

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS – UNICAMP

FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL ARQUITETURA E URBANISMO

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS ENERGÉTICOS E AMBIENTAIS

FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA ELÉTRICA:
COMPETITIVIDADE E PARTICIPAÇÃO NA
EXPANSÃO DO PARQUE GERADOR BRASILEIRO

Cassiano Augusto Agapito

Campinas

2008

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS – UNICAMP

FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL ARQUITETURA E URBANISMO

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS ENERGÉTICOS E AMBIENTAIS

Autor: Cassiano Augusto Agapito

FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA ELÉTRICA: COMPETITIVIDADE E PARTICIPAÇÃO NA EXPANSÃO DO PARQUE GERADOR BRASILEIRO

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

Orientador: Carlos Alberto Mariotoni

Campinas, SP

2008

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

Ag14f Agapito, Cassiano Augusto
Fontes renováveis de energia elétrica:
competitividade e participação na expansão do parque
gerador brasileiro / Cassiano Augusto Agapito. --
Campinas, SP: [s.n.], 2008.

Orientador: Carlos Alberto Mariotoni.
Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Civil e Arquitetura.

1. Energia elétrica - Produção. 2. Projetos -
Avaliação. 3. Recursos naturais renováveis. I.
Mariotoni, Carlos Alberto. II. Universidade Estadual de
Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e
Urbanismo.
III. Título.

Titulo em Inglês: Renewable energy sources: competitiveness and participation in
expansion of brazilian electricity market

Palavras-chave em Inglês: Electricity generation, Renewable energy sources,
Projects evaluation

Área de concentração: Recursos Hídricos Energéticos e Ambientais

Titulação: Mestre em Engenharia Civil

Banca examinadora: Paulo Franco Barbosa, Roberto Castro

Data da defesa: 28/08/2008

Programa de Pós Graduação: Engenharia Civil

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS – UNICAMP

FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL ARQUITETURA E URBANISMO

Dedicatória

Autor: Cassiano Augusto Agapito

FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA ELÉTRICA: COMPETITIVIDADE E PARTICIPAÇÃO NA EXPANSÃO DO PARQUE GERADOR BRASILEIRO

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

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. CARLOS ALBERTO MARIOTONI

Instituição: FEC-UNICAMP Assinatura: CAMariotoni

Prof. Dr. PAULO SERGIO FRANCO BARBOSA

Instituição: FEC-UNICAMP Assinatura: Paulo FMB

Prof. Dr. Roberto Castro

Instituição: CPFL Energia Assinatura: [Assinatura]

Campinas, 28 de agosto de 2008

Dedicatória

Aos meus pais, Thais e Amaury,
pelo exemplo e dedicação à minha formação.

À minha esposa Carolina, pelo amor
e companheirismo em todos os momentos.

Aos meus Irmãos Daniel e Rafael,
que mesmo a distancia me inspiram e me dão
força para continuar meu caminho.

Aos meus familiares e amigos, pelas trocas de idéias e incentivo.

Agradecimentos

Agradeço ao Professor Mariotoni, por todo o apoio dispensado, sabendo dosar na medida perfeita a compreensão e a cobrança. Agradeço também, ao Professor Paulo Barbosa, que abriu os caminhos que possibilitaram o desenvolvimento deste tema de extrema relevância.

Agradeço aos Especialistas que participaram desta pesquisa, permitindo a disseminação de informações de tamanha relevância para a economia e para o desenvolvimento brasileiros.

Resumo

Agapito, Cassiano Augusto. Fontes renováveis de energia elétrica: Competitividade e participação na expansão do parque gerador brasileiro. Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 2008.

O objetivo desse estudo é explorar os caminhos da expansão da geração no setor elétrico brasileiro. Com uma avaliação econômica das diferentes opções de projetos selecionados através da simulação de Tarifas de Equilíbrio, este estudo busca analisar a competitividade das fontes renováveis de geração no mercado brasileiro de energia elétrica e o impacto da evolução dos conceitos da economia ambiental e a colocação destes conceitos em prática através da alteração da legislação vigente. Através de uma pesquisa com especialistas são levantados os dados necessários para elaboração dos modelos econômico-financeiros individuais de cada fonte. Os resultados obtidos com a pesquisa mostram que as fontes renováveis devem manter participação elevada na expansão do sistema, e o novo paradigma ambiental deve elevar essa superioridade ainda mais.

Palavras Chaves: Geração de energia elétrica; Fontes renováveis de energia; Avaliação econômica de projetos de geração de energia.

Abstract

Agapito, Cassiano Augusto. Fontes renováveis de energia elétrica: Competitividade e participação na expansão do parque gerador brasileiro. Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 2008.

The purpose of this study is to explore the ways of expansion of generation in the Brazilian electricity sector. With an economic evaluation of different options for selected projects through the simulation of Rates of balance, this study aims to analyze the competitiveness of renewable generation in the Brazilian electricity market and the impact of the development of concepts of environmental economics and putting these concepts into practice by amending the existing legislation. Through a search specialists are raised with the data necessary to produce economic and financial models of each individual source. The results of the research show that renewable sources must maintain high participation in the expansion of the system, and the new paradigm environmental superiority that should raise even more.

Key Words: Electricity Generation; Renewable Sources of energy; Economic Evaluation of electricity generation projects.

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 4.1: Curvas de Oferta e Demanda	13
Figura 4.2: Custos de produção	15
Figura 4.3: Receita x Custos	17
Figura 4.4: Modelo Econômico – Benefício externo marginal da redução x custo marginal para alcançá-la	27
Figura 4.5: Fluxograma da central termelétrica de combustão externa	38
Figura 4.6: Fluxograma da central termelétrica com co-geração	40
Figura 4.7: Fluxograma da central termelétrica de combustão interna	41
Figura 4.8: Fluxograma da central termelétrica de ciclo combinado	41
Figura 5.1: Estrutura da pesquisa	58
Figura 6.1: Demanda média anual por eletricidade (GW)	66
Figura 6.2: Tarifas de Equilíbrio das Tecnologias Elegíveis Caso 1 – Período 2010-2015	68
Figura 6.3: Tarifas de Equilíbrio das Tecnologias Elegíveis Caso 1 – Período 2015-2020	69

Figura 6.4: Tarifas de Equilíbrio das Tecnologias Elegíveis Caso 1 – Período 2020-2025	69
Figura 6.5: Tarifas de Equilíbrio das Tecnologias Elegíveis Caso 1 – Período 2025-2030	70
Figura 6.6: Curva de Oferta (R\$/MWh x MW) Caso 1 – Período 2010-2015	71
Figura 6.7: Curva de Oferta (R\$/MWh x MW) Caso 1 – Período 2015-2020	71
Figura 6.8: Curva de Oferta (R\$/MWh x MW) Caso 1 – Período 2020-2025	72
Figura 6.9: Curva de Oferta (R\$/MWh x MW) Caso 1 – Período 2025-2030	72
Figura 6.10: Participação das fontes renováveis na expansão até 2030 – Demanda baixa – Caso 1	73
Figura 6.11: Participação das fontes renováveis na expansão até 2030 – Demanda alta – Caso 1	74
Figura 6.12: Custo Marginal de Expansão – Caso 1	74
Figura 6.13: Tarifas de Equilíbrio das Tecnologias Elegíveis Caso 2 – Período 2010-2015	75
Figura 6.14: Tarifas de Equilíbrio das Tecnologias Elegíveis Caso 2 – Período 2015-2020	76
Figura 6.15: Tarifas de Equilíbrio das Tecnologias Elegíveis Caso 2 – Período 2020-2025	76
Figura 6.16: Tarifas de Equilíbrio das Tecnologias Elegíveis Caso 2 – Período 2025-2030	77

Figura 6.17: Participação das fontes renováveis na expansão até 2030 – Demanda baixa – Caso 2	78
Figura 6.18: Participação das fontes renováveis na expansão até 2030 – Demanda alta – Caso 2	79
Figura 6.19: Custo Marginal de Expansão – Caso 2	79

LISTA DE QUADROS E TABELAS

	Página
Quadro 5.1: Variáveis do modelo econômico-financeiro dos projetos	60
Tabela 5.1: Modelo econômico-financeiro dos projetos	61
Tabela 6.1: Necessidade de expansão da oferta anual 2010-2030	67
Tabela 6.2: Participação anual na expansão do setor (MW) – Caso 1	73
Tabela 6.3: Participação anual na expansão do setor (MW) – Caso 2	78

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

MME – Ministério de Minas e Energia

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico

SIN – Sistema Interligado Nacional

Sumário

	Página
1. INTRODUÇÃO	01
2. OBJETIVO	05
3. HIPÓTESE	07
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	09
4.1. Definição de Mercado	10
4.2. A formação do preço	11
4.3 Custos de produção	13
4.4 Análise de mercados competitivos	16
4.5 Análise econômico-financeira de projetos	21
4.6 Falhas de mercado	22
4.7 Externalidades e sustentabilidade	23
4.8 Políticas de controle de emissões	25
4.9 Avaliação de projetos e meio ambiente	29
4.10 As diversas tecnologias de geração de energia elétrica	31
4.10.1 Usinas hidrelétricas	35

4.10.2 Usinas termelétricas	37
4.10.3 Usinas nucleares	43
4.10.4 Usinas eólicas	44
4.10.5 Integração da geração aos sistemas elétricos	45
4.11 A transformação do setor elétrico	46
4.12 A experiência internacional	50
4.13 O papel do Estado no novo ambiente	52
4.14 A indústria de produção de energia elétrica	54
5. A PESQUISA: METODOLOGIA E PRÁTICA	57
5.1 Estimativa do potencial disponível dos recursos energéticos	59
5.2 Análise econômico-financeira de projetos	59
5.3 Cenários da expansão da oferta de energia elétrica	62
5.4 Custos ambientais e tendências	63
6. RESULTADOS	65
6.1. Necessidade de expansão da oferta	66
6.2. Tarifas de equilíbrio para as diversas tecnologias elegíveis – Caso sem receitas ou incentivos para as fontes renováveis	67
6.3 Tarifas de equilíbrio para as diversas tecnologias elegíveis – Caso com receitas e incentivos para as fontes renováveis	75

7. CONCLUSÕES	81
8. RECOMENDAÇÕES E SUGESTÕES	87
Referências bibliográficas	89
Apêndice 1 - Pesquisa com Especialistas – Hidrelétricas e PCHs	93
Apêndice 2 – Pesquisa com Especialistas – Termelétricas	95
Apêndice 3 – Pesquisa com Especialistas – Eólicas	97

1.INTRODUÇÃO

A expansão de sistemas de geração de energia elétrica é tema exaustivamente discutido por teóricos e agentes do setor, seja no Brasil ou no mundo. A complexidade deste tema multidisciplinar, que envolve questões tecnológicas, econômicas, ambientais e sociais de alto impacto, levou países, há décadas, a organizarem de forma estruturada e centralizada o planejamento da operação e expansão dos sistemas, possibilitando o atendimento à demanda crescente por este insumo. No caso específico do Brasil, esta centralização bastante marcante, possibilitou a evolução do Sistema Interligado Nacional, que engloba mais de 95% de toda a demanda por eletricidade no país e possui porte singular.

Antes das mudanças institucionais sofridas pelo setor nas últimas décadas, o Estado detinha a responsabilidade sobre praticamente todas as funções ativas do setor, sendo o planejamento centralizado a ferramenta guia para os caminhos da expansão, que seriam trilhados pelas empresas estatais atuantes.

Com a instituição do novo modelo setorial e a transferência do poder de decisão de alocação do capital, do poder público para o privado, o planejamento centralizado perdeu seu poder determinativo, passando a ser muito mais a observação e anseio do Estado sobre o futuro do setor, podendo ser esta uma visão míope dos verdadeiros caminhos que se apresentarão. A validade deste planejamento dependerá da

capacidade de seus autores em compreender as forças deste mercado, trabalhando muitas vezes em conjunto e de forma participativa com os demais agentes do setor. Como recompensa, um planejamento realista pode possibilitar uma comunhão de interesses, despertando nos agentes privados empatia pelos caminhos vislumbrados pelo planejador.

Pela ótica do agente privado, a visão de longo prazo dada pelo planejamento estrutural possibilita a estimação da evolução dos custos marginais do setor e, com isso, dos preços futuros. Além disso, caso a visão deste esteja em consonância com a do planejador, terá maior confiança em aplicar seus recursos.

O planejamento estrutural do setor elétrico brasileiro sofreu fortemente com a implementação do novo modelo institucional. Foi inicialmente deixado de lado por se entender que o Estado deveria se preocupar apenas com a regulação e que o mercado cuidaria do resto. Seu enfraquecimento foi considerado um dos motivos da falta de oferta e conseqüente racionamento de energia elétrica enfrentado pelo país no início desta década.

Recentemente, com a instituição da EPE, deu-se nova força aos estudos centralizados e à retomada do planejamento estrutural. Os estudos ainda são em número reduzido, dado o tempo em que se estruturou a EPE e seu corpo técnico, mas contam com um acúmulo de conhecimento de longa data já que absorveram grande quantidade de informações desenvolvidas pelos grupos de planejamento das antigas empresas estatais.

Em uma observação inicial, percebe-se nos estudos da EPE a postura adequada de participante e incentivadora da trilha de interesse do Estado. Não existe postura impositiva, mas elucidativa, tentando facilitar os caminhos daqueles que pretendem participar ativamente deste setor.

Mesmo acreditando que a EPE está desempenhando de forma adequada seu papel, entende-se válida a pesquisa ora proposta como forma de confronto dos resultados alcançados por seus estudos de longo prazo, com o intuito de produzir uma crítica construtiva às práticas desta Empresa.

Outro ponto motivador da pesquisa é a questão ambiental e a evolução do tratamento dispensado a esta no Brasil e no mundo. Nova forma de enxergar os recursos ambientais, tentando dar valor à sua utilização ou degradação, produzirão efeitos econômicos diretos e indiretos aos projetos de geração. Exemplos destas mudanças são a implementação da cobrança pela utilização dos recursos hídricos e a criação de mercados para a comercialização de certificados de redução de emissões de carbono. Essa valorização dos recursos ambientais deve se intensificar à medida que estes se tornam mais escassos e que a sociedade dá maior importância à sua preservação.

2.OBJETIVO

O objetivo desse estudo é explorar os caminhos da expansão da geração no setor elétrico brasileiro. Com uma avaliação econômica das diferentes opções de projetos selecionados através da simulação de Tarifas de Equilíbrio, este estudo busca traçar um mapa da matriz elétrica futura e, com isso, analisar a competitividade das fontes renováveis de geração no mercado brasileiro de energia elétrica.

A definição de dois cenários, um considerando e outro desconsiderando os custos e receitas trazidos pela legislação ambiental e por imposições ou incentivos aos projetos de geração, tem intenção de quantificar a relevância da evolução dos conceitos da economia ambiental e a colocação destes conceitos em prática através da alteração da legislação vigente terá sobre a competitividade das fontes renováveis.

Trazendo à tona a discussão sobre a expansão do parque gerador brasileiro, este trabalho tem também um interesse participativo, apresentando uma visão acadêmica a este tema de extremo interesse de empresas e do governo.

3.HIPÓTESE

O Brasil continuará a explorar as fontes renováveis de energia de forma predominante, dadas suas vantagens econômicas e ambientais quando comparadas às fontes não renováveis.

O novo paradigma ambiental aumentará a competitividade das fontes renováveis de eletricidade no Brasil e no mundo, impactando diretamente a configuração da matriz energética mundial.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, será exposto inicialmente de forma resumida a teoria dos mercados, onde as forças de compradores e vendedores se equilibram, dando origem ao preço. Partindo desta base, o foco do estudo será a Oferta de energia elétrica, suas tecnologias e custos de produção, enquanto a Demanda pelo produto terá sua discussão resumida ao essencialmente necessário.

Para alcançar o objetivo de avaliação econômica de projetos, serão apresentados os conceitos de Valor Presente e de Tarifa de Equilíbrio, onde o preço de venda do produto remunera o capital investido no projeto e seus custos de operação e manutenção. A questão ambiental será abordada com a visão econômica de externalidades, com o intuito de discutir de que forma pode-se incluir os impactos ambientais na avaliação de projetos.

Apresentados os pontos teóricos citados, será introduzido o histórico do setor elétrico nacional e as transformações que este sofreu em relação à sua estrutura financeira e de mercado. Um ambiente extremamente estatizado deu espaço para o livre comércio e o investimento privado. Como será mostrado, este movimento foi uma reação baseada na experiência internacional que já apontava para essa flexibilização como solução para a eficiência deste mercado.

O foco deste trabalho não será discutir a capacidade do setor em alcançar um equilíbrio competitivo sem grandes distorções entre seus participantes, mas sim, imaginando-se esse ambiente competitivo, avaliar que espaço as diversas tecnologias de geração de energia elétrica terão no parque nacional futuro.

4.1 Definição de Mercado

Tisdell (1993, pg. 189) nos recorda que a economia é muitas vezes lembrada como a ciência da alocação de recursos escassos de maneira adequada na sociedade. Os economistas têm propagado que existem quatro caminhos gerais para reduzir a escassez dos recursos:

1. Pela promoção da alocação de recursos entre usos alternativos - desta forma a eficiência do sistema econômico em satisfazer os desejos humanos é ampliada;
2. Pela garantia de emprego para todas as pessoas que quiserem trabalhar, recebendo pelo valor agregado por eles à produção;
3. Promovendo o crescimento econômico;
4. Pela distribuição de renda.

A divisão da economia em dois ramos principais, sejam elas a macroeconomia e a microeconomia, revela-se na forma como são levadas em consideração as unidades econômicas individuais. Enquanto na macroeconomia essas unidades são tratadas de maneira agregada, a microeconomia se preocupa com seu comportamento individual. Tais unidades abrangem quaisquer indivíduos ou entidades que tenham participação em nossa economia.

O relacionamento entre as diversas unidades, em busca da realização de suas necessidades e aspirações, origina o mercado. Uma forma de classificarmos os indivíduos em sua interação é os dividirmos em dois grandes grupos: Compradores e Vendedores. O mercado é formado por compradores e vendedores que, por meio de suas reais ou potenciais interações, determinam o preço de um produto ou de um conjunto de produtos. (Pindick e Rubinfeld, 2005)

4.2 A formação do preço

Considerando as relações entre os que procuram por um bem ou serviço e aqueles que os ofertam, o preço de mercado e a quantidade produzida serão revelados quando alcançado o equilíbrio entre as partes. O modelo da oferta e da demanda é a ferramenta utilizada pela microeconomia para a compreensão da formação do preço e de suas previsões nos diversos mercados da economia. Este modelo combina dois conceitos distintos e de extrema importância: a curva da oferta e a curva da demanda. (Pindick, 2005)

A curva da oferta é traçada no plano Preço x Quantidade Produzida e nos dá o volume que os produtores estão dispostos a produzir para um determinado preço do bem. Essa curva não representa algo imutável, mas vale como uma fotografia de um determinado momento, onde as empresas produtoras arcam com determinados custos de produção. A figura 4.1.a apresenta uma curva de oferta típica. Quanto maior o preço de mercado, maior a quantidade produzida.

Já a curva de demanda de um determinado grupo por um bem específico mostra a quantidade máxima do bem que será comprada pelo grupo a um determinado preço. A demanda por qualquer bem pode ser uma demanda composta, para uma série de usos diferentes. Pode ser também conjunta, quando associada ao consumo de outros bens, ou mesmo derivada da procura por um outro bem final. A figura 4.1.b exemplifica a formação de uma curva de demanda.

Unindo as duas curvas em um mesmo plano (figura 4.1.c), conseguimos observar a chamada “lei da oferta e da procura”. O ponto de encontro das duas curvas é o exato ponto onde os desejos de compradores e vendedores serão simultaneamente satisfeitos. (Friedman, 1962)

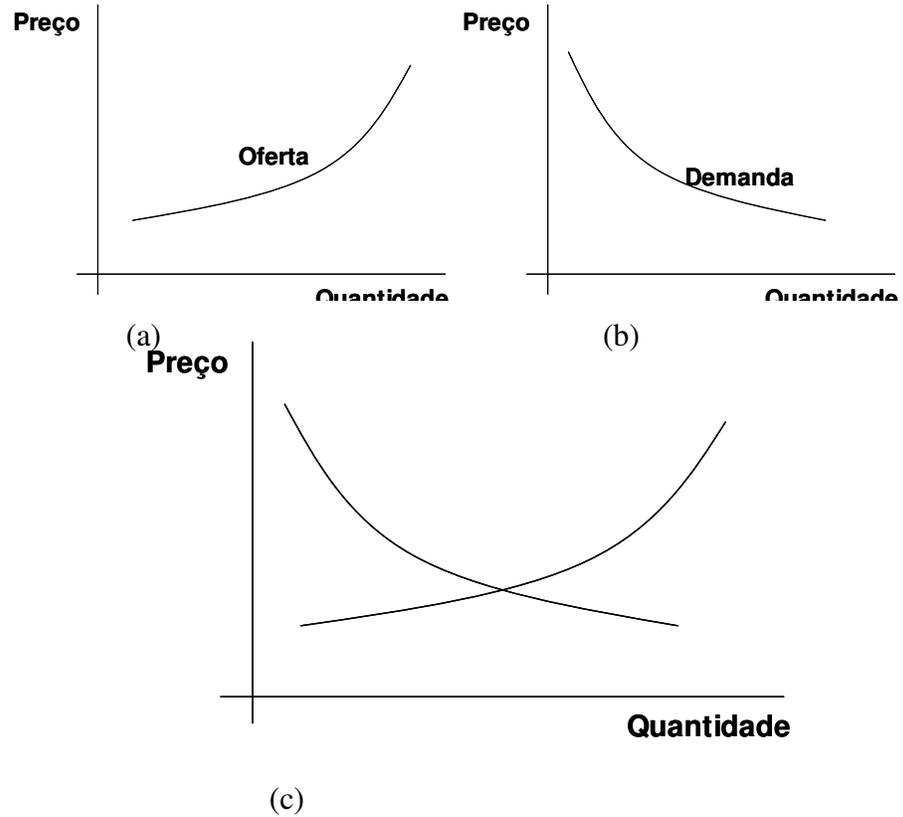


Figura 4.1: Curvas de Oferta e Demanda

4.3 Custos de produção

Neste momento se faz necessário apresentar a diferenciação feita entre curto e longo prazo. Na teoria econômica, quando se trata do Curto Prazo se refere ao período no qual um ou mais fatores de produção não podem ser modificados. No longo Prazo, todos os insumos são variáveis.

Pindick (2005, pg. 160) coloca que os fatores de produção anteriormente citados podem ser divididos em categorias mais amplas, quais sejam: Trabalho, que abrange os trabalhadores especializados ou não e os esforços empreendedores dos administradores; Matérias-primas, que abrange os diversos produtos adquiridos pela empresa para a transformação em produtos finais; e Capital, abrangendo o terreno, as instalações, equipamentos e os estoques.

No curto prazo, considerando definida uma tecnologia de produção da empresa, os administradores devem decidir como produzir. Eles buscarão a combinação ótima dos insumos que minimizará os custos de produção. Alguns dos custos das empresas variam com o nível da produção, enquanto outros permanecem sem modificação mesmo que elas não estejam produzindo nada. É prática, por isso, dividir o custo econômico total da produção em dois componentes:

Custos Fixos (CF): custos que não variam com o nível da produção e só podem ser eliminados se a empresa deixa de operar.

Custos variáveis (CV): custos que variam quando o nível da produção varia. (Pindick, 2005)

Outro ponto interessante sobre custos é a distinção entre o custo médio e o custo marginal. O Custo Marginal ou Custo Incremental é o aumento de custo ocasionado pela produção de uma unidade adicional de produto. O Custo Marginal informa-nos quanto custará aumentar a produção em uma unidade. Já o Custo Médio é o custo por unidade de produto. Encontramos o Custo Médio dividindo o Custo Total pelo número de unidades produzidas.

Os gráficos apresentados na figura 4.2 a seguir nos dão uma mostra visual do comportamento dos diversos custos citados anteriormente.

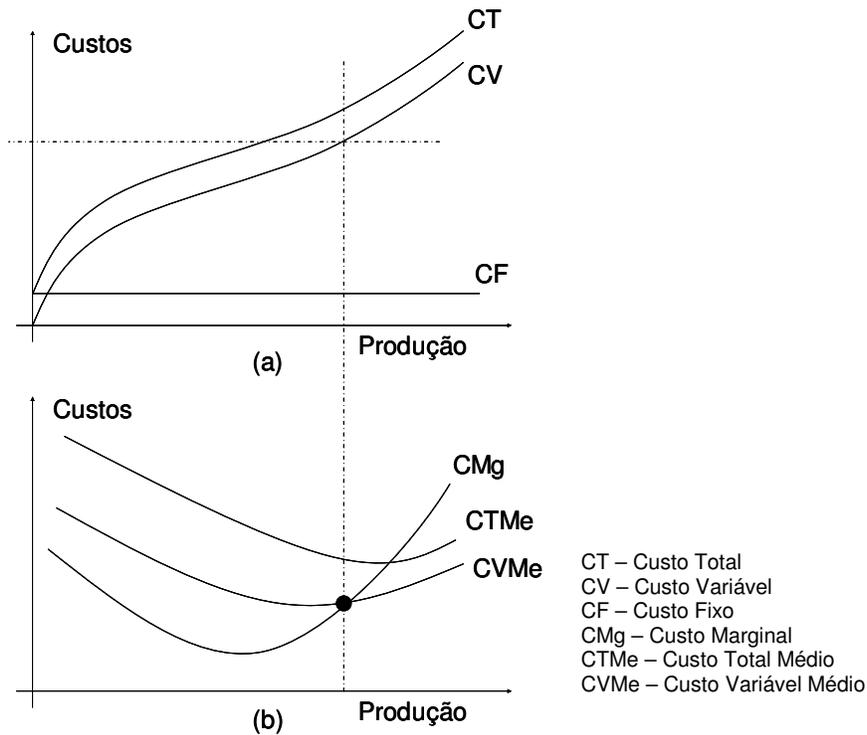


Figura 4.2: Custos de produção

Vale ressaltar a relação entre os custos marginal e médio, já que enquanto o custo marginal for menor que o custo médio, a curva do custo médio apresentará declínio. A partir do cruzamento entre as curvas e ultrapassagem do custo marginal sobre o custo médio, o custo médio passa a ter elevação. O ponto de interseção entre as curvas de custos marginal e médio será o ponto de menor custo médio de produção. (Pindick, 2005,pg. 188)

No longo prazo, a empresa pode modificar a quantidade de capital que emprega. A fim de comparar os gastos da empresa com bens de capital aos seus custos correntes com a produção, é preciso expressar esses gastos como um fluxo, isto é, em moeda por ano. Para fazê-lo, deve-se amortizar esses gastos distribuindo-o pela vida útil dos bens de capital, considerando também os juros perdidos que a empresa teria obtido se tivesse investido os recursos de outra forma.

4.4 Análise de mercados competitivos

O modelo de competição perfeita baseia-se em três suposições básicas:

1. aceitação de preços, que pode ser resumida imaginando-se um mercado com um número significativo de concorrentes, onde cada empresa vende uma parte suficientemente pequena do total da produção que vai para o mercado e, por isso, as suas decisões não influenciam o preço de mercado;
2. homogeneidade de produto, quando os produtos são substitutos perfeitos entre si, nenhuma empresa pode aumentar seu preço acima do preço de mercado, porque nesse caso perderia seus clientes;

3. livre entrada e saída de empresas, significando que não há custos especiais que tornam difícil para uma nova empresa entrar em um setor e produzir ou sair dele se não conseguir obter lucros. (Pindick, 2005,pg. 254)

Em um mercado perfeitamente competitivo, o grande número de vendedores e compradores de uma mercadoria garante que nenhum vendedor ou comprador em particular pode influenciar o preço. O preço é determinado pelas forças de mercado da oferta e da demanda. As empresas, individualmente, baseiam-se no preço de mercado para decidir quanto vão produzir e vender, e os consumidores também se baseiam no preço para decidir quanto vão adquirir.

Utilizando como premissa que as empresas buscam a maximização de seus lucros, uma vez que o lucro corresponde à diferença entre receita e custo, para que se possa descobrir o nível de produção capaz de maximizar lucros deve-se analisar a receita da empresa. Para maximizar lucros, a empresa opta pelo nível de produção para o qual a diferença entre receita e custo seja máxima. Este princípio é ilustrado na figura 4.3. No caso da Receita, vale também o conceito de receita marginal, que mostra em quanto varia a receita quando o nível de produção varia em uma unidade.

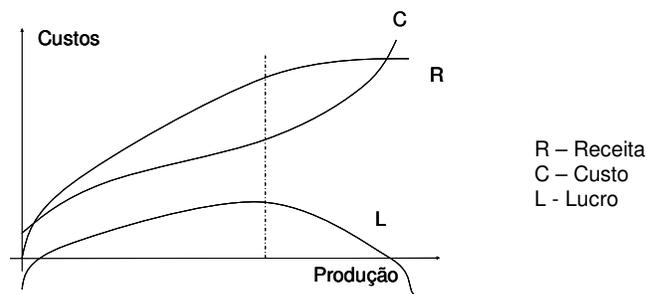


Figura 4.3: Receita x Custos

A regra de maximização do lucro encontra o ponto ótimo onde a receita marginal é igual ao custo marginal, ou em outras palavras, quando o lucro incremental é nulo.

Considerando a curva de demanda em mercado competitivo, onde o preço está dado, de tal forma que a receita marginal é igual ao preço, a regra geral para maximização de lucros pode ser simplificada. A empresa competitiva deve escolher seu nível de produção de tal forma que seu custo marginal seja igual ao preço.

No longo prazo, o nível de produção que maximiza os lucros de uma empresa competitiva é aquele no qual o custo marginal no longo prazo se iguala ao preço. Existe um processo dinâmico no mercado que tem tendência de equilíbrio no longo prazo onde as empresas auferem lucro econômico zero. Esse processo pode parecer desconcertante em primeira análise, mas o lucro econômico zero representa um retorno competitivo para o investimento do capital financeiro da empresa, e apenas as empresas que tenham um diferencial competitivo conseguirão sobreviver.

O sistema de preços é designado para refletir custos marginais às flutuações nas condições de oferta e demanda. Toda decisão de investimento deve valorar os lucros futuros com a mercadoria produzida. Um investidor em potencial atentará para a receita do projeto, subtraídos os custos esperados e, trazidos esses resultados a valor presente por uma taxa apropriada, os comparará com os custos do capital disponível. (Hammond, Helm e Thompson, 1989)

A concorrência em uma indústria age continuamente no sentido de diminuir a taxa de retorno sobre o capital investido na direção da taxa competitiva básica de retorno. Esta taxa básica competitiva, ou retorno de “mercado livre”, é aproximadamente igual ao rendimento sobre títulos do governo a longo prazo ajustados para mais pelo risco de perda do capital. Os investidores não vão tolerar retornos abaixo desta taxa a longo prazo em virtude de sua alternativa de investimento em outras indústrias.

A presença de taxas de retorno mais altas que o retorno ajustado de mercado livre serve para estimular o influxo de capital em uma indústria, quer por novas entradas, quer por investimento adicional dos concorrentes já existentes na indústria. O conjunto das forças competitivas em uma indústria determina até que ponto este influxo de investimento ocorre e direciona o retorno para o nível da taxa de mercado livre, assim, a capacidade das empresas de manterem retornos acima da média. (Porter, 1991)

A competitividade financeira de uma empresa está diretamente ligada à capacidade desta em captar e aplicar seus recursos. Tanto um quanto o outro são influenciados pela capacidade de gerar receita e fluxo de caixa através da venda à seus clientes, dos custos de produção e o nível de produtividade da manufatura, da eficiência dos processos administrativos, e conseqüente economia dos recursos financeiros que permitem. (Maschieto, pg 53)

Uma dificuldade em quantificar o custo marginal é decidir em que escala de tempo será considerada a adição da produção. O custo extra de adicionar uma unidade a mais do produto hoje pode ser maior ou menor do que se tivermos algum tempo para

ajustar a oferta à nova demanda. A política ideal, na visão de Slater (In Helm, Kay e Thompson, 1989), deveria almejar o seguinte:

1. Um preço equivalente ao Custo Marginal de Curto Prazo (CMCP), que refletiria os custos marginais reais dos recursos utilizados no período suprido;
2. Quando o CMCP for maior que o Custo Marginal de Longo Prazo (CMLP) deve-se expandir a capacidade;
3. A capacidade aproxima-se de seu nível ótimo quando CMCP se aproxima do CMLP.

O formato da curva de oferta no longo prazo depende da medida em que as expansões e as contrações da produção do setor influenciam a determinação dos preços que as empresas necessitam pagar por seus insumos no processo produtivo.

4.5 Análise econômico-financeira de projetos

Para a análise econômica de um investimento, faz-se necessário o levantamento minucioso das receitas e dos custos adicionais trazidos por sua implantação. Esses fluxos financeiros ao longo do tempo irão remunerar todos os fatores de produção envolvidos. Como citam Casarotto Filho e Kopittke (2000, pg 18), ao trabalho o salário, à terra o aluguel, à capacidade administrativa o lucro, à técnica o royalty e ao capital o juros.

Os juros são o pagamento pela oportunidade de dispor de um capital durante determinado tempo. Desta forma, os fluxos financeiros não podem ser somados sem antes serem colocados na mesma base temporal. Métodos simples de engenharia econômica, como o Valor Presente Líquido – VPL, onde os fluxos financeiros são trazidos ao presente através do desconto das parcelas de juros e então somados, podem ser utilizados para a avaliação de projetos. (Casarotto Filho e Kopittke, 2000)

4.6 Falhas de mercado

Em algumas situações, os preços não fornecem sinais adequados aos consumidores e produtores e nestes casos, o mercado competitivo não regulamentado é ineficiente, ou seja, não maximiza o excedente do consumidor e do produtor em conjunto. De acordo com a Consultoria Tendências (2003, pg. 174) existem quatro situações nas quais o funcionamento do mercado é incapaz de gerar eficiência. São elas:

Competição imperfeita: Quando um ou mais agentes conseguem influenciar a formação do preço;

Informação imperfeita: Que permite a manipulação da informação por partes de seus detentores em benefício próprio;

Externalidades: Algumas atividades econômicas podem resultar em custos ou benefícios a agentes não envolvidos com a atividade que não se refletem no preço de mercado. Esses custos ou benefícios são denominados externalidades.

Bens Públicos: Quando da utilização e exploração de um bem econômico da sociedade pela atividade privada.

Cada uma dessas situações justifica a aplicação da regulação. Neste ponto do trabalho volta-se a atenção para as externalidades e, com isso, tem-se a oportunidade para abordarmos o tema da diferenciação das fontes de geração de energia elétrica sob

a ótica dos impactos ambientais trazidos pela utilização de cada uma das fontes escolhidas.

4.7 Externalidades e sustentabilidade

A economia ambiental analisa as relações econômicas entre a humanidade e o meio ambiente. Seu foco principal é estudar os impactos da atividade econômica no meio ambiente assim como a influência do meio ambiente na atividade econômica e no bem estar das pessoas. Neste sentido, pode-se definir dois fatores importantes para serem analisados pela economia ambiental: 1. As externalidades ou emissões provocadas por entidades econômicas e 2. A Sustentabilidade Ambiental.

Como foi dito anteriormente, as externalidades representam os efeitos de uma determinada atividade econômica desenvolvida por uma entidade no ambiente de uma outra entidade. Elas podem ser de vários tipos, favoráveis ou desfavoráveis. Quando uma externalidade provoca custo ou perda para outros que não são compensadas, esta é desfavorável. Quando provoca ganhos para entidades não envolvidas na atividade, a externalidade é considerada favorável.

Apesar de externalidades algumas vezes justificarem uma interferência em determinado sistema produtivo, o simples fato de se observar uma externalidade não é suficiente para isso. Por vezes a externalidade é irrelevante para o equilíbrio do

mercado ou os custos da intervenção governamental podem exceder os ganhos para a comunidade.

Já a sustentabilidade ambiental pode ser definida como a nossa habilidade de sustentar um ambiente particular que dependerá, entre outras coisas, da disponibilidade e qualidade dos recursos naturais. O bem estar humano e de outros seres vivos dependem de determinados ambientes, naturais ou não, muitas vezes frágeis o suficiente para serem desconfigurados por uma atividade econômica. (Tisdell, 1993)

Tietenberg (1988, pg. 33) alega que o critério de sustentabilidade sugere que, no mínimo, as futuras gerações não deveriam viver piores do que as gerações de hoje. Em termos gerais, isso equivale a dizer que as ações das gerações do presente quando utilizando os recursos naturais não deveriam reduzir o padrão de vida das gerações futuras. A Comissão Internacional sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (World Commission on Environment and Development) (1987, pg.43) declara que o desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento que alcança as necessidades do presente sem comprometer a habilidade das futuras gerações atenderem suas próprias necessidades.

4.8 Políticas de controle de emissões

Economistas estão interessados nos efeitos que a poluição produz nos níveis de satisfação e bem estar que os cidadãos obtêm de seus recursos, e com a eficiência e valor das varias formas de controle de poluição como as taxas sobre emissões ou subsídios para reduções de poluentes. Não são seus interesses descobrir tecnologias ou estudar as relações naturais envolvidas no controle de poluentes, apesar destas relações serem informações essenciais na solução de problemas de controle de poluentes. (Tisdell, 1993, pg. 46)

Segundo Romeiro, Reydon e Leonardi, (1999, pg 131) a internalização do custo externo ambiental pode ser implementada com a adoção de mecanismos de comando-e-controle (padrões ambientais, licenciamento e sanções legais) e de Instrumentos Econômicos. Os instrumentos econômicos podem ser classificados em dois tipos: (i) incentivos que atuam na forma de prêmios e (ii) incentivos que atuam na forma de preços. Os incentivos que atuam na forma de prêmios são basicamente o crédito subsidiado, as isenções de imposto e outras facilidades contábeis para efeito de redução da carga fiscal. Os incentivos econômicos via preços são todos os mecanismos que orientam os agentes econômicos a valorizarem os bens e serviços ambientais de acordo com sua escassez e seu custo de oportunidade social. Para tal, atua-se na formação dos preços privados destes bens ou, no caso de ausência de mercados, criam-se mecanismos que acabem por estabelecer um valor social. O objetivo da atuação direta sobre os preços é a internalização dos custos ambientais nos custos privados que os agentes econômicos incorrem no mercado em atividades de produção e consumo.

O custo marginal privado para determinada empresa produzir seus produtos pode divergir do custo marginal desta produção para a sociedade. Imaginando-se um produtor que emite determinado poluente prejudicial à saúde ou propriedade de outros, o custo marginal privado de tal produção falhará em refletir o custo marginal para a sociedade e sua produção, além de suas emissões de poluentes, será socialmente excessiva.

Pigou (Apud Tisdell, 1993) sugere que este nível de produção socialmente excessiva trazida pela emissão de poluentes pode ser remediada pela imposição de uma taxa uniforme adequada na produção de determinado produto. Entretanto, a proposta de Pigou contém algumas fraquezas. A principal delas é que a taxação será ineficiente por tentar controlar o nível de poluição apenas pela regulação da quantidade produzida. Seria mais eficiente taxar a emissão indesejada diretamente. Por exemplo, a emissão de poluentes em um determinado processo produtivo pode ser originada pela utilização de um insumo particular e este poderia ter um substituto perfeito que produziria menor emissão, porém a um custo maior. A taxação sobre a produção desencorajaria a substituição do insumo poluidor, mesmo que esta fosse a opção mais desejada para a sociedade.

O modelo simplificado utilizado por economistas para discutir o controle de emissões de poluentes é ilustrado na figura 4.4. O modelo leva em conta os custos para mitigar as emissões de poluentes assim como os benefícios externos trazidos pela redução de tais emissões. A idéia básica deste modelo é que dado certo nível de emissão de poluente, será socialmente ótimo a redução dos níveis de emissões até que o benefício externo marginal da redução seja igual ao custo marginal de alcançá-la.

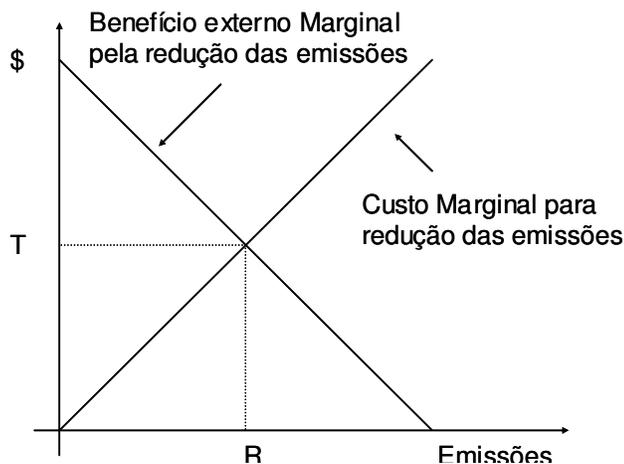


Figura 4.4: Modelo Econômico – Benefício externo marginal da redução x custo marginal para alcançá-la

O montante de emissões de poluentes socialmente ótimo poderia ser alcançado pela imposição de uma taxa de $\$T$ por unidade de poluente emitido. Enquanto o custo marginal de redução das emissões for menor que a taxa marginal sobre as emissões, incentivará os emissores a reduzir suas emissões.

Baumol e Oates argumentam que a taxa adequada sobre as emissões é a opção mais eficiente para alcançar um padrão ambiental quando comparada à imposição de restrições quantitativas ou cotas de poluentes, como por exemplo, o uso de leis que especificam o montante máximo permitido de poluente que pode ser emitido por um poluidor. (Baumol, 1972; Baumol e Oates, 1971) Isto porque as restrições quantitativas, para que alcancem a eficiência, requerem que o regulador tenha toda a informação necessária sobre custos de controle de poluentes experimentado pelas empresas enquanto a taxa não necessita de informação, pois a taxa ótima, aquela que garante que o padrão será alcançado, pode ser encontrada por tentativa e erro.

A alocação ótima de emissões para alcançar o padrão pode ser conseguida pela imposição de uma taxa uniforme de \$T sobre cada unidade de poluente emitida. A Taxa comum garante, se as empresas estão buscando maximizar seus lucros, que o custo marginal de abatimento será equalizado para todos os poluidores. Este método garante que a condição necessária para minimizar os custos gerais de abatimento será satisfeita. A Taxa uniforme pode variar até que o padrão ambiental proposto seja alcançado. A taxa uniforme garante minimização de custos mesmo onde as restrições quantitativas não conseguem.

Porém as demonstrações de Baumol (1972) e Baumol e Oates (1971) (Apud Tietenberg, 1974) da superioridade da taxação uniforme dos poluentes assumem que os danos provocados pelas emissões dependem apenas do nível global de emissões. Isto é, que o lugar onde as emissões ocorrem não fazem diferença para o dano que elas causam. Em muitas situações esta é uma suposição inapropriada e quando ela é violada o abatimento ótimo das emissões não poderá ser alcançado pela imposição de taxas uniformes. A estruturação de zonas de taxação pode superar a objeção de Tietenberg, com taxas feitas sob medida para cada zona.

Dales argumenta fortemente a favor da venda de “direitos de poluir” como forma de controlar o nível de emissões. (Dales, 1968) Em certas circunstancias este método resulta em nível ótimo de emissões. Dado um padrão de emissões ótimo, certificados poderiam ser vendidos ou leiloados pelo governo. O preço de equilíbrio deste mercado assegura eficiência na emissão dos poluentes. As empresas com maiores custos para abater emissões comprarão os certificados e aquelas com menores custos abaterão os poluentes. Desta forma qualquer nível de redução de poluição será alcançado pelo menor custo à comunidade e, adicionalmente, as empresas terão incentivo para adotar tecnologias de redução de poluentes.

É importante ressaltarmos os custos incorridos pelo governo e seus órgãos quando administrando as medições de controle de poluentes. Esses custos incluem os custos de coleta de informações e imposição das regras. Na avaliação do que seria desejável pela sociedade na medição de qualquer governo para controle de poluentes, a conta deve considerar os custos dos abatimentos das emissões assim como os custos do governo. (Tisdell, 1993, pg. 59)

Hoje em dia, a discussão se volta para formas de poluição com efeitos ambientais globais. Exemplo disso são os gases do efeito estufa, como o dióxido de carbono, que são identificados como agentes causadores do aquecimento global. O interesse global sobre as emissões de gás carbônico resultou em buscas por controles dessas emissões. Controles sugeridos incluem a taxação de emissão e as cotas de emissões que podem envolver a distribuição de permissões negociáveis. (Tisdell, 1993, pg. 59)

4.9 Avaliação de projetos e meio ambiente

Não apenas as externalidades geradas por empresas públicas, mas aquelas originadas por projetos assumidos pela iniciativa privada podem ser motivo de política pública. Mesmo que o empreendedor não queira levar as externalidades em conta quando no acesso a um projeto, o projeto necessitará de um relatório de impacto ambiental. Isso levanta a questão do que significa uma externalidade. No caso de empresas privadas, isto é bastante claro – é um benefício ou dano provocado pela

operação do empreendimento pelo qual nenhum pagamento é feito ou recebido. (Tisdell, 1993, pg. 86)

O artigo de Coase de 1960, "The Problem of Social Cost", levantou novos pontos de discussão para a valorização de externalidades. O artigo apontou que produtores sujeitos a externalidades são freqüentemente capazes de se ajustar alterando suas técnicas ou mudando a natureza de suas atividades econômicas. Na avaliação de um projeto com emissões, os custos para ajustamento dos envolvidos devem ser colocados na conta. Quando existirem várias técnicas alternativas ou métodos disponíveis para se concluir um projeto, estes precisam ser especificamente levados em consideração em sua avaliação. (Tisdell, 1993, pg. 89)

A reações dos envolvidos com as emissões na escolha de técnicas em resposta às técnicas escolhidas pelos investidores dos projetos precisam ser especificamente levados em consideração na avaliação do projeto. A avaliação dos benefícios sociais líquidos do projeto depende das opções de tecnologias disponíveis para sua implantação, a resposta esperada dos receptores das emissões em alterar seus comportamentos e técnicas, e das ações que podem ser tomadas pelo governo com o objetivo de influenciar as reações dos receptores. (Tisdell, 1993, pg. 92)

Com isso, podemos entender que se deve fazer um levantamento criterioso sobre as possibilidades do projeto, suas tecnologias e inserção no ambiente prospectado.

Dados econômicos são apenas parte das informações utilizadas em avaliações econômicas de projetos. Dependendo do problema, independentemente das

informações econômicas, é usual a necessidade de informações biológicas, tecnológicas e de outras ciências naturais, assim como outras matérias da ciência social. Que balanço deveria ser almejado entre a adequação das informações econômicas e de outras fontes quando se faz necessário escolher uma em detrimento de outra? O líder da avaliação do projeto precisa observar que um equilíbrio apropriado é alcançado na base de dados. (Tisdell, 1993, pg. 103)

Não só o problema de obter o melhor balanço das informações é vivido pelo empreendedor, mas também o de decidir o quanto de informação coletar e com que extensão, visto que essa deverá ser ainda processada. Baumol e Quandt (1964) chamaram atenção para o fato de que apenas serão racionais a coleta e processamento da informação até que o custo marginal do trabalho de coleta e processamento for igual ao benefício marginal esperado pela informação extra.

4.10 As diversas tecnologias de geração de energia elétrica

A geração de eletricidade tem como princípio a transformação de fontes primárias de energia em energia elétrica. Esta não está disponível na natureza em quantidades suficientes, mas ainda assim é extremamente utilizada pela sociedade. Esta preferência pelo consumo da energia elétrica ao invés da utilização direta dos combustíveis primários vem de suas características vantajosas ao consumidor final: A energia elétrica é limpa - o consumidor não tem contato direto com os resíduos e emissões produzidos pela obtenção da energia elétrica, diferentemente da obtenção de

energia através da queima direta de combustíveis; A energia elétrica é segura – quando utilizada de forma correta, a eletricidade não coloca o usuário em contato com processos produtivos ou máquinas, tendo apenas a necessidade de se conectar em um sistema ou tomada; A energia elétrica tem fácil acessibilidade – uma vez conectado ao sistema elétrico, através das redes, o consumidor terá acesso instantâneo ao produto toda vez que necessitar. Ultimamente, a preferência pelo consumo de eletricidade ganha força com a utilização dos equipamentos eletrônicos, que a cada dia ocupam mais espaço na vida das pessoas.

A obtenção da energia elétrica se dá através de processos industriais diversos, que vão desde a queima de combustíveis que acionam motores, até processos químicos como no caso das células de combustível. Lineu Belico (2003, pg. 2) identifica as fontes básicas de energia no planeta Terra, assim como seus processos de transformação da energia em eletricidade:

1. Transformações de trabalho gerado por energia mecânica, através do uso de turbinas hidráulicas (acionado por quedas d'água, marés) e cata-ventos (acionados pelo vento);
2. Transformação direta da energia solar, através do uso de células fotovoltaicas, por exemplo;
3. Transformação de trabalho resultante da aplicação de calor gerado pelo sol, por combustão (da energia química), fissão nuclear ou energia geotérmica, através da aplicação de máquinas térmicas;

4. Transformação de trabalho resultante de reações químicas, através das células de combustível.

Essas fontes primárias utilizadas na produção da eletricidade podem ser classificadas em renováveis ou não-renováveis, dependendo do tempo que elas levam para serem transformadas pela natureza. Os rios, ventos ou marés, que possuem ciclos naturais, além da biomassa, produzida em processos agrícolas ou como resíduos de processos industriais, e da iluminação solar, são consideradas energias renováveis. Já os combustíveis fósseis, como o petróleo, o gás natural e o carvão mineral, e os combustíveis radioativos são chamados de fontes não-renováveis.

Nos dias de hoje, as fontes mais exploradas no mundo para a produção de energia elétrica são a hidráulica, o carvão mineral, o petróleo, através da utilização do óleo combustível ou do óleo diesel, o gás natural e os combustíveis radioativos. Essas fontes são conhecidas como fontes convencionais de energia.

Algumas fontes não convencionais vêm despertando interesse econômico e começam a ganhar espaço no mercado de geração de energia elétrica, como é o caso da utilização dos pequenos aproveitamentos hidráulicos, a utilização da biomassa como combustível, a energia eólica e a solar. Estas são também conhecidas como fontes alternativas de energia.

Será apresentado um resumo dos processos de produção da eletricidade com cada fonte de interesse, a fim de elencar os principais componentes de cada unidade

industrial. Através de uma análise inicial das tecnologias de produção de energia elétrica, foram selecionadas as seguintes fontes de geração: Hidrelétrica, Pequenas Centrais Hidrelétricas – PCH's, Termelétricas a carvão, a óleo, a gás natural, à biomassa e nuclear, e Eólica. Essa seleção levou em consideração os níveis tecnológicos e comerciais atuais, sendo estas as fontes com instalações de porte considerável em operação pelo mundo.

As diferentes tecnologias de geração têm estruturas de custos distintas. As principais componentes de custo são o custo do capital, os preços dos combustíveis e os custos de operação e manutenção das unidades industriais. Os custos também são influenciados pelo desempenho da tecnologia empregada, como o fator de capacidade da unidade, sua eficiência térmica ou sua vida útil.

Os custos de implantação da geração hidrelétrica têm forte dependência da a geografia local e do clima. Por outro lado, seus custos de operação são baixos. A geração nuclear tem altos custos de capital devidos em parte pelo longo tempo de construção e também pelos custos de descomissionamento. A geração termelétrica convencional tem forte influencia dos custos com combustíveis, porém tem fácil e rápida implantação. (OECD, 2001)

4.10.1 Usinas hidrelétricas

O conceito básico por trás da geração hidrelétrica é a utilização da energia contida nas quedas d'água para acionar uma turbina hidráulica conectada a um gerador elétrico. A estrutura física necessária para possibilitar essa extração vai muito além do conjunto turbina-gerador, muitas vezes necessitando de grandes obras civis. Reis (2003, pág 62) apresenta os principais componentes de uma central hidrelétrica padrão. São eles:

Barragens, utilizadas para represar a água para captação e desvio; elevar o nível d'água para aproveitamento elétrico e regularizar as vazões;

Extravasoires ou vertedores que permitem a passagem direta do excesso da água para jusante;

Comportas que permitem isolar o sistema de produção de energia, permitindo, por exemplo, a manutenção dos componentes;

Condutos por onde a água escoa até as máquinas para a geração;

Chaminés de equilíbrio que aliviam os efeitos do excesso de pressão causado por variações abruptas de vazão nas tubulações;

Casas de Força onde são instalados turbinas, geradores, reguladores de tensão e velocidade, painéis e outros equipamentos elétricos;

Sistema de conexão e transformação que ajusta a tensão de saída das máquinas e permite a exportação da energia produzida ao sistema elétrico.

As centrais hidrelétricas têm porte e características variadas e, por isso, os custos para implantação também são bastante díspares. É comum a classificação das hidrelétricas em diversas categorias, dependendo da ótica analisada. Reis (2003, pág. 65) cita quatro classificações usuais para as hidrelétricas: (a) **quanto ao uso das vazões naturais**, que podem ser fio d'água, centrais de acumulação e centrais com armazenamento por bombeamento ou reversão; (b) **quanto à potência**, sendo microcentrais até cem kilowatts, minicentrais de cem até mil kilowatts, pequenas centrais de mil até trinta mil kilowatts, médias centrais de trinta mil até cem mil kilowatts, e grandes centrais de cem mil kilowatts para cima; (c) **quanto à queda**, que podem ser baixíssima, se menor que dez metros, baixa se entre dez e cinqüenta metros, média se entre cinqüenta e duzentos e cinqüenta metros e alta se maior que duzentos e cinqüenta metros de queda; (d) **quanto à forma de captação de água**, que pode ser através de desvio e derivação ou direto do leito do rio por represamento.

Analisando a inserção dos projetos hidrelétricos ao meio ambiente, percebe-se rapidamente a amplitude dos impactos e alterações trazidos à região onde se encontra o aproveitamento hidráulico de interesse, se estendendo por toda a área alagada com a construção da barragem, mas não se limitando a esta. A alteração das encostas, o assoreamento, perda de recursos minerais que podem ser inundados, a vegetação alagada e a fauna desalojada são alguns dos impactos ambientais mais comuns e importantes que devem ser equacionados. No âmbito social, a desapropriação da área a ser alagada, a forte migração de mão de obra durante o período de construção da usina para cidade próxima, e o uso múltiplo da água pela população da região podem ser algumas das questões a serem abordadas para a adequada implantação dos projetos. Como bem colocado por Tolmasquim (2005, pág. 17) quando os impactos ambientais e sociais são antecipados e considerados desde as fases iniciais de identificação dos projetos e estudos de viabilidade econômica, é possível serem

convenientemente tratados, mitigados e adequadamente compensados. Tudo isso, claro, gera mais alguns custos ao projeto.

4.10.2 Usinas termelétricas

O conceito básico da geração termelétrica é a conversão de energia térmica em mecânica e, então, em energia elétrica. A utilização de um fluido que quando aquecido se expande, realizará trabalho em turbinas térmicas. O acoplamento destas turbinas ao eixo de geradores elétricos converte a energia mecânica em elétrica.

O aquecimento do fluido de trabalho pode se dar através da queima de combustíveis, fósseis ou não, ou através da energia dos combustíveis radioativos, baseado no processo de fissão nuclear. Excluindo as centrais nucleares, que possuem processo diferenciado, as demais centrais termelétricas podem utilizar dois métodos de combustão distintos, quais sejam:

- Combustão externa: quando a combustão não entra em contato com o fluido de trabalho, como no caso das centrais termelétricas a vapor, onde o combustível é queimado em uma caldeira e aquece a água até transformá-la em vapor;

- Combustão Interna: quando a combustão acontece sobre uma mistura de ar e combustível, sendo esta mistura o próprio fluido de expansão. Exemplos deste método são as turbinas a gás e as máquinas térmicas a pistão.

A diversidade da geração termelétrica está na variedade de combustíveis que podem ser utilizados na geração de calor. De acordo com o método de combustão utilizado tem-se a possibilidade de utilização de combustíveis diversos. O carvão mineral, o óleo combustível, o óleo diesel, o gás natural ou a biomassa podem ser utilizados no método de combustão externa. Já no método de combustão interna, utilizam-se o gás natural, em turbinas a gás, ou derivados do petróleo, em máquinas térmicas a pistão. A figura 4.5 apresenta o esquema simplificado da central termelétrica de ciclo de combustão externa.

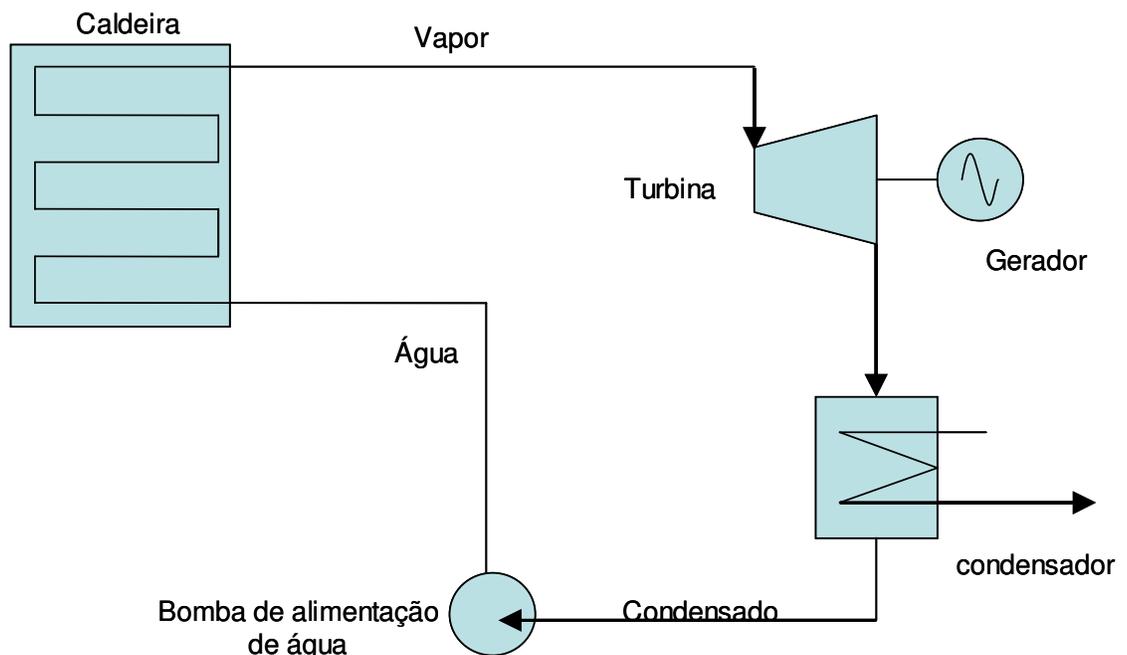


Figura 4.5: Fluxograma da central termelétrica de combustão externa

Esse processo pode ser descrito em quatro etapas de um ciclo contínuo:

1. Bombeamento da água para a caldeira;

2. Fornecimento de calor pelos gases da combustão do combustível na caldeira para a produção de vapor;

3. Expansão do vapor na turbina, produzindo trabalho no rotor que, acoplado a um gerador Elétrico transforma essa energia mecânica em eletricidade;

4. Resfriamento do vapor para posterior reinjeção do condensado à caldeira, fechando o ciclo.

Como coloca Tolmasquim (2005, pg 55), este processo de transformação de energia térmica possui eficiência entre 25 e 30%, bastante baixa em relação a outros processos atualmente utilizados. Das perdas do sistema termelétrico a vapor, 10% são referentes à caldeira e cerca de 55% ao calor contido no vapor de exaustão das turbinas a vapor, que é dissipado nas torres de resfriamento.

Uma forma inteligente de otimizar os recursos energéticos utilizados é a co-geração. A co-geração é a utilização simultânea do vapor para a geração de energia

elétrica e como fonte energética para outros processos industriais. A idéia básica por trás da co-geração é o aumento do rendimento global do combustível utilizado e, assim, da eficiência energética do processo. A alteração no processo é apresentada na figura 4.6 a seguir.

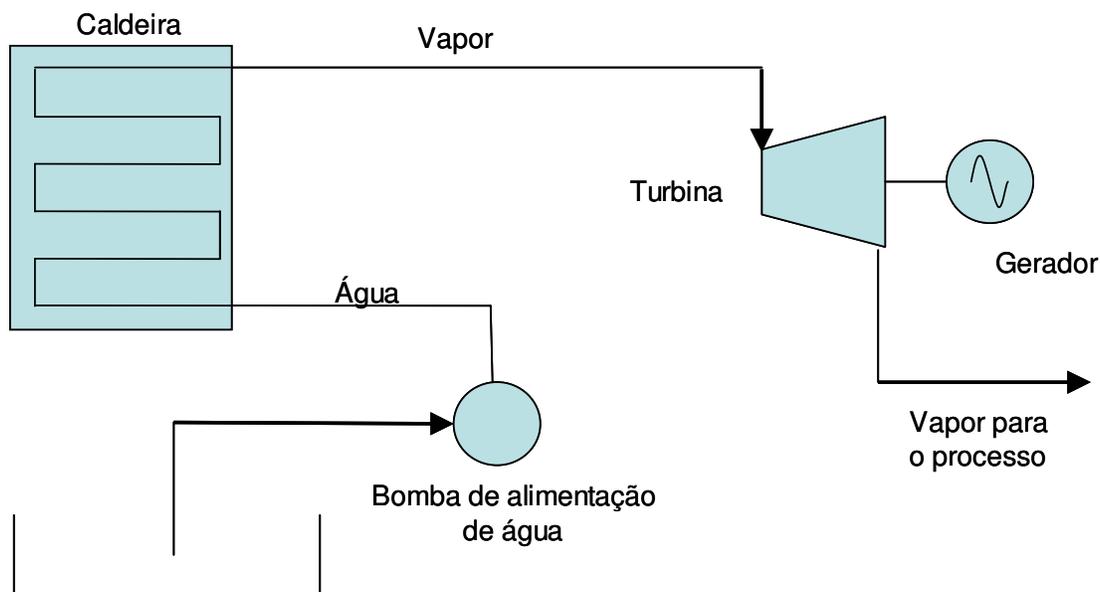


Figura 4.6: Fluxograma da central termelétrica com co-geração

Como exemplo de uma configuração termelétrica com ciclo de combustão interna, apresentam-se as centrais a gás, que através da mistura de gás e ar, acionam uma turbina a gás e, assim, o gerador elétrico. Como cita Tolmasquim, (2005, pág 57) estas turbinas são mais eficientes que as turbinas a vapor devido ao pico do ciclo de temperatura das turbinas a gás ser bem mais alto do que o atingido pela turbina a vapor. Apesar da superioridade em relação ao ciclo a vapor, este processo descarrega os gases de exaustão na atmosfera, comprometendo significativamente seu rendimento que fica próximo a 35%.

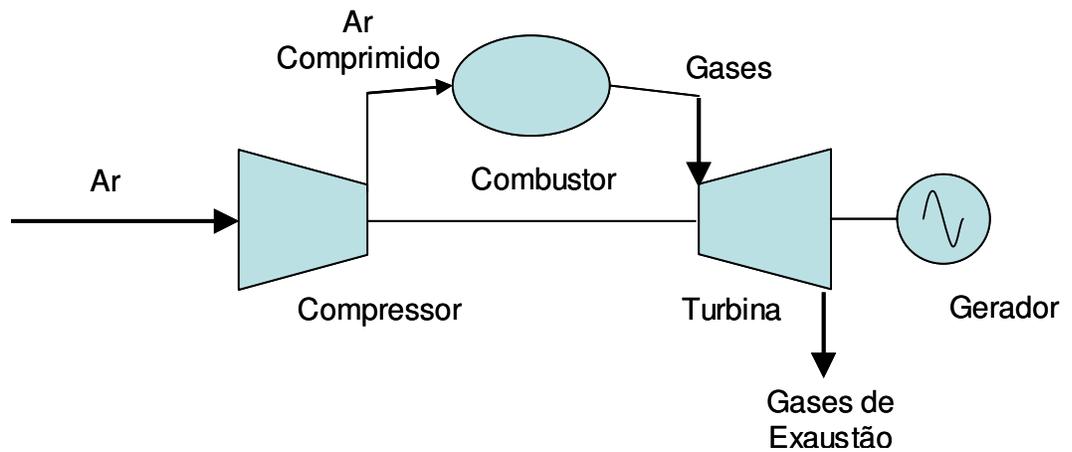


Figura 4.7: Fluxograma da central termelétrica de combustão interna

A utilização da energia contida nos gases de escape pode ser uma solução interessante para otimizar a utilização energética do combustível. O acoplamento de um sistema de geração a gás a um sistema de vapor utilizando-se do calor recuperado dos gases de exaustão para aquecer o fluido que acionará a turbina a vapor, conseguirá atingir eficiência superior a 50%.

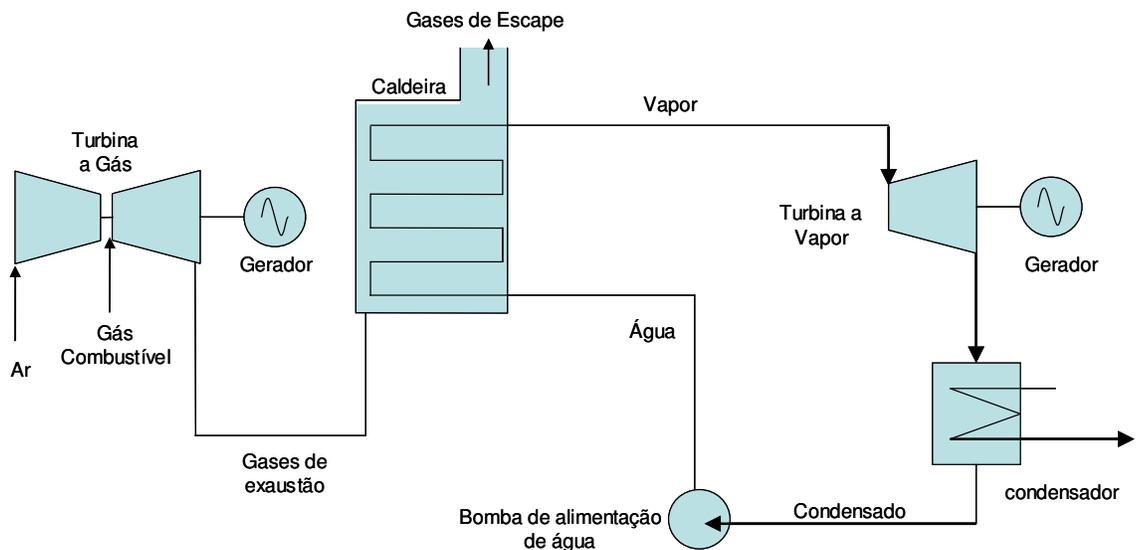


Figura 4.8: Fluxograma da central termelétrica de ciclo combinado

É importante ressaltar a possibilidade de gaseificação de combustíveis sólidos, como o carvão e a biomassa, permitindo sua utilização em sistemas a gás e a ciclo combinado.

A questão ambiental da implantação e operação de usinas termelétricas está ligada basicamente às emissões de efluentes, sejam aéreos, líquidos ou sólidos, com destaque aos aéreos, que possuem maior potencial poluidor.

Entre as emissões aéreas de maior representação podemos listar: o dióxido de carbono (CO_2), os óxidos de enxofre (SO_x), óxidos de nitrogênio (NO_x) e materiais particulados. Entre os efluentes líquidos, podemos citar o impacto de alterações de temperatura nos efluentes devolvidos aos rios, além de químicos em geral, utilizados na limpeza das máquinas ou no tratamento e desmineralização da água.

Os resíduos sólidos são basicamente as cinzas do processo de queima do combustível, que podem contaminar o solo e a água. Um ponto adicional a se levantar é a possibilidade de emissões ocasionadas por falha ou acidente, como vazamentos, rompimentos, etc.

4.10.3 Usinas nucleares

A diferença básica das térmicas nucleares em relação às térmicas convencionais a vapor é que o processo de aquecimento da água na usina nuclear utiliza a energia liberada na fissão nuclear que acontece no reator. Existem vários tipos de reatores, que se diferenciam pelo tipo de combustível, moderador e refrigerante utilizados. O moderador tem a função de controlar o fluxo de nêutrons, a fim de maximizar a energia proveniente do núcleo. O refrigerante é o fluido que transfere o calor do reator para a turbina, direta ou indiretamente.

Os reatores mais utilizados nas usinas em operação e em implantação no mundo são o LWR – Light Water Reactor, que utilizam a água como refrigerante e moderador, e o HWR – Heavy Water Reactor, que utilizam como refrigerante e moderador o Deutério (D_2O) que é a água com um isótopo mais pesado de Hidrogênio.

Com relação à inserção das usinas nucleares no meio ambiente, destaca-se que estas causam impactos bastante diferentes das demais termelétricas. A usina nuclear não emite CO_2 ou qualquer outro gás do efeito estufa, NO_x nem SO_x , principais poluentes emitidos pelas térmicas convencionais. Por outro lado, a manipulação do combustível radioativo traz consigo uma série de problemas ligados principalmente aos dejetos radioativos, às consequências de acidentes e à desativação da usina após o encerramento de sua vida útil.

4.10.4 Usinas eólicas

A geração de energia elétrica através dos ventos se dá com a captação da energia cinética, contida nas massas de ar em movimento, através de pás que transferem a energia mecânica para um rotor acoplado a um gerador elétrico. Entre os componentes de uma central eólica para produção de eletricidade destacamos:

Pás: também denominadas de rotor, o conjunto tem o objetivo de captar a energia dos ventos e transferi-la ao eixo. Podem ter eixo vertical ou horizontal;

Cubo: conecta as pás ao eixo do rotor;

Caixa de engrenagens: Responsável pela transmissão da energia do rotor, de rotação relativamente baixa (15 a 200 rpm), para o eixo do gerador elétrico, de rotação tipicamente alta (1500 a 1800 rpm);

Gerador elétrico: que podem ser síncronos ou assíncronos;

Sistema de controle: tem várias funções objetivando a maximização do aproveitamento da energia dos ventos, entre elas, o acompanhamento do eixo em direção ao vento e o deslocamento angular das pás.

Circuitos eletrônicos: circuito retificador-inversor, responsável por transformar a geração elétrica para uma frequência constante.

Suporte Estrutural: elemento de sustentação do recipiente onde estão o eixo do rotor, a caixa de engrenagens e o gerador, fixados em grandes alturas (podem estar a mais de 100 metros do chão).

O aproveitamento da energia eólica produz impactos ambientais muito pequenos quando comparados aos impactos de usinas hidrelétricas ou termelétricas. Ainda assim, países com nível de desenvolvimento da consciência ambiental mais elevado, discutem impactos como o ruído, a colisão de pássaros e o impacto visual trazidos pelos projetos eólicos.

4.10.5 Integração da geração aos sistemas elétricos

Os diferentes tipos de projetos de geração se diferenciam também na forma como se conectam ao sistema de transmissão e distribuição, devido basicamente ao projeto das usinas e a distancia que estas se encontram dos centros de consumo. Grandes projetos hidrelétricos, muitas vezes localizados em regiões remotas, ou mesmo termelétricas a carvão ou gás natural, localizadas próximas às jazidas ou gasodutos, precisam percorrer grandes distâncias para se conectar ao sistema. De outro lado estão os pequenos projetos, localizados próximos aos centros de consumo, que podem se conectar diretamente à rede de distribuição, a conhecida geração distribuída, com custos de conexão reduzidos e com a vantagem de estarem próximos a carga.

4.11 A transformação do setor elétrico

Nas últimas duas décadas o setor elétrico tem passado por transformações em todo o mundo. A antiga visão de que, graças a suas características peculiares, o setor deveria permanecer sob controle do estado tem perdido força, dando espaço para a competição e a entrada de capital privado seja através das privatizações dos ativos do Estado, seja através de investimentos diretos na expansão dos sistemas.

Entre as características que mostram a necessidade da presença do estado no setor estão a necessidade de capital intensivo, que dificulta a entrada de novos competidores, o monopólio natural das redes de transmissão e distribuição, e a visão de que o produto energia elétrica tem participação estratégica no crescimento do país, necessitando de suprimento sem interrupções. Steiner (2001, pg 146) apresenta como motivações primárias para a regulação da indústria de suprimento de energia elétrica, a existência de condições de monopólio natural, externalidades, e características de bem público.

Estas características resultam de uma série de peculiaridades econômicas destes ativos: A eletricidade não pode ser armazenada. Isto reduz a possibilidade de atendimento da demanda em um determinado tempo. O mercado é determinado pela demanda instantânea mais do que pela demanda durante um período mais longo. Como consequência é maior a possibilidade de uma firma suprir os consumidores em um determinado período em uma escala minimamente eficiente. Além disso, a demanda por energia é objeto de grande variação aleatória, sazonal e cíclica no curto e longo prazos. Ao mesmo tempo, para satisfazer as expectativas dos consumidores, o

fornecimento de eletricidade deve ser contínuo, confiável e suprido com frequencia e tensão constantes. Como consequencia, os produtores de eletricidade devem manter reservas de capacidade e geradores com “*black start*”. Combinando a demanda variável com a necessidade de suprimento contínuo, torna-se necessária a manutenção de um excesso de capacidade que permita atender os picos de demanda. A diversidade de perfis dos consumidores ocupando as mesmas linhas trazem maior estabilidade e, com isso, custos de operação por consumidor decrescentes. Estas condições levam a economias de escala crescentes e eficiencias de custos em uma estrutura de mercado monopolística.

Dadas estas condições, era consenso mundial que o setor elétrico deveria ser conduzido pela mão do estado e que este seria responsável pelos investimentos no setor ou, como acontecia nos Estados Unidos, empresas tinham oportunidade de investir, porém eram remuneradas com tarifas reguladas, subtraídos os custos operacionais dos ativos.

As discussões sobre a necessidade da entrada do capital privado no setor e da desestatização passaram a ser encaradas de forma diferente a partir da década de oitenta, quando as idéias de diminuir a participação do estado em todos os setores da economia começaram a ganhar força. A lentidão do estado e sua dificuldade em acompanhar as variações do mercado, o impediam de prover a eficiência econômica ao setor, que traria o desenvolvimento com os menores custos sociais.

O preço de determinado produto em um mercado regulado depende de uma função subordinada, nos patamares em que o regulador acreditar que a receita total cobrirá todos os custos, além do retorno esperado ao capital necessário. A precificação

em um mercado competitivo, por outro lado, leva a função que revela a alocação eficiente de recursos econômicos. (Hyman, 2000)

O valor social da abertura do mercado de eletricidade é que ela possibilita a formação dos preços da melhor oferta possível a cada momento, e identifica como esses preços diferem em função dos atributos dos produtos, como, por exemplo, o período no dia e duração no futuro. Como resultado, vendedores e consumidores podem tomar decisões mais informados sobre, respectivamente, o que suprir e o que consumir. Geradores podem tomar decisões mais informados sobre o que produzir e formas de ofertar aos comercializadores. No longo prazo, o nível e a estrutura de preços impostas ao mercado informam ao gerador quais tipos de usinas construir e/ou desativar. (Littlechild, 2002)

A partir daí, a precificação da eletricidade como uma “commodity” em um mercado competitivo passou a ser encarada como o instrumento chave pelo qual os tão desejados benefícios econômicos da reestruturação do setor (redução de preços ao consumidor e desenvolvimento econômico) seriam atingidos. Esta precificação que possibilitaria o balanço dos recursos de suprimento, plantas de geração e outros ativos, com a demanda dos consumidores. Como colocado por Cody (2000, pg 16) a precificação reflete como o valor de um ativo é projetado em um mercado e como sinais são enviados aos consumidores para influenciar seu comportamento em direção ao padrão desejado de uso, o que é impossível de ser atingido em um sistema de preços fixos ou taxas de retorno reguladas.

Apesar do reconhecimento do valor da competição no mercado de eletricidade, ainda persistiam as dificuldades trazidas pelas peculiaridades do setor. A estrutura vertical das empresas na produção, transmissão e distribuição, além da forte presença

estatal, inibiriam qualquer tentativa de entrada por parte dos agentes privados. Fez-se necessário desenvolver um novo ambiente de mercado, através da implementação de uma série de ações transformadoras visando induzir a competição sadia no setor.

A competição no mercado de energia elétrica é definida como a habilidade dos consumidores de escolher um supridor preferido, muitas vezes chamado de Provedor de Serviços de Eletricidade (PSE). Este supridor ou provedor de serviço tem direito de acesso ao sistema de distribuição ao qual o consumidor está conectado. O supridor gera sua própria energia ou compra de um gerador ou comercializador. O supridor é, tipicamente, responsável pela medição, faturamento, cobrança, entre outros serviços, e por estabelecer seu próprio preço de venda.(Littlechild, 2002)

É consenso entre os estudiosos que um processo de abertura de mercado deve seguir um ou mais dos seguintes passos inter-relacionados: desverticalização das empresas, introdução de competição na comercialização da energia elétrica, regulação das redes de transmissão e de distribuição, estabelecendo um regulador independente e a privatização.(Jamasp e Pollitt, 2005)

É interessante notar a analogia observada por Kupfer e Hasenclever (2002, pág 583) quando estes citam uma lista de medidas que devem ser implementadas total ou parcialmente na abertura de mercado em uma indústria de redes, seja ela de telefonia, água, eletricidade, gás ou outros. São elas:

1. Desverticalização dos diferentes segmentos de atividade da cadeia produtiva dos serviços de infra-estrutura;

2. Introdução da concorrência em diferentes segmentos de atividade das indústrias de rede;
3. Abertura do acesso de terceiros às redes;
4. Estabelecimento de novas formas contratuais;
5. Privatização de Empresas Públicas;
6. Implementação de novos mecanismos de regulação e criação de novos órgãos reguladores.

4.12 A experiência internacional

As experiências de abertura dos mercados de energia elétrica em vários países nos dão parâmetros para alcançar um bom funcionamento do setor no longo prazo. O caminho da competição, proposto pelo Brasil nos últimos anos, foi motivado pelo resultado alcançado por pioneiros como Chile e Inglaterra, e por muitos outros que se aventuraram na implementação de novos ambientes institucionais. Nem todas as experiências de abertura de mercado foram benéficas ou positivas para aqueles que as adotaram, mas mesmo estes casos de fracasso podem ser úteis quando se pretende trilhar este caminho, já que nos mostram aquilo que não funciona, impedindo que o bom observador incorra nos mesmos erros.

A partir da consolidação de diversos mercados internacionais, alguns conceitos se tornaram básicos à implementação de qualquer reestruturação institucional. Exemplo disso é a certeza da necessidade de se reduzir as concentrações verticais e horizontais

no setor para se alcançar uma estrutura de mercado sustentável. Jasmab e Pollitt (2005, pg 2) apontam que a separação efetiva das atividades de geração e de transmissão é crucial para atingir a competição em mercados de energia elétrica abertos, já que isso ajuda a prevenir comportamento anti-competitivo por geradores beneficiados e garante acesso não discriminatório ao sistema elétrico. Caso isso não ocorra, poderá impedir geradores de participarem do mercado e desencorajará novas entradas. A desverticalização pode tomar a forma de funcional, contábil, legal, ou separação de posse, sendo a última a mais efetiva. Similarmente, a separação do fornecimento da distribuição é importante pela efetiva competição no varejo.

Já as cisões horizontais de empresas de geração ou o aparecimento de empresas de fornecimento que mudarão a concentração de mercado para níveis competitivos tem o objetivo de desenvolver a competição na geração no curto prazo e encorajar novos entrantes no longo prazo, tentando prevenir altos níveis de concentração nos mercados existentes.

Outra lição extraída da experiência vivida pelos países pioneiros sobre a necessidade de organização institucional, é que nesta nova estrutura faz-se necessário o estabelecimento de um mercado com todos seus processos que considerarão vários temas técnicos, econômicos e institucionais, associados com a precificação, a forma de contratação da energia a programação da operação do sistema e seu efetivo atendimento, com todas as restrições das redes.

Jasmab e Pollitt, (2005, pg 4) apontam que o equilíbrio do mercado e sua eficiência necessita de liquidez suficiente. Contratos padrão ajudam a liquidez, estabilidade e facilita que os investimentos necessários sejam realizados.

Avaliando as políticas adotadas por alguns países Roques, Newbery e Nuttall (2004, pg 3) concluem que as restrições muitas vezes impostas pelos modelos regulatórios vêm do objetivo primeiro de manter confiabilidade ao sistema.

4.13 O papel do Estado no novo ambiente

Para o entendimento do novo posicionamento a ser adotado pelo Estado com a liberalização do setor, deve-se apresentar o conceito da regulação econômica. Kupfer e Hasenclever (2002, pg 515) definem a regulação como qualquer ação do governo para limitar a liberdade de escolha dos agentes econômicos. Estas limitações podem se dar em diferentes áreas da atividade econômica, como por exemplo, em relação a preço, a proteção ao meio ambiente, ao direito dos consumidores ou ao nível de produção. O nível de regulação econômica adotado em um determinado mercado pode variar desde a estatização completa dos meios de produção até o livre funcionamento dos mercados, sendo que a máxima eficiência não pertence a nenhum dos extremos.

Quando se discute a liberalização do setor elétrico, busca-se entender a alteração de papel do Estado que deverá abrir mão de parte de seu poder em vistas da construção de um ambiente atraente aos investidores. Neste novo ambiente competitivo, o Estado perde seu papel de decisor e passa a ter uma função maior de estabelecedor das regras do jogo e fiscalizador, garantindo que estas sejam cumpridas. As regras estabelecidas devem representar os objetivos definidos para o setor.

Jamasb e Pollitt (2005, pg 4) apontam, entre algumas de suas responsabilidades, a necessidade do regulador estabelecer regras claras de mercado de modo a diminuir as incertezas regulatórias. A efetiva manutenção do livre acesso de fornecedores aos sistemas de transmissão e distribuição deve ser também sua tarefa.

Faz-se necessário lembrar que a liberalização se dá basicamente na produção de eletricidade, mantendo-se necessária a regulação das atividades de transmissão e distribuição.

É muito importante que o Estado assuma seu papel e abra caminho para que os empreendedores assumam os seus. Tentativas equivocadas de controlar as forças de mercado podem levar o sistema ao fracasso. O governo deve entender que seus planos e objetivos para o setor podem ser apresentados e compartilhados, mas nunca impostos aos agentes. Os impactos de um posicionamento errado do governo podem ser desastrosos. A possibilidade de intervenções deliberadas serão encaradas pelos agentes como riscos e adicionadas aos custos dos projetos. Além disso, caso os riscos sejam entendidos como altos, poderão afugentar os investidores, levando ao subinvestimento e, conseqüentemente, ao desabastecimento.

4.14 A indústria de produção de energia elétrica

Estabelecido o ambiente adequado para a competição, os investimentos necessários serão realizados pelas empresas já estabelecidas ou pela entrada de novos interessados. Conforme exposto por Jones (Apud Helm, Kay e Thompson, 1989) as novas plantas de geração podem ser requisitadas (a) para suprir uma demanda por eletricidade projetada; (b) em qualquer nível de demanda, para substituir uma planta em desativação, por motivo de engenharia e/ou de segurança; (c) para reduzir os custos de curto prazo. O interesse na exploração de um ativo de geração pode surgir para suprir uma carga própria, como é o caso da auto-produção ou com objetivo puramente comercial, a chamada produção independente.

A auto-produção pode ser encarada pelo consumidor, uma opção à compra de energia, caso os vendedores tentem supervalorizar seus ativos, ou como forma de garantir seu suprimento com menor risco de descontinuidade. Já a produção independente, excluídas algumas peculiaridades, é mais uma atividade econômica que busca oportunidades que maximizem os rendimentos de seus investimentos.

Jones (2001) cita que grande parte das organizações de geração de eletricidade toma suas decisões de expansão em um plano de dois estágios. No primeiro estágio, um modelo global programado para desenvolver o plano base, que representará de forma geral o desenvolvimento ótimo do sistema para quarenta ou cinquenta anos a frente, dados os custos de capital esperados, desempenho operacional, e vida econômica das diferentes alternativas de plantas de geração, e os preços previstos dos combustíveis consumidos. No segundo estágio estudos incrementais ou marginais são

utilizados para ajustar o plano base e preparar avaliações detalhadas de projetos individuais. (Jones, 1989)

A modelagem computacional estrutural dos sistemas elétricos não é novidade para o setor elétrico. Esses modelos buscam uma solução de menor custo de produção para determinada demanda prevista e as fontes de geração disponíveis. As fontes são modeladas para capturar suas características operacionais (curvas de eficiência energética, níveis de capacidade, taxas de manutenção e de saídas forçadas, custos de combustível, entre outras). Com certas mudanças, esses modelos, ou modelos próximos, poderão ser usados no setor elétrico pós regulado. Enquanto as soluções anteriores eram de menor custo, o novo paradigma requer uma solução de maximização dos lucros. Além disso, a maioria dos modelos atuais representam a demanda sem qualquer elasticidade preço.

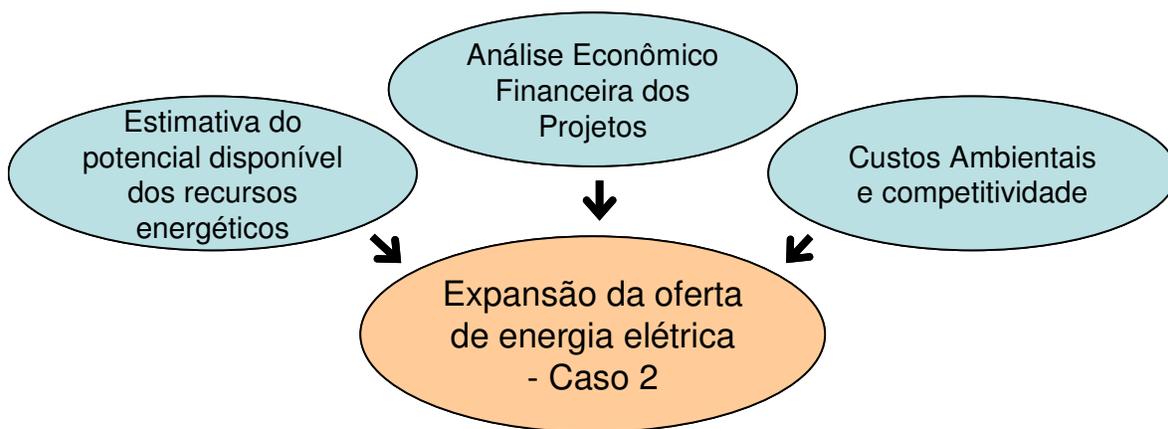
5. A PESQUISA: METODOLOGIA E PRÁTICA

A pesquisa desenvolvida terá como base material os dados de potencial de exploração e custos de implantação e operação das diversas fontes de energia elétrica hoje disponíveis em condições comerciais. Estes dados serão obtidos a partir de uma pesquisa com especialistas de cada uma das fontes selecionadas, escolhidos a partir da comprovação de experiência direta na implantação de projetos de geração para a fonte escolhida. Ao especialista foi solicitado o preenchimento da ficha da pesquisa, conforme modelos do anexo I, além da participação na entrevista complementar para esclarecimentos e captura de outras informações.

Os dados de interesse deste estudo foram divididos em grandes grupos, possibilitando a elaboração de dois cenários de interesse. Os grandes grupos de dados formados foram os relacionados ao potencial de exploração de cada tipo de fonte de geração, os relacionados aos custos e receitas trazidos com a implantação e operação dos projetos de geração e os relacionados aos impactos econômicos negativos e positivos trazidos com a legislação ambiental. Com isso, temos a elaboração dos dois casos deste estudo, como mostrado na figura 5.1 abaixo.



Caso 1



Caso 2

Figura 5.1: Estrutura da pesquisa

5.1 Estimativa do potencial disponível dos recursos energéticos

O propósito da definição do potencial energético de cada fonte é de restringir a simulação de expansão de uma determinada fonte à sua disponibilidade real. Exemplo disto é a disponibilidade de projetos hidrelétricos, que além de levarem mais de oito anos para a entrada em operação desde o início dos estudos e projeto, têm um limite máximo de exploração baseado na utilização ótima de toda a capacidade energética dos rios. No caso das termelétricas, essa restrição está mais relacionada à disponibilidade de combustível e de equipamentos, e depende entre outros, da implantação de projetos de exploração de reservas de combustíveis fósseis, ou da produção agrícola.

5.2 Análise econômico-financeira de projetos

O critério de análise e comparação dos projetos analisados será a Tarifa de Equilíbrio – TEQ, que equivale ao preço de venda da energia elétrica que remunera o capital investido a taxas de juros pré-estabelecidas. A utilização de um modelo financeiro para cada tipo de projeto será a base para a obtenção de cada uma das Tarifas de Equilíbrio.

Para o estabelecimento dos modelos de cada tipo de empreendimento, serão destacadas as variáveis de pesquisa no modelo e separadas para posterior simulação. Quadro 5.1 apresentado a seguir, separa as variáveis do modelo econômico em dois grandes grupos. As variáveis de pesquisa (indicadas na cor laranja) são aquelas a serem obtidas através de pesquisa qualitativa com especialistas nas diversas fontes de interesse. As variáveis pré-estabelecidas (indicadas na cor verde) têm pouca relação com o tipo de tecnologia utilizada, dependendo entre outros fatores da conjuntura econômica nacional.

Quadro 5.1: Variáveis do modelo econômico-financeiro dos projetos

Vida útil do Projeto	anos
Potência Instalada	MW
Fator de Capacidade	%
Investimento unitário	R\$/KW
Investimento total	R\$ (Pot. Inst. * Invest. Unitário)
Período de Investimento	anos
Despesas - O&M variável	R\$/KWh
Despesas - O&M fixo	R\$/KW
Despesas - seguro operacional	0,5% do investimento
Despesas - Transmissão	R\$/MWh
Despesas - Combustível	R\$/MWh
Estrutura de capital	30% próprio/70% financiamento
Custo do Capital próprio	15% a.a.
Taxa de juros do financiamento	8% a.a.
Amortização	12 anos
Sistema de Amortização	PRICE

Estabelecidas as variáveis, serão montados os modelos de cada tecnologia de geração. Os modelos baseiam-se na construção de fluxos de caixa futuros obtidos a partir da venda de energia elétrica, descontados os custos com toda a operação, e posterior desconto pelas taxas de custo de capital próprio para trazê-los a valor presente. A TEQ será igual ao preço de venda no qual o Valor Presente do projeto é igual a zero. A Tabela 5.1 a seguir, detalha as equações do modelo.

Tabela 5.1 : Modelo econômico-financeiro dos projetos

VALORES EM R\$ Mil	Ano 1	Ano 2	Ano 3	...	Vida Útil do Projeto
CUSTO DE IMPLANTAÇÃO	= investimento / anos p implantação	= investimento / anos p implantação			
Capital Próprio	= investimento total * 30%				
Financiamento – Principal	= investimento total * 70%				
Receita Operacional Líquida			= pot. inst. * fator de cap. * preço de venda * nº de hrs do ano	...	
DESPESAS OPERACIONAIS					
Combustível			= pot. inst. * fator de cap. * preço do combustível * nº de hrs do ano	...	
O&M Variável			= pot. inst. * fator de cap. * O&M Variável * nº de hrs do ano	...	
O&M Fixo			= potência instalada * O&M Fixo	...	
Transmissão			= potência instalada * fator de capacidade * preço de venda	...	
Seguros			= 0,5% * Custo de Implantação	...	
Lucro antes dos Juros e I.R.			= Receita Operacional Líquida - Despesas Operacionais	...	
Financiamento a amortizar			= Saldo do ano anterior * 1,08	...	
Despesas financeiras			= Total Financiado / 12 + Total financiado * Taxa de juros a.a.	...	
Saldo do Financiamento			= Financiamento a amortizar - Despesas financeiras	...	
FLUXO DE CAIXA	= Receita Operacional Líquida - Custos de Implantação - Despesas operacionais - Despesas Financeiras			...	
Costo do Capital Próprio a.a.	0,15	...	...	...	...
Taxa de desconto	= (1 + Custo do Capital) ^ nº do ano	...	...	...	...
VPL – FLUXO DE CAIXA	= Fluxo de Caixa / (Taxa de Desconto)	...	...	...	...

O preço de mercado da energia elétrica será dado pelo custo marginal dos projetos elegíveis que atendam à demanda por eletricidade, ou seja, o preço de mercado será dado pela maior TEQ entre os projetos que atenderão à demanda. Aqueles projetos com TEQ maior que o preço não serão implementados. Pelo menos, não por razões econômicas.

5.3 Cenários da expansão da oferta de energia elétrica

A partir da aquisição dos dados de interesse e da montagem dos diversos modelos econômico-financeiros, serão elaborados os cenários de equilíbrio entre a oferta e a demanda por energia. A cada ano, até 2030, serão montadas as curvas de oferta da expansão. Os pontos de equilíbrio a cada ano determinarão os Custos Marginais da Expansão anuais para o período e a participação de cada fonte na expansão da matriz elétrica brasileira.

5.4 Custos ambientais e tendências

A idéia de divisão do estudo em dois casos tem como objetivo elucidar a importância dos custos ambientais na competitividade dos projetos de geração. Enquanto o primeiro caso exclui qualquer impacto financeiro nos projetos, o segundo caso do estudo irá incluir todos os impactos financeiros listados pelos especialistas, impostos pela legislação ambiental e por imposições ou incentivos aos projetos. Observaremos as políticas de controle de emissões e internalizações dos custos externos dos projetos e de que forma estas impactam seus resultados econômicos.

6. RESULTADOS

Através da entrevista com os especialistas foi definida cada uma das diferenciações no tratamento da fonte renovável em comparação às demais, seja no arcabouço da legislação ambiental seja em outros, como a do próprio setor elétrico. A simulação de um caso sem e outro com as diferenciações nos trará dois resultados distintos de equilíbrio futuro entre a oferta e a demanda por eletricidade.

Foram identificadas as seguintes diferenciações nos projetos:

- Reduções dos custos com o transporte da energia pelo abatimento de 50% do valor das tarifas de uso dos sistemas de distribuição e transmissão, cobradas pelas concessionárias.
- Receitas advindas de certificados de redução de emissões de carbono, conseguidas pela comprovação de redução de emissão de CO² pela matriz elétrica brasileira.
- O aumento dos custos com compensação social e ambiental ou com aumento dos controles de emissões.

6.1. Necessidade de expansão da oferta

A necessidade de expansão anual da oferta de energia elétrica foi baseada no Plano Nacional de Energia 2030 elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética e leva em consideração o crescimento da demanda por eletricidade na rede do Sistema Interligado Nacional, excluída a auto produção de energia nos sítios das indústrias e considerando a redução da demanda com os programas de conservação de energia.

A demanda por eletricidade apresentada considera o consumo médio anual, desconsideradas as variações sazonais e horárias, típicas do consumo deste energético.

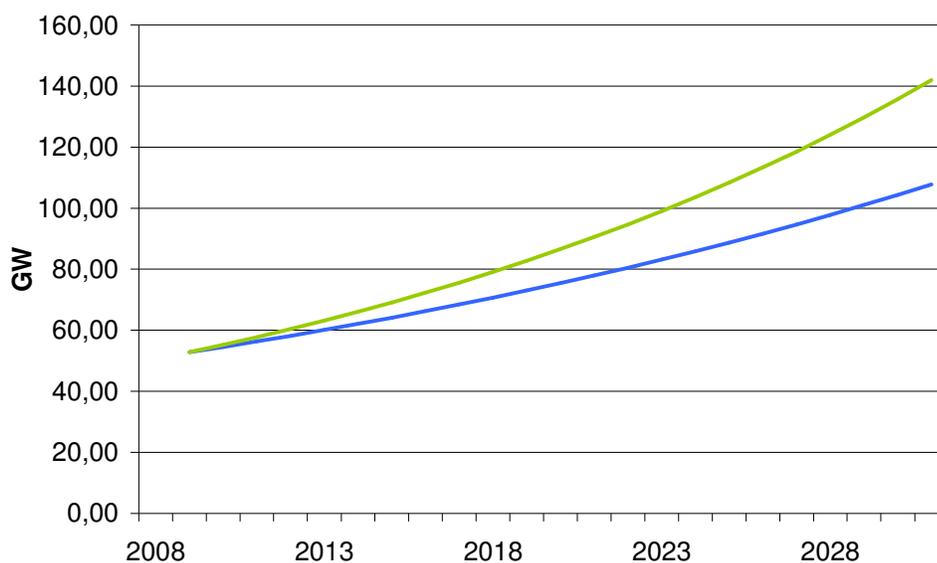


Figura 6.1: Demanda média anual por eletricidade (GW)

Dada a expansão de consumo deste produto, identifica-se a necessidade de expansão da capacidade de geração, levando em conta o fator de capacidade de cada uma das tecnologias elegíveis. A necessidade de consideração do fator de capacidade deve-se ao fato de que a energia média agregada por cada tipo de tecnologia depende da potência instalada e de quanto desta potência é efetivamente utilizada para a geração de eletricidade. A tabela 6.1 apresenta a necessidade de expansão anual de energia firme. Para se determinar qual a potência necessária para alcançar essa energia deve-se determinar quais tecnologias serão utilizadas.

Bandas de Crescimento	Período	2010-2015	2015-2020	2020-2025	2025-2030
Inferior	MW	1.950	2.300	2.750	3.230
Superior		2.850	3.570	4.570	5.720

Tabela 6.1: Necessidade de expansão da oferta anual 2010-2030

6.2. Tarifas de equilíbrio para as diversas tecnologias elegíveis – Caso sem receitas ou incentivos para as fontes renováveis

Determinada a necessidade de expansão, deve-se determinar a composição da oferta que atenderá essa necessidade. Baseados nos conceitos apresentados até aqui, a composição da oferta será estabelecida considerando dois fatores distintos, quais sejam, a Tarifa de Equilíbrio de cada tecnologia elegível e seu potencial médio anual para exploração.

A Tarifa de Equilíbrio, determinada através da simulação dos fluxos de caixa de cada tecnologia, é apresentada em bandas de ocorrência, já que para uma mesma tecnologia, peculiaridades de projetos individuais levam a Tarifas de Equilíbrio distintas. Além disso, devido às alterações nos custos de implantação e operação no decorrer dos anos indicadas pelos especialistas, as bandas de ocorrência da TEQ para uma determinada fonte terão variações dentro do período de estudo. As figuras 11, 12, 13 e 14 apresentam as bandas de ocorrência das Tarifas de Equilíbrio das tecnologias elegíveis em quatro períodos distintos.

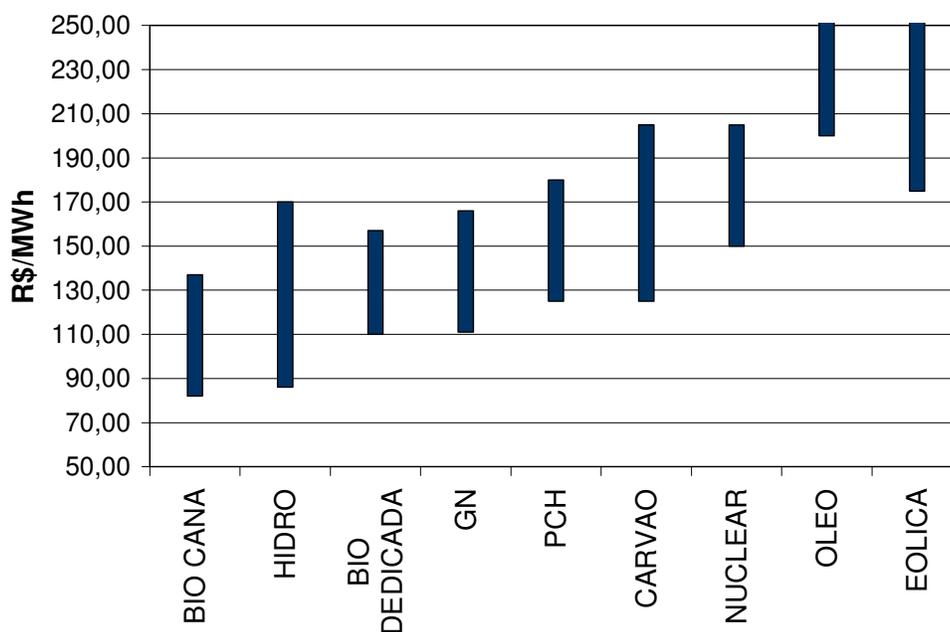


Figura 6.2: Tarifas de Equilíbrio das Tecnologias Elegíveis Caso 1 – Período 2010-2015

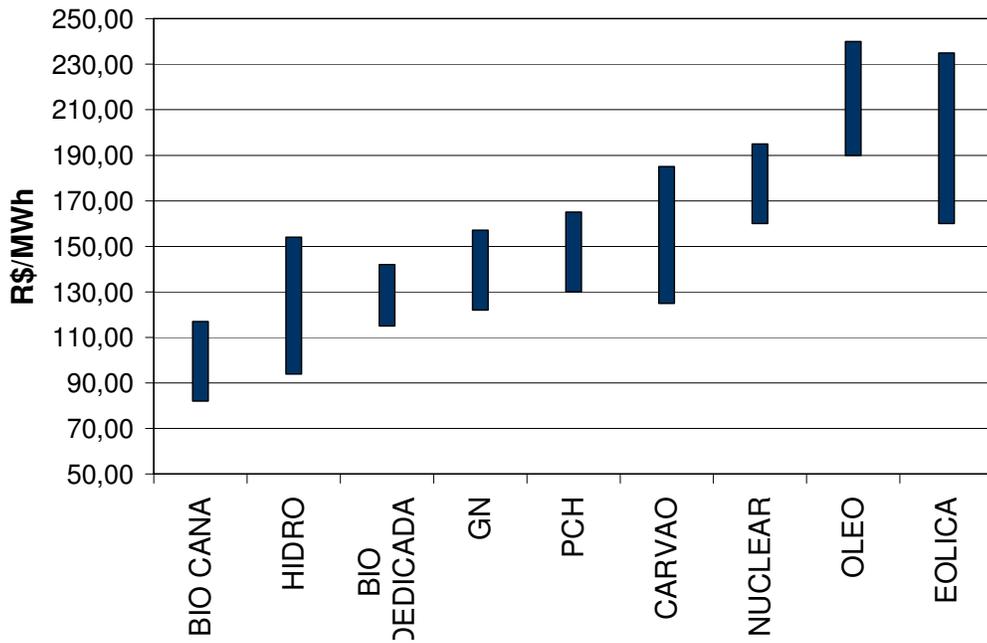


Figura 6.3: Tarifas de Equilíbrio das Tecnologias Elegíveis Caso 1 – Período 2015-2020

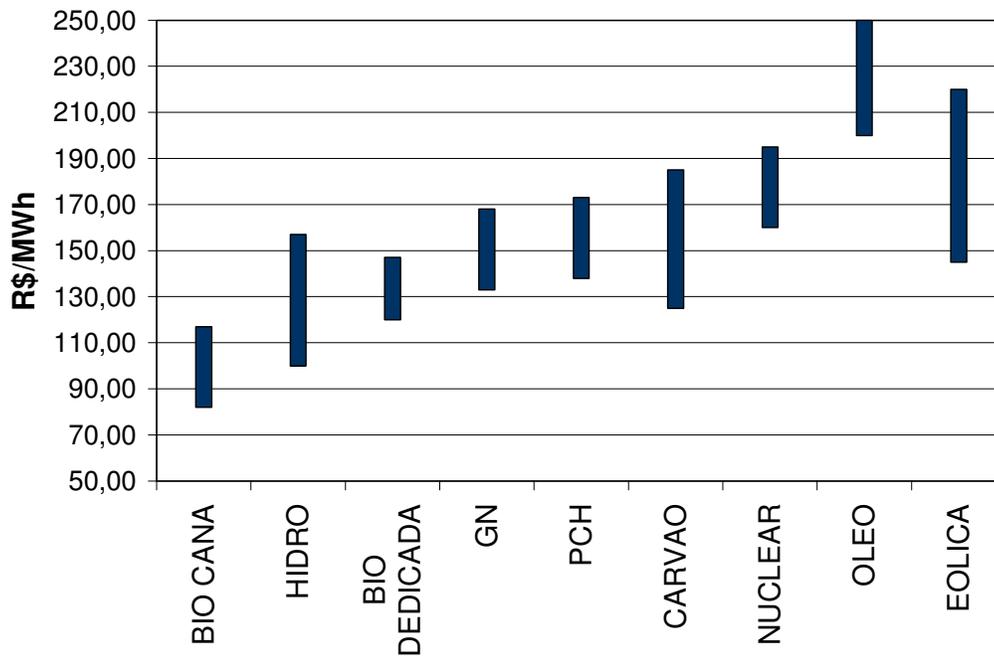


Figura 6.4: Tarifas de Equilíbrio das Tecnologias Elegíveis Caso 1 – Período 2020-2025

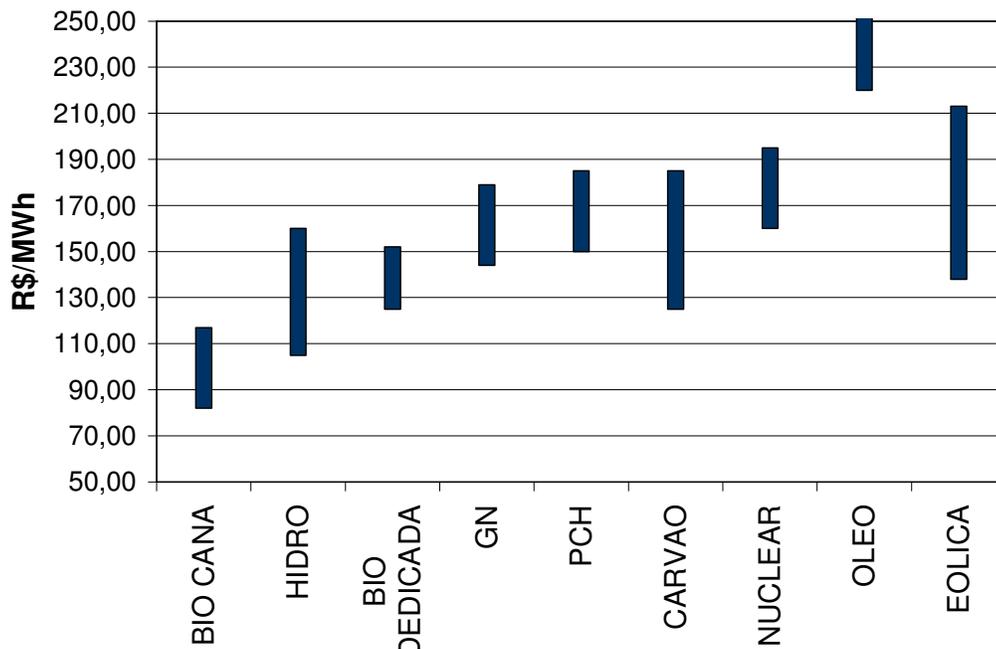


Figura 6.5: Tarifas de Equilíbrio das Tecnologias Elegíveis Caso 1 – Período 2025-2030

Dadas as Tarifas de Equilíbrio apresentadas acima, a Curva de Oferta de novos projetos de eletricidade será determinada pela somatória dos potenciais das diferentes tecnologias a cada nível de preços da energia elétrica. Visto que estamos trabalhando com bandas de ocorrência, consideramos uma distribuição uniforme do potencial de determinada tecnologia na banda de ocorrência da TEQ definida. As figuras 6.6 a 6.9 abaixo apresentam os resultados por período.

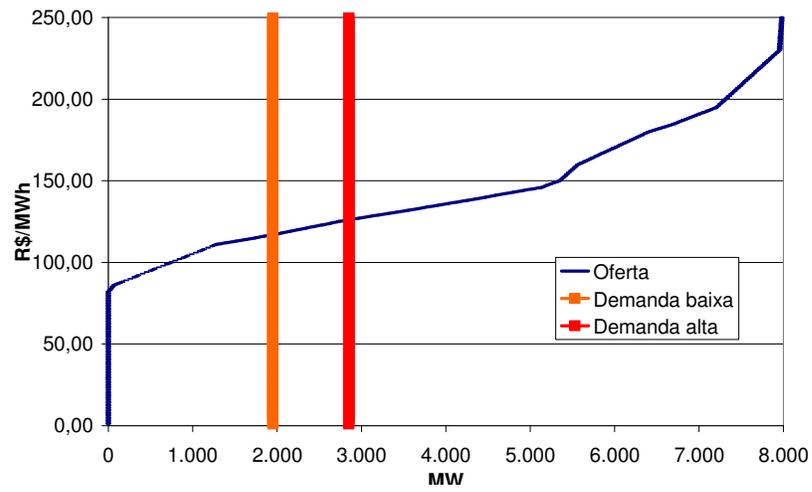


Figura 6.6: Curva de Oferta (R\$/MWh x MW) Caso 1 – Período 2010-2015

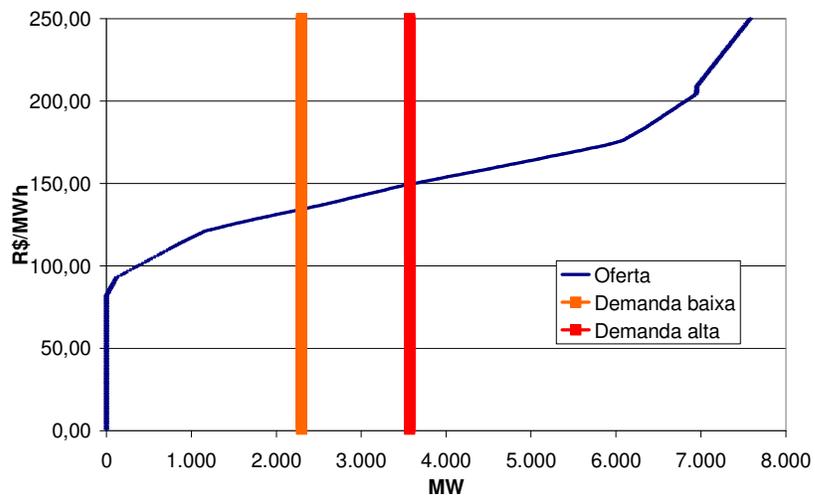


Figura 6.7: Curva de Oferta (R\$/MWh x MW) Caso 1 – Período 2015-2020

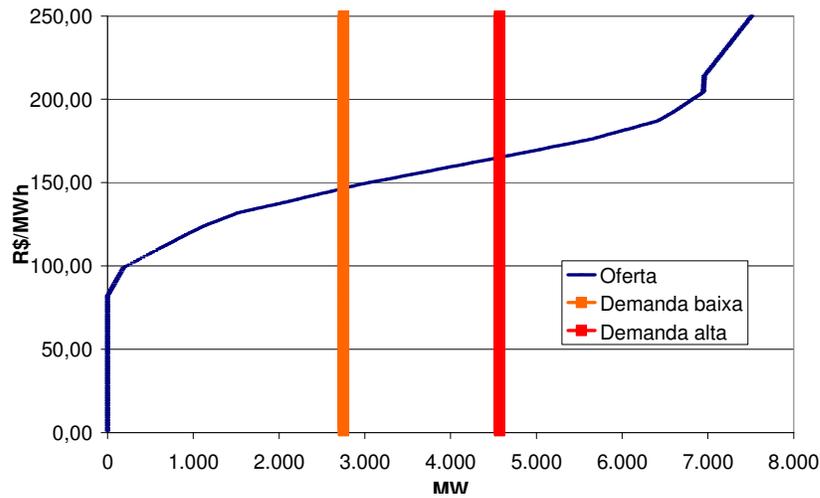


Figura 6.8: Curva de Oferta (R\$/MWh x MW) Caso 1 – Período 2020-2025

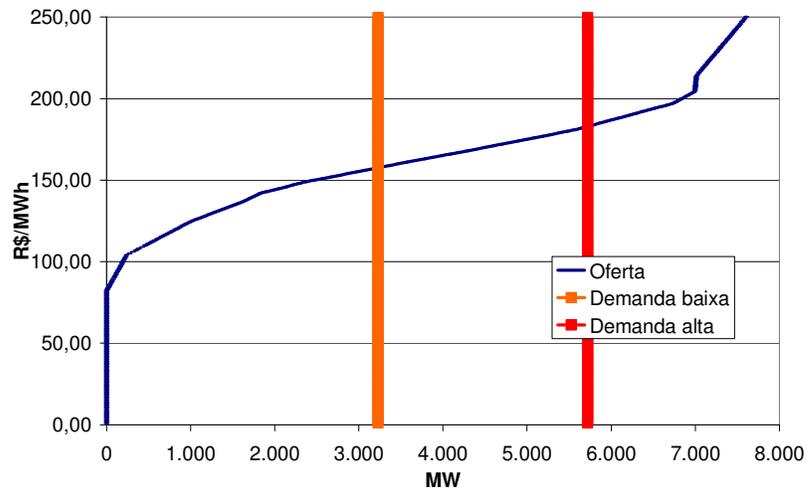


Figura 6.9: Curva de Oferta (R\$/MWh x MW) Caso 1 – Período 2025-2030

Determinadas as Curvas de oferta e os pontos de encontro desta com as curvas de demanda alta e baixa, teremos a participação de cada uma das fontes na expansão do sistema de geração. A tabela 6.2 apresenta a necessidade de expansão da potência instalada anual de cada fonte para o primeiro caso do estudo.

Período	2010-2015		2015-2020		2020-2025		2025-2030	
Demanda	Baixa	Alta	Baixa	Alta	Baixa	Alta	Baixa	Alta
HIDRELÉTRICA	1.920,0	2.440,0	1.800,0	2.700,0	1.760,0	3.200,0	1.600,0	3.360,0
BIOMASSA DE CANA	600,0	640,0	720,0	800,0	720,0	800,0	720,0	800,0
BIOMASSA DEDICADA	33,3	55,6	166,7	200,0	300,0	333,3	322,2	366,7
GÁS NATURAL	485,7	857,1	400,0	971,4	528,6	1.371,4	828,6	1.885,7
PCH	200,0	240,0	320,0	400,0	380,0	480,0	440,0	680,0
CARVAO	275,0	425,0	287,5	475,0	375,0	637,5	500,0	787,5
NUCLEAR	-	217,4	173,9	326,1	250,0	434,8	271,7	543,5
OLEO	-	-	-	-	-	-	-	-
EOLICA	-	-	150,0	200,0	375,0	500,0	750,0	1.300,0
TOTAL	2.514,0	4.875,1	4.019,1	6.072,5	4.698,6	7.757,0	5.422,5	9.722,1

Tabela 6.2: Participação anual na expansão do setor (MW) – Caso 1

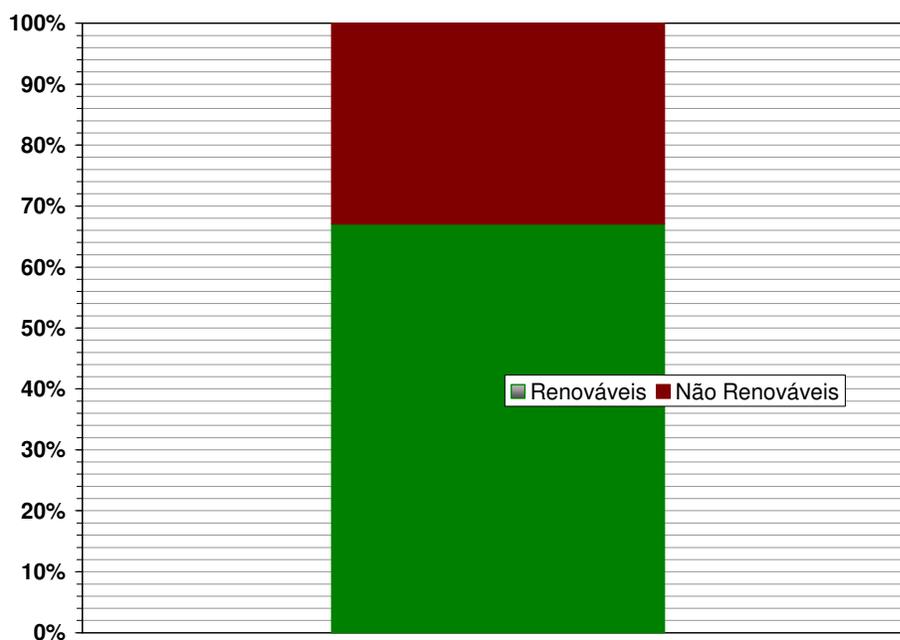


Figura 6.10: Participação das fontes renováveis na expansão até 2030 – Demanda baixa – Caso 1

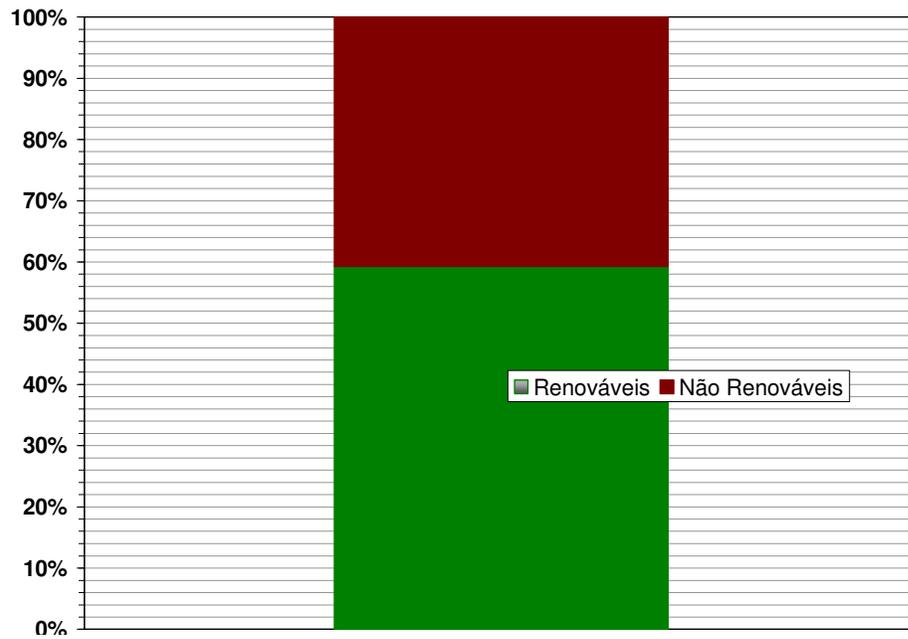


Figura 6.11: Participação das fontes renováveis na expansão até 2030 – Demanda alta
– Caso 1

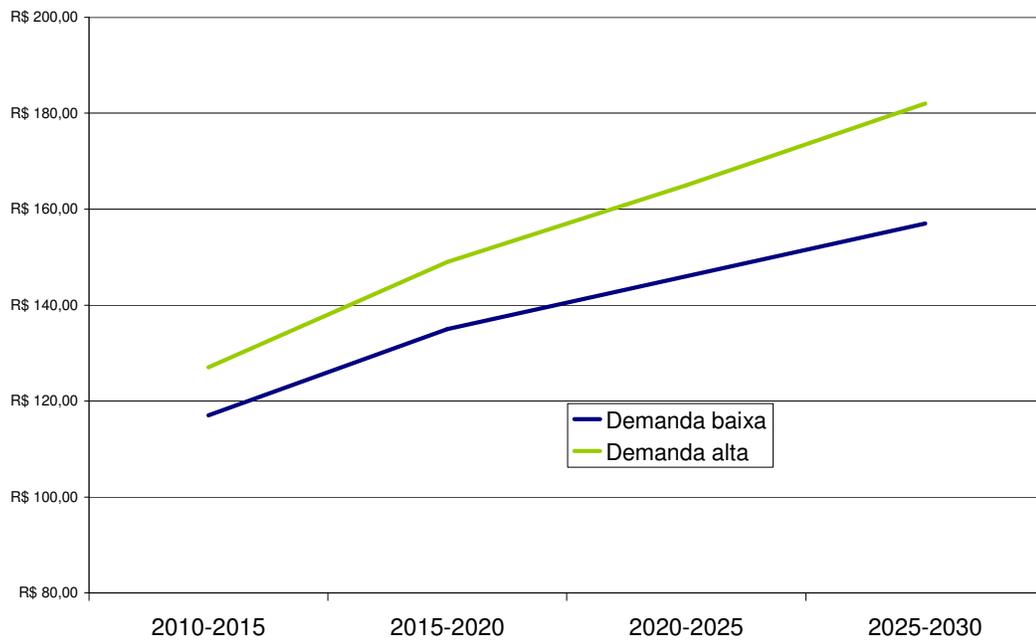


Figura 6.12: Custo Marginal de Expansão – Caso 1

6.3 Tarifas de equilíbrio para as diversas tecnologias elegíveis – Caso com receitas e incentivos para as fontes renováveis

São apresentadas a seguir as Tarifas de Equilíbrio levando em consideração as receitas e incentivos apontados pelos pesquisados e discutidos no início deste capítulo, quais sejam o desconto nas tarifas de transporte e as receitas com os certificados de redução de emissões de carbono.

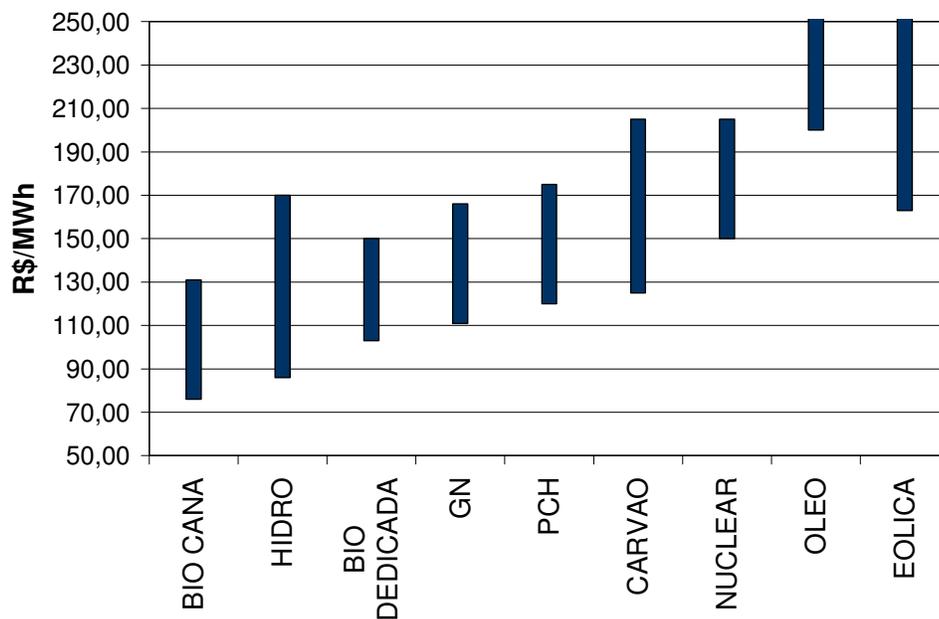


Figura 6.13: Tarifas de Equilíbrio das Tecnologias Elegíveis Caso 2 – Período 2010-2015

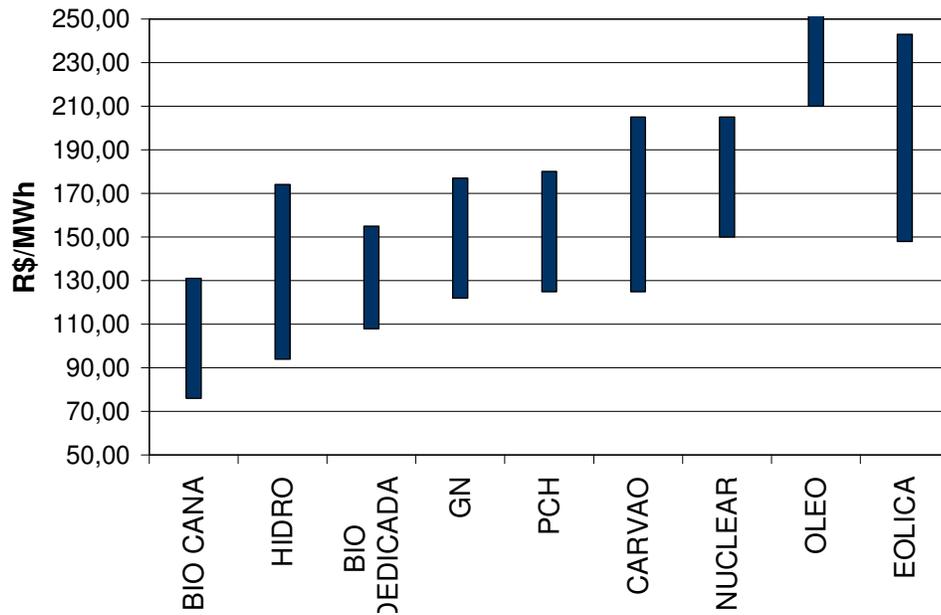


Figura 6.14: Tarifas de Equilíbrio das Tecnologias Elegíveis Caso 2 – Período 2015-2020

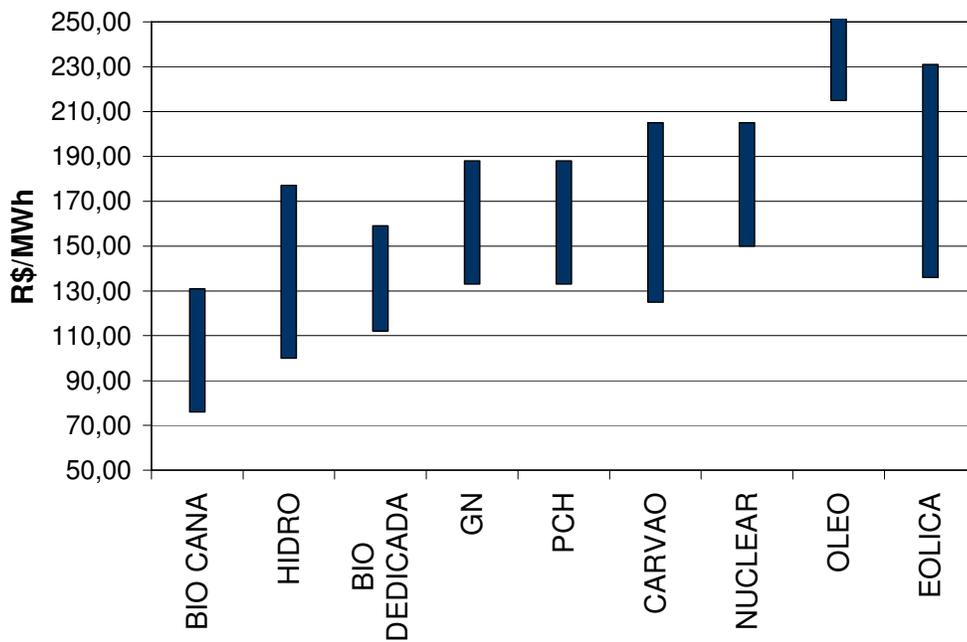


Figura 6.15: Tarifas de Equilíbrio das Tecnologias Elegíveis Caso 2 – Período 2020-2025

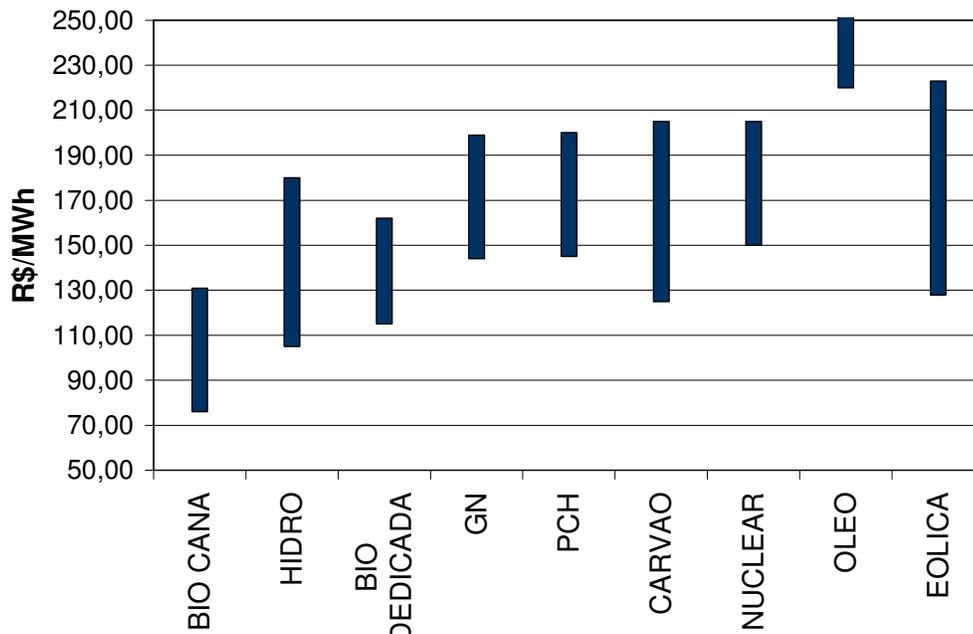


Figura 6.16: Tarifas de Equilíbrio das Tecnologias Elegíveis Caso 2 – Período 2025-2030

As curvas de oferta pouco variam com as novas Tarifas de Equilíbrio e as variações mal podem ser enxergadas pelos gráficos apresentados. Por isso, optou-se em não apresentar estas curvas para este segundo caso.

São apresentadas então, as participações de cada fonte na expansão do sistema, considerando os benefícios para as fontes renováveis. A tabela 6.3 apresenta o resultado alcançado neste segundo caso do estudo, com a expansão anual da potência instalada de cada tipo de fonte relacionada no estudo.

Período	2010-2015		2015-2020		2020-2025		2025-2030	
Demanda	Baixa	Alta	Baixa	Alta	Baixa	Alta	Baixa	Alta
HIDRELÉTRICA	1.900,0	2.420,0	1.780,0	2.680,0	1.740,0	3.180,0	1.580,0	3.340,0
BIOMASSA DE CANA	640,0	680,0	760,0	840,0	760,0	840,0	760,0	840,0
BIOMASSA DEDICADA	66,7	88,9	188,9	233,3	344,4	377,8	366,7	400,0
GÁS NATURAL	457,1	828,6	371,4	928,6	485,7	1.314,3	785,7	1.828,6
PCH	240,0	280,0	360,0	440,0	420,0	520,0	480,0	720,0
CARVAO	225,0	400,0	237,5	412,5	312,5	550,0	437,5	737,5
NUCLEAR	-	195,7	163,0	304,3	228,3	402,2	260,9	521,7
OLEO	-	-	-	-	-	-	-	-
EOLICA	-	-	200,0	300,0	450,0	575,0	875,0	1.400,0
TOTAL	2.528,8	4.002,4	4.060,0	6.128,8	4.740,0	7.750,0	5.545,0	8.787,8

Tabela 6.3: Participação anual na expansão do setor (MW) – Caso 2

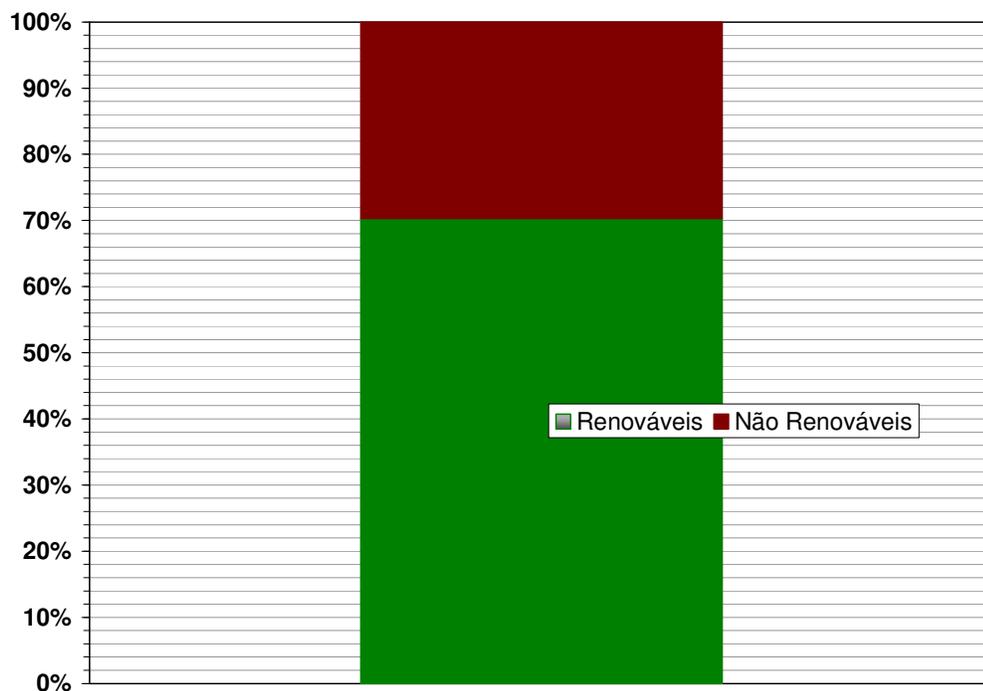


Figura 6.17: Participação das fontes renováveis na expansão até 2030 – Demanda baixa – Caso 2



Figura 6.18: Participação das fontes renováveis na expansão até 2030 – Demanda alta – Caso 2

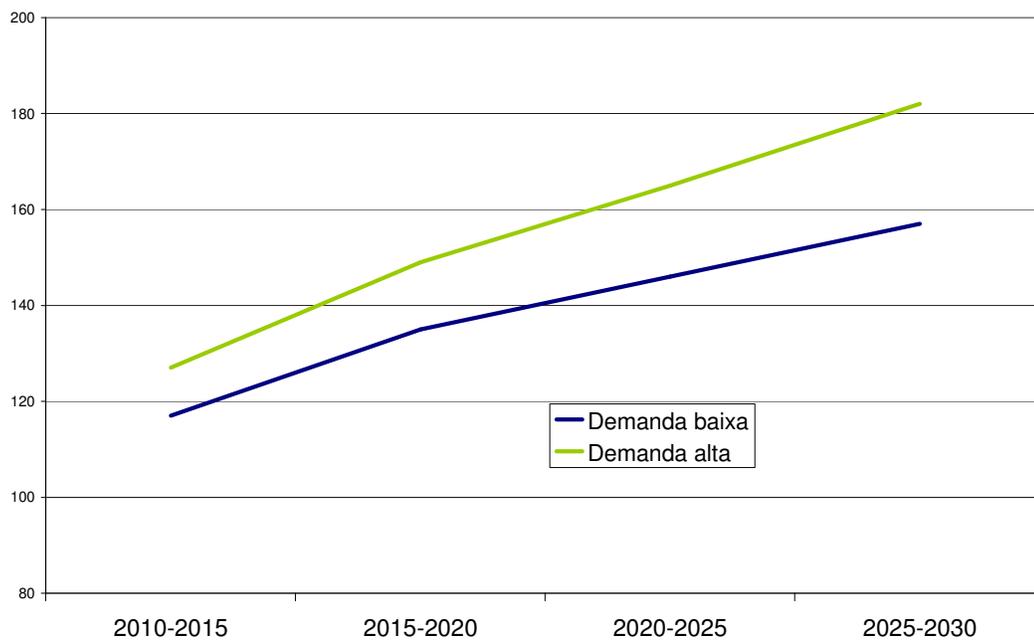


Figura 6.19: Custo Marginal de Expansão – Caso 2

7. CONCLUSÕES

As conclusões alcançadas com este estudo são diversas e reveladoras. Tratando inicialmente da comparação dos casos apresentados, nota-se que os benefícios já incorporados aos projetos de fontes renováveis aumentam a competitividade destes projetos frente às tecnologias convencionais. O aumento de 4% na participação das fontes renováveis na expansão da geração mostra que o ganho de competitividade destes projetos se reflete no deslocamento de energia de fontes não renováveis.

Esse resultado a primeira vista não parece significativo, mas devemos avançar um pouco na análise para perceber o real impacto que esta tendência de internalização de custos ambientais traz à competitividade dos projetos. É certo que a evolução das políticas ambientais deverá trazer impactos diretos aos projetos de geração e devem ser considerados em suas análises de viabilidade.

É importante citar que esse aumento de competitividade muitas vezes é desconsiderado na análise de viabilidade econômico-financeira elaborada pelos agentes de mercado com intenção de investir em geração por simples desconfiança ou impossibilidade de garantir que estas receitas ou reduções de custos se manterão ativas por todo o período de análise econômica. Esta desconsideração diminui a participação das fontes renováveis na expansão à medida que investidores sem outros

interesses que não o econômico terão preferência a investir em projetos com maior retorno esperado pelo investimento.

Analisando a competitividade de cada uma das tecnologias, pode-se notar vantagens e desvantagens peculiares que podem definir a participação futura na expansão do sistema.

Fica claro, por exemplo, a vantagem das hidrelétricas e das termelétricas movidas a resíduos da cana-de-açúcar em relação às demais. O baixo custo com combustíveis faz com que estas tecnologias remunerem o capital investido com preços de venda mais baratos que as outras tecnologias.

No caso específico da hidrelétrica, a utilização do potencial inexplorado tende a ficar mais cara à medida que os melhores projetos são escolhidos, restando os mais dispendiosos para a exploração futura. Além disso, os custos com ressarcimentos sociais e ambientais tende a aumentar no longo prazo. Ainda assim, a hidroeletricidade deve seguir como principal fonte de geração brasileira.

Entre o potencial hidrelétrico incluem-se as Pequenas Centrais Hidrelétricas que ganham competitividade com os incentivos nas tarifas de uso do sistema elétrico, além de receitas com vendas de cotas de carbono.

Já a biomassa de cana-de-açúcar tem como limitador à exploração em grande escala, a expansão do cultivo da cana em áreas utilizadas por outras culturas, além da

possibilidade de utilização do bagaço para outros fins que não a eletricidade. Mesmo com essas possíveis limitações de combustível, as usinas termelétricas a biomassa de cana devem ser fortemente exploradas dados seus baixos custos de implantação e operação, quando comparada a outras tecnologias.

Na onda das termelétricas movidas a biomassa de cana, começam a entrar em operação unidades de geração movidas a outros tipos de biomassa. Entre os tipos de biomassa mais competitivos apontam a biomassa de resíduos urbanos e a biomassa dedicada. Com baixos custos de operação, um suprimento de combustível independente e tecnologia semelhante às das usinas de bagaço, tem bom potencial para participar da expansão. Os incentivos nas tarifas e as receitas com vendas de certificados de carbono também são compartilhados por esta fonte.

Avançando para as outras fontes pesquisadas, devemos apontar a relevância da exploração do gás natural na geração de eletricidade no Brasil. O equilíbrio entre o aumento da oferta interna e a elevação dos preços deste combustível no mercado internacional deve manter esta tecnologia com participação ativa na expansão do Sistema Elétrico Nacional. Por ser relativamente limpa, quando comparada com outras termelétricas, não deve sofrer em excesso com restrições ambientais.

O carvão mineral, nacional e importado, ganha espaço na matriz de geração de energia elétrica com novas tecnologias de queima e controle de poluentes, porém ainda com fortes passivos ambientais.

A termelétrica movida a óleo combustível foi a única tecnologia que não participou da expansão do sistema elétrico. Os custos de operação, especificamente os custos com combustível faz desta fonte uma opção cara de geração.

A última fonte pesquisada a ser citada é a eólica. Deve ser a última também a ganhar espaço na matriz brasileira. Isto porque os projetos, que ainda estão um pouco fora da linha da viabilidade econômica, devem ter seus custos de implantação reduzidos, aumentando a competitividade e se tornando mais atrativos. Esta fonte não deve evoluir com rapidez nos próximos anos, mas deve ganhar força no final da próxima década.

Vale apontar a congruência da tarifa de equilíbrio da grande maioria das tecnologias, permitindo a participação de diferentes projetos na expansão da geração. Essa diversificação da matriz brasileira é bastante positiva. O despacho termelétrico sustenta a geração hidrelétrica nos períodos de baixa afluência. Diferentes tipos de combustíveis permitem uma maior independência em caso de crise de abastecimento ou elevação de preços excessiva.

8. RECOMENDAÇÕES E SUGESTÕES

Após a análise da competitividade da geração de eletricidade através das fontes renováveis e da conclusão que estas terão participação ativa na expansão e que, dependendo da evolução das políticas ambientais, poderão avançar com rapidez na expansão do setor, fica clara a necessidade de evoluirmos a discussão dos temas economia ambiental e internalização de custos externos.

A evolução dos estudos sobre o tema mostra que a atividade humana já começa a trazer efeitos representativos ao meio ambiente e conseqüentemente à própria atividade econômica presente e futura. A valorização dos recursos naturais pela sociedade é inevitável e deve se intensificar continuamente.

Outro ponto já levantado e que merece atenção é a congruência entre as Tarifas de Equilíbrio das diversas fontes estudadas. Isto por que permite ao agente regulador, sem grandes desequilíbrios, levar à ampliação da participação de uma fonte de interesse.

Entre as questões sobre a metodologia utilizada na elaboração das curvas de oferta, vale ressaltar a simplificação utilizada para obtermos os custos de operação e a

receita de vendas das usinas termelétricas. Este estudo considerou no modelo econômico financeiro, a operação contínua das usinas, sem considerar o despacho centralizado, prática utilizada no sistema elétrico brasileiro que minimiza os custos de operação do sistema e permite uma utilização mais eficiente dos recursos, dentro de parâmetros de segurança de fornecimento.

Neste sistema centralizado as termelétricas podem trabalhar como reserva de potência para a geração predominante hidrelétrica, gerando apenas nos momentos de preços mais caros. Esse valor agregado à energia termelétrica é hoje internalizado pelo cálculo da Garantia Física estabelecida na Portaria MME 303/2005 e do Índice Custo Benefício utilizados nas sistemáticas dos leilões de compra de energia elaborados pelo MME.

Parece um contra-senso, se compararmos o resultado de nossa pesquisa com os resultados dos leilões de compra de energia de usinas novas promovido pelo MME para comprar energia elétrica para as Distribuidoras por quinze a trinta anos. As termelétricas movidas a óleo têm participação expressiva nessas vendas. Esta diferença pode ser explicada pelo ganho de competitividade destas térmicas promovido pela metodologia da Garantia Física e do Índice Custo Benefício nos referidos leilões.

Referências Bibliográficas

Pindyck, Robert S. Microeconomics, 6th edition. Pearson Education, inc, 2005.

Faye Steiner. Regulation, industry structure and performance in the electricity supply industry. Stanford University. OECD Economics Department, 2001.

Stephen C. Littlechild. Competition in retail electricity supply. University of Cambridge. Department of Applied Economics. DAE Working Paper WP 0227, 2002.

Tooraj Jamasb and Michael Pollitt. Electricity market reform in the European Union:

Review of progress toward liberalization & integration. Faculty of Economics, and Judge Institute of Management, University of Cambridge. 2005.

Ademar R. Romeiro, Bastiaan P. Reydon e Maria Lucia A. Leonardi. Economia do Meio Ambiente: Teoria, políticas e a gestão de espaços regionais. 2ª edição. Campinas: UNICAMP, IE, 1999.

Fabien Roques, David M. Newbery and William J. Nuttall. Generation Adequacy and Investment Incentives in Britain: from the Pool to NETA. University of Cambridge. Department of Applied Economics. Cambridge Working Papers in Economics CWPE 0459, 2004.

David Kupfer & Lia Hasenclever. Economia Industrial: Fundamentos teóricos e práticos no Brasil. 8ª reimpressão. Rio de Janeiro: Elsevier, 2002.

Clem Tisdell. Environmental Economics: Policies for Environmental Management and Sustainable Development. Great Britain. Edward Elgar Publishing Limited, 1993.

Nelson Casarotto Filho & Bruno Hartmut Kopittke. Análise de Investimentos. 9ª edição. São Paulo: Atlas, 2000.

Michael E. Porter. Estratégia Competitiva: Técnicas para análise de indústrias e da concorrência. Tradução de Elisabeth Maria de Pingo Braga. 5ª edição. Rio de Janeiro: Campus, 1991.

Milton Friedman. Price Theory . Chicago. Aldine Publishing Co., 1962.

Dieter Helm, John Kay and David Thompson. The Market for Energy. New York. Oxford University Press, 1989.

Martin Slater. The Rationale for Marginal Cost Pricing.

Elisabeth Hammond, Dieter Helm and David Thompson. Competition in Electricity Supply: Has the Energy Act Failed?

Reis, Lineu Belico dos. Geração de energia elétrica: tecnologia, inserção ambiental, planejamento, operação e análise de viabilidade. 3ª edição. Barueri, SP: Manole, 2003.

Tolmasquim, Mauricio Tiomno (coordenador). Geração de energia elétrica no Brasil. Rio de Janeiro: Interciência:CENERGIA, 2005.

Jones, Ian. Risk Analysis and Optional Investment in the Electricity Supply Industry. 2005.

Apêndices

Apêndice 1 – Pesquisa com Especialistas – Hidrelétricas e PCHs

QUESTIONÁRIO

COMPETITIVIDADE DAS FONTES DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - HIDRELÉTRICAS

1. Considerando a implantação de um projeto de geração sem grandes entraves, qual o período médio de execução desde a obtenção das licenças ambientais até a entrada em operação comercial?

MW	Nº de ANOS
$100 > x > 30$	
$1.000 > x > 100$	
$X > 1.000$	

2. Como pode ser distribuído o custo total de implantação do projeto durante o período indicado no quadro anterior?

1	2	3	4	...
				%

3. Apresente uma expectativa de custos de implantação e operação do projeto conforme tabelas abaixo:

Vida útil do Projeto		Anos
Fator de Capacidade		%
Despesas – O&M variável		R\$/KWh
Despesas – O&M fixo		R\$/KW
Despesas – Transmissão		R\$/MWh
Investimento unitário *		
Próximos 10.000 MW		R\$/KW
Próximos 30.000 MW		R\$/KW
Próximos 50.000 MW		R\$/KW

Inclui custos com projetos, equipamentos, execução e montagem, além dos custos ambientais e dos custos de conexão ao sistema elétrico. Se necessário, apresentar investimento unitário diferenciado para as faixas de potência indicadas na tabela.

4. Qual o potencial de oferta para entrada em operação comercial desta fonte para os próximos anos, considerando os tramites de inventário dos rios, de aprovação dos projetos na ANEEL?

Potencial (MW instalado / ano)	Período
	2010-2015
	2015-2020
	2020-2025
	2025-2030

5. Como você enxerga a evolução dos custos e ressarcimentos sócio-ambientais na implantação dos projetos? Qual deve ser a participação destes custos no custo total do projeto nos próximos 10 ou 20 anos?

Custos e Ressarcimentos Sócio-Ambientais (% do custo total de implantação)	Período
	2010
	2015
	2020
	2025

6. Além das receitas com venda de energia, quais outras receitas podem ser obtidas da exploração deste ativo de geração? (ex. Serviços Ancilares, Créditos de Carbono, etc.)

Fonte de Receita	R\$/MW Instalado

Apêndice 2 – Pesquisa com Especialistas – Termelétricas

QUESTIONÁRIO

COMPETITIVIDADE DAS FONTES DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - TERMELÉTRICA

1. Considerando a implantação de um projeto de geração sem grandes entraves, qual o período médio de execução desde a obtenção das licenças ambientais até a entrada em operação comercial?

MW	Nº de ANOS
$30 > x > 1$	
$x > 30$	

2. Como pode ser distribuído o custo total de implantação do projeto durante o período indicado no quadro anterior?

1	2	3	4	...
				%

3. Apresente uma expectativa de custos de implantação e operação do projeto conforme tabela abaixo:

Vida útil do Projeto		Anos
Fator de Capacidade		%
Investimento unitário *		R\$/KW
Despesas – O&M variável		R\$/kWh
Despesas – O&M fixo		R\$/KW
Despesas - Transmissão		R\$/MWh

* Inclui custos com projetos, equipamentos, execução e montagem, além dos custos ambientais e de conexão ao sistema elétrico. Se necessário, apresentar investimento unitário diferenciado para as faixas de potência indicadas na tabela 1.

4. Qual o potencial de oferta para entrada em operação comercial desta fonte para os próximos anos, considerando a oferta de combustível e de equipamentos para a implantação dos projetos?

Potencial (MW instalado / ano)	Período
	2010-2015
	2015-2020
	2020-2025
	2025-2030

5. Qual a expectativa de evolução dos preços do combustível para os próximos anos?

Preço (R\$ / MWh)	Período
	2010-2015
	2015-2020
	2020-2025
	2025-2030

6. Como você enxerga a evolução dos custos e ressarcimentos sócio-ambientais na implantação dos projetos? Qual deve ser a participação destes custos no custo total do projeto nos próximos 10 ou 20 anos?

Custos e Ressarcimentos Sócio-Ambientais (% do custo total de implantação)	Período
	2010-2015
	2015-2020
	2020-2025
	2025-2030

7. Além das receitas com venda de energia, quais outras receitas podem ser obtidas da exploração deste ativo de geração? (ex. Serviços Ancilares, Créditos de Carbono, etc.)

Fonte de Receita	R\$/MW Instalado

Apêndice 3 – Pesquisa com Especialistas – Eólicas

QUESTIONÁRIO

COMPETITIVIDADE DAS FONTES DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – EÓLICAS

1. Considerando a implantação de um projeto de geração sem grandes entraves, qual o período médio de execução desde a obtenção das licenças ambientais até a entrada em operação comercial?

MW	Nº de ANOS
$30 > x$	
$100 > x > 30$	
$X > 100$	

2. Como pode ser distribuído o custo total de implantação do projeto durante o período indicado no quadro anterior?

1	2	3	4	...
				%

3. Apresente uma expectativa de custos de implantação e operação do projeto conforme tabela abaixo:

Vida útil do Projeto		Anos
Fator de Capacidade		%
Investimento unitário *		R\$/KW
Despesas - O&M variável		R\$/KWh
Despesas - O&M fixo		R\$/KW
Despesas – Transmissão		R\$/MWh

* Inclui custos com projetos, equipamentos, execução e montagem, além dos custos ambientais e de conexão ao sistema elétrico. Se necessário, apresentar investimento unitário diferenciado para as faixas de potência indicadas na tabela 1.

4. Existe espaço para redução no Investimento unitário indicado na questão anterior? Como deve ser a evolução desse custo nos próximos anos?

Investimento unitário (R\$/KW)	Período
	2010-2015
	2015-2020
	2020-2025
	2025-2030

5. Qual o potencial de oferta para entrada em operação comercial desta fonte para os próximos anos, considerando a oferta de equipamentos para a implantação dos projetos?

Potencial (MW instalado / ano)	Período
	2010-2015
	2015-2020
	2020-2025
	2025-2030

6. Como você enxerga a evolução dos custos e ressarcimentos sócio-ambientais na implantação dos projetos? Qual deve ser a participação destes custos no custo total do projeto nos próximos 10 ou 20 anos?

Custos e Ressarcimentos Sócio-Ambientais (% do custo total de implantação)	Período
	2010-2015
	2015-2020
	2020-2025
	2025-2030

7. Além das receitas com venda de energia, quais outras receitas podem ser obtidas da exploração deste ativo de geração? (ex. Serviços Ancilares, Créditos de Carbono, etc.)

Fonte de Receita	R\$/MW Instalado