

CARLOS EDUARDO SCHMOEKEL

**O PROCESSO DE INOVAÇÃO COMO PONTO DE PARTIDA PARA O
DESENVOLVIMENTO DE COMBUSTÍVEIS ALTERNATIVOS: UM ESTUDO
COMPARATIVO ENTRE AS CÉLULAS A COMBUSTÍVEL DE HIDROGÊNIO E A
ENERGIA EÓLICA**

**Monografia apresentada ao Curso de
Graduação em Ciências Econômicas da
Universidade Federal do Paraná.**

**Professor orientador: José Wladimir
Freitas da Fonseca**

**CURITIBA
2006**


TERMO DE APROVAÇÃO

CARLOS EDUARDO SCHMOEKEL


O PROCESSO DE INOVAÇÃO COMO PONTO DE PARTIDA PARA O
DESENVOLVIMENTO DE COMBUSTÍVEIS ALTERNATIVOS: UM ESTUDO
COMPARATIVO ENTRE AS CÉLULAS A COMBUSTÍVEL DE HIDROGÊNIO E A
ENERGIA EÓLICA

Monografia aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel no
Curso de Graduação em Economia, Setor de Ciências Sociais Aplicadas da
Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

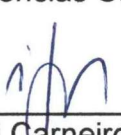
Orientador:



Prof. Dr. José Wladimir Freitas da Fonseca
Departamento de Ciências Sociais Aplicadas, UFPR



Prof. Dr. Demian Castro
Departamento de Ciências Sociais Aplicadas, UFPR



Prof. Dr. Igor Zanoni Carneiro Leão
Departamento de Ciências Sociais Aplicadas, UFPR

Curitiba, 08 de dezembro de 2006

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	ANÁLISE HISTÓRICA DA MATRIZ ENERGÉTICA DO BRASIL: DE 1950 A 2006.....	3
2.1	O QUE É UMA MATRIZ ENERGÉTICA?	4
2.1.1	Conceito.....	5
2.1.2	Estruturação da matriz energética e metodologia.....	5
2.2	A MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA E SUA COMPOSIÇÃO NOS ÚLTIMOS CINQUENTA E SEIS ANOS.....	8
2.3	O PAPEL DAS POLÍTICAS PÚBLICAS NO DESENVOLVIMENTO DE FONTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA.....	14
2.3.1	As Políticas do Governo e a Matriz Energética: uma análise resumida dos planos econômicos.....	15
2.4	O DESENVOLVIMENTO DA INOVAÇÃO NO QUADRO DOS COMBUSTÍVEIS ALTERNATIVOS: ENTRE A TEORIA E A PRÁTICA.....	22
2.4.1	Gerador compacto de alta eficiência gera energia a partir das marés.....	23
2.4.2	Embrapa quer substituir carvão mineral por carvão vegetal.....	24
2.4.3	Aproveitamento de resíduos agropecuários e florestais.....	25
2.4.4	Biocombustível é opção de mudança da matriz energética.....	26
2.4.5	Biodigestores: Produção de biogás a partir de resíduos de suínos e aves.....	27
2.4.6	Energia Solar.....	28
2.4.7	Óleo de andiroba pode substituir diesel.....	29
3	A INOVAÇÃO NO QUADRO DOS COMBUSTÍVEIS ALTERNATIVOS.....	31
3.1	O QUE É O PROCESSO DE INOVAÇÃO?.....	31
3.2	A TEORIA SCHUMPETERIANA E O PROCESSO DE INOVAÇÃO	34
3.3	A TEORIA EVOLUCIONISTA E O PROCESSO DE INOVAÇÃO....	36
3.3.1	A necessidade de inovar.....	37
3.3.2	O Modelo de Dosi e o processo de inovação.....	38
3.3.3	O Modelo de Nelson e Winter e o processo de inovação.....	42
3.4	ENTRE SCHUMPETERIANOS E EVOLUCIONISTAS: QUAL TEORIA PARA COMPREENDER O PROCESSO DE INOVAÇÃO NO QUADRO DOS COMBUSTÍVEIS ALTERNATIVOS?.....	46
4	UMA ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE ENERGIA EÓLICA E AS CÉLULAS A COMBUSTÍVEL DE HIDROGÊNIO: UM ESTUDO DE CASO.....	48
4.1	HISTÓRICO E ANÁLISE DA ENERGIA EÓLICA.....	49

4.1.1	Origem, técnica e indústria em escala.....	49
4.1.2	Potencial Eólico.....	52
4.1.3	Componentes e funcionamento de um sistema eólico.....	56
4.2	HISTÓRICO E ANÁLISE DAS CÉLULAS A COMBUSTÍVEL A HIDROGÊNIO.....	58
4.2.1	Origem, técnica e fase inicial de indústria em escala.....	59
4.2.2	Conceitos básicos da célula a combustível a hidrogênio e componentes.....	68
4.2.3	Funcionamento das células a combustível de hidrogênio.....	72
4.3	ESTUDO COMPARATIVO.....	74
4.3.1	A energia eólica.....	74
4.3.2	As células a combustível de hidrogênio.....	75
5	CONCLUSÃO.....	79
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81

LISTA DE SIGLAS

- BEN - Balanços Energéticos Nacional
- BNDE - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico
- BTU - *British Thermal Units* (Unidades Térmicas Britânicas)
- CaC - Célula a combustível
- CBEE - Centro Brasileiro de Energia Eólica
- CRESESB/CEPEL Centro de Referência para Energia Solar e Eólica
- DEBRA - *DEutsche BRAsileira*
- EPE - Empresa de Pesquisa Energética
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- MBAG - Metas e Bases para a Ação do Governo
- MCT - Ministério de Ciência e Tecnologia
- MEA - *Membrane Electrode Assembly*/Conjunto Membrana-Eletrodo
- MEB - Matriz Energética Brasileira
- MME - Ministério de Minas e Energia
- NASA - *National Aeronautics and Space Administration*
- PAEG - Programa de Ação Econômica – PAEG
- PED - Programa Estratégico de Desenvolvimento
- PND - Plano Nacional de Desenvolvimento
- PPA - Plano Plurianual
- PRODEEM - Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios
- PROEÓLICA - Programa Emergencial de Energia Eólica
- PROINFRA - Programa de Incentivo ao Uso de Fontes Alternativas de Energia Elétrica
- SPE/MME - Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético do Ministério de Minas e Energia
- UFPE - Universidade Federal de Pernambuco

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Balanço Energético.....	6
Figura 2: Gerador Compacto.....	24
Figura 3: Capim Elefante.....	25
Figura 4: Energia Solar.....	28
Figura 5: O Processo de Inovação Tecnológica.....	33
Figura 6: Potencial Eólico Brasileiro (velocidade dos ventos).....	54
Figura 7: Projetos instalados de energia eólica no Brasil.....	55
Figura 8: O processo de um sistema eólico.....	57
Figura 9: CaC em detalhe.....	69
Figura 10: Exemplo de CaC.....	72
Figura 11: Exemplo de CaC.....	72
Figura 12: Exemplo de CaC.....	72
Figura 13: Exemplo de CaC.....	72
Figura 14: Exemplo de CaC.....	72
Figura 15: Funcionamento das CaC.....	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Evolução da Matriz Energética Nacional.....	9
Tabela 2: Plano de Metas (1957 – 1961).....	16
Tabela 3: Distribuição da área, por continente, segundo a velocidade média do vento.....	53
Tabela 4: Estimativas do potencial eólico mundial.....	53
Tabela 5: Centrais eólicas em operação no Brasil.....	55
Tabela 6: Custos de produção do hidrogênio no Brasil.....	77

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 2: Matriz Energética Brasileira – 1950.....	9
Gráfico 2: Matriz Energética Brasileira – 1960.....	10
Gráfico 3: Matriz Energética Brasileira – 1970.....	10
Gráfico 4: Matriz Energética Brasileira – 1980.....	11
Gráfico 5: Matriz Energética Brasileira – 1990.....	11
Gráfico 6: Matriz Energética Brasileira – 2000.....	12
Gráfico 7: Matriz Energética Brasileira – 2004.....	13
Gráfico 8: Evolução da capacidade eólico-elétrica instalada no mundo.....	52

1. INTRODUÇÃO

Hoje, o mundo se depara com irreversível escalada de consumo e preços de combustíveis fósseis com graves conseqüências geopolíticas, em função da disputa pelo controle das reservas de energia não-renováveis que poderão acabar num futuro próximo.

O Brasil vive uma situação inversa: além de estar na auto-suficiência em petróleo, dispõe da possibilidade de explorar, de forma sustentável, energia gerada a partir de fontes renováveis e limpas. Os grandes conflitos mundiais, já ocorridos ou em curso, ensinaram à humanidade que ela não pode ficar dependente de fontes de energia não-renováveis. O caminho é buscar a diversificação das fontes por meio do desenvolvimento de novas tecnologias e do uso racional e eficiente da energia.

O período de análise deste trabalho compreende desde a propulsora ação do Estado em promover a industrialização e proporcionar o desenvolvimento brasileiro, ou seja, de 1950 à 1980; e de 1980 à 2006. Tomando-se a estrutura atual da matriz energética brasileira, de acordo com o Balanço Energético Nacional, constata-se que sua base é rica e diversificada, mas com grande dependência de petróleo e seus derivados. Baseando-se nesta dependência surge o interesse por este estudo, analisando outras formas necessárias de obtenção de energia; como também através do reconhecimento de uma nova oportunidade para o crescimento e desenvolvimento do país.

Cabe então ao Brasil promover a utilização de novas fontes renováveis, através de incentivos educacionais e tecnológicos, que irão favorecer, num futuro próximo, as células de combustível a hidrogênio. Desta forma, podemos levantar a seguinte questão: De que forma pode-se compreender o processo de inovação como mola propulsora e dinâmica para o desenvolvimento de novas fontes de energia?

A metodologia a ser utilizada no trabalho será o hipotético dedutivo, uma vez que os dados disponíveis sobre o assunto são insuficientes para explicar todo este processo e sendo assim, necessário para a formulação de hipóteses.

Além deste método também será utilizado o método observacional, comparativo e histórico, e os dados serão analisados de forma qualitativa uma vez que os dados utilizados no decorrer do projeto foram coletados previamente por outros autores ou outras fontes.

Diante disso, este trabalho propõe analisar e comparar o caso entre as células a combustível de hidrogênio e a energia eólica para promover o desenvolvimento de combustíveis alternativos na matriz energética brasileira.

Para que o objetivo geral deste trabalho seja alcançado se faz necessário à utilização de técnicas descritivas, descrevendo os fatos ocorridos, as técnicas explicativas, explicando a ocorrência dos mesmos, bem como dos processos de cada tipo de energia para que posteriormente se consiga comparar a eficiência de cada tipo de energia.

O instrumental teórico do estudo será a Teoria Schumpeteriana e a Teoria Evolucionista quanto ao processo de inovação. Contudo, os modelos de Dosi e Nelson e Winter sobre o processo de inovação é que guiará esta pesquisa, pelo fato de basear-se numa estrutura de mercado considerada como uma variável endógena ao sistema de desenvolvimento e pela percepção de que além dos conhecimentos teóricos envolvem os conhecimentos adquiridos pela prática e pela experiência adquirida.

Por fim esta monografia está estruturada em três capítulos, conforme demonstrado abaixo:

No primeiro capítulo, faz um breve histórico das principais fontes de energia brasileira, desde 1950 até o corrente ano, para que com isso possa se ter uma visão geral da evolução da matriz energética do país. Inclusive, será abordado o papel do Estado como articulador deste processo. Após será apresentado alguns projetos, ainda em fases de estudo, sobre fontes alternativas de energia.

Posteriormente, o segundo capítulo abordará as teorias econômicas sobre evolução processo de inovação tecnológico, através da literatura existe, a partir do pensamento Schumpeteriano e Evolucionista.

O último capítulo trará o estudo comparativo, com a apresentação histórica, como também introdutória do ciclo de funcionamento das fontes alternativas de energia limpas e renováveis, ou seja, mais especificamente entre a energia eólica e a célula a combustível de hidrogênio.

2. ANÁLISE HISTÓRICA DA MATRIZ ENERGÉTICA DO BRASIL: DE 1950 A 2006

Desde 1950 até os dias atuais, o problema da energia esteve sempre presente nas expectativas de planejamento desenvolvidas no Brasil. Assim, a ação direta do Estado em promover, articular e ordenar o processo de industrialização fez com que se exigisse uma infra-estrutura pesada, em especial nas áreas de energia e transporte, sendo o seu principal alicerce, o qual promoveria a industrialização e proporcionaria o objetivo final, que era o desenvolvimento brasileiro.



Com esta proposta de desenvolvimento chegando a todo o território nacional, ora por indução governamental, ora por consequência da expansão de uma atividade (tanto agrícola como industrial), faz com que se tenha um aumento na demanda por energia, e desse modo, um vultoso consumo. É diante deste panorama, que o período torna-se de fundamental importância para analisarmos a evolução da matriz energética nacional, assim como a crescente variedade e emprego das diversas formas de obtenção de energia, visando à sustentação e ampliação deste desenvolvimento.

Cabe destacar que, diferentemente do aproveitamento de fontes convencionais de geração de energia, organizados pela articulação de critérios econômicos e pelas regras de mercado, nas fontes alternativas e renováveis de energia entram em pauta necessidades, interesses e diretrizes de desenvolvimento de novas tecnologias, bem como a percepção da energia como um bem-comum, cuja universalização de acesso e garantia de continuidade constitui fator estratégico de desenvolvimento e de inclusão social.

Além disso, o incentivo ao uso de fontes alternativas e renováveis de energia representa também compromissos de governo em acordos internacionais de substituição progressiva de combustíveis fósseis, redução das emissões de CO₂ e outros itens ligados à questão ambiental.

Diante disso, o capítulo tem por objetivos: demonstrar o progresso do quadro energético brasileiro desde 1950, inclusive, apresentando os diferentes planos de governo adotados pelos governantes para o desenvolvimento deste setor; como

também, apresentar a diferença existente entre introdução e aplicação, ou não, de uma inovação no conjunto dos combustíveis alternativos, como forma de ampliação da matriz energética nacional.

Por fim, este capítulo está estruturado em quatro etapas para possibilitar uma melhor compreensão do seu conteúdo. Primeiramente será abordado o conceito de matriz energética e a metodologia para sua obtenção; após será apresentada a composição e evolução da matriz energética desde 1950 até o período atual; em seguida dar-se-á ênfase na discussão da ação governamental, como articulador do processo de desenvolvimento de fontes alternativas de energia, mediante políticas direcionadas à matriz energética ou a produção de novas fontes. Por último, mostrar-se-á alguns resultados no campo da inovação por meio da introdução de novas matérias-primas na obtenção de energia.

2.1 O QUE É UMA MATRIZ ENERGÉTICA?

Na década de 60, o Ministério de Minas e Energia - MME contratou um grupo de firmas brasileiras para a elaboração da chamada Matriz Energética Brasileira – MEB. Este estudo tinha por objetivo básico a definição da política energética nacional, visando estabelecer as relações entre os diversos insumos energéticos, as formas tecnologicamente aptas para disponibilização ao mercado e as características demandadas pelos consumidores, construindo, assim, um instrumento fundamental para embasar o planejamento brasileiro. Levavam em conta todos os nossos recursos de energia primária, como: hidráulica, petróleo, xisto betuminoso, gás natural, carvão, álcool, lenha, entre outros; todos os processos de transformação dessa energia primária em energia para o uso final, o transporte e armazenamento da energia e todos os tipos de consumidores de energia final.

Houve várias tentativas para organizar o planejamento energético do país, e atualmente, com a elaboração sistemática e anual de Balanços Energéticos Nacional – BEN, no âmbito do Ministério de Minas e Energia, promove diversos estudos e análises com o objetivo de subsidiar a formulação de políticas energéticas, bem como de orientar a definição dos planejamentos setoriais, divulgando informações sobre as fontes de energia, no sentido de melhor representar a realidade energética brasileira.

Assim, para iniciarmos nosso estudo, é importante que seja definido o que é uma matriz energética, qual a sua estruturação geral e sua metodologia de obtenção, a fim de se obter uma maior percepção sobre o assunto.

2.1.1 CONCEITO

Segundo **GOMES NETO (2005)** a definição de matriz energética¹ baseia-se na idéia de um conjunto de fontes de energia de um determinado local.

A matriz energética é uma representação quantitativa da oferta de energia, ou seja, da quantidade de recursos energéticos oferecidos por um país ou por uma região. A análise da matriz de um país, ao longo do tempo, é fundamental para a orientação do planejamento do setor energético, que tem de garantir a produção e o uso adequados da energia produzida, permitindo, inclusive, as projeções futuras.

Uma informação importante, obtida a partir da análise de uma matriz energética, é a quantidade de recursos naturais que está sendo utilizada. Dispor desta informação, nos permite avaliar se a utilização desses recursos está sendo realizada de forma racional.

Em outros termos, a matriz é um instrumento que permite relacionar todas as fontes e recursos naturais que estão sendo utilizados para se produzir energia com as diversas áreas de consumo. Como resultado, obtém-se a matriz energética, e esta, auxilia sua configuração, seu estudo, sua projeção, seu planejamento e o seu desenvolvimento energético de determinada região.

2.1.2 ESTRUTURAÇÃO DA MATRIZ ENERGÉTICA E METODOLOGIA²

A Empresa de Pesquisa Energética – EPE, empresa pública vinculada ao Ministério de Minas e Energia, tem por finalidade prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinados a subsidiar o planejamento do setor energético, tais como energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados, carvão mineral, fontes energéticas renováveis e eficiência energética, dentre outras.

Entre as atribuições da EPE consta a responsabilidade de elaborar e publicar o Balanço Energético Nacional – BEN, que, anualmente, documenta extensa pesquisa sobre o consumo, a produção e a comercialização dos diferentes energéticos em âmbito nacional.

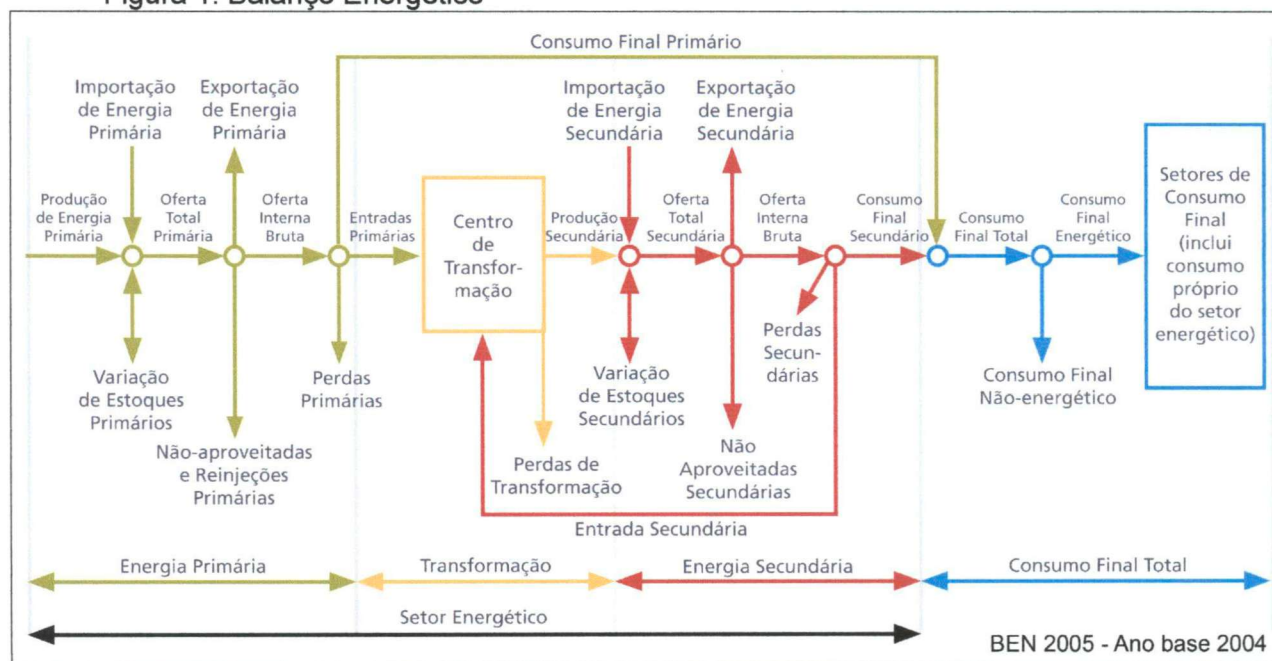
1. Também conhecida como “Pizza Energética”.

2. Metodologia extraída do BEN-Balanço Energético Nacional 2005 (Ano base 2004) – Capítulo 9 - Anexo “C”

Nesta fase inicial das atividades da EPE, a elaboração do Balanço Energético Nacional se desenvolveu em conjunto com a equipe da Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético do Ministério de Minas e Energia – SPE/MME, originalmente responsável pela execução do BEN, para manter a continuidade histórica da metodologia aplicada e efetuar o processo de transferência de responsabilidade pela execução, visando manter a qualidade dos resultados desta publicação do setor energético.

O Balanço Energético Nacional – BEN completa 31 anos de existência, divulgando informações relativas ao binômio Oferta-Consumo de fontes de energia, nas suas formas primárias e secundárias, obtidas junto aos diversos agentes produtores e consumidores de energia. Conforme figura a seguir, a matriz Balanço Energético expressa o balanço das diversas etapas do processo energético, e se estrutura em quatro partes fundamentais: energia primária, transformação, energia secundária e consumo final.

Figura 1: Balanço Energético



A energia primária – produção – representa os produtos energéticos providos pela natureza na sua forma direta, como petróleo, gás natural, carvão vapor, carvão Metalúrgico, urânio, energia hidráulica, lenha, produtos da cana (melaço, caldo de cana e bagaço) e resíduos vegetais e industriais para geração de vapor, calor e outros.

O setor de transformação agrupa todos os centros de transformação onde a energia que entra (primária e/ou secundária) se transforma em uma ou mais formas de energia secundária com suas correspondentes perdas na transformação. Citamos as refinarias de petróleo, plantas de gás natural, usinas de gaseificação, coquearias, ciclo do combustível nuclear, centrais elétricas de serviço público e auto-produtoras, carvoarias, destilarias, inclui os efluentes (produtos energéticos) produzidos pela indústria química, quando do processamento da nafta e outros produtos não-energéticos de petróleo.

A energia secundária advém dos produtos energéticos resultantes dos diferentes centros de transformação que têm como destino os diversos setores de consumo e eventualmente outro centro de transformação. Temos como exemplos o óleo diesel, óleo combustível, gasolina (automotiva e de aviação), GLP, nafta, querosene (iluminante e de aviação), gás (de cidade e de coquearia), coque de carvão mineral, urânio contido nos elementos combustíveis, eletricidade, carvão vegetal, álcool etílico (anidro e hidratado), outras secundárias de petróleo (gás de refinaria, coque e outros), derivados de petróleo que, mesmo tendo significativo conteúdo energético, são utilizados para outros fins (graxas, lubrificantes, parafinas, asfaltos, solventes e outros) e alcatrão obtido na transformação do carvão metalúrgico em coque.

No consumo final de energia, detalham-se os diferentes setores das atividades sócio-econômicas do país, para onde convergem as energias primária e secundária. Aqui, configura-se o consumo final não-energético e o energético. Esse se divide entre o setor energético (energia consumida nos centros de transformação e/ou nos processos de extração e transporte interno de produtos energéticos, na sua forma final); residencial (energia consumida no setor residencial, em todas as classes); comercial (energia consumida no setor comercial, em todas as classes); público (energia consumida no setor público, em todas as classes); agropecuário (energia total consumida nas classes agricultura e pecuária); transportes (energia consumida no setor transportes, englobando os segmentos rodoviário, ferroviário, aéreo e hidroviário; e industrial (energia consumida no setor industrial, englobando os segmentos: cimento, ferro-gusa e aço, ferro-eligas, mineração e pelletização, não-ferrosos e outros da metalurgia, química, alimentos e bebidas, têxtil, papel e celulose, cerâmica e outros); e consumo não-identificado (corresponde ao consumo

que, pela natureza da informação compilada, não pode ser classificado num dos setores anteriormente descritos).

A partir destas informações, pode-se construir a matriz energética através das operações e equações demonstradas a seguir.

ENERGIA PRIMÁRIA E SECUNDÁRIA

OFERTA TOTAL = PRODUÇÃO (+) IMPORTAÇÃO (+) OU (-) VARIAÇÃO DE ESTOQUES

OFERTA INTERNA BRUTA = OFERTA TOTAL (-) EXPORTAÇÃO (-) NÃO-APROVEITADA (-) REINJEÇÃO

OFERTA INTERNA BRUTA = TOTAL TRANSFORMAÇÃO (+) CONSUMO FINAL (+) PERDAS NA DISTRIBUIÇÃO E ARMAGENAZEM (+) OU (-) AJUSTE

TRANSFORMAÇÃO

PRODUÇÃO DE ENRGIA SECUNDÁRIA = TRANSFORMAÇÃO PRIMÁRIA (+) TRANSFORMAÇÃO SECUNDÁRIA (-) PERDAS NA TRANSFORMAÇÃO

CONSUMO FINAL DE ENERGIA

CONSUMO FINAL = CONSUMO FINAL PRIMÁRIO (+) CONSUMO FINAL SECUNDÁRIO

OU

CONSUMO FINAL = CONSUMO FINAL NÃO-ENERGÉTICO (+) CONSUMO FINAL ENERGÉTICO

Vale lembrar que há um processo de aperfeiçoamento contínuo do Balanço Energético Nacional, no sentido de melhor representar a realidade energética brasileira, desde os aspectos da precisão da informação até o seu detalhamento em diferentes níveis de desagregação, faz com que se apresentem, às vezes, algumas diferenças entre os dados de uma edição e outra.

2.2 A MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA, SUA COMPOSIÇÃO E EVOLUÇÃO NOS ÚLTIMOS CINQUENTA E SEIS ANOS

Cabe ressaltar que somente a partir dos anos 70 existe a base de dados que, hoje, podemos incorporar e mensurar a matriz energética brasileira de forma mais precisa. Anteriormente este levantamento era realizado pelo IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística e após 1970, passou a ser elaborado pelo MME – Ministério de Minas e Energia. Mas apenas em 1975 que se utilizou o Balanço Energético Nacional – BEN, até hoje utilizado.

Assim, a partir do resultado direto da Segunda Revolução Industrial, podemos perceber o uso crescente do petróleo na economia mundial, promovendo um desenvolvimento global. No Brasil, podemos perceber este novo ciclo econômico, mesmo de maneira atrasada, com a intensa industrialização, cujas principais ondas ocorreriam entre 1955 e 1962 e entre 1967 e 1973³, resultando a transformação da matriz energética, conforme tabela 1.

TABELA 1: Evolução da Matriz Energética Nacional

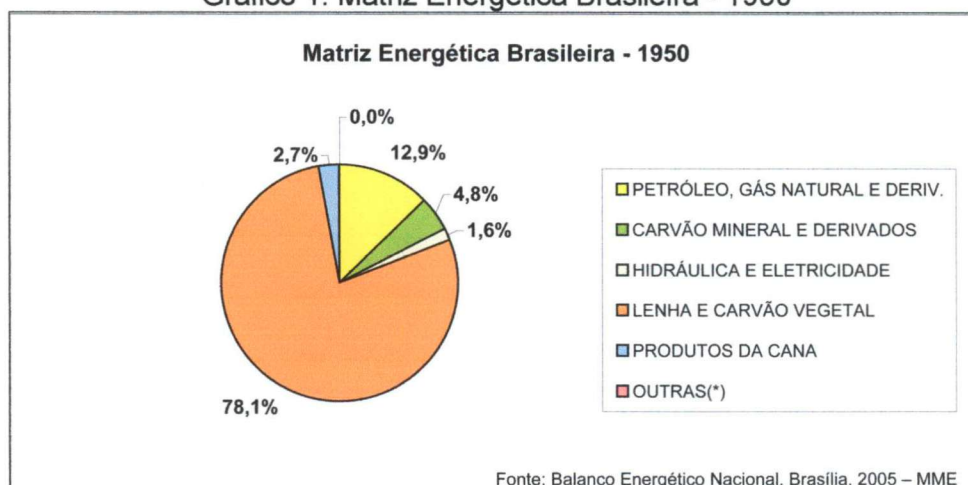
IDENTIFICAÇÃO	OFERTA INTERNA DE ENERGIA													UNIDADE: %	
	1950	1955	1960	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2001	2002		2003
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E DERIV.	12,86	20,91	25,74	28,66	37,97	48,46	49,22	39,83	43,72	46,76	50,89	51,84	50,41	47,83	47,97
CARVÃO MINERAL E DERIVADOS	4,76	4,29	2,87	3,21	3,64	3,50	5,14	7,65	6,77	7,35	7,12	6,88	6,54	6,70	6,67
HIDRÁULICA E ELETRICIDADE	1,61	2,26	3,21	3,84	5,11	6,81	9,64	11,83	14,12	15,26	15,73	13,55	13,96	14,60	14,44
LENHA E CARVÃO VEGETAL	78,09	69,33	63,86	59,04	47,58	36,28	27,09	25,13	20,10	14,28	12,10	11,57	11,89	12,86	13,21
PRODUTOS DA CANA	2,68	3,21	4,33	5,24	5,37	4,55	8,03	13,65	13,37	14,00	10,89	11,82	12,80	13,42	13,48
OUTRAS(*)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,40	0,88	1,91	1,92	2,35	3,28	4,34	4,40	4,60	4,23
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Fonte: **Balço Energético Nacional**. Brasília, 2005 – MME

(*) Inclui Outras Fontes Primárias Renováveis e Urânio

É por meio desta tabela que podemos apresentar, graficamente, como estava dimensionada a esfera energética brasileira desde a década de 50.

Gráfico 1: Matriz Energética Brasileira - 1950

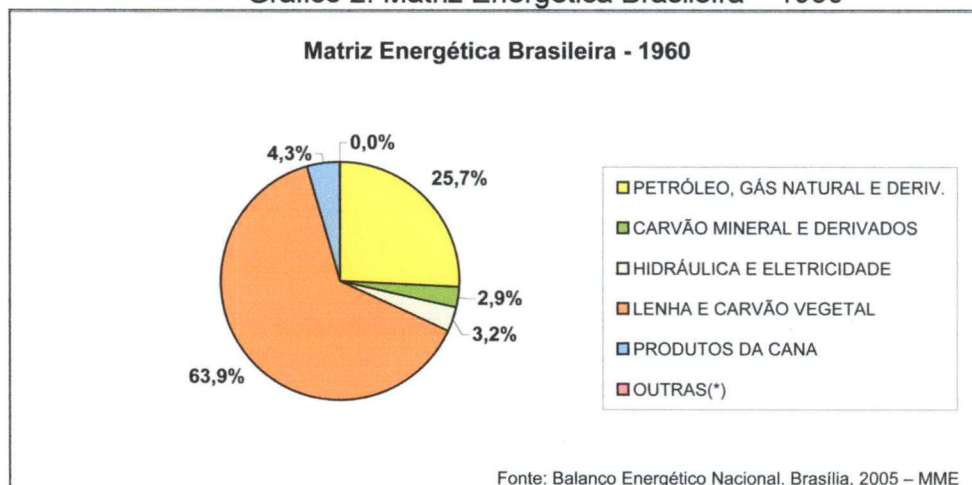


O perfil do setor apresentava-se com nítida preponderância dos combustíveis de origem vegetal recente – a biomassa – representados pela lenha, produtos da cana e carvão vegetal, sobre os de origem fóssil, que são os derivados de petróleo e carvão mineral. Enquanto os primeiros perfaziam por volta de 80% do consumo total de energia, os derivados de petróleo e carvão mineral representavam 18%. A energia hidráulica e elétrica representava apenas 2% de participação.

3. CALABI, Andréa Sandro (et al.). **A energia e a economia brasileira**. São Paulo: Editora Pioneira: Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas, 1983.

Na década seguinte (1960), notamos o início da transformação da matriz energética nacional, através das medidas adotadas pelo Presidente Juscelino Kubitschek, por meio da elaboração do Plano de Metas, o qual buscava o desenvolvimento econômico e especialmente dos investimentos em infra-estrutura, promoveu o processo de industrialização brasileira, dando origem a forte aumento da demanda por petróleo.

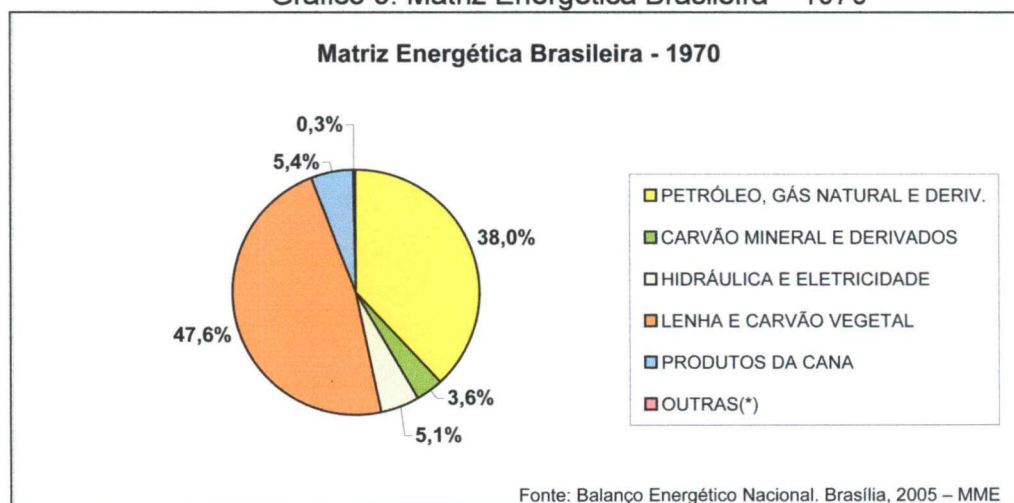
Gráfico 2: Matriz Energética Brasileira – 1960



Mesmo com o detrimento no consumo de fontes de energia renováveis, para os de energia não-renováveis, o primeiro continuava dominando a matriz energética com 71% do total, enquanto que os não-renováveis representavam 29%. Percebe-se que o reflexo da política incentivadora, adotada pelo Plano de Metas, começava a surtir efeitos na distribuição do setor energético nacional, principalmente no petróleo e seus derivados.

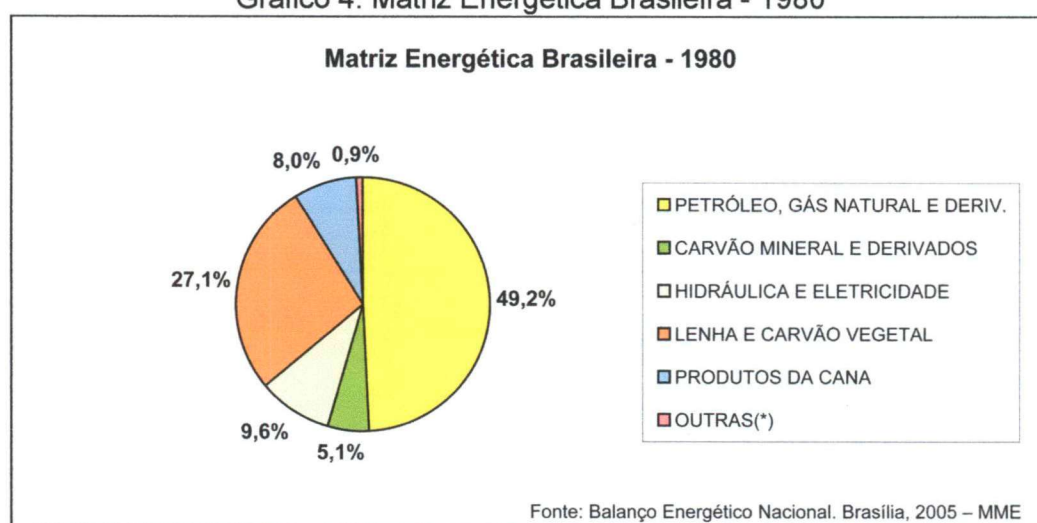
Na década de 70 que veremos a alteração do quadro energético nacional.

Gráfico 3: Matriz Energética Brasileira – 1970



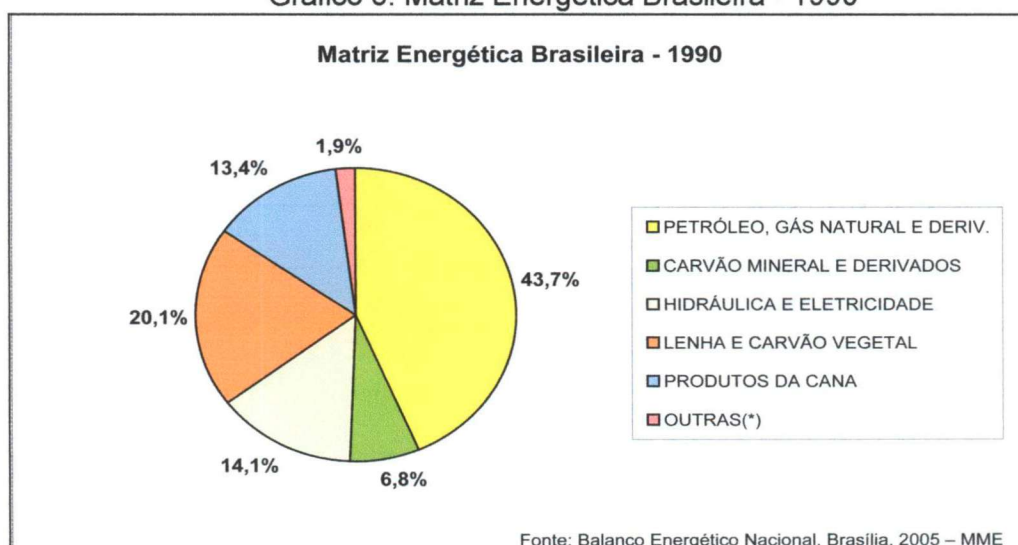
Seguindo o rumo mundial, esta transformação se dá com o incremento, principalmente, no que se refere à utilização de fontes de origem fóssil, mostrado pelo explosivo aumento no consumo de petróleo e seus derivados⁴ e a perda das energias renováveis. Diante disso, percebe-se uma acentuada queda (57%) da utilização de lenha e carvão vegetal na matriz energética, em apenas uma década.

Gráfico 4: Matriz Energética Brasileira - 1980



Diante da crise do petróleo em 1973 e posteriormente, o seu segundo choque, em 1979, com a crise financeira e providências governamentais da época, percebe-se uma grande influência exercida sobre a década de 1980 e 1990, quanto à redução do consumo do petróleo e derivados, bem como no incremento dos produtos derivados da cana, mais especificamente o álcool, em decorrência do Programa do Álcool – Proálcool⁵. A energia hidráulica manteve-se em forte ascensão com base nas obras de novas usinas e na extensão da rede de atendimento.

Gráfico 5: Matriz Energética Brasileira - 1990



4. O uso do gás natural para consumo inicia-se a partir dos anos 50 e jamais ultrapassa 0,5% da matriz, que se manteve até 1977. Extraído de: LEITE, Antonio Dias. **A Energia do Brasil**. Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira, 1997
5. LEITE, Antonio Dias. **A Energia do Brasil**. Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira, 1997.

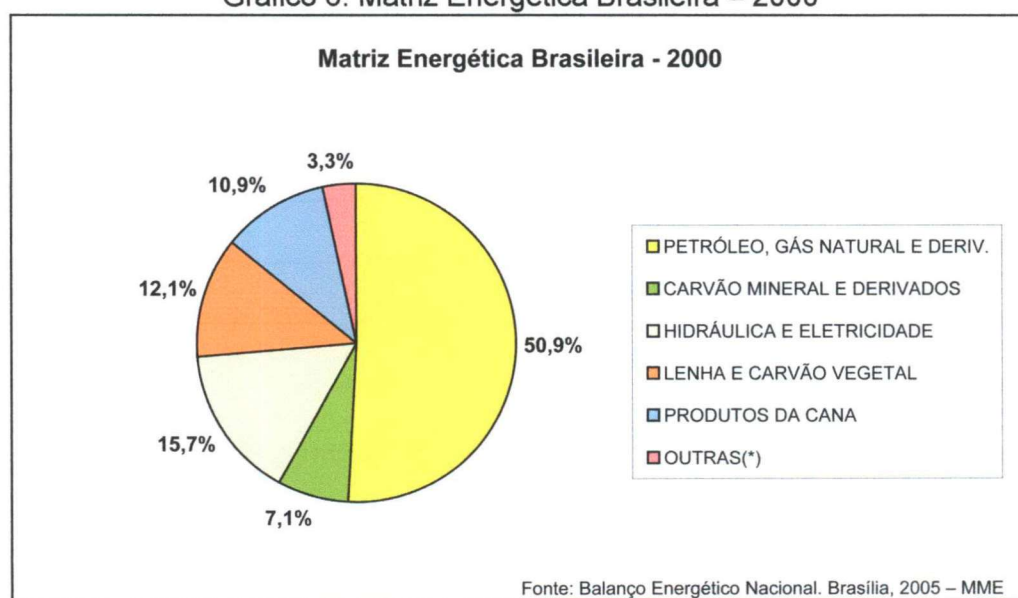
As duas principais tendências que se vê e que se verifica no período é a crescente predominância dos combustíveis fósseis, marcadamente o petróleo, sobre o total dos combustíveis; e a presença cada vez maior da energia sob forma elétrica, gerada a partir de fontes hídricas, na produção global de energia.

Já no século XXI, a matriz energética do ano de 2000 mostra a mesma tendência das últimas décadas, como já apresentada. Com a descoberta de novas bacias petrolíferas em nosso país, bem como resultado de uma acentuada demanda do uso do petróleo e seus derivados (51%), pela importância crescente do processo de urbanização, industrialização, a generalização do uso do automóvel no setor de transportes e o aperfeiçoamento das instalações de produção e transformação da energia.

Neste período reduziu-se a participação dos produtos da cana devido aos usineiros entenderem ser inviáveis os preços adotados, tendo em mente que seu preço varia de acordo com a oferta e demanda; como também a utilização de lenha e carvão vegetal devido ao fato da redução dos incentivos ao reflorestamento⁶.

Ainda, um importante dado que pode ser visualizado no gráfico abaixo, se refere ao crescente aumento de outras fontes de energia (3,3%), que compreende desde o emprego do urânio, como também da energia solar, eólica, termoelétrica, entre outras.

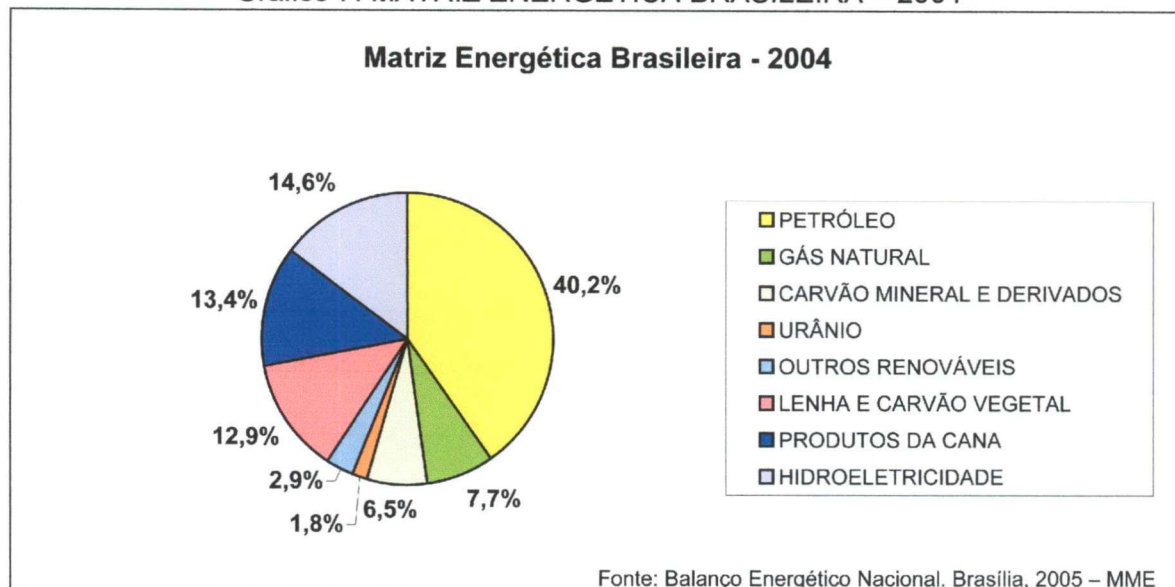
Gráfico 6: Matriz Energética Brasileira – 2000



6. LEITE, Antonio Dias. **A Energia do Brasil**. Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira, 1997.

Como podemos ver no gráfico 7, a matriz energética encontra-se diversificada, notando certa manutenção do quadro visto desde 1975, conforme demonstrado a seguir:

Gráfico 7: MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA – 2004



Mesmo pelo fato de continuarmos dependentes do petróleo, ampliou-se nossa matriz interna de energia, fato de se expandir à utilização do gás-natural, bem como outras fontes renováveis e os produtos da cana. Este último foi beneficiado por dois motivos: pelo aumento do preço externo do barril de petróleo, o que incentiva os usineiros a produzir a cana e a utilização de novas tecnologias automotivas quanto uso do bi-combustível ou flexível.

Diante deste panorama, os combustíveis não-renováveis continuam representando a maior parcela de nossa pizza, ou seja, 54,4%, gerando um preocupante cenário futuro. Com sua previsível escassez e aumento de demanda mundial, seus preços se tornarão elevados, que poderá acarretar graves conflitos mundiais em torno desta fonte de energia; na questão ambiental, provocará um aumento na emissão de gases poluentes, impactando a temperatura e o clima do nosso planeta; e ocasionando diversos outros agravantes.

O uso das fontes tradicionais traça sua trajetória ao declínio, não só pela sua característica efêmera, mas porquê é uma ameaça ao meio ambiente. Na esteira da questão ecológica, as chamadas “fontes alternativas de energia” ganham um espaço cada vez maior. Essas fontes alternativas, além de não prejudicar a natureza, são renováveis, e por isso perenes.

Uma dificuldade que o Brasil possui se refere à falta de incentivos à educação, ao estudo e a pesquisa para o desenvolvimento de novas tecnologias, bem como a falta de investimentos para o desenvolvimento de tecnologias de ponta – nacionais – com qualidade e inovação. Seria então necessário que o país se conscientizasse e vislumbrasse a grande oportunidade que possui para se incrementar a utilização de fontes alternativas renováveis para a obtenção de energia, como o biodiesel, células de hidrogênio, energia eólica, biomassa, hidroeletricidade, entre outras, e com isso ser uma grande potência energética.

23 O PAPEL DAS POLÍTICAS PÚBLICAS NO DESENVOLVIMENTO DE FONTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA

Este item apresentará uma confrontação da utilização de políticas públicas para o desenvolvimento de fontes de energia, que ora estão direcionadas à matriz energética nacional e ora à produção de novas fontes alternativas.

Assim, intervenção do Estado se dá mediante as crises do modelo primário-exportador e a incapacidade do setor privado nacional de promover, de forma autônoma, a superação da crise e a passagem para uma nova fronteira de expansão. Nesse sentido, a economia brasileira procura voltar-se para “dentro” com uma mudança nas variáveis dinâmicas da economia: do setor agrário exportador para o investimento destinado ao desenvolvimento da indústria, por meio da industrialização.

O modelo de desenvolvimento adotado pelo Brasil ficou conhecido como industrialização por substituição de importações e prevaleceu desde a década de 30 até completar-se no final da década de 70, direcionando a ação estatal e norteando os planos de desenvolvimento. Esse processo procurou repetir, aceleradamente, a experiência de industrialização dos países desenvolvidos.

Numa primeira etapa, entre 1930 e 1945, o Estado lança as bases institucionais em torno do processo de industrialização, com a regulamentação da exploração dos recursos minerais até a criação de conselhos de planejamento, a fim de elaborar políticas de desenvolvimento. Assim, coube ao Estado a montagem de uma infra-estrutura pesada, assumindo diretamente na produção de insumo indispensáveis ao crescimento industrial, bem como financiar o setor industrial privado, através do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico – BNDE.

Inclusive configurou o sistema industrial brasileiro articulando a empresa nacional, empresa estatal e empresa estrangeira.

Como o problema da energia estava diretamente ligado ao planejamento desenvolvido no país, os governantes estavam cientes da perspectiva geral que o desenvolvimento somente aconteceria mediante industrialização e, assim, preocupou-se que os planos governamentais fossem elaborados para que se alcançasse este objetivo, mas geralmente tem-se visto que o planejamento foi marcado pela ocasionalidade e falta de continuidade.

2.3.1 As Políticas do Governo e a Matriz Energética: uma síntese dos planos econômicos

Período de 1946 - 1951⁷

Este período era governado pelo General Eurico Gaspar Dutra sendo sua única tentativa de intervenção planejada do Estado através do lançamento, em 1950, do Plano Salte (Saúde, Alimentação, Transporte e Energia). Embora não ter sido efetivamente um plano econômico, foi um programa de gastos públicos para setores prioritários como: Saúde, Alimentação, Transporte e Energia. Do total estimado (Cr\$ 19,9 bilhões), apenas 16% seriam gastos para aumentar o potencial energético do país. Do total a ser investido, a eletricidade receberia 52%, especialmente para a Companhia Hidrelétrica do São Francisco; o setor petrolífero teria 46%; e o carvão mineral dispunha de 2%. Porém, como o governo não conseguiu garantir fontes de financiamento, e nem executá-lo eficazmente, em menos de um ano o Plano Salte foi interrompido, e desse modo, não sendo suficiente, tanto para o incremento da matriz energética, como para a produção de novas fontes de energia.

Período de 1951 - 1954

O Plano Salte teve sua execução estendida pelo governo de Getúlio Vargas, que contou com outras formas de planejamento não incorporadas ao plano inicial, por meio da contribuição da Comissão Mista Brasil – Estados Unidos, instituída em 1948, que desempenhou um importante papel na formulação de estudos, recomendações e projetos, especialmente no setor de energia.

7. CALABI, Andréa Sandro (et al.). *A energia e a economia brasileira*. São Paulo: Editora Pioneira: Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas, 1983 – pág. 102 e 103.

Com a criação do BNDE, em 1952, a instituição passou a fornecer suporte técnico e financeiro para a atuação do setor privado. Foram criados, também, a Petrobrás, o Ministério da Saúde, o Fundo Nacional de Eletrificação, o Plano Nacional do Carvão, a Vale do Rio Doce e o Projeto do Vale do São Francisco. Percebe-se então que, neste período, há um incremento para a diversificação da matriz energética, entretanto, nada se alterando a respeito de novas fontes de energia.

Período de 1956 - 1961

É através do Plano de Metas que Juscelino Kubitschek efetiva o primeiro plano formal de governo. Este plano visava investimentos com entradas de capitais estrangeiros, direcionando-os para os setores de energia, transportes, agropecuária, indústrias de base e educação. Os objetivos deveriam ser alcançados em cinco anos através de metas setoriais, que possibilitariam o crescimento razoavelmente equilibrado. Este programa apresentou algumas vantagens sobre os planos anteriores: pela existência de metas bem definidas, em termos quantitativos, com estimativa dos recursos totais necessários; detalhamento das metas em projetos específicos; e acompanhamento do plano sob a forma de relatórios.

TABELA 2: PLANO DE METAS (1957 – 1961)

Plano de Metas - Previsão e Resultados do período (1957 - 1961)

Metas	Previsão	Realizado	Porcentagem
Energia Elétrica	2.000.000 kw	1.650.000 kw	82%
Carvão Mineral	1.000.000 ton	230.000 ton	23%
Petróleo - Produção	96.000 barris/dia	75.000 barris/dia	76%
Petróleo - Refino	200.000 barris/dia	52.000 barris/dia	26%

BÔA NOVA, Antonio Carlos. *Energia e classes sociais no Brasil*. São Paulo: Editora Loyola, 1985.

Alguns dos resultados mais importantes do Plano de Metas referem-se ao setor de energia, com o aumento da potência elétrica instalada e da produção de petróleo. Mesmo tendo o carvão um valor inferior ao da meta desejável, ressalta-se sua ampliação. Cabe observar que deveria ser instalada uma central de energia atômica de 10.000 kw, o que não aconteceu⁸.

Nesta fase, a diversificação da matriz energética foi estimulada, mas nos mesmos padrões prévios, num quadro de expansão necessária da oferta das principais fontes de energia. Quanto à geração de novas fontes de energia, nada se alterou.

8. BÔA NOVA, Antonio Carlos. *Energia e classes sociais no Brasil*. São Paulo: Editora Loyola, 1985

Período de 1961 – 1964⁹

Outro plano, o Trienal (1963 – 1965), do presidente João Goulart, não propunha alterações fundamentais no campo energético. Apenas reafirmava as mesmas proposições de aumento de sua produção.

Período de 1964 - 1967¹⁰

O Programa de Ação Econômica – PAEG teve sua implantação a partir da instauração do regime militar em 1964 e propunha investimentos a fim de se atingir à capacidade de produção de energia elétrica. Criava-se uma melhor remuneração do investimento, estimulando às empresas concessionárias a aumentarem sua produtividade. Definiu-se que a expansão do setor elétrico se faria com base em usinas convencionais, desconsiderando a energia nuclear. Havia o interesse na intensificação das pesquisas de jazidas de petróleo para que futuramente se atingisse a auto-suficiência. Sugeriu-se também a criação de termoelétrica no Sul do país e a utilização do xisto.

O período manteve a configuração da matriz energética anterior, com a expansão da oferta das principais fontes de energia. Quanto à geração de novas fontes de energia, percebemos uma alteração neste quadro, a partir da futura utilização de termoelétricas e xisto.

Período de 1968 - 1970¹¹

O Programa Estratégico de Desenvolvimento – PED foi elaborado durante o governo do presidente Marechal Costa e Silva, onde se definiria a política de desenvolvimento econômico para o período, contendo como elementos fundamentais a criação de um programa de investimento nas áreas consideradas estratégicas, a programação de instrumentos financeiros e um conjunto de instrumentos de ação indireta sobre o setor privado¹², objetivando o crescimento econômico.

Ao colocar o princípio geral da política energética, este programa reafirmava a tendência do PAEG, sendo que a política nacional de energia deveria ser integrada nas áreas de energia elétrica, petróleo e carvão, visando o melhor aproveitamento econômico, como racional, dos nossos recursos, no conjunto do balanço energético.

9. O álcool seria praticamente esquecido no período de 1945 a 1964.

10. CALABI, Andréa Sandro (et al.). *A energia e a economia brasileira*. São Paulo: Editora Pioneira: Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas, 1983 e LEITE, Antonio Dias. *A Energia do Brasil*. Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira, 1997.

11. CALABI, Andréa Sandro (et al.). *A energia e a economia brasileira*. São Paulo: Editora Pioneira: Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas, 1983.

12. Trataremos apenas dos investimentos das áreas estratégicas, mais precisamente no setor energético.

Portanto, o planejamento global e sua periódica atualização seriam indispensáveis à aplicação adequada e produtiva dos recursos de todas as fontes.

Com isso, observa-se neste período uma forte tendência à manutenção das bases da matriz energética nacional – petróleo, energia elétrica (a partir de fontes hidráulicas), carvão mineral e, com as experimentações do xisto e das termoelétricas – como também das políticas adotadas para esta base. Contudo, observa-se certo pessimismo ao emprego de fontes alternativas, principalmente quanto à energia nuclear (ainda em fases de estudo) e ao álcool (podendo desaparecer com a descoberta de novos campos petrolíferos)¹³.

Período de **1970 - 1973**¹⁴

O plano subsequente adotado pelo presidente Emílio Médici foi o de Metas e Bases para a Ação do Governo – MBAG, divulgado em outubro de 1970. Na realidade, não se pretendia criar um novo plano e, assim, completou-se com outros dois documentos: o Orçamento Plurianual de Investimentos de 1971 a 1973 e o I Plano Nacional de Desenvolvimento, de 1972 a 1974. Dentre o escopo do I PND estava o investimento nas áreas de siderurgia, petroquímica, transporte, construção naval, energia elétrica e mineração, dentre outros.

Assim, a energia elétrica passa a ser o objeto de um dos grandes Programas de Investimento: o Programa Básico de Energia Elétrica que envolvia a primeira Central Nuclear e o conjunto de grandes usinas hidrelétricas. Ao se ressaltar o programa nuclear, estão os objetivos estratégicos, econômicos e de transferência de tecnologia.

Este período promoveu uma nova configuração da matriz energética, com a introdução da energia nuclear, mesmo de forma reduzida. Já na geração de novas fontes de energia, percebemos, também, uma alteração neste quadro, a partir da conscientização do uso de novas tecnologias para a futura ampliação da base energética nacional.

Período de **1974 - 1979**¹⁵

O segundo Plano Nacional de Desenvolvimento – II PND, elaborado durante o governo do General Ernesto Geisel e instituído entre 1975 a 1979, constituiu a mais ampla e articulada experiência de planejamento no Brasil após o Plano de Metas.

13. Conforme citado no Ministério do Planejamento e Coordenação Geral. *Estratégia de Desenvolvimento e Estrutura Geral*, pp. VII-26.

14. BRASIL, Presidência da República. *Metas e Bases para a Ação do Governo*. Brasília, 1970 e CALABI, Andréa Sandro (et al.). *A energia e a economia brasileira*. São Paulo: Editora Pioneira: Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas, 1983, pág. 113.

15. CALABI, Andréa Sandro (et al.). *A energia e a economia brasileira*. São Paulo: Editora Pioneira: Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas, 1983, pág. 114.

Segundo CALABI (1983), durante a vigência do plano ocorreu uma variável não prevista, a crise do petróleo, que veio alterar o panorama harmonioso que preenchia os últimos planos da década de 1970.

Entretanto, após reconhecer ser a política energética “peça decisiva da estratégia nacional” – pois o país importava então dois terços do petróleo consumido¹⁶, sintetizava as propostas do Plano, no campo energético, para o período de 1975 - 1979: execução de programa maciço de prospecção e produção, com redução do prazo de início da produção, após a descoberta do campo; intensificação do programa do xisto, pela Petrobrás; esforço na limitação a um mínimo de consumo de petróleo, principalmente dos transportes, por política de preço de gasolina sem subsídio, criação de sistemas de transporte de massa, eletrificação de ferrovias, e adição de álcool à gasolina; melhor aproveitamento dos recursos hidroelétricos; execução de programas de pesquisas sobre novas fontes de energia (especialmente hidrogênio como combustível e energia solar); ampliação do uso do carvão para fins industriais; e desenvolvimento do programa nuclear.

Importante notar a mudança de estratégias do II PND em relação ao I PND e ao PED, por exemplo. Como resultado, o Estado busca recobrar a capacidade de dirigir o setor ao estabelecer, no II PND, os princípios básicos a serem seguidos¹⁷.

Mediante este quadro, o balanço deste plano mostra significativos avanços na geração de energia, prospecção de petróleo e produção de álcool, bem como no incentivo de geração de novas alternativas de energia (hidrogênio).

Período de 1980 - 1989¹⁸

Neste período, a crise econômica do início dos anos 80 é advinda de uma profunda crise fiscal, como consequência da ruptura do padrão de financiamento do setor público. Essa ruptura tem sua origem no fato do Estado assumir a maior parte do ônus da crise econômica, que impossibilitou manter um esquema de financiamento baseado em expressivo endividamento externo.

Os programas econômicos de ajustamento, contracionistas, não conseguiram modificar esta situação, pelo contrário, ampliou os desequilíbrios existentes. Os primeiros governos civis, após o regime militar, defrontam-se com graves problemas

16. Conforme citado em Presidência da República, 2.º Plano Nacional de Desenvolvimento: 1975-1979 e Ministério do Planejamento e Coordenação Geral. *Estratégia de Desenvolvimento e Estrutura Geral*.

17. Numa análise, a década de 1950 marca o razoável controle do governo sobre o setor energético, ao estabelecer as diretrizes básicas a serem seguidas. Após 1964, dada a ênfase para a eficiência produtiva, tem-se o crescente deslocamento das decisões para as empresas “públicas” do setor (mesmo as empresas estando sujeitas à certas formas de controle do Estado, ela fica incapaz de executar uma política setorial do governo). A partir de 1974, com o evidente problema energético, o II PND mostra a intenção do governo em retomar o controle da política do setor em novos moldes, por meio de diretrizes gerais que beneficiem o governo.

18. LEITE, Antonio Dias. *A Energia do Brasil*. Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira, 1997.

que dificultaram sua capacidade de planejamento. O elemento decisivo se faz pela falta de uma diretriz hegemônica que impulsionasse as ações econômicas num mesmo sentido. Esta falta de um direcionamento gerou a coexistência de três planos nacionais de mesma temática e abrangência temporal – como o I Plano Nacional de Desenvolvimento da Nova República, de 1985; o Plano de Consistência Macroeconômica, de 1987; e o Programa de Ação Governamental, de 1987¹⁹.

Assim, observa-se que nos anos 80, a economia brasileira mostrou uma realidade sobre o planejamento extremamente confuso, que não se compatibilizava e era rapidamente superado por outros fatos econômicos. Mesmo diante destes fatos, foi lançado o III Plano Nacional de Desenvolvimento, que reconheceu como setores prioritários da economia brasileira a agricultura e o desenvolvimento de novas fontes de energia. Seu objetivo prioritário era o desenvolvimento do setor energético.

Entretanto, na realidade, o III PND não pode ser considerado como um plano de desenvolvimento, pois seus objetivos não foram alcançados, muito menos houve qualquer implementação do plano, isso é mostrado mediante a redução de investimentos e consumo no âmbito da matriz energética brasileira.

Período de 1990 - 1999²⁰

Com a constituição de 1988, a metas de governo a serem aplicadas no período que vai do segundo ano da gestão ao primeiro ano do governo seguinte devem ser encaminhados ao Congresso Nacional para aprovação. Estas propostas de governo apresentam a introdução de um novo modelo de planejamento, os Planos Plurianuais – PPA's. O plano era mais voltado à programação da ação do governo, sem as características de plano de desenvolvimento econômico-social como os anteriores.

Durante o governo de Fernando Henrique Cardoso (1996-1999), o PPA estabeleceu novos princípios de planejamento no Brasil, com a execução pelo Estado de parcerias entre a União, os Estados e os Municípios e entre o setor público e o setor privado. Desse modo, do total a ser investido no período, 33% (R\$ 138 bilhões) se destinavam à execução de investimentos, os quais enfatizavam os setores de energia elétrica, petróleo, transportes, entre outros.

19. Estes planos visavam a necessidade de crescimento econômico, o equacionamento das contas externas, a redução da inflação e do déficit público – BRASIL, Presidência da República. I Plano Nacional de Desenvolvimento da Nova República – 1986/1989. Brasília, 1985.

20. LACERDA, Antônio Corrêa de (et al.). Economia Brasileira. São Paulo: Saraiva. 2.^a edição, 2003 e BRASIL, Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. O Plano plurianual 1996-1999 (PPA 1996-1999). Brasília, 1995^a.

Cabe ressaltar que a maior parte do financiamento do investimento da economia brasileira seria proveniente do setor privado, em função do controle das contas públicas, do processo de desestatização e das perspectivas de ampliação da poupança privada.

Dentre o conjunto de projetos previstos no PPA, alguns investimentos foram classificados como prioritários em vista de seus efeitos dinamizadores e estruturadores de outros projetos e ações dos setores público e privado. No setor energético, desenvolvido em bases nos investimentos estatais, apresentava sinais de esgotamento.

O setor elétrico, com investimentos na ordem de R\$ 4,5 bilhões, aquém do necessário, sofreu atrasos na execução de projetos. Propunha-se a mudança de um modelo centralizado, com forte presença de empresas estatais, para formas mais descentralizadas e abertas à participação da iniciativa privada.

No setor petrolífero, mediante a abertura à área privada, deveria ser eliminado o estrangulamento de recursos para investimentos e redefinido o papel da Petrobrás num ambiente mais competitivo, viabilizando a ampliação da oferta de petróleo e gás natural.

Período de 2000 - 2006²¹

O PPA deste período se denominou Avança Brasil, passou a adotar um modelo gerencial voltado a obtenção de resultados mais concretos, medidos pelos seus efeitos na sociedade. Como no plano anterior, também objetivava investimentos no setor energético. Entre estas ações, o programa obtinha R\$ 1 bilhão para o fornecimento de energia a populações rurais; R\$ 10,5 bilhões para a oferta de petróleo e gás natural; R\$ 5,5 bilhões para a geração termelétrica; R\$ 1,8 bilhões para a geração hidrelétrica; e R\$ 930 milhões para as linhas de transmissão.

Ressalta-se que, pela falta de maiores investimentos no setor energético, ocorre uma crise elétrica no ano de 2001 pelo fato da oferta ser inferior à demanda brasileira, o qual resultou em medidas para consumo consciente da energia, bem como sua racionalização, para que não ocorressem a falta e ocasionassem outros “apagões” pelo país, atrapalhando ainda mais a economia brasileira.

Nos dias atuais, podemos perceber, ainda, a intervenção do governo quanto à utilização de políticas que desenvolvem o setor energético nacional. Entre estas

21. BRASIL, Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. O Plano plurianual 2000-2003 (PPA 2000-2003). Brasília, 1999 a; BRASIL, Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Secretaria de Gestão. O Plano plurianual Avança Brasil e o programa de Gestão empreendedora; e BRASIL, Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Relatório Anual de Avaliação do Plano plurianual 2000-2003 (PPA 2000-2003) – Avança Brasil. Brasília, 1999 a

políticas estão: o **PROEÓLICA**, com o objetivo de agregar a geração de energia eólica à matriz energética nacional; **PROINFRA**, com a garantia de compra de energia gerada por um prazo de 15 anos; **PRODEEM**, que tem aplicado recursos ao fundo perdido em sistemas para a eletrificação de instalações de uso comunitário – escolas, postos de saúde, centros comunitários, igrejas, postos telefônicos, bombeamento de água, etc. – com o objetivo de cobrir parte do passivo social para com o homem do campo e as populações isoladas do país; entre outros.

Deste modo, com a crescente preocupação do Estado no setor energético nacional, possibilita a grande diversificação da nossa matriz energética, como também, o grande incentivo para a descoberta de novas fontes alternativas de energia, principalmente as renováveis, como por exemplo, o biodiesel, a energia eólica e solar, o hidrogênio, entre outras.

2.4 O DESENVOLVIMENTO DA INOVAÇÃO NO QUADRO DOS COMBUSTÍVEIS ALTERNATIVOS: ENTRE A TEORIA E A PRÁTICA

A busca por fontes alternativas de energia tem se intensificado nos últimos anos. O Brasil já demonstrou, em foros internacionais, a sua intenção de aprimorar o uso de energias renováveis e diversificar as fontes de geração de energia, mas para isso é preciso que se invista em educação, pesquisa e tecnologia, a fim de possibilitar a introdução de novas fontes de energia em nossa matriz energética.

Para tanto, é necessário diferenciarmos os seguintes termos: Teoria e Prática. A teoria se refere aos princípios gerais e fundamentais de qualquer ciência, é o conhecimento especulativo, meramente racional, que mostra o conhecimento destes princípios; enquanto que a prática é a aplicação da teoria, através do uso, da experiência, do exercício, a qual o saber é provido da experiência e da técnica.

Assim, a inovação faz com que se apareça a difusão de novas tecnologias, que surgida da teoria, e, posteriormente colocada em prática, se estimule o incremento de novos meios e métodos no emprego de combustíveis alternativos e renováveis de energia.

Nesse sentido o objetivo deste item é identificar alguns avanços no quadro da inovação dos combustíveis alternativos ainda que sobre um plano teórico, são eles: gerador compacto de alta eficiência fornece energia a partir das marés; substituição

carvão mineral por carvão vegetal; aproveitamento de resíduos agropecuários e florestais; biocombustível; biodigestores: produção de biogás a partir de resíduos de suínos e aves; energia solar; e óleo de andiroba podendo substituir o óleo diesel.

2.4.1 Gerador compacto de alta eficiência gera energia a partir das marés²²

Pesquisando sobre a diferença entre um motor elétrico e um gerador de eletricidade, Steve Turnock e Suleiman Abu-Sharkh, da Universidade de Southampton, Inglaterra, descobriram que o sentido da rotação permitiria que criassem um novo gerador, que poderá baratear a produção de eletricidade a partir de correntes de água, sejam ondas do mar, o movimento das marés ou até mesmo o fluxo constante das águas de um rio.

Ao invés de usar eletricidade para empurrar seus veículos, eles poderiam aproveitar fluxos naturais de água para gerar eletricidade. O que mais impressiona na nova turbina é a sua simplicidade. "Este é um projeto compacto, que eliminou a maioria das partes móveis encontradas nas turbinas marinhas convencionais. É uma novidade na geração de energia a partir das marés," disse Turnock.

A maioria dos geradores movidos a água são essencialmente turbinas invertidas preparadas para funcionar submersas, com toda a sua complexidade técnica e os elevados custos de manutenção associados.

Já o novo gerador tem pás projetadas para girarem com a mesma eficiência qualquer que seja o sentido de deslocamento da maré. Seu invólucro foi projetado em computador visando permitir uma passagem da água com o mínimo de atrito possível.

A simplicidade também permite que o equipamento seja inteiramente montado na fábrica, necessitando apenas ser mergulhado na água para começar a gerar eletricidade. Isso contrasta frontalmente com os elevados custos de instalação das turbinas tradicionais.

O protótipo apresentado pelos cientistas tem apenas 25 centímetros de diâmetro, conforme figura 2. A construção de um modelo maior, segundo eles, permitirá aumentar ainda mais a eficiência das pás do rotor. Eles esperam ter um gerador disponível comercialmente em 2011.

22. <http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=010115060620>. Acessado em 15 de outubro de 2006.

Figura 2 – Gerador Compacto

Fonte: www.inovacaotecnologica.com.br

2.4.2 Embrapa quer substituir carvão mineral por carvão vegetal²³

A Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária está liderando um projeto pioneiro em busca de uma fonte alternativa de energia, baseada na cultura de capim elefante, como visto na figura 3. A Embrapa já identificou três variedades do vegetal (*Gramafante*, *Cameroon Piracicaba* e *BAG-02*) com alta capacidade de produção de biomassa em solos pobres e sem uso de adubação nitrogenada.

A produção destas variedades alcança até 40 toneladas/hectare/ano de biomassa seca, correspondendo a cerca do dobro produzido por uma floresta cultivada de eucalipto.

Os estudos, coordenados pelo pesquisador Segundo Urquiaga, visam identificar variedades cada vez mais eficientes na produção de biomassa em solos pobres em nitrogênio, assim como para avaliar o impacto da cultura no seqüestro de carbono do solo.

Comparadas com o eucalipto - que necessita de adubo nitrogenado e demora para ser colhido - as variedades selecionadas de capim elefante não necessitam do fertilizante e possibilitam até quatro colheitas por ano.

Apenas para atender a parceira do projeto, a mineradora Samarco, que consome 200 mil toneladas de carvão mineral por ano, seriam necessários 13 mil hectares plantados com capim elefante. Com isto, além de gerar uma nova fonte de energia limpa, a pesquisa poderá viabilizar um projeto de melhoria de renda de pequenos agricultores em regiões de solo pobre.

As novas variedades também são uma alternativa para a que a indústria siderúrgica nacional atenda às exigências do mercado internacional de ferro e aço estipuladas pelo Protocolo de Kyoto. Trata-se da modernização dos processos de substituição do carvão mineral pelo carvão vegetal de biomassa cultivada.

23. <http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=010115051007>. Acessado em 15 de outubro de 2006.

Figura 3 – Capim Elefante



Fonte: Embrapa - 2006

2.4.3 Aproveitamento de resíduos agropecuários e florestais²⁴

Aproveitamento integral da biomassa florestal para fins energéticos e adensamento energético de áreas reflorestadas.

Segundo o documento, elaborado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento com o apoio da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), não é fácil estimar o potencial energético dos resíduos, devido à precariedade das estatísticas e às variações regionais. Mas sabe-se que apenas nos principais cultivos (trigo, arroz, milho, cevada e cana-de-açúcar) é possível recuperar 25% de resíduo em forma de energia, evitando-se a emissão de 350 a 460 Mega toneladas de CO₂, por ano.

O uso energético dos resíduos competirá, no futuro, com outros usos, como o preparo de cama para criação animais, adubação orgânica, controle de erosão, alimentação de animais etc. Mas o Plano ressalta que será necessário consolidar o conceito de resíduo sob a óptica da sustentabilidade da exploração, ou seja, não retirar do local de produção da biomassa excesso de matéria orgânica que venha a depauperar o solo e prejudicar futuras explorações.

Os resíduos que se mostram mais apropriados para pronto aproveitamento são aqueles gerados no cultivo da cana-de-açúcar, da indústria de papel e celulose e a serragem e gravetos da indústria madeireira e moveleira. Mais de 300 mega toneladas de bagaço de cana são produzidos anualmente no mundo, em sua maior parte, utilizados para produção de energia local, nas usinas produtoras de açúcar e álcool.

“Os resíduos florestais, obtidos a partir de um manejo correto dos projetos de reflorestamento, pode incrementar a produtividade energética futura das florestas”

24. <http://www.biodieselbr.com/energia/residuo/index.htm>. Acessado em 22 de setembro de 2006.

afirma Silvio Crestana, diretor-presidente da Embrapa. Parcela ponderável da energia elétrica produzida a partir de biomassa no Brasil é proveniente do aproveitamento de resíduos agropecuários, florestais ou da agroindústria.

Crestana ressalta que “como ocorre para todas as fontes renováveis de energia, a efetiva viabilização do potencial de produção de eletricidade a partir da biomassa residual da cana, da madeira e do arroz, requer a definição e a implantação de políticas de fomento, com horizonte de médio a longo prazo e que estabeleçam condições claras e efetivamente motivadoras para que o potencial que é economicamente viável e é estrategicamente de interesse possa ser aproveitado”.

Para as experiências realizadas na prática, ou seja, que já estão sendo aplicadas, podemos destacar:

2.4.4 Biocombustível é opção de mudança da matriz energética²⁵

A soja e o girassol despontam como importantes matérias-primas para a obtenção de biocombustíveis, podendo ser componentes prioritários para promover a mudança da matriz energética mundial, afirmou o pesquisador Décio Gazzoni, da Embrapa.

De acordo com Gazzoni, atualmente a matriz energética mundial tem como fontes principais o petróleo, (35%), o carvão (23%) e o gás natural (21%), combustíveis fósseis não renováveis e que emitem gases responsáveis pelo efeito estufa. "Um dos sintomas desse efeito é a inesperada onda de calor que atinge a Europa", analisou.

Explicou ainda, que o Brasil possui potencial para dominar os três ramos do mercado de biomassa: produtos florestais; combustíveis líquidos (biodiesel, etanol e metanol); e energia elétrica (queima de resíduos e dejetos). "Entre as culturas beneficiadas estão as de alto teor de carboidratos (cana-de-açúcar, milho, mandioca), as oleaginosas (soja, girassol, colza, palmáceas) e as essências florestais (eucalipto, pinus)", enumerou.

Segundo o pesquisador, a soja é uma excelente opção pela extensa área que ocupa e pela alta quantidade de óleo obtido por hectare, sendo o girassol também produtor de alto teor de óleo. O desenvolvimento de alternativas energéticas limpas, a partir da utilização da biomassa, é a opção mais racional e viável. "O Brasil deve

25. http://www.embrapa.gov.br/noticias/banco_de_noticias/2003/agosto/bn.2004-11-25.6486759624/mostra_noticia. Acessado em 22 de agosto de 2006.

fornecer o exemplo e elaborar um plano estratégico para migrar sua matriz energética para fontes renováveis, no horizonte de 30 anos", defendeu Gazzoni.

A viabilidade dessa nova matriz energética ampliará a produção de óleo e demais derivados dessas oleaginosas, o que resulta em aumento de área cultivada. "Isso implica na geração de inúmeras oportunidades de emprego e renda, com foco também nas pequenas comunidades", avaliou.

2.4.5 Biodigestores: Produção de biogás a partir de resíduos de suínos e aves²⁶

O desenvolvimento de tecnologias para tratamento e utilização dos resíduos é o grande desafio para as regiões com alta concentração de produção pecuária, em especial suínos e aves. O Plano Nacional de Agroenergia lançado, dia 14 de outubro de 2005, possibilitou, entre várias ações, o aproveitamento do biogás como fonte de calor, através do desenvolvimento de modelo de biodigestores.

O biogás é um combustível gasoso com conteúdo energético elevado e semelhante ao gás natural, composto principalmente por hidrocarbonetos de cadeia curta e linear. Pode ser utilizado para geração de energia elétrica, térmica ou mecânica em uma propriedade rural, contribuindo para a redução dos custos de produção. No Brasil, os biodigestores rurais vêm sendo utilizados para saneamento rural, tendo como subprodutos o biogás e o biofertilizante.

O tratamento de dejetos por meio biodigestores tem inúmeras vantagens, como a destruição de organismos patogênicos e parasitas, a utilização do metano como fonte de energia, além da estabilização de grandes volumes de dejetos orgânicos diluídos a baixo custo.

Um setor no qual essa tecnologia tem tido boa repercussão é na atividade de suinocultura, que no Brasil tem apresentado um significativo crescimento, gerando uma concentração do lançamento dos resíduos em determinadas regiões, trazendo preocupação com relação à degradação ambiental e conseqüente prejuízo à qualidade de vida das pessoas. Somente em 2004, o plantel brasileiro era de 34 milhões de cabeças, sendo a maior concentração na região Sul.

Como forma de compatibilizar ação ambiental, redutiva de emissões de efluentes e de gases, com uma alternativa para viabilizar a implantação desta tecnologia no campo, empresas renomadas estão construindo biodigestores para o suinocultor em troca de créditos de carbono.

26. http://www.embrapa.br/noticias/banco_de_noticias/2005/folder.2005-08-15.0415022412/foldernoticia.2005-09-26.0930612798/noticia.2005-10-13.4317878575/mostra_noticia. Acessado em 22 de novembro de 2006.

Estima-se que mais de 70 biodigestores foram construídos recentemente nessas condições e mais 320 estão sendo implantados nos Estados de Minas Gerais, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Santa Catarina e Goiás. O Plano também prevê ações para aproveitamento de dejetos da avicultura e a produção de gás pela biodigestão da vinhaça (subproduto do vinho).

2.4.6 Energia Solar²⁷

Praticamente inesgotável, a energia solar pode ser usada para a produção de eletricidade através de painéis solares e células fotovoltaicas. No Brasil, a quantidade de sol abundante durante quase todo o ano estimula o uso deste recurso.

Existem duas formas de utilizar a energia solar: ativa e passiva. O método ativo se baseia em transformar os raios solares em outras formas de energia (térmica ou elétrica) enquanto o passivo é utilizado para o aquecimento de edifícios ou prédios, através de concepções e estratégias construtivas. Esta aplicação é mais comum na Europa, onde o frio demanda opções para a calefação.

Os painéis fotovoltaicos são uma das mais promissoras fontes de energia renovável. A principal vantagem é a quase total ausência de poluição. No entanto, a grande limitação dos dispositivos fotovoltaicos é seu baixo rendimento. Outro inconveniente são os custos de produção dos painéis, elevados devido a pouca disponibilidade de materiais semicondutores.

Figura 4 – Energia Solar



Fonte: BEN - 2005

27. BRASIL, Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. *Atlas de energia elétrica do Brasil*. Brasília: ANEEL, 2002.

2.4.7 Óleo de Andiroba pode substituir diesel²⁸

A comunidade de São Roque, localizada no município de Carauari, a cerca de 800 km a sudoeste de Manaus, no Amazonas, realiza uma experiência piloto, substituindo o diesel por óleo de andiroba, em um gerador de energia de 144 kVA, especialmente adaptado.

A andiroba é uma árvore relativamente abundante nas várzeas do rio Juruá, de cujas sementes tradicionalmente se extrai óleo para produção de sabão e sabonete caseiro. O uso em motores, no lugar do diesel, tornou-se possível graças a uma nova tecnologia de extração do óleo, 50% mais produtiva, e de processos de depuração, ainda em fase de testes. A adaptação do motor é simples, apenas no sistema de pré-aquecimento, e foi feita na Alemanha.

O motor foi doado pela organização não-governamental *Biomass Users Network*. Na ponta do lápis, o óleo de andiroba é mais caro do que o diesel, mas a alternativa pode ser uma solução para comunidades muito isoladas, que hoje dependem de longas viagens de barco para obter o diesel dos geradores de energia e motores de popa das canoas e voadeiras (como são chamados os barcos de alumínio). "O custo de produção do óleo de andiroba está entre R\$ 1,00 e R\$ 1,50 o litro, enquanto o diesel aqui é comprado a R\$ 0,85", diz o engenheiro eletricista José de Castro Côrrea, da Universidade do Amazonas, coordenador do projeto. "A diferença fica menor se tirarmos o subsídio do diesel e considerarmos que a queima do óleo de andiroba não produz óxidos de enxofre (causadores da chuva ácida) e não há emissão de carbono (porque o crescimento da árvore seqüestra o carbono emitido na queima do óleo)".

O projeto de pesquisa já tem 3 anos e vem atraindo a atenção dos órgãos financiadores de pesquisas, como o Conselho Nacional de Pesquisas Científicas e Tecnológicas, CNPq, e mesmo da Agência Nacional de Energia Elétrica, ANEEL. Este ano, a comunidade de São Roque aumentou a capacidade de produção de 60 para 450 kg de andiroba por hora, o que rende aproximadamente 150 litros de óleo por hora e equivale ao processamento de 60 toneladas de sementes por safra. Para os ribeirinhos de toda a várzea do Juruá, a venda das sementes de andiroba para uma futura usina de processamento de óleo é tida como uma das poucas saídas para a atual estagnação econômica da região.

Por fim e não esgotando o tema, este capítulo demonstrou que a partir da década de 50 era necessário para o país promover sua industrialização, exigindo, contudo, uma boa infra-estrutura pesada, em especial na área energética e de transportes. O resultado foi um aumento da demanda por energia.

Diante disso, a matriz energética brasileira estava utilizando basicamente a energia provida por lenha e carvão vegetal, o que perdurou até meados de 1975, a partir daí, alavancou-se a utilização de petróleo e seus derivados como principal fonte de energia do país, seguido pela hidráulica.

Já no plano político, nota-se que o Estado foi o principal norteador do desenvolvimento brasileiro durante o período estudado, particularmente com o Plano de Metas de Juscelino Kubitschek, sendo efetivamente o primeiro plano formal de governo e incentivador do setor energético brasileiro. Outro bom plano foi o II PND do governo de Ernesto Geisel, o qual mostrou significativos avanços na geração de energia, prospecção de petróleo e produção de álcool, bem como no incentivo de geração de novas alternativas de energia. Sabe-se porém que o planejamento para o desenvolvimento se manteve presente durante as décadas de 80, 90 e até o presente momento, embora não tivesse a ênfase dos planos desenvolvimentistas das décadas anteriores, principalmente pela falta de maiores investimentos no setor energético do país.

Quanto à busca por fontes alternativas de energia, têm se intensificado nos últimos anos, tendo o Brasil demonstrado a sua intenção de aprimorar o uso dessas energias renováveis e diversificar as fontes de geração de energia.

Assim, no próximo capítulo, será apresentado o instrumental teórico do estudo, através da Teoria Schumpeteriana e a Teoria Evolucionista quanto ao processo de inovação, mais especificamente os modelos de Dosi e de Nelson e Winter para assim compreendermos detalhadamente o processo de inovação da matriz energética brasileira.

3. A INOVAÇÃO NO QUADRO DOS COMBUSTÍVEIS ALTERNATIVOS

Este capítulo será composto por quatro itens. No primeiro será mostrada uma breve conceituação do que vem a ser o processo de inovação. O segundo apresentará a abordagem da Teoria Schumpeteriana para o processo de inovação. O terceiro trará a abordagem da Teoria Evolucionista através dos Modelos de Dosi e de Nelson e Winter. Por fim, no quarto item procura-se identificar qual teoria pode melhor explicar o processo de inovação no quadro dos combustíveis alternativos.

3.1 O QUE É O PROCESSO DE INOVAÇÃO?

As profundas mudanças ocorridas nas últimas décadas são associadas à significativa evolução e utilização das tecnologias de informação e comunicação; do profundo processo de segmentação dos mercados; e da mudança do referencial competitivo, antes calcado no capital, e agora, no conhecimento. Dessa forma, torna-se possível a apresentação de um modelo mais amplo, capaz de demonstrar as fases e interações nas diversas etapas do processo de inovação.

ROGERS (1995, p. 11) define a inovação como “uma idéia ou objeto, que é percebido como novo por um indivíduo”. O processo de desenvolvimento de inovação consiste em todas as decisões e atividades, e seus respectivos impactos, que acontecem no reconhecimento de uma necessidade ou de um problema por meio da pesquisa, desenvolvimento e comercialização de uma inovação, ou ainda por meio da difusão ou adoção da inovação por usuários.

Esse conceito tem validade por considerar as diversas etapas do processo de inovação, desde a identificação de necessidades até a difusão, como também as possibilidades de inovar, seja por meio do desenvolvimento de novos produtos ou serviços seja pela adoção de uma nova tecnologia, englobando todas as decisões e ações subjacentes ao processo. A questão da percepção, presente neste conceito, também remete a uma discussão acerca das características de identificação e filtragem de estímulos, próprias a cada indivíduo e que assumem configurações peculiares na composição de grupos.

Para **DOSI** (1988), o processo inovativo se caracteriza por ser descontínuo e irregular, podendo ser considerado como uma busca, uma descoberta, uma

experimentação, um desenvolvimento, uma imitação e uma adoção de novos produtos, bem como de processos e através de novas formas organizacionais.

Um sistema de inovação é definido como um conjunto de agentes e instituições (grandes e pequenas firmas, públicas e privadas; universidades e agências governamentais; etc.), articuladas com base em práticas sociais, vinculadas à atividade inovadora tendo forte influência do meio, sendo as firmas privadas o coração de todo o sistema. As inter-relações dos agentes e instituições determinam o poder e a eficiência da produção, assim como a difusão e o uso do novo conhecimento, útil economicamente, marca o estado de desenvolvimento tecnológico local.

Cabe aqui ressaltar a distinção de inovação e invenção. Inovar pressupõe a capacidade de gerar transformações, o que via de regra se manifesta no desenvolvimento ou inserção de um produto ou serviço novo, diferenciado, sendo que o agente inovador pode ser ou não o inventor. Já a invenção está relacionada à livre geração de idéias, que podem ou não ser implementadas, conforme sua viabilidade e interesse do inventor.

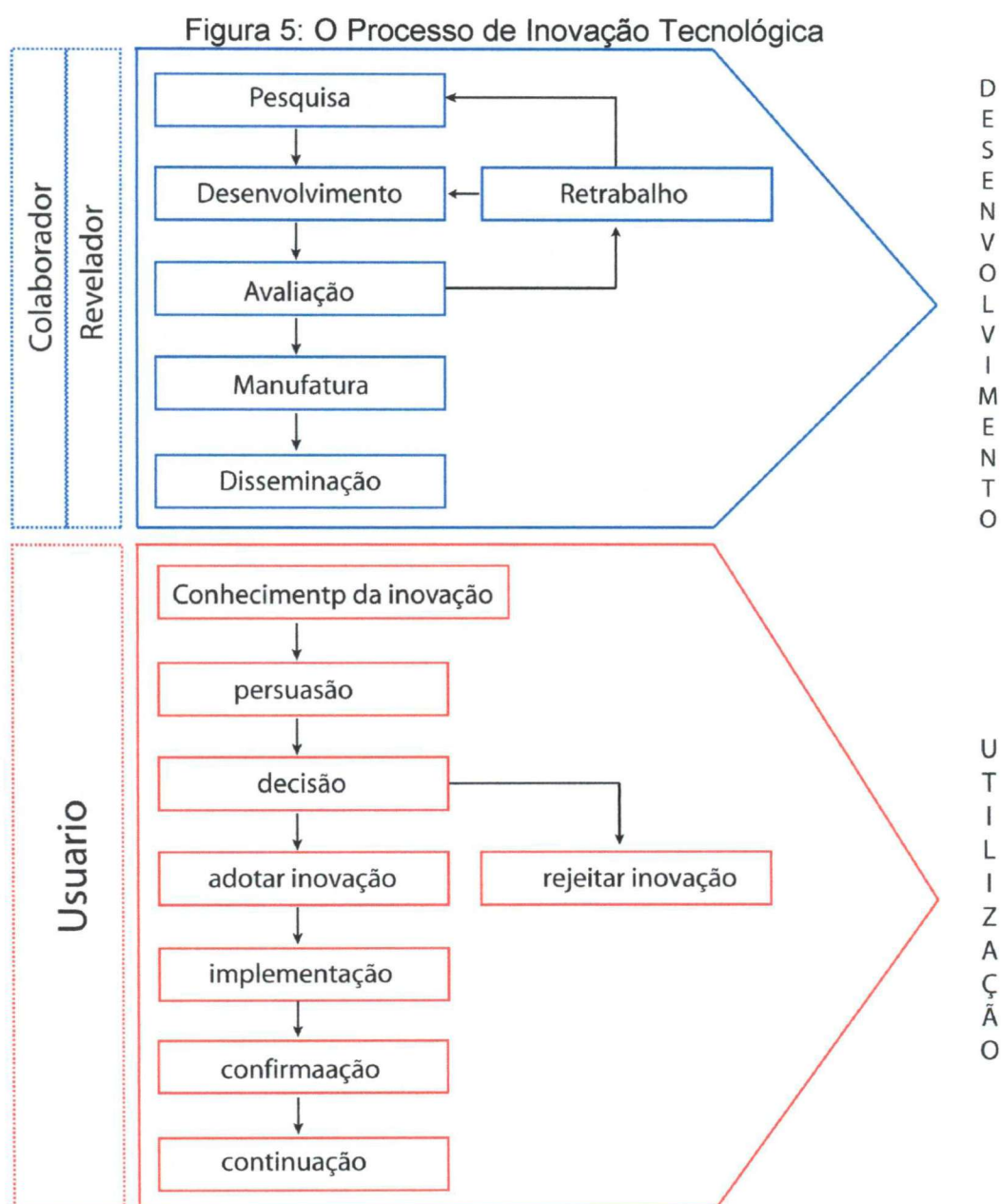
Uma outra análise apresenta modelos de inovação segundo duas perspectivas: fonte (origem) e usuário. Na visão da origem destacam a questão da produção da tecnologia, e o que a difere da existente no mercado; enquanto na visão do usuário, analisam a implicação social da inovação tanto no ambiente de uso final como no contexto de geração, destacando a integração e incorporação de uma nova ferramenta. Nessa ótica, os autores argumentam que a “inovação tecnológica envolve novos conhecimentos e a introdução de ferramentas derivadas do conhecimento, artefatos e equipamentos pelos quais as pessoas interagem com o ambiente”. (TORNATZKY e FLEISCHER, 1990)

Dessa análise, destaca-se a condição primeira à inovação: o conhecimento; e, de forma complementar, sua força motriz: a necessidade de buscar novas maneiras de interagir com o ambiente, tomado em qualquer contexto, com seus atores e complexidade.

Portanto, não basta olhar a inovação do ponto de referência das técnicas e métodos. É necessário extrapolar para suas origens e implicações, passando pelo seu campo de desenvolvimento, no contexto social em que se insere. O contingente de características individuais e processos comportamentais que surgem das

relações humanas, e na interação com um ambiente em particular, é que irá definir, em grande parte, os fatores motivadores ou restritivos à inovação, tornando-a um processo situacional.

A Figura 5 ilustra a estruturação das fases do processo de inovação tecnológica segundo a ótica do desenvolvimento (TORNATZKY e FLEISCHER, 1990) e utilização (ROGERS, 1995) da inovação tecnológica. Ela detalha a diferença existente entre as etapas do processo de inovação do ponto de vista do colaborador e do usuário, ou em outras palavras, do gerador de novas tecnologias para o seu adotante.



Fonte: Adaptado de Rogers (1995); Tornatsky e Fleischer (1990).

3.2 A TEORIA SCHUMPETERIANA E O PROCESSO DE INOVAÇÃO

Joseph Schumpeter possui três obras importantes, entre elas, *Teoria do Desenvolvimento Econômico*; *Capitalismo, Socialismo e Democracia*; e *Ciclos Econômicos*, que se baseia este trabalho.

O modelo teórico construído por Schumpeter do desenvolvimento econômico refuta o modelo Marshalliano baseado no “fluxo circular” ou de “equilíbrio estável”, onde caracteriza-se por uma contínua repetição de magnitudes econômicas.

Assim, a Teoria Schumpeteriana se insere neste tema pela busca da inovação que é atraída e motivada não simplesmente pela obtenção de lucro, mas também, a partir dos determinantes da mudança técnica que se encontram no mercado, e por consequência, a demanda inicia uma “sinalização” para a firma que deve haver a necessidade de uma mudança técnica.

Com isso, a visão de que o desenvolvimento econômico não é mecanicista ou direcionado, e sim um processo de mudanças qualitativas, espontâneas e descontínuas da estrutura produtiva já existente, traz a aceção de que é a própria evolução da técnica que induz o aparecimento de inovações, mediante a recombinação de materiais conceituais e físicos que já existiam previamente.

Desse modo, a inovação se torna a base, o elemento chave e força motriz da evolução do capitalismo, que busca explicar os ciclos econômicos atuais. São através das inovações que introduz-se novos bens ou técnicas de produção, surgem novos mercados, novas fontes de oferta de matérias-primas ou composições industriais. Assim, cabe a concorrência dinâmica o esforço das firmas em liderar o processo das inovações tecnológicas, enquanto que para outras o acompanhamento das empresas líderes se faz por meio da imitação.

A partir da explicação dada no item 3.1 o indivíduo inovador introduz novas combinações, insere inovações no sistema produtivo e diante desse fato, **SCHUMPETER** (1982) classifica como empreendimento a realização de combinações novas, e que se não forem levadas à prática não serão economicamente relevantes para a sociedade, e como empresários inovadores, os indivíduos terão a função de realizá-las.

Diante disso, o progresso técnico é um fenômeno que se encontra dentro da estrutura do sistema econômico capitalista, que visa o lucro e, é através de uma inovação que se transforma o processo econômico em um processo mais dinâmico.

Portanto, diferentemente do que se pensava, a concorrência não se dá mediante a preços, mas sim pelo processo de inovação e isto estimula e proporciona um novo dinamismo desta economia, ocasionado pela introdução de uma inovação e sua incorporação pelo mercado.

Tomando essas idéias apresentadas anteriormente, o crescimento econômico só é possível quando o ciclo contínuo da economia é interrompido, isso ocorre apenas com a introdução de inovações tecnológicas e estas não se restringem à invenções e patentes; admite outras formas como:

- a) introdução de um novo bem, através de uma nova qualidade, utilização, necessidade desse bem;
- b) introdução de um novo método de produção, consistindo simplesmente uma nova forma de manejar comercialmente a mercadoria;
- c) abertura de um novo mercado;
- d) conquista de uma nova fonte de matéria-prima mesmo que já sendo existente;
- e) estabelecimento de novas organizações de mercado, por exemplo com uma posição de monopólio.

Segundo SCHUMPETER (1982) os lucros auferidos pela inovação contribuem para acirrar a competição capitalista, atraindo para este mercado os "imitadores", que são agentes investidores de recursos nos locais que se foi criado e introduzido por um inovador. Diante deste novo panorama, as taxas de investimento, os níveis de emprego e o crescimento da economia se elevam. Posteriormente, com a chegada desses "imitadores", elevando sua oferta, a oportunidade de lucros para este mercado ou nicho se reduzem. Assim, a existência de assimetria nas inovações torna o processo de desenvolvimento econômico dinâmico, não estacionário e em constante transformação.

As firmas com maior probabilidade de inovar procuram manter-se na dianteira do progresso técnico, introduzindo inovações a fim de não se tornarem ameaçadas pelo processo de inovação. Isto acarreta certa concentração em alguns setores da economia, geralmente nos mais fortes, fazendo com que se tenha um processo de destruição criadora, a qual revoluciona a estrutura econômica a partir de dentro, criando elementos novos e destruindo o antigo, emergindo por sua própria iniciativa.

Segundo esta teoria, os ciclos da economia possuem quatro fases, entre elas: prosperidade, recessão, depressão e recuperação.

A prosperidade envolve o surgimento da inovação, com o crescente incentivo de investimentos e pela ávida busca por lucros.

Durante a fase de recessão há redução de investimentos pela maciça entrada de “imitadores”.

Após a recessão entra-se na fase de depressão (ou crise). É aqui que encerram-se os processos de difusão das inovações e averiguam-se um grande número de falências e deflação geral, ocasionados pelo desuso de produtos e/ou processos decorrentes da inovação – destruição criadora.

Este fenômeno é essencial ao capitalismo, pelo fato de possibilitar a ocorrência de movimentos que alterem o estado de atual de equilíbrio e os conduza ao início de um novo ciclo, o de recuperação, com a retomada de novos investimentos.

3.3 A TEORIA EVOLUCIONISTA E O PROCESSO DE INOVAÇÃO

A teoria evolucionista surge na década de 1980, como uma difusão da teoria neo-schumpeteriana – a qual se preocupava com a análise da empresa e com a estrutura de mercado – a partir das publicações de **NELSON** e **WINTER** (1982), na tentativa de prestar uma maior atenção na elaboração de uma estrutura teórica capaz de explicar a importância e a aceleração do processo de inovação tecnológica no sistema econômico, dando um ponto de vista mais dinâmico.

Assim, podemos identificar três abordagens teóricas que contribuíram para a teorização do modelo evolucionista na economia.

A primeira refere-se às teorias de Schumpeter e dos Neo-schumpeterianos, de onde foram retirados os conceitos para se entender o sistema econômico dinâmico, mostrando o papel das inovações tecnológicas nesse processo, tanto no nível macroeconômico como no nível da firma, ou seja, microeconômico.

A segunda trata o fato de que os economistas evolucionistas passam a se basear no sistema econômico das teorias biológicas da evolução (Darwinista), abandonando a visão mecanicista da mecânica clássica que excluía do sistema o conhecimento fundamental. Dessa mudança de ótica para a compreensão do sistema econômico surge um sistema que incorpora a aprendizagem, o

conhecimento e o papel das inovações no entendimento do funcionamento da economia.

A terceira menciona a influência da física e da química contemporânea, especialmente no que diz respeito à termodinâmica de não-equilíbrio, de onde foram extraídas as idéias dos sistemas abertos, onde os sistemas não se movem em direção a nenhum equilíbrio, mas a estados estacionários nos quais a invariância no tempo de pelo menos um grupo de variáveis caracteriza o sistema pode ser mantida na presença de trocas contínuas de matéria e energia com seu ambiente.

A teoria evolucionista apresenta uma multiplicidade de idéias, sendo que para os Schumpeterianos as idéias giravam em torno das inovações em produtos, processos e nas formas de organização da produção, onde as inovações não são necessariamente graduais, podendo causar instabilidade ao sistema econômico. Esta a teoria descarta qualquer princípio de racionalidade invariante dos agentes econômicos, onde, portanto, o conceito de maximização não é útil, pois envolve variáveis que não podem ser conhecidas pelo empreendedor. Diante disso, os evolucionistas adotam o conceito de racionalidade procedual, onde a racionalidade dos agentes não pode ser pré-definida, pois é o resultado do processo de aprendizagem ao longo das interações com o mercado e novas tecnologias, e por fim, a firma possui a propriedade da auto-organização como o resultado das flutuações do mercado, rejeitando, portanto o equilíbrio do mercado.

A partir disso podemos entender a idéia comum que liga toda a geração de estudiosos da análise evolucionista através da concepção do desenvolvimento tecnológico como um processo evolutivo, dinâmico, acumulativo e sistêmico, cuja compreensão depende do entendimento das relações de interação dialética entre o desenvolvimento das tecnologias e a dinâmica econômica. Sendo que a tecnologia vai se desenvolvendo gradualmente ao mesmo tempo em que se difunde, mais ainda, essa difusão tem lugar num contexto industrial, econômico e social específico com o qual mantém um *feedback* constante.

3.3.1 A NECESSIDADE DE INOVAR

O avanço científico e tecnológico da atualidade exige uma redefinição de papéis nas relações produtivas e comerciais, impondo uma nova realidade mercadológica de soma de esforços, com vistas à otimização de resultados. Torna-

se cada vez mais significativa a importância de investimentos sólidos em pesquisa e desenvolvimento, em sistemas de inteligência competitiva e capacitação profissional, orientados à criatividade e capacidade inovadora. As empresas estão se tornando lugares de cultura, criatividade e inovação, pela mudança do baricentro dos fluxos materiais para os fluxos de informação.

Neste contexto, as parcerias e cooperações são cada vez mais frequentes e necessárias, pois é desta sinergia de competências e recursos que se gera o dinamismo inerente aos processos de desenvolvimento e transferência de tecnologias. Com isso, a capacidade de trabalhar em equipe torna-se insumo essencial, e significa saber captar e entender a lógica e o papel de cada parceiro. Significa, ainda, extrair lições que, diminuindo os índices de desacerto e acidentes de percurso, levem à obtenção de melhores resultados.

Para que o desenvolvimento empresarial se dê de forma planejada, embora flexível, não basta a preocupação com questões internas. É necessário manter uma relação de vantagem frente à concorrência, o que se dá por meio de um sistema de inteligência competitiva, que sistematiza a busca de informações dentro e fora da empresa, as processa internamente e usa estrategicamente, gerando vantagem competitiva.

Nas empresas de base tecnológica, que têm mais dificuldades de nascer, sobreviver e crescer do que as empresas tradicionais, por desenvolverem produtos e processos que exigem conhecimentos específicos e atualização permanente, a informação torna-se fundamental para a consolidação do negócio e a diminuição das chances de fracasso em momentos de crise, sejam elas gerenciais ou de ordem tecnológica.

Em que pese à relevância dos aspectos tecnológicos, as questões organizacionais também devem ser ponderadas e adequadas a um contexto inovador, onde as estruturas e as relações se refazem continuamente, gerando um espaço de participação e criatividade.

3.3.2 O MODELO DE DOSI E O PROCESSO DE INOVAÇÃO

Pelos conceitos estabelecidos por NELSON e WINTER (1982), DOSI (1984) surgem os conceitos de paradigmas e trajetórias tecnológicas a fim de explicar a

relação entre as forças econômicas e o relativo momento autônomo que o progresso tecnológico mantém.

DOSI, PAVITT e SOETE (1990), então, apresentam seis fenômenos cruciais para o entendimento do processo de mudança técnica:

1. O processo inovativo tem leis próprias que não podem ser descritas como relações simples e flexíveis às mudanças nas condições do mercado. Pois é a própria natureza das tecnologias que determinam quais produtos e processos conseguem se ajustar às mudanças nas condições econômicas e às possíveis direções do progresso técnico.
2. O conhecimento científico tem um papel cada vez mais crucial na abertura de novas possibilidades de avanços tecnológicos.
3. A crescente complexidade das atividades de pesquisa e desenvolvimento favorece as organizações institucionais, tais como os laboratórios de P&D, os laboratórios governamentais, as universidades, etc, ao invés dos inovadores individuais, como o ambiente típico para a produção de inovações.
4. Uma quantidade significativa de melhoramentos e inovações acontecem através do *learning by doing*, e é geralmente intrínseco nas pessoas e organizações. O mesmo pode ser demonstrado para a P&D, que geralmente é incorporada e ligada às atividades produtivas das firmas.
5. As atividades de pesquisa e inovação mantêm uma natureza de alta incerteza, uma vez que o resultado (até mesmo o comercial) das atividades de pesquisa são difíceis de predizerem *ex-ante*.
6. A mudança técnica não ocorre aleatoriamente por duas razões: primeiro pelo motivo das inovações específicas variam em direção das mudanças técnicas definidas pelo "estado das artes" das tecnologias em uso; e segundo a probabilidade de avanços tecnológicos pelas firmas, organizações e até mesmo pelos países é uma função dos níveis tecnológicos já alcançados por eles. Ou seja, a mudança técnica é, também, em grande parte, uma atividade de acumulação de conhecimento.

DOSI (1984) propõe uma analogia entre o comportamento da tecnologia com o da ciência, utilizando o conceito de paradigma. De forma análoga ao paradigma

científico, definido por Kuhn, DOSI (1984, pág. 83) propõe a seguinte definição de paradigma tecnológico: "... nós definiremos um paradigma tecnológico como um modelo e um padrão de solução de problemas tecnológicos selecionados, baseados em princípios selecionados derivados das ciências naturais e em selecionadas tecnologias dos materiais." Em outras palavras, existe um padrão tecnológico que domina outros possíveis padrões. Este padrão envolve um conjunto de princípios técnicos e científicos que estrutura um específico e determinado campo de desenvolvimento tecnológico. O paradigma tecnológico seleciona os problemas e os programas de investigação tecnológica a serem efetivados e, ao mesmo, tempo, determina uma forma de selecionar e resolver os problemas. Ele também chama a atenção que o paradigma tecnológico, distintamente do científico, é composto por um conjunto de conhecimentos não tão bem articulados, por conhecimento tácito, por experiência e *skills*. Isto decorre da sua percepção de que a tecnologia além de conhecimentos teóricos envolve conhecimentos adquiridos pela prática, pela experiência etc.

No caso da noção formulada por DOSI (1984) importante é o reconhecimento de que um paradigma tecnológico é, mesmo que em graus variados, específico de cada tecnologia (de cada setor), isto é, é uma tecnologia de mudança técnica, definida pela base de informações resultantes do conhecimento formal (científico) ou tácito e da acumulação de capacitações pelos inovadores através de experiências anteriores que são obviamente idiossincráticos a cada tecnologia e a cada institucionalidade setorial.

Sendo assim, o paradigma define um padrão tecnológico a ser seguido pela empresa, por outro lado, relaciona-se com o ambiente econômico e social em dois sentidos: o ambiente atua de forma a selecionar o paradigma tecnológico em surgimento; e, uma vez estabelecido o paradigma, o ambiente seleciona as alternativas rentáveis, sancionando o seu desenvolvimento.

Um paradigma tecnológico pode ser definido, então, como o padrão de solução de problemas selecionados baseados em princípios altamente selecionados e derivados de conhecimento e experiência. Ele está em movimento interno e progride numa determinada direção. Esta evolução normal de um paradigma tecnológico é conceituada por DOSI como sendo a trajetória tecnológica.

DOSI (1984) buscou distinguir o processo de busca e seleção *ex-ante* e *ex-post*, baseando-se nas complexas interações entre fatores científicos, econômicos e institucionais. Dosi sugere que antes da seleção (*ex-post*) pelo mercado dos produtos (inovações) que ali chegam, há uma seleção dos mecanismos de geração de mutações. Nesse último caso, aceitando e indo além da analogia biológica de Nelson e Winter, o ambiente econômico e social afeta o progresso técnico de dois modos, primeiro selecionando a direção das mutações, isto é, selecionando o paradigma tecnológico, e então selecionando entre os mutantes, de um modo mais Darwinista, isto é, a seleção *ex-post* entre tentativas e erros de tipo schumpeteriano.

Um mesmo paradigma admite mais de uma alternativa tecnológica. Em conseqüência, existe um grau de incerteza da atividade tecnológica. Incerteza em relação ao sucesso técnico da atividade e, também, no sentido de que nem sempre a opção adotada é a mais promissora no longo prazo. Tudo isto sob o ponto de vista técnico. O ambiente econômico e social funciona como mecanismo de seleção da alternativa mais rentável, que acaba por se constituir na trajetória tecnológica de um paradigma. Desta forma o paradigma tecnológico delimita as possibilidades de mudança técnica para a empresa e age como um direcionador do progresso técnico, definido *ex-ante* as oportunidades a serem perseguidas e aquelas a serem abandonadas.

É dotado, portanto, de um “poderoso efeito exclusão” ao permitir a redução do número de possibilidades de desenvolvimento tecnológico. Isto porque o processo seletivo de uma tecnologia acontece dentro de um ambiente maior, no interior de um paradigma onde vários conjuntos de mutações possíveis se comportam dinamicamente, de onde as novas oportunidades de produção são frutos de um progressivo processo de aprendizado a partir da interação de rotinas estabelecidas com experiências adquiridas.

Assim, as firmas produzem por meios que são diferenciados tecnicamente das outras firmas e fazem inovações largamente baseadas na tecnologia interna, mas com algumas contribuições de outras firmas e do conhecimento público. Dada sua natureza altamente diferenciada, ao invés, as firmas irão procurar melhorar e diversificar suas tecnologias atrás de pesquisas em áreas que possibilitem usar e construir sobre suas bases tecnológicas previamente existentes. O que a firma

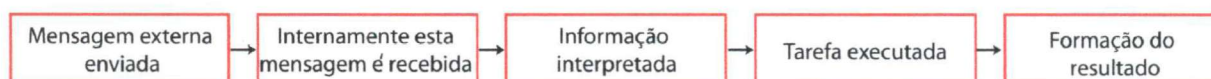
espera ser capaz de fazer tecnologicamente no futuro é, dessa forma, muito restringido pelo que ela foi capaz de fazer no passado.

3.3.3 O MODELO DE NELSON E WINTER E O PROCESSO DE INOVAÇÃO

Em *An Evolutionary Theory of Economic Change*, NELSON e WINTER (1982) procuraram, basicamente, desenvolver uma teoria dinâmica da empresa, através da questão do progresso técnico como uma das principais fontes de crescimento e mudança estrutural na economia.

Para eles "... a rotinização da atividade numa organização constitui a forma mais importante de armazenamento do conhecimento operacional específico de uma organização." As rotinas de uma organização são semelhantes aos *skills*²⁹ de um indivíduo, isto é, definem a seqüência de um comportamento coordenado que é efetivado para o alcance de determinados objetivos. Em outros termos, implica numa prática de comportamento que respeita determinados mecanismos estabelecidos pela empresa ao longo de sua evolução, mediante um padrão repetitivo de atividade numa organização inteira.

Desse modo, há um fluxo circular internamente equilibrado de informação nas organizações em operações rotineiras, tratando-se de um fluxo que é continuamente coagido por fontes externas de mensagens e por equipamentos de controle de tempo. Cabe então às operações rotineiras servir de base para a memória da organização. Podemos entender melhor este processo de uma organização a partir do esquema abaixo:



O elemento central do desempenho produtivo de uma organização é a coordenação. Por sua vez, o elemento central da coordenação está no fato de os membros individuais interpretarem e responderem corretamente às mensagens. Assim sendo, uma descrição apresentada de forma detalhada, acrescido da habilidade, da organização e da tecnologia empregada, resultarão numa rotina funcional.

A abrangência das rotinas da empresa é abundante, afetando tanto atividades operacionais de curto prazo e longo prazo da empresa, tais como o investimento e a aplicação de recursos em pesquisa e desenvolvimento (P&D). A própria atividade

29. O conceito *skill*, assim como o de rotina, envolve três aspectos: é programado; envolve conhecimento tácito; e envolve escolhas, embora não se perceba que as escolhas sejam efetuadas, portanto, tem um caráter automático de comportamento.

tecnológica é rotinizada; existem procedimentos estabelecidos para a busca de inovações. Como a atividade inovativa envolve elevado grau de incerteza, o comportamento empresarial tende a ser mais conservador e defensivo. Isto não significa que não haja mudanças na empresa, sobretudo na sua estrutura tecnológica, mas sim que este processo de mudança é rotinizado e limita as opções técnicas para as próprias empresas. A incorporação de uma inovação implica numa mudança de rotinas. Quanto ao sucesso da inovação, este depende da qualidade de suporte das rotinas existentes.

Conforme NELSON e WINTER (1982), espera-se que as firmas se comportem no futuro de acordo com as rotinas que empregaram no passado. Isto não implica uma identidade literal de comportamento ao longo do tempo, uma vez que as rotinas podem ser acionadas de formas complexas pelos sinais do ambiente. Mas implica que é bastante inadequado conceber o comportamento da firma em termos de uma escolha deliberada a partir de um amplo cardápio de alternativas que algum observador externo considera serem oportunidades "disponíveis" para a organização. O cardápio não é amplo, mas estreito e idiossincrático; ele é construído sobre as rotinas da firma, e a maior parcela das "escolhas" também é executada automaticamente por aquelas rotinas. Isso não significa que as firmas individuais não possam ter grandes sucessos por um período curto ou longo: o sucesso e o fracasso dependem do estado do ambiente.

Considerando o campo limitado de alternativas para as empresas definirem a incorporação de progresso técnico, as rotinas determinam os procedimentos que devem ser seguidos no seu processo de busca de inovações. Esse processo é condicionado tanto por fatores de ordem econômica quanto por determinações de ordem técnica. Os fatores econômicos podem ser resumidos em possibilidades de lucros extras ou então em defesa de benefícios ou posições já conquistadas pela empresa. Os fatores técnicos são determinações de um paradigma tecnológico, constituindo no que NELSON e WINTER (1982) consideram como sendo a trajetória natural e DOSI (1984) como trajetória tecnológica (já apresentado no item anterior). A mudança de um paradigma abre maiores oportunidades tecnológicas, o que tem por consequência alterar o processo de busca de inovação por parte da empresa. Contudo, nem todas as empresas têm capacitação suficiente para participar deste

processo porque isto depende da sua trajetória tecnológica passada e do caráter cumulativo do progresso técnico.

A cumulatividade é um aspecto importante do processo de busca de inovação da empresa porque implica num determinado nível de capacitação tecnológica, que permite, ou não, à empresa se propor alcançar tecnologias específicas. A cumulatividade tem diversas dimensões. Num sentido, ela se expressa através de melhoramentos técnicos incrementais, que viabilizam uma característica trajetória natural. Numa outra dimensão, o conjunto de conhecimentos científicos, técnicos e empíricos que constitui uma determinada tecnologia estabelece um padrão tecnológico que capacita a empresa na busca de outro padrão superior. Em outros termos, a P&D que a empresa tem condições de realizar num momento depende da P&D por ela realizada no passado. Além disso, no processo de busca de inovação, o resultado da atividade tecnológica não é apenas o desenvolvimento de um novo produto ou novo processo, mas também uma série de conhecimentos que se encontram na "vizinhança" da inovação (este é o termo utilizado por NELSON e WINTER).

O processo de busca de inovação por parte da empresa se estrutura em metas e objetivos a serem alcançados, conformando o que se considera como a estratégia da empresa. Esta estratégia tecnológica envolve um conjunto de elementos tais como: definição do horizonte de tempo das suas ações, podendo privilegiar o curto ou o longo prazo; direção da mudança técnica em termos de promoção de grandes inovações ou de incorporação de progresso técnico incremental; desenvolvimento de atividades tecnológicas no interior da empresa e/ou realização de licenciamentos de tecnologia; formação de alianças estratégicas com outras empresas; volume de recursos destinados às atividades tecnológicas, trocas de conhecimentos, entre outros.

De forma análoga, a cumulatividade também condiciona o ritmo da difusão. Quanto maior o grau de cumulatividade de uma trajetória tecnológica, menor é a possibilidade de difusão, pois se requer uma série de conhecimentos passados que não são facilmente transferíveis entre empresas. Disto pode ser deduzido que cumulatividade e apropriabilidade são características interligadas do progresso técnico; a cumulatividade atua, inclusive, como forma de aumentar o grau de apropriabilidade privada da mudança técnica.

Desta maneira, estas duas características contribuem para a explicação da diferenciação técnica entre empresas de um mesmo setor. Assim, a teoria Neoschumpeteriana afasta-se de dois pressupostos da teoria tradicional, quais sejam, a informação perfeita e a tecnologia igual para todas as empresas de um mesmo mercado. NELSON e WINTER (1982), descrevendo o processo de busca e seleção de inovações, concluem que a diferenciação entre empresas é a situação normal da economia capitalista, as estratégias bem sucedidas são estocásticas, gerando empresas que são bem sucedidas, as vencedoras, e outras que fracassam, as perdedoras. HAGEDOORN (1989) apresenta esta conclusão da teoria evolucionista de NELSON e WINTER:

A concorrência não é um fenômeno estático mas um processo no qual são gerados vencedores e perdedores. Vencedoras são aquelas empresas que fazem melhor uso das oportunidades tecnológicas, o que as habilita a crescer. Perdedoras são aquelas que tiram menores vantagens das oportunidades tecnológicas, depois do que gradualmente declinam para um estágio de obsolescência tecnológica. As perdedoras não necessariamente desaparecem do mercado, algumas delas podem subsistir por longos períodos de tempo. (HAGEDOORN, 1989, pág. 71).

As vencedoras podem usufruir de margens de rentabilidade acima da média auferida pelo seu setor de atividade, o que permite o crescimento dessas empresas, caminhando em busca da apropriação de economias de escala, e a aumentar sua participação no mercado. Todo este processo de mudança técnica condiciona a estrutura de mercado, assim como a estrutura de mercado influi no processo de busca e seleção das inovações.

Portanto, a estrutura de mercado deve ser considerada uma variável endógena num modelo interpretativo do desenvolvimento econômico. NELSON e WINTER (1982) destacam alguns fatores como determinantes da estrutura de mercado, decorrentes da sua teoria: facilidade de imitação, embora cara e imperfeita no nível individual, constitui um mecanismo poderoso pelo qual novas rotinas chegam a organizar uma fração maior da atividade total do sistema; o grau em que as grandes empresas restringem o investimento; o caráter do regime da mudança tecnológica, entre outros.

3.4 ENTRE SCHUMPETERIANOS E EVOLUCIONISTAS: QUAL TEORIA PARA COMPREENDER O PROCESSO DE INOVAÇÃO NO QUADRO DOS COMBUSTÍVEIS ALTERNATIVOS?

Após a apresentação das teorias que envolvem o processo de inovação, podemos analisar qual se enquadra melhor mediante o quadro dos combustíveis alternativos. O capítulo apresentou uma associação teórica do processo de inovação, a qual possibilita uma melhor análise histórica da matriz energética. Desse modo, com a evolução e utilização das tecnologias focadas, principalmente, no conhecimento, possibilitam o reconhecimento de uma necessidade, como também de uma nova oportunidade, para que então se desenvolvam e posteriormente, novas fontes alternativas de energia sejam utilizadas.

A teoria schumpeteriana aponta a tecnologia como um fator explicativo da dinâmica do sistema econômico, sendo que ela é tratada como uma variável endógena ao modelo. A tecnologia é tida como um conjunto de informações genericamente aplicáveis e facilmente reproduzíveis e utilizáveis, onde empresas deverão apenas escolher para a sua operação, seja a curto ou longo prazo, entre um dado estoque de tecnologias já existentes e plenamente acessíveis a qualquer empresa. Nesse sentido o conhecimento é apresentado como um conjunto de informações constantemente disponíveis. Ou seja, as novas combinações de fatores de produção, oriundas ou não de inovações recentes ou passadas, desencadeiam o desenvolvimento econômico, ao passo que, as inovações são apenas descobertas científicas que nem sempre influenciam na economia.

Diante desse fato, a dinâmica competitiva do mercado deixa evidências claras que esses pressupostos não se aproximam da realidade, pois a tecnologia, o conhecimento e as informações são utilizados como parte da matéria-prima empregada para a produção e a difusão desses fatores, e não ocorre de maneira natural. Sendo assim, a teoria schumpeteriana, não se mostra um instrumento adequado para tratar questões como à inovação no quadro de combustíveis alternativos.

Assim, a base estrutural e teórica dar-se-á segundo a teoria evolucionista pelo fato do modelo basear-se numa estrutura de mercado considerada como uma variável endógena ao sistema de desenvolvimento, pela existência da seleção de inovações, ocorrência de assimetrias de informação, e a presença da cumulatividade

quanto ao aspecto importante no processo de busca de inovação. Isto implica num determinado nível de capacitação tecnológica, o que permite, ou não, à empresa se propor a alcançar tecnologias específicas pelo fato da sua percepção de que além de conhecimentos teóricos envolve conhecimentos adquiridos pela prática e pela experiência adquirida, esta última através da aprendizagem e da rotina.

4. UMA ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE ENERGIA EÓLICA E AS CÉLULAS DE HIDROGÊNIO: UM ESTUDO DE CASO

Inicialmente, precisamos considerar o aspecto que desempenha a teoria com relação à prática. A teoria têm assumido, no meio acadêmico, o status de verdadeira ciência e, como tal, tem superioridade com relação a toda e qualquer prática. Acredita-se, aliás, que a teoria tem determinado as mudanças da prática, como também na rotina, sendo vista, então, como uma aplicação da teoria. Paralelamente, existe uma outra maneira de considerar tal relação: a prática como inspiradora da teoria, "*como criadora em relação a uma forma futura de teoria*"³⁰. Em qualquer caso, as relações entre teoria e prática são vistas como um processo de totalização, desconsiderando por completo o caráter fragmentário e parcial dessas relações. Para o caso das fontes alternativas de energia, tanto teoria como prática devem estar intrinsecamente ligadas, para que se obtenha a melhor escolha e sinergia.

Dessa forma, este capítulo tem por objetivo analisar como ocorre a transferência de conhecimento entre teoria e prática – neste caso, entende-se por prática sua utilização comercial. Principalmente, no que tange ao incentivo do uso de fontes alternativas e renováveis de energia, ou seja, compreender o processo de inovação como ponto de partida para o desenvolvimento de combustíveis alternativos na matriz energética brasileira: uma análise comparativa entre energia eólica e as células de combustível a hidrogênio.

Assim, a inovação faz com que se apareça a difusão de novas tecnologias, que surgida da teoria, e, posteriormente colocada em prática, se estimula o incremento de novos meios e métodos.

Para tanto, na seção 4.1, demonstrar-se-á o conjunto de mudanças históricas que ocorreram para favorecer o progresso da energia eólica. Este estudo estará estruturado consoante uma abordagem científica, tecnológica e industrial.

A seção 4.2 estará estruturada igualmente a seção 4.1, contudo, analisaremos o caso das células de combustível a hidrogênio.

Na seção 4.3, procura-se apresentar uma análise comparativa entre energia eólica e as células de combustível a hidrogênio, levando-se em conta seus impactos, sua aplicação comercial e seu rendimento.

30. Esta passagem é uma afirmação de Gilles Deleuze, a qual referia-se à citação de Paul-Michel Foucault. Em *Os intelectuais e o poder*. Disponível em: <http://www.midiaindependente.org/pt/blue/2005/06321119.shtml>. Acessado em 15 de outubro de 2006.

4.1 HISTÓRICO E ANÁLISE DA ENERGIA EÓLICA

A energia eólica provém da radiação solar uma vez que os ventos são gerados pelo aquecimento não uniforme da superfície terrestre. Assim denomina-se energia eólica a energia cinética contida nas massas de ar em movimento (vento). Todos os planetas envoltos por gases em nosso sistema solar demonstram a existência de distintas formas de circulação atmosférica e apresentam ventos em suas superfícies. Trata-se de um mecanismo solar-planetário permanente; sua duração é mensurável na escala de bilhões de anos. Esta energia dos ventos é abundante, sendo fonte de energia renovável, limpa e disponível em muitos lugares.

4.1.1 Origem, técnica e indústria em escala

Os primeiros aproveitamentos da força dos ventos pelo homem têm data bastante imprecisa, mas, certamente, ocorreram há milhares de anos, no Oriente. Eram provavelmente máquinas que utilizavam a força aerodinâmica de arrasto, sobre placas ou velas, para produzir trabalho.

Estima-se que a partir da Idade Média o homem passou a utilizar em maior escala as forças aerodinâmicas de sustentação, permitindo as grandes navegações e também maior eficiência às máquinas eólicas. Possivelmente, máquinas eólicas movidas por forças de sustentação foram introduzidas na Europa pelas Cruzadas, por volta do século XI. O certo é que no século XIV, na Holanda, essas máquinas já apresentavam grande evolução técnica e de capacidade em potência e ampla aplicação como fonte de energia, principalmente em moagem de grãos, serrarias e bombeamento d'água.

À época da descoberta do Brasil, em 1500, havia muitos milhares de moinhos de vento em toda a Europa, da Península Ibérica aos países nórdicos. Durante os séculos seguintes, as máquinas eólicas tiveram grandemente expandida à sua aplicação na Europa: em fabricação de papel para atender à demanda após a invenção da imprensa, em produção de óleos vegetais e até em grandes projetos de drenagem. Com a expansão do uso de máquinas a vapor, no século XIX, os moinhos de vento europeus entraram gradualmente em desuso.

Outro surto de aplicação em larga escala de máquinas eólicas deu-se nos Estados Unidos, no século XIX. Após a abolição da escravatura naquele país, em 1863, inicia-se a disseminação da utilização do catavento multi-pá para

bombeamento d'água. Cataventos multi-pás chegaram a ser produzidos industrialmente em escalas de centenas de milhares de unidades/ano, por diversos fabricantes, o que possibilitou preços acessíveis a grande parte da população. Ao mesmo tempo em que constituiu um importante fator da economia, muitos historiadores atribuem parcela do sucesso e da rapidez da expansão colonizadora do Oeste à disponibilidade de cataventos multi-pás de baixo custo – que facilitaram o acesso à água e a fixação de apoios em grandes áreas áridas ou semi-áridas.

Estima-se que mais de 6 milhões de cataventos multi-pás já foram produzidos no mundo³¹. O uso do catavento multi-pás estadunidense expandiu-se pelos diversos continentes, inclusive no Brasil. Na década de 1880 encontrava-se quase uma dezena de fabricantes, em todo o país. Para a geração de energia elétrica, também nos Estados Unidos, a partir da década de 1930, iniciou-se uma ampla utilização de pequenos aerogeradores para carregamento de baterias, o que favoreceu o acesso à energia elétrica aos habitantes do meio rural. Entre 1930 e 1960, dezenas de milhares desses aerogeradores foram produzidos e instalados nos Estados Unidos, bem como exportados para diversos países.

A produção dessas máquinas foi desativada gradualmente nas décadas de 1950 e 1960, à medida que as redes de eletrificação passaram a dominar o atendimento rural. A geração de eletricidade em grande escala, para alimentar de forma suplementar o sistema elétrico com o uso de turbinas eólicas de grande porte, é tecnologia que existe há diversas décadas. Desde a fase experimental, ressaltam-se os primeiros aproveitamentos eólico-elétricos realizados durante as décadas de 1940 e 1950 nos Estados Unidos (*Smith-Putnam*) e Dinamarca (*Gedser*). Pode-se dizer que o precursor das atuais turbinas eólicas surgiu na Alemanha (*Hütter, 1955*), já com pás fabricadas em materiais compostos, controle de passo e torre tubular esbelta.

Na década de 1970 e até meados da década de 1980, após a primeira grande crise de preços do petróleo, diversos países – inclusive o Brasil – dispenderam esforços em pesquisa sobre utilização da energia eólica para a geração elétrica.

Data dessa época a turbina DEBRA 100kW, desenvolvida em conjunto entre

31. REHFELDT, K. e CHRISTIAN, S. - Windenergienutzung in der Bundesrepublik Deutschland - Stand 31.12.2000. *DEWI MAGAZIN*, Wilhelmshaven, n.18, Feb. 2001. THE WINDICATOR: Operating Wind Power Capacity. *Windpower Monthly*, v.17, n.4, Apr. 2001.

os institutos de pesquisa aeroespacial do Brasil e da Alemanha (DEBRA = DEutsche BRAsileira).

Com os avanços da aerodinâmica e surgimento da eletrônica, permitiu o aparecimento de aerogeradores mais eficientes, disso surge a primeira turbina eólica comercial ligada à rede elétrica pública que foi instalada em 1976, na Dinamarca. Entretanto, foi a partir de experiências de estímulo ao mercado, realizadas na Califórnia (década de 1980), Dinamarca e Alemanha (década de 1990), que o aproveitamento eólico-elétrico atingiu escala de contribuição mais significativa ao sistema elétrico, em termos de geração e economicidade.

Atualmente, existem mais de 30 mil turbinas eólicas em operação no mundo. Em 1991, a Associação Européia de Energia Eólica estabeleceu como metas a instalação de 4.000 MW de energia eólica na Europa até o ano 2000 e 11.500 MW até o ano 2005. Essas e outras metas estão sendo cumpridas muito antes do esperado (4.000 MW em 1996, 11.500 MW em 2001). As metas atuais são de 40.000 MW na Europa até 2010. Nos Estados Unidos, o parque eólico existente é da ordem de 2.500 MW e prevê-se uma instalação anual em torno de 1.500 MW para os próximos anos.³²

O desenvolvimento tecnológico passou a ser conduzido pelas nascentes indústrias do setor, em regime de competição, alimentadas por mecanismos institucionais de incentivo – especialmente via remuneração pela energia produzida. Características também marcantes desse processo foram:

- a) devido à modularidade, o investimento em geração elétrica passou a ser acessível a uma nova e ampla gama de investidores;
- b) devido à produção em escalas industriais crescentes, o aumento de capacidade unitária das turbinas e novas técnicas construtivas, com recentes desenvolvimentos tecnológicos (sistemas avançados de transmissão, melhor aerodinâmica, estratégias de controle e operação das turbinas, etc.), possibilitaram-se reduções graduais e significativas no custo de geração e no melhoramento do desempenho e da confiabilidade dos equipamentos.

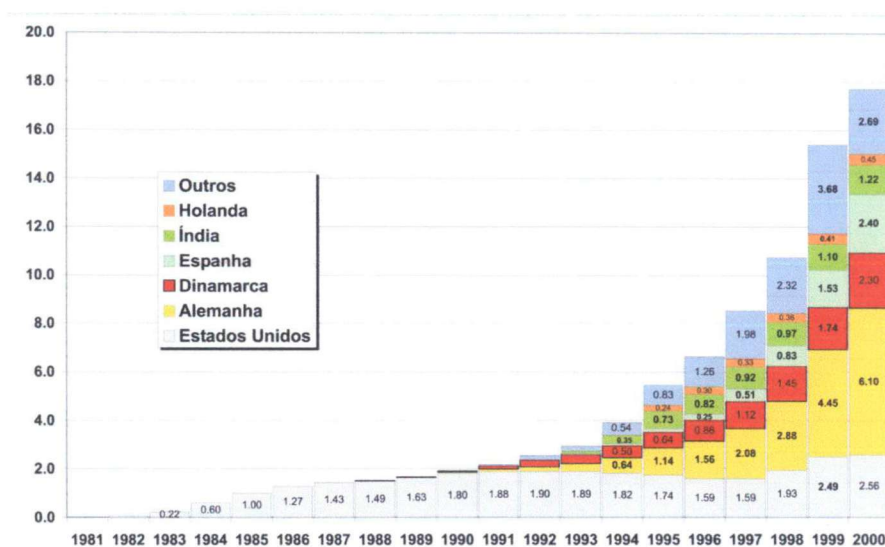
Estima-se que o custo dos equipamentos, que era um dos principais entraves ao aproveitamento comercial da energia eólica, caiu muito entre os anos 1980 e 1990. Estimativas conservadoras indicam que o custo de uma turbina eólica

32. THE WINDICATOR: Operating Wind Power Capacity. *Windpower Monthly*, v.17, n.4, Apr. 2001.

moderna está em torno de US\$ 1.000,00 por kW instalado. Os custos de operação e manutenção variam de US\$ 0,006 a US\$ 0,01 por kWh de energia gerada, nos dez primeiros anos, e de US\$ 0,015 a US\$ 0,02 por kWh, após dez anos de operação.³³

Após estudos ambientais requeridos pelas fontes tradicionais de geração elétrica, bastando, em muitos casos, aos poderes concedentes a delimitação das áreas autorizadas para sua instalação e aliado às escalas industriais de produção de turbinas, tornaram a geração eólico-elétrica uma das tecnologias de maior crescimento na expansão da capacidade geradora.

Gráfico 8 – Evolução da capacidade eólico-elétrica instalada no mundo



Evolução mundial da capacidade eólico-elétrica instalada até 2001.

Fonte: Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, 2001.

4.1.2 Potencial Eólico³⁴

Para que a energia eólica seja considerada tecnicamente aproveitável, é necessário que sua densidade seja maior ou igual a 500 W/m^2 , a uma altura de 50 metros; o que requer uma velocidade mínima do vento de 7 a 8 m/s. Segundo a Organização Mundial de Meteorologia, em apenas 13% da superfície terrestre o vento apresenta velocidade média igual ou superior a 7 m/s, a uma altura de 50 m. Do total mundial, o potencial eólico chega a 32% na Europa Ocidental, 23% na América do Norte e 10% na América Latina, como indicado na Tabela 3.

33. BTM. In: MADSEN, B. (editor). International Wind Energy Development World Market Update 1999. Dinamarca: BTM Consult, 2000.

34. BRASIL, Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. Atlas de energia elétrica do Brasil. Brasília: ANEEL, 2002.

TABELA 3: Distribuição da área, por continente, segundo a velocidade média do vento

Região/Continente	Velocidade do Vento (m/s) a 50 m de Altura					
	6,4 a 7,0		7,0 a 7,5		7,5 a 11,9	
	(10 ³ km ²)	(%)	(10 ³ km ²)	(%)	(10 ³ km ²)	(%)
África	3.750	12	3.350	11	200	1
Austrália	850	8	400	4	550	5
América do Norte	2.550	12	1.750	8	3.350	15
América Latina	1.400	8	850	5	950	5
Europa Ocidental	345	8,6	416	10	371	22
Europa Oriental & ex-URSS	3.377	15	2.260	10	1.146	5
Ásia (excluindo ex-URSS)	1.550	6	450	2	200	5
Total do Globo	13.650	10	9.550	7	8.350	6

Fonte: Organização Mundial de Meteorologia, segundo Grubb and Meyer, 1993.

Mesmo assim, estima-se que o potencial eólico bruto mundial seja da ordem de 500.000 TWh por ano, o que significa mais de 30 vezes o consumo atual de eletricidade no mundo. Devido, porém, a restrições sócio ambientais, apenas 53.000 TWh (cerca de 10%) são considerados tecnicamente aproveitáveis, conforme tabela 4. Ainda assim, esse potencial líquido corresponde a cerca de quatro vezes o consumo mundial de eletricidade.

TABELA 4: Estimativas do potencial eólico mundial

Região	Porcentagem de Terra Ocupada ¹⁾	Potencial Bruto (TWh/ano)	Densidade Demográfica (hab/km ²)	Potencial Líquido (TWh/ano)
África	24	106.000	20	10.600
Austrália	17	30.000	2	3.000
América do Norte	35	139.000	15	14.000
América Latina	18	54.000	15	5.400
Europa Ocidental	42	31.400	102	4.800
Europa Oriental & ex-URSS	29	106.000	13	10.600
Ásia (excluindo ex-URSS)	9	32.000	100	4.900
Total do Globo[2]	23	498.400	-	53.000

Fonte: Grubb and Meyer, 1993; 1) Em relação ao potencial bruto; 2) Excluindo-se Groenlândia, Antártida, a maioria das ilhas e os recursos offshore

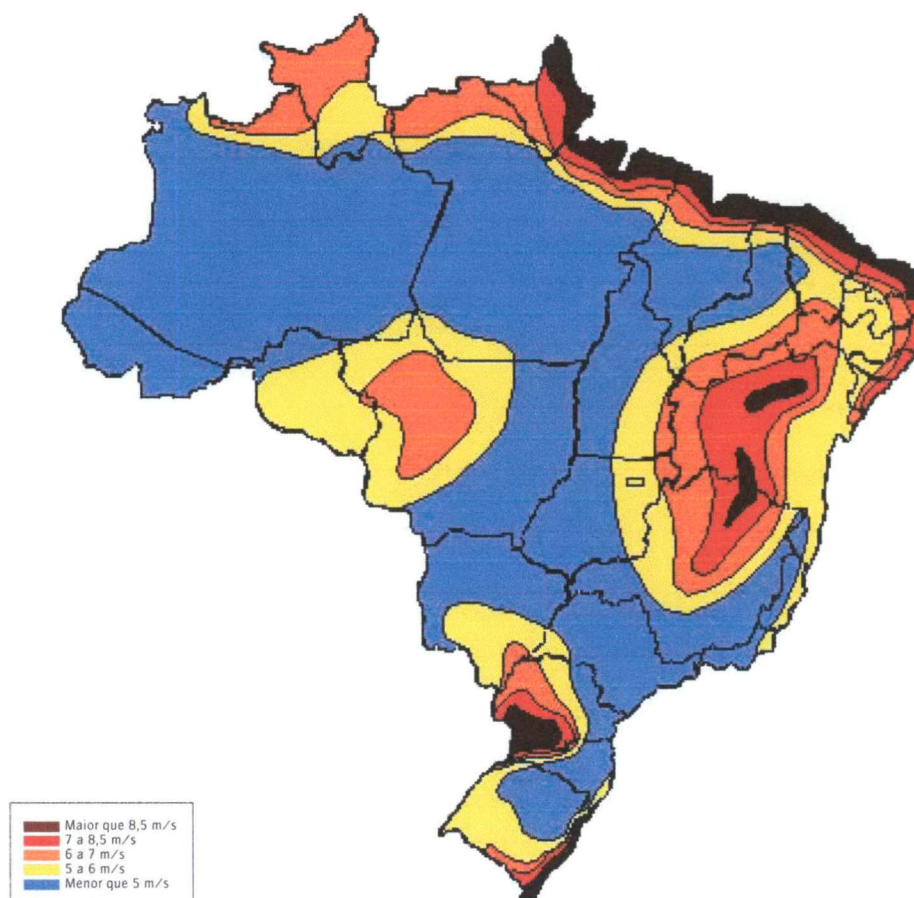
No Brasil, os primeiros anemógrafos computadorizados e sensores especiais para energia eólica foram instalados no Ceará e em Fernando de Noronha (PE), no início dos anos 1990. Os resultados dessas medições possibilitaram a determinação do potencial eólico local e a instalação das primeiras turbinas eólicas do Brasil.

Até poucos anos, as estimativas eram da ordem de 20.000 MW. Hoje a maioria dos estudos indica valores maiores que 60.000 MW. A razão dessas divergências decorre principalmente da falta de informações (dados de superfície) e às diferentes metodologias empregadas.

De qualquer forma, os diversos levantamentos e estudos realizados e em andamento (locais, regionais e nacionais) têm dado suporte e motivado a exploração

comercial da energia eólica no país. Os primeiros estudos foram feitos na Região Nordeste, principalmente no Ceará e em Pernambuco. Com o apoio da ANEEL e do Ministério de Ciência e Tecnologia – MCT, o Centro Brasileiro de Energia Eólica – CBEE, da Universidade Federal de Pernambuco = UFPE. Com o auxílio de modelos atmosféricos e simulações computacionais, foram feitas estimativas para todo o país.

Figura 6 – Potencial Eólico Brasileiro (velocidade dos ventos)

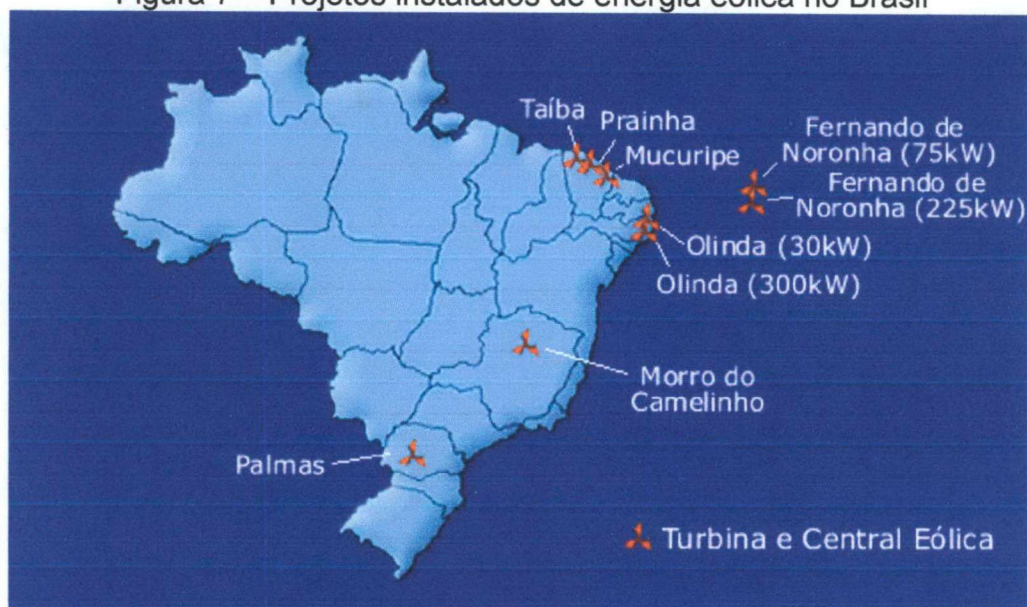


e. CBEE, 1999 (adaptado).

Os melhores potenciais estão no litoral das regiões Norte e Nordeste, onde a velocidade média do vento, a 50 m do solo, é superior a 8 m/s. Entre outras regiões com grande potencial eólico, destacam-se o Vale São Francisco, o Sudoeste do Paraná e o Litoral Sul do Rio Grande do Sul (Figura 6). Segundo dados Centro de Referência para Energia Solar e Eólica – CRESESB/CEPEL, o potencial eólico brasileiro é da ordem de 140.000 MW.

Os principais projetos de energia eólica do Brasil são mostrados na Figura 7.

Figura 7 – Projetos instalados de energia eólica no Brasil



Fonte: Adaptado de CBEE – Centro Brasileiro de Energia Eólica.

A participação da energia eólica na geração de energia elétrica ainda é praticamente desprezível no Brasil. Como apresentado na Tabela 5 a seguir, em janeiro de 2002 havia apenas seis centrais eólicas em operação no país, perfazendo uma capacidade instalada de 18,8 MW. Entre essas centrais, destacam-se Taíba e Prainha, no Estado do Ceará, que representam 80% do parque eólico nacional.

TABELA 5: Centrais eólicas em operação no Brasil

Central Eólica	Proprietário	Localidade	UF	Potência(kW)
Fernando de Noronha I	Companhia Energética de Pernambuco	Fernando de Noronha	PE	75
Fernando de Noronha II	Centro Brasileiro de Energia Eólica	Fernando de Noronha	PE	225
Morro do Camelinho	Companhia Energética de Minas Gerais	Gouveia	MG	1.000
Palmas	Centrais Eólicas do Paraná Ltda.	Palmas	PR	2.500
Taíba	Wobben Wind Power Ind. e Com. Ltda.	São Gonçalo do Amarante	CE	5.000
Prainha	Wobben Wind Power Ind. e Com. Ltda.	Aquiraz	CE	10.000

Fonte: ANEEL, 2002.

No entanto, a conjuntura atual do setor elétrico brasileiro e os esforços do Governo Federal para amenizar os impactos da crise no abastecimento de energia elétrica, têm despertado o interesse de muitos empreendedores, inclusive com a implementação do Programa Emergencial de Energia Eólica – PROEÓLICA – com o objetivo de agregar ao sistema elétrico nacional 1.050 MW de energia. Os principais benefícios previstos no PROEÓLICA = não regulamentados até janeiro de 2002 =

são a garantia de compra da energia gerada por um prazo mínimo de 15 anos e preços baseados no valor normativo estabelecido pela ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica.

Entre outros fatores que deverão estimular o uso da energia eólica no Brasil destaca-se a criação do Programa de Incentivo ao Uso de Fontes Alternativas de Energia Elétrica – PROINFA. Em janeiro de 2002, havia registro de 38 empreendimentos eólicos autorizados pela ANEEL, que deverão agregar ao sistema elétrico nacional 3.338 MW, o que corresponde a cerca de 15% de todas as usinas outorgadas pela ANEEL, cuja construção não havia sido iniciada. A grande maioria dos projetos está localizada no litoral dos estados do Ceará e Rio Grande do Norte. Observam-se, porém, projetos no interior de Pernambuco, na Bahia e no Rio de Janeiro.

4.1.3 COMPONENTES E FUNCIONAMENTO DE UM SISTEMA EÓLICO³⁵

Um sistema eólico é constituído por vários componentes que devem trabalhar em harmonia de forma a propiciar um maior rendimento final. Para efeito de estudo global da conversão eólica devem ser considerados os seguintes componentes:

Vento: Disponibilidade energética do local destinado à instalação do sistema eólico.

Rotor: Responsável por transformar a energia cinética do vento em energia mecânica de rotação.

Transmissão e Caixa Multiplicadora: Responsável por transmitir a energia mecânica entregue pelo eixo do rotor até a carga. Alguns geradores não utilizam este componente; neste caso, o eixo do rotor é acoplado diretamente à carga.

Gerador Elétrico: Responsável pela conversão da energia mecânica em energia elétrica.

Mecanismo de Controle: Responsável pela orientação do rotor, controle de velocidade, controle da carga, etc.

Torre: Responsável por sustentar e posicionar o rotor na altura conveniente.

Sistema de Armazenamento: Responsável por armazenar a energia para produção de energia firme a partir de uma fonte intermitente.

Transformador: Responsável pelo acoplamento elétrico entre o aerogerador e a rede elétrica.

35. CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito: Rio de Janeiro: 2005 – CD-ROM.

Acessórios: englobam todos os itens de apoio necessários ao funcionamento do sistema eólico. Incluem-se transmissões, freios, embreagens, eixos, acoplamentos e mancais que não apresentam nenhum problema tecnológico aos sistemas eólicos.

A Figura 8 ilustra o processo de um sistema eólico.

Figura 8: O Processo de um sistema eólico



Fonte: Adaptado de CBEE – Centro Brasileiro de Energia Eólica.

O rendimento global do sistema eólico relaciona a potência disponível do vento com a potência final que é entregue pelo sistema. Os rotores eólicos ao extraírem a energia do vento reduzem a sua velocidade; ou seja, a velocidade do vento frontal ao rotor (velocidade não perturbada) é maior do que a velocidade do vento atrás do rotor (na esteira do rotor). Uma redução muito grande da velocidade do vento faz com que o ar circule em volta do rotor, ao invés de passar através dele.

Todo sistema eólico somente começa a funcionar a partir de uma certa velocidade, chamada de velocidade de entrada, que é necessária para vencer certas perdas. Quando o sistema atinge a chamada velocidade de corte um mecanismo de proteção é acionado com a finalidade de não causar riscos ao rotor e à estrutura.

Para os sistemas eólicos, a velocidade de rotação ótima do rotor varia com a velocidade do vento. Um sistema eólico tem o seu rendimento máximo a uma dada velocidade do vento (chamada de velocidade de projeto ou velocidade nominal) e diminui para velocidades diferentes desta.

Projetar um sistema eólico, para um determinado tamanho de rotor e para uma carga pré-fixada, supõe trabalhar no intervalo ótimo de rendimento do sistema com relação à curva de potência disponível do vento local. Isto requer encontrar uma relação de multiplicação, de maneira que se tenha um bom acoplamento rotor/carga. É necessário também, ter mecanismos de controle apropriados para melhorar o rendimento em outras velocidades de vento e aumentar o intervalo de funcionamento do sistema eólico.

Um exemplo de mecanismo de controle é a utilização de rotores com ângulo de passo variável. Com este controle, à medida que a velocidade do vento varia, as pás mudam de posição, variando o rendimento do rotor. Com isto, pode-se aumentar o intervalo de funcionamento do sistema eólico e ainda manter uma determinada velocidade de rotação, que corresponde à eficiência máxima do gerador.

Como uma primeira aproximação, o rendimento global de um sistema eólico simples pode ser estimado em 20%.

Nos últimos anos, as maiores inovações tecnológicas foram a utilização de acionamento direto (sem multiplicador de velocidades), com geradores síncronos e novos sistemas de controle, que permitem o funcionamento das turbinas em velocidade variável, com qualquer tipo de gerador. A tecnologia atual oferece uma variedade de máquinas, segundo a aplicação ou local de instalação. Quanto à aplicação, as turbinas podem ser conectadas à rede elétrica ou destinadas ao suprimento de eletricidade de comunidades ou sistemas isolados. Em relação ao local, a instalação pode ser feita em terra firme ou *off-shore* e em locais de ventos fortes ou moderados³⁶.

4.2 HISTÓRICO E ANÁLISE DAS CÉLULAS A COMBUSTÍVEL DE HIDROGÊNIO³⁷

A célula a combustível é uma tecnologia que utiliza a combinação química entre os gases oxigênio (O_2) e hidrogênio (H_2) para gerar energia elétrica com alta eficiência, energia térmica (calor) e água. Ou seja, são dispositivos eletroquímicos que aproveitam a variação de energia química entre os níveis energéticos, inicial e

36. É importante notar que pese ser uma energia renovável, a energia eólica consta na matriz energética na rubrica "outros renováveis" por ser muito recente e desprezível no momento.

37. GOMES NETO, Emílio Hoffmann. Hidrogênio – Evoluir Sem Poluir: a era do hidrogênio, das energias renováveis e das células a combustível. Curitiba: Brasil H2 Fuel Cell Energy, 2005.

final, de uma reação química utilizando essa diferença como força eletromotriz. A célula a combustível, então, funciona como um verdadeiro gerador elétrico.

O hidrogênio não é um combustível primário, pois não são encontradas na natureza fontes com quantidades expressivas desse gás em estado puro. Encontrase quase sempre associado a outros elementos químicos, e, para utilizá-lo é necessário extrai-lo de sua fonte de origem, que normalmente implica no gasto de uma certa quantidade de energia. Assim, o hidrogênio produzido contém grande parte da energia química, térmica e/ou elétrica empregada em sua geração, a qual poderá ser recuperada quase em sua totalidade por meio de processos adequados, uma vez que pode ser armazenado, transportado e reconvertido em energia, o hidrogênio caracteriza-se por ser um transportador de energia útil, sendo, portanto, denominado vetor energético.

Desse modo, uma célula a combustível de hidrogênio ganha importância pela: sua alta eficiência, ausência na emissão de poluentes quando se utiliza o hidrogênio puro, baixíssima emissão de ruídos, além de que seu principal combustível pode ser obtido a partir de diversas fontes renováveis e também a partir de recursos fósseis (neste caso, com muito menor impacto ambiental).

4.2.1 Origem, técnica e fase inicial de indústria em escala

a) A Célula a Combustível

A origem da célula a combustível – CaC – advém do século XIX, a partir dos conhecimentos do galês precursor William Robert Grove o qual percebeu que se a eletrólise, usando a eletricidade, poderia dividir a água em hidrogênio e oxigênio, então o oposto também poderia ser verdade.

Grove descobriu que colocando dois eletrodos de platina em cada um dos lados de cada eletrodo, imerso num tubo contendo ácido sulfúrico diluído, e os outros dois lados separadamente conectados em tubos fechados com oxigênio e hidrogênio, uma corrente contínua circularia entre os eletrodos. Os tubos isolados e fechados produziam água e também gases, e ele notou que o nível de água aumentou em ambos os tubos onde a corrente elétrica passou. Combinando hidrogênio e oxigênio, com o método correto, produziram eletricidade. Para testar o seu raciocínio, Grove construiu um dispositivo que combinaria hidrogênio e

oxigênio para produzir energia elétrica, ou seja, a primeira bateria de gás do mundo, chamada inicialmente de “Célula de Grove”, e mais tarde, renomeada de célula de combustível. A invenção tornou-se um sucesso, e o trabalho de Grove avançou a compreensão da ideia de conservação de energia e reversibilidade. O interesse na bateria de gás, de Grove, diminuiu com o desmontamento dos combustíveis fósseis baratos e do motor a vapor.

Em seguida, o cientista construiu uma fonte de energia usando vinte e seis células em série e foi o primeiro a notar e explicitar a dificuldade de produzir altas densidades de corrente elétrica em uma pilha a combustível (várias células a combustível conectadas em série), que utiliza gases como reagentes. O problema que enfrentou na época ainda está sendo estudado atualmente por pesquisadores da área.

Um desses pesquisadores foi o químico Ludwig Mond, que dedicou a maior parte da sua carreira desenvolvendo tecnologia para a indústria química tal como o refinamento de níquel. Em 1889, Mond e Carl Langer, descreveram a sua experiência com a CaC a hidrogênio e oxigênio. A experiência produziu uma corrente elétrica de 6 amperes numa pequena área de eletrodo de 700 cm² produzindo uma tensão de 0,73 volts. A célula a combustível de Mond e Langer usava 0,35 g de finos eletrodos de platina porosos e um eletrólito de ácido sulfúrico. Eles observaram dificuldades utilizando eletrólitos líquidos, pois somente obtinham sucesso utilizando eletrólitos em forma sólida.

O cientista e fundador do campo da físico-química, Friedrich Wilhelm Ostwald, contribuiu com muitas das teorias sobre as células a combustível. Em 1893, ele determinou experimentalmente as funções dos vários componentes de uma CaC: eletrodos, eletrólito, agentes de oxidação e redução, ânions e cátions.

Entretanto, William Grove especulava que as reações que ocorriam na sua bateria de gás ocorriam nos pontos de contato entre eletrodos, gás e eletrólito, mas não sabia explicar profundamente. Já Ostwald, que desenvolveu a relação entre as propriedades físicas e reações químicas, resolveu a incógnita do funcionamento da célula de gás de William Grove. Sua pesquisa sobre o funcionamento químico das células foi a base de trabalho para as pesquisas sobre CaC's nos anos seguintes por outros pesquisadores.

Na primeira metade do século XX, o cientista Emil Baur, conduziu uma grande quantidade de pesquisas com vários tipos de tecnologias de células a combustível. Parte do trabalho de Emil Baur incluiu dispositivos de alta temperatura (utilizando prata fundida como eletrólito) e um eletrólito sólido de argila e óxidos metálicos.

No final dos anos 30, Francis Bacon começou pesquisando CaC's de eletrólito alcalino de alta pressão, que parecia oferecer resultados viáveis. Em 1939, ele construiu uma célula que usava eletrodos de níquel e operava numa pressão de até 220 atm numa temperatura de 100 °C. Durante a Segunda Guerra Mundial, Bacon trabalhou no desenvolvimento de células que poderiam ser usadas nos submarinos da marinha inglesa, e em 1958 demonstrou uma CaC alcalina usando um dispositivo com eletrodo de 10 polegadas (25,4 cm) de diâmetro.

Avançando para a década de 1960 e embora as CaC's fossem extremamente caras, Francis Bacon provava que as células poderiam ser suficientemente confiáveis para atrair a atenção da empresa Pratt & Whitney, que associou-se à *Energy Conversion*, que tinha Francis Bacon como consultor. Assim, a nova empresa auxiliou uma nova agência de governo que estava a ponto de empreender o primeiro passo no amadurecimento da tecnologia da célula de combustível. A *National Aeronautics and Space Administration* – NASA, estava desenvolvendo os sistemas críticos de missão para o primeiro vôo tripulado prolongado no espaço. Uma vez no espaço, precisaria de uma fonte de electricidade. Baterias estavam fora de questão devido ao tamanho, peso e toxicidade para suportar uma missão de oito dias no espaço.

Assim a célula de combustível tornou-se a solução tecnológica para o dilema da NASA de como prover energia para missões prolongadas no espaço. Os problemas iniciais do custo e combustível que infestavam as células de combustível ficaram irrelevantes na medida em que a nave espacial já levava hidrogénio líquido e oxigénio. Um benefício adicional das células de combustível sobre qualquer outra tecnologia era que os astronautas poderiam consumir o seu subproduto, na forma de água potável. Nas missões iniciais, deram-se alguns problemas com os sistemas que exigiram atenção. Em cada missão subsequente, as células de combustível ficaram cada vez mais seguras e hoje, as viagens

espaciais da NASA utilizam células de combustível para fornecer eletricidade e água potável uma vez em órbita.

Desde então a tecnologia de célula de combustível alcançou reconhecimento por parte da indústria e do governo dos Estados Unidos como uma fonte de energia limpa para o futuro.

Pensando nisto, o interesse nas células de combustível expandiu-se exponencialmente, ao ponto de 8 das 10 maiores companhias automobilísticas do mundo estarem envolvidas na pesquisa e desenvolvimento da tecnologia de células de combustível. Hoje em dia, bilhões de dólares estão sendo gastos na investigação e a comercialização de produtos de células de combustível.

b) O Hidrogênio

O hidrogênio é o mais simples e mais comum elemento do universo, ele compõe 75% da massa do Universo e 90% de suas moléculas, como a água (H_2O) e as proteínas nos seres vivos. No planeta Terra, compõe aproximadamente 70% da superfície terrestre. Foi originado no início da formação do Universo, 15 bilhões de anos atrás através da grande explosão, o Big Bang, segundo o modelo de Friedmann.

Um exemplo do potencial energético do Hidrogênio está na fonte de energia do Sol – compõe 30% da massa solar. É com a energia do hidrogênio que o Sol aquece a Terra, favorecendo a vida em nosso planeta.

Possui a maior quantidade de energia por unidade de massa que qualquer outro combustível conhecido - 52.000 BTU - *British Thermal Units* (Unidades Térmicas Britânicas) por libra (ou 120,7kJ por grama). Além disso, quando resfriado ao estado líquido, este combustível de baixo peso molecular ocupa um espaço equivalente a 1/700 daquele que ocuparia no estado gasoso. Esta é uma das razões pelas quais o hidrogênio é utilizado como combustível para propulsão de foguetes e cápsulas espaciais, que requerem combustíveis de baixo peso, compactos e com grande capacidade de armazenamento de energia.

No estado natural e sob condições normais, o hidrogênio é um gás incolor, inodoro e insípido. O hidrogênio molecular (H_2) existe como dois átomos ligados pelo compartilhamento de elétrons - ligação covalente. Cada átomo é composto por um próton e um elétron. Alguns cientistas acreditam que este elemento dá origem a

todos os demais por processos de fusão nuclear. O hidrogênio normalmente existe combinado com outros elementos, como o oxigênio na água, o carbono no metano, e na maioria dos compostos orgânicos.

Como é quimicamente muito ativo, raramente permanece sozinho como um único elemento e está sempre procurando outro elemento para se combinar. Raramente permanece sozinho como um único elemento (H_2), em suspensão ou à parte, estando associado ao petróleo, carvão, água, gás natural, proteínas, entre outros elementos.

c) Algumas propriedades do Hidrogênio

- Símbolo Químico: H_2 ;
- Estado físico na pressão e Temperatura ambientes: **Gás**;
- Cor: Incolor – sem cor;
- Odor: Inodoro – sem cheiro;
- Ponto de Ebulição: **-252,8 °C** (na pressão de 0,1013 MPa) ;
- Limite de inflamabilidade no ar: Inflamável entre as concentrações 4,0% a 75% de H_2 por volume;
- 1 g de hidrogênio ocupa o espaço de aproximadamente 11 litros sob pressão atmosférica;
- A energia contida em 1 m³ de hidrogênio equivale a 0,34 litros de gasolina;
- A energia contida em 1 litro de hidrogênio líquido equivale a 0,27 litros de gasolina; e
- A energia contida em 1 kg de hidrogênio equivale a 2,75 kg de gasolina (baseado no menor valor calorífico).

d) Fontes de Hidrogênio

Uma das principais vantagens com relação a uma infra-estrutura de energia que utiliza o hidrogênio é a diversidade de fontes energéticas para a sua obtenção. Esta diversidade significa de certa forma uma pulverização no poder sobre as fontes de energia. Também significa uma menor sobrecarga em uma ou duas fontes de energia. Ao invés de termos um país dependente somente de álcool e biodiesel no

futuro e dividindo espaço com a produção de alimentos, podemos ter uma infra-estrutura de alta qualificação de mão-de-obra apoiada no hidrogênio.

Isto é, ao invés de termos uma infra-estrutura de transportes dependente do petróleo e, no pós-petróleo, no álcool ou biodiesel, podemos ter uma infra-estrutura que divide as responsabilidades de cada fonte de energia. Esta é uma das missões do hidrogênio, pois podemos obtê-lo a partir da água, do biogás gerado a partir do esgoto ou biomassa, a partir do (a):

- Água (H₂O);
- Biogás a partir da biomassa (rico em gás metano – CH₄);
- Biogás a partir do lixo urbano (rico em gás metano – CH₄);
- Gás natural (rico em gás metano – CH₄);
- Petróleo e derivados;
- Etanol e metanol a partir da biomassa;
- Biodiesel;
- Amônia;
- Hidrogênio produzido por algas;
- Glicerol.

e) Produção de Hidrogênio

A produção de hidrogênio em grandes quantidades é um dos grandes desafios a serem vencidos. Atualmente, são produzidos cerca de 500 bilhões de metros cúbicos por ano³⁸, em pressão ambiente. Importante salientar que o hidrogênio é um gás em temperatura ambiente e ocupa volume, assim como o ar.

A sua principal utilização nos dias de hoje não é para a geração de energia, mas para a fabricação de produtos químicos como plásticos e amônia; no resfriamento de motores e geradores, e na indústria eletrônica. Além disso, a maior parte do hidrogênio produzido hoje, é a partir de fontes de energia convencionais e poluentes, como:

- Gás de carvão gaseificado (90 bilhões de m³);
- Gás natural (240 bilhões de m³);
- Reforma de petróleo (150 bilhões de m³).

Para que o hidrogênio se torne uma fonte de energia realmente sustentável, deve-se promover a sua produção a partir de fontes renováveis. Várias alternativas

38. Segundo estudo do Departamento de Energia dos Estados Unidos de 22 de fevereiro de 2006. Disponível em <http://www.hydrogen.energy.gov>

já existem para produção de hidrogênio em maiores volumes comerciais, como a gaseificação da biomassa ou a eletrólise.

Entretanto, de acordo com o Departamento de Energia dos EUA, somente 5% (20 bilhões de m³) do hidrogênio é produzido atualmente a partir destas fontes renováveis.

O Brasil e o Canadá, países que tradicionalmente utilizam a energia das hidrelétricas, deverão ser grandes produtores de hidrogênio a partir da eletrólise da água. A eletrólise também poderá ser realizada com a energia eólica e solar, além de outras fontes de energia renováveis. Através de seu agro-negócio, o Brasil poderá produzir hidrogênio utilizando o álcool da cana-de-açúcar, o biodiesel a partir da soja, girassol, entre outras plantas. A gaseificação da biomassa e do lixo urbano (biogás) para obtenção do hidrogênio também é uma grande oportunidade para o país, especialmente em aterros sanitários e estações de esgoto.

As principais formas de se produzir hidrogênio atualmente são:

1. Eletrólise

A produção de hidrogênio através da eletrólise é bem interessante e relativamente simples. É realizada utilizando-se a energia elétrica para quebrar a molécula de água (H₂O) em seus constituintes, o hidrogênio e o oxigênio.

O processo mais conhecido comercialmente é chamado de “eletrólise alcalina”. Este tipo de eletrólise é indicado para grandes produções de hidrogênio. Para ocorrer a quebra da molécula de água - ligação entre hidrogênio e oxigênio - a tensão aplicada deve ser maior que 1,23 volts (uma pilha comum tem 1,5 volts).

A produção de hidrogênio em hidrelétricas através da água não turbinada é muito interessante e apresenta um custo menor. Outra forma de produção de hidrogênio a partir da eletrólise da água é usando a energia eólica. Pode-se armazenar o excesso de geração de energia eólica na forma de hidrogênio. Para isto, realiza-se a eletrólise. Quando não se tem vento, utiliza-se um sistema de células a combustível para gerar energia elétrica a partir do hidrogênio. Já existem algumas comunidades no mundo que utilizam este conceito.

2. Biocombustíveis

O biocombustível é uma forma bem interessante de se produzir hidrogênio e utilizá-lo nas células a combustível. É nesse aspecto que o Brasil pode obter bastante proveito com diversas oportunidades!

Podemos obter os biocombustíveis a partir dos aterros sanitários, da gaseificação da biomassa, do uso do álcool obtido da cana-de-açúcar (Brasil) ou milho (EUA), e até mesmo a partir do excremento dos animais nas fazendas e do lixo orgânico.

3. Fontes Fósseis

A maior parte da produção de hidrogênio atualmente vem a partir de fontes fósseis como o petróleo, gás natural e carvão. Cerca de 40% da produção total de hidrogênio é proveniente de processos químicos em indústrias e refinarias em que o hidrogênio é obtido como sub-produto.

f) Armazenamento do Hidrogênio

Um sistema de armazenamento apropriado para o hidrogênio é um dos grandes desafios a serem alcançados, e que definirá, em parte, o sucesso dos veículos movidos por células a combustível. O objetivo é desenvolver um tanque de combustível que armazene a maior quantidade de energia possível com o mínimo de peso, volume e custo.

Como o hidrogênio é um dos elementos mais leves da natureza – baixa densidade - e apresenta uma molécula muitíssimo pequena, ele pode escapar dos tanques de armazenamento mais facilmente que outros combustíveis. Este levíssimo gás tem o segundo menor ponto de ebulição de todas as substâncias conhecidas – ou seja, passa do estado líquido para gasoso mesmo em baixíssimas temperaturas (-252,8 °C). Entretanto, se desejamos utilizá-lo como combustível para transporte ou geração de energia devemos procurar meios de armazená-lo de maneira segura e efetiva, avaliando desde o local em que é produzido até o local onde é consumido.

Além da questão da segurança, a capacidade de armazenamento é importante, pois define a autonomia dos veículos. A mesma afirmação poder ser feita às aplicações portáteis, estacionárias e espaciais.

Quando em forma de gás, o hidrogênio utiliza um sistema de armazenamento de grande volume e pressão, geralmente em forma de cilindro; quando no estado líquido, precisa que o seu armazenamento utilize sistemas criogênicos (em baixíssima temperatura; -253°C). E mesmo que seja armazenado em metais “esponjosos”, conhecidos como hidretos metálicos, tem-se o problema do peso destes metais.

Aqui, cabe demonstrar as principais características destes sistemas de armazenamento.

1. Hidrogênio Comprimido

Os sistemas de armazenamento de gás em alta pressão são os mais comuns e desenvolvidos para armazenamento de hidrogênio. A maioria dos veículos movidos por células a combustível utiliza cilindros para armazenar este combustível.

Atualmente as pressões mais utilizadas para armazenamento em veículos são de 3.600 psi (250 bar) a 5000 psi (350 bar). O estado da arte da tecnologia já superou o teste padrão de explosão para 23.500 psi (1620 bar) utilizando um cilindro de 10.000 psi (700 bar). É exatamente esta pressão que as empresas automobilísticas desejam colocar em seus veículos.

Em geral, quanto menos metal for usado, mais leve será o cilindro. Por esta razão, os cilindros mais modernos utilizam materiais plásticos e fibras de carbono ultra-resistentes, que chegam a ser 5 vezes mais leves que os cilindros de metal. Algumas vezes são construídas com camadas de alumínio envoltas por camadas de fibras de carbono, desta forma o cilindro fica mais resistente a impactos.

Outro detalhe importante relacionado à temperatura em ambientes quentes, devido ao resultado de compressão durante o abastecimento do cilindro, faz com que a pressão aumente em 10% ou mais. Apesar do perigo em potencial, os cilindros de alta pressão têm uma estatística de segurança excelente!

O principal problema na compressão de um gás como o hidrogênio é o grande consumo de energia utilizado. Quanto maior a pressão final, maior é a quantidade de energia requerida. O início da compressão é a parte do processo que mais faz uso de energia.

2. Hidrogênio Líquido

Diante dos desafios relacionados ao hidrogênio gasoso, poderíamos armazenar o hidrogênio no estado líquido, pois além de não precisar ser armazenado sob altíssimas pressões, armazenaríamos muito mais hidrogênio em um mesmo volume de um tanque.

Mas observa-se um detalhe: para armazená-lo no estado líquido, precisamos manter o hidrogênio na temperatura de -253°C ! Para manter este combustível nesta temperatura, precisamos de energia. Cerca de 30% a 40% da energia do hidrogênio é gasta para armazená-lo a -253°C . A vantagem do hidrogênio líquido é que ele apresenta uma maior densidade de energia que a gasolina: 1 kg de H_2 equivale a 2,75 kg de gasolina ou diesel. Por isso é usado há muitos anos em foguetes.

Outra vantagem do hidrogênio líquido é com relação ao seu transporte. Como armazena mais energia do que o hidrogênio comprimido para um mesmo volume, pode-se obter economia durante o transporte em caminhões, por exemplo.

3. Hidrogênio em “Esponjas”

Os hidretos metálicos, os nanotubos e nanofibras de carbono, as microesferas de vidro e polímeros (plásticos) com propriedades especiais são os principais métodos de armazenamento de hidrogênio de forma segura e sob baixíssimas pressões.

4. Hidrogênio em Tetraborohidreto de Sódio

Este tipo de armazenamento é um forte candidato para armazenar hidrogênio, especialmente em aplicações portáteis e móveis.

O tetraborohidreto de sódio (NaBH_4) é um sal branco e seco com alto conteúdo de hidrogênio, que quando dissolvido em água, torna-se um combustível líquido. Ele pode ser transportado facilmente e com segurança, contendo muito mais hidrogênio em um determinado volume do que o hidrogênio comprimido.

4.2.2 Conceitos básicos da célula a combustível de hidrogênio e componentes

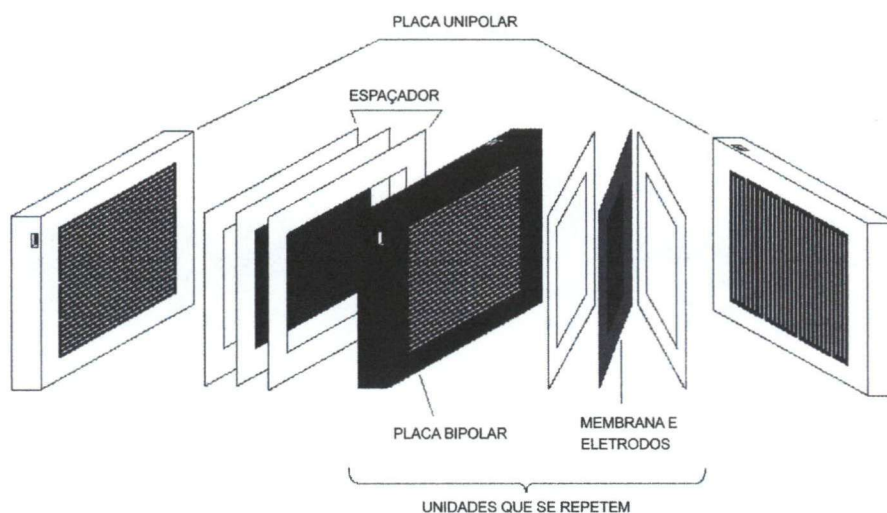
O conceito sobre o funcionamento de uma célula a combustível é relativamente simples.

Hidrogênio é fornecido a um catalisador e este quebra a molécula de hidrogênio em um íon positivo e um elétron. O elétron circula por um circuito externo e o íon positivo (próton) atravessa uma membrana, recombina com o elétron e mais a molécula de oxigênio (O_2) retirada do ar. Nesta combinação, forma-se vapor d'água.

Um sistema de célula a combustível é composto de diversos componentes, muitos deles complexos e caros. A célula a combustível é composta basicamente de placas condutoras de eletricidade e de difusão de gases, eletrodos, catalisadores, membrana ou eletrólito, sensores de controle e monitoramento e, algumas vezes, um reformador para extrair o hidrogênio de um combustível.

Abaixo podemos ver os componentes da CaC.

Figura 9: CaC em detalhe



FONTE: Adaptado de www.brasilh2.com.br

1. Placas Bipolares

São placas de canais de fluxo de combustível e oxidante em ambos os lados do conjunto eletrodo-catalisador-eletrólito (*MEA*, *Membrane Electrode Assembly*). Cada placa de canais de fluxo contém um canal de gás simples num desenho de serpentina que maximiza o contato do gás com o MEA – conjunto eletrodo-catalisador-eletrólito. O desenho dos canais de fluxo de gases é fundamental para uma geração uniforme de potência, estabilidade da célula e correto gerenciamento do produto água. Diferentes tipos de desenhos para estes canais estão ligados aos vários tipos de aplicações.

Cada placa deve ser eletricamente condutiva de forma que a corrente liberada durante as reações eletroquímicas flua de célula em célula e então até a placa onde a energia de toda a pilha de células a combustível (conjunto de células a combustível unitárias) flui para a carga.

As placas são geralmente feitas de grafite ou metais por onde os canais de fluxo de gases são desenhados. O grafite é o material preferido devido à sua excelente condutividade, baixa contaminação e relativo baixo custo. Entretanto é quebradiço e poroso.

2. Eletrodos

Os eletrodos são as interfaces entre os gases reagentes e o eletrólito (membrana). Um bom eletrodo deve permitir a difusão dos gases hidrogênio e oxigênio, proporcionar uma reação na superfície onde possam entrar em contato com o eletrólito, ter condutividade aos elétrons livres que fluem do ânodo (eletrodo negativo) para o cátodo (eletrodo positivo) e ser construído com materiais compatíveis.

O papel de fibra de carbono é usualmente utilizado para esta função pois é poroso, hidrofóbico (não fica úmido), condutivo e não corrosivo. O material do eletrodo é geralmente muito fino para maximizar o transporte de gás e água.

3. Catalisadores

O catalisador é responsável pela quebra da molécula de hidrogênio em H^+ e H^- (íons positivos e negativos). O catalisador é adicionado à superfície de cada eletrodo fazendo o contato com o eletrólito de forma a aumentar a taxa de reações químicas. Ele é responsável pelas reações químicas, entretanto não é consumido neste processo.

A Platina geralmente é utilizada como catalisador devido à sua alta atividade eletrocatalisadora, sua alta estabilidade e condutividade elétrica. O problema é que a platina é muito cara e com tendências de aumentar o seu custo inclusive, tendo uma participação significativa no custo final de uma célula a combustível. Por isso, os pesquisadores procuram minimizar a quantidade de platina usada sem perder eficiência no processo. Geralmente a platina é utilizada em células a combustível de temperaturas de operação baixa, entre 40°C e 200°C. A tecnologia geralmente é a

PEMFC e a PAFC. Nas células a combustível em temperaturas mais altas, entre 600°C e 1000°C, não há necessidade de um excelente catalisador, pois a alta temperatura já ativa um grande número de reações.

Desta forma, as ligas de materiais com níquel podem ser usados como um catalisadores eficientes e de baixo custo.

4. Membrana ou Eletrólito

Juntamente com o eletrodo, o eletrólito é o coração de uma célula a combustível. Possui a propriedade de deixar passar somente os íons positivos – prótons. Geralmente é o eletrólito que dá o nome à tecnologia de célula a combustível. Pode ser alcalina (AFC), ácido fosfórico (PAFC), carbonato fundido (MCFC), óxido sólido (SOFC) ou polímero (PEMFC), quando a partir do eletrólito.

Normalmente, a temperatura de operação das células está ligada ao tipo de eletrólito utilizado, cada uma tendo vantagens e desvantagens, dependendo da aplicação e combustíveis que podem utilizar. O eletrólito alcalino, por exemplo, precisa que o oxigênio e o hidrogênio estejam puros, sem a presença de outros compostos para que não ocorra corrosão.

5. MEA (Membrane Electrode Assembly/Conjunto Membrana-Eletrodo)

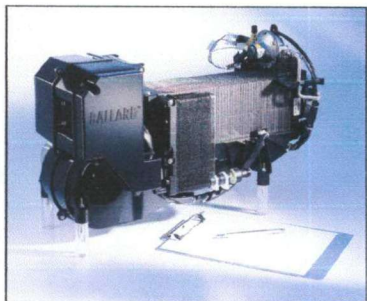
Consiste de um eletrólito (membrana polimérica) entre dois eletrodos de carbono poroso (como um sanduíche). O catalisador de platina está integrado entre a membrana e os eletrodos. Este termo está associado à tecnologia PEMFC (Membrana Polimérica de Troca de Prótons).

6. Outros Componentes

Além dos componentes acima mencionados, utilizam-se sensores e componentes eletrônicos para monitorar e controlar a célula a combustível. Na engenharia, esta função é da eletrônica de potência. Muitas vezes, também há necessidade de umidificadores para os gases reagentes para que ocorra uma melhor condução dos íons dentro da célula.

Como exemplos de células a combustível, temos as figuras a seguir:

Figura 10 a 14: Exemplos de CaC's



Célula a combustível NEXA para P&D



Célula a combustível a Hidrogenio - BrasilH2



Célula a Combustível AirGen para back-up em residências e escritórios



Célula a combustível portátil



Célula a combustível Stack Junior

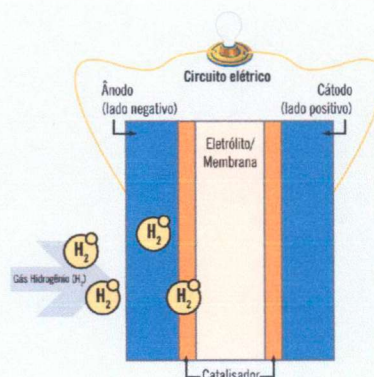
FONTE: Adaptado de www.brasilh2.com.br

4.2.3 Funcionamento das Células a Combustível de Hidrogênio

A Figura 15 mostra detalhadamente como funciona uma célula a combustível de hidrogênio.

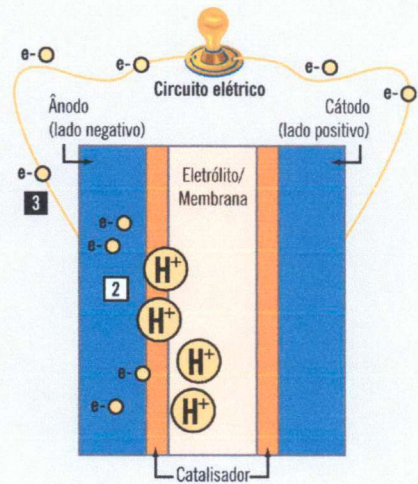
Figura15 – Funcionamento das CaC

1. De um lado da célula a combustível, o gás hidrogênio (H_2) pressurizado é bombeado para o terminal negativo do eletrodo, o ânodo. O gás é forçado a passar por canais de fluxo até atingir o catalisador.

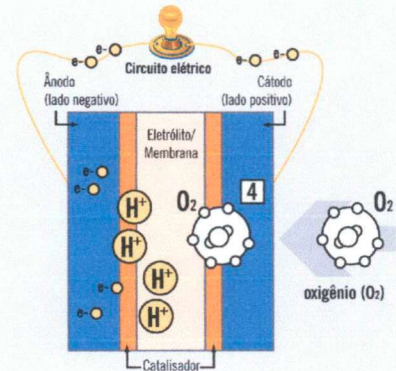


- Quando a molécula de hidrogênio entra em contato com o catalisador, ela se separa em dois íons de hidrogênio (H^+) e dois elétrons (e^-).
- Os elétrons (e^-) são conduzidos através do eletrodo até atingirem o circuito externo, onde temos um fluxo de elétrons – a corrente elétrica – no sentido do eletrodo positivo, o cátodo. A corrente elétrica que flui pelo circuito externo pode ser aproveitada para acender uma lâmpada ou um motor elétrico. Os gases de hidrogênio (H_2) que não foram quebrados pelos catalisadores não passam através do eletrólito, mas são realimentados até serem quebrados.

Reação Química

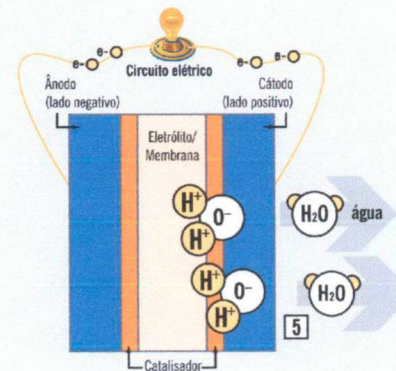
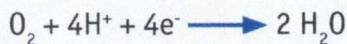


- Do outro lado da célula a combustível, o gás oxigênio (O_2), ou ar, é bombeado para o terminal positivo do eletrodo, o cátodo. O gás é forçado a passar por canais de fluxo até atingir o catalisador.



- Uma vez no catalisador, a molécula de oxigênio combina-se com os íons H^+ que atravessaram o eletrólito e com os elétrons, para formar a molécula de água (H_2O). Nesta reação, uma certa quantidade de calor é liberada (vapor de água).

Reação Química



4.3. ESTUDO COMPARATIVO

A partir da base apresentada no estudo de caso, podemos mensurar os benefícios, como também as desvantagens para ambas as formas de se obter energia renovável, abundante e principalmente limpa.

4.3.1 A Energia Eólica

Pode ser utilizada para o fornecimento de energia para pequenas populações onde não há um acesso de energia direto e também não necessita de grandes investimentos. Esta última vantagem pode ser tirada proveito por pessoas que queiram montar um módulo de energia próprio ao redor de suas casas não precisarem se filiar a empresas, como no caso de fontes de energia onde há um enorme e dispendioso volume de energia. O sistema de produção é considerado bastante seguro. Quanto à utilização do terreno, os parques eólicos têm a vantagem de permitirem ele ocupado seja utilizado para outros fins, por exemplo, o uso agrícola.

Por outro lado, há desvantagens que devem ser levadas em conta, como o barulho provocado, que não é muito elevado, desde que o módulo seja freqüentemente vistoriado; a área ocupada deve ser específica (sem muitas elevações e civilizações por perto); e principalmente, hoje, por esta tecnologia não estar ainda totalmente desenvolvida, tornando seu custo elevado. Isso por ser muito difícil uma população ter o seu próprio fornecimento de energia elétrica, gerada por meios eólicos, com seu aproveitamento ainda não ser satisfatoriamente elevado, entretanto esses entraves podem ser superados com o desenvolvimento desta tecnologia.

Nesse sentido, este tipo de energia apresenta algumas características que dificultam seu uso, como por exemplo: fonte regular de energia; além de sua ocorrência ser irregular para pequenos períodos; a quantidade de energia diária disponível pode variar em muitas vezes de uma estação do ano para outra, em um mesmo local, limitando seu uso apenas em regiões de ventos fortes e relativamente constantes.

Ainda, ocorrem interferências eletromagnéticas, prejudicando os sistemas de telecomunicação e quanto ao aspecto visual decorrente da alteração de visual da paisagem.

Outro problema encontrado se refere ao valor máximo da energia captada por um rotor eólico. Como é limitado pela eficiência de Betz dada pelo fator $16/27$ ou $0,593$, em outras palavras, $59,3\%$ da energia contida no fluxo de ar pode ser teoricamente extraída por uma turbina eólica. Na prática, entretanto, o rendimento aerodinâmico das pás reduz ainda mais este valor. Estudos realizados apresentam o rendimento dos sistemas eólicos em 20% , aproximadamente³⁹. Para um sistema eólico, existem ainda outras perdas, relacionadas com cada componente (rotor, transmissão, caixa multiplicadora e gerador). Além disso, o fato do rotor eólico funcionar em uma faixa limitada de velocidade de vento também irá contribuir para reduzir a energia por ele captada.

Os recentes desenvolvimentos tecnológicos, nos quais: os sistemas avançados de transmissão, na melhoria aerodinâmica, nas estratégias de controle e operação das turbinas, etc., têm reduzido custos e melhorado o desempenho e a confiabilidade dos equipamentos. Espera-se, portanto, que a energia eólica venha a ser muito mais competitiva economicamente para a próxima década.

4.3.2 As células a combustível de hidrogênio

A principal vantagem do hidrogênio é que reações químicas necessárias para reconvertê-lo em energia produzem somente água como produto final, ou seja, não há emissão de gases poluentes ou gases de efeito estufa, além do hidrogênio ser abundante em nosso Universo.

Outra vantagem é quanto ao seu alto poder calorífico, apesar da pequena massa específica, não ser tóxico e ser bastante reativo.

Ainda, podemos salientar que a principal vantagem das células de combustível de hidrogênio se refere às diversas maneiras de sua obtenção, entre elas destacamos: a partir gás-natural; do etanol; do metanol; da água; da biomassa (cana-de-açúcar, o milho, as florestas cultivadas, soja, dendê, girassol, mandioca, palha de arroz, lascas ou serragem de madeira, dejetos de criação animal); do metano de Estação de Tratamento de Água e Esgoto; da gasolina; diesel; entre outros; como também pelas diversas áreas de aplicação e atuação para células a combustível, entre elas destacamos:

- na utilização para transportes terrestres, ferroviário, aéreo e marítimo (desde automóveis até embarcações e aviões);

39. CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito: Rio de Janeiro: 2005 – CD-ROM.

- no fornecimento de energia para emergência;
- nas aplicações portáteis como: *laptops*, telefones celulares, *palmtops*, lanternas, aparelhos eletrônicos em geral, entre outros;
- no serviços de back-up quando a rede elétrica é interrompida; e
- nas aplicações militares e espaciais.

Recentemente, o presidente da *Ford Motors*, William Ford, declarou: “Eu acredito que as células a combustível terminarão com o reinado de 100 anos dos motores à combustão”. Este aspecto interessante deverá acontecer, pois, depois de cem anos, a eficiência de um motor a combustão é de apenas 20%, em média, enquanto que os veículos movidos por CaC’s atingem eficiência de 40 a 45%.

Esta faixa de eficiência é para as primeiras gerações desta tecnologia, que ainda está em avanço. Desta forma, os veículos CaCs irão utilizar até metade do combustível para cobrir a mesma distância. Isto significa economia e menos emissão de poluentes. Além disso, por praticamente não apresentarem partes móveis, os veículos CaC’s terão menos vibrações e ruídos, refletindo em menos manutenção.

Algumas CaC’s têm eficiência de 40%, entretanto, quando for utilizado num sistema de cogeração (onde aproveita-se o calor rejeitado para gerar mais energia), as células podem obter eficiência de 85%. De um modo geral, todas as células a combustível têm eficiência maior que os motores a combustão e plantas de geração.

Após apresentar diversas vantagens das células a combustível a hidrogênio, temos que reconhecer que as atuais tecnologias para o uso energético do hidrogênio não lhe conferem, ainda, competitividade frente às outras fontes energéticas concorrentes.

Além disso, nos dias atuais não existe no Brasil e no mundo uma infraestrutura instalada para suprimento deste combustível. Isto significa não ser perceptível, no momento, do ponto de vista comercial, a presença dos agentes responsáveis pelas atividades de produção, armazenamento, transporte, distribuição e consumo do hidrogênio energético.

Para se utilizar o hidrogênio em larga escala de maneira segura, sistemas práticos de estocagem devem ser desenvolvidos, especialmente para os automóveis. Apesar de o hidrogênio poder ser estocado no estado líquido, este é um

processo difícil porque deve ser resfriado a -253°C . A refrigeração do hidrogênio a esta temperatura utiliza o equivalente a 25 ou 30% de sua energia total, e requer materiais e manipulação especiais. Para resfriar aproximadamente 0,5kg de hidrogênio são necessários 5kWh de energia elétrica.

Um dos grandes desafios para a infra-estrutura do hidrogênio será sua distribuição e construção de postos de hidrogênio que atendam aos veículos que utilizam este combustível. Os postos de hidrogênio poderão receber o combustível através de caminhões ou redes canalizadas de hidrogênio, ou até mesmo produzi-lo no próprio posto.

Mas apesar de tudo, o grande obstáculo à introdução das células a combustível de hidrogênio esteja focado no custo de obtenção do hidrogênio.

Atualmente, necessita-se da utilização de metais nobres como, por exemplo, a platina que é um dos metais mais caros e raros no nosso planeta. Ainda, a elevada pureza que a corrente de alimentação do hidrogênio deve ter para não contaminar o catalisador encarecem ainda mais a produção do hidrogênio.

Em um estudo realizado pelo Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN e pelo Centro de Ciência e Tecnologia de Materiais – CCTM apresentaram alguns custos de gastos de fabricação aproximados de companhias energéticas, caso estivessem instaladas no país, cujo negócio seria a produção maciça do hidrogênio a ser utilizado em sistemas de células a combustível. Os custos finais do hidrogênio não incluem nem impostos nem lucro.

Diante disso, o trabalho apresentou alguns custos de produção do hidrogênio no país, como podemos analisar mediante a tabela abaixo:

TABELA 6: Custos de produção do hidrogênio no Brasil

Meios de produção		Custos em US\$ por Kmol de H ₂
Produção do hidrogênio através da eletrólise primária da água	Energia nuclear	3.195
	Energia hidráulica	
	Até o consumidor	3.164
	Na fonte geradora	1.186
	Nas água não utilizada	0.396
Produção do hidrogênio através de combustíveis fósseis	Gás natural na fonte geradora	3.164
	Gás natural	0.243
	Gasolina	2.700
Produção do hidrogênio através de combustíveis renováveis	Metanol	2.387
	Biogás	3.427
	Ethanol	2.911

Nota: Considerando que 1 kmol de H₂, produz 242.000 kJ equivale dizer que a 85% de eficiência que serão necessários 284.706 kJ para produzir 1 kmol de H₂. Isso representa 0.07909 MWh.

Fonte: Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN e Centro de Ciência e Tecnologia de Materiais - CCTM

Os resultados mostrados na tabela 6 conduzem à conclusão que a maneira mais econômica para a produção do hidrogênio no Brasil é, no curto prazo, através da produção via gás natural. Entretanto, este procedimento tem emissões dos gases do efeito da estufa, que devem ser eliminados. No médio prazo à extremidade das reservas do gás natural devem ser reanalisadas. Assim uma outra energia deve estar disponível, sendo esta segunda fonte, a energia hidráulica ou energia nuclear, porque seus custos também são atrativos. Contudo, seus impactos ambientais devem também ser considerados.

5. CONCLUSÃO

Neste trabalho procurou-se apresentar uma visão detalhada da matriz energética brasileira desde 1950, com vistas de um processo inovativo como ponto de partida para o desenvolvimento de combustíveis alternativos, em especial, no caso das células de hidrogênio. Desse modo, a teoria econômica apresentada possibilitou o entendimento de como o tempo, a ciência, a tecnologia, a história, o meio social, entre demais aspectos, são de fundamental importância para compreendermos o processo evolutivo e inovativo em que passamos.

Com uma matriz energética utilizando basicamente energia provida por lenha e carvão vegetal até meados de 1975, e após, com grande utilização de petróleo e seus derivados como fonte de energia, até hoje predominante, vemos que os diversos impactos – ambientais, sociais, políticos, entre outros – pela utilização de combustíveis fósseis em grande escala, conduzem os países a optarem por fontes alternativas de energia mais adequadas. Com isso, abrem-se grandes oportunidades para que o Brasil, desde que se invista o necessário e se tenha vontade de crescer economicamente, se tornar numa grande potência mundial, a potência no rol da utilização de combustíveis alternativos renováveis.

Com todas essas profundas mudanças ocorridas nas últimas décadas e associadas à significativa evolução e utilização das tecnologias de informação e comunicação, permitem que se tenha uma melhor noção do processo de inovação a partir da teoria schumpeteriana e neo-schumpeterinas com os teóricos evolucionistas. Enquanto Schumpeter dizia que a inovação era a base, o elemento chave e força motriz da evolução do capitalismo, em que se buscava explicar os ciclos econômicos atuais, seriam as inovações que introduziriam novos bens ou técnicas de produção, surgiriam novos mercados, novas fontes de oferta de matérias-primas ou composições industriais. Assim, conduziram a um processo de inovações tecnológicas ou de imitações.

Já os evolucionistas a idéia comum estava na concepção do desenvolvimento tecnológico como um processo evolutivo, dinâmico, acumulativo e sistêmico, cuja compreensão dependia do entendimento das relações de interação dialética entre o desenvolvimento das tecnologias e a dinâmica econômica. Com isso, tornava-se cada vez mais significativo a importância de investimentos sólidos em pesquisa e desenvolvimento, em sistemas de inteligência competitiva e capacitação profissional,

orientados à criatividade e capacidade inovadora. As empresas estariam se tornando lugares de cultura, criatividade e inovação, pela mudança do baricentro dos fluxos materiais para os fluxos de informação. Conforme DOSI o progresso técnico seria uma das principais fontes de crescimento e mudança estrutural na economia.

Assim sendo, procurou-se analisar o processo inovativo dentre as fontes de energias renováveis, entre elas, a energia eólica e as células a combustível de hidrogênio. Contudo, mesmo tendo ambas as energias elevados processos inovativos, em especial, por serem energias renováveis e limpas, seus elevados custos impedem a implementação no presente. Como visto, se por um lado a energia eólica já está difundida no Brasil, a energia das células a combustível de hidrogênio apontam benefícios e rendimentos maiores, mesmo que em fase experimental. Mediante este fato, ao que tudo indica, estas energias serão largamente utilizadas nas próximas décadas e quando forem sendo utilizadas comercialmente, caberá então à ciência a produção de novos conhecimentos; à técnica conceder a passagem de mais inovações; e a indústria tornar viável o conhecimento e a inovação de mais um novo bem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA ESTADO (Liana John) – Carauari, Estado do Amazonas em 16/05/2000.

ALMANAQUE ABRIL 2005. São Paulo: Editora Abril Cultural.

BARBALHO, Arnaldo. **Energia e Desenvolvimento no Brasil**. Rio de Janeiro: Centrais Elétricas Brasileiras – Eletrobrás, 1987.

BÔA NOVA, Antonio Carlos. **Energia e classes sociais no Brasil**. São Paulo: Editora Loyola, 1985.

BRASIL, Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Brasília: ANEEL, 2002.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – EMBRAPA. Disponível em internet. <http://www.embrapa.br>. Acessado em 27 de junho de 2006.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia. **Balanço Energético Nacional**. Brasília, 2005. Disponível em internet. <http://www.mme.gov.br>. Acessado em 25 de maio de 2006.

BRASIL, Ministério do Planejamento e Coordenação Geral. **Estratégia de Desenvolvimento e Estrutura Geral**, pp. VII-26.

BRASIL, Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **O Plano plurianual 2000-2003 (PPA 2000-2003)**. Brasília, 1999a.

BRASIL, Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Secretaria de Gestão. **O Plano plurianual Avança Brasil e o programa de Gestão empreendedora**.

BRASIL, Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **Relatório Anual de Avaliação do Plano Plurianual 2000 – 2003 – Avança Brasil**. Disponível em internet. <http://www.mme.gov.br>. Acessado em 18 de agosto de 2006.

BRASIL, Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **O Plano plurianual 1996-1999 (PPA 1996-1999)**. Brasília, 1995a.

BRASIL, Presidência da República. **Metas e Bases para a Ação do Governo**. Brasília, 1970.

BRASIL, Presidência da República, **2.º Plano Nacional de Desenvolvimento: 1975-1979**.

BRASIL, Presidência da República. **I Plano Nacional de Desenvolvimento da Nova República – 1986/1989**. Brasília, 1985

BTM. In: MADSEN, B. (editor). **International Wind Energy Development World Market Update 1999**. Dinamarca: BTM Consult, 2000.

CALABI, Andréa Sandro (et al.). **A energia e a economia brasileira**. São Paulo: Editora Pioneira: Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas, 1983.

CBEE – Centro Brasileiro de Energia Eólica. Disponível em internet. <http://www.eolica.com.br>. Acessado em 15 de maio de 2006.

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito: Rio de Janeiro: 2005 – *CD-ROM*.

DOSI, Giovanni (et al.). **Technical Change and Economic Theory**. London: Pinter, 1988.

DOSI, G.; PAVITT, K.; SOETE, L. (1990). **The economics of technical change and international trade**. Great British: Harvester Wheatsheaf, 1990.

ELDRIDGE, F.R. **Wind machines**. Van Nostrand, 1980.

GOMES NETO, Emílio Hoffmann. **Hidrogênio – Evoluir Sem Poluir: a era do hidrogênio, das energias renováveis e das células a combustível**. Curitiba: Brasil H2 Fuel Cell Energy, 2005.

GREMAUD, Amaury Patrick; VASCONCELLOS, Marco Antonio Sandoval de; TONETO JÚNIOR, Rudinei. **Economia brasileira contemporânea**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

HAGEDOORN, John. **Organizational modes of inter-firm co-operation and technology transfer**. *Technovation*, v.10, n.1. London: Elsevier Science Publishers Ltd. 1990.

LACERDA, Antônio Corrêa de (et al.). **Economia Brasileira**. São Paulo: Saraiva. 2.^a edição, 2003.

LEITE, Antonio Dias. **A Energia do Brasil**. Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira, 1997

NELSON, Richard. R. & WINTER, Sidney G. **Uma Teoria Evolucionária da Mudança Econômica**. Tradutor: Cláudio Heller. Clássicos da Inovação. Campinas, SP; Editora da UNICAMP, 2005.

NOVA ENCICLOPÉDIA BARSA. 6.^a edição. São Paulo: Barsa Planeta, 2002.

PETROBRÁS – Petróleo Brasileiro S.A. Disponível em internet. <http://www.petrobras.com.br> . Acessado em 07 de julho de 2006.

REHFELDT, K. e CHRISTIAN, S. - Windenergienutzung in der Bundesrepublik Deutschland - Stand 31.12.2000. DEWI MAGAZIN, Wilhelmshaven, n.18, Feb. 2001.

RIFKIN, Jeremy. **A Economia do Hidrogênio**. São Paulo: M. Books do Brasil Editora Ltda, 2003.

- ROGERS, Everett. M. **Diffusion of innovation**. New York: Free Press, 4th ed., 1995.
- ROSSETI, José Paschoal. **Política e Programação Econômicas**. São Paulo: Editora Atlas, 7.^a edição, 1987.
- SANDRONI, Paulo Henrique. **Novíssimo dicionário de economia**. São Paulo: Best Seller, 13.^a edição, 2004.
- SCHUMPETER, Joseph A.. **Teoria do desenvolvimento econômico**. Coleção Os Economistas. São Paulo: Editora Abril Cultural, 1982.
- SCHUMPETER, Joseph A.. **Business Cycles - A Theoretical, Historical and Statistical Analysis of the Capitalist Process**. McGraw-Hill Book Co., New York, 1982.
- TAVARES, Maria Conceição. **Brasil 500 anos: futuro, presente, passado**. Rio de Janeiro: José Olympio, 2000.
- THE WINDICATOR: **Operating Wind Power Capacity**. Windpower Monthly, v.17, n.4, Apr. 2001.
- TINBERGEN, Jan; RAMOS, Péricles Eugênio da Silva. **Programação para o desenvolvimento**. Rio de Janeiro: Atlântida, 1977.
- TORNATZKY, L. G.; FLEISCHER, M. **The process of technological innovation**. Lexington, MA: Lexington Books, 1990.
- UNESA – Associação Espanhola da Indústria Elétrica. Disponível em internet. <http://www.unesa.es> . Acessado em 22 de maio de 2006.
- WEB – Inovação Tecnológica. Disponível em internet. <http://www.inovacaotecnologica.com.br> . Acessado em 28 de setembro de 2006.
- WEB – <http://www.biodieselbr.com/energia/residuo/index.htm>. Acessado em 22 de setembro de 2006.