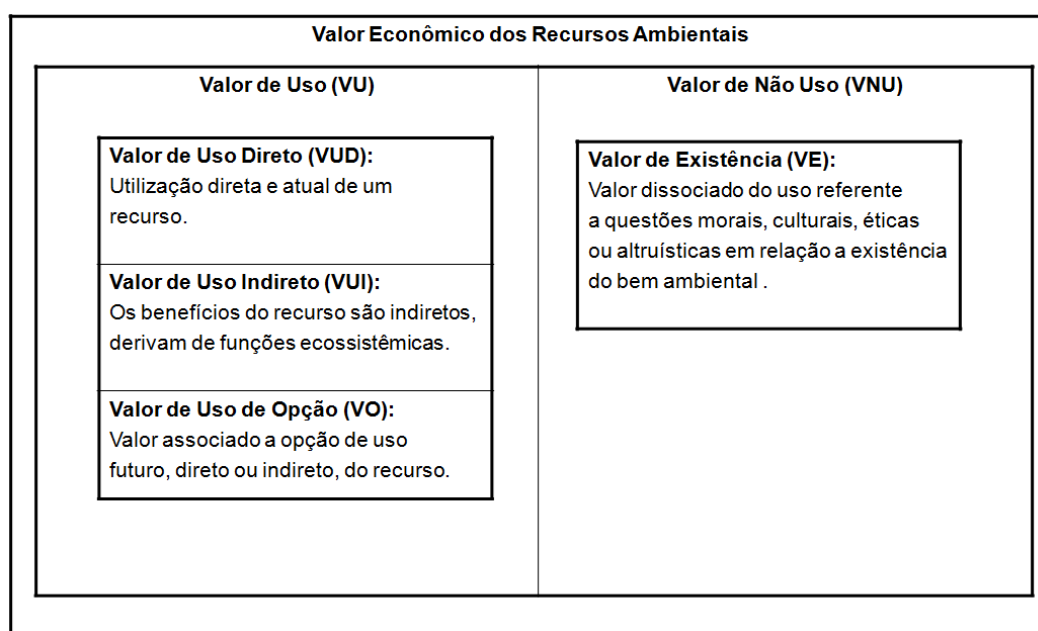


Figura 5.1 – Desagregação do valor econômico dos recursos ambientais.

1. Valor de Uso (VU): é o valor associado ao recurso ambiental pelo seu uso presente ou pelo seu potencial de uso futuro [Tolmasquim et al. (2000)].

1.1. Valor de Uso Direto (VUD): é o valor que os indivíduos atribuem a um recurso ambiental pelo bem-estar que ele proporciona por meio do uso direto. Exemplo: extração de minerais e atividades de turismo em parques ecológicos [Tolmasquim et al. (2000)].

1.2. Valor de Uso Indireto (VUI): é o valor que os indivíduos atribuem a um recurso ambiental pelo bem-estar que ele proporciona quando o seu uso deriva de funções ecossistêmicas. Exemplo: a manutenção dos mananciais dos rios [Tolmasquim et al. (2000)].

1.3. Valor de Opção (VO): valor associado à opção de poder usar no futuro, de forma direta ou indireta, um benefício de um recurso ambiental. Exemplos: benefício advindo da preservação de florestas que contribuirão para a manutenção da estabilidade climática e de fármacos desenvolvidos com base em propriedades medicinais, ainda não descobertas, de plantas em florestas tropicais [Seroa da Motta (1998)].

2. Valor de Não Uso (VNU): *“representa o valor de existência (VE) que está dissociado do uso (embora represente um consumo ambiental) e deriva de uma posição moral, cultural, ética ou altruística em relação aos direitos de existência de espécies não-humanas ou preservação de outras riquezas naturais, mesmo que estas não representem uso atual ou futuro”* [Seroa da Motta (1998)]. Exemplos: esforços para o salvamento de ursos pandas ou baleias em regiões remotas do planeta que, possivelmente, pessoas nunca a visitarão.

O valor econômico dos recursos ambientais (VERA) é dado pela equação 5.1:

$$VERA = (VUD + VUI + VO) + VE \quad (5.1)$$

A seguir são apresentados os métodos de valoração econômica dos recursos ambientais. Esses métodos de valoração buscam *“inferir quanto melhorou ou piorou o bem-estar das pessoas devido às mudanças na qualidade de bens e serviços ambientais, seja na apropriação por uso ou não”* [Tolmasquim et al. (2000)]. A aplicação desses métodos apresenta limitações que impedem a completa e exata determinação dos valores atribuídos aos recursos ambientais. Tais limitações estão relacionadas ao grau de sofisticação do método, às dificuldades de obter uma base de dados representativa, às hipóteses sobre o comportamento dos indivíduos, ao conhecimento da dinâmica

ecológica e aos efeitos do consumo ambiental em outros setores da economia [Seroa da Motta (1998)].

5.1.3. Os métodos de valoração econômica dos recursos ambientais

Os métodos de valoração econômica podem ser classificados em: métodos indiretos e métodos diretos. Os métodos indiretos buscam obter o valor do recurso ambiental por meio de funções de produção. A idéia é relacionar o impacto das alterações ambientais a produtos com preços no mercado. Os métodos diretos buscam obter o valor do recurso ambiental captando as preferências das pessoas por meio de mercados hipotéticos ou mercados de bens complementares. A idéia é obter a disposição a pagar dos indivíduos pelo bem ou serviço ambiental [Maia et al. (2004)].

A Figura 5.2 apresenta um resumo de todos os métodos que são discutidos a seguir.

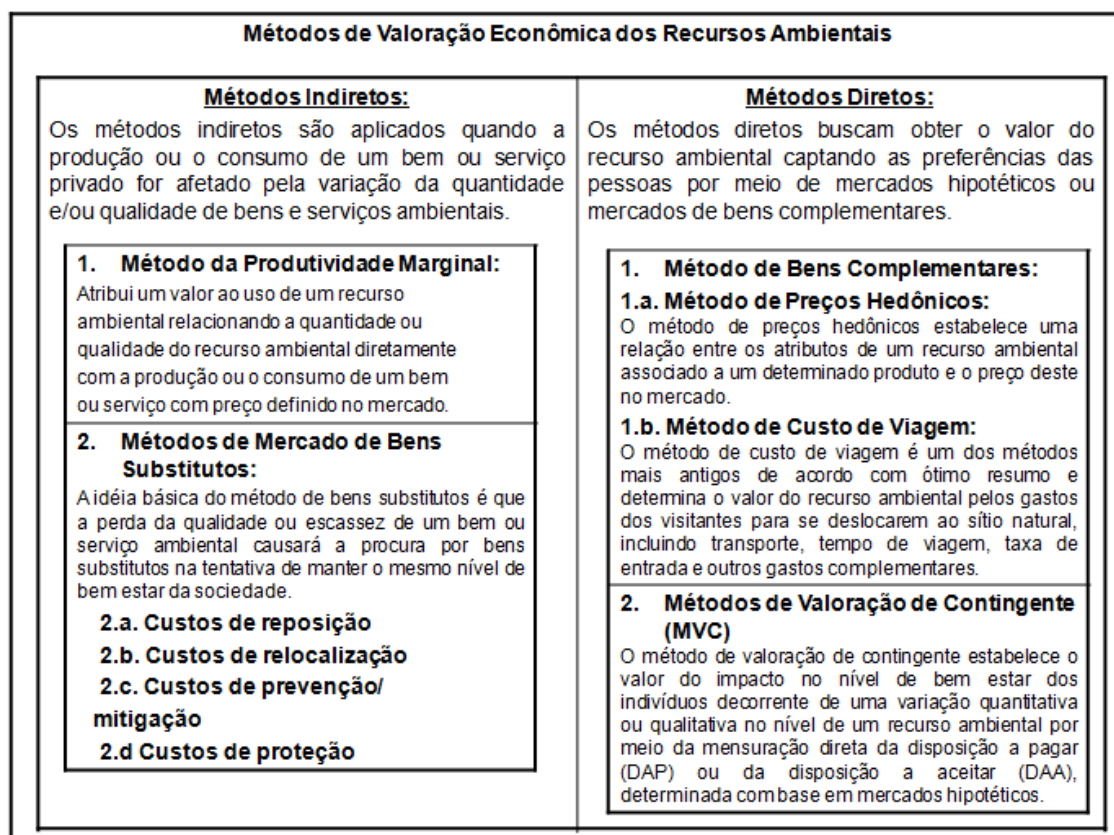


Figura 5.2 – Resumo dos métodos de valoração.

Os métodos indiretos

Os métodos indiretos são aplicados quando a produção ou o consumo de um bem ou serviço privado for afetado pela variação da quantidade e/ou qualidade de bens e serviços ambientais. Ou seja, a mudança na quantidade e/ou qualidade ambiental ocasiona mudanças na produção ou no consumo de um bem ou serviço privado. Para tanto é preciso conhecer a relação entre essas mudanças na quantidade e/ou qualidade ambiental e o impacto econômico na produção ou consumo. Essa valoração pode ser feita com base no preço de mercado do produto (método da produtividade marginal) ou no mercado de bens substitutos (métodos de bens substitutos) [Tolmasquim et al. (2000) e Maia et al. (2004)].

1. Métodos da produtividade marginal:

O método de produtividade marginal atribui um valor ao uso de um recurso ambiental relacionando a quantidade ou qualidade do recurso ambiental diretamente com a produção ou o consumo de um bem ou serviço com preço definido no mercado. Essa correspondência é obtida por meio da função dose-resposta, que relaciona o nível do recurso ambiental com o nível do bem ou serviço no mercado. A partir dessa variação, dada pela função dose-resposta, estima-se o valor econômico de uso do recurso ambiental. Um exemplo de função dose-resposta é a relação entre o nível da poluição da água do rio (dose) com o nível da atividade pesqueira (resposta).

2. Métodos de mercado de bens substitutos:

A idéia básica do método de bens substitutos é que a perda da qualidade ou escassez de um bem ou serviço ambiental causará a procura por bens substitutos na tentativa de manter o mesmo nível de bem estar da sociedade. Ele é utilizado quando não se consegue obter diretamente o preço de um produto afetado e, dessa forma, são estimados valores com base nos bens substitutos. É usado também nos casos em que não é possível determinar a função dose-resposta.

Há quatro métodos de mercados de bens substitutos:

2.a. Custos de reposição;

- 2.b. Custos de realocização;
- 2.c. Custos de prevenção/mitigação; e
- 2.d. Custos de proteção.

Os métodos diretos

Os métodos diretos buscam obter o valor do recurso ambiental captando as preferências das pessoas por meio de mercados hipotéticos ou mercados de bens complementares. Esses mercados são utilizados para medir a disposição a pagar dos indivíduos pelo bem ou serviço ambiental. Os métodos diretos poderão revelar a disposição a pagar por meio de situações reais (custo de viagem) ou por meio de situações hipotéticas (valoração contingente) [Tolmasquim et al. (2000) e Maia et al. (2004)].

1. Métodos de preços hedônicos:

O método de preços hedônicos estabelece uma relação entre os atributos de um recurso ambiental associado a um determinado produto e o preço deste no mercado.

2. Métodos de custo de viagem:

O método de custo de viagem é um dos métodos mais antigos, de acordo Maia et al. (2004), e determina o valor do recurso ambiental pelos gastos dos visitantes para se deslocarem ao sítio natural, incluindo transporte, tempo de viagem, taxa de entrada e outros gastos complementares.

3. Métodos de valoração de contingente (MVC):

O método de valoração de contingente estabelece o valor do impacto no nível de bem estar dos indivíduos decorrente de uma variação quantitativa ou qualitativa no nível de um recurso ambiental por meio da mensuração direta da disposição a pagar (DAP) ou da disposição a aceitar (DAA), determinada com base em mercados hipotéticos. Esses mercados hipotéticos são simulados por meio de pesquisas de campo, com questionários que indagam ao entrevistado quanto este está disposto a pagar para garantir a melhoria de bem-estar ou quanto está disposto a aceitar para uma possível perda de bem-estar em

face das alterações da qualidade e quantidade na disponibilidade de bens ou serviços ambientais. Essas disposições revelam as preferências dos indivíduos em valores monetários. O valor econômico do recurso será dado pela agregação destes. Segundo Tolmasquim et al. (2000), a grande vantagem desse método consiste na “*produção de estimativas de valores que não poderiam ser obtidos por outros meios*”, como por exemplo, a preservação da fauna e da flora de uma determinada região [Tolmasquim et al. (2000) p.47].

Os tipos de valores possíveis de serem captados pela aplicação de cada método podem ser verificados na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Valores possíveis de serem captados pela aplicação de cada método.

Métodos de Valoração			VU			VNU
			VUD	VUI	VO	VE
Métodos indiretos	Produtividade Marginal					
	Mercado de bens Substitutos	Custos reposição				
		Custos realocização				
		Custos prevenção/mitigação				
		Custos proteção				
Métodos diretos	Mercados de bens complementares	Custo de viagem				
		Preços hedônicos				
	Mercados hipotéticos	Valoração contingente				

Como pode ser observado na Tabela 5.1, os métodos indiretos não são capazes de captar os valores de existência e podem, em determinados casos, captar os valores de opção. No caso da produtividade marginal, refletem-se apenas as variações de produção da determinada atividade em análise quando há variação no recurso natural, não sendo possível capturar os valores de opção e existência. No caso dos bens substitutos, a possibilidade de perfeita substituição determinará a sua cobertura das parcelas do valor

de opção, porém o valor de existência não será capturado uma vez que se admite a completa substituição [Maia et al. (2004)].

No caso dos métodos diretos, cada um terá uma abrangência. O método de custo de viagem capta somente os valores de uso direto ou indireto associados à visita ao sítio natural. Logo, indivíduos que não visitam o sítio, mas apresentam valor de opção ou existência, não são considerados. O método de preço hedônico já consegue captar valores diretos, indiretos e de opção, porém, por estar baseado na idéia de benefícios complementares aos ambientais, não consegue captar os valores de não uso. Apenas o método de valoração de contingente é capaz de captar os quatro valores do recurso por meio da avaliação direta da disposição a pagar ou a aceitar pelo recurso ambiental.

Logo, com exceção da Valoração de Contingente, os métodos apresentados podem subestimar o real valor do recurso ambiental nos casos em que os valores de opção e existência são positivos.

Além das limitações há certos obstáculos presentes na aplicação dos métodos de valoração. De acordo com Duta (2007), esses obstáculos podem ser:

- *“Obstáculos práticos relacionados à complexidade de certos métodos, à falta de dados e às incertezas inerentes às técnicas”.*
- *“Obstáculos filosóficos relacionados ao incômodo de ordem ética e filosófica de se atribuir um valor monetário a bens não comerciais como a fauna, flora e vida humana”.*
- *“Obstáculos políticos relacionados à possibilidade de serem realizadas escolhas arbitrárias ou puramente políticas devido às incertezas e às imprecisões dos julgamentos dos valores. Logo, uma boa técnica de tomada de decisão se faz necessária”.*

A escolha do método mais apropriado é específico de cada caso e dependerá dos recursos ambientais que se deseja valorar, das atividades associadas e das informações disponíveis. Para maior detalhamento dos métodos de valoração ver [Tolmasquim et al. (2000); Maia et al. (2004); Duta (2007) e Seroa da Motta, R. (1998)].

5.2. A valoração dos impactos ambientais causados pelo processo de geração de energia elétrica

Nesta seção são aplicadas metodologias de valoração dos impactos ambientais originados pelas atividades de geração de energia elétrica. A valoração é feita para as principais fontes de geração de energia que constituem a matriz energética nacional.

5.2.1. Os impactos ambientais relacionados às atividades de geração de energia elétrica

Antes de iniciar o processo de valoração dos impactos ambientais é importante compreender o que é caracterizado como impacto ambiental. Segundo Reis (2003), os impactos ambientais podem ser classificados pela causalidade em dois grupos:

- Impactos naturais: impactos causados por fenômenos da própria natureza como vulcões, terremotos, enchentes entre outros.
- Impactos antrópicos: impactos causados por atividades humanas como a construção de usinas termelétricas, a emissão de gases poluentes, desmatamento, emissão de ruídos sonoros entre outras.

A Resolução CONAMA (1986) considera como impacto ambiental, para o âmbito da Política Nacional do Meio Ambiente, apenas os impactos antrópicos que afetem direta ou indiretamente: *“I – a saúde, a segurança e o bem-estar da população; II – as atividades sociais e econômicas; III – a biota; IV – as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; V – a qualidade dos recursos ambientais.”*

Há impactos ambientais independentes das ações antrópicas, entretanto, como pode ser observado nos relatórios elaborados pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC*, os impactos das ações antrópicas modificam os ciclos naturais e estabelecem um novo ritmo mais intenso aos impactos naturais. A Figura 5.3, apresenta essa relação.

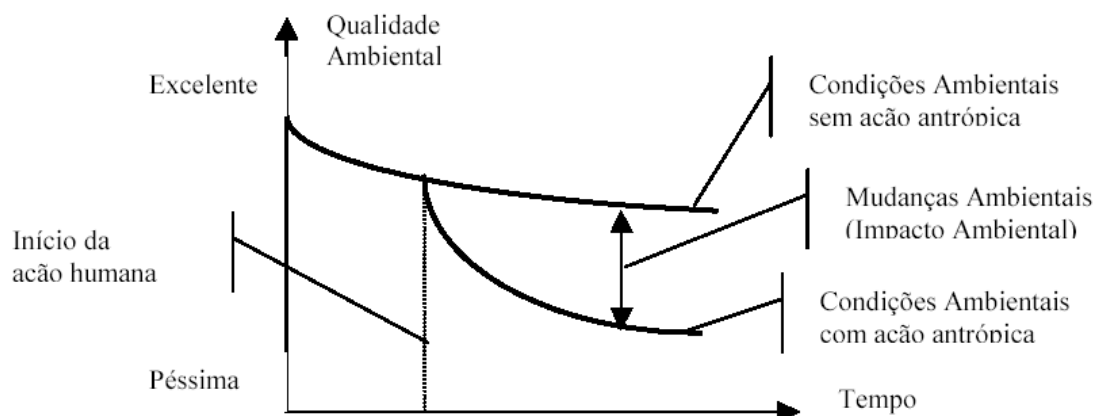


Figura 5.3 – Impacto das ações antrópicas [Reis (2001)].

De acordo com EC (2005), há três relevantes categorias de externalidades negativas ocasionadas pelo processo de geração de energia elétrica que devem ser avaliadas, sendo duas destas relacionadas às externalidades negativas ambientais. Essas duas categorias são classificadas pelas causas dos impactos e as principais consequências:

- Impactos ao meio ambiente: impactos causados por substâncias (ex: material particulado) ou energias (ex: ruídos) sobre diversos recursos ambientais, como o solo, o ar e a água, até atingirem os receptores (homem, materiais, plantas) proporcionando riscos e prejuízos.
- Impactos às mudanças climáticas: impactos causados por substâncias (gases de efeito estufa) sobre o equilíbrio climático natural do planeta.

Dessa forma, são valorados nesse trabalho os impactos ao meio ambiente, ocasionados pela inalação de materiais particulados¹⁶ liberados na atmosfera durante o processo de geração de energia elétrica, e os impactos às mudanças climáticas,

¹⁶ Os resultados mais consistentes apresentados pelo EC (2005) identificaram os materiais particulados como o principal culpado dos impactos ao meio ambiente.

ocasionados pelo aumento da temperatura do planeta devido à emissão de gases de efeito estufa liberados na atmosfera durante o processo de geração de energia elétrica.

A terceira categoria, denominada acidentes, não é avaliada neste trabalho de dissertação por não estar relacionada às questões ambientais e dizer respeito aos acidentes, que são caracterizados como impactos causados por indesejáveis eventos em contraste com a operação normal da atividade.

5.2.2. A classificação dos impactos ao meio ambiente e às mudanças climáticas devido às atividades de geração de energia elétrica

Primeiramente, é preciso definir quais os empreendimentos a serem valorados para, depois, classificar os impactos. Neste trabalho são avaliados os empreendimentos de geração de energia elétrica que compõem a matriz elétrica nacional, que são identificados como apresentado na Tabela 5.2 a seguir.

Tabela 5.2 – Identificação dos empreendimentos de geração de energia elétrica.

Sigla	Empreendimento
UHE	Central Hidrelétrica
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
UTBC	Usina Termelétrica a Bagaço de Cana *
CE	Central Eólica
UTGN	Usina Termelétrica a Gás Natural
UTN	Usina Termelétrica Nuclear
UTC	Usina Termelétrica a Carvão (mineral)
UTO	Usina Termelétrica a Óleo Combustível
UTD	Usina Termelétrica a Diesel

* A projeção da expansão das termelétricas a biomassa foi desenvolvida no PDE 2007/2016 considerando, apenas, o bagaço de cana de açúcar como fonte energética.

A Tabela 5.3 apresenta a classificação dos impactos ao meio ambiente e às mudanças climáticas das atividades de geração de energia elétrica, segundo o PNE V.6 (2008).

Tabela 5.3 – Classificação dos impactos à saúde humana e às mudanças climáticas das atividades de geração de energia elétrica.

Impacto	Causador	Receptor	Empreendimentos que ocasionam impacto
Impacto ao meio ambiente	Emissão de material particulado	Homem	UTC
			UTO
			UTBC
			UTD
Impacto às mudanças climáticas	Emissão de CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	Equilíbrio climático	UHE
			UTGN
			UTC
			UTO
			UTD

5.2.3. As Metodologias de Valoração dos Impactos Ambientais

O maior objetivo das metodologias de valoração dos impactos ambientais é quantificar o serviço proporcionado pela natureza perdido pela degradação ambiental para, posteriormente, internalizá-los em relações econômicas. É utilizada neste trabalho a metodologia de valoração desenvolvida pelo Projeto ExternE¹⁷, adaptando-a para a aplicação nos estudos de planejamento a longo prazo. Essa adaptação foi elaborada em Tolmasquim et al. (2000) e, posteriormente, em Tolmasquim (2001). Segundo

¹⁷ O Projeto ExternE é um projeto desenvolvido pela Comissão Europeia denominado *ExternE – Externalities of Energy - A Research Project of the European Commission*, cujo objetivo é dar suporte ao processo de internalização, tendo como objetivo desenvolver metodologias para estimar e valorar os impactos ambientais. No site oficial do projeto (<http://www.externe.info/>) é possível obter os relatórios dos estudos desenvolvidos pelo ExternE, contendo as metodologias elaboradas e os resultados destas em diferentes aplicações.

Tolmasquim (2001), ao aplicar essas metodologias de valoração no planejamento a longo prazo deverão ser realizadas algumas simplificações que adicionam incertezas nas análises. Isso ocorre, pois as metodologias de valoração foram desenvolvidas para serem aplicadas a projetos específicos, identificando os custos e os benefícios num dado empreendimento incorporando as questões ambientais. Entretanto, essas limitações não inviabilizam a aplicação dessa metodologia para se obter os valores dos impactos ambientais e orientar as tomadas de decisão na elaboração das estratégias no planejamento a longo prazo.

A metodologia aplicada é largamente aceita pela comunidade científica, sendo considerada a referência mundial no assunto [EC (2005)]. A relevância de analisar os usos da energia vem do reconhecimento do seu importante papel no desenvolvimento econômico e social. Entretanto, seus poluentes provocam significativos impactos ambientais [EC (2005)]. Um dos grandes propósitos do Projeto ExternE é desenvolver metodologias de valoração das externalidades associadas aos usos da energia para que estas externalidades possam ser incluídas nas análises de tomada de decisão do investimento. Abaixo, segue um texto retirado do site oficial do projeto, contendo a principal visão do ExternE e ressaltando a preocupação mundial em relação à necessidade de se desenvolver soluções para as questões ambientais:

“By societal welfare principles, policy should aim to ensure that prices reflect total costs of an activity, incorporating the cost of damages caused by employing taxes, subsidies, or other economic instruments. This internalisation of external costs is intended as a strategy to rebalance the social and environmental dimension with the purely economic one, accordingly leading to greater environmental sustainability. Doing so is a clear objective for the European Union, for example, as expressed in the Fifth and Sixth Framework Programme of the European Commission and in the Göteborg Protocol of 2001.”

Resumidamente, os estudos desenvolvidos pela Comissão Europeia buscam [EC (2005)]:

1. Mensurar as externalidades negativas (impactos ambientais) para a sociedade que não são pagos pelos seus atores;

2. Transformar esses impactos em valores econômicos. Ou seja, transformar os impactos expressos em diferentes unidades para uma unidade comum: o valor econômico. Assim, estes poderão ser avaliados diretamente com as outras variáveis da análise de investimento;
3. Explorar como esses custos das externalidades podem ser cobrados dos produtores e dos consumidores.

Um dos grandes desafios das metodologias de valoração dos impactos ambientais é torná-las cada vez mais precisas, incorporando completamente as externalidades negativas que, se não consideradas adequadamente no planejamento, se tornarão um passivo ambiental para o empreendedor podendo até inviabilizar economicamente o projeto.

A metodologia *Impact Pathway* (IPA)

A metodologia denominada *Impact Pathway* busca rastrear o poluente desde o local da emissão até o seu receptor por meio de quatro etapas, como descrito a seguir. A Figura 5.4 apresenta um esquema da metodologia IPA.

1. **Emissões**: primeiramente é feita a especificação da tecnologia a ser avaliada e do nível de poluição associado;
2. **Dispersão**: calcula-se o aumento da concentração do poluente emitido em todas as regiões afetadas;
3. **Impacto**: calcula-se o efeito cumulativo da exposição ao poluente devido ao aumento da sua concentração, para, posteriormente, calcular o impacto devido a essa exposição utilizando a função dose-resposta;
4. **Custo**: valoração desse impacto em termos econômicos.

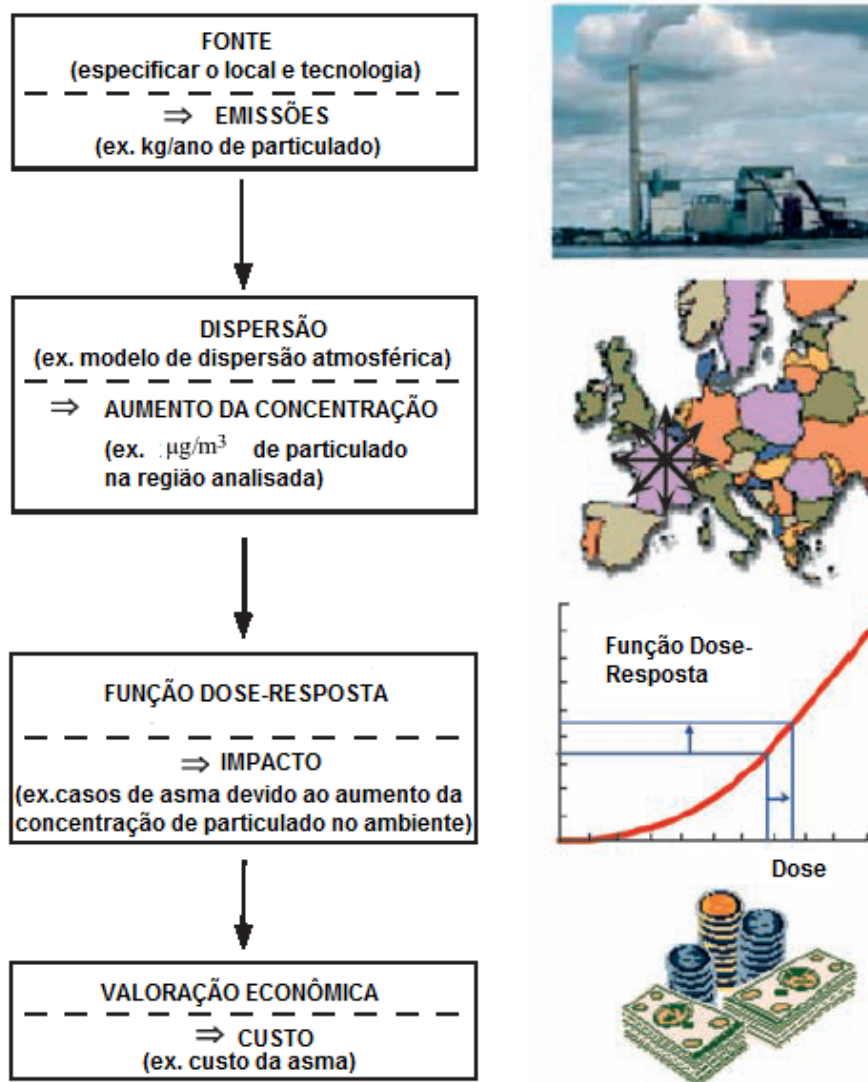


Figura 5.4 – Esquema da metodologia IPA [EC (2005)].

A Função Dose-Resposta

As funções dose-resposta fornecem a relação entre a quantidade do poluente que afeta um receptor com o impacto físico ao receptor. Ou seja, relaciona o nível da atividade impactante com o grau do impacto físico ao receptor. A construção desta função é uma tarefa complexa e imprecisa. É necessário realizar trabalhos de campo e procedimentos experimentais sofisticados para formação de um banco de dados com informações suficientes para que conclusões relevantes, sobre a relação dose-resposta, possam ser obtidas. Um exemplo são os estudos epidemiológicos que relacionam a ocorrência de doenças com a variação da concentração de poluentes na atmosfera. Com

base nas conclusões do trabalho, é possível determinar coeficientes dose-resposta (DR) que relacionam, de maneira direta, o causador e o efeito. Mais especificamente, esses coeficientes são classificados como concentração-resposta (CR), por relacionar, não a dose de inalação do poluente, mas, sim, a concentração deste na atmosfera. Devido a esta complexidade de determinação dos coeficientes é prática comum extrapolar os valores definidos de uma determinada localidade para outra região. Como a função dose-resposta está intimamente ligada às condições da localidade aonde foram obtidos os dados, esta extrapolação é limitada e apresenta erros inerentes.

Nas seções subseqüentes é aplicada a metodologia *Impact Pathway* para determinar os valores dos impactos à saúde humana causados pela emissão de material particulado e às mudanças climáticas ocasionados pela emissão de gases de efeito estufa.

5.2.4. Valoração do impacto à saúde humana ocasionado pela emissão de material particulado

1. Emissões do poluente - emissões de material particulado para cada fonte de geração de energia elétrica

A Tabela 5.4 apresenta os valores das emissões de material particulado em g/kWh para cada empreendimento de geração de energia elétrica selecionado. Para determinar os valores das emissões de material particulado em g/kWh da termelétrica a bagaço de cana, foi utilizado o estudo desenvolvido por Lora (2000). Neste estudo foram avaliadas as emissões de material particulado em g/kWh das principais tecnologias de cogeração utilizadas na indústria açucareira. Para os demais empreendimentos foi utilizado como referência o PNE V.6 (2008).

Tabela 5.4 – Os valores das emissões de material particulado em g/kWh por empreendimento de geração de energia elétrica.

Empreendimento	Emissão de particulado* [g/kWh]
UHE	0
PCH	0
UTBC – TCE 40	1,86
UTBC – TCE 60	0,49
UTBC – TCE 80	0,47
UTBC – BIG/GT	0,19
CE	0
UTGN – Ciclo Combinado (UTGN – CC)	0
UTN	0
UTC – Carvão nacional – Convencional (UTC CN Conv)	254,5
UTC – Carvão importado – Convencional (UTC CI Conv)	28,15
UTO – Convencional (UTO Conv)	0,09
UTD – Convencional** (UTD Conv)	0,09

* Para obter resultados otimistas foram utilizados fatores de emissão considerando que todas as tecnologias utilizam equipamentos de controle.

** As emissões das termelétricas a diesel foram consideradas iguais às emissões das termelétricas a óleo combustível.

No intuito de obter resultados mais otimistas foram utilizados fatores de emissão considerando que todas as tecnologias utilizam equipamentos de controle. Além disso, como os resultados encontrados serão utilizados como indicadores de políticas ambientais, optou-se por obter os valores mínimos, já que não é possível garantir que as emissões ocorreram acima desses fatores mínimos de emissão.

Pode-se observar, com base na Tabela 5.4, que para as termelétricas a bagaço de cana as tecnologias menos avançadas de condensação e extração (TCE) apresentam níveis mais elevados de emissão de material particulado. À medida que as tecnologias se tornam mais avançadas, as emissões de material particulado são reduzidas, podendo chegar, para o caso da tecnologia de gaseificação de bagaço e turbina a gás - BIG/GT, a níveis bem baixos. A tecnologia do ciclo a vapor com turbinas de condensação e extração tem seu processo de fabricação totalmente dominado pela indústria nacional. Por outro lado, a tecnologia BIG/GT encontra-se em estágio de desenvolvimento e aprimoramento, com diversas frentes de pesquisa em todo o mundo, e apresenta excelentes perspectivas de viabilidade comercial para os próximos anos possuindo, assim, um futuro promissor [PNE V.8 (2008)]. Ademais, os sistemas de vapor de diversas usinas construídas para o Programa do Alcool Combustível Brasileiro – PRÓALCOOL estão no fim de sua vida útil. Dessa forma, espera-se que nos próximos anos muitas usinas deverão ser reequipadas e poderão optar por tecnologias mais avançadas e eficientes. Entretanto, essas tecnologias requerem um investimento de capital inicial mais elevado.

2. Dispersão do poluente - determinação da concentração de material particulado no nível do solo

Os materiais particulados emitidos são transportados pelo vento e vão sendo depositados ao longo da região no entorno da atividade de geração de energia elétrica. Os materiais particulados são, também, classificados como poluentes primários por terem efeitos quimicamente estáveis e por serem depositados em regiões com até 50 km de distância da fonte emissora, considerado uma dispersão de escala local [Tolmasquim et al. (2000)].

Como apresentado pela Figura 5.4, a segunda etapa do processo de valoração dos impactos ambientais é a determinação da dispersão dos poluentes na região no entorno da atividade e conseqüente aumento da concentração desses poluentes no nível do solo. Para determinar a dispersão dos materiais particulados é aplicado o Modelo de Pluma Gaussiana. Esse modelo somente é válido para dispersões em escala local (até 50 km), como é o caso dos materiais particulados [EC (2005)]. Segundo Tolmasquim et al. (2000), diversas variáveis influenciam a dispersão dos poluentes, destacando-se:

- A taxa de emissão dos poluentes nas chaminés;
- A altura e o diâmetro da chaminé;
- A velocidade e a temperatura do gás da chaminé;
- As propriedades físico-químicas dos gases que são lançados e que se encontram nos pontos receptores;
- As condições meteorológicas na região no entorno do empreendimento (p.ex: velocidade e direção do vento);
- As condições topográficas na região no entorno do empreendimento.

A equação 5.2 apresenta o modelo de dispersão de curva gaussiana conforme o documento EC (2005).

$$C(x, y, z)_{in} = \frac{Q}{u 2\pi \sigma_y \sigma_z} \cdot \exp\left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right] \cdot \left(\exp\left[-\frac{(z-h)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z+h)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right) \quad (5.2)$$

Sendo:

- $C(x, y, z)$ a concentração do poluente (i) para o empreendimento (n) [$\mu\text{g}/\text{m}^3$];
- Q a taxa de liberação de poluentes [$\mu\text{g}/\text{s}$];
- u a velocidade média do vento na região [m/s];
- σ_y o desvio padrão da distribuição gaussiana na direção perpendicular horizontal a linha do vento [m];
- σ_z o desvio padrão da distribuição gaussiana na direção perpendicular vertical a linha do vento [m];
- h a altura efetiva da liberação de poluentes [m].

A equação 5.2 é válida para as emissões contínuas, de longa duração e em terrenos planos para que a distribuição do poluente possa formar uma pluma gaussiana.

Quando o estudo trata de planejamento no longo prazo, não há detalhes sobre a atividade de projeto, como localização exata e o tamanho da chaminé, e, portanto, adota-se a seguinte simplificação: a variação na concentração de um poluente (C_{in}) na área de influência depende das emissões dos poluentes (Q), da velocidade média do vento (u) e da distância do ponto de emissão do poluente (s). De acordo com Tolmasquim (2001), a equação mais adequada para o cálculo no planejamento a longo prazo é dada pela equação 5.3.

$$C_{in} = \frac{Q}{u 2\pi s} \quad (5.3)$$

Por meio desta equação calcula-se a variação da concentração do poluente (i) na área de influência para cada empreendimento (n), em $\mu\text{g}/\text{m}^3$, sendo s a distância do ponto de análise até a fonte emissora. Ainda, segundo Tolmasquim (2001), tais simplificações aumentam as incertezas dos resultados, porém, não invalidam a utilização do modelo simplificado. A adequada implantação deste contribui de forma eficaz para as análises de planejamento sustentável do setor elétrico nacional.

Os estudos desenvolvidos por Tolmasquim et al. (2000) sugerem que seja adotada a velocidade média do vento de 3m/s tanto para situações de baixa dispersão, áreas com formações rochosas ou próximas a grandes centros urbanos, quanto para alta dispersão, áreas de planícies.

As concentrações de material particulado são calculadas em 10 pontos de análise a partir da fonte emissora, a cada 5 km, até a máxima distância de dispersão em escala local¹⁸ de 50 km [EC (2005)]. Com a finalidade de comparar os custos das externalidades ambientais negativas para cada empreendimento de geração de energia elétrica, ao final do processo de valoração, os valores calculados são expressos por unidade de kWh gerado.

Aplicando a equação 5.3 para cada tipo de empreendimento identificado na Tabela 5.2, e utilizando os fatores de emissão de material particulado da Tabela 5.4,

¹⁸ De acordo com EC (2005), os poluentes podem ter dispersão em escala local, regional ou global. A escala local possui raio máximo de 50 km. Os materiais particulados são considerados poluentes primários, com efeitos quimicamente estáveis, e depositadas em regiões de até 50 km (escala local).

foram determinadas as concentrações de material particulado para cada empreendimento de geração de energia elétrica nos dez pontos mencionados anteriormente. A Tabela 5.5 apresenta os valores encontrados.

Tabela 5.5 – Concentração de material particulado por empreendimentos de geração
[$\mu g/m^2 \cdot (kWh/ano)$].

Empreendimento	Concentração por empreendimentos de geração [$\mu g/m^2 \cdot (kWh/ano)$]*									
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
UHE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PCH	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UTBC – TCE 40	0,63	0,31	0,21	0,16	0,13	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06
UTBC – TCE 60	0,16	0,08	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
UTBC – TCE 80	0,16	0,08	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
UTBC – BIG/GT	0,06	0,03	0,02	0,02	0,01	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01
CE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UTGN – CC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UTN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UTC CN Conv	85,63	42,81	28,54	21,41	17,13	14,27	12,23	10,70	9,51	8,56
UTC CI Conv	9,47	4,74	3,16	2,37	1,89	1,58	1,35	1,18	1,05	0,95
UTO – Conv	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0
UTD – Conv	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0

* valores multiplicados por 10^{-6} .

3. Impacto – aplicação da função dose-resposta para determinar o impacto à saúde humana

Determina-se, inicialmente, o risco incremental individual associado à exposição ao material particulado, ou seja, determina-se o número de doenças por 100.000 pessoas por ano para cada aumento incremental [$\mu g/m^2$] de material particulado.

Posteriormente, calcula-se o risco incremental coletivo para o total da população na região analisada.

Determinação do risco incremental por doenças respiratórias

A determinação do risco incremental individual é feita com base no valor do coeficiente dose-resposta que relaciona a variação da concentração de material particulado na região no entorno do empreendimento com a variação na ocorrência de doenças respiratórias.

O risco incremental é calculado com base na equação 5.4.

$$\Delta r = C_{in} \cdot DR \quad (5.4)$$

Sendo,

- *DR* o coeficiente dose-resposta que relaciona as doenças respiratórias com a concentração de material particulado;
- C_{in} a concentração do poluente (*i*) para o empreendimento (*n*).

A Tabela 5.6 fornece os coeficientes dose-resposta de morbidade (doenças respiratórias) devido à emissão de nitrato aerossol [EC (1995)]. Segundo EC (2005) os efeitos dos particulados primários emitidos pelos empreendimentos geradores são equivalentes aos efeitos dos nitratos aerossóis. Assim, aqueles possuem os mesmos coeficientes dose-resposta que estes.

Tabela 5.6 – Coeficientes dose-resposta de morbidade [doenças respiratórias].

Fonte dos dados	Resposta	Coeficiente DR	Dose
[EC 1995] - Schwartz 1993	Prevalência de doenças respiratórias por 100.000 pessoas por ano	Baixo = 60	Variação na concentração anual de material particulado
		Médio = 95	
		Alto = 129	

Com o mesmo intuito de obter resultados mais otimistas é utilizado o coeficiente dose-resposta baixo, igual a 60. A Tabela 5.7 contém os resultados dos riscos incrementais determinados após a aplicação da equação 5.4.

Tabela 5.7 – Riscos individuais por empreendimento de geração [casos de doenças respiratórias/100.000 habitantes por kWh].

Empreendimento	Riscos incrementais por empreendimentos de geração [número de doenças / 100.000 habitantes x kWh]*									
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
UHE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PCH	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UTBC – TCE 40	3,755	1,877	1,252	0,939	0,751	0,626	0,536	0,469	0,417	0,375
UTBC – TCE 60	0,989	0,495	0,330	0,247	0,198	0,165	0,141	0,124	0,110	0,099
UTBC – TCE 80	0,949	0,474	0,316	0,237	0,190	0,158	0,136	0,119	0,105	0,095
UTBC – BIG/GT	0,384	0,192	0,128	0,096	0,077	0,064	0,055	0,048	0,043	0,038
CE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UTGN – CC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UTN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UTC CN Conv	510,0	260,0	170,0	130,0	100,0	90,0	70,0	60,0	60,0	50,0
UTC CI Conv	60	30	20	10	10	10	10	10	10	10
UTO – Conv	0,182	0,091	0,061	0,045	0,036	0,030	0,026	0,023	0,020	0,018
UTD – Conv	0,182	0,091	0,061	0,045	0,036	0,030	0,026	0,023	0,020	0,018

* valores multiplicados por 10^{-5} .

Determinação do risco incremental coletivo de morbidade e mortalidade

Após determinar o risco incremental individual, determina-se o risco incremental coletivo, ou seja, o impacto na saúde humana da população que habita a região de influência do empreendimento de geração de energia elétrica associado à exposição ao material particulado. O risco coletivo é calculado multiplicando-se o risco individual de cada setor da área de influência pela população que habita cada setor da

área de influência, e somando os riscos de todos os setores, como determinado pela equação 5.5. No caso, a área de influência possui um raio de 50 km, pois a escala de dispersão é local, e é dividida em dez setores com incrementos de 5 km.

$$\Delta R = \sum \Delta r \cdot pop \quad (5.5)$$

Sendo,

- ΔR o risco incremental coletivo;
- Δr o risco incremental individual;
- pop a população que habita cada setor da área de influência.

É importante ressaltar que nessa análise considera-se que toda a população na área de influência recebe a mesma dose de poluentes. Para calcular o risco coletivo faz-se necessário determinar a dimensão da população que reside em cada setor da área de influência. Segundo Tolmasquim et al. (2000), para estudos de planejamento a longo prazo podem ser utilizadas três faixas de densidade demográfica, como descrito a seguir:

- Faixa de alta densidade: empreendimentos situados em regiões de alta densidade demográfica (área com mais de 1.000 habitantes por km²);
- Faixa de média densidade: empreendimentos situados em regiões de média densidade demográfica (área com mais de 100 habitantes por km²);
- Faixa de baixa densidade: empreendimentos situados em regiões de baixa densidade demográfica (área com menos de 20 habitantes por km²).

A Tabela 5.8 contém os resultados dos riscos coletivos de morbidade para as três faixas de densidade demográfica determinados após a aplicação da equação 5.5.

Tabela 5.8 – Número de doenças associado aos empreendimentos de geração para as três faixas de densidade demográfica* [número de casos de doenças / kWh].

Empreendimento	Número de doenças associado aos empreendimentos de geração para as três faixas de densidade demográfica [número de doenças/kWh].		
	Alta	Média	Baixa
UHE	0	0	0
PCH	0	0	0
UTBC – TCE 40	0,503	0,050	0,010
UTBC – TCE 60	0,133	0,013	0,003
UTBC – TCE 80	0,127	0,013	0,002
UTBC – BIG/GT	0,051	0,005	0,001
CE	0	0	0
UTGN – CC	0	0	0
UTN	0	0	0
UTC CN Conv	68,8	6,88	1,38
UTC CI Conv	7,62	0,762	0,152
UTO – Conv	0,024	0,002	0,0005
UTD – Conv	0,024	0,002	0,0005

* valores multiplicados por 10^{-3} .

O passo seguinte é determinar o número de óbitos por kWh associado a cada tecnologia de geração de energia elétrica, para as três faixas de densidade demográfica. Assim, é necessário determinar a relação entre os casos de doença respiratória, que nesse caso é considerado igual ao número de internações devido às doenças respiratórias, e o número de óbitos correspondente. Esses dados são obtidos do DataSUS (2009) e essa relação é igual a 0,02623. Finalmente, a Tabela 5.9 apresenta o resultado obtido [número de óbitos/kWh]. É importante ressaltar que os valores fornecidos pelo DataSUS já incluem informações do Sistema de Informação Hospitalar (SIH) e do Sistema de Informação Ambulatorial (SIA) contendo, assim, os dados relativos às internações em hospitais particulares e às despesas ambulatoriais. Porém, essas informações acrescentam limitações ao processo de valoração, pois não representam exatamente o total de pessoas com doenças respiratórias e de óbitos, já que muitas não procuram atendimento médico.

Tabela 5.9 – Número de óbitos associados aos empreendimentos de geração de energia elétrica para as três faixas de densidade demográfica. [número de óbitos / kWh].

Empreendimento	Número de óbitos por empreendimento de geração para as três faixas de densidade demográfica [número de óbitos/kWh]		
	Alta	Média	Baixa
UHE	0	0	0
PCH	0	0	0
UTBC – TCE 40	1,32	0,132	0,026
UTBC – TCE 60	0,35	0,035	0,007
UTBC – TCE 80	0,33	0,033	0,007
UTBC – BIG/GT	0,13	0,013	0,003
CE	0	0	0
UTGN – CC	0	0	0
UTN	0	0	0
UTC CN Conv	180,6	18,06	3,6
UTC CI Conv	20	2	0,4
UTO – Conv	0,064	0,006	0,0013
UTD – Conv	0,064	0,006	0,0013

* valores multiplicados por 10^{-5} .

4. Custo – determinação do valor do impacto à saúde humana em termos econômicos

Determinação do valor econômico da mortalidade

A questão de valoração é uma tarefa muito delicada, em especial para o caso da valoração da vida humana, em que estão envolvidos valores éticos, morais e religiosos, sendo assim, difícil estabelecer uma equação ou determinar valores para tal. Logo, é importante dizer que são realizadas análises com base no valor da vida estatística e não no valor da vida de um determinado indivíduo. O valor da vida estatística pode ser conceituado como sendo o valor monetário relacionado a “*uma mudança incremental*

no risco de mortalidade, doença ou dano de um membro desconhecido de um grande grupo” [Reis (2001)]. A sociedade trabalha rotineiramente com este valor em atividades de seguro de vida, planos de saúde, segurança do trabalho entre outras.

A determinação do valor da vida estatística pode ser feita por meio de diferentes métodos. Um dos métodos utilizados é o do Capital Humano, em que se determina o valor da vida estatística por meio do Valor Presente da Produção Futura que é gerada pelo indivíduo que faleceu prematuramente [Tolmasquim et al. (2000) e Reis (2001)]. Outro método, discutido no EC (2005), é o *Value of Prevent Fatality*, em português, Custo de Prevenção. Nesse método são valorados os custos incorridos para se prevenir de mortes prematuras.

O método utilizado nesse trabalho para determinar o valor da vida estatística é o método de valoração de contingente, verificando diretamente a disposição a pagar da sociedade para reduzir os riscos de morte prematura. Segundo Seroa da Motta (2004), é possível utilizar valores de estudos anteriores adaptando a disposição a pagar de outras localidades para o Brasil. Esta técnica de adaptação de valores, denominada transferência de benefícios, envolve valores de renda per capita, expectativa de vida ao nascer, gastos com saúde e elasticidade renda da demanda.

Com base no valor da vida estatística da Europa, aplicando a técnica de transferência de benefícios, Seroa da Motta (2004) determinou o valor da vida estatística no Brasil como sendo igual a US\$800.258. Usando a conversão disponibilizada no *site* do Banco Central, foi determinado o valor correspondente em Reais em 24 de janeiro de 2009.

Valor da vida estatística	R\$1.885.407,00
----------------------------------	-----------------

Determinação do valor econômico da morbidade

O valor econômico da morbidade é determinado por meio do método do custo de doença, que pode ser entendido como um caso especial do método do custo de

reposição. Nesse método são determinados os custos incorridos com tratamentos, internação, medicamentos, entre outros bens e serviços, no intuito de remediar os efeitos na saúde causados pela inalação de material particulado. O método de cálculo do custo de doença – CD é descrito a seguir [Reis (2001)]:

MÉTODO DO CUSTO DE DOENÇA:

$$CD_{Total} = \text{Gastos com Tratamento} + \text{ValordosDiasPerdidosdeTrabalho};$$

- *Gastos com Tratamento = Gastos com Internações + Gastos Ambulatoriais;*
- *Gastos com Internações = n° internações * Média de Permanência * Valor Médio Internações;*
- *ValordosDiasPerdidosdeTrabalho = (n° internações com idade acima de 14 anos * Média de Permanência) * (Renda Média Mensal $\div$ 30);*

$$CD_{\text{por caso de doença (Internação)}} = CD_{Total} / n^{\circ} \text{internações.}$$

Nas expressões acima, em geral, a idade de 14 anos é utilizada no cálculo do valor de dias perdidos de trabalho, pois a partir desta idade o número de indivíduos ativos é maior que o número de indivíduos inativos [Reis (2001)]. A Tabela 5.10 apresenta todos os dados necessários para o cálculo do custo de doença, obtidos nas referências DataSUS (2009) e IBGE (2009). Utilizam-se dados estatísticos do ano de 2006, por serem estes os mais recentes dados encontrados (consulta realizada em 25 de janeiro de 2009).

Tabela 5.10 – Dados necessários para o cálculo do custo de doença.

Nº de internações por doenças respiratórias		Média de permanência (dias)	Valor Médio Internações (R\$)	Nº de óbitos	Gastos Ambulatoriais (R\$)	Renda Média Mensal (R\$)
Até 14 anos	> de 14 anos					
1.024.400*	514.663*	5,8	617,47	40.372*	10.300.600.000*	883
85.366,7**	42.888,6**	5,8	617,47	3.364**	858.384**	883

* Dados anuais de 2006.

** Dados mensais de 2006.

Com base nos dados apresentados na Tabela 5.10 e no método do custo de doença apresentado anteriormente, calcula-se os valores necessários para a completa determinação do custo de doença, como apresentado na Tabela 5.11.

Tabela 5.11 – Valores obtidos pela aplicação do método do custo de doença.

Nº de internações	Valor dos dias perdidos	Gastos com Internações	CD total	Nº de óbitos por doença	CD por caso de doença (R\$)
128.255**	7.321.660**	459.323.000**	467.503.000**	0,02623	3.645,11

** Dados mensais de 2006.

O método do custo de doença, como pode ser observado, não contabiliza gastos preventivos, dores, sofrimentos, perdas associadas aos sintomas e oportunidade de lazer. Assim, a verdadeira disposição a pagar dos indivíduos para diminuir os riscos de doença respiratória e, logo, o valor mais correto da morbidade a ser utilizada, é maior que o valor obtido pela aplicação do método do custo de doença. Dessa forma, faz-se necessário aplicar um fator de correção ao valor encontrado na Tabela 5.11. De acordo Seroa da Motta et al. (1998), a relação entre a DAP e o CD está entre 1,3 e 2,4. Utilizando o valor médio de 1,85, a verdadeira disposição a pagar para reduzir os riscos de doenças respiratórias é de R\$6.743,45.

Valor da morbidade	R\$6.743,45
---------------------------	-------------

Determinação do valor econômico do impacto à saúde humana ocasionado pela emissão de material particulado

A última etapa é valorar o impacto à saúde humana ocasionado pela emissão de material particulado. Com base no risco coletivo da morbidade, Tabela 5.8, no risco coletivo da mortalidade, Tabela 5.9, no valor da vida estatística e no valor da morbidade calcula-se o Valor do Impacto à Saúde Humana (VI_SH) ocasionado pela emissão de material particulado por kWh para cada tecnologia de geração de energia elétrica, para as três faixas de densidade demográfica, como mostra a equação 5.6. A Tabela 5.12 apresenta os resultados obtidos.

$$VI_SH = (Valor\ da\ Morbidade * Risco\ Coletivo\ Morbidade) + (Valor\ da\ Vida\ Estatística * Risco\ Coletivo\ Mortalidade) \quad (5.6)$$

Tabela 5.12 – Valor do impacto à saúde humana ocasionado pela emissão de material particulado por kWh [R\$/kWh].

Empreendimento	Valor do impacto à saúde humana ocasionado pela emissão de material particulado por kWh [R\$/kWh].		
	Alta	Média	Baixa
UHE	0	0	0
PCH	0	0	0
UTBC – TCE 40	28,3	2,83	0,57
UTBC – TCE 60	7,4	0,74	0,15
UTBC – TCE 80	7,1	0,71	0,14
UTBC – BIG/GT	2,9	0,29	0,06
CE	0	0	0
UTGN – CC	0	0	0
UTN	0	0	0
UTC CN Conv	3.869	386,9	77,4
UTC CI Conv	428	42,8	8,6
UTO – Conv	1,4	0,14	0,03
UTD – Conv	1,4	0,14	0,03

5.2.5. Valoração do impacto às mudanças climáticas ocasionado pela emissão de gases de efeito estufa

1. Emissões do poluente – emissões de gases de efeito estufa para cada fonte de geração de energia elétrica

Para determinar os valores das emissões de gases de efeito estufa em g/kWh associados às usinas termelétricas, foi utilizado como referência o PNE V.6 (2008). Nas usinas termelétricas a base de combustível fóssil, as emissões de GEE ocorrem devido à queima desses combustíveis no processo de geração de energia. Nas hidrelétricas, as

emissões de GEE ocorrendo devido a dois fatores: (i) pela decomposição aeróbica e anaeróbica da biomassa pré-existente na área alagada e da matéria orgânica que passa a ser depositada e formada devido à alteração do fluxo do rio; (ii) pela reação química de certos materiais inorgânicos que consomem O_2 e liberam CO_2 . Essas emissões estão diretamente relacionadas à área e à idade do reservatório. Com relação à idade, considera-se um período de dez anos de emissão, ou seja, empreendimentos com mais de dez anos não emitem GEE. Com relação à área, quanto maior a área maior serão as emissões. Para estimar as emissões de GEE provenientes dos reservatórios das hidrelétricas, utilizou-se as relações desenvolvidas pelo IPCC e apresentadas pelo PDE (2007), reproduzidas nas equações 5.7 e 5.8.

Para emissões de CO_2 :

$$EF_{CO_2} = P * E_{CO_2 \text{ dif}} * A_{Total} * f_A * 10^{-6} \quad (5.7)$$

Sendo,

- EF_{CO_2} as emissões totais de CO_2 da área convertida à área alagada, [Gg_ CO_2 /ano];
- P o número de dias sem gelo durante o ano, [dias/ano];
- $E_{CO_2 \text{ dif}}$ o coeficiente de emissões difusivas diárias, [kg_ CO_2 /ha.dia];
- A_{Total} a área total do reservatório, [ha];
- f_A a fração da área total do reservatório que foi alagada nos últimos 10 anos.

Para emissões de CH_4 :

$$EF_{CH_4} = P * E_{CH_4 \text{ dif}} * A_{Total} * 10^{-6} \quad (5.8)$$

Sendo,

- EF_{CH_4} as emissões totais de CH_4 da área convertida à área alagada, [Gg_ CH_4 /ano];

- P o número de dias sem gelo durante o ano, [dias/ano];
- $E_{CH_4 dif}$ o coeficiente de emissões difusivas diárias, [kg CH₄/ha.dia];
- A_{Total} a área total do reservatório, [ha];

Os valores utilizados são os fornecidos pelo PDE (2007): P igual a 365 dias; f_A foi considerado igual a 1; $E_{CH_4 dif}$ igual a 0,630 e $E_{CO_2 dif}$ igual a 44,9.

Com a finalidade de obter as emissões por MW instalado, em vez de utilizar a área total, utilizam-se valores típicos da relação da área do reservatório em km² e da potência instalada em MW. De acordo com o PDE (2007), prevê-se para os novos empreendimentos hidrelétricos reservatórios de menor área para atender as exigências ambientais, possuindo assim uma baixa relação entre a área alagada e potência instalada. Portanto, é possível diferenciar as emissões de GEE das usinas em operação, das emissões das novas usinas indicadas pelo PDE para entrarem em operação nos próximos anos. As usinas em operação possuem uma relação média de área alagada por potência instalada de 0,51 km²/MW e, para os novos empreendimentos, essa relação reduz-se para 0,27 km²/MW. Nesse trabalho, esse novo valor foi utilizado para os empreendimentos que entram em operação a partir do ano de 2011. As pequenas centrais hidrelétricas, por possuírem pequenos reservatórios, não apresentam emissões relevantes de CO₂ e CH₄.

Os efeitos da emissão do CH₄ são indicados em relação às emissões de CO₂, obtendo, assim, as toneladas equivalentes de CO₂. Para determinar essa relação utiliza-se o valor do Potencial de Aquecimento Global (*GWP - Global Warming Potencial*), índice que relaciona o tempo de permanência na atmosfera do gás considerado e a sua eficiência de absorção da irradiação infravermelha, sendo o valor base o potencial do dióxido de carbono [Alves et al. (2008)]. O valor do *GWP* do gás metano é de 21.

As emissões relativas às termelétricas a biomassa são consideradas nulas, já que a biomassa é considerada um combustível renovável com balanço zero de emissão de

GEE¹⁹. A Tabela 5.13 apresenta os valores das emissões de gases de efeito estufa em g/kWh para cada tecnologia de geração de energia elétrica selecionada.

Tabela 5.13 – Os valores das emissões de GEE em g/kWh por empreendimento de geração de energia elétrica.

Empreendimento	Emissão de GEE [g/kWh]
UHE	1.082 ^{**}
UHE – Novas[*]	572,871 ^{**}
PCH	0
UTBC	0
CE	0
UTGN	438,00
UTN	0
UTCN - Conv	919
UTCI - Conv	865
UTO - Conv	675
UTD - Conv	675

* Empreendimentos novos → entre 2011 e 2016.

** Emissões em toneladas de GEE por MW instalado por ano.

É importante observar que, nas usinas hidrelétricas, as emissões ocorrem independentes da sua operação. Ou seja, independentemente de gerar energia elétrica ou não, os reservatórios emitem os GEE por um período de 10 anos. Já para as usinas termelétricas, ocorre o contrário, as emissões só acontecem apenas durante a operação da usina.

¹⁹ Balanço zero de emissões significa que todo o carbono emitido na queima foi absorvido no processo de plantação, dentro de um ciclo renovável.

2. Dispersão do poluente

Adota-se a hipótese de que os GEE permanecem na atmosfera tempo suficiente para se misturarem uniformemente em todo o globo terrestre. Assim, para realizar a sua valoração, não é necessário aplicar os modelos de dispersão de poluentes, como foi feito para os materiais particulados [EC (2005)].

3. Impacto (aplicação da função dose-resposta)

Segundo EC (2005), os impactos ambientais ocasionados pela emissão de GEE são extremamente complexos, diversos e globais, não havendo relações diretas como no caso dos materiais particulados (emissão de particulado – inalação – problemas respiratórios). Por esse motivo, ainda não foram estabelecidos coeficientes dose-resposta para relacionar diretamente o aumento da concentração de GEE na atmosfera com a ocorrência de determinado impacto ambiental. EC (2005) apresenta resultados de estudos que estão sendo realizados na tentativa de estimar as relações entre as alterações na temperatura do Planeta com a ocorrência de doenças, mortes e reduções no PIB mundial. Uma possibilidade para definir uma função dose-resposta seria buscar valorar os impactos na economia que ocorreriam caso fossem mantidos os atuais níveis de emissões de GEE e as temperaturas médias fossem alteradas. Por exemplo, poder-se-ia valorar os prejuízos econômicos da produção agrícola decorrentes da falta de chuva em determinada região. Contudo, os resultados desses estudos apresentam, ainda, grandes incertezas associadas às estimativas dos impactos e às consequências destes nas atividades econômicas e sociais, não sendo aconselhável utilizar seus resultados por enquanto [EC (2005)].

4. Custo – determinação do valor do impacto às mudanças climáticas em termos econômicos

Determinação do valor econômico das emissões de GEE

Devido à dificuldade de identificar um impacto físico para realizar a valoração, EC (2005) recomenda a utilização de métodos de valoração econômica baseados nas preferências reveladas nas negociações políticas, denominado *Evaluation of Policy Decision*. Assim se seleciona a negociação mais relevante no assunto para, então,

avaliar os custos associados. EC (2005) recomenda utilizar os custos de redução das emissões de GEE para se atingir as metas do Protocolo de Kyoto como valor econômico das emissões de GEE. As melhores estimativas para esse custos estão entre €5 a €20 por tonelada de CO_{2eq}, sendo recomendado pelo EC (2005) o valor de €19/tCO_{2eq}.

Valor das emissões de GEE	€19/tCO _{2eq} .
----------------------------------	--------------------------

Determinação do valor econômico do impacto às mudanças climáticas ocasionado pela emissão de GEE

A última etapa é valorar o impacto às mudanças climáticas ocasionado pela emissão de GEE. Para tanto, deve-se multiplicar o montante de emissão apresentado na Tabela 5.13 pelo valor das toneladas de CO_{2eq} determinado na seção acima, como mostra a equação 5.9. A Tabela 5.14 apresenta os resultados obtidos.

$$VI_{MC} = 19(\text{Euros} / tCO_2) * \text{Emissões}_t CO_{2equivalentes} / kWh \quad (5.9)$$

Tabela 5.14 – Valor do impacto às mudanças climáticas ocasionado pela emissão de GEE por kWh e por MW instalado [R\$/kWh ou R\$/MW].

Empreendimento	Valor do impacto às mudanças climáticas ocasionado pela emissão de GEE por MW instalado [R\$/MW]**.	Valor do impacto às mudanças climáticas ocasionado pela emissão de GEE por kWh [R\$/kWh]**.
UHE	62.879***	-
UHE – Novas*	33.261***	-
PCH	-	0
UTBC	-	0
CE	-	0
UTGN	-	0.025
UTN	-	0
UTCN - Conv	-	0.053
UTCI - Conv	-	0.050
UTO - Conv	-	0.039
UTD - Conv	-	0.039

* Empreendimentos novos → entre 2011 e 2016.

** Usando a conversão disponibilizada no site do Banco Central, foi determinado o valor das emissões das tCO₂ em Reais (R\$58,06) para a data de 24 de janeiro de 2009.

*** Valores em R\$ por MW instalado por ano.

5.3. Considerações finais

Após a aplicação da metodologia de valoração dos impactos ambientais foi obtido o custo do serviço proporcionado pela natureza perdido pela degradação ambiental, relativo à emissão de material particulado e relativo às mudanças climáticas, por kWh gerado para cada tecnologia presente na matriz elétrica nacional. Por meio da análise dos valores apresentados nas Tabelas 5.12 e 5.14 é possível identificar as tecnologias que representam maiores ameaças ambientais, e classificá-las do ponto de vista dos seus impactos ambientais.

Com relação aos impactos à saúde humana ocasionados pela emissão de material particulado, a Tabela 5.15, a seguir, apresenta a classificação dos empreendimentos, em ordem decrescente do impacto causado.

Tabela 5.15 – Classificação dos empreendimentos do ponto de vista dos impactos à saúde humana ocasionado pela emissão de material particulado.
Ordem decrescente do impacto causado.

Classificação dos empreendimentos
UTC CN Conv
UTC CI Conv
UTBC – TCE 40
UTBC – TCE 60
UTBC – TCE 80
UTBC – BIG/GT
UTO – Conv
UTD – Conv
UTN / UTGN – CC / UHE / PCH / CE

As usinas termelétricas a carvão mineral nacional apresentam o maior nível de impacto, seguido das usinas a carvão mineral internacional. De acordo com o PNE V.6 (2008), a implantação de novas tecnologias mais eficientes proporcionará a redução dos níveis de emissão. Na terceira colocação estão as usinas termelétricas a bagaço de cana, sendo que as novas tecnologias apresentam, também, reduções nos níveis de emissão de material particulado. As usinas termelétricas a óleo combustível e a óleo diesel apresentam os menores níveis de impacto à saúde humana. Os demais empreendimentos, indicados na última linha da Tabela 5.15, apresentam impacto nulo.

Com relação aos impactos às mudanças climáticas ocasionados pela emissão de GEE, a Tabela 5.16, abaixo, apresenta a classificação dos empreendimentos.

Tabela 5.16 – Classificação dos empreendimentos do ponto de vista dos impactos às mudanças climáticas ocasionado pela emissão de GEE.

Ordem decrescente do impacto causado.

Classificação dos empreendimentos
UTC CN Conv
UTC CI Conv
UTO – Conv
UTD – Conv
UTGN – CC
UHE
UTN / UTBC – TCE 40 / UTBC – TCE 60 / UTBC – TCE 80 / UTBC – BIG/GT / PCH / CE

Novamente, as usinas termelétricas a carvão mineral nacional apresentam o maior nível de impacto, seguido das usinas a carvão mineral internacional. De acordo com o PNE V.6 (2008), a implantação de novas tecnologias mais eficientes proporcionará a redução dos níveis de emissão. Em terceira colocação estão as usinas termelétricas a óleo combustível e a óleo diesel, seguido das usinas termelétricas a gás natural. Em última colocação estão os empreendimentos hidrelétricos, cujas emissões independem da operação da usina e ocorrem por um período médio de 10 anos. Os demais empreendimentos, indicados na última linha da Tabela 5.16, apresentam impacto nulo.

Após a valoração dos custos de cada fonte separadamente é preciso quantificar os custos dos impactos ambientais relativos à expansão da matriz elétrica nacional, para mapear a situação do Brasil com relação aos custos ambientais que seriam pagos pela sociedade caso o Plano Decenal de Expansão de Energia 2007/2016 seja efetivamente implementado. Ou seja, além de quantificar os custos de cada fonte é preciso avaliar a participação dessas fontes na expansão do sistema para assim avaliar quão impactante é a evolução da matriz elétrica nacional. Pelo resultado dessa análise é possível identificar

quais as fontes limpas com baixa participação na expansão que precisariam ser incentivadas, e quais as fontes poluidoras com alta participação que deveriam ser desestimuladas pelas políticas ambientais.

Capítulo 6

Os custos dos impactos ambientais relativos à expansão da matriz elétrica brasileira entre os anos de 2007 e 2016

6.1. A oferta futura de energia elétrica segundo o PDE 2007/2016

Discutiu-se no Capítulo 2, a importância da Empresa de Pesquisa Energética no planejamento do setor elétrico e como o PDE fornece a sinalização para orientar as ações e decisões relacionadas ao equacionamento do balanço estrutural entre as projeções de crescimento econômico e da necessária expansão da oferta, constituindo um dos principais instrumentos de planejamento no setor elétrico. O PDE é formulado anualmente e representa o documento oficial do Ministério de Minas e Energia contendo o estudo mais realista das expectativas da evolução da capacidade instalada de energia elétrica para os próximos dez anos. O PDE apresenta as alternativas cabíveis para compor o plano de oferta, contemplando o programa de obras para a expansão das infra-estruturas de oferta e de transporte dos energéticos contemplados nesse horizonte de planejamento. A idéia é contribuir para o equilíbrio entre as projeções de crescimento econômico do país, seus reflexos nos requisitos de energia e da necessária expansão da oferta, levando em conta as sinalizações dos estudos de longo prazo.

Pelos motivos destacados acima, a última publicação oficial do Plano Decenal de Expansão de Energia, PDE 2007/2016 [PDE (2007)], é utilizado neste trabalho como base da análise da evolução dos custos esperados dos impactos ambientais como consequência da implementação da capacidade instalada contemplada no Plano. A

evolução da capacidade instalada de acordo com o PDE 2007/2016 já foi apresentada no Capítulo 2 e é, novamente, apresentada na Figura 6.1.

Tipo	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Hidro	80.193	80.456	81.243	82.720	84.386	86.060	90.686	97.697	104.660	109.058
PCH	2.023	3.249	3.374	4.558	4.939	5.324	5.680	5.715	5.715	5.925
Biomassa	570	742	1.021	1.961	2.464	2.964	3.544	3.744	3.944	3.944
Eólica	208	320	320	320	320	320	320	320	320	320
Gás	9.300	9.983	10.061	10.377	12.277	12.947	13.897	13.897	13.897	13.897
Nuclear	2.007	2.007	2.007	2.007	2.007	2.007	2.007	3.357	3.357	3.357
Carvão	1.415	1.415	1.415	1.765	1.765	3.565	3.565	3.565	3.565	4.065
Óleo	1.311	1.311	1.743	1.743	1.775	1.775	1.775	1.775	1.775	1.775
Diesel	1.367	1.367	1.861	1.797	1.971	1.972	1.972	1.972	1.972	1.972
Gás Proc	0	0	0	0	490	490	490	490	490	490
Total	98.394	100.850	103.045	107.248	112.394	117.424	123.936	132.532	139.695	144.803

Figura 6.1 – Evolução da capacidade total instalada em MW [PDE (2007)].

Com base nos custos ambientais calculados no Capítulo 5 e nas projeções da capacidade instalada do PDE 2007/2016 é possível determinar a evolução dos custos ambientais referentes aos impactos ambientais que a sociedade brasileira enfrentaria nos anos de 2007 a 2016 caso o plano seja efetivamente implementado.

6.2. A metodologia de cálculo utilizada na valoração dos custos dos impactos ambientais relativos à expansão da matriz elétrica brasileira

Foram apresentados no Capítulo 5 os custos ambientais, por unidade de energia elétrica gerada, calculados para cada tipo de tecnologia de geração, relativos aos impactos à saúde humana e às mudanças climáticas. A partir desses valores foi determinado, neste trabalho, o custo referente à projeção de expansão fornecida pelo

PDE 2007/2016. A seguir é descrita a metodologia utilizada, implementada no programa MatLab, composta por 5 etapas.

1. Determinar a energia elétrica gerada anualmente para cada tipo de empreendimento

A energia elétrica gerada por ano por cada tipo de empreendimento foi determinada utilizando o fator de capacidade médio fornecido no PDE (2007), quando disponível, ou, caso contrário, pelos documentos: PNE V.3 (2008), PNE V.4 (2008), PNE V.5 (2008) e PNE V.7 (2008). Estes valores são apresentados na Tabela 6.1.

No caso das usinas hidrelétricas, as emissões de CO₂ e CH₄ não estão relacionadas com a energia elétrica gerada, por serem estas fixas dadas as características dos reservatórios e por durarem apenas dez anos após a construção do reservatório. A valoração dos seus custos ambientais será determinada com base nos incrementos anuais acumulados da potência instalada, em MW, a partir do ano de 2007. Ou seja, não serão consideradas as emissões dos reservatórios anteriores ao ano de 2007, mesmo aqueles que ainda possuem menos de dez anos de construção.

Tabela 6.1 – Fatores de capacidade por empreendimento de geração.

Empreendimento	Fator de capacidade
UHE	0,6
PCH	0,6
UTBC	0,5
CE	0,3
UTGN	0,65
UTN	0,85
UTC	0,6
UTO	0,3
UTD	0,3

2. Determinar as emissões de GEE anuais para cada tipo de empreendimento

A partir dos valores encontrados na etapa 1 (kWh/ano) e dos valores das emissões de CO_{2eq} por kWh apresentados na Tabela 5.13 do Capítulo 5, pode-se determinar as emissões de CO_{2eq}, em mega toneladas por ano, para cada tipo de empreendimento (MtCO_{2eq}/ano).

3. Determinar as emissões de material particulado anuais para cada tipo de empreendimento

A partir dos valores encontrados na etapa 1 (kWh/ano) e dos valores das emissões de material particulado por kWh apresentados na Tabela 5.4 do Capítulo 5, pode-se determinar as emissões de material particulado, em toneladas por ano, para cada tipo de empreendimento (tMP/ano).

4. Determinar os custos relativos aos impactos à saúde humana

A partir dos valores encontrados na etapa 1 (kWh/ano) e dos valores dos custos dos impactos à saúde humana, apresentados na Tabela 5.12 do Capítulo 5 (R\$/kWh), pode-se determinar os custos dos impactos à saúde humana (R\$/ano). Esse cálculo é feito para baixa, média e alta densidade populacional.

5. Determinar os custos relativos aos impactos às mudanças climáticas

A partir dos valores encontrados na etapa 1 (kWh/ano) e dos valores dos custos dos impactos às mudanças climáticas, apresentados na Tabela 5.14 do Capítulo 5 (R\$/KWh), pode-se determinar os custos dos impactos às mudanças climáticas (R\$/ano).

6.3. Os custos dos impactos ambientais relativos à expansão da matriz elétrica brasileira entre os anos de 2007 e 2016

A seguir são apresentados os resultados obtidos após aplicação dos passos descritos na seção 6.2.

1. Determinar a energia elétrica gerada anualmente para cada tipo de empreendimento

A Tabela 6.2 apresenta a energia elétrica gerada anualmente por cada tipo de empreendimento que compõem a matriz elétrica nacional, em kWh por ano.

Tabela 6.2 – Energia elétrica gerada anualmente por cada tipo de empreendimento que compõem a matriz elétrica nacional [kWh-ano] ^{*}.

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
UHE	6514 ^{**}	6777 ^{**}	7564 ^{**}	9041 ^{**}	10707 ^{**}	12381 ^{**}	17007 ^{**}	24018 ^{**}	30981 ^{**}	35579 ^{**}
PCH	1.063,3	1.707,7	1.773,4	2.395,7	2.595,9	2.798,3	2.985,4	3.003,8	3.003,8	3.114,2
UTBC	249,7	325,0	447,2	858,9	1.079,2	1.298,2	1.552,3	1.639,9	1.7275	1.7275
CE	54,7	84,1	84,1	84,1	84,1	84,1	84,1	84,1	84,1	84,1
UTGN	5.295,4	5.684,3	5.728,7	5.908,7	6.990,5	7.372,0	7.913,0	7.913,0	7.913,0	7.913,0
UTN	1.494,4	1.494,4	1.494,4	1.494,4	1.494,4	1.494,4	1.494,4	2.499,6	2.499,6	2.499,6
UTC	743,7	743,7	743,7	927,7	927,7	1.873,8	1.873,8	1.873,8	1.873,8	2.136,6
UTO	344,5	344,5	458,1	458,1	466,5	466,5	466,5	466,5	466,5	466,5
UTD	359,2	359,2	489,1	472,3	518,0	518,2	518,2	518,2	518,2	518,2

^{*} valores multiplicados por 10⁷.

^{**} incrementos acumulados da potência instalada em MW das hidrelétricas a partir do ano de 2007.

É importante destacar que as usinas termelétricas a bagaço de cana podem ser implementadas por quatro diferentes tecnologias: TCE – 40, TCE – 60, TCE – 80 e BIG/GT. Os empreendimentos das usinas termelétricas a carvão mineral podem ser implementados por duas diferentes tecnologias: carvão nacional e carvão internacional. Portanto, são todas elas consideradas na análise. Entretanto, ao se analisar os efeitos de todos os empreendimentos em conjunto, é preciso selecionar apenas uma tecnologia para cada tipo de empreendimento.

2. Determinar as emissões de GEE anuais para cada tipo de empreendimento

Nesta seção, com o intuito de facilitar a visualização, os resultados obtidos são apresentados na Tabela 6.3 e também no Gráfico 6.1.

Tabela 6.3 – Emissões de CO_{2eq} em Mt por ano para os empreendimentos de geração de energia elétrica listados na Tabela 5.13 no Capítulo 5.

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
UHE	7,05	7,3	8,2	9,8	11,6	7,1	9,7	13,8	17,7	20,4
PCH	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UTBC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UTGN	23,2	24,9	25,1	25,9	30,6	32,3	34,7	34,7	34,7	34,7
UTN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UTCN	6,8	6,8	6,8	8,5	8,5	17,2	17,2	17,2	17,2	19,6
UTCI	6,4	6,4	6,4	8,02	8,02	16,2	16,2	16,2	16,2	18,5
UTO	2,3	2,3	3,1	3,1	3,15	3,15	3,15	3,15	3,15	3,15
UTD	2,4	2,4	3,3	3,2	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5

Como pode ser observado no Gráfico 6.1, as usinas termelétricas a gás natural apresentam os maiores níveis de emissão ao longo dos dez anos. Ao final de 2016 serão emitidos, considerando que as usinas termelétricas são a carvão nacional, um montante de 81,32MtCO_{2eq}. As PCH, UTBC, CE e UTN apresentam emissões nulas de GEE.

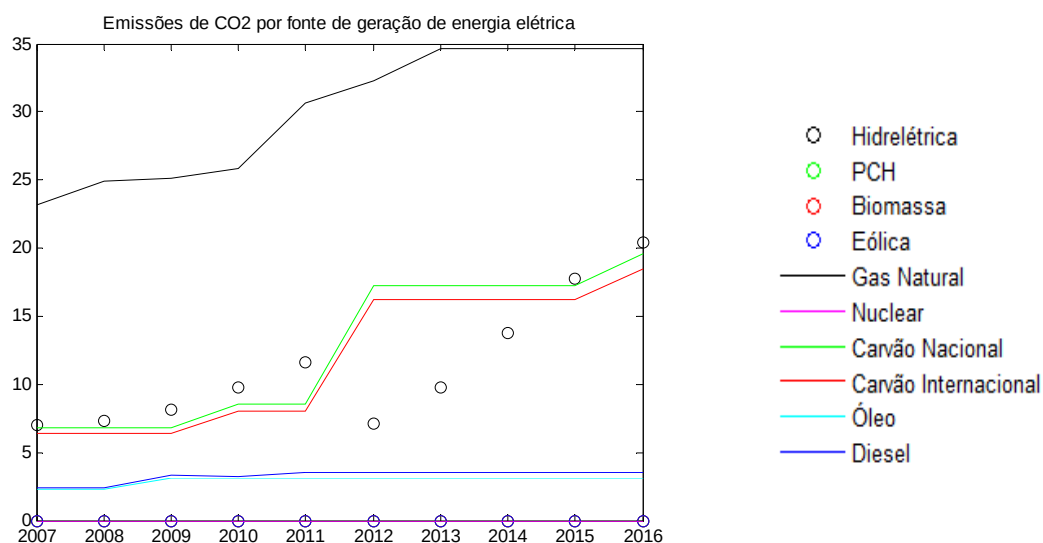


Gráfico 6.1 – Emissões de CO₂eq para cada empreendimento de geração [Mt por ano].

3. Determinar as emissões de material particulado para cada tipo de empreendimento

A Tabela 6.4 apresenta as emissões de material particulado, em toneladas por ano, para os empreendimentos de geração de energia elétrica listados na Tabela 5.4 no Capítulo 5. Ainda, os mesmos resultados são apresentados no Gráfico 6.2.

Tabela 6.4 – Emissões de material particulado em toneladas por ano para os empreendimentos de geração de energia elétrica listados na Tabela 5.4 no Capítulo 5*.

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
UHE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PCH	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TCE 40	0,46	0,60	0,83	1,6	2,01	2,41	2,89	3,05	3,21	3,21
TCE 60	0,12	0,16	0,22	0,42	0,53	0,64	0,76	0,80	0,85	0,85
TCE 80	0,12	0,15	0,21	0,40	0,51	0,61	0,73	0,77	0,81	0,81
BIGGT	0,05	0,06	0,08	0,16	0,21	0,25	0,29	0,31	0,33	0,33
CE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UTGN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UTN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UTCCN	189,3	189,3	189,3	236,1	236,1	476,9	476,9	476,9	476,9	543,8
UTCCI	20,94	20,94	20,94	26,11	26,11	52,75	52,75	52,75	52,75	60,14
UTO	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
UTD	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05

* valores multiplicados por 10⁴.

Como pode ser observado no Gráfico 6.2, as usinas termelétricas a carvão mineral, nacional e importado, apresentam os maiores níveis de emissão ao longo dos dez anos. Ao final de 2016 serão emitidos, considerando que as usinas termelétricas a bagaço de cana possuem a tecnologia TCE – 40 e que as usinas termelétricas são a carvão mineral nacional, um montante de 547,1tMP. As UHE, PCH, CE, UTGN e UTN apresentam emissões nulas de MP.

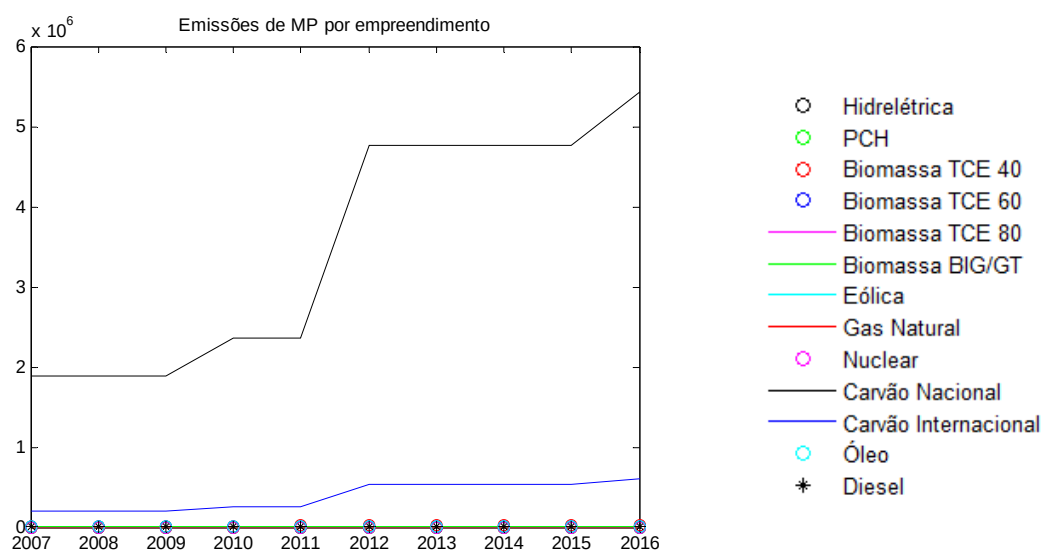


Gráfico 6.2 – Emissões de MP para cada empreendimento de geração [t por ano].

4. Determinar os custos relativos aos impactos à saúde humana

Baixa densidade demográfica

A Tabela 6.5 apresenta os custos relativos aos impactos à saúde humana para baixa densidade demográfica em R\$/ano. Ainda, os mesmos resultados são apresentados no Gráfico 6.3.

Tabela 6.5 – Os custos relativos aos impactos à saúde humana para baixa densidade demográfica em milhões de Reais por ano.

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
UHE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PCH	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TCE 40	1.400	1.800	2.500	4.900	6.100	7.300	8.800	9.300	9.800	9.800
TCE 60	400	500	700	1.300	1.600	1.900	2.300	2.400	2.600	2.600
TCE 80	400	500	600	1.200	1.500	1.900	2.200	2.300	2.500	2.500
BIGGT	100	200	300	500	600	700	900	900	1.000	1.000
CE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UTGN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UTN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UTCCN	575.500	575.500	575.500	717.900	717.900	145.000	145.000	145.000	145.000	165.330
UTCCI	63.700	63.700	63.700	79.400	79.400	160.400	160.400	160.400	160.400	182.900
UTO	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
UTD	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Como pode ser observado no Gráfico 6.3, as usinas termelétricas a carvão mineral, nacional e importado, apresentam os maiores custos ambientais ao longo dos dez anos. Ao final de 2016 haverá um custo, considerando as usinas termelétricas a bagaço de cana com a tecnologia TCE – 40 e as usinas termelétricas a carvão mineral nacional, de aproximadamente 175.330 milhões de Reais. As UHE, PCH, UTGN, CE e UTN apresentam custos ambientais nulos.

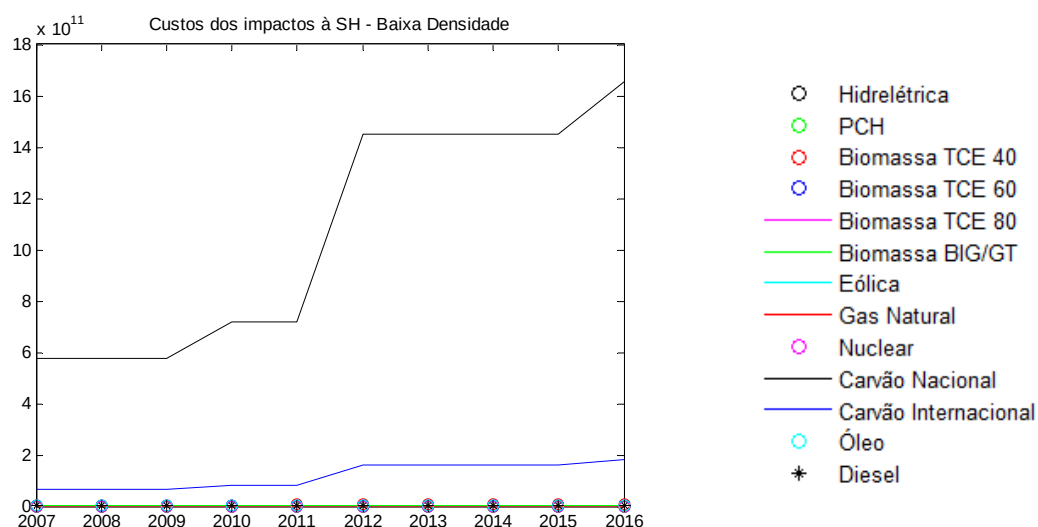


Gráfico 6.3 – Os custos relativos aos impactos à saúde humana para baixa densidade demográfica em R\$/ano.

Para melhor visualização das demais curvas de emissão, o Gráfico 6.4 apresenta os custos dos impactos à saúde humana para baixa densidade demográfica em R\$/ano desconsiderando os custos das usinas termelétricas a carvão mineral nacional e importado.

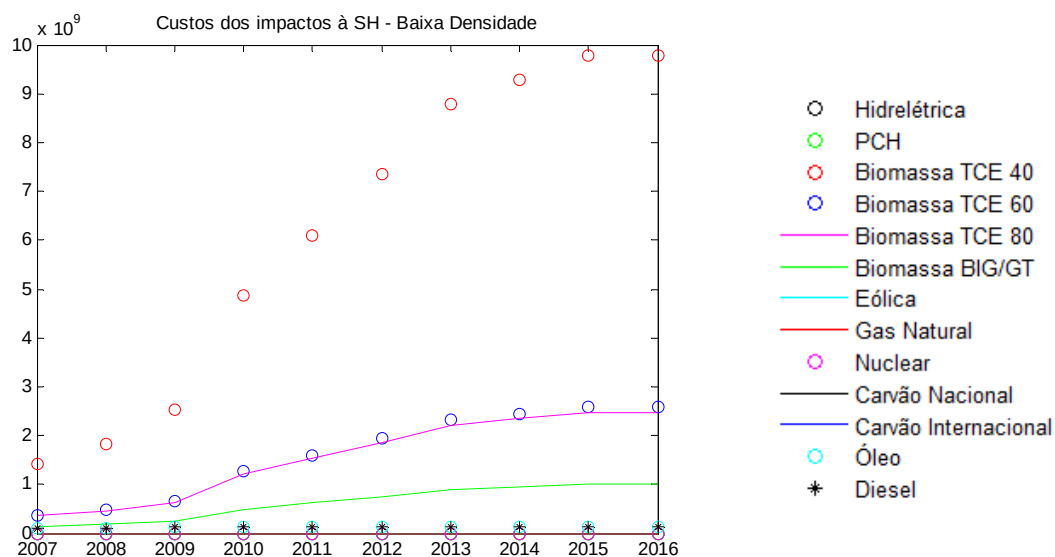


Gráfico 6.4 – Os custos relativos aos impactos à saúde humana para baixa densidade demográfica, sem representação os custos do carvão mineral nacional e importado.

Média densidade demográfica:

A Tabela 6.6 apresenta os custos relativos aos impactos à saúde humana para média densidade demográfica em R\$/ano. Ainda, os mesmos resultados são apresentados no Gráfico 6.5.

Tabela 6.6 – Os custos relativos aos impactos à saúde humana para média densidade demográfica em milhões de Reais por ano.

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
UHE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PCH	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TCE 40	7.060	9.190	12.645	24.288	30.518	36.710	43.894	46.371	48.848	48.848
TCE 60	1.860	2.421	3.331	6.398	8.040	9.671	11.563	12.216	12.869	12.869
TCE 80	1.784	2.322	3.195	6.137	7.711	9.276	11.091	11.717	12.343	12.343
BIGGT	721	939	1.292	2.481	3.117	3.750	4.484	4.737	4.990	4.990
CE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UTGN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UTN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UTCCN*	2.877,5	2.877,5	2.877,5	3.589,3	3.589,3	7.249,8	7.249,8	7.249,8	7.249,8	8.266,6
UTCCI	318.300	318.300	318.300	397.000	397.000	801.900	801.900	801.900	801.900	914.400
UTO	500	500	600	600	600	600	600	600	600	600
UTD	500	500	700	600	700	700	700	700	700	700

* valores multiplicados por 10³.

Como pode ser observado no Gráfico 6.5, as usinas termelétricas a carvão mineral, nacional e importado, apresentam os maiores custos ambientais ao longo dos dez anos. Ao final de 2016 haverá um custo, considerando as usinas termelétricas a bagaço de cana com a tecnologia TCE – 40 e as usinas termelétricas a carvão mineral nacional, de aproximadamente 8.316.700 milhões de Reais. As UHE, PCH, UTGN, CE e UTN apresentam custos ambientais nulos.

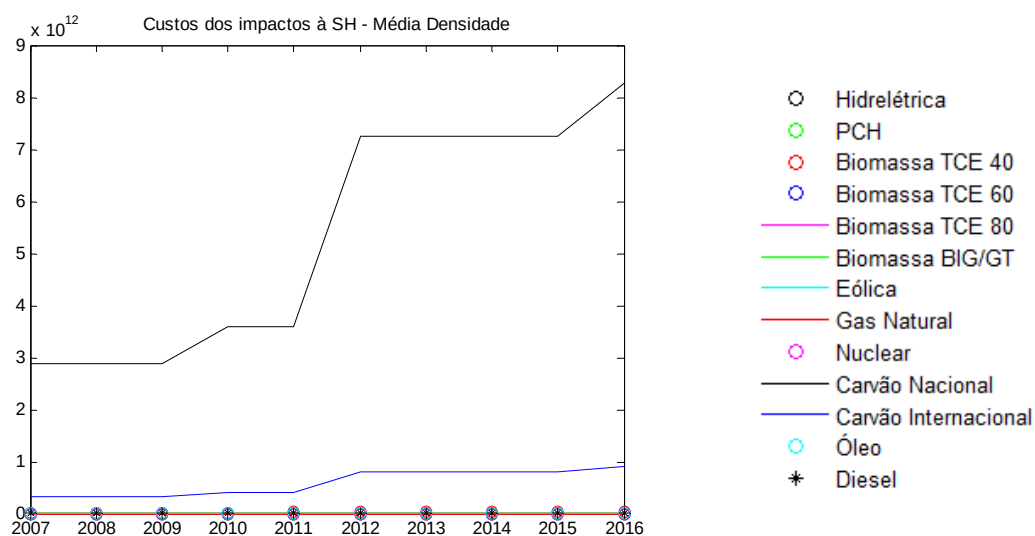


Gráfico 6.5 – Os custos relativos aos impactos à saúde humana para média densidade demográfica em R\$/ano.

Para melhor visualização das demais curvas de emissão, o Gráfico 6.6 apresenta os custos dos impactos à saúde humana para média densidade demográfica em R\$/ano desconsiderando os custos das usinas termelétricas a carvão mineral nacional e importado.

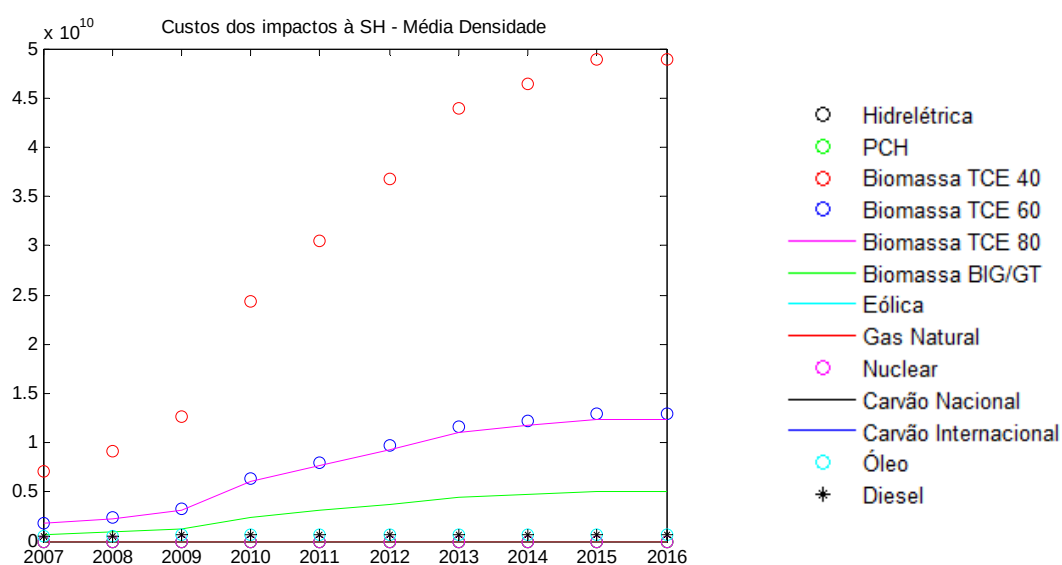


Gráfico 6.6 – Os custos relativos aos impactos à saúde humana para média densidade demográfica, sem representação dos custos do carvão mineral nacional e importado.

Alta densidade demográfica:

A Tabela 6.7 apresenta os custos relativos aos impactos à saúde humana para alta densidade demográfica em R\$/ano. Ainda, os mesmos resultados são apresentados no Gráfico 6.7.

Tabela 6.7 – Os custos relativos aos impactos à saúde humana para alta densidade demográfica em milhões de Reais por ano.

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
UHE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PCH	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TCE 40	71.000	92.000	126.00	243.00	305.00	367.000	439.000	464.000	488.000	488.000
TCE 60	19.000	24.000	33.000	64.000	80.000	97.000	116.000	122.000	129.000	129.000
TCE 80	18.000	23.000	32.000	61.000	77.000	93.000	111.000	117.000	123.000	123.000
BIGGT	7.000	9.000	13.000	25.000	31.000	37.000	45.000	47.000	50.000	50.000
CE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UTGN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UTN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UTCCN*	28.775	28.775	28.775	35.893	35.893	72.498	72.498	72.498	72.498	82.666
UTCCI*	3.183	3.183	3.183	3.970	3.970	8.019	8.019	8.019	8.019	9.144
UTO	5000	5000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000
UTD	5000	5000	7000	6000	7000	7000	7000	7000	7000	7000

* valores multiplicados por 10³.

Como pode ser observado no Gráfico 6.7, as usinas termelétricas a carvão mineral, nacional e importado, apresentam os maiores custos ambientais ao longo dos dez anos. Ao final de 2016 haverá um custo, considerando as usinas termelétricas a bagaço de cana com a tecnologia TCE – 40 e as usinas termelétricas a carvão mineral nacional, de aproximadamente 83.167.000 milhões de Reais. As UHE, PCH, UTGN, CE e UTN apresentam custos ambientais nulos.

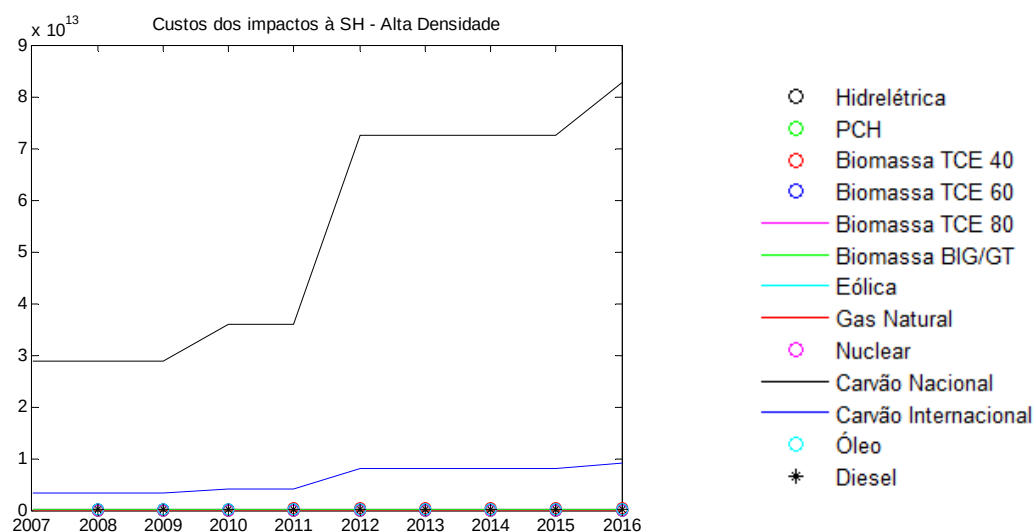


Gráfico 6.7 – Os custos relativos aos impactos à saúde humana para alta densidade demográfica em R\$/ano.

Para melhor visualização das demais curvas de emissão, o Gráfico 6.8 apresenta os custos dos impactos à saúde humana para alta densidade demográfica em R\$/ano desconsiderando os custos das usinas termelétricas a carvão mineral nacional e importado.

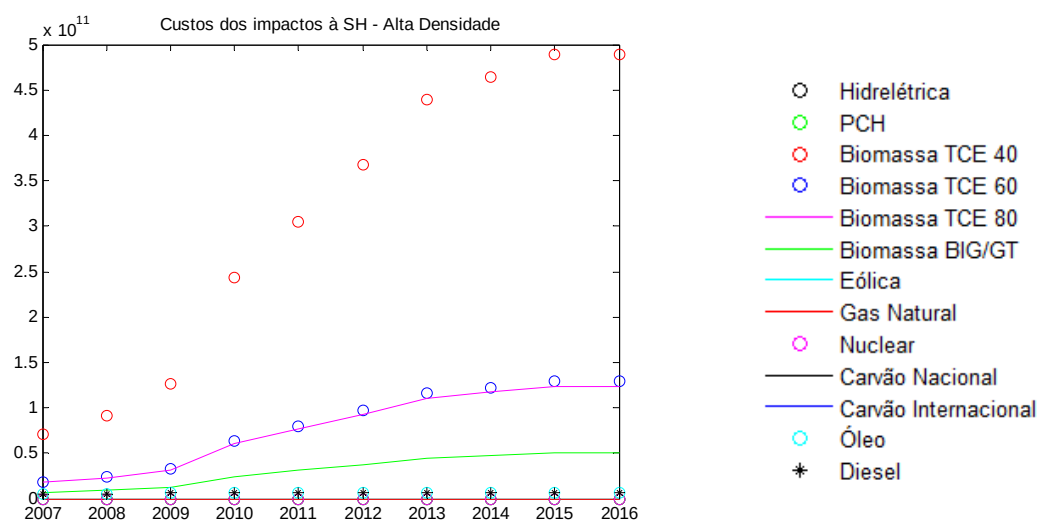


Gráfico 6.8 – Os custos relativos aos impactos à saúde humana para alta densidade demográfica, sem representação dos custos do carvão mineral nacional e importado.

5. Determinar os custos relativos aos impactos às mudanças climáticas:

A Tabela 6.8 apresenta os custos relativos aos impactos ambientais às mudanças climáticas em R\$/ano. Ainda, os mesmos resultados são apresentados no Gráfico 6.9.

Tabela 6.8 – Os custos relativos aos impactos às mudanças climáticas em milhões de Reais por ano.

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
UHE	409,6	426,1	475,6	568,5	673,2	411,8	565,7	798,9	1.030,5	1.183,4
PCH	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UTBC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UTGN	1346,6	1.445,5	1.456,8	1.502,6	1.777,7	1.874,7	2.012,3	2.012,3	2.012,3	2.012,3
UTN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UTCN	396,8	396,8	396,8	495,0	495,0	999,8	999,8	999,8	999,8	1.140
UTCI	373,5	373,5	373,5	465,9	465,9	941,0	941,0	941,0	941,0	1.073
UTO	135,0	135,0	179,5	179,5	182,8	182,8	182,8	182,8	182,8	182,8
UTD	140,8	140,8	191,7	185,1	203,0	203,1	203,1	203,1	203,1	203,1

Como pode ser observado no Gráfico 6.9, as usinas termelétricas a gás natural apresentam os maiores custos ambientais ao longo dos dez anos. Ao final de 2016 haverá um custo, considerando as usinas termelétricas a carvão mineral nacional, de aproximadamente 4.722 milhões de Reais. Ou seja, os custos praticamente dobram em 10 anos. As PCH, UTBC, CE e UTN apresentam custos ambientais nulos.

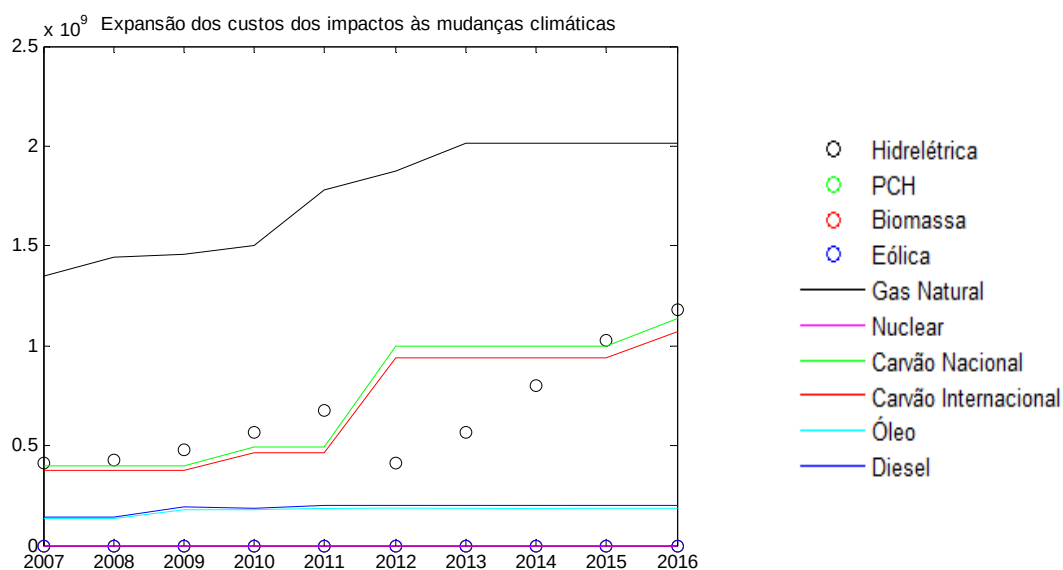


Gráfico 6.9 – Os custos relativos aos impactos às mudanças climáticas em R\$/ano.

6.4. Análise dos resultados

6.4.1. Os custos relativos aos impactos à saúde humana

Avaliando os custos dos impactos à saúde humana apresentados nas Tabelas 6.5, 6.6 e 6.7, calculam-se os custos médios para as três possibilidades de densidade demográfica, para cada empreendimento de geração nos dez anos avaliados. São realizadas duas análises comparativas: (i) considerando as tecnologias atualmente utilizadas em larga escala no Brasil, ou seja, UTBC TCE – 40 e UTCN; (ii) considerando tecnologia mais nova e eficiente da termelétrica a bagaço de cana (BIG/GT) e o carvão importado, que segundo o PDE (2007), vem se apresentando no âmbito dos novos processos de licitação. Estes resultados são apresentados nas Tabelas 6.9 e 6.10 respectivamente.

Tabela 6.9 – Os custos médios dos impactos à saúde humana para cada empreendimento em dez anos - considerando os tipos de empreendimentos UTBC TCE 40 e UTCN (R\$*).

Empreendimento	2007 a 2016
UHE	0
PCH	0
TCE 40	1.151.300
CE	0
UTGN	0
UTN	0
UTCCN	195.860.000
UTO	21.600
UTD	20.867
Total	219.020.000

* valores multiplicados por 10⁶.

Tabela 6.10 – Os custos médios dos impactos à saúde humana para cada empreendimento em dez anos - considerando os tipos de empreendimentos UTBC BIG/GT e UTCI (R\$*).

Empreendimento	2007 a 2016
UHE	0
PCH	0
BIG/GT	117.570
CE	0
UTGN	0
UTN	0
UTCCI	21.865.000
UTO	21.600
UTD	20.867
Total	22.025.000

* valores multiplicados por 10⁶.

É importante destacar que, as termelétricas a bagaço de cana que utilizam as tecnologias convencionais de condensação e extração apresentam custos elevados com relação aos impactos à saúde humana, representando a segunda maior fonte de emissão de material particulado. Como pode ser observado, as duas análises desenvolvidas mostram que os custos dos impactos ambientais à saúde humana em dez anos são extremamente elevados. Porém, ao adotar as usinas termelétricas a bagaço de cana com tecnologias BIG/GT, de maior eficiência, e de usinas termelétricas a carvão mineral importado, os custos totais da expansão são reduzidos em cerca de dez vezes em relação ao cenário convencional. Dessa forma, seria interessante elaborar políticas ambientais que tenham, como um de seus objetivos principais, o fomento às tecnologias mais eficientes e com menores níveis de emissão.

6.4.2. Os custos dos impactos às mudanças climáticas

A partir dos custos dos impactos às mudanças climáticas apresentados na Tabela 6.8, calculam-se os custos totais para cada empreendimento de geração nos dez anos avaliados. São realizadas duas análises comparativas: (i) considerando as tecnologias atualmente utilizadas em larga escala no Brasil, ou seja, UTCN; (ii) considerando as usinas a carvão importado, que segundo o PDE (2007), vem se apresentando no âmbito dos novos processos de licitação. Estes resultados são mostrados nas Tabelas 6.11 e 6.12.

Tabela 6.11 – Os custos dos impactos às mudanças climáticas para cada empreendimento em dez anos - considerando os tipos de empreendimentos UTCN (milhões de Reais).

Empreendimento	2007 a 2016
UHE	6.543
PCH	0
UTBC	0
CE	0
UTGN	17.453
UTN	0
UTCCN	7.320
UTO	1.728
UTD	1.877
Total	34.921

Tabela 6.12 – Os custos dos impactos às mudanças climáticas para cada empreendimento em dez anos - considerando os tipos de empreendimentos UTCI (milhões de Reais).

Empreendimento	2007 a 2016
UHE	6.543
PCH	0
UTBC	0
CE	0
UTGN	17.453
UTN	0
UTCCI	6.889
UTO	1.728
UTD	1.877
Total	34.490

* valores multiplicados por 10⁶.

Como pode ser observado, as duas análises desenvolvidas mostram que os custos dos impactos ambientais às mudanças climáticas em dez anos são elevados. É interessante notar que, o custo da tecnologia a carvão nacional (Tabela 6.11) e o custo da tecnologia carvão internacional (Tabela 6.12), não apresentam diferenças significativas, ambos estão na mesma ordem de grandeza.

Analisando a participação de cada fonte no total de custos nos Gráficos 6.10 e 6.11, pode-se concluir que as usinas termelétricas a gás natural apresentam a maior participação, certa de 51% do total dos custos. Em segundo lugar estão as termelétricas a carvão mineral, representando 20%. Em terceiro lugar estão as hidrelétricas, representando 19% do total de custos. As menores participações são das termelétricas a óleo combustível e a óleo diesel, representando, cada uma, 5% do total dos custos. Os empreendimentos termelétricos a combustíveis fósseis, enquanto representam, em média, 15% do total instalado, são responsáveis por 81% do total dos custos ambientais.

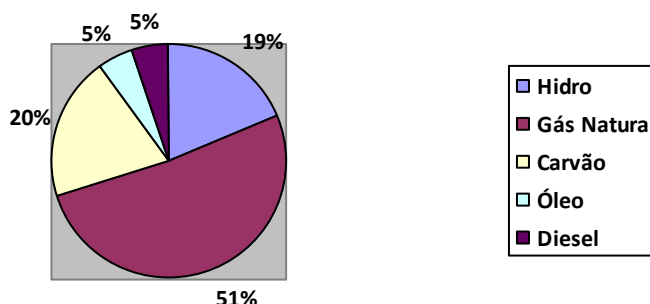


Gráfico 6.10 – Participação de cada empreendimento no total dos custos dos impactos às mudanças climáticas.

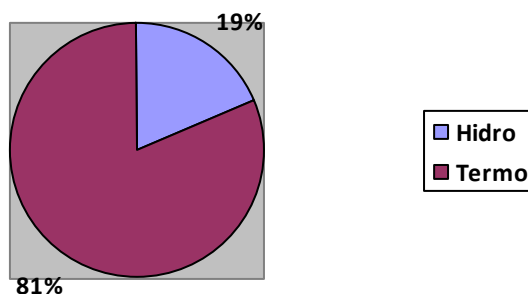


Gráfico 6.11 – Participação das hidrelétricas e das termelétricas a combustíveis fósseis no total dos custos dos impactos às mudanças climáticas.

Uma observação relevante é que, apesar da grande diferença entre as potências instaladas das termelétricas a carvão mineral e das hidrelétricas, estes empreendimentos apresentarem porcentagens no total dos custos dos impactos ambientais muito semelhantes. Enquanto seus custos representam, 20% e 19%, respectivamente, a potência instalada das termelétricas a carvão mineral corresponde a, em média, 2,9% da potência instalada das hidrelétricas. Realizando essa mesma análise para as potências instaladas das termelétricas a gás natural e das hidrelétricas, observa-se que enquanto estas contribuem com 19% do total dos custos, aquelas contribuem com 51%, mesmo possuindo, em média, 13% da potência instalada das hidrelétricas.

Essas comparações entre as potências instaladas e o total da participação nos custos apresentam resultados alarmantes. Mesmo possuindo participação, ainda, moderada na capacidade instalada total, as fontes termelétricas a base de combustíveis fósseis são responsáveis por 81% dos custos dos impactos às mudanças climáticas. Logo, pequenos incrementos na sua participação representam elevados aumentos do total das emissões de GEE e, conseqüentemente, ocasionam elevados impactos às mudanças climáticas.

6.5. Considerações finais

Pode-se concluir que os valores encontrados no Capítulo 5 foram extremamente úteis para mapear a situação do Brasil em relação aos custos dos impactos ambientais referentes à implantação do cenário indicado no PDE 2007/2016. Como foi possível observar, fontes altamente poluidoras e com custos ambientais elevados, que estão passando por um processo de ampliação da sua participação, contribuem para o alto custo ambiental relativo à expansão da matriz elétrica nacional entre 2007 e 2016. Por outro lado, fontes alternativas e limpas, como a energia eólica, a nuclear, as PCHs e a solar, que contribuiriam para a redução dos custos ambientais, permanecem com participações inexpressivas. Estima-se que a implementação do cenário indicado no PDE 2007/2016 ocasionará custos que poderão variar de 22.059.000 a 219.050.000 milhões de Reais.

Cabe agora, discutir algumas propostas de instrumentos econômicos de políticas ambientais para promoção de fontes limpas de geração de energia elétrica, cuja participação ainda é inexpressiva, e que contribuirão para a redução dos custos ambientais da expansão da matriz elétrica nacional. Essas propostas são discutidas no Capítulo 7 e estão baseadas nas tendências nacionais identificadas no Capítulo 4 e nas experiências internacionais.

Capítulo 7

Um panorama dos instrumentos econômicos de políticas ambientais para o Brasil

Como apresentado no Capítulo 6, os custos ambientais relativos à expansão da matriz elétrica brasileira, de acordo com o cenário indicado pelo PDE 2007/2016, são significativos, da ordem de trilhões de Reais. Fontes com custos ambientais elevados, que estão passando por um processo de ampliação da sua participação, contribuem fortemente para o aumento do custo ambiental relativo à expansão da matriz elétrica nacional entre os anos de 2007 e 2016. Por outro lado, as fontes alternativas e limpas, que contribuiriam para a redução dos custos ambientais, permanecem com participações inexpressivas.

Como discutido no Capítulo 3, devido à incapacidade do mercado de energia elétrica em alocar os recursos com eficiência (falha de mercado), o sistema de formação de preços não modela os impactos ambientais, que constituem externalidades negativas, relativos ao processo de geração de energia elétrica.

Como discutido no Capítulo 4, há duas tendências de ação do governo: (i) promover os sistemas de leilões com categorias especiais para as fontes alternativas e limpas; (ii) utilizar o financiamento público para incentivar projetos de fontes alternativas e limpas. Porém, não há, ainda, um marco regulatório que especifique as ações do governo e defina como as tendências identificadas no plano poderão ser realmente implementadas, para que efetivamente promova as fontes alternativas.

Portanto, este Capítulo 7 tem por objetivo discutir algumas propostas de instrumentos econômicos de políticas ambientais para promoção de fontes limpas de geração de energia elétrica, cuja participação, devido aos motivos resumidos acima,

ainda é inexpressiva, e que contribuirão para a redução dos custos ambientais da expansão da matriz elétrica nacional.

7.1. Classificação das fontes geradoras de energia elétrica do ponto de vista dos seus impactos ambientais

Antes de iniciar as análises das propostas dos instrumentos econômicos que poderiam ser adotados no Brasil para promover a expansão de fontes limpas em detrimento às fontes poluidoras e de elevado custo ambiental, é importante realizar uma classificação, em ordem crescente, das fontes de geração de energia elétrica em relação aos custos ambientais calculados nesse trabalho. O resultado dessa ordenação pode ser utilizado com indicadores ambientais para ser incorporado na tomada de decisão na definição dos instrumentos econômicos das políticas ambientais.

A Tabela 7.1 apresenta a ordenação das fontes, iniciando pelas mais limpas até as fontes as mais poluidoras, tendo como base as Tabelas 5.12 e 5.14 do Capítulo 5, que apresentam o valor do impacto à saúde humana ocasionado pela emissão de material particulado por kWh e o valor do impacto às mudanças climáticas ocasionado pela emissão de GEE por kWh, respectivamente.

Tabela 7.1 – Ordenação crescente em relação aos impactos.

Empreendimento	Custos ambientais médios em R\$/kWh (exceto UHE)
CE / PCH/ UTN	0
UHE	5,48 [R\$/MW instalado por hora]
UTGN – CC	0,025
UTO – Conv	0,56
UTD – Conv	0,56
UTBC – BIG/GT	1,08
UTBC – TCE 80	2,65
UTBC – TCE 60	2,76
UTBC – TCE 40	10,57
UTC – CI – Conv	160
UTC – CN – Conv	1.444

Dentre as fontes que, por meio da metodologia de valoração aplicada nesse trabalho, obtiveram custo nulo, está a UTN. Pode-se dizer que a mesma, apesar de não contribuir para os custos ambientais valorados nessa dissertação, é um caso especial, pois constitui uma tecnologia controlada pelo governo federal não sendo, portanto, uma atividade aberta para a competição, diferente das demais fontes. Porém, é importante ressaltar que as UTNs são uma alternativa para a mitigação dos impactos ambientais e que as mesmas deveriam ampliar sua participação na matriz elétrica nacional. As PCHs apresentam vantagens como a rápida e eficiente entrada em operação e a possibilidade de melhor atender às necessidades de carga de pequenos centros urbanos e regiões rurais. Outra vantagem é o estímulo à indústria nacional que está apta e qualificada para fornecer os equipamentos para as usinas tipo PCHs. Com relação à energia eólica, o Brasil possui um potencial bruto superior a 143GW de geração tornando a energia eólica uma importante alternativa para a diversificação da matriz elétrica do país [ANEEL (12/05/2009)]. Atualmente, apenas 1.423MW do potencial bruto foram

contratados no PROINFA, resultado que reafirma a necessidade de uma política mais forte de incentivo para promoção desta fonte de energia. As grandes vantagens da energia eólica são: a emissão evitada de gases de efeito estufa e a característica de complementaridade²⁰ com a geração hidrelétrica.

As usinas termelétricas a bagaço de cana, apesar de já receberem estímulos como o leilão de energia de reserva e contribuírem para mitigação das mudanças climáticas, apresentam custos ambientais em relação à saúde humana devido ao montante de material particulado emitido. Como foi mostrado nos capítulos anteriores, para tecnologias mais avançadas e eficientes o nível de emissão reduz consideravelmente.

As usinas termelétricas a carvão mineral, nacional ou importado, representam o maior risco ambiental para a sociedade e, caso não sofram um desestímulo, continuarão a atrair investimentos do setor privado e ampliarão sua porcentagem na matriz elétrica. As usinas termelétricas a óleo combustível, diesel e gás natural, apesar de contribuírem para os problemas das mudanças climáticas, constituindo fontes não renováveis de energia elétrica, não apresentam níveis consideráveis de emissão de material particulado. Assim, seus custos não são tão elevados quando comparados com as fontes emissoras de material particulado.

É importante destacar que, durante o período de reestruturação e privatização do setor elétrico, o governo, no intuito de expandir a oferta de energia e atrair investimentos da iniciativa privada, estimulou a implantação de termelétricas, em especial a gás natural. Nesse momento era necessário garantir a segurança no fornecimento de energia elétrica no curto prazo, o que justificava os estímulos do governo para a expansão dessas fontes que, apesar de poluidoras, entram rapidamente em operação. Porém, no atual contexto do setor elétrico brasileiro, ao pensar em políticas de longo prazo, é preciso adotar outras prioridades na tomada de decisão e incluir as variáveis ambientais na avaliação de custos e benefícios.

²⁰ As centrais eólicas podem ser utilizadas em complementaridade ao sistema hidrelétrico da região Nordeste, já que o seu maior potencial de geração se encontra no período seco e o menor, no período úmido [ANEEL 12/05/2009].

Com relação às usinas hidrelétricas, embora o país ainda possua um grande potencial hidrelétrico inexplorado, a maioria dele está situada na região Amazônica, distante dos centros de carga, onde as restrições ambientais impõem limites para exploração da energia elétrica. Atualmente, para cumprir as exigências da legislação ambiental, há uma tendência de construção de usinas a fio d'água, como evidenciado na relação apresentada no Capítulo 5 entre potência instalada e área do reservatório. Por esse motivo, os impactos, tanto ambientais quanto sociais, são reduzidos e, conseqüentemente, há uma redução da emissão de gases de efeito estufa.

A seguir são apresentadas algumas propostas de instrumentos econômicos de políticas ambientais que visam promover as fontes limpas de geração de energia elétrica e, ao mesmo tempo, desestimular as fontes não renováveis e poluidoras.

7.2. Propostas de instrumentos econômicos de políticas ambientais para promoção de fontes alternativas e limpas para a geração de energia elétrica

A seguir são apresentadas seis propostas de instrumentos econômicos de políticas ambientais que acompanham as tendências do governo brasileiro e estão alinhadas com as experiências internacionais estudadas. O objetivo é discutir possíveis implementações das tendências identificadas do PNMC de forma a fornecer atrativos visando a participação do capital privado no setor de fontes alternativas e limpas.

7.2.1. Promover recursos financeiros para desenvolver fontes alternativas e limpas

No Capítulo 4 foram apresentados dois instrumentos cujo objetivo é prover recursos financeiros para o desenvolvimento de fontes alternativas. São eles: (i) Investimento e Financiamento Público e (ii) Fundo Nacional sobre Mudança do Clima.

Essas políticas são essenciais para dar o primeiro passo em direção à promoção das fontes alternativas e limpas, criando sinergias positivas entre o estado e o capital privado e estimulando investidores privados a atuarem com segurança no setor elétrico, por meio de linhas, fundos e programas de financiamento público. Esse instrumento pode ser extremamente útil para viabilizar a exploração da energia solar e da eólica, assim como, a aplicação de tecnologias mais eficientes, como o BIG/GT. Ou seja, o financiamento público abre caminho para o desenvolvimento no setor de fontes alternativas e limpas ao fornecer estímulos e atrair a participação dos investidores privados. Porém, restringir a atuação do governo apenas ao financiamento público, não será suficiente para promover o adequado desenvolvimento desse setor.

Dessa forma, torna-se imprescindível complementar as ações do governo com políticas que possuam uma estrutura com maior orientação para o mercado, cujas soluções sejam mais robustas e eficazes no longo prazo.

7.2.2. Taxas sobre a geração de energia por fontes poluidoras

Uma solução possível a ser adota e discutida atualmente é a taxação da energia elétrica gerada por fontes poluidoras. A idéia é internalizar os custos ambientais relativos à geração de energia elétrica por fontes poluidoras diretamente no seu custo de produção por meio da cobrança de taxas. Dessa forma, essa energia elétrica suja representaria o seu real custo para a sociedade, aumentando o seu preço e limitando a sua participação no mercado.

O sistema de taxas consiste em um dos primeiros modelos de instrumento econômico desenvolvido para solucionar o problema das externalidades negativas e está baseado no princípio do imposto de Pigou²¹, que na essência consiste na cobrança de um preço pelo direito de poluir. De acordo com Gregory Mankiw, *“assim como os mercados alocam bens aos compradores que lhes atribuem maior valor, os impostos de pigou alocam a poluição às fabricas que enfrentam os maiores custos para reduzi-la”*.

²¹ “Em homenagem ao economista Arthur Pigou, 1877-1959, um dos primeiros defensores do seu uso”- Mankiw (2007)].

Nesse sistema é importante definir como serão utilizadas as receitas provenientes das taxas cobradas. Elas podem, por exemplo, ser utilizadas para reduzir outras taxas ou até mesmo serem revertidas para algum fundo de financiamento de projetos de energias limpas.

As taxas podem ser aplicadas aos geradores de energia elétrica com elevados níveis de emissões de material particulado, de GEE e buscar, também, o aprimoramento da eficiência energética. Nesse sistema, os geradores de energia alternativa e limpa podem solicitar isenção da taxa por não contribuírem com a emissão de poluentes. Dessa forma, a taxa é uma alternativa viável que deve ser analisada como uma possível solução de política ambiental que buscará incorporar no preço da energia convencional o seu custo referente aos impactos ambientais. As taxas poderão ser aplicadas sobre o total de energia gerada de todas as usinas que apresentarem custos ambientais significativos. É importante destacar que políticas de taxa são, com frequência, implementadas em conjunto com outras políticas cujas soluções estejam mais orientadas para o mercado.

7.2.3. Sistema de Leilão

O Capítulo 4 apresenta a atual tendência do governo nacional em desenvolver um sistema de leilão para promover as fontes alternativas e limpas de energia. O sistema de leilão de preços decrescentes é naturalmente competitivo, então as ofertas vencedoras do leilão correspondem às fontes mais competitivas do ponto de vista econômico. Dessa forma, tecnologias limpas e não competitivas não estão entre os vencedores. Ou seja, fontes de energia como a eólica e a fotovoltaica, que necessitam de incentivos mais robustos, provavelmente não conseguiriam ofertar preços atrativos e não se desenvolveriam de maneira eficaz no sistema de leilão.

No Setor Elétrico Brasileiro, como resposta a esta característica, há a política de se realizar leilões específicos para cada tipo de fonte alternativa, de forma que a concorrência seja mais justa. Foram realizados, até o momento, o leilão de energias alternativas e o leilão de energia de reserva proveniente da biomassa, e está programado para novembro de 2009 o leilão de energia eólica. Além disso, é essencial estabelecer a

periodicidade dos leilões para que estes ocorram com frequências pré-determinadas, promovendo segurança aos investidores privados e tornando viável e atrativo o desenvolvimento de uma indústria de equipamentos nacional para atender a expansão do setor de energia alternativa e limpa.

7.2.4. Sistemas de Quotas, Certificados Verdes e o Mecanismo de Promoção Adicional da Energia Renovável e da Eficiência Energética

Apesar da primeira proposta para a segunda fase do PROINFA contemplar a emissão de Certificados de Energia Renovável, não há, atualmente, nenhuma sinalização de que o Brasil adotará uma política baseada no Sistema de Quotas e Certificados Verdes. Porém, trata-se de uma alternativa muito interessante já que o Sistema de Quotas e Certificados Verdes constitui um instrumento mais alinhado com o mercado, que busca aumentar a competitividade entre os geradores de fontes alternativas e limpas.

De acordo com as experiências internacionais estudadas, algumas precauções devem ser tomadas ao se elaborar uma política baseada no Sistema de Quotas e Certificados Verdes. Dado que o valor do Certificado Verde depende do quão distante de serem atingidas estão as metas²², uma das precauções necessárias é a definição de metas ambiciosas para manter elevada a demanda por Certificado Verde e garantir o aquecimento do mercado. Devido à variação de valor, uma das dificuldades desse sistema é o estabelecimento de contratos a longo prazo com valores fixos para os Certificados Verdes, e, geralmente, são estabelecidos contratos de risco, cujas taxas de sucesso oscilando com a variação do mercado. Assim, ao determinar metas ambiciosas, o distanciamento do nível de meta cumprida e a cumprir é garantido, mantendo o valor dos Certificados Verdes num patamar suficientemente atrativo para os investidores, além de garantir a segurança a longo prazo. Outro aspecto a ser avaliado é se todas as

²² Quanto mais agentes do mercado estão longe das metas, maior a demanda por certificados e, logo, maior o seu valor. Quando há poucos agentes longe de cumprir suas metas, menor a demanda por certificados e, logo, menor o seu valor.

fontes de energia alternativa receberão o mesmo tipo de certificado ou se serão definidos um certificado para cada tecnologia.

É importante destacar que nesse sistema, os agentes geradores devem atuar em dois mercados inter-relacionados, pois além de comercializar a energia elétrica, eles precisam negociar os Certificados Verdes. Logo, é preciso que os participantes desse sistema sejam preparados para atuarem sem grandes complicações e sem elevados custos, para não inviabilizar o seu desenvolvimento.

Com relação ao Mecanismo de Promoção Adicional da Energia Renovável e da Eficiência Energética, o PNMC descreve esse mecanismo, porém não evidencia como ele será executado. Um instrumento interessante para viabilizar a sua adequada operação é o sistema de Certificados Verdes. O objetivo do mecanismo é obrigar que os empreendimentos termelétricos a combustíveis fósseis, com capacidade instalada acima de 100MW, adotem ações compensatórias de forma a aumentar a oferta de energia por meio de novos empreendimentos com energia renovável e/ou ações referentes a programas de eficiência energética. Para facilitar a adoção dessa ação compensatória, seria mais interessante para o empreendedor adquirir Certificados Verdes de geradores de energia limpa, do que desenvolver, por conta própria, um projeto compensatório. Dessa forma, os benefícios ambientais dos geradores que forneceram os Certificados Verdes equivaleriam às ações compensatórias.

Para desenvolver um efetivo mercado de Certificados Verdes, as ações compensatórias deveriam ser aplicadas para todos os empreendimentos geradores de energia que apresentam elevados custos de impactos ambientais. Logo, seria interessante que, a partir de certo nível de geração, os empreendimentos ordenados na Tabela 7.1 com custos ambientais diferentes de zero adquirissem Certificados Verdes dos empreendimentos alternativos. Os valores dos Certificados Verdes poderiam ser definidos com base no incentivo necessário para viabilizar a participação das fontes limpas no mercado de energia elétrica.

O Mecanismo de Promoção Adicional da Energia Renovável e da Eficiência Energética aplicado em conjunto com os Certificados Verdes mostram ser uma boa opção de política para promoção de fontes alternativas. O Sistema de Quotas com

Certificados Verdes, por ser um instrumento mais novo e complexo, deve ser considerado como uma opção no médio prazo, em especial, quando houver a possibilidade de transação dos Certificados Verdes no âmbito internacional.

7.2.5. O *Feed-in tariff*

O instrumento *Feed-in tariff* possui características semelhantes ao PROINFA, pois ambos determinam um “preço-premium” a ser pago pela energia proveniente de fontes alternativas. A grande diferença é que o sistema *Feed-in tariff* é mais flexível e mais alinhado com o mercado, pois não fixa as quantidades de energia elétrica que serão comercializadas.

O instrumento *Feed-in* deve ser considerado e analisado como uma opção para o Brasil, pois ele vem se destacando por ser um dos instrumentos mais efetivos ao garantir a segurança do investimento, permitir o ajuste do valor do “preço-premium” ao longo do tempo e garantir o desenvolvimento de tecnologias no médio e no longo prazos. Além disso, apresenta custos totais mais baixos para promover fontes de energia alternativa e limpa.

Analisando a experiência alemã, nota-se que o sucesso do *Feed-in* está associado a alguns importantes fatores: (i) o nível do “preço-premium” deve ser suficientemente atrativo para garantir o retorno e a segurança do investimento no longo prazo; (ii) os ajustes no valor do “preço-premium” ao longo do tempo, com o objetivo de reduzir os custos de geração e aumentar a eficiência das tecnologias; (iii) a definição de um marco regulatório estável que contempla uma maior segurança aos investidores no longo prazo; (iv) sistema descentralizado, fortalecendo o planejamento nos níveis regional e local.

Logo, o instrumento *Feed-in tariff* é uma alternativa interessante para ser implementada no Brasil para a promoção das fontes limpas e alternativas, ainda com participações pouco expressivas. Para se obter os mesmos resultados positivos da Alemanha é preciso atentar para os fatores que determinaram o sucesso neste país. Como discutido, o nível do “preço-premium” é crucial e deve ser bem ajustado para garantir os investimentos no setor das fontes alternativas e limpas.

7.2.6. O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

Como apresentado no Capítulo 4, o MDL é uma oportunidade para as empresas brasileiras elaborarem projetos, em conformidade com o desenvolvimento sustentável, promovendo a redução das emissões de gases de efeito estufa, a geração de empregos e a obtenção de uma nova fonte de receitas (a venda dos créditos de carbono).

O primeiro passo para desenvolver um projeto de crédito de carbono em conformidade com o Protocolo de Kyoto é avaliar a elegibilidade do projeto, que deve ser adicional ao chamado cenário de Linha de Base, ou seja, adicional ao cenário da prática comum. De acordo com o MCT a justificativa da adicionalidade da atividade de projeto é a “*demonstração de como as atividades de projeto reduzem emissões de gases de efeito estufa, além do que ocorreria na ausência da atividade de projeto de MDL registrada*” [Guia de Orientação (2002)]. Já que ocorreriam mesmo sem as receitas e benefícios do MDL, os projetos que não são adicionais, não são elegíveis a obtenção de créditos de carbono. Após verificada a adicionalidade da atividade, busca-se uma Metodologia de Linha de Base e Monitoramento, que se enquadre ao escopo e tipo de projeto, que deverá ser aplicada para desenvolver o Documento de Concepção de Projeto²³.

No caso de projetos de geração de energia elétrica por fonte renovável e conectada à rede elétrica, há duas metodologias já aprovadas pelo Conselho Executivo²⁴ e prontas para serem aplicadas: a metodologia de grande escala intitulada ACM0002 e a de pequena escala intitulada AMS I D. São classificados como projetos de pequena escala, as atividades cuja potência instalada de geração de energia renovável seja inferior a 15MW. Nesses casos, aplica-se a metodologia AMS I D: “*Grid connected renewable electricity generation - Version 13*”. Para projetos com potências acima de 15MW, aplica-se a metodologia ACM0002: “*Consolidated methodology for grid-connected electricity generation from renewable sources - Version 9*”. Para todas as

²³ O Documento de Concepção de Projeto (*Project Design Document – PDD*) é o documento oficial do projeto, elaborado pelos participantes do projeto, contendo todas as informações necessárias para a obtenção dos créditos de carbono.

²⁴ O Conselho Executivo é o responsável por supervisionar o MDL, sendo uma de suas atribuições aprovar metodologias de linha de base e monitoramento [UNFCCC (2007)].

duas metodologias deve-se aplicar a ferramenta para demonstração e comprovação da adicionalidade do projeto. A adicionalidade é demonstrada e comprovada por meio de três análises:

- Análise de investimento: demonstrando que a atividade de projeto não é economicamente viável sem as receitas do crédito de carbono, e que os investidores provavelmente aplicariam seus capitais em outra atividade financeiramente mais atrativa; e/ou
- Análise de barreiras: demonstrando que há diferentes barreiras impeditivas à implementação do projeto, como, por exemplo, barreiras regulatórias, barreiras de investimento e barreiras tecnológicas, que impediriam a realização do projeto sem os benefícios proporcionados pelo MDL; e
- Análise da prática comum: demonstrando que a atividade de projeto não é prática comum no país.

No caso do Setor Elétrico Brasileiro, as análises para demonstração da adicionalidade são facilmente comprovadas para todas as fontes renováveis destacadas na Tabela 7.1. Para todas elas é possível demonstrar que não são opções economicamente atrativas e viáveis sem um subsídio ou receita adicional. Além disso, todas enfrentam algum tipo de barreira, seja regulatória, de investimento ou tecnológica, e não se incluem na prática comum do setor elétrico nacional. Dessa forma, o critério para elegibilidade das fontes renováveis a obtenção de créditos de carbono é respeitado e essas atividades são consideradas adicionais no âmbito de projetos do protocolo de Kyoto.

Resumidamente, o montante de crédito de carbono proveniente desses projetos é determinado com base no valor das emissões de GEE que deixaram de ocorrer devido à implantação do projeto. Esse valor depende do total de energia elétrica gerada por ano pelo projeto que seria, caso contrário, fornecida pela rede de distribuição de energia elétrica. Para mensurar o montante de CO₂equivalente que deixou de ser emitido, utiliza-se o fator de emissão do Sistema Interligado Nacional calculado pelo MCT, incluindo os

empreendimentos em operação e os em construção²⁵. Para obter as emissões reduzidas em tCO₂/ano, multiplica-se o total de energia renovável gerada em MWh/ano pelo fator de emissão da rede em tCO₂/MWh.

Para se ter uma idéia do volume de créditos que as atividades renováveis do setor elétrico poderiam obter, é feita uma análise considerando as PCHs e as Centrais Eólicas em construção e outorgadas. Utilizando as informações dos empreendimentos em construção e outorgados do Banco de Informações de Geração - BIG, as informações dos fatores de capacidade do Plano Nacional de Expansão 2030 e os fatores de emissão do MCT, foi elaborada a Tabela 7.2 com o resultado dos créditos de carbono.

Tabela 7.2 – Créditos de carbono gerados pelas atividades de geração de energia elétrica renovável no Brasil.

Empreendimentos	Em construção [kW]	Outorgada [kW]	Fator de capacidade	Fator de emissão da rede	Emissões reduzidas [tCO₂/ano]
PCH	1.049.117	2.266.621	0,6	0,1842	366.455
Central Eólica	339.500	2.388.173	0,3	0,1842	150.731

BIG (consultado no site da ANEEL em 10/04/2009)

Fatores de emissão do MCT (consultado no site do MCT em 10/04/2009).

Considerando um valor moderado para o crédito de carbono, 12 € por tonelada, os empreendimentos acima destacados obteriam, em conjunto, uma receita de 6.206.238 € ao ano. É importante destacar que os cálculos foram feitos de maneira superficial, sem considerar emissões de projeto e eventuais consumos de combustíveis fósseis, sendo necessário maior detalhamento para determinar o real valor das emissões reduzidas.

Dessa forma, o MDL é uma importante oportunidade para o Brasil captar receitas para desenvolver projetos que, além de contribuir para o crescimento da oferta de energia elétrica limpa, proverão benefícios ambientais, sociais e econômicos para o

²⁵ No caso do Brasil, esse fator é determinado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT que utiliza o critério de despacho para determinar a operação da rede.

desenvolvimento do país. O MDL é, assim, um efetivo instrumento econômico para promoção das fontes renováveis de energia elétrica.

7.3. Considerações finais

Apesar da tendência atual indicar um sistema de leilão para a segunda fase do programa de incentivos às fontes alternativas, o Brasil possui diferentes oportunidades de instrumentos econômicos que deveriam ser exploradas e avaliadas de maneira mais detalhada para a elaboração de uma política ambiental clara, consolidada e de longo prazo.

Além disso, é de extrema importância que a adoção de instrumentos econômicos de políticas ambientais seja, desde o princípio, bem estruturada, especificando as ações do governo e definindo claramente como a promoção das fontes alternativas e limpas será, efetivamente, alcançada. Essas questões são essenciais para não criar incertezas no mercado e atrair, de maneira eficaz, os investimentos para o setor elétrico, possibilitando a comercialização da energia elétrica proveniente de fontes alternativas de forma competitiva no mercado.

Capítulo 8

Conclusão

Este trabalho atendeu seu objetivo geral ao discutir como devem ser tratados os impactos ambientais associados às diferentes tecnologias de geração de energia elétrica que compõem a matriz elétrica nacional, visando a sustentabilidade do Setor Elétrico Brasileiro.

Como apresentado no Capítulo 3, o sistema de formação de preços no setor elétrico não modela os impactos ambientais (externalidades negativas) e nem possíveis benefícios ambientais (externalidades positivas) relativos ao processo de geração de energia elétrica. Essa falha de mercado prejudica, diretamente, a participação das fontes alternativas, que permanecem com preços mais elevados que as fontes convencionais e poluidoras. Para viabilizar essas fontes é essencial a participação do governo por meio da elaboração de políticas ambientais. Apesar da maioria das políticas ambientais no Brasil estarem baseadas em instrumentos de comando e controle, como o Licenciamento Ambiental, são instrumentos econômicos os mais apropriados para incentivar a expansão das fontes limpas. Inclusive, um dos motivos para o aumento da participação das termelétricas a combustíveis fósseis na matriz elétrica é a política de licenciamento ambiental, que impõe fortes restrições ambientais à exploração dos empreendimentos hidrelétricos. Porém, as usinas termelétricas possuem impactos ambientais a longo prazo maiores que as hidrelétricas.

Pelas análises do Capítulo 4, foi possível concluir que, apesar ter sido o grande marco regulatório, o PROINFA não obteve resultados expressivos e acarretou grandes incertezas quanto à continuidade da política de incentivos às fontes alternativas. Pelos acontecimentos mais recentes, é possível perceber uma tendência de adoção do sistema de leilão com categorias específicas para as fontes alternativas. Além desse sistema, o governo brasileiro sinaliza outras políticas, porém, não especifica suas ações e não define os mecanismos que serão implementados para que as tendências identificadas

sejam adequadamente implementadas. Falta, também, uma orientação para o desenvolvimento de políticas cujos instrumentos econômicos estejam orientados para as ações do mercado, seguindo as tendências internacionais. Portanto, o Brasil ainda carece de um marco regulatório forte que efetivamente forneça atrativos para a participação do capital privado no setor de fonte alternativa e limpa.

O Capítulo 5 forneceu os dados quantitativos para avaliação das fontes de geração de energia elétrica do ponto de vista dos seus impactos ambientais. Foi possível concluir que as usinas termelétricas a carvão mineral nacional apresentam os maiores níveis de emissão de poluentes, atingindo um custo total de R\$1.444/kWh, seguido das usinas termelétricas a carvão mineral importado, cujos custos atingem um total de R\$160/kWh. As usinas termelétricas a óleo combustível e a óleo diesel apresentam baixos níveis de emissão de material particulado, sendo a emissão de gases de efeito estufa o grande responsável por seus impactos ambientais. O mesmo ocorre com as usinas termelétricas a gás natural. Os custos totais dos impactos ambientais associados a esses empreendimentos são, respectivamente, R\$0,56/kWh, R\$0,56/kWh e R\$0,025/kWh.

As usinas termelétricas a bagaço de cana são consideradas fontes renováveis, porém apresentam níveis consideráveis de emissão de material particulado que podem ser reduzidos à medida que são adotadas tecnologias mais avançadas e eficientes. As políticas ambientais, se corretamente aplicadas, podem ser extremamente úteis para viabilizar a implementação dessas novas tecnologias, que possuem, ainda, elevados custos de investimento. Os custos totais dos impactos ambientais nessas usinas variam de R\$10,57/kWh a R\$1,08/kWh.

As usinas hidrelétricas apresentam fatores de emissão que independem da sua operação, sendo função da área e da idade do reservatório. Mas como observado pelos valores encontrados, seus níveis de emissão são baixos e, à medida que são construídas usinas a fio d'água, essas emissões são reduzidas de forma significativa. As fontes alternativas e limpas PCH, nuclear e eólica, apesar de apresentam custos nulos relativos aos impactos ambientais valorados nesse trabalho, permanecem com participações inexpressivas na matriz elétrica nacional. A energia solar, apesar de não ter sido

valorada devido à baixa participação na potência instalada nacional, é uma alternativa limpa que deveria ser incentivada nas políticas ambientais.

Uma observação interessante é que os custos relativos aos impactos à saúde humana são bem mais elevados que os custos relativos às mudanças climáticas, pois aqueles envolvem diretamente o valor da vida humana, que pode ser extremamente variável.

Ao final das análises do Capítulo 5, foi percebida a necessidade do desenvolvimento de um banco de dados nacional, consolidando os fatores de emissão de gases de efeito estufa e material particulado dos empreendimentos que compõem a capacidade instalada da matriz elétrica nacional.

O Capítulo 6 determinou a tendência atual de evolução da matriz elétrica nacional em termos das questões ambientais por meio da valoração dos impactos ambientais dos empreendimentos indicados no PDE 2007/2016. As usinas termelétricas a combustíveis fósseis atingirem uma participação de 15% no total da capacidade instalada ao final de 2016 e são responsáveis por 81% do total dos custos relativos aos impactos às mudanças climáticas. As termelétricas a carvão mineral e as hidrelétricas representam, respectivamente, 20% e 19%, do total dos custos, sendo que a potência instalada em carvão mineral corresponde a 2,9% da potência instalada em hidrelétricas. A mesma análise foi realizada para as termelétricas a gás natural e para as hidrelétricas, enquanto estas constituem com 19% do total dos custos, aquelas contribuem com 51%, mesmo possuindo, em média, 13% da potência instalada das hidrelétricas. Esses resultados indicam que pequenos incrementos na participação das fontes fósseis representam elevados aumentos do total das emissões de GEE e, conseqüentemente, ocasionam elevados impactos às mudanças climáticas. Logo, a expansão dessas fontes deve ser feita com cautela, levando em consideração as questões ambientais e buscando incorporar as tecnologias mais avançadas e eficientes.

Com relação aos impactos à saúde humana, pode-se observar que os custos nos dez anos analisados são extremamente elevados podendo sofrer reduções consideráveis caso se adote as usinas termelétricas a bagaço de cana com tecnologias mais novas e mais eficientes e as usinas termelétricas a carvão mineral importado. Nessa situação, os

custos totais da expansão são reduzidos em cerca de 10 vezes em relação ao cenário convencional. Dessa forma, seria interessante elaborar políticas ambientais que tenham, como um de seus objetivos principais, o fomento às tecnologias mais eficientes e com menores níveis de emissão.

Além disso, os resultados do Capítulo 6 mostraram que as fontes que estão passando por um processo de ampliação da sua participação, contribuem para o alto custo ambiental relativo à expansão da matriz elétrica nacional entre 2007 e 2016. Por outro lado, fontes alternativas e limpas, como a energia eólica, PCH, nuclear e a solar, que contribuiriam para a redução dos custos ambientais, permanecem com participações inexpressivas. Estimou-se que a o cenário indicado no PDE 2007/2016, caso seja implementado, ocasionará custos ambientais que poderão variar de 22.059.000 a 219.050.000 milhões de Reais. Ou seja, o PDE 2007/2016 apresenta um cenário de expansão baseado em fontes poluidoras em detrimento às fontes limpas, representando elevados custos ambientais para toda a sociedade.

Por fim, foi discutido no Capítulo 7, as possibilidades de instrumentos econômicos de políticas ambientais que podem ser adotados no Brasil para promoção das fontes alternativas de geração de energia elétrica. Como foi apresentado, o Brasil possui diferentes oportunidades de instrumentos econômicos que devem ser exploradas e avaliadas de maneira mais detalhada para a elaboração de uma política ambiental clara, consolidada e de longo prazo.

Os recursos financeiros públicos são essenciais para dar o primeiro passo em direção à promoção das fontes alternativas. Porém, é interessante que sejam estabelecidos de forma a complementar as políticas ambientais mais orientadas o para o mercado, cujas soluções sejam mais robustas e eficazes no longo prazo.

As taxas sobre a geração de energia elétrica por fontes poluidoras são uma alternativa viável que deve ser analisada como uma possível solução de política ambiental que buscará incorporar no preço da energia convencional o seu custo referente aos impactos ambientais. Porém, elas devem ser implementadas em conjunto com outras políticas cujas soluções estejam mais orientadas para o mercado.

O sistema de leilão específico por fontes constitui a atual tendência de atuação do governo brasileiro para a promoção de fontes alternativas de maneira competitivamente justa. É essencial estabelecer a periodicidade dos leilões para que estes ocorram com frequências pré-determinadas, promovendo segurança aos investidores privados e tornando viável e atrativo o desenvolvimento de uma indústria de equipamentos nacional para atender a expansão do setor de energia alternativa.

Uma possibilidade interessante para a criação de um mercado interno de promoção de fontes renováveis é a adoção do Mecanismo de Promoção Adicional da Energia Renovável e da Eficiência Energética em conjunto com os Certificados Verdes. Estes certificados seriam adquiridos pelos empreendedores que precisariam compensar suas atividades poluidoras. Dessa forma, os benefícios ambientais dos geradores que forneceram os Certificados Verdes equivaleriam às ações compensatórias.

Outra alternativa identificada para o Brasil é o instrumento *Feed-in tariff* que, atendendo a certos fatores cruciais para o sucesso da política, atinge resultados positivos. O fator mais importante desse instrumento é o nível do “preço-premium” que deve ser bem ajustado para garantir os investimentos no setor das fontes alternativas e limpas.

O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo é uma importante oportunidade para o Brasil captar receitas para o desenvolvimento de projetos que, além de contribuir para o crescimento da oferta de energia elétrica limpa, irão promover benefícios ambientais, sociais e econômicos para o desenvolvimento do País. É importante que o Brasil acompanhe a tendência mundial de preservação e valorização das questões ambientais incorporando-as no processo de tomada de decisão. A expectativa atual é que, num futuro próximo, todos os países, com certo grau de desenvolvimento, venham a ter metas de redução da poluição. Torna-se essencial que o Brasil esteja preparado e ocupe uma posição de destaque nesse processo.

Uma questão muito discutida em relação às políticas de promoção das fontes alternativas é o impacto sobre o custo final da energia para o consumidor. Esse talvez seja um dos maiores desafios do Brasil no desenvolvimento de energias limpas. Porém, a energia convencional pode ser até mais cara para a sociedade que a energia

alternativa, se forem incorporados os custos relativos às externalidades negativas associadas à sua produção.

Enfim, há diversas soluções que podem ser implementadas no intuito de promover as fontes limpas de energia elétrica e, conseqüentemente, reduzir os impactos ambientais associados à expansão da matriz elétrica nacional. É importante ressaltar que o sucesso das políticas ambientais está diretamente relacionado ao desenvolvimento de uma conscientização para um comportamento ambientalmente correto de todos os agentes da sociedade. É preciso romper os padrões com os quais a sociedade está habituada e enfrentar os desafios para o desenvolvimento de um futuro energético mais sustentável.

Referências Bibliográficas

Alves, L. A., Colares, R. e Uturbey, W. (2008). As Atratividades Ambientais e Econômicas do Uso do Biogás Produzido pelo Aterro Sanitário de Belo Horizonte para Geração de Energia Elétrica. *SBSE 2008 - Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos 2008 – Belo Horizonte – MG – 27 a 30 de abril*.

ACM0002 (2009). Consolidated methodology for grid-connected electricity generation from renewable sources - Version 9. *Framework Convention on Climate Change – UNFCCC*. Disponível em <http://cdm.unfccc.int/methodologies/PAmethodologies/approved.html?searchon=1&searchmode=advanced>.

AMS I D: Grid connected renewable electricity generation - Version 13. *Framework Convention on Climate Change – UNFCCC*. Disponível em <http://cdm.unfccc.int/methodologies/PAmethodologies/approved.html?searchon=1&searchmode=advanced>.

ANEEL (12/05/2009). Informações disponível no site da Agência Nacional de Energia Elétrica - http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/Atlas/energia_eolica/6_3.htm.

Castro, N. J. (2008). Leilão de Energia de Reserva: razões, funções e perspectivas. *Revista Brasil Energia*, n.º 330, maio de 2008, pp89-90.

Castro, N. J., e Dantas, G. A. (2008). As Lições do Leilão de Energia de Reserva. *Publicado no Canal Energia*, 19 de agosto de 2008. Disponível em <http://www.canalenergia.com.br/zpublisher/materias/Artigos.asp?id=66644>

Castro, N. J., e Leite, A. L. S. (2008). *Leilão de Energia de Reserva e o papel da penalidade como fator determinante da eficiência*. Grupo de Estudo do Setor Elétrico – GESEL, UFRJ.

CCEE (25/03/2009). Informações disponíveis no site da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – www.ccee.org.br.

Clóvis Cavalcanti (org.) (1994). *Desenvolvimento e Natureza: Estudos para uma sociedade sustentável*. INPSO/FUNDAJ, Instituto de Pesquisas Sociais, Fundação Joaquim Nabuco, Ministério de Educação, Governo Federal, Recife, Brasil. Disponível em http://www.ufbaecologica.ufba.br/arquivos/livro_desenvolvimento_natureza.pdf.

COM (2008). Directive of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources. *Commission of the European Communities*.

Community Guidelines (2008). Community Guidelines on State Aid for Environmental Protection. *Official Journal of the European Commission*.

Conpet (2008). Informações disponíveis no site do Conpet - Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural - <http://www.conpet.gov.br>.

COPPE (2008). *Climate Change: Energy Security*. Relatório Final - Programa de Planejamento Energético PPE/COPPE/UFRJ. Disponível no site do Clima Energia http://www.climaenergia.ppe.ufrj.br/pdf/GCC_ENERGY_SECURITY.pdf.

Costa, C. V. (2006). *Políticas de Promoção de Fontes Novas e Renováveis para a Geração de Energia Elétrica: Lições da Experiência Européia para o Caso Brasileiro*. Tese de Doutorado em Ciências em Planejamento Energético, COPPE, Brasil.

Costa, S. S. T. (2005). *Introdução à Economia do Meio Ambiente*. Análise, Porto Alegre, v.16, n.2, p.301-323.

Dannenbergh, A. et al. (2008). What does Europe pay for clean energy?—Review of macroeconomic simulation studies. *Energy Policy*, 36: 1318-1330.

DataSUS (2008). *Caderno de Informações de Saúde*. Secretaria Executiva – Ministério da Saúde. Disponível em <http://w3.datasus.gov.br/datasus/datasus.php>.

Decreto (2007). Decreto Nº 6.048. Diário Oficial da União, República Federativa do Brasil, 27 de fevereiro de 2007.

Duta, R. M. (2007). *Propostas de Políticas Específicas para Energia Eólica no Brasil após a Primeira Fase do PROINFA*. Tese de Doutorado em Ciências em Planejamento Energético, COPPE, Brasil.

EC (2005). *Externalities of Energy – Methodology 2005 Update*. Projeto de Pesquisa da Comissão Européia. Documento disponível no site – <http://www.externe.info>.

EC (1995). *Externalities of Energy – Vol. 4 OIL & GAS*. Projeto de Pesquisa da Comissão Européia. Documento disponível no site – <http://www.externe.info>.

EPE (01/05/2009). Informações disponíveis no site da Empresa de Pesquisa Energética – www.epe.gov.br.

ExternE (25/03/2009). Informações disponíveis no site do Projeto de Pesquisa da Comissão Européia, ExternE – <http://www.externe.info>.

Fischer, C., and Newell, R. G. (2008). Environmental and technology policies for climate mitigation. *Journal of Environmental Economics and Management*, 55: 142–162.

Guia de Orientação (2002). *O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL: guia de orientação*. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas.

Holmgren, K. and Amiri, S. (2007). Internalising external costs of electricity and heat production in a municipal energy system. *Energy Policy*, 35: 5242–5253.

IAEA et al. (2006). *Brazil: a country profile on sustainable energy development*. IAEA Library Cataloguing in Publication Data. STI/PUB/1247.

IAB (2007). *1º Leilão de Fontes Alternativas*. Instituto Acende Brasil, 18 de junho de 2008.

IBGE (2009). Informações disponíveis no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - <http://www.ibge.gov.br/home/>.

IPCC (2007) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC 2 (2007) Le Treut, H., R. Somerville, U. Cubasch, Y. Ding, C. Mauritzen, A. Mokssit, T. Peterson and M. Prather, 2007: Historical Overview of Climate Change. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Invivo (2008). Informações disponíveis no site da Fundação Oswaldo Cruz – <http://www.invivo.fiocruz.br>.

Itaya, J. (2008). Can environmental taxation stimulate growth? The role of indeterminacy in endogenous growth models with environmental externalities. *Journal of Economic Dynamics & Control*, 32: 1156–1180

Kammen, D. M., and Pacca, S. (2004). Assessing the Costs of Electricity. *Annual Review Environmental Resource*, 29: 301–344.

Klaassen, G., and Riahi, K. (2007). Internalizing externalities of electricity generation: An analysis with MESSAGE-MACRO. *Energy Policy*, 35: 815–827.

Lei (2004). Lei 10.847. Diário Oficial da União, República Federativa do Brasil, 15 de março de 2004.

Lei (2002). Lei 10.438. Diário Oficial da União, República Federativa do Brasil, 26 de abril de 2002.

Lesser, J. A., and Su, X. (2008). Design of an economically efficient feed-in tariff structure for renewable energy development. *Energy Policy*, 36: 981–990.

Lora, E. E. S. (2000). Controle da Poluição do Ar na Indústria Açucareira. Escola Federal de Engenharia de Itajubá. Livro disponível para download em http://www.nest.unifei.edu.br/portugues/pags/downloads/downloads_pt.html.

Maia, A. G., Romeiro, A. R. e Reydon, B. P. (2004). *Valoração de recursos ambientais – metodologias e recomendações*. Texto para Discussão. IE/UNICAMP n. 116, mar. 2004.

Mankiw, N. G. (2007). *Introdução à Economia*. Editora. Tradução da 3ª Edição Norte-Americana. Editora Thomson Learning.

Marchenko, O. V. (2007). Modeling of a green certificate market. *Elsevier - Renewable Energy*.

Maroun, M. R. (2007). *Adaptação às mudanças climáticas: uma proposta de Documento de Concepção de Projeto (DCP) no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL)*. Dissertação de Mestrado em Planejamento Energético, COPPE, Brasil.

MMA (22/04/2009). Informações disponíveis no site do Ministério do Meio Ambiente - <http://www.mma.gov.br/sitio/index.php?ido=conteudo.monta&idEstrutura=18>.

MME (01/05/2009). Informações disponíveis no site do Ministério de Minas e Energia - <http://www.mme.gov.br>.

MCT (22/05/2009). Informações disponíveis no site do Ministério de Ciência e Tecnologia - <http://www.mct.gov.br>.

MCT (2009). *Status atual das atividades de projeto no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) no Brasil e no mundo (Última compilação do site da CQNUMC: 06 de fevereiro de 2009)*. Ministério da Ciência e Tecnologia. Disponível em http://www.mct.gov.br/upd_blob/0200/200842.pdf.

Nguyen, K. Q. (2005). Internalizing externalities into capacity expansion planning: The case of electricity in Vietnam. *Elsevier – Energy*.

Nogueira, J. M., e Pereira, R. R. (1999). *Critérios e Análise Econômicos na Escolha de Políticas Ambientais*. ECO-NEPAMA, Brasília.

Owen, A. D. (2004). Environmental Externalities, Market Distortions and the Economics of Renewable Energy Technologies. *Energy Journal*, Vol. 25, No. 3. p. 127-155.

Palmer, K, and Burtraw D. (2005). Cost-effectiveness of renewable electricity policies. *Elsevier - Energy Economics*, 27: 873–894.

PDE (2007). *Plano Decenal da Expansão da Energia 2007/2016 – Volume 1*, MME/EPE. Disponível em http://www.epe.gov.br/PDEE/20080111_2.pdf.

PDE (2008). *Plano Decenal da Expansão da Energia 2008/2017 – Capítulo III*, MME/EPE. Disponível em http://www.epe.gov.br/PDEE/20081223_5.pdf.

PNE V.3 (2008). *Plano Nacional de Energia 2030 – Volume 3: Geração Hidrelétrica – Gás Natural*, MME/EPE. Disponível em http://www.epe.gov.br/PNE/20080512_3.pdf.

PNE V.4 (2008). *Plano Nacional de Energia 2030 – Volume 4: Geração Termelétrica – Petróleo e Derivados*, MME/EPE. Disponível em http://www.epe.gov.br/PNE/20080512_5.pdf.

PNE V.5 (2008). *Plano Nacional de Energia 2030 – Volume 5: Geração Termelétrica – Gás Natural*, MME/EPE. Disponível em http://www.epe.gov.br/PNE/20080512_5.pdf.

PNE V.6 (2008). *Plano Nacional de Energia 2030 – Volume 6: Geração Termelétrica – Carvão Mineral*, MME/EPE. Disponível em http://www.epe.gov.br/PNE/20080512_6.pdf.

PNE V.7 (2008). *Plano Nacional de Energia 2030 – Volume 7: Geração Termonuclear*, MME/EPE. Disponível em http://www.epe.gov.br/PNE/20080512_7.pdf.

PNE V.8 (2008). *Plano Nacional de Energia 2030 – Volume 8: Geração Termelétrica – Biomassa*, MME/EPE. Disponível em http://www.epe.gov.br/PNE/20080512_8.pdf.

PNMC (2008). *Plano Nacional sobre Mudança do Clima*. Governo Federal – Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima, Brasília. Disponível em: http://www.cogensp.com.br/cogensp/publicacao/2008/PNMC_dezembro_2008.pdf.

Rahman, A. M. (2004). Economics of Polluter Pays Principle for Mitigating Social Costs of Electricity: A Search for an Optimal Liability Share. *European Journal of Law and Economics*, 17: 73-95.

Rahman, A. M., and Edwards, C. A. (2004). Electricity: taxes on emission liabilities. An examination of the economic effectiveness of Polluter Pays Principles. *Energy Policy*, 32: 221-235.

Reis, L. B. (2003). *Geração de Energia Elétrica: Tecnologia, Inserção Ambiental, Operação e Análise de Viabilidade*. Editora Manole.

Reis, M. M. (2001). *Custos Ambientais Associados à Geração de Energia Elétrica: Hidrelétrica X Termelétricas a Gás Natural*. Dissertação de Mestrado em Planejamento Energético, COPPE, Brasil.

RN 247 (2006). Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Resolução Normativa Nº 247, de 21 de dezembro de 2006.

Resolução Conama (1986). Resolução Conama Nº 001. Conselho Nacional do Meio Ambiente, 23 de janeiro de 1986.

Seroa da Motta, R. (1998). *Manual para Valoração Econômica de Recursos Ambientais*, 1.ed, Brasília, MMA. Disponível em <http://www.mma.gov.br/biodiversidade/publica/mvalora/sumario.html>.

Seroa da Motta, R. et al. (1998). *Avaliação Econômica dos Impactos Causados pela Poluição Atmosférica na Saúde Humana: um estudo de caso para São Paulo*. Este artigo é parte de um estudo mais amplo desenvolvido para a CETESB junto ao Programa Integrado de Transporte Urbano de São Paulo (PITU). Disponível em http://www.ecoeco.org.br/conteudo/publicacoes/encontros/i_en/mesa3/5.pdf.

Seroa da Motta, R. (2002). *O uso de instrumentos econômicos na gestão ambiental*. IPEA, Rio de Janeiro. Disponível em

<http://www.undp.org/cu/eventos/instruverdes/Instr%20Econ%20Gestion%20Ambiental%20R%20Seroa%20da%20Motta.pdf>.

Seroa da Motta, R. (2004). Integrated Environmental Strategies (IES) in São Paulo, Brazil - Final Report. Presented in São Paulo on July 12-14, 2004 in the workshop *Public Health and Climate Change Benefits of Air Quality Management*.

Silva, E. F., e Ramos, D. S. (2008). A Comercialização de Energia Incentivada no Brasil. *SBSE 2008 - Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos 2008 – Belo Horizonte – MG – 27 a 30 de abril*.

Stiglitz, J. E. and Walsh, C. E. (2003). *Introdução à Microeconomia*. Tradução da 3ª Edição Americana. Editora Campus.

Tolmasquim et al. (2000). *Metodologias de Valoração de Danos Ambientais Causados pelo Setor Elétrico*. COPPE/ENERGE/IVIG. Editado pelo Setor de Publicações e Programação Visual/COPPE.

Tolmasquim (2001). Environmental valuation for long-term strategic planning - the case of the Brazilian power sector. *Ecological Economics* 37: 39–51.

UCSUSA (2009). Informações disponíveis no site do Union of Concerned Scientist - <http://www.ucsusa.org/>.

UNFCCC (2007). Kyoto Protocol Reference Manual on Accounting of Emissions and Assigned Amounts. *Framework Convention on Climate Change – UNFCCC Secretariat*.

UNFCCC (2005). Report of the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Kyoto Protocol on its first session, held at Montreal from 28 November to 10 December 2005. *Framework Convention on Climate Change – UNFCCC*.

Winkler, H. (2005). Renewable energy policy in South Africa: policy options for renewable electricity. *Energy Policy*, 33: 27–38.