



INSTITUTO DE ESTUDOS PARA O
DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL



Centro de Estudos em
Sustentabilidade da EAESP

TENDÊNCIAS E OPORTUNIDADES NA ECONOMIA VERDE: ENERGIAS RENOVÁVEIS

NOVEMBRO/2010

Conselho do IEDI

Abraham Kasinski <i>Sócio Emérito</i>	José Roberto Ermírio de Moraes
Amarílio Proença de Macêdo	Josué Christiano Gomes da Silva
Andrea Matarazzo	Lirio Albino Parisotto
Antonio Marcos Moraes Barros	Luiz Alberto Garcia
Benjamin Steinbruch	Marcelo Bahia Odebrecht
Carlos Antônio Tilkian	Marco Antônio Castello Branco
Carlos Francisco Ribeiro Jereissati	Olavo Monteiro de Carvalho
Carlos Mariani Bittencourt	Paulo Guilherme Aguiar Cunha
Carlos Pires Oliveira Dias	Paulo Setúbal Neto
Claudio Bardella	Pedro Eberhardt
Daniel Feffer	Pedro Franco Piva
Décio da Silva	Pedro Grendene Bartelle
Eugênio Emílio Staub	Pedro Luiz Barreiros Passos <i>Presidente do Conselho</i>
Flávio Gurgel Rocha	Robert Max Mangels
Frederico Fleury Curado <i>Vice-Presidente do Conselho</i>	Roberto de Rezende Barbosa
Ivo Rosset	Roger Agnelli
Ivocy Brochmann Ioschpe	Rubens Ometto Silveira Mello
Jacks Rabinovich	Salo Davi Seibel
Jorge Gerdau Johannpeter	Thomas Bier Herrmann
José Antonio Fernandes Martins	Victório Carlos De Marchi

Hugo Miguel Etchenique
Membro Colaborador

Paulo Diederichsen Villares
Membro Colaborador

Paulo Francini
Membro Colaborador

Roberto Caiuby Vidigal
Membro Colaborador

A série de estudos “Tendências e oportunidades da economia verde”

Passadas pouco mais de duas décadas desde a publicação, em *Nosso Futuro Comum*, da noção de desenvolvimento sustentável, “[...] aquele que atende às necessidades do presente, sem comprometer a possibilidade das futuras gerações atenderem suas próprias necessidades”, são diversos os temas socioambientais que se encontram consolidados ou em notório processo de afirmação na agenda das instâncias de governança global, organismos multilaterais, governos e em organizações empresariais e da sociedade civil.

Vale ressaltar que tal processo se dá num contexto em que 1,4 bilhão de pessoas vivem em situação de extrema pobreza, com menos de US \$1,25 por dia e cerca de 60% dos serviços ambientais essenciais à vida humana, como a regulação da qualidade do ar e do clima e a limpeza da água, encontram-se degradados ou usados além da capacidade de suporte dos ecossistemas. Tudo isso em meio a uma sociedade que, em nível global, incrementa o seu nível de consumo e não se mostra interessada em reverter tal tendência.

Mantido o cenário *business as usual* do crescimento econômico global, prevê-se que em 2015, mais de 1 bilhão de pessoas estarão vivendo com menos de US\$1/dia e 3 bilhões com menos de US\$2/dia. Estima-se ainda que, até 2030, a demanda energética global cresça 45% e que o preço do barril de petróleo atinja US\$ 180 no mesmo período, um impacto representativo na economia global, e ainda mais intenso nos países menos desenvolvidos. Adicionando uma perspectiva ambiental a essas projeções, tal crescimento resultaria em incremento de 45% das emissões de GEE no mesmo período, o que resultaria, até 2100, na elevação da temperatura global média em até 6°C. Uma variação positiva de 5°C a 6°C pode resultar numa redução entre 5 e 10% do PIB global, sendo que países menos desenvolvidos, que dependem majoritariamente da exploração de recursos naturais e inserem-se na economia global por meio da exportação de *commodities*, podem experimentar perdas superiores a 10% do PIB nacional, uma vez que apresentam menor capacidade de adaptação à mudança climática e, em geral, maior exposição à degradação ecológica e à escassez de água doce.¹

O caminho para evitar que tais previsões se materializem passa pela transição para uma economia mais inclusiva do ponto de vista social e adequada na sua relação com o meio ambiente – como fonte de recursos naturais, assimilador de resíduos e poluição, e provedor de serviços ambientais essenciais à vida humana. Para que transição ocorra, são necessárias políticas públicas agressivas que estimulem o menor consumo energético e material por mercadoria ou serviço produzido e ofereçam oportunidades a populações menos favorecidas.

Para muitos, qualquer debate sobre redução do consumo deve ser evitada, a despeito de os impactos socioambientais estarem intrinsecamente associados ao ineficiente modelo de produção e consumo que responde pelo atendimento das necessidades da sociedade global e à afluência material consolidada ao longo do século XX. Para esse grupo, a solução do problema virá por meio da “ilimitada” capacidade humana de inovar, a humanidade pode compatibilizar a crescente “pegada ecológica” humana com a capacidade restrita do planeta em suportar o estilo de vida da sociedade contemporânea.

Nesse debate, não se deve desconsiderar, é claro, o direito de países em desenvolvimento e, sobretudo, daqueles menos-desenvolvidos, agirem para a elevação dos padrões de consumo de suas populações - algo que não deve ser, contudo, tomado como um sinônimo de desenvolvimento humano.

Ainda que possam existir diferenças em relação às prioridades ou estratégias de transição para uma economia mais “verde” ou “de baixo carbono”, não há dúvidas de que inovação é um conceito-chave no caminho para o desenvolvimento sustentável, mesmo sabendo-se que diversas inovações consideradas vantajosas em certos períodos tenham se mostrado mais tarde questionáveis em termos sociais e/ou ambientais.

É neste contexto que as organizações empresariais, parte fundamental de qualquer solução em prol de um modelo de desenvolvimento sustentável, são chamadas a contribuir. Nessa esfera, a compreensão de que quaisquer questões socioambientais representam apenas maiores custos e menor competitividade vem sendo crescentemente contestada há mais de uma década por alguns dos mais influentes pensadores da área de estratégia empresarial, como Michael Porter e C.K. Prahalad, que apontam a necessidade de se pensar a atuação das empresas – pesquisa e desenvolvimento, inovações em produtos, processos e modelos de negócio – à luz da crescente demanda por sustentabilidade como um processo irreversível no século XXI e, sobretudo, uma fonte de oportunidade para as organizações, dentre outras tantas já estudadas e reconhecidas na literatura sobre competitividade empresarial.

Reconhecendo a emergência dos temas socioambientais como um processo irreversível em escala mundial, o Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial, em conjunto com o Centro de Estudos em Sustentabilidade (GVces) da Escola de Administração de Empresas de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas (FGV-EAESP), apresenta a série de estudos “Tendências e oportunidades da economia verde”, cujos objetivos são examinar (i) como tais desafios associados aos temas socioambientais podem ser enfrentados pelo Brasil, por meio de governo e empresas, e (ii) de que forma essas organizações podem contribuir para uma economia cada vez mais orientada a gerar desenvolvimento sustentável.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Classificação de energias renováveis e resíduos	4
Figura 2 - Oferta global de energia (2007).....	8
Figura 3 - Capacidade instalada e geração de energia em escala global: participação de energias renováveis (2003-2008)	10
Figura 4 - Investimentos globais em energias renováveis por fonte (2008)	11
Figura 5- Investimento global em energia renovável (2004-2009).....	11
Figura 6 - Brasil - potencial eólico.....	22
Figura 7 - Capacidade instalada (GW) / participação no total dos principais países	25
Figura 8 - Participação de mercado por país produtor (2008).....	25
Figura 9 - Participação de mercado por empresa (GW) (2008)	26
Figura 10 - Preço médio global de painéis solares (1980-2008).....	28
Figura 11 - Projetos fotovoltaicos coordenados pelo PRODEEM (MME).....	29
Figura 12 - Produção e destinação de etanol brasileiro 2010-19	33
Figura 13 - Países-destino das exportações brasileiras de etanol 2010-19	33
Figura 14 - Matérias primas utilizadas para a produção de biodiesel no Brasil.....	41

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Oferta de energia de fontes renováveis (2006 - 2008).....	9
Quadro 2 - Capacidade instalada de energia elétrica de fontes renováveis (2008).....	9
Quadro 3 - Principais países investidores em energias renováveis (2008)	12
Quadro 4 - Estágio de maturidade de tecnologias para sustentabilidade energética.....	12
Quadro 5 - Participação de fontes renováveis na matriz energética brasileira (2007-08).....	14
Quadro 6 - Capacidade instalada por fonte de geração de energia elétrica (MW) 2010-19	15
Quadro 7 - Previsão de consumo de energia (eletricidade e combustíveis) - Brasil 2010-19..	16
Quadro 8 - Energia eólica total: ranking de capacidade instalada	18
Quadro 9 - Principais empresas de geradores eólicos (2007)	18
Quadro 10 - Evolução das turbinas eólicas (1980 - 2008)	21
Quadro 11 - Produção, custos e impacto das principais matérias primas de etanol.....	31
Quadro 12 - Processo produtivo de primeira geração de etanol	36
Quadro 13 - Processo produtivo de segunda geração de etanol.....	37
Quadro 14 - Avanços da primeira para a segunda geração de etanol	38
Quadro 15 - Cenário mundial de produção de biodiesel (em milhões de litros).....	40
Quadro 16 - Culturas oleaginosas: produtividade e potencial gerador de renda.....	42
Quadro 17 - Produção de biodiesel (B100) no Brasil desde 2005	42
Quadro 18 - Capacidade instalada em geração de energia geotérmica (2008)	44
Quadro 19 - Potencial de geração de energia nos oceanos	44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

AWEA - American Wind Energy Association

BIPV - Building Integrated Photovoltaics

CSD - Commission for Sustainable Development

CSP - Concentrating Solar Power

EPA - US Environmental Protection Agency

EPE - Empresa de Pesquisa Energética

EU-OEA - European Ocean Energy Association

EWEA - European Wind Energy Association

GEE - Gases de Efeito-Estufa

IAA - Instituto do Açúcar e do Alcool

IEA - International Energy Agency

Lge/ha - Litros de gasolina equivalente por hectare

LUC - Land-use change

MEA - Millennium Ecosystem Assessment

MME - Ministério de Minas e Energia

Mtoe - Million Tonnes of Oil Equivalent

OTEC - Ocean Thermal Energy Conversion

PROÁCOOL - Programa Nacional de Alcool

PRODEEM - Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios

PROINFA - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica

PTC - Federal Production Tax Credit

RED - Renewable Energy Directive

REN21 - Renewable Energy Network for 21st century

RFA - Renewable Fuel Association

RFS - Renewable Fuel Standards

TPES - Total Primary Energy Supply

UN - United Nations

UNEP - United Nations Environmental Program

WCED - World Commission on Environment and Development

WWEA - World Wind Energy Association

ÍNDICE

Sumário executivo.....	i
1. Introdução	1
2. Energias renováveis: uma classificação.....	4
3. Energias renováveis para o desenvolvimento sustentável	5
4. Energias renováveis na oferta mundial de energia	7
5. Investimentos em energias renováveis.....	10
6. Políticas públicas para energias renováveis	13
7. Energias renováveis no contexto brasileiro	14
8. Energias renováveis: análise por fonte de energia	17
8.1. Eólica	17
8.2. Solar fotovoltaica.....	23
8.3. Etanol.....	30
8.4. Biodiesel	38
8.5. Outras alternativas de energias renováveis: geotérmica e oceanos	43
9. Energias renováveis: reflexões e oportunidades para o Brasil.....	45

TENDÊNCIAS E OPORTUNIDADES NA ECONOMIA VERDE: ENERGIAS RENOVÁVEIS*

Sumário executivo

O caminho da sociedade global rumo a um modelo de desenvolvimento sustentável passa pela transição para uma economia mais inclusiva do ponto de vista social e eficiente na sua relação com o meio ambiente - como fonte de recursos naturais, assimilador de resíduos e poluição, e provedor de serviços ambientais essenciais à vida humana. E as energias renováveis são componentes essenciais dessa transição, apresentando soluções às questões globais fundamentais como segurança energética, pobreza e mudança climática².

Mas ainda que tais temas sejam prioritários na agenda internacional, deve-se considerar que a transição para uma matriz energética global mais renovável não se dará de forma abrupta, uma vez que a dinâmica que sustenta o modelo energético não-renovável atual é difícil de ser revertida por razões como: (i) o elevado nível de consumo material e energético em países desenvolvidos, que se reflete também em maior ou menor escala em países emergentes, (ii) a infraestrutura energética não-renovável já estabelecida, planejada com vistas ao longo prazo e de forma capital-intensiva, (iii) a crescente demanda por serviços relacionados à energia em todo o mundo, e (iv) o crescimento populacional³.

O Brasil desempenha um papel de destaque no cenário energético internacional, fruto de decisões passadas que privilegiaram o aproveitamento do potencial hidrelétrico e a produção de combustíveis a partir de cana-de-açúcar. A razão do imenso prestígio é clara: com base em dados de 2008, o país oferta cerca de 85% de energia elétrica a partir de alternativas renováveis e apresenta a mais eficiente e amplamente adotada solução para produção de energia a partir de biomassa do planeta: somando-se o etanol e cogeração de eletricidade, os produtos de cana-de-açúcar responderam por 28% da oferta interna total de energia do país.

Por ser uma referência em razão da sua matriz com considerável componente de energias renováveis, a questão energética oferece ao país oportunidades que extrapolam as fronteiras nacionais e dizem respeito à inserção do país na economia global. Para muitos, é impossível não privilegiar nesse debate as oportunidades advindas do petróleo do pré-sal e seus potenciais impactos positivos na sociedade brasileira, que extrapolam em muito a cadeia petroleira. Mas devem ser consideradas as incertezas em relação à viabilidade técnica, e conseqüentemente econômica, que ainda rondam o modelo, e o temor que assola parte da comunidade internacional, relacionado a problemas ambientais que possam resultar da exploração de petróleo em águas profundas, catalisado pelo recente acidente envolvendo a British Petroil (BP) no Golfo do México, cujos impactos em biodiversidade ainda se encontram em etapa inicial de inventário. Outros apontam que deve ser dada prioridade ao comércio internacional de etanol, voltado predominantemente neste momento a países desenvolvidos, considerando também que à medida que esse biocombustível se torne uma *commodity*, serão inúmeras as oportunidades de exportar equipamentos e tecnologias para que a cadeia álcool-energética seja instalada e/ou ampliada em regiões como a América Central, e áreas tropicais na África e Ásia.

* Trabalho preparado pelos seguintes pesquisadores do Centro de Estudos em Sustentabilidade (GVces) da FGV-EAESP: Mario Monzoni, André Pereira de Carvalho, Pedro Pereira Leite Canelas, Gustavo Velloso Breviglieri, Mariana Pinheiro Bartolomei e Gabriel Barros Barreto Pinheiro Lima.

Por certo, o aproveitamento de ambas as oportunidades não é excludente e há que se examinar em maior detalhe que caminhos trilhar, incluindo nesse debate não apenas petróleo e etanol, mas também outras alternativas tais quais energia eólica e solar, que de forma crescente vêm sendo objeto de metas e investimentos em países desenvolvidos, como Estados Unidos e os protagonistas da União Européia, e emergentes, como China e Índia. Vale ressaltar que o privilégio ou o descaso com alguma dessas alternativas é mais que uma opção por uma matriz energética mais ou menos renovável: significa também priorizar ou abdicar do desenvolvimento tecnológico do país em relação a alternativas de energias renováveis. Nesse contexto, vale perguntar se o aproveitamento do potencial hidrelétrico e a expansão da produção e do comércio internacional de etanol seriam as únicas oportunidades relacionadas ao setor energético para o Brasil, no século XXI.

Energias renováveis no contexto internacional

Não há como se negar o recente ganho de representatividade das energias renováveis no cenário energético internacional. No período 2007/08, a produção de biocombustíveis apresentou expansão tanto em etanol (34%) quanto em biodiesel (33%) e a capacidade global de geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis, excluindo-se grandes hidrelétricas (GHE), cresceu em 16%. Ainda no mesmo período, crescimentos significativos são verificados também na capacidade de geração de energias de fonte eólica (29%), solar fotovoltaica conectada (73%) e isolada da rede de transmissão (86%) (Quadro 1).

Quadro 1 - Oferta de energia de fontes renováveis (2006 - 2008)

Indicadores	2006	2007	Variação 2006-07	2008	Variação 2007-08	Unidade
Capacidade instalada de renováveis (excl. grandes hidrelétricas)	207	240	16%	280	16%	GW
Capacidade instalada de renováveis (incl. grandes hidrelétricas)	1.020	1.070	5%	1.140	7%	GW
Capacidade Energia Eólica	74	94	27%	121	29%	GW
Capacidade Energia Solar Fotovoltaica (conectada à rede)	5,1	7,5	47%	13	73%	GW
Produção Solar Fotovoltaica (anual)	2,5	3,7	48%	6,9	86%	GW
Capacidade Solar para Aquecimento de Água	105	126	20%	145	15%	GWth
Produção de Etanol (anual)	39	50	28%	67	34%	bilhões de litros
Produção de Biodiesel (anual)	6	9	50%	12	33%	bilhões de litros

Fontes: REN 21

Em 2008, reduzindo-se o escopo da análise à capacidade de geração de energia elétrica, a participação de fontes renováveis (1.140 GW) passou a representar 24% da capacidade global instalada. Descontando-se a capacidade das grandes hidrelétricas, dos 280 GW de capacidade instalada de energia elétrica de fontes renováveis, 43% encontra-se em países em desenvolvimento (119 GW), e 34% na União Européia⁴ (96 GW). China (27%), Estados Unidos (14%) e Alemanha (12%) respondem por 55% da capacidade global, enquanto o Brasil participa com aproximadamente 2% da capacidade instalada global de eletricidade renovável (5 GW), valor que atinge 8% quando a participação das grandes hidrelétricas (81 GW) é considerada (Quadro 2).

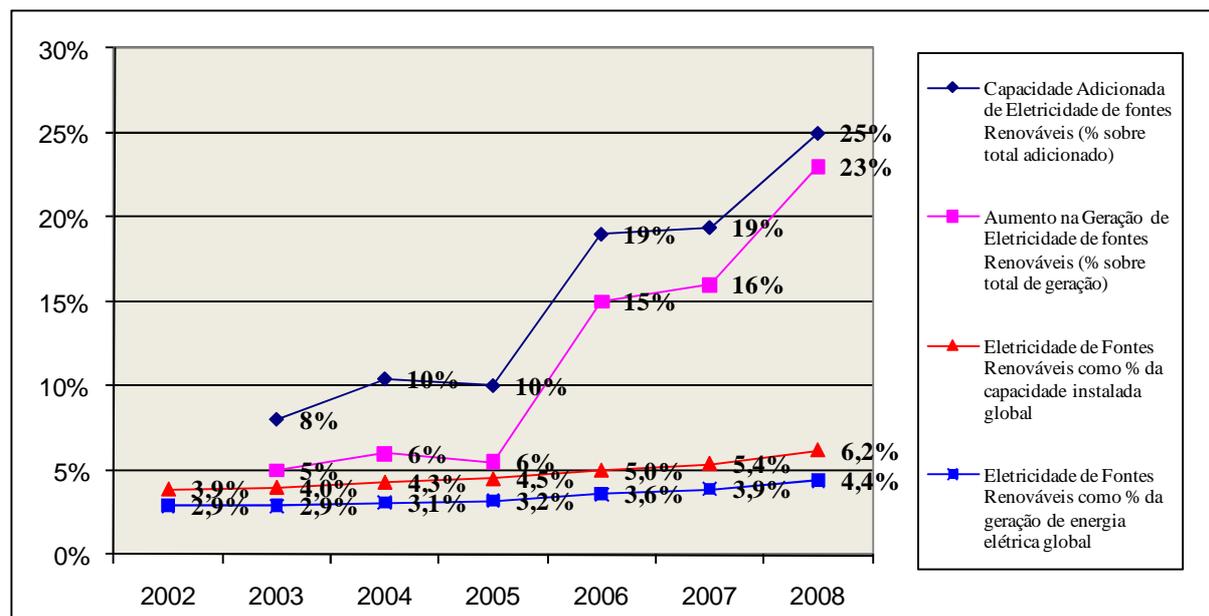
Quadro 2 - Capacidade instalada de energia elétrica de fontes renováveis (2008)

Tecnologia	Países em			Estados						
	Mundo	Desenvolvimento	EU-27	China	Estados Unidos	Alemanha	Espanha	Índia	Japão	Brasil
Gigawatts (GW)										
Eólica	121	24	65	12,2	25,2	23,9	16,8	9,6	1,9	0,3
PCH	85	65	12	60	3	1,7	1,8	2	3,5	4,0
Biomassa	52	25	15	3,6	8	3	0,4	1,5	>0,1	1,0
Solar Fotovoltaica*	13	>0,1	9,5	>0,1	0,7	5,4	3,3	~0	2	~0
Geotérmica	10	4,8	0,8	~0	3	0	0	0	0,5	0
Solar Térmica	0,5	0	0,1	0	0,4	0	0,1	0	0	0
Energia dos Oceanos	0,3	0	0,3	0	0	0	0	0	0	0
Total Renováveis (excl. grandes hidrelétricas)	280	119	96	76	40	34	22	13	8	5
Para comparação										
Grandes Hidrelétricas	860									81
Capacidade Total	4700									102

Fontes: REN 21 e Plano Decenal de Expansão de Energia 2008-2017 (EPE).

As fontes renováveis corresponderam a 25% (40 GW) do total adicionado em capacidade instalada de energia elétrica em 2008 (160 GW), levando-as a 6,2% da capacidade global. No mesmo período, as fontes renováveis corresponderam a 23% do acréscimo na geração de energia elétrica global, e a 4,4% do total de energia efetivamente gerada no ano (Figura 1).

Figura 1 - Capacidade instalada e geração de energia em escala global: participação de energias renováveis (2003-2008)



Fonte: Adaptado de UNEP SEFI e New Energy Finance (2009).

Mas se considerada a capacidade acrescida por grandes hidrelétricas (25 GW) em conjunto com as demais fontes renováveis, a participação no adicionado à capacidade instalada global representa 41%.

Dentre os poucos dados apresentados em relação ao ano de 2009, merece destaque o acréscimo de 62% de energia de fontes renováveis na nova capacidade de geração de eletricidade instalada na União Européia, com especial destaque para energia eólica (37%) e solar fotovoltaica (21%). Tal acréscimo elevou para 20% a participação de energias renováveis no atendimento da demanda de energia elétrica total da região⁵.

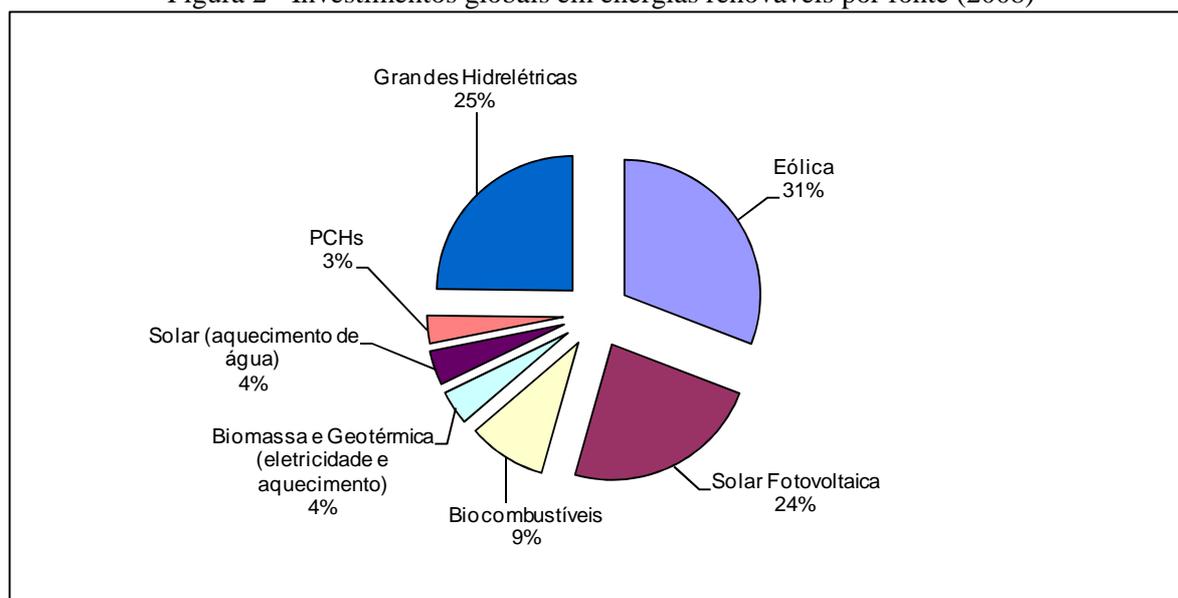
Todos esses dados apontam a robustez do processo de expansão da geração de energia a partir de fontes renováveis na oferta global de energia, incluindo não apenas países desenvolvidos como Estados Unidos, Alemanha, Espanha e Japão, mas também países em desenvolvimento como China e Índia, protagonistas em energia eólica.

Investimentos em energias renováveis

Em 2008, os investimentos globais em energias renováveis foram da ordem de US\$ 160 bilhões, dos quais US\$ 40 bilhões (25%) em grandes hidrelétricas (Figura 2). O investimento em renováveis superou o de tecnologias baseadas em combustíveis fósseis (cerca de US\$ 110 bilhões) pela primeira vez na história. Foi também o primeiro ano em que mais energia de fonte renovável do que convencional foi adicionada à capacidade de geração de energia elétrica tanto nos Estados Unidos quanto na União Européia.

Dos US\$ 120 bilhões investidos, 87% estão concentrados em energia eólica, solar fotovoltaica, e refinarias de biocombustíveis. Todavia, a recente crise econômica teve desdobramentos também sobre o setor de renováveis e, em 2009, houve uma queda de 8,6% frente a 2008, desconsiderando os investimentos em grandes hidrelétricas (Figura 3).

Figura 2 - Investimentos globais em energias renováveis por fonte (2008)

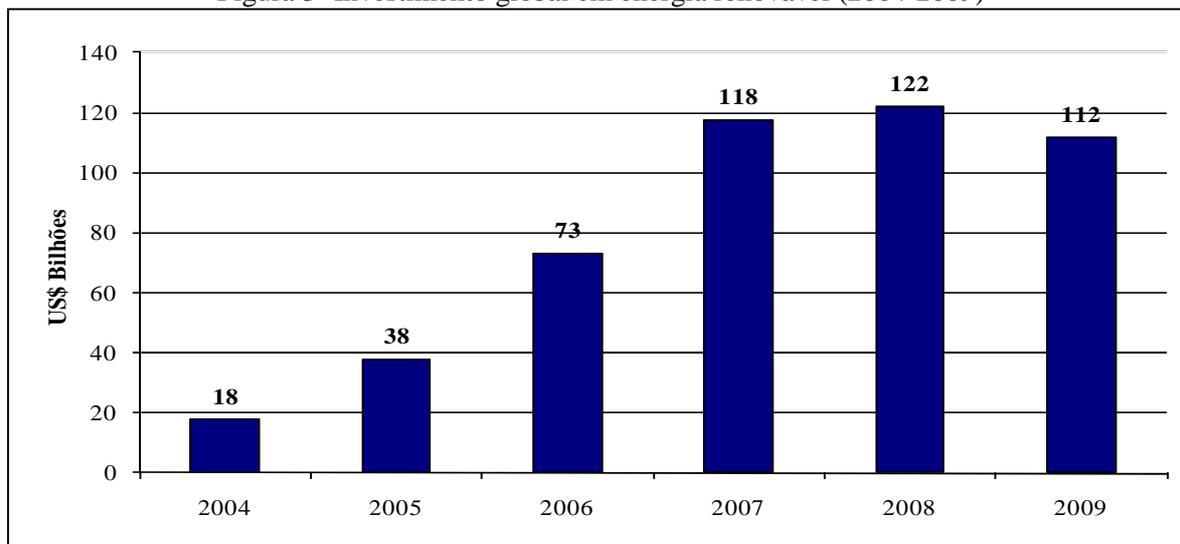


Fonte: REN 21, UNEP (2009).

Os Estados Unidos lideraram o ranking de investimentos em 2008, com cerca de US\$ 24 bilhões⁶, com os principais destinos sendo a energia eólica e os biocombustíveis. Espanha, China e Alemanha tiveram investimentos na faixa de US\$ 15 a 19 bilhões, com o Brasil aparecendo como quinto maior player global no setor com US\$ 5 bilhões, graças principalmente aos biocombustíveis. Os demais principais países investidores em energias renováveis no ano de 2008 são apresentados em Quadro 3.

Além dos valores mencionados previamente, as indústrias eólica e solar fotovoltaica receberam grandes aportes de capital em novas instalações e equipamentos para elevar a capacidade produtiva, e os investimentos em pesquisa e desenvolvimento atingiram a casa dos US\$ 20 bilhões em 2009.

Figura 3- Investimento global em energia renovável (2004-2009)



Fonte: New Energy Finance

Quadro 3 - Principais países investidores em energias renováveis (2008)

Principais Países	#1	#2	#3	#4	#5
Investimentos para aumento de capacidade	Estados Unidos	Espanha	China	Alemanha	Brasil
Eólica Adicionada	Estados Unidos	China	India	Alemanha	Espanha
Solar FV Adicionada	Espanha	Alemanha	Estados Unidos		
Solar Térmica Adicionada	China	Turquia	Alemanha	Brasil	França
Produção Etanol	Estados Unidos	Brasil	China	França	Canadá
Produção Biodiesel	Alemanha	Estados Unidos	França	Argentina	Brasil

Fonte: REN 21

Alternativas como energia eólica *onshore* e etanol de cana-de-açúcar encontram em avançado estágio de maturidade para investidores, seguidas por tecnologias como eólica *offshore* e solar fotovoltaica ().

Quadro 4 – Estágio de maturidade de tecnologias para sustentabilidade energética



Fonte: Adaptado de World Economic Forum. Green investing 2010.

Os investimentos via *venture capital* e *private equity*, essenciais para a difusão de inovações no mercado, responderam, em 2008, por US\$ 13,5 bilhões em investimentos, dos quais US\$ 350 milhões em etanol de segunda geração (celulósico). Os países em desenvolvimento também observaram considerável crescimento nos mecanismos de auxílio ao financiamento em energias renováveis, que atingiram US\$ 2 bilhões.

O setor de energias renováveis também sofreu com os impactos da crise financeira no final de 2008, embora de forma menos aguda que outros setores, dado que os investimentos totais no primeiro semestre de 2009 caíram 15,6% frente ao mesmo período de 2008⁷.

Apesar da fuga de capital dos setores de risco ou em crescimento, muitos projetos continuaram em desenvolvimento, notadamente aqueles com o suporte de políticas públicas favoráveis, dentre as quais, merecem destaque as tarifas *feed-in*, um mecanismo que garante que a energia renovável tenha garantido seu acesso à rede de transmissão por meio de contratos de longo prazo e de preços que permitam competição com as demais alternativas que acrescentam energia à rede. Busca-se em última instância, por meio desse tipo de política, tornar o fornecimento de energia renovável economicamente viável e competitivo com as alternativas menos limpas, em geral, mais baratas.

As primeiras políticas de incentivo a energias renováveis surgiram na década de 1980, nos países escandinavos, mas foi principalmente a partir de 1998 que a adoção de políticas públicas para promover energias renováveis ganhou maior relevância.

Há, atualmente, metas oficiais para energias renováveis em ao menos 73 países, dentre os quais cerca de 20 países em desenvolvimento. São metas que predominantemente determinam uma proporção da produção de energia que deve obrigatoriamente vir de fontes renováveis, para o período de 2012 a 2020.⁸

Energias renováveis no contexto brasileiro

O Brasil apresenta aproximadamente 45% da oferta total de energia - que inclui eletricidade e combustíveis, proveniente de fontes renováveis. É um valor expressivo no contexto internacional, mas que apresenta tendência de baixa se comparado com 2007.

Restringindo à análise apenas para oferta de energia elétrica, o modelo adotado pelo país no século XX, lastreado na geração a partir de hidrelétricas faz com o que país apresente um componente renovável elevado: 85,4% da oferta de eletricidade em 2008, foi proveniente de fonte limpa (Quadro 5).

Na oferta de energia elétrica, fica claro o foco nas grandes hidrelétricas, responsáveis por 80% da geração, e na biomassa, sobretudo a partir do bagaço de cana-de-açúcar em projetos de cogeração, em detrimento das demais formas de energia renovável, como eólica e solar.

De acordo com o Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica 2010-2019 prevê-se a redução das fontes renováveis para 82,7% da oferta de energia elétrica e a manutenção das grandes hidrelétricas como fonte principal, ainda que com menor relevância - respondendo por cerca de 70% da oferta de eletricidade no país até 2019 (Quadro 6).

Quadro 5 - Participação de fontes renováveis na matriz energética brasileira (2007-08)

Fontes	Oferta Interna de Energia Elétrica		Oferta Interna de Energia	
	2008	2007	2008	2007
Energia Não Renovável	14,6%	10,8%	54,7%	54,1%
Gás Natural	6,6%	3,5%	10,3%	9,3%
Derivados de Petróleo	3,3%	3,0%	36,7%	37,4%
Nuclear	3,1%	2,8%	1,5%	1,4%
Carvão e Derivados	1,6%	1,5%	6,2%	6,0%
Energia Renovável	85,4%	89,2%	45,3%	45,9%
Hidráulica	80,0%	84,0%	13,8%	14,9%
Biomassa*	5,3%	5,1%	28,0%	27,9%
Eólica e demais renováveis	0,1%	0,1%	3,5%	3,2%

Fonte: EPE 2009. * Biomassa compreende produtos de cana-de-açúcar, lenha e carvão vegetal

Vale mencionar o crescimento previsto da capacidade instalada no país para pequenas centrais hidrelétricas (PCH) (4,2%), biomassa (5,1%) e eólica (3,6%), que passarão a responder por 12,9% em 2019, ante 9,7% em 2010. Essas três fontes foram as contempladas pelo Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), iniciativa do Ministério de Minas e Energia para fomento de tecnologias alternativas, instituída em 2002, que apresentou inicialmente 144 projetos contratados (dos quais 7 foram cancelados), totalizando 3.155 MW de capacidade adicionada até o final de 2010⁹.

Quadro 6 - Capacidade instalada por fonte de geração de energia elétrica (MW) 2010-19

Energias não-renováveis							
Ano	Óleo Diesel	Urânio	Gás Natural	Óleo Combustível	Carvão	Gás de Processo	Total
2010	1.728	2.007	8.860	3.380	1.765	687	18.427 16%
2013	1.356	2.007	11.327	8.864	3.205	687	27.446 21%
2016	1.149	3.412	11.533	8.864	3.205	687	28.850 20%
2019	1.149	3.412	11.533	8.864	3.205	687	28.850 17%
Energias renováveis							Total Geral
Ano	Hidro	PCH	Biomassa	Eólica	Total		
2010	83.169	4.043	5.380	1.436	94.028	84%	112.455
2013	88.499	4.516	6.671	3.641	103.327	79%	130.773
2016	100.476	5.816	7.621	4.841	118.754	80%	147.604
2019	116.699	6.966	8.521	6.041	138.227	83%	167.077

Fonte: Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica 2010-2019, EPE 2010.

Mas além da expansão planejada da geração de energia por fontes renováveis, prevê-se uma contribuição maior de termelétricas a óleo combustível - cuja capacidade de geração deve ser incrementada em 162% até o final da década de 2010, chegando a 8.9 MW. Vale ressaltar que produtos de cana-de-açúcar responderam por 18,3% do consumo energético nacional em 2008: sendo 13,5% a partir do bagaço de cana-de-açúcar e 4,8% pela oferta de etanol.¹⁰

Os setores industrial (39,6%) e de transportes (29,1%) são os principais responsáveis pelo consumo energético do país. Como comparação, o consumo domiciliar responde por 10,8%. Do consumo em transportes, cerca de 16% é atendido por etanol – 11% na forma de álcool hidratado, para o abastecimento de carros à álcool ou *flex fuel*, e 5,5% como álcool anidro, adicionado à gasolina na proporção de 25%. Ressalta-se a tendência de incremento dessa

participação em razão da crescente representatividade de veículos com tecnologia *flex fuel* na frota brasileira¹¹.

Embora as perspectivas oficiais acerca da matriz energética brasileira na próxima década revelem a manutenção de uma matriz predominantemente renovável em eletricidade e o incremento do consumo de biocombustíveis em transportes, pouca relevância é dada a um tópico essencial, a eficiência energética, que visa a redução do consumo energético necessário para a obtenção de uma mesma quantidade de produto nos setores industrial, de transportes e residencial, dentre outros.

O Plano Decenal apresenta cenários extremamente modestos para a conservação¹² de energia embora a meta de redução no consumo de eletricidade (3,2% em 2019) seja suficiente para retardar a construção de uma hidrelétrica de aproximadamente 4.800 MW de capacidade nominal. Como comparação, o projeto da hidrelétrica de Belo Monte prevê capacidade instalada de 11.233 MW e pode ter geração média de 4.500 MW, em razão da perda de vazão do rio Xingu no verão, época de seca na região.

Em relação à opção brasileira por privilegiar projetos de grandes hidrelétricas, devem ser considerados os crescentes questionamentos em relação aos impactos de hidrelétricas no meio ambiente - em biodiversidade e emissão de gases de efeito-estufa associados à inundação de áreas nativas por grandes reservatórios d'água - e nas comunidades que vivem em áreas afetadas pelos projetos, que acabam por ser involuntariamente reassentadas.

Para além das críticas a impactos sociais e ambientais diretos, a própria eficiência de um modelo de geração de eletricidade baseada em grandes hidrelétricas, cada vez mais distantes dos principais centros consumidores, também é questionado em razão das maiores perdas na transmissão da energia e da maior vulnerabilidade que caracteriza os sistemas centralizados em comparação aos descentralizados.

Além disso, os processos de licenciamento ambiental para grandes hidrelétricas, assim como os de PHE, têm se mostrado demasiado morosos por razões que vão desde a qualidade dos projetos apresentados até a capacidade inadequada dos órgãos governamentais responsáveis para fazer frente à demanda por licenças ambientais, passando pela maior complexidade inerente a análise de impactos de GHE em áreas como a Amazônia. Tal lentidão afasta potenciais investidores das hidrelétricas e, por vezes, aproxima-os de outras alternativas cujo processo de licenciamento mostra-se menos complexo, como por exemplo, termelétricas a óleo combustível, colocando em risco o planejamento energético do país.

Nesse cenário, muitos crêem que é impossível atender a crescente demanda de energia elétrica brasileira prevista até 2019, substituindo os acréscimos apontados de GHE (33,5 GW) e pequenas centrais hidrelétricas (2,9 GW) por meio de outras energias renováveis, em razão de custos não competitivos e do nível de maturidade dessas tecnologias. Por essa análise, não há como o país manter na casa dos 80% o componente de energia limpa na oferta de eletricidade no Brasil se não por meio de hidrelétricas.

Mas o Brasil deveria ao menos estabelecer metas mais ambiciosas para incremento da participação dessas alternativas renováveis na oferta de energia elétrica brasileira, estimulando a ciência, tecnologia e inovação nesses segmentos, de forma semelhante ao que vem ocorrendo no país em transportes, por meio da retomada do consumo do etanol alavancada pela tecnologia *flex fuel*.

Energias renováveis: reflexões e oportunidades para o Brasil

Diversas evidências apresentadas ao longo deste estudo apontam que o país não deve se contentar com o resultado de decisões de três a quatro décadas atrás, que o colocaram em condição de principal protagonista no cenário energético internacional. São conquistas expressivas, inegavelmente, que conferem ao país uma condição confortável, mas que não devem fazê-lo acomodar-se frente aos desafios e oportunidades que a questão energética coloca à humanidade no século XXI.

Por razões associadas, sobretudo, à segurança energética e adicionalmente a temas socioambientais, como o combate à mudança climática ou à geração de oportunidades de trabalho, diversos países desenvolvidos e em desenvolvimento vêm estimulando a expansão do componente renovável em suas matrizes energéticas por meio de políticas de incentivo à instalação de projetos baseados em alternativas tais quais energia eólica e solar fotovoltaica, e de destinação de recursos para pesquisa e desenvolvimento em alternativas que se encontram em fase de maturação, como o etanol lignocelulósico. Nesse contexto, merecem destaque países como:

- Estados Unidos: Segundo país que mais investiu em energias renováveis em 2009 (US\$ 18,6 bilhões), possui a maior capacidade instalada total com 53,4 GW provenientes de fontes renováveis, dos quais 31,9 GW de energia eólica. É líder no consumo e produção de etanol (47 bilhões de litros) e apresenta meta de elevar tal número para 136 bilhões de litros até 2022.
- China: Liderou o ranking de investimentos em energias renováveis em 2009 com US\$ 32,6 bilhões, atingindo 52,5 GW de capacidade instalada, dos quais 26 GW provenientes da fonte eólica, devendo alcançar entre 100 e 150 GW instalados até 2020. Principal produtor de painéis fotovoltaicos do planeta, com mais de 50 empresas atuando no setor.
- Alemanha: É líder mundial em capacidade instalada em energia solar (7,7 GW) e terceiro maior em energia eólica (25,7 GW). Possui 29% de sua matriz de energia elétrica baseada em fontes renováveis, com 36,2 GW instalados até 2009.
- França: Embora não seja um dos maiores players em energias renováveis, apresenta 4,5 GW de energia eólica instalados e apresenta metas relevantes para a participação das fontes renováveis em sua matriz de energia elétrica, 10% até 2020, e de biocombustíveis no consumo total de combustíveis, também 10% até 2020.
- Espanha: Destaque com relação à geração em energia solar, com 3,6 GW instalados, e em energia eólica com 19 GW instalados. Possui 30% da matriz de energia elétrica baseada em fontes renováveis e é o país que, em 2009, mais investiu nessa área relativamente ao tamanho de seu PIB: US\$ 10,4 bilhões.
- Índia: Grande *player* em energia eólica (10,9 GW) e também em PCHs (2,5 GW). Com relação à energia solar fotovoltaica, o país apresenta metas ambiciosas de instalar 20 GW até 2022.
- Japão: País pioneiro e dos mais voltados à promoção de eficiência energética, também apresentava, em 2009, 12,9 GW provenientes de fontes renováveis, com destaque para Biomassa (3,1 GW) e Solar FV (1,7 GW).

- Coréia do Sul: Até 2009 não apresentava grande destaque na utilização de fontes renováveis em sua matriz energética, mas foi um dos países a dedicar maior parcela de seu pacote de recuperação à crise econômica para investimentos verdes. Possui metas para energia eólica (2,25 GW) e solar (1,3 GW) até 2011.

Ao fazerem tais opções, esses países não apenas buscam alcançar maior segurança energética, mas também, ao estimularem o desenvolvimento de inovações associadas às energias renováveis em centros de pesquisa e empresas, consolidam competências no setor industrial e tornam-se mais capazes de explorar outras oportunidades que as energias renováveis potencialmente oferecem num cenário de transição global para uma economia verde, como a geração de empregos, a exportação de tecnologias, máquinas e equipamentos, o acesso à energia elétrica em áreas isoladas, dentre outros benefícios.

É neste ponto que vale retornar ao questionamento inicialmente apresentado neste estudo: seriam a exploração do potencial hidrelétrico e a produção de etanol as únicas oportunidades relacionadas ao setor energético para o Brasil, no século XXI?

Analisando-se inicialmente o contexto interno da geração de eletricidade, a manutenção em níveis elevados do componente renovável na matriz de energia elétrica mostra-se ameaçada com o crescimento previsto da demanda. Ainda em 2007, a oferta interna de energia elétrica a partir de fontes renováveis correspondeu a 89% do total. Tal contribuição deve cair, segundo o PDE 2010-19 para 83%, em 2019, com ponto de mínimo em 79%, em 2013, a partir de quando não se prevê mais a expansão da geração de eletricidade à base de carvão, gás natural e óleo combustível, e retoma-se a participação de fontes renováveis. Entre 2010 e 2019, planeja-se a expansão em 49% da oferta de energia elétrica, uma adição de 54 GW à rede, para atingir 167 MW de oferta total ao final do período, com incremento de 57% do componente não-renovável e de 47% do renovável. Dos 44,2 GW previstos para serem adicionados no componente renovável até 2019, 83% dizem respeito a hidrelétricas - 33,5 GW em grandes hidrelétricas e 2,9 GW em pequenas hidrelétricas, 10% a energia eólica (4,6 GW) e 7% em biomassa (3,1 GW).

Caso esse planejamento obtenha pleno êxito em sua implementação, ao final da segunda década deste século, as 5 principais contribuições na oferta total de eletricidade serão grandes hidrelétricas (69%), gás natural (7%), óleo combustível (6%), biomassa de cana-de-açúcar (5%) e pequenas hidrelétricas (4%). A alternativa eólica (3,6%) seria apenas a 6ª mais relevante em geração energia elétrica e não há metas para energia solar em escala comercial no país.

Mas o cumprimento da meta de expansão de hidrelétricas esbarra cada vez mais em questionamentos sobre os impactos socioambientais desses projetos, sobretudo naqueles localizados na região amazônica, o que coloca em dúvida também o alinhamento dessa alternativa ao desenvolvimento sustentável do país. Esse processo contribui para o aumento da complexidade do licenciamento ambiental de projetos de hidrelétricas, que passam a demandar mais tempo para serem aprovados.

Uma maneira de se gerenciar esse risco é reduzir o componente de energias renováveis na matriz energética do país: uma ação na contramão do que diversos países vêm fazendo, que o Brasil até poderia justificar em razão de sua matriz energética “limpa”, mas que certamente não cairiam bem ao um país que desempenha papel cada vez mais decisivo na comunidade internacional em temas sociais, econômicos e ambientais.

Um outro caminho seria incrementar a participação de alternativas renováveis como energia eólica e solar na matriz energética nacional. Mas tal solução, contudo, é tida ainda por muitos uma proposta ingênua, quando não inviável. Além disso, é comum que críticas à preferência nacional pela construção de novas hidrelétricas sejam simplesmente classificadas como meros libelos anti-barragistas. Vale ressaltar que o potencial eólico brasileiro, estimado em aproximadamente 140 GW no ano de 2001, é provavelmente superior a 300 GW tomando-se por base a tecnologia disponível em 2010. Em termos de energia solar, o país beneficia-se de 2.200 horas de insolação por ano, dado que a maior parte do território nacional encontra-se em regiões de clima tropical e com altos níveis de radiação, mas apresenta capacidade instalada de apenas cerca de 20 MW.

Uma vez que é bastante clara a tendência de expansão em escala global do uso de energia eólica - *onshore* e *offshore* - e solar fotovoltaica, e que o Brasil apresenta amplo potencial de exploração dessas alternativas, o que poderia justificar a pouca prioridade dada a elas pelo país?

Se o argumento central é segurança energética, a energia eólica, em razão da complementaridade com o nível dos reservatórios do sistema hidrelétrico, encontra-se em posição privilegiada, o que justificaria metas mais ambiciosas para sua participação na oferta nacional de energia elétrica. Além disso, ao se incrementar a participação das alternativas eólica e solar fotovoltaica, reduz-se a vulnerabilidade do sistema elétrico de forma semelhante ao que ocorre com a maior utilização de termelétricas, quando o nível dos reservatórios encontra-se baixo, com a vantagem de se contribuir à manutenção – ou até mesmo à expansão - do componente renovável na matriz de geração de energia elétrica brasileira.

Outro importante aspecto a ser considerado na análise dessa questão diz respeito aos reflexos da opção por privilegiar as hidrelétricas na competitividade do país, pouco preparado para explorar oportunidades em energias renováveis que não aquelas associadas à biomassa, no país ou em mercados internacionais.

A recente expansão da capacidade instalada em energia eólica esconde a falta de competitividade da indústria brasileira nessa alternativa. O país já se encontra muito atrás dos principais competidores, que começaram a pesquisar na década de 1970, no mesmo período em que, em razão da crise do petróleo, o Brasil apostou no etanol de cana-de-açúcar. Vale lembrar a dificuldade de se cumprir as metas iniciais do PROINFA em relação a projetos de energia eólica, em razão da dificuldade de atendimento da exigência de nacionalização de equipamentos e serviços de, no mínimo, 60% em valor, dentre os projetos a serem instalados.

Em energia solar fotovoltaica, a disputa pelo mercado internacional de energia solar fotovoltaica vê países como Japão, China e Tailândia adentrando de forma robusta à competição, como fornecedores de placas solares, apesar de ainda não produzirem células fotovoltaicas comparáveis às oferecidas por Alemanha e Estados Unidos. Enquanto isso, no Brasil, as políticas para essa alternativa mostram-se ainda tímidas.

Em relação aos biocombustíveis, considerando-se todos os aspectos socioambientais, de segurança alimentar e de competitividade de nações, parece não haver alternativa à expansão da oferta de etanol ao longo do século XXI, que não por meio de tecnologias de segunda geração (etanol lignocelulósico).

Nesse contexto, o Brasil desempenha papel de destaque pelo fato de o país ser o único a apresentar uma alternativa de biocombustível avançado já implementada em larga escala, e

pode ampliar a sua vantagem em relação à concorrência em razão de possuir uma matéria prima estabelecida, que pode ser explorada de forma complementar por tecnologias de segunda geração. Com possibilidade de produzir etanol também a partir do bagaço e da palha da cana-de-açúcar, a produtividade de etanol por hectare plantado de cana-de-açúcar, pode ser acrescida em até 40%. Mas a confirmação de tal protagonismo passa necessariamente pelo êxito do país em suas pesquisas em etanol lignocelulósico – de variedades de cana a produção de enzimas e equipamentos, numa corrida na qual já enfrenta forte competição de países como Canadá e Suécia, além dos Estados Unidos, sendo que os investimentos desse último já suplantam os brasileiros.

Mas para além da necessidade de investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D) em tecnologia para etanol lignocelulósico, há uma ampla gama de oportunidades não exploradas que dizem respeito ao etanol de cana-de-açúcar de primeira geração. As metas internacionais de expansão do uso de biocombustíveis em transporte oferecem ao Brasil não apenas oportunidades de exportar etanol de cana-de-açúcar, já reconhecido como biocombustível avançado, mas também de tecnologia, máquinas e equipamentos. Contudo, apenas o aumento recente do consumo interno, por meio da expansão da frota de carros *flex fuel*, já saturou a cadeia de suprimento que atende a demanda interna por novas usinas, que atualmente levam cerca de 4 anos para serem instaladas. E há que se considerar ainda que tal processo deve se tornar ainda mais intenso com a consolidação da cadeia alcooolquímica no país – examinada no próximo estudo desta série – e com o amadurecimento da tecnologia de segunda geração.

O Brasil apresenta grande potencial para o desenvolvimento das energias renováveis e não pode se satisfazer apenas com a exploração do seu potencial hidrelétrico e com a liderança em no cenário internacional de biocombustíveis. Dado o seu potencial para a geração de energia a partir das matrizes eólica e solar, ignorar tais vocações é um contra-senso em termos de segurança energética, que acaba por afetar também a competitividade do país e de suas empresas, uma vez que os mais importantes países do cenário internacional estão investido cada vez mais em P&D e geração a partir de energias renováveis e suas empresas têm ampliado sua participação nesses segmentos.

Há que se reconhecer que embora tenha se tornado uma referência em biocombustíveis com o desenvolvimento do etanol de cana-de-açúcar, o Brasil ainda tem seu processo de inovação industrial e agrícola distante do século XXI. Por esse aspecto, considerando-se a transição para uma economia verde em escala global, é essencial que o país crie condições para o desenvolvimento deecoinovações em energias renováveis.

1. Introdução

O caminho da sociedade global rumo a um modelo de desenvolvimento sustentável passa pela transição para uma economia baseada na aplicação de inovações que ultrapassam as rotinas e o conhecimento comum, que opere de forma mais inclusiva do ponto de vista social e eficiente na sua relação com o meio ambiente – provedor de recursos e serviços ambientais essenciais à vida humana e assimilador de resíduos e poluição.

Se não há dúvidas de que inovação é um conceito-chave nesse processo de transição, há que se reconhecer que diversas inovações consideradas vantajosas em certos períodos, mais tarde mostraram-se questionáveis em termos sociais e/ou ambientais. Além disso, ainda que inovações tenham resultado em maior eficiência no uso de recursos e energia nas últimas décadas, tais benefícios não têm sido suficientes para compensar a expansão do consumo material em escala global. Há que se distinguir, portanto: (i) o sucesso das inovações em reduzir a intensidade de recursos e energia utilizados para o atendimento de uma necessidade específica (*decoupling* relativo) (ii) da obtenção de tais resultados para a economia em escala global (*decoupling* absoluto).

Como exemplos do êxito em *decoupling* relativo, a energia utilizada para produzir uma unidade de bem econômico declinou 3 vezes nos últimos 30 anos e, no mesmo período, a intensidade em carbono das atividades econômicas globais caiu de 1 kg por dólar para 0,77kg por dólar. Já as evidências de *decoupling* absoluto não têm sido percebidas: as reduções em energia e carbono verificados não bastam para compensar o aumento da escala da atividade econômica no mesmo período, as emissões globais de carbono aumentaram 40% desde 1990 e o mesmo ocorre com vários outros recursos, como os minerais não-metálicos, por exemplo. E mesmo o *decoupling* relativo não vem ocorrendo com alguns recursos, como ferro e cimento.¹³

Mesmo assim, reside na “ilimitada” capacidade de inovar da humanidade a crença na possível compatibilização da crescente “pegada ecológica” da sociedade global com a capacidade de suporte do planeta. A OCDE define inovação como “a implementação de um produto (bem ou serviço) novo ou significativamente melhorado, ou um processo, ou um novo método de marketing, ou um novo método organizacional nas práticas de negócios, nas organizações do local de trabalho ou nas relações externas”¹⁴.

Ainda para a OCDE,ecoinovação é uma inovação semelhante à “convencional” que resulta na redução de impactos ambientais, não importando se tal efeito seja intencional ou não, cujo escopo pode ir além dos limites convencionais da organização inovadora e envolver arranjos sociais mais abrangentes, que estimulem mudanças nas normas socioculturais existentes e estruturas institucionais¹⁵. Vale lembrar ainda que ecoinovações podem gerar problemas sociais – dentre os quais: desemprego, destruição de competências, prejuízo a comunidades ou segmentos da sociedade –, daí a necessidade de envolvimento de diferentes *stakeholders*, sobretudo em ecoinovações, que extrapolam o ambiente organizacional, de forma a garantir o equilíbrio entre benefícios sociais e ambientais ao longo do sistema.

Daí a inovação para o desenvolvimento sustentável ser considerada aquela que gera ao mesmo tempo resultados econômicos, sociais e ambientais positivos. Os resultados econômicos são mais fáceis de serem previstos, mas os efeitos sociais e ambientais são mais difíceis de serem avaliados previamente, uma vez que envolvem um número maior de variáveis, interações e

incertezas, sobretudo quando ao se tratar de inovações radicais ou com grau elevado de novidade em relação ao estado da arte.¹⁶

A inovação sustentável é entendida como a introdução (produção, assimilação, ou exploração) de produtos, processos produtivos, métodos de gestão ou negócios, novos ou significativamente melhorados para a organização e que traz benefícios econômicos, sociais e ambientais, comparados com alternativas pertinentes. Vale ressaltar que tal concepção vai além da redução de impactos negativos: deve-se avançar em benefícios líquidos. Além disso, ressalta-se a condição “comparação com alternativas pertinentes”, essencial ao conceito de inovação sustentável, uma vez que os benefícios esperados devem ser significativos ou não negligenciáveis nas três dimensões da sustentabilidade.¹⁷

O presente estudo enfoca oportunidades em energias renováveis que podem ser exploradas pelo Brasil. A geração de energia a partir de fontes renováveis pode ser considerada uma inovação com grande potencial de contribuição para o desenvolvimento sustentável, em razão dos amplos benefícios sociais e ambientais que em geral resultam da sua disseminação e uso em transportes ou geração de eletricidade.

Energias renováveis são componentes essenciais da solução de questões globais fundamentais como segurança energética, pobreza e mudança climática¹⁸. Mas ainda que tais temas sejam prioritários na agenda internacional, deve-se considerar que a transição para uma matriz energética global mais renovável não se dará de forma abrupta, uma vez que a dinâmica que sustenta o modelo energético não-renovável atual é difícil de ser revertida por razões como: (i) o elevado nível de consumo material e energético em países desenvolvidos, que se reflete também em maior ou menor escala em países emergentes, (ii) a infraestrutura energética não-renovável já estabelecida, planejada com vistas ao longo prazo e de forma capital-intensiva, (iii) a crescente demanda por serviços relacionados à energia em todo o mundo, e (iv) o crescimento populacional¹⁹.

Além disso, a necessidade de se avançar a oferta de energias renováveis em escala global é um caso de desafio socioambiental que não deve ser percebido como um obstáculo ao desenvolvimento humano, mas sim como uma forte demanda porecoinovações que gera inúmeras oportunidades para países e seus setores produtivos.

Nesse contexto, o Brasil desempenha um papel de destaque, fruto de decisões passadas que privilegiaram a geração de eletricidade por hidrelétricas e a produção de combustíveis a partir de cana-de-açúcar. Por ser uma referência em razão da sua matriz com considerável componente de energias renováveis, a questão energética oferece ao país oportunidades que extrapolam as fronteiras nacionais e dizem respeito à inserção do país na economia global.

Para muitos, é impossível não privilegiar nesse debate as oportunidades advindas do petróleo do pré-sal e seus potenciais impactos positivos na sociedade brasileira, que extrapolam em muito a cadeia petroleira. Mas devem ser consideradas as incertezas em relação à viabilidade técnica, e conseqüentemente econômica, que ainda rondam o modelo, e o temor que assola parte da comunidade internacional, relacionado a problemas ambientais que possam resultar da exploração de petróleo em águas profundas, catalisado pelo recente acidente envolvendo a British Petroleum (BP) no Golfo do México, cujos impactos em biodiversidade ainda se encontram em etapa inicial de inventário.

Outros apontam que deve ser dada prioridade ao comércio internacional de etanol, voltado predominantemente neste momento a países desenvolvidos, considerando também que, à

medida que esse biocombustível se torne uma *commodity*, serão inúmeras as oportunidades de exportar equipamentos e tecnologias para que a cadeia álcool-energética seja instalada e/ou ampliada em regiões como a América Central e áreas tropicais na África e Ásia. Por certo, o aproveitamento de ambas as oportunidades não é excludente e há que se examinar em maior detalhe que caminhos trilhar, incluindo nesse debate não apenas petróleo e etanol, mas também outras alternativas, tais quais energias eólica e solar, que de forma crescente vêm sendo objeto de metas e investimentos em países desenvolvidos, como Estados Unidos e os protagonistas da União Européia, e emergentes, como China e Índia.

Vale ressaltar que o privilégio ou o descaso com alguma dessas alternativas é mais que uma opção por uma matriz energética mais ou menos renovável: significa também priorizar ou abdicar do desenvolvimento tecnológico do país em relação a alternativas de energias renováveis. Nesse contexto, vale perguntar: Seriam as hidrelétricas e o etanol as únicas oportunidades relacionadas ao setor energético para o Brasil, no século XXI?

Para responder a tal questionamento, as alternativas de energias renováveis – em geração de eletricidade e combustíveis – são o objeto de estudo deste trabalho, com especial foco naquelas em maior evidência no contexto global, além de algumas opções promissoras, em estágio tecnológico ainda não maduro o suficiente para viabilizá-las em grande escala.

Para atingir tais objetivos, esse estudo, encontra-se estruturado da seguinte forma:

- Itens 2 e 3: Apresenta-se uma classificação de energias renováveis e analisa-se a relação entre energias renováveis e desenvolvimento sustentável;
- Itens 4 e 5: Examina-se a participação das energias renováveis na oferta mundial de energia e os investimentos em energias renováveis.
- Item 6: Apresentam-se os principais modelos de políticas públicas para energias renováveis
- Item 7: Analisa-se a relevância das energias renováveis no contexto brasileiro.
- Item 8: Analisam-se os cenários internacional e nacional para energia eólica, solar fotovoltaica e biocombustíveis (etanol e biodiesel), e, apenas no nível internacional, a energia geotérmica e dos oceanos.
- Item 9: Apresentam-se reflexões e oportunidades que o debate energético no contexto de uma economia verde oferece ao Brasil.

Tão importante quanto aumentar a oferta de energias renováveis é aumentar a eficiência do consumo da energia gerada a partir de fontes renováveis ou não. Mas tal análise, com foco em eficiência energética em indústrias, edifícios e casas é um dos objetos do segundo estudo desta série, focado nas oportunidades da economia verde em eficiência energética e produtos verdes.

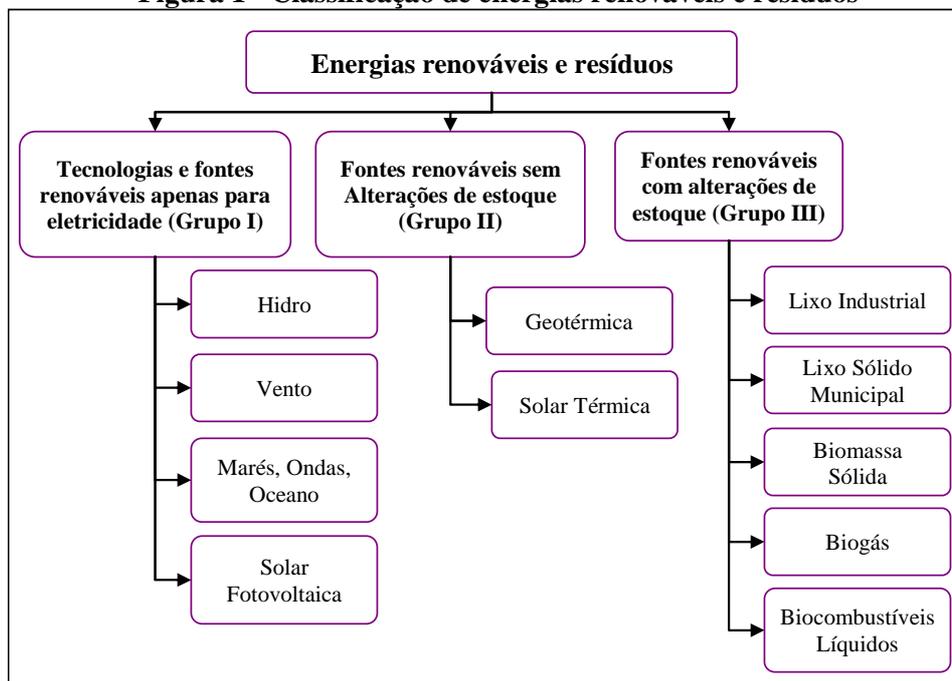
A ampliação da oferta de energias renováveis percebida nas últimas décadas é resultado em grande parte de políticas públicas agressivas, sem as quais a transição para uma economia verde se torna inviável. Aspectos associados a políticas públicas em energias renováveis, eficiência energética e produtos verdes são o foco do terceiro estudo desta série (um *policy paper*), mas é inevitável que algumas políticas sejam mencionadas neste documento, ainda que apenas de forma introdutória.

Ao longo deste estudo, busca-se examinar quais oportunidades surgem para o Brasil e para o seu setor empresarial nesse cenário de expansão das energias renováveis, bem como quais os entraves ao aproveitamento dessas oportunidades pelo país, por meio de suas organizações empresariais, no cenário global e nacional.

2. Energias renováveis: uma classificação

“Energias renováveis” são aquelas derivadas de processos naturais que são regularmente renovados. Embora essa definição seja uma fonte de controvérsias em razão da definição pouco rigorosa acerca do horizonte de tempo necessário para que se dê tal renovação, ela é amplamente utilizada pelas organizações que pesquisam o setor energético em escala global, dando suporte às metodologias de cálculo e aos questionários de coletas de dados enviados periodicamente para todos os países. A classificação “energias renováveis” diz respeito a todas as formas de energia obtidas direta ou indiretamente do sol ou do calor gerado nas profundezas da Terra, incluindo quaisquer energias a partir do sol, vento, biomassa, geotérmica, e recursos hídricos. A IEA classifica as energias renováveis em três grupos (Figura 1).

Figura 1 - Classificação de energias renováveis e resíduos



Fonte: Energy Statistics Manual - IEA (2005)

O grupo I contempla fontes que precisam ser transformadas em eletricidade para serem capturadas. O grupo II inclui fontes não podem ser armazenadas de forma convencional e, portanto, não há dados referentes a estoques dessas fontes a serem relatados. Ambos os grupos são analisados ao longo deste estudo.

A biomassa tradicional diz respeito ao uso de lenha, resíduos agroflorestais, esterco de animais e outros resíduos domésticos para atendimento das necessidades energéticas em domicílios e, uma vez que sua utilização se dá à margem da economia formal, seu consumo é de difícil mensuração. O grupo III contempla apenas usos modernos da biomassa: inclui fontes que são manufaturadas e utilizadas para diversos propósitos nos setores de transformação e consumo final, que podem ser armazenadas e cujos estoques podem ser aferidos. A moderna utilização da biomassa está associada à geração de eletricidade e calor, ou mesmo à produção de combustíveis para transportes, a partir de tecnologias adequadas à aplicação em grande ou pequena escala, que incluem gaseificação, gás de aterro sanitário, recuperação de energia a partir de resíduos sólidos municipais, produção combinada de calor

e eletricidade²⁰. Dentre as alternativas que constam no grupo III, apenas os biocombustíveis líquidos (etanol e biodiesel) são analisados neste estudo.

3. Energias renováveis para o desenvolvimento sustentável

A transição para um modelo energético sustentável é um desafio central para a humanidade no século XXI. Deve-se entender que o conceito de “sustentabilidade energética” diz respeito a garantir o atendimento da demanda de energia de forma adequada às necessidades das gerações atuais e futuras, fazendo-o de modo que: “(a) seja compatível com a preservação da integridade fundamental dos sistemas naturais essenciais, inclusive evidenciando mudanças climáticas catastróficas, (b) estenda os serviços básicos de energia aos mais de 2 bilhões de pessoas em todo o mundo que atualmente não têm acesso às modernas formas de energia, e (c) reduza os riscos à segurança e aos potenciais conflitos geopolíticos que de outra forma possam surgir devido a uma competição crescente por recursos energéticos irregularmente distribuídos.”²¹

De forma complementar ao incremento da eficiência energética em escala global, a rápida expansão da oferta de energias renováveis desempenha papel fundamental no combate à mudança climática, por meio da redução das emissões de GEE associadas à geração de energia baseada em combustíveis fósseis. Em cenário proposto pela IEA para compatibilizar, ao menor custo para sociedade, o atendimento da crescente demanda energética global, até 2030, com a necessidade de redução de emissões apontada pelo IPCC, de forma a fazer com que a concentração de GEE na atmosfera seja estabilizada ao nível de 450 ppm de CO₂ equivalente (CO₂-eq), aponta-se a necessidade de se expandir a oferta global de energias renováveis em 110%. Tal incremento tornaria a geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis equivalente a 22% da demanda primária de energia até 2030, ou cerca de 37% de demanda global de eletricidade. Adicionalmente, a demanda por biocombustíveis deveria ser mais do quintuplicada até 2030, em relação ao patamar de 2007.²²

Devem ser analisados ainda os efeitos do incremento da capacidade instalada e dos investimentos em energias renováveis na geração de empregos no setor. Em comparação com as energias fósseis, as renováveis geram mais empregos por unidade de capacidade instalada, de energia gerada e por dólar investido. Estima-se que em 2006 as energias renováveis respondiam por 2,3 milhões de empregos – numa abordagem conservadora, em razão da dificuldade de obtenção de dados em muitos países. Do total, 1,2 milhão estão relacionados à produção de energia a partir de biomassa, sobretudo na produção de biocombustíveis em apenas quatro países: Brasil, Estados Unidos, Alemanha e China. Dos 300 mil empregos referentes à energia eólica, 66% concentram-se em Alemanha, Estados Unidos, Espanha, China e Dinamarca. Em solar fotovoltaica, 170 mil, dos quais 78% na China, Alemanha, Espanha e Estados Unidos. Em solar térmica, 624 mil empregos, dos quais 96% na China.²³

Tais impactos positivos fazem com que as energias renováveis sejam, em geral, consideradas energias sustentáveis. Mas com o incremento da representatividade na oferta, da escala dos projetos e do comércio das energias renováveis, alguns possíveis impactos sociais e ambientais associados a essas tecnologias devem ser levados em conta. Para ilustrar a necessidade de tal análise mais abrangente, vale a pena examinar de que maneira se dá tal debate em relação à expansão dos biocombustíveis em nossa sociedade.

Os biocombustíveis são, segundo definição de José Goldemberg, “a verdadeira energia solar encapsulada, convertida em líquido que substitui a gasolina” e “uma área em que vale a pena

investir em pesquisas para que seja sustentável e não uma fonte de destruição de ecossistemas”²⁴. A produção de biocombustíveis é intensiva em mão-de-obra, sobretudo na etapa de plantio de matérias primas, o que representa uma oportunidade de inclusão social, em especial nos países em desenvolvimento, sobretudo quando aplicados modelos que permitem a participação de produtores rurais de menor porte. Mas muito se comenta a respeito dos impactos de uma maior demanda por biocombustíveis sobre o preço de alimentos essenciais à humanidade, como o milho e trigo. Há questionamentos ainda sobre o quão factível seria expandir a produção de biocombustíveis: reduzindo impactos ambientais em grande parte associados ao uso de herbicidas e pesticidas - bem como à conversão de áreas nativas em plantações – e garantindo condições adequadas de trabalho à mão-de-obra empregada nas lavouras.

Algumas respostas a esses questionamentos são apresentadas por inovações, como a segunda geração de biocombustíveis, que traz viabilidade para o uso de diversas outras matérias primas que não *commodities* agrícolas que atendem a parte significativa da demanda alimentar da humanidade, como soja ou milho. Outras respostas resultam da própria mobilização da sociedade em aprimorar a geração de energias renováveis: diversas iniciativas têm sido apresentadas para estabelecer princípios e critérios socioambientais mínimos para a produção de energias renováveis, como biocombustíveis²⁵ e eólica²⁶, por grupos ligados a organismos multilaterais, organizações multi-*stakeholders*, que abarcam empresas públicas e privadas, academia, órgãos setoriais, ONGs ambientais, sociais e de direitos humanos, dentre outros.

Num contexto em que os riscos de incremento dos custos de energia são consideráveis, o acesso à oferta segura de energia é identificado como um fator crucial para o desenvolvimento humano. Por esse motivo e também porque algumas alternativas renováveis mostram-se mais adequadas para atender a demanda por energia em áreas isoladas, reconhece-se que a expansão das energias renováveis contribui para a erradicação da pobreza.

Todos esses debates refletem o amadurecimento das energias renováveis como parte da solução para problemas associados ao desenvolvimento sustentável e se dá em meio à expansão da utilização do uso dessas alternativas para geração de energia tanto em países desenvolvidos quanto em desenvolvimento. Desde 1990, percebe-se um crescimento particularmente alto da geração de energia à base de algumas “novas alternativas”, como eólica e solar, a uma taxa de 19% ao ano, garantindo às fontes renováveis um crescimento médio de 1,7% ao ano, acima do crescimento observado da oferta primária total de energia (TPES, da sigla em inglês) mundial.

Apesar de tal expansão, aproximadamente 80% da demanda de energia global ainda é atendida por carvão, petróleo e gás natural. A biomassa sólida tradicional, principalmente na forma de lenha, é a maior fonte primária de energia renovável, sobretudo por ainda ser muito utilizada para cozinhar e para aquecimento em países em desenvolvimento, representando, em conjunto com resíduos²⁷, cerca de 10% da oferta primária total de energia (TPES, da sigla em inglês) ou 77% da oferta total de renováveis. Afora a biomassa tradicional, apenas a geração de energia por meio de grandes hidrelétricas (GHE) é representativa no contexto global.

Mas há que se considerar que os projetos de energias renováveis contribuem também para a segurança energética de países – o principal aspecto considerado na formulação dos planos nacionais de desenvolvimento energético, entendendo-se esse tema emergente na agenda política global em seu significado mais amplo, que abarca mais do que apenas confiabilidade no fornecimento de energia –, em grande parte relacionada ao suprimento de petróleo e, em

menor escala, gás natural, mas também para a segurança da infraestrutura de geração de energia, dos fluxos de investimento, da disponibilidade de recursos no longo-prazo, do rendimento dos fornecedores, de riscos de flutuação de preço para consumidores e de acesso a energia.

Em relação à disponibilidade de recursos no longo-prazo, apenas as reservas mundiais de carvão mineral mostram-se aptas para, sozinhas, atender a atual demanda energética global por vários séculos, o que se as configuram como uma alternativa à dependência de petróleo no futuro²⁸. Daí apontar-se que serão as restrições ambientais, mais do que as limitações de oferta, os principais catalisadores da expansão das novas energias renováveis para além da tímida participação na TPES atualmente percebida.

Se as reservas de carvão mostram-se amplas, mais vasto ainda é o potencial de exploração das alternativas energéticas como eólica, solar e biomassa. Analisando-se apenas esta última, dos cerca de 100 mil terawatts de fluxo de energia solar que atingem a superfície do planeta, aproximadamente 4 mil terawatts incidem sobre 1,5 bilhão de hectares de áreas cultivadas do mundo. Considerando-se uma eficiência de 1% na conversão de energia pelas modernas tecnologias de biomassa, chega-se a 40 TW, o equivalente a mais que três vezes o fluxo atual da oferta primária de energia global. Apesar de tamanho potencial, a contribuição da moderna biomassa na atual oferta de energia é ainda da ordem de 0,17 GW. Há ainda espaço para, novas tecnologias promissoras, que envolvem sistemas integrados em que a biomassa é utilizada como combustível e como matéria prima na coprodução de combustíveis líquidos para transporte e eletricidade, como se dá com a experiência brasileira a partir do etanol de cana-de-açúcar²⁹.

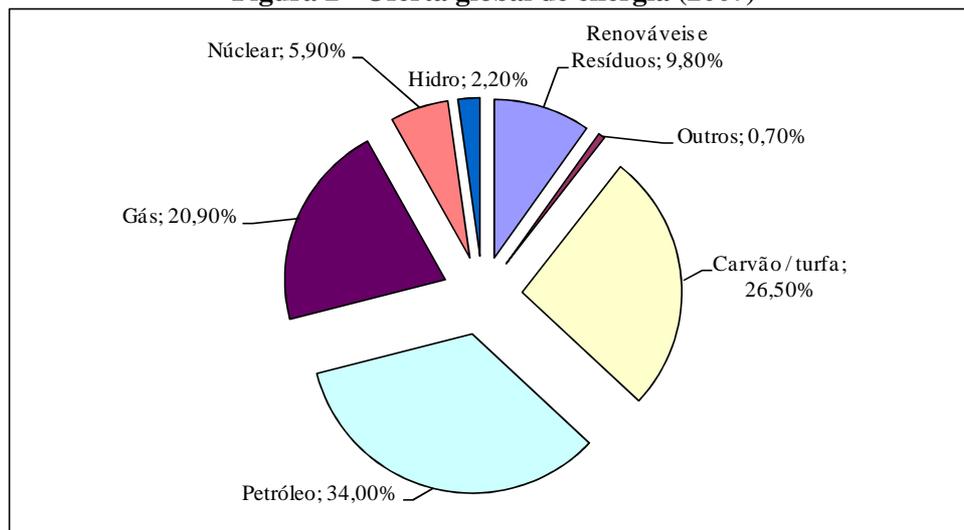
Há, portanto, grande espaço para que a humanidade evolua em direção a uma economia baseada em energias renováveis. Tal transição não será abrupta, mas já se encontra em curso, indubitavelmente, como se perceberá ao longo deste estudo.

4. Energias renováveis na oferta mundial de energia

Há um enorme potencial global inexplorado de produção de energia renovável, o qual se mostra distribuído por países desenvolvidos e em desenvolvimento, e a maior utilização de *commodities* de energias renováveis para atendimento da demanda energética global é um elemento-chave na transição para uma economia verde em razão do impacto reduzido em emissões de GEE que as caracteriza, do período relativamente curto demandado para implementação de algumas tecnologias e também em razão do potencial de geração de novos modelos de negócios e empregos verdes.

Mas, apesar da grande repercussão do debate em torno do uso de energias renováveis no início do século XXI, em 2007, pouco mais de 87% da oferta interna de energia no mundo – incluindo-se combustíveis, eletricidade e calor – era proveniente de fontes não-renováveis, com especial destaque para petróleo, carvão e gás natural, que respondem em conjunto por cerca de 82% da oferta global de energia. A energia proveniente de hidrelétricas, biocombustíveis líquidos, biomassa sólida e resíduos respondeu por 12%, e alternativas em grande evidência como solar, eólica e geotérmica desempenharam um papel pouco representativo na oferta de energia: menos de 1% (Figura 2).

Figura 2 - Oferta global de energia (2007)



*Outros inclui energias geotérmica, eólica, solar, etc.
Fonte: World Energy Outlook 2009

Tal cenário se explica pelo fato de que em muitos países, as políticas nacionais de energia ainda respondem majoritariamente a preocupações com segurança energética, uma fonte de tensões geopolíticas e vulnerabilidade econômica. Se tais políticas têm como objetivo central a garantia de suprimentos convencionais de energia, como petróleo e, em menor escala, gás natural ou carvão mineral, que forças poderiam reorientá-las às energias renováveis?

Muitos crêem que apenas a escassez de tais insumos seria capaz de tal mudança de foco, mas novas reservas desses insumos não-renováveis vêm sendo anunciadas, como o caso brasileiro de exploração do pré-sal. Além disso, apenas as reservas mundiais de carvão mineral já aferidas são capazes de atender, sozinhas, vários séculos de consumo continuado nos níveis atuais, podendo oferecer ainda uma alternativa ao petróleo num futuro em que esse recurso torne-se escasso³⁰.

Mais do que restrições de oferta de insumos não-renováveis, são os limites ambientais que colocam o modelo energético atual em xeque. A baixa representatividade das fontes renováveis, sobretudo das modernas formas de energia renovável – solar, eólica e biocombustíveis, dentre outras – dá a dimensão global do desafio da transição para uma economia de baixo carbono.

Não há como se negar, contudo, que tal transição já esteja em curso: no período 2007/08, a produção de biocombustíveis apresentou expansão tanto em etanol (34%) quanto em biodiesel (33%) e a capacidade global de geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis, excluindo-se grandes hidrelétricas, cresceu em 16%. Ainda no mesmo período, crescimentos significativos são verificados também na capacidade de geração de energias de fonte eólica (29%), solar fotovoltaica conectada (73%) e isolada da rede de transmissão (86%) (Quadro 1). Em 2008, reduzindo-se o escopo da análise à capacidade de geração de energia elétrica, a participação de fontes renováveis (1.140 GW) passou a representar 24% da capacidade global instalada.

Quadro 1 - Oferta de energia de fontes renováveis (2006 - 2008)

Indicadores	2006	2007	Variação 2006-07	2008	Variação 2007-08	Unidade
Capacidade instalada de renováveis (excl. grandes hidrelétricas)	207	240	16%	280	16%	GW
Capacidade instalada de renováveis (incl. grandes hidrelétricas)	1.020	1.070	5%	1.140	7%	GW
Capacidade Energia Eólica	74	94	27%	121	29%	GW
Capacidade Energia Solar Fotovoltaica (conectada à rede)	5,1	7,5	47%	13	73%	GW
Produção Solar Fotovoltaica (anual)	2,5	3,7	48%	6,9	86%	GW
Capacidade Solar para Aquecimento de Água	105	126	20%	145	15%	GWth
Produção de Etanol (anual)	39	50	28%	67	34%	bilhões de litros
Produção de Biodiesel (anual)	6	9	50%	12	33%	bilhões de litros

Fontes: REN 21

Descontando-se a capacidade das grandes hidrelétricas, dos 280 GW de capacidade instalada de energia elétrica de fontes renováveis, 43% encontra-se em países em desenvolvimento (119 GW), e 34% na União Européia³¹ (96 GW). China (27%), Estados Unidos (14%) e Alemanha (12%) respondem por 55% da capacidade global. O Brasil participa com aproximadamente 2% da capacidade instalada global de eletricidade renovável (5 GW), valor que atinge 8% quando a participação das grandes hidrelétricas (81 GW) é considerada (Quadro 2).

Quadro 2 - Capacidade instalada de energia elétrica de fontes renováveis (2008)

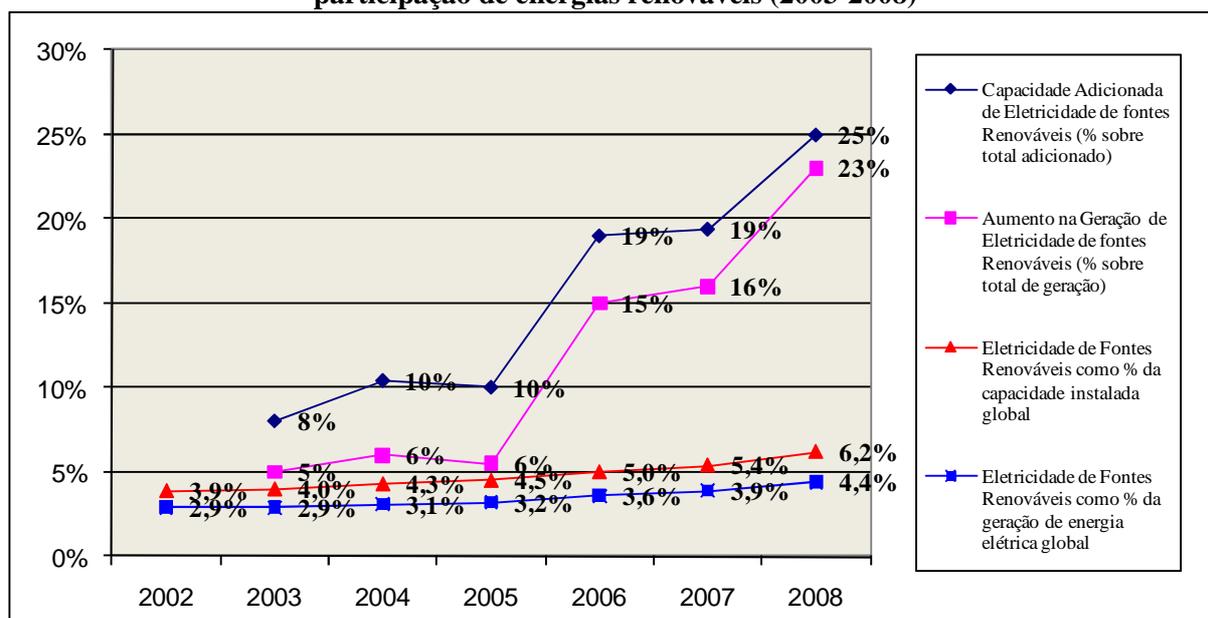
Tecnologia	Países em		Estados							
	Mundo	Desenvolvimento	EU-27	China	Estados Unidos	Alemanha	Espanha	Índia	Japão	Brasil
Gigawatts (GW)										
Eólica	121	24	65	12,2	25,2	23,9	16,8	9,6	1,9	0,3
PCH	85	65	12	60	3	1,7	1,8	2	3,5	4,0
Biomassa	52	25	15	3,6	8	3	0,4	1,5	>0,1	1,0
Solar Fotovoltaica*	13	>0,1	9,5	>0,1	0,7	5,4	3,3	~0	2	~0
Geotérmica	10	4,8	0,8	~0	3	0	0	0	0,5	0
Solar Térmica	0,5	0	0,1	0	0,4	0	0,1	0	0	0
Energia dos Oceanos	0,3	0	0,3	0	0	0	0	0	0	0
Total Renováveis (excl. grandes hidrelétricas)	280	119	96	76	40	34	22	13	8	5
Para comparação										
Grandes Hidrelétricas	860									81
Capacidade Total	4700									102

3

As fontes renováveis corresponderam a 25% (40 GW) do total adicionado em capacidade instalada de energia elétrica em 2008 (160 GW), levando-as a 6,2% da capacidade global. No mesmo período, as fontes renováveis corresponderam a 23% do acréscimo na geração de energia elétrica global, e a 4,4% do total de energia efetivamente gerada no ano (Figura 3). Mas, se considerada a capacidade acrescida por grandes hidrelétricas (25 GW) em conjunto com as demais fontes renováveis, a participação no adicionado à capacidade instalada global representa 41%.

Dentre os poucos dados apresentados em relação ao ano de 2009, merece destaque o acréscimo de 62% de energia de fontes renováveis na nova capacidade de geração de eletricidade instalada na União Européia, com especial destaque para energia eólica (37%) e solar fotovoltaica (21%). Tal acréscimo elevou para 20% a participação de energias renováveis no atendimento da demanda de energia elétrica total da região³².

Figura 3 - Capacidade instalada e geração de energia em escala global: participação de energias renováveis (2003-2008)



Fonte: Adaptado de UNEP SEFI e New Energy Finance (2009).

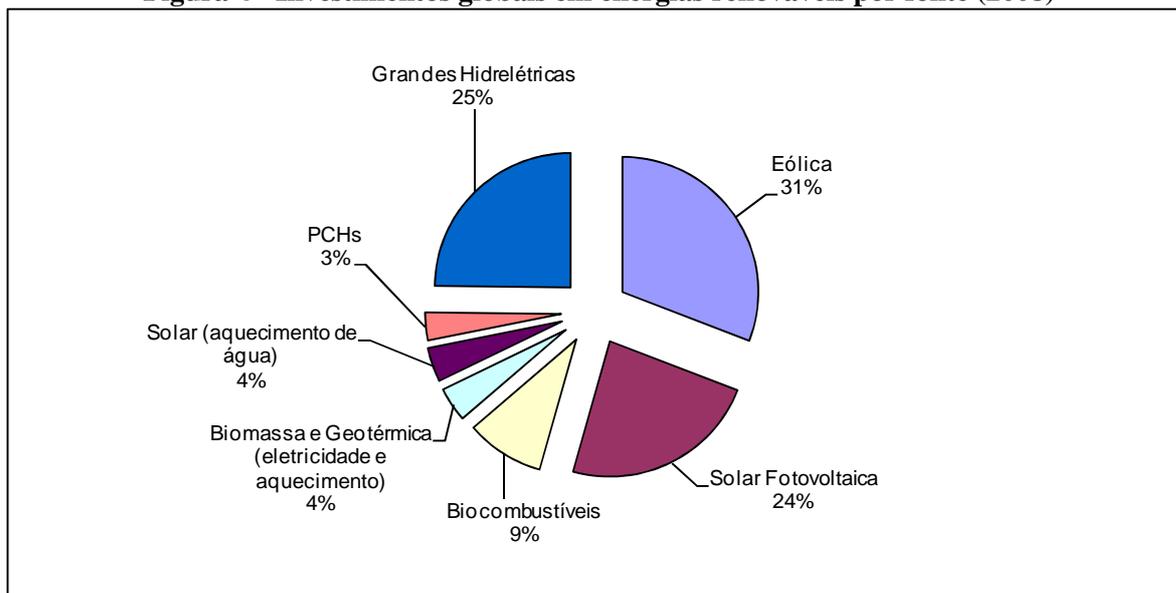
Tais aspectos reforçam a necessidade de se acelerar o desenvolvimento de tecnologias menos carbono-intensivas a serem implementadas de forma combinada e que permitam o uso mais eficiente e ambientalmente adequado de alternativas amplamente utilizadas atualmente, como gás-natural – apontado como o principal combustível-ponte da transição, carvão mineral – o combustível fóssil mais abundante do mundo, e nuclear – que oferece energia de baixo teor de carbono, mas demanda o equacionamento de problemas como disposição de resíduos, segurança pública (vulnerabilidade a atos de terrorismo) e proliferação de armas³³. Vale ressaltar que tais alternativas intermediárias a um modelo energético sustentável não são objeto deste estudo, cujo foco está em energias renováveis.

Os dados apresentados nesta seção apontam a robustez do processo de expansão da geração de energia a partir de fontes renováveis na oferta global de energia, incluindo não apenas países desenvolvidos como Estados Unidos, Alemanha, Espanha e Japão, mas também países em desenvolvimento como China e Índia, protagonistas em energia eólica. Tal processo é analisado a seguir, sob o ponto de vista de investimentos em energias renováveis.

5. Investimentos em energias renováveis

Em 2008, os investimentos globais em energias renováveis foram da ordem de US\$ 160 bilhões, dos quais US\$ 40 bilhões (25%) em grandes hidrelétricas (Figura 4). O investimento em renováveis superou o de tecnologias baseadas em combustíveis fósseis (cerca de US\$ 110 bilhões) pela primeira vez na história. Foi também o primeiro ano em que mais energia de fonte renovável do que convencional foi adicionada à capacidade de geração de energia elétrica tanto nos Estados Unidos quanto na União Européia.

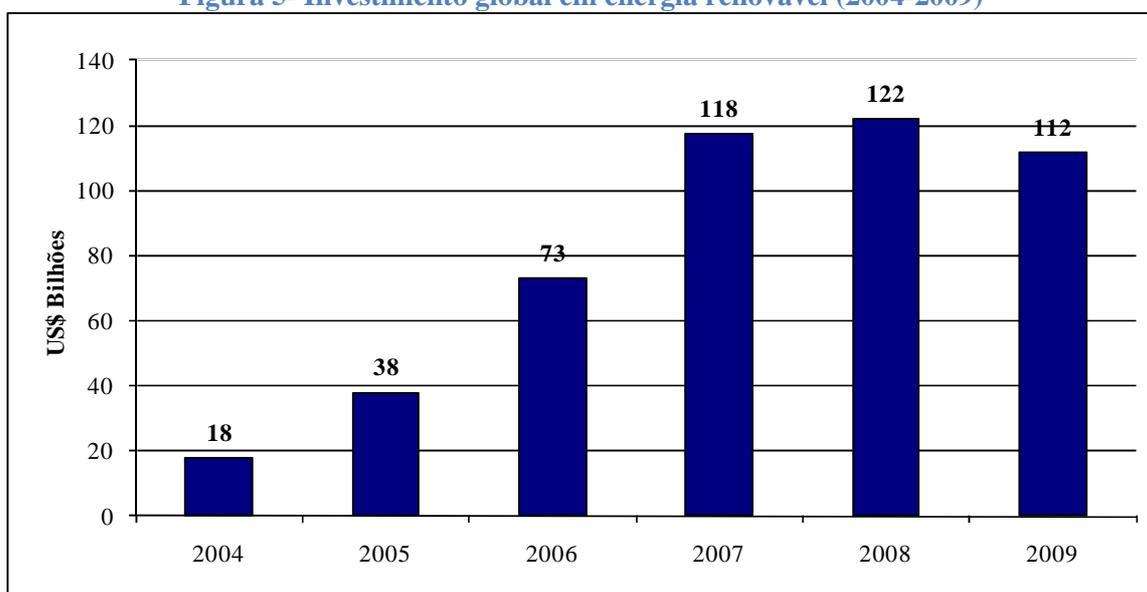
Figura 4 - Investimentos globais em energias renováveis por fonte (2008)



Fonte: REN 21, UNEP (2009).

Dos US\$ 120 bilhões investidos, 87% estão concentrados em energia eólica, solar fotovoltaica, e refinarias de biocombustíveis. Todavia, a recente crise econômica teve desdobramentos também sobre o setor de renováveis e, em 2009, houve uma queda de 8,6% frente a 2008, desconsiderando os investimentos em grandes hidrelétricas (Figura 5).

Figura 5- Investimento global em energia renovável (2004-2009)



Fonte: New Energy Finance

Os Estados Unidos lideraram o ranking de investimentos em 2008, com cerca de US\$ 24 bilhões³⁴, com os principais destinos sendo a energia eólica e os biocombustíveis. Espanha, China e Alemanha tiveram investimentos na faixa de US\$ 15 a 19 bilhões, com o Brasil aparecendo como quinto maior player global no setor com US\$ 5 bilhões, graças principalmente aos biocombustíveis. Os demais principais países investidores em energias renováveis no ano de 2008 são apresentados em Quadro 3.

Quadro 3 - Principais países investidores em energias renováveis (2008)

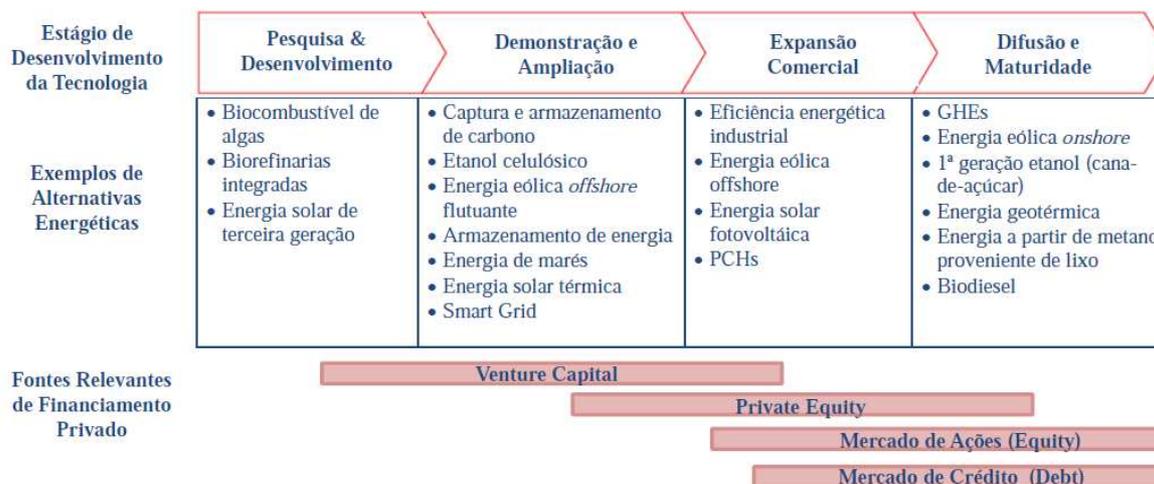
Principais Países	#1	#2	#3	#4	#5
Investimentos para aumento de capacidade	Estados Unidos	Espanha	China	Alemanha	Brasil
Eólica Adicionada	Estados Unidos	China	India	Alemanha	Espanha
Solar FV Adicionada	Espanha	Alemanha	Estados Unidos		
Solar Térmica Adicionada	China	Turquia	Alemanha	Brasil	França
Produção Etanol	Estados Unidos	Brasil	China	França	Canada
Produção Biodiesel	Alemanha	Estados Unidos	França	Argentina	Brasil

Fonte: REN 21

Além dos valores mencionados previamente, as indústrias eólica e solar fotovoltaica receberam grandes aportes de capital em novas instalações e equipamentos para elevar a capacidade produtiva, e os investimentos em pesquisa e desenvolvimento atingiram a casa dos US\$ 20 bilhões em 2009.

Alternativas como energia eólica *onshore* e etanol de cana-de-açúcar encontram em avançado estágio de maturidade para investidores, seguidas por tecnologias como eólica *offshore* e solar fotovoltaica (Quadro 4). Os investimentos via *venture capital* e *private equity*, essenciais para a difusão de inovações no mercado, responderam, em 2008, por US\$ 13,5 bilhões em investimentos, dos quais US\$ 350 milhões em etanol de segunda geração (celulósico).

Quadro 4 - Estágio de maturidade de tecnologias para sustentabilidade energética



Fonte: Adaptado de World Economic Forum. Green investing 2010.

Os países em desenvolvimento também observaram considerável crescimento nos mecanismos de auxílio ao financiamento em energias renováveis, que atingiram US\$ 2 bilhões, com iniciativas como as do banco de desenvolvimento estatal alemão KfW – que disponibilizou um total de US\$ 970 milhões através de fundos públicos e privados em países em desenvolvimento; do Banco Mundial (US\$ 280 milhões); do Banco de Desenvolvimento Asiático (US\$ 200 bilhões); e do Banco de Desenvolvimento Interamericano (US\$ 200 bilhões) dentre outros.

O setor de energias renováveis também sofreu com os impactos da crise financeira no final de 2008, embora de forma menos aguda que outros setores, dado que os investimentos totais no primeiro semestre de 2009 caíram 15,6% frente ao mesmo período de 2008³⁵.

Apesar da fuga de capital dos setores de risco ou em crescimento, muitos projetos continuaram em desenvolvimento, notadamente aqueles com o suporte de políticas favoráveis, como as tarifas *feed-in*, descritas no próximo item.

6. Políticas públicas para energias renováveis

É possível dividir as políticas públicas de estímulo às energias renováveis em dois grandes grupos: instrumentos fiscais e de mercado. No primeiro figuram as transferências de recursos entre agentes privados e o setor público por meio de subsídios diretos e incentivos tributários. No segundo estão as transferências de recursos (transações) entre agentes privados em mercados regulados pelo governo, como por exemplo, as permissões comercializáveis.

Algumas dessas políticas são apresentadas a seguir³⁶:

- Tarifas *feed-in*: mecanismo que garante que a energia renovável tenha garantido seu acesso à rede de transmissão por meio de contratos de longo prazo e de preços que permitam competição com as demais alternativas que acrescentam energia à rede. Busca-se, em última instância, tornar o fornecimento de energia renovável economicamente viável e competitiva com as alternativas menos limpas, em geral, mais baratas. Pode ser entendido como um sistema de preço mínimo.
- Investimento público direto: o governo toma o papel do investidor/empreendedor e vira sócio de empreendimentos em energias renováveis.
- Linhas de crédito e empréstimos públicos: o governo fornece linhas de crédito e empréstimos específicos para projetos de energias renováveis. Essas linhas de crédito geralmente têm taxas de juros mais baixas do que as praticadas no mercado.
- Leilões públicos: o governo organiza leilões públicos para compra de energia elétrica renovável.
- Subsídios públicos: o governo fornece subsídios que fomentam energias renováveis, de bolsas para pesquisa e desenvolvimento a recursos para auxílio no desenvolvimento de projetos de energia renovável, dentre outros.
- Incentivos fiscais: o governo oferece algum tipo de isenção de impostos para os agentes econômicos (empresas, consumidores) envolvidos em projetos de energia renovável.
- Proporção de consumo renovável (*Renewable Portfolio Standards*): política que impõe a exigência de que parte da energia consumida venha de fontes renováveis. Tal obrigação pode recair tanto sobre a concessionária central de energia de um país, como também, de forma mais pulverizada, diretamente nas empresas que demandam energia para suas atividades.
- Certificados de energia renovável comercializáveis: certificados são entregues a consumidores que tiveram parte do seu consumo de energia elétrica suprido por fontes renováveis. Os portadores dos certificados podem trocar ou comercializar tais certificados num mercado de energia regulamentado pelo governo ou voluntário.
- *Net metering*: mecanismo utilizado para que instalações (residências, prédios corporativos, etc.) que possuam algum tipo de geração de energia renovável possam vender à rede a energia elétrica renovável gerada que exceda o seu consumo de energia. Combina características de sistemas de cotas e sistemas de preço mínimo.³⁷

As primeiras políticas de incentivo a energias renováveis surgiram na década de 1980, nos países escandinavos, mas foi principalmente a partir de 1998 que a adoção de políticas públicas para promover energias renováveis ganhou maior relevância. Há, atualmente, metas oficiais para energias renováveis em pelo menos 73 países, dentre os quais cerca de 20 países em desenvolvimento. São metas que predominantemente determinam uma proporção da produção de energia que deve obrigatoriamente vir de fontes renováveis, para o período de 2012 a 2020.³⁸

Mais recentemente, estudos publicados por distintas instituições³⁹ consolidam a visão de que não há um só tipo de política pública melhor do que as demais para o incentivo às energias renováveis: o caminho mais adequado passa pela combinação de vários tipos de políticas que sejam complementares entre si e incentivem diferentes vertentes tecnológicas. Por exemplo, enquanto alguns tipos de políticas podem ser mais apropriados ao fomento de tecnologias ainda pouco desenvolvidas, como etanol de terceira geração, outras políticas são mais eficazes para tecnologias em estágio de maturação mais avançado, como a eólica.

Ao longo da análise dos cenários por energia renovável (item 7) são apresentadas as principais políticas públicas adotadas em países que ocupam papel de destaque no desenvolvimento da alternativa em análise. Contudo, o exame detalhado dessas políticas públicas é o foco do terceiro estudo desta série (um *policy paper*).

7. Energias renováveis no contexto brasileiro

O Brasil apresenta aproximadamente 45% de sua oferta total de energia – que inclui eletricidade, combustíveis e demais fontes – proveniente de recursos renováveis. É um valor expressivo no contexto internacional, mas que apresenta tendência de baixa se comparado com 2007. Restringindo a análise apenas para oferta de energia elétrica, o modelo adotado pelo Brasil no século XX, lastreado na geração a partir de hidrelétricas faz com o que país apresente um componente renovável elevado: 85,4% da oferta de eletricidade, em 2008 foram provenientes de fonte limpa (Quadro 5).

Quadro 5 - Participação de fontes renováveis na matriz energética brasileira (2007-08)

Fontes	Oferta Interna de Energia Elétrica		Oferta Interna de Energia	
	2008	2007	2008	2007
Energia Não Renovável	14,6%	10,8%	54,7%	54,1%
Gás Natural	6,6%	3,5%	10,3%	9,3%
Derivados de Petróleo	3,3%	3,0%	36,7%	37,4%
Nuclear	3,1%	2,8%	1,5%	1,4%
Carvão e Derivados	1,6%	1,5%	6,2%	6,0%
Energia Renovável	85,4%	89,2%	45,3%	45,9%
Hidráulica	80,0%	84,0%	13,8%	14,9%
Biomassa*	5,3%	5,1%	28,0%	27,9%
Eólica e demais renováveis	0,1%	0,1%	3,5%	3,2%

Fonte: EPE 2009. * Biomassa compreende produtos de cana-de-açúcar, lenha e carvão vegetal

Na oferta de energia elétrica, fica claro o foco nas grandes hidrelétricas, responsáveis por 80% da geração, e na biomassa, sobretudo a partir do bagaço de cana-de-açúcar em projetos de co-geração, em detrimento das demais formas de energia renovável, como eólica e solar.

De acordo com o Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica 2010-2019, prevê-se a redução das fontes renováveis para 82,7% da oferta de energia elétrica e a manutenção das grandes hidrelétricas como fonte principal, ainda que com menor relevância – respondendo por cerca de 70% da oferta de eletricidade no país até 2019 (Quadro 6).

Quadro 6 - Capacidade instalada por fonte de geração de energia elétrica (MW) 2010-19

Energias não-renováveis								
Ano	Óleo Diesel	Urânio	Gás Natural	Óleo Combustível	Carvão	Gás de Processo	Total	
2010	1.728	2.007	8.860	3.380	1.765	687	18.427	16%
2013	1.356	2.007	11.327	8.864	3.205	687	27.446	21%
2016	1.149	3.412	11.533	8.864	3.205	687	28.850	20%
2019	1.149	3.412	11.533	8.864	3.205	687	28.850	17%
Energias renováveis							Total Geral	
Ano	Hidro	PCH	Biomassa	Eólica	Total			
2010	83.169	4.043	5.380	1.436	94.028	84%	112.455	
2013	88.499	4.516	6.671	3.641	103.327	79%	130.773	
2016	100.476	5.816	7.621	4.841	118.754	80%	147.604	
2019	116.699	6.966	8.521	6.041	138.227	83%	167.077	

Fonte: Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica 2010-2019, EPE 2010.

Vale mencionar o crescimento previsto da capacidade instalada no país para pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) (4,2%), biomassa (5,1%) e eólica (3,6%), que passarão a responder por 12,9% em 2019, ante 9,7% em 2010. Essas três fontes foram as contempladas pelo Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), iniciativa do Ministério de Minas e Energia para fomento de tecnologias alternativas, instituída em 2002, que apresentou inicialmente 144 projetos contratados (dos quais 7 foram cancelados), totalizando 3.155 MW de capacidade adicionada até o final de 2010⁴⁰.

Mas, além da expansão planejada da geração de energia por fontes renováveis, prevê-se uma contribuição maior de termelétricas a óleo combustível – cuja capacidade de geração deve ser incrementada em 162% até o final da década de 2010, chegando a 8.900 MW.

Os setores industrial (39,6%) e de transportes (29,1%) são os principais responsáveis pelo consumo energético do país. Como comparação, o consumo domiciliar responde por 10,8%. Do consumo em transportes, cerca de 16% é atendido por etanol – 11% na forma de álcool hidratado, para o abastecimento de carros a álcool ou flex fuel, e 5,5% como álcool anidro, adicionado à gasolina na proporção de 25%. Ressalta-se a tendência de incremento dessa participação em razão da crescente representatividade de veículos com tecnologia *flex fuel* na frota brasileira.⁴¹

Vale ressaltar que produtos de cana-de-açúcar responderam por 18,3% do consumo energético nacional em 2008: sendo 13,5% a partir do bagaço de cana-de-açúcar e 4,8% pela oferta de etanol.⁴²

Embora as perspectivas oficiais acerca da matriz energética brasileira na próxima década revelem a manutenção de uma matriz predominantemente renovável em eletricidade e o incremento do consumo de biocombustíveis em transportes, pouca relevância é dada a um tópico essencial, a eficiência energética, que visa a redução do consumo energético necessário para a obtenção de uma mesma quantidade de produto nos setores industrial, de transportes e residencial, dentre outros.

O Plano Decenal apresenta cenários extremamente modestos para a conservação⁴³ de energia (Quadro 7), embora a meta de redução no consumo de eletricidade (3,2% em 2019) seja suficiente para retardar a construção de uma hidrelétrica de aproximadamente 4.800 MW de capacidade nominal. Como comparação, o projeto da GHE Belo Monte prevê capacidade instalada de 11.233 MW e pode ter geração média de 4.500 MW, em razão da perda de vazão do rio Xingu no verão, época de seca na região.

Quadro 7 - Previsão de consumo de energia (eletricidade e combustíveis) - Brasil 2010-19

Consumo	2010	2014	2019
Consumo - sem conservação (10 ³ tep)	184.110	235.628	309.229
Energia conservada (10 ³ tep)	1.467	5.481	13.325
Energia conservada (%)	0,8%	2,3%	4,3%
Consumo - com conservação (10 ³ tep)	182.644	230.148	295.904

Fonte: Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica 2010-2019, EPE 2010.

Em relação à opção brasileira por privilegiar projetos de GHE, devem ser considerados os crescentes questionamentos em relação aos impactos de hidrelétricas no meio ambiente – em biodiversidade e emissão de GEE associados à inundação de áreas nativas por grandes reservatórios d'água – nas comunidades que vivem em áreas afetadas pelos projetos, que acabam por ser involuntariamente reassentadas, além do impacto social decorrente do processo de instalação dos empreendimentos.

Para além das críticas a impactos sociais e ambientais diretos, a própria eficiência de um modelo de geração de eletricidade baseada em GHE, cada vez mais distantes dos principais centros consumidores, também é questionado em razão das maiores perdas na transmissão da energia e da maior vulnerabilidade que caracteriza os sistemas centralizados em comparação aos descentralizados.

Além disso, os processos de licenciamento ambiental para GHE, assim como os de PHE, têm se mostrado demasiado morosos por razões que vão desde a qualidade dos projetos apresentados até a capacidade inadequada dos órgãos governamentais responsáveis para fazer frente à demanda por licenças ambientais, passando pela maior complexidade inerente a análise de impactos de GHE em áreas como a Amazônia. Tal lentidão afasta potenciais investidores de hidrelétricas e, por vezes, aproxima-os de outras alternativas cujo processo de licenciamento mostra-se menos complexo, como por exemplo, termelétricas a óleo combustível, colocando em risco o planejamento energético do país.

Nesse cenário, muitos crêem que é impossível atender a crescente demanda de energia elétrica brasileira prevista até 2019, substituindo os acréscimos apontados de GHE (33,5 GW) e PHE (2,9 GW) por meio de outras energias renováveis, em razão de custos não competitivos e do nível de maturidade dessas tecnologias. Por essa análise, não há como o país manter na casa dos 80% o componente de energia limpa na oferta de eletricidade no Brasil se não por meio de hidrelétricas.

Mas se soa ingênuo pensar a substituição integral das novas hidrelétricas por energia eólica, solar ou biomassa, não seria possível para o Brasil ao menos estabelecer metas mais ambiciosas para incremento da participação dessas alternativas renováveis na oferta de energia elétrica brasileira, estimulando a ciência, tecnologia e inovação nesses segmentos, de forma semelhante ao que vem ocorrendo no país em transportes, por meio da retomada do consumo do etanol alavancada pela tecnologia *flex fuel*?

A resposta a essa questão demanda a análise em separado da relevância de algumas energias renováveis no contexto energético internacional. Examina-se a seguir quais países desempenham papel de destaque em oferta interna de energia, desenvolvimento tecnológico e participação no comércio internacional para as alternativas eólica, solar e biocombustíveis (etanol e biodiesel), e, em menor nível de detalhamento, energia geotérmica e dos mares. Avalia-se ainda quais os desafios enfrentados para que tais alternativas ganhem escala, bem como de que forma tais alternativas oferecem oportunidades para o Brasil.

Para além do debate sobre incrementar ou não a oferta de energias renováveis no Brasil, vale ressaltar a necessidade de se consumir com maior eficiência a energia gerada a partir de fontes renováveis ou não. A análise do tema eficiência energética é objeto do segundo estudo desta série.

8. Energias renováveis: análise por fonte de energia

As principais fontes de energias renováveis são examinadas a seguir em relação à participação no mercado de geração de energia, principais players (países e empresas), competitividade e rota tecnológica. Nos casos de energia eólica, solar fotovoltaica e biocombustíveis examina-se a representatividade dessas alternativas no Brasil.

8.1. Eólica

Embora considerada uma das “novas” alternativas de energia renovável, a energia eólica era utilizada desde a antiguidade para propulsar embarcações e, através de moinhos de vento, transformada em energia mecânica para drenar canais ou moer grãos. O vento também passou a ser utilizado para geração de energia elétrica por meio de turbinas eólicas, com base em princípio semelhante ao dos antigos moinhos.

A moderna indústria eólica surgiu no final da década de 1970, através dos esforços de pesquisa dinamarqueses, podendo ser considerada atualmente uma das formas de geração de energia elétrica renovável mais maduras e competitivas. Tal maturidade é comprovada pelos €50 bilhões movimentados pelo setor em 2009, pelo crescimento de 32% na capacidade instalada existente no planeta, a qual atingiu assim um total de 159 GW, e pelo emprego de cerca de 550 mil pessoas em 82 países⁴⁴.

A consolidação da energia eólica na geração de eletricidade no século XXI deriva principalmente do fato de seu principal recurso, o vento, ser gratuito, abundante em diversas regiões e inesgotável. Outra vantagem tecnológica é que as turbinas modernas não emitem gases de efeito-estufa durante sua operação e não demandam água para resfriamento. Além disso, pouco tempo é necessário para a construção de parques de aerogeradores – podem ser erguidos em menos de um ano – em comparação com outras alternativas renováveis, como as hidrelétricas.

A energia elétrica de fonte eólica é majoritariamente gerada em áreas continentais (*onshore*), mas ganha força mais recentemente a geração a partir de parques eólicos *offshore*: grandes corpos de água, principalmente no oceano, mas também em lagos e fiordes. Além de apresentarem menores impactos sonoros e visuais, a instalação de turbinas no oceano permite maior capacidade de geração, já que turbinas maiores podem ser instaladas, ficando expostas a ventos mais velozes e constantes, o que pode, em breve, justificar os custos mais altos de transmissão da energia gerada até as áreas de consumo, em terra firme.

Mercado

Dinamarca, Estados Unidos, Alemanha e Espanha podem ser considerados países pioneiros tanto no desenvolvimento e implementação da energia eólica, quanto na adoção de políticas específicas que garantiram o progresso desse setor nesses países. Não por acaso, tais países figuram no ranking de maior capacidade instalada *onshore* (Quadro 8): em 2009 a capacidade instalada de energia eólica cresceu 38 GW. Estados Unidos, Alemanha, China e Espanha respondem por 67% da capacidade instalada mundial.⁴⁵ Vale ressaltar as altas taxas de crescimento apresentadas pela China, que, embora tenha começado tardiamente a destinar maior atenção ao setor, apresentou 113% de crescimento em 2009 frente a 2008 e multiplicou em mais de 10 vezes a capacidade instalada em apenas 3 anos.

Quadro 8 - Energia eólica total: ranking de capacidade instalada

Posição em 2009	País / Região	Total Capacidade Instalada final 2009 (MW)	Capacidade Adicionada 2009 (MW)	Taxa de Crescimento em 2009 (%)	Posição 2008	Total Capacidade final 2008 (MW)	Total Capacidade final 2007 (MW)	Total Capacidade final 2006 (MW)
1	EUA	35.159	9.922	39	1	25.237	16.823	11.575
2	China	26.010	13.800	113	4	12.210	5.912	2.599
3	Alemanha	25.777	1.880	8	2	23.897	22.247	20.622
4	Espanha	19.149	2.460	15	3	16.689	15.145	11.630
5	Índia	10.925	1.338	14	5	9.587	7.850	6.270
6	Itália	4.850	1.114	30	6	3.736	2.726	2.123
7	França	4.521	1.117	33	7	3.404	2.455	1.567
8	Reino Unido	4.092	897	28	8	3.195	2.389	1.963
9	Portugal	3.535	673	24	10	2.862	2.130	1.716
10	Dinamarca	3.497	334	11	9	3.163	3.125	3.136

Fonte: World Wind Energy Report 2009 - World Wind Energy Association

Ainda em 2009, a capacidade total instalada *offshore* atingiu 1,95 GW, dos quais 454 MW foram adicionados em 2009. Os países com os maiores parques instalados *offshore* são Reino Unido (688 MW), Dinamarca (664 MW) e Holanda (247 MW), sendo novamente relevante ressaltar o crescimento de 1050% apresentado pela China, atingindo 23 MW⁴⁶.

Projeta-se para 2030, em termos globais, que a capacidade de geração de energia eólica seja de 920 GW, sendo 800 GW *on-shore* e 120 GW *off-shore*.⁴⁷

As primeiras turbinas produzidas em escala comercial datam do final da década de 1970. Elas foram manufaturadas por empresas dinamarquesas como: Vestas, Kuriant, Nordtank e Bonus. A maioria das principais empresas produtoras de turbinas eólicas é de origem europeia e a dinamarquesa Vestas é líder mundial, operando também em eólica *offshore*. Todavia, a presença das chinesas Goldwind e Sinovel na lista revela a crescente importância desse país no mercado eólico (Quadro 9).

A China possui o maior parque produtor de turbinas do planeta, com mais de 40 empresas atuando na área – ainda que em estágios de desenvolvimento diferentes – e, até o momento, atendendo somente a demanda interna.

Buscando tornar a exploração *offshore* mais economicamente viável, empresas como a Siemens, Norks Hydro, dentre outras, estão desenvolvendo projetos de turbinas que flutuam – não precisam ser fixadas ao solo de oceanos, rios e lagos – uma tecnologia que potencialmente irá diminuir os custos de implantação de turbinas para geração *offshore*.

Quadro 9 - Principais empresas de geradores eólicos (2007)

Potência	Mais de 1 MW	Mais de 1,5 MW	Mais de 2,5 MW	Entre 2,5 - 5 MW	5 MW ou mais
Maiores produtores do Mundo (2007)		Acciona (Espanha) Goldwind (China) Sinovel (China)	Gamesa (Espanha) General Electric (EUA) Nordex (Alemanha) Suzlon (India)	Siemens (Alemanha/ Dinamarca) Vestas (Dinamarca)	Enercon (Alemanha)
Outros Produtores (2007)	Conergy (Alemanha) Unison (Korea) Vergner (França) Windflow (Nova Zelândia)	Alstom-Ecotécnica (França/Espanha) CDK (R. Tcheca) Dongfang (China) Eozen (Espanha.) Huayi (China) New United (China) Torres (Espanha) Vensys (Chile/Alemanha)	Clipper (EUA) CTC/Dewind (EUA/ Alemanha) Fuhrländer (Alemanha)	WindWind (Finlândia) Mitsubishi Heavy Industries (Japão)	Bard (Alemanha) Repower (Ale/India) Multibrid/ Areva (Alemanha/ França)

Fonte: Energy Watch Group. Wind in Power. 2008

Principais players: países e empresas

Os principais países no cenário de pesquisa e desenvolvimento e expansão da energia eólica apresentam histórico de políticas específicas voltadas à minimização dos riscos aos investidores, por meio de créditos ou subsídios governamentais ou políticas de *feed-in*, em que são oferecidos preços garantidos durante períodos fixos de tempo. Tais políticas impulsionaram a instalação de produtores e de centrais eólicas nos países abaixo:

- Dinamarca: introduziu as primeiras turbinas de escala industrial durante a primeira crise do petróleo (1973), graças aos seus esforços prévios em pesquisa e desenvolvimento. Adotou política de *feed-in* em 1990.
- Estados Unidos: a implantação de projetos de energia eólica está atrelada a políticas fiscais, desde o primeiro *boom* na década de 1980, sobretudo na Califórnia, com mais de 17 mil turbinas instaladas, aos anos 2000, no Texas. O *Federal Production Tax Credit* era o único incentivo para energia eólica, concedendo um crédito de US\$ 0,021 /KWh durante os dez primeiros anos de duração do projeto. Atualmente, o sistema de *policies* é mais amplo, contendo inclusive mecanismos que incentivam o setor de energia renovável mesmo em um período de baixas vendas e reduzido crescimento econômico.
- Alemanha: adotou política de *feed-in* em 1989, com aproximadamente EUR 80 milhões de *funding*. Em legislação aprovada em 2006, determinou-se que os custos de conexão com a rede para instalações *offshore* fossem distribuídos sobre o total da rede, como ocorre com as demais fontes, e impulsionou o número de projetos no país.
- China: A *Renewable Energy Law*, de 2006, colocou em vigor políticas de *feed-in* e financiamento governamental, com a garantia de compra da energia gerada pelo governo e

com a delegação da responsabilidade de construção das linhas de transmissão para as operadoras da rede de transmissão. Quaisquer investimentos em infra-estrutura necessários são de responsabilidade dos governos locais (províncias).

Prevê-se que tanto os Estados Unidos como a China venham a atingir entre 100 e 150 GW de capacidade instalada em energia eólica até 2020⁴⁸. O primeiro possui meta para garantir que a energia eólica corresponda a 20% da geração de energia elétrica até 2030.

Com relação às instalações *offshore*, os objetivos mais ousados são apontados por Alemanha (11 GW), Reino Unido (7 GW) e Dinamarca (1 GW), todos com vistas ao ano de 2012. A Índia pretende atingir um total de 10,5 GW adicionados até 2012 e 35 GW acumulados até 2020⁴⁹. O maior projeto do mundo de energia eólica *offshore* é no Reino Unido e está sendo feito pelo consórcio London Array Limited. Terá 1 GW de capacidade instalada e será construído em 2 fases, sendo a primeira referente à instalação de 630 MW, com previsão de finalização em 2012.⁵⁰

Os financiamentos voltados a novos projetos de energia eólica, tanto *onshore* como *offshore*, atingiram US\$ 48 bilhões em 2008, ante US\$ 41 bilhões em 2007⁵¹. Em 2008, a energia eólica foi a tecnologia que mais atraiu novos investimentos, somando US\$ 51,8 bilhões e confirmando seu status de energia renovável mais madura e bem estabelecida. Nesse ano, os Estados Unidos, a União Européia e a Índia investiram, respectivamente, US\$ 17 bilhões, € 11 bilhões e US\$ 2,6 bilhões.⁵² A China vem atuando fortemente nesse mercado em franca expansão, projetando um investimento público de US\$ 14,6 bilhões em 2010. Em termos mundiais, projeta-se que o investimento em energia eólica *on-shore* será US\$ 79 bilhões em 2020.⁵³

Competitividade e rota tecnológica

A energia eólica já é competitiva com as fontes mais utilizadas no mundo – US\$ 68-109 /MWh para *on-shore* e US\$ 109-205/MWh para *off-shore*⁵⁴ – mas deve se tornar ainda mais barata em razão da crescente competição entre fabricantes de turbinas eólicas. No final de 2008, havia 70 grandes produtores ao redor do mundo.⁵⁵

A grande maioria das turbinas opera em um eixo horizontal com três lâminas igualmente espaçadas. Atualmente, as turbinas eólicas têm grande tecnologia embutida, podendo operar em diferentes condições: desde locais com ventos de 3-4 m/s até com ventos de 25 m/s, de regiões com clima desértico até locais com clima glacial.

A capacidade de geração das turbinas cresceu cerca de 100 vezes desde os anos 1980. O tamanho do diâmetro do rotor cresceu 8 vezes (Quadro 10). A maior turbina em operação até 2009 era a Enercon E126 com um rotor de diâmetro de 126 m e uma capacidade de 6 MW. O caminho para o aumento da capacidade de geração das turbinas é o mercado *offshore*, com a instalação de equipamentos nos oceanos, ainda que os custos de transmissão elevem-se.

Quadro 10 - Evolução das turbinas eólicas (1980 - 2008)

Turbina-padrão no ano	Capacidade (kW)	Diâmetro (metros)	Produção de Energia (kWh/ano)
1980	30	15	35.000
1985	80	20	95.000
1990	250	30	400.000
1995	600	46	1.250.000
2000	1.500	66	3.500.000
2005	2.000	80	4.400.000
2008	2.500-3.000	80-100	5.400.000-6.500.000
2008 (em pequena escala)	6.000	126	20.000.000

Fonte: Energy Watch Group. Wind in Power. 2008

Ainda que a energia eólica *on-shore* possa ser considerada uma das tecnologias mais maduras entre as renováveis, há ainda alguns desafios a serem enfrentados: transporte dos equipamentos, sobretudo para áreas isoladas; produção de melhores e maiores lâminas, feitas de materiais mais leves, eficientes e resistentes; construção de turbinas maiores e de torres mais altas de forma a ter contato com ventos mais fortes e frequentes. No caso da energia eólica *off-shore* há ainda questões associadas à eficiência na conexão à rede.

Outro aspecto importante, não exclusivo à energia eólica, é a necessidade de se melhorar o armazenamento de energia, com o fim de reduzir as perdas e a falta de geração devido à intermitência dos ventos.⁵⁶

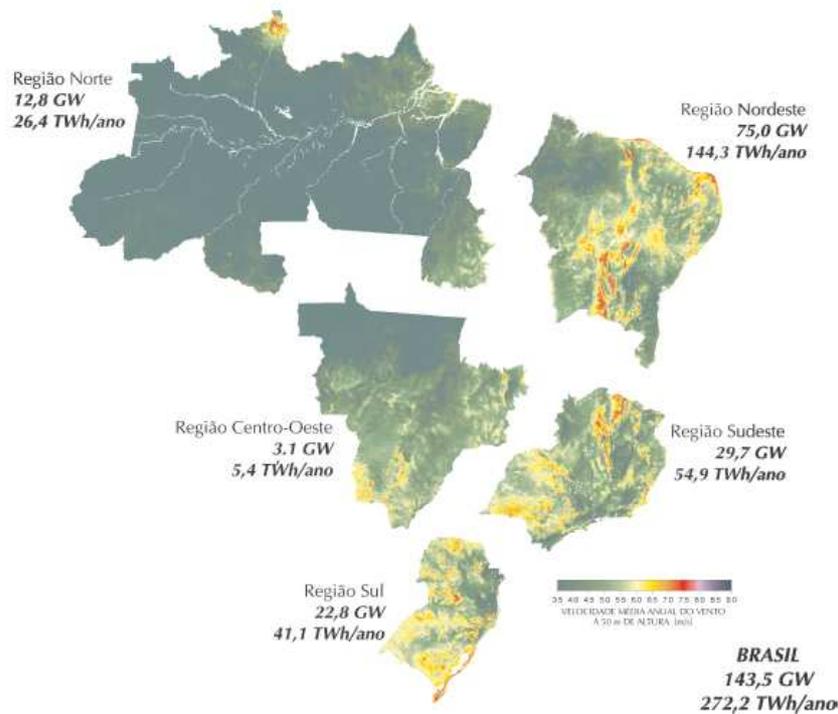
Brasil: mercado, políticas e metas

No Brasil, a utilização da energia eólica ainda é incipiente: em 2010, projeta-se que o país tenha capacidade instalada para gerar 765 MW, o que corresponde a 0,71% da matriz de energia elétrica brasileira⁵⁷. Tal capacidade em 2009 aproximou-se de 606 MW de energia⁵⁸ o que representa um aumento de 78% em relação a 2008.

Os destaques regionais são o Ceará e o Rio Grande do Norte, os quais, juntos, respondem por aproximadamente 60% do total gerado. Entre 1998 e 2010 foram outorgados 1.906 MW de energia que ainda não estão sequer em fase de construção, enquanto apenas outros 99 MW já têm obras iniciadas. Se todas as propostas de empreendimentos outorgadas para geração de energia eólica estivessem em operação, o Brasil teria hoje uma participação de mais de 2% dessa fonte em sua matriz de energia elétrica. Cabe a ressalva de que o PROINFA é responsável por quase 95% do total de projetos eólicos no Brasil. Atualmente, nele 154 MW ainda estão em construção e aproximadamente 560 MW estão em desenvolvimento.⁵⁹

Ainda assim, o país responde por cerca da metade da energia eólica gerada na América Latina.⁶⁰ Cabe a ressalva de que essa importância dentro do contexto latino-americano é antes fruto do atraso da região do que evidência do desenvolvimento desse setor no Brasil. Prova disso é a pequena parcela que o Brasil representa em termos mundiais, compondo apenas 0,38% do total gerado em 2009⁶¹. Não obstante, o Brasil é considerado um dos países com maior potencial eólico do mundo, dada a alta velocidade dos ventos encontrada no território brasileiro, além de sua estabilidade e constância. O potencial eólico brasileiro foi estimado em 143,5 GW⁶² (Figura 6).

Figura 6 - Brasil - potencial eólico



Fonte: ANEEL, 2001

Essa estimativa leva em conta a tecnologia da época, ou seja: torres de 50 metros de altura e com turbinas de capacidade de geração reduzida e de alta ociosidade comparadas com as utilizadas hoje. Estudos mais recentes, ainda que não de fontes ligadas ao governo brasileiro, apontam para uma capacidade de geração de 350 GW⁶³.

Além do alto potencial de geração de energia eólica, existem outros motivos que sustentam investimentos nessa fonte de energia. Um deles diz respeito à melhoria da segurança da matriz energética nacional: a utilização da energia eólica é um ótimo complemento à principal fonte de geração de eletricidade no país, a energia de fonte hidrelétrica. Os períodos de menor vazão nas barragens das hidrelétricas coincidem com a época em que há maior incidência de vento, reduzindo assim a probabilidade de problemas no fornecimento de eletricidade. Outro ponto relevante é que 70% da população brasileira se encontra na faixa litorânea, região onde há maior potencial eólico.

Ainda que o Brasil apresente um enorme potencial e que algumas políticas públicas venham incentivando o desenvolvimento desse tipo de energia, tal como o PROINFA, alguns pontos acabaram desmotivando os investidores a apostarem maciçamente nessa fonte nos últimos anos.

O setor privado cobra uma postura mais clara do governo brasileiro em relação à sua atuação no longo prazo, aponta a falta de um marco regulatório transparente e crível, e cobra mais leilões específicos para esse tipo de energia. Argumenta ainda que há dificuldades com licenças ambientais e de conexão à rede (regulamentação, custo e estruturas físicas).⁶⁴

Apesar de todas essas dificuldades, o governo brasileiro obteve êxito no leilão específico para essa energia, realizado em dezembro de 2009, por meio do qual foram contratados 71 projetos a um preço médio de R\$ 148/MWh, totalizando uma capacidade de geração de 1.800 MW de energia. O sucesso do leilão pode ser explicado por alguns fatores, dentre os quais a valorização do real frente ao euro entre os anos de 2008 e 2009, o qual pode ter contribuído por até 10% de redução nos custos de investimento⁶⁵, os descontos oferecidos pelos fabricantes de turbinas devido à crise mundial e ao fato de muitos dos consórcios vencedores terem tais empresas como participantes.

Em agosto de 2010, por meio de um novo leilão de fontes alternativas de energia elétrica foram contratados 2.047,8 MW em capacidade instalada em energia eólica (71% do total negociado) a um preço médio de R\$130,86/MWh, mais baixo do que o verificado nesse mesmo leilão nos projetos de biomassa (R\$144,2/MWh) e PCH (R\$141,93/MWh) e cerca de R\$ 17/MWh mais baratos do que a energia eólica contratada no leilão anterior⁶⁶.

Atualmente, existem algumas empresas que produzem equipamentos para geração de energia eólica no Brasil, dentre as quais as brasileiras Tecsis Brasil e South América Wind Energy Brasil. Ainda assim, há forte presença de subsidiárias de empresas estrangeiras, como Wobben Wind Power, de origem alemã e WPE/Impsa, procedente da Argentina, que produzem equipamentos e operam em parques eólicos. Outros fabricantes estrangeiros estão ingressando no Brasil, também em consequência dos resultados do leilão de dezembro de 2009, como é o caso da Siemens, que pretende investir R\$ 200 milhões ao longo de 2010, sendo que parte será alocado na construção de uma fábrica de turbinas. Além dela, a norte-americana General Electric deu início à fabricação de turbinas eólicas em Campinas, investindo R\$ 145 milhões e a Alston também começará a produzir aerogeradores na Bahia.

O que se vê é que grande parte dos empreendimentos em energia eólica são de empresas subsidiárias de multinacionais estrangeiras, em especial quando se fala de turbinas eólicas. Isso ocorre já que as políticas públicas existentes no Brasil priorizam o objetivo de incentivar a geração de energia a incentivar a pesquisa e o desenvolvimento de tecnologias nacionais. A fabricação de equipamentos no Brasil tem o potencial de baixar os custos de geração e reduzir grandes barreiras à expansão da energia eólica no país, como, por exemplo, os altos custos de importação – sobre a qual incide tarifa de 14%, o dobro da média mundial – e transporte das turbinas, em geral provenientes da Europa.⁶⁷

Mesmo assim, os custos de implantação para geração de energia eólica vêm caindo consistentemente no Brasil. Em 2005, eles estavam na faixa de R\$ 5,2 milhões/MW. Atualmente, após o leilão supracitado, esses custos caíram para algo em torno de R\$ 4,0 a R\$ 4,5 milhões/MW, um patamar ainda distante da média do custo mundial que é cerca de 40% inferior ao brasileiro.⁶⁸

8.2. Solar fotovoltaica

O Sol bombardeia a Terra com 174 petawatts⁶⁹ (PW) de radiação solar sobre a atmosfera, dos quais 89 PW são absorvidos pelos oceanos e continentes. As primeiras células fotovoltaicas modernas surgiram em 1954 quando o Bell Telephone Laboratories adotou o silício como mineral semicondutor e atingiu uma eficiência na conversão da luz solar em energia de 4%. Já

em 1958 tal tecnologia passou a ser aceita como ideal para aplicações espaciais e os satélites Vanguard I e II, Explorer III e Sputnik 3 foram lançados com células solares de silício acopladas às suas estruturas. Desde então os avanços na área estão relacionados com a busca de maior eficiência e de menores custos para os sistemas fotovoltaicos.

A utilização de tecnologia solar fotovoltaica para geração de energia elétrica apresenta como vantagem o fato de que tem como principal insumo um recurso inesgotável e sem custos, a radiação solar. Além disso, um sistema fotovoltaico não produz emissões de gases de efeito-estufa e poluição sonora enquanto está em operação.

A maior desvantagem dessa tecnologia é sua reduzida competitividade no panorama atual, dado os custos por unidade de energia produzida. Todavia o emprego de painéis solares já é uma opção válida para o fornecimento de eletricidade em regiões remotas e com baixa densidade populacional, nas quais os elevados custos de conexão à rede tornam a energia solar fotovoltaica economicamente viável.

Outra forma de aproveitamento do sol como fonte de energia se dá pela Energia Solar Térmica, a qual se refere à técnica de gerar eletricidade a partir do calor do sol, em geral com o uso de lentes ou espelhos que concentram (do inglês “*Concentrated Solar Power*”) a radiação solar, visando elevar a temperatura num ponto específico.

A conversão dessa energia térmica em eletricidade pode ser dar por diferentes caminhos, como turbinas de vapor. Até o fim de 2008 existiam 430 MW de capacidade instalada em Energia Solar Térmica no mundo, dos quais 95% nos Estados Unidos. Outros mercados relevantes são a Espanha, país que apresentava cerca de 400 MW em projetos em construção em julho de 2009, além da região norte da África, com países como Egito, Marrocos e Argélia com projetos também em andamento. Tamanho número de projetos no *pipeline* de tais países faz com que o total instalado seja estimado em 616 MW ao final de 2009 e 5 GW ao final de 2013⁷⁰.

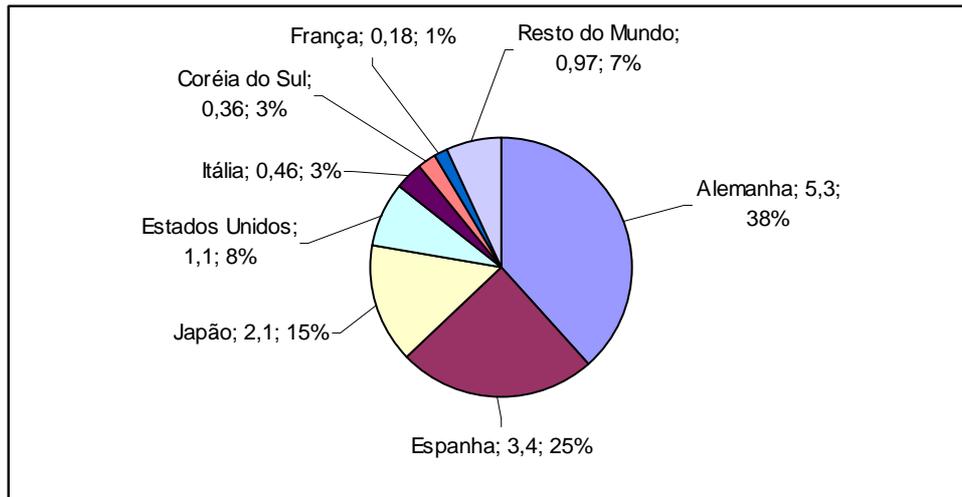
Devido à pouca relevância em investimentos e capacidade instalada de eletricidade de origem renovável da energia solar térmica, prioriza-se nesta seção, a análise da energia solar fotovoltaica.

Mercado

A energia solar fotovoltaica, cuja capacidade instalada é equivalente a 13,9 GW (estima-se que ao final de 2009, tal capacidade tenha atingido 21 GW⁷¹), está relacionada à transformação de luz solar em energia elétrica, através de células e painéis fotovoltaicos. Em 2008, o mercado de energia solar fotovoltaica movimentou US\$ 34 bilhões em investimentos⁷², dos quais cerca de US\$ 5,5 bilhões por meio de *venture capital* ou *private equity*, voltados primordialmente ao amadurecimento e escalonamento dessa tecnologia.

O uso da energia solar fotovoltaica em grande escala está concentrado quase que exclusivamente em quatro países – Alemanha, Espanha, Japão e Estados Unidos – que representam 85% do total instalado no planeta (Figura 7), embora Itália, Coreia do Sul e França também possam ser considerados mercados relevantes.

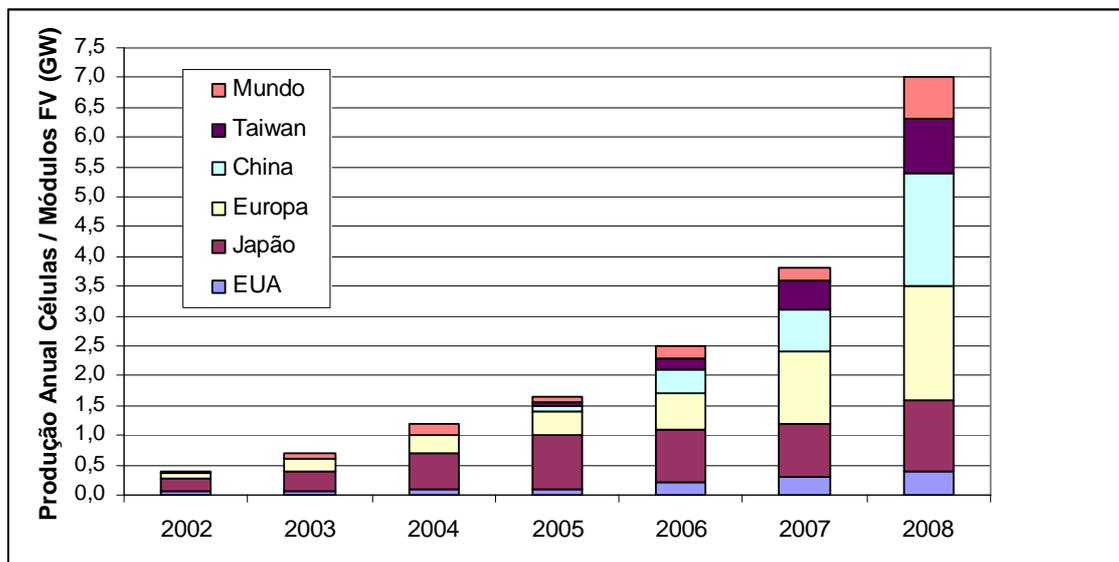
Figura 7 - Capacidade instalada (GW) / participação no total dos principais países



Fonte: U.S Department of Energy - Solar Technologies Market Report - 2008

Em 2008, dos 5,6 GW de geração solar fotovoltaica adicionados, 96% corresponderam aos seis primeiros países anteriormente citados, com destaque para Alemanha e Espanha que responderam por 75% do total. Embora os principais mercados consumidores sejam encontrados no continente europeu, o mercado asiático caracteriza-se como grande produtor de células e painéis fotovoltaicos, sendo China (27%), Japão (18%) e Taiwan (12%) responsáveis por 57% da produção mundial em 2008 (Figura 8).

Figura 8 - Participação de mercado por país produtor (2008)



Fonte: U.S Department of Energy - Solar Technologies Market Report - 2008

Principais players: países e empresas

As primeiras instalações fotovoltaicas de grande capacidade (acima de 1 MW) foram feitas em 1982 nos Estados Unidos, todavia a tecnologia ainda encontra-se em estágio de desenvolvimento, não obstante as principais potências globais no setor possuem políticas específicas para incentivar os avanços na área, notadamente as práticas de *feed-in* e *net metering*, além de créditos fiscais e subsídios.

- Alemanha: líder no ranking mundial em capacidade instalada apresentava, em 2007, 80 companhias produtoras de células e módulos fotovoltaicas, além de 42 mil trabalhadores

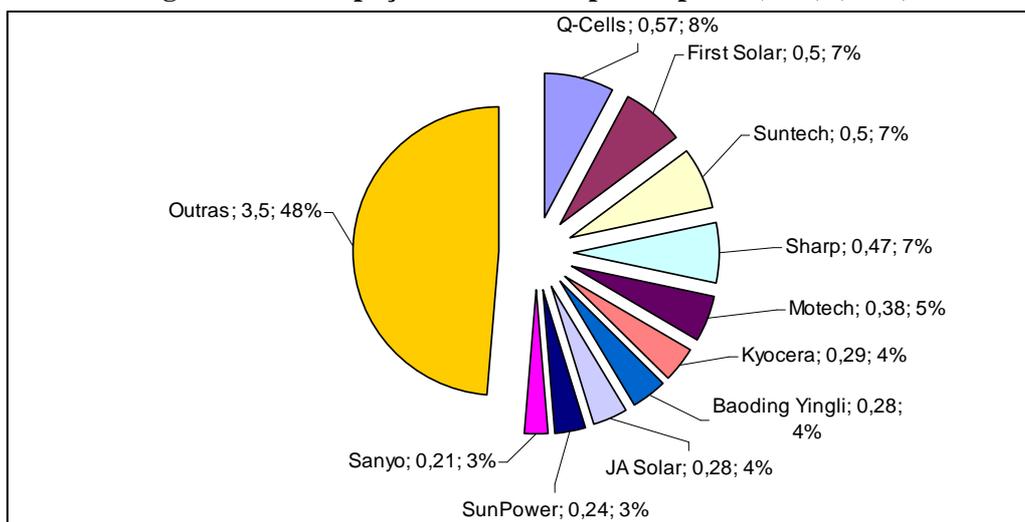
empregados no setor. Movimentou US\$ 5,7 bilhões em vendas de sistemas fotovoltaicos, dos quais US\$ 2,5 bilhões em exportações. Possui políticas de *feed-in* e *net metering*.

- Estados Unidos: lideram o desenvolvimento da tecnologia de películas finas (2ª geração) com aproximadamente 50% da produção global. Em 2007, empregavam cerca de 50 mil trabalhadores no setor. Possuem políticas federais de crédito (Investment Tax Credit) além de políticas estaduais de incentivo fiscal.
- Japão: terceiro colocado no ranking de capacidade instalada, apresenta um plano de ação governamental com meta de aumentar em 10 vezes a capacidade instalada até 2020, além de reduzir os custos pela metade em até 5 anos. Também adota políticas de *feed-in*.
- Espanha: responsável por 45% da capacidade adicionada em 2008, apresentava, em 2007, cerca de 26.800 trabalhadores empregados em companhias de energia solar⁷³. As metas estabelecidas no “*Plan de Energías Renovables*” até o ano de 2010 já foram atingidas. As políticas de *feed-in* responsáveis pelo vigoroso crescimento do setor nos últimos anos serão reavaliadas ainda em 2010.
- China: número 1 na produção de painéis fotovoltaicos com cerca de 50 companhias e cerca de 83 mil trabalhadores atuando no setor. Exporta 95% de sua produção. Oferece subsídios para instalações integradas em edifícios (Building Integrated Photovoltaics) e possui *feed-in* para instalações de até 10 MW

Nesse cenário, a Índia merece destaque: é o único país com um ministério exclusivo para energia renovável (Ministry of New and Renewable Energy) e o primeiro país relevante no contexto internacional a determinar metas específicas para energia solar (fotovoltaica e térmica): 20 GW de capacidade instalada até 2020⁷⁴. Outros países que apontam estimativas representativas para o total de sistemas fotovoltaicos instalados até 2020 são: Estados Unidos (69 GW), Alemanha (23,16 GW), China (23,1 GW) e Japão (26,4 GW)⁷⁵.

No que diz respeito às empresas que atuam no setor, o mercado produtor de componentes fotovoltaicos é consideravelmente pulverizado. (Figura 9).

Figura 9 - Participação de mercado por empresa (GW) (2008)



Fonte: U.S Department of Energy - Solar Technologies Market Report – 2008

Em 2008, as 10 maiores empresas responderam por 51% do total produzido em capacidade de geração, porém nem mesmo a maior empresa, a alemã Q-Cells, atinge uma participação de mercado superior a 10%. Vale ressaltar o papel das empresas de origem asiática no mercado global, com três empresas japonesas (Sharp, Kyocera e Sanyo), três chinesas (Suntech,

Baoding Yingli e JA Solar) e uma taiwanesa (Motech) dentre as 10 maiores, e duas norte-americanas (First Solar, Sun Power) a completar a lista.

Competitividade e rota tecnológica

Todas as células solares possuem duas camadas de semicondutores, uma positivamente carregada e uma negativamente carregada. Quando a luz solar alcança o semicondutor, o campo elétrico na junção entre as duas camadas faz com que a eletricidade flua, gerando corrente direta, assim quanto maior a intensidade da luz, maior o fluxo de eletricidade. A primeira geração de dispositivos fotovoltaicos é caracterizada pelas células de silício cristalino, assim como as primeiras células desenvolvidas ainda nos anos 1950.

São dispositivos com grande área e alta qualidade, de junção única, todavia com elevados *inputs* de tecnologia e trabalho, desta forma, limitando o progresso na redução dos custos. Tais células representaram cerca de 74%⁷⁶ dos sistemas fotovoltaicos adicionados em 2008 e podem ser divididas entre aquelas de silício monocristalino, com eficiência média variando de 16 a 19%, e aquelas de silício policristalino, cuja eficiência média está entre 14 e 15%⁷⁷. Uma medida do avanço no desenvolvimento das células de primeira geração é observada pela redução na sua espessura de 0,32 mm em 2003 para 0,17mm em 2008, obtendo a mesma quantidade de energia, porém consumindo menos recursos.

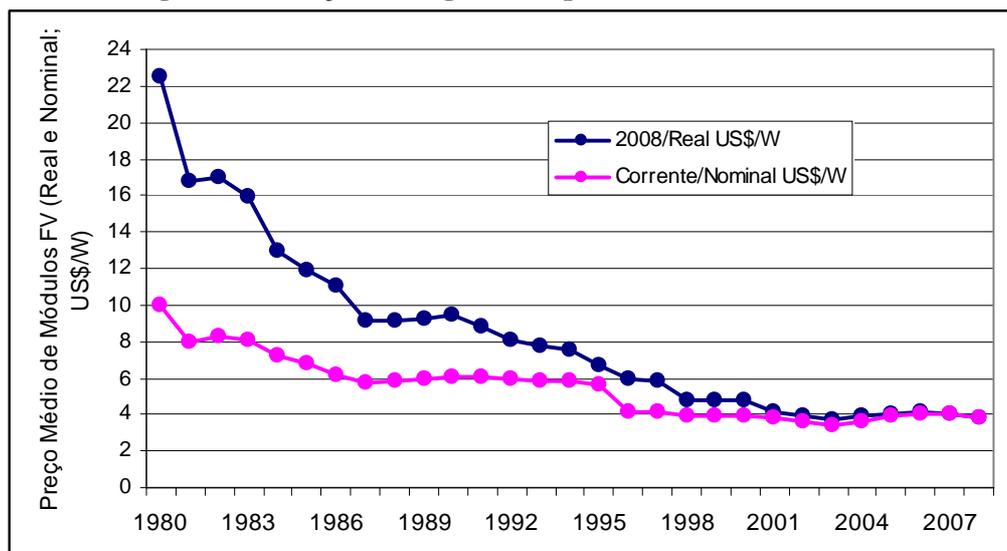
A segunda geração da rota tecnológica é a de películas finas, cujos módulos são construídos ao depositar camadas extremamente finas de materiais fotossensíveis em estruturas (suportes) de baixo custo como vidro, aço inoxidável ou plástico. Os materiais mais bem sucedidos, todos com espessura inferior a poucos μm (equivalente a milésima parte de um mm), são o Telureto de Cádmio (CdTe), Seleneto de Cobre, Índio e Gálio (CIGS), Silício Amorfo e Silício Microcristalino. A principal vantagem da segunda geração está nos menores custos, advindos da menor quantidade necessária de insumos para sua produção; todavia esses dispositivos apresentam menor eficiência, com 7 a 11% de média. Tal tecnologia saltou de 5% em 2003 para 14% do total de capacidade adicionada em 2008; porém, em 2009, tal crescimento foi contido pela queda nos preços de silício e, conseqüentemente, dos módulos de primeira geração.

Em busca de reduzir ainda mais os custos e elevar a eficiência energética dos dispositivos fotovoltaicos a patamares antes impossíveis, a terceira geração possui definição ainda ambígua acerca das tecnologias que engloba, podendo incluir nanoestruturas de silício; concentração / modificação do espectro de incidência (através do uso de lentes, por exemplo) para alcançar 300-500 sóis e, assim, de 30% até 50% de eficiência; uso do excesso de geração térmica, causado pela luz UV para aumentar a voltagem obtida; e uso de espectro infravermelho para produzir energia à noite.

Embora promissores em termos de eficiência, tais recursos ainda estão em fase de pesquisa e desenvolvimento e, *a priori*, apresentam como características negativas o fato de não utilizarem a luz difusa e demandarem *hardware* que acompanhe / monitore o movimento do sol.

Os progressos vistos nas últimas décadas já contribuíram para considerável queda nos preços dos painéis solares (Figura 10), tanto em valores reais quanto nominais, refletindo a redução dos insumos necessários para produção dos mesmos, com alguns projetos sendo construídos por menos de US\$ 4/W em 2009. No entanto, os elevados custos iniciais ainda representam um obstáculo a ser superado.

Figura 10 - Preço médio global de painéis solares (1980-2008)



Fonte: U.S Department of Energy - Solar Technologies Market Report - 2008

É possível também observar uma pequena elevação de preços nos anos 2000, caracterizada por um crescimento da demanda, principalmente de Espanha e Alemanha devido a políticas nacionais, e uma limitação na oferta de silício, um dos principais componentes para a produção de painéis solares, cujo preço chegou a US\$ 450/Kg no início de 2008, antes de recuar para menos de US\$ 100/Kg em meados de 2009.

Brasil: mercado, políticas e metas

No Brasil, a energia solar fotovoltaica encontra-se em estágio incipiente de aplicação, apesar da elevada incidência de raios solares existente no país, com mais de 2.200 horas de insolação por ano, representando um potencial equivalente a 15 trilhões de MWh⁷⁸. A diminuta capacidade instalada, com um total de aproximadamente 20 MW⁷⁹, está concentrada principalmente em sistemas autônomos – não conectados à rede – nas regiões Norte e Nordeste para fornecimento de energia elétrica em comunidades isoladas (majoritariamente rurais) visando o bombeamento de água; iluminação pública; abastecimento de escolas, postos de saúde e centros comunitários; além do atendimento domiciliar.

Os sistemas fotovoltaicos efetivamente conectados à rede correspondem somente a 153 KW (29 sistemas), todos de caráter experimental sem utilização comercial, ligados principalmente a iniciativas de universidades e/ou organizações não governamentais. É interessante notar que tais sistemas possuem um índice de nacionalização nulo, ou seja, totalmente oriundos de importações, uma vez que não dispõem de inversores para conexão à rede elétrica, nem módulos fotovoltaicos produzidos em território brasileiro.

Os sistemas autônomos, por sua vez, mais de 40 mil espalhados pelo país, possuem seu principal foco em atender populações distantes da rede elétrica convencional, visto que, dependendo da localidade, tais sistemas podem ser economicamente viáveis e uma melhor alternativa frente à expansão das linhas de transmissão, assim, 70% destes encontram-se nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste.

A expansão das instalações autônomas é justificada em boa parte por políticas de incentivo às mesmas, como o Programa Luz Solar, desenvolvido em Minas Gerais; o Programa Luz do Sol, na Região Nordeste; o Programa Luz no Campo, de dimensão nacional; e,

principalmente, o Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios (PRODEEM) responsável por 5,112 MW instalados em quase nove mil projetos entre junho de 1996 e dezembro de 2001 (Figura 11).

Figura 11 - Projetos fotovoltaicos coordenados pelo PRODEEM (MME)

Fases	Qtd.	Totalização	
		Potência KWp	Total US\$1mil
Fase I	381	172	1.082
Fase II	808	425	3.453
Fase III	1.067	691	4.668
Emerg.	800	235	2.221
Fase IV	2.900	1.429	10.025
Fase V	3.000	2.160	15.801
Total	8.956	5.112	37.250

Fonte: ANEEL - Atlas de Energia Elétrica do Brasil. Energia Solar (2002)

O Brasil, embora com papel insignificante no setor fotovoltaico global, possui alguns fatores que poderiam impulsionar o setor domesticamente, quais sejam, as consideráveis reservas de quartzo para a obtenção de silício, dado que foi responsável por 3% da produção global de silício policristalino para a manufatura de painéis solares em 2008, ficando atrás de Estados Unidos (43%); Alemanha (22%); Japão (18%); e China (6%)⁸⁰, além de possuir boa parte de seu território em regiões próximas à linha do Equador e, portanto, com maiores níveis de radiação solar.

Apesar dos atributos positivos, o elevado custo atual para sistemas conectados à rede, de 800 a 950 R\$/MWh⁸¹, bem como a necessidade de investimentos em P&D, inibem a adoção da tecnologia fotovoltaica em larga escala e fizeram com que o Plano Nacional de Energia 2030⁸² não contemplasse a energia solar fotovoltaica como uma das fontes para a matriz energética nacional. O PROINFA, principal programa de fomento às fontes de energia alternativas, também não contempla os sistemas fotovoltaicos como beneficiários e, assim, os principais incentivos recentes de ordem nacional residem em isenções fiscais de ICMS e IPI, além de projeto de lei que tramita no Senado para isenção das alíquotas de importação para painéis e componentes⁸³.

Todavia, algumas iniciativas tomadas no final de 2008 podem contribuir para alterar esse panorama, uma vez que foi criado em novembro daquele ano o Grupo de Trabalho de Geração Distribuída com Sistemas Fotovoltaicos (GT-GDSF), no âmbito do MME; e foi encomendado pelo ministério de Ciência e Tecnologia um estudo propositivo a ser realizado pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), ambos visando oferecer propostas acerca da melhor forma de implantação e desenvolvimento do setor no Brasil.

Dessa forma, a energia solar fotovoltaica, que apresenta crescente importância no panorama global, não possui perspectivas muito positivas com relação ao ambiente brasileiro, ao menos enquanto não houver uma política específica de fomento ao setor que viabilize sua adoção em maior escala e permita o progresso e, conseqüentemente, a redução de custos na área.

8.3. Etanol

O etanol representa mais de 85% da produção global de biocombustíveis. Projeta-se que, em 2010, a produção de etanol supere os 100 bilhões de litros; mas, em 2008, a produção global de etanol foi de 67 bilhões de litros, um crescimento de 34% em relação ao ano anterior. Os maiores produtores foram Estados Unidos (34 bilhões de litros) e Brasil (27 bilhões de litros), respondendo por 91% da produção mundial.⁸⁴

Nos Estados Unidos, o modelo de produção de etanol utiliza-se do milho como matéria prima para produção de etanol e é fortemente baseado em incentivos governamentais: os subsídios são da ordem de US\$ 0,12/litro à cadeia produtiva de etanol. O recorde de produção obtido pelo país, em 2008, é resultado do esforço na criação de oportunidades econômicas, incremento em segurança energética e redução de emissões de GEE.

No Brasil, a produção de etanol teve início na década de 1920 e somente a partir de 1931, o etanol brasileiro passou a ser adicionado à gasolina. Em 1975, em meio à crise do petróleo, o governo brasileiro lançou o PROÁLCOOL (Programa Nacional de Álcool) como uma abordagem de segurança energética, fortemente lastreada em diminuição da dependência brasileira das importações de petróleo. Em 1979, o governo passou a lançar incentivos fiscais e creditícios para produtores e consumidores de etanol de cana-de-açúcar. Por meio de pesquisa e desenvolvimento em variedades de cana-de-açúcar e inovações tanto no plantio quanto no processo produtivo, o setor deixou de depender do apoio de subsídios governamentais para competir com a gasolina. Em 1993, a demanda de etanol foi consolidada por exigências legais de adição de 22% de etanol à gasolina consumida no país.

Seguindo Estados Unidos e Brasil, à grande distância, estão: China (2,8%), França (1,8%), Canadá (1,3%). A União Européia respondeu por 4,3% da produção global, tendo como principais produtores, além da França, Alemanha (0,8%) e Espanha (0,7%)⁸⁵.

A produção global de etanol é quase que totalmente baseada em tecnologia de primeira geração, que se dá por meio de fermentação e destilação de glicose ou sucrose, esta última retirada de matérias primas que contêm açúcar ou amido⁸⁶. Das várias matérias primas que podem ser empregadas nesse processo produtivo, milho e cana-de-açúcar – respectivamente o principal insumo da produção de etanol nos Estados Unidos e Brasil – são as mais utilizadas, respondendo por cerca de 80% do volume produzido em 2008.⁸⁷

A capacidade instalada para produção de etanol de segunda geração é de 100 milhões de litros ao ano⁸⁸. A segunda geração encontra-se ainda em estágio de aperfeiçoamento e baseia-se na lignocelulose para produção de etanol, o que amplia a variedade de matérias primas passíveis de serem utilizadas. Esse processo consiste na degradação de fibras de bagaço ou palha por meio de processos ácidos ou enzimáticos. A partir dessa quebra em unidades menores de açúcares, ocorre a produção de etanol por meio de fermentação, obtendo-se assim maior eficiência no processo em comparação ao etanol de primeira geração. Estima-se que, com os projetos em fase de instalação, essa capacidade deve ser triplicada no curto prazo⁸⁹.

O etanol de cana-de-açúcar é o mais competitivo quando comparado às alternativas de primeira geração como milho, cereais e beterraba: seu custo é de US\$ 0,3 a 0,5/ litro e, para cada cem unidades de energia renovável geradas, são consumidas de 10 a 12 unidades de energia fóssil no processo produtivo. Considerando-se aspectos ambientais, seu desempenho também é superior em (i) redução de emissão de GEE: 90% a menos quando comparado à gasolina, levando em conta a cogeração de calor e energia que se dá no processo produtivo; ou 61% a menos, sem considerá-la, de acordo com a reclassificação da Agência de Proteção

Ambiental dos Estados Unidos (EPA, da sigla em inglês)⁹⁰, e (ii) uso de terra, devido a sua maior produtividade por hectare (3.000 - 6.000 lge/hectare) (Quadro 11).

Quadro 11 - Produção, custos e impacto das principais matérias primas de etanol

Desempenho	Etanol			
	Cereais, Milho	Beterraba	Cana de Açúcar	Ligno-celulósico
País líder em produção	EUA	EU	Brasil	
Inputs de combustível fóssil (%)	60-80	N/A	10-12	(¹)
Co-produtos			Calor e energia	Calor e energia
Capacidade instalada (bi litros/ano)	19,5 (US); 5 (China)	N/A	18 (Brasil)	
Custos				
Custos de produção (\$/lge)	0,6-0,8	0,6	0,3-0,5	1,0 (²)
Impacto ambiental				
Redução de CO ₂ (% ³)	15-25	50-60	90	70
Poluente reduzido	CO	CO	CO	CO, NO _x
Uso da terra (lge/ha)	1500-3000	2000-4000	3000-6000	N/A

Fonte: IEA. Energy Technology Essentials: Biofuel Production. 2007

(1) O input de energia pode ser maior que a energia final de etanol, mas a maioria dessa energia é proveniente da biomassa

(2) Duas vezes o custo da gasolina US\$ 60/bbl

(3) Comparado com gasolina (2,8 kg CO₂/l) ou diesel convencional

O etanol de cana-de-açúcar com base em tecnologia de primeira geração é uma alternativa viável quando o barril de petróleo tem seu preço entre US\$40-US\$50, o que lhe permite competir sem subsídios com a gasolina no mercado internacional⁹¹.

No Brasil, o maior produtor de etanol de cana-de-açúcar do mundo, aponta-se a viabilidade do produto com o barril de petróleo a US\$ 70⁹². Vale salientar que um dos maiores benefícios do etanol brasileiro é a possibilidade de utilização total da matéria prima e de resíduos para gerar energia. Enquanto o caldo de cana é utilizado para produzir etanol, o bagaço e a palha podem ser queimados posteriormente para gerar energia elétrica, num processo conhecido por cogeração, que permite às usinas sucroalcooleiras o atendimento da própria demanda energética e o fornecimento de energia para a rede.

Atualmente, o Brasil conta com 434 usinas sucroalcooleiras, sendo todas auto-suficientes em energia. Cerca de 20% dessas usinas se tornaram provedores de energia à rede elétrica, aumentando a rentabilidade do negócio por meio de uma operação recentemente regulamentada pelo poder público, baseada em contratos de comercialização firmados entre usinas e empresas de distribuição, com cláusulas de garantia de fornecimento e preços de venda⁹³. Há ainda grande quantidade de bagaço que pode ser redirecionada à geração de eletricidade, mas com o amadurecimento da tecnologia de segunda geração, tanto o bagaço quanto a palha, que em grande parte é deixada na área de plantio, passam a ser matéria prima para produção de etanol, além de calor e eletricidade.

Como mais de 100 países cultivam cana-de-açúcar em todo o mundo e a tecnologia de primeira geração para produção de etanol encontra-se bastante madura e difundida, o etanol de cana-de-açúcar é apontado como a melhor solução para se expandir a produção de biocombustíveis no curto prazo⁹⁴.

Perspectivas: Mercado internacional

O comércio internacional de etanol é da ordem de 6 bilhões de litros/ano e ainda encontra-se em fase inicial de desenvolvimento⁹⁵. É por meio do avanço das regulamentações e programas de substituição de combustíveis fósseis em países como Estados Unidos, Japão e China, além de países europeus, que esse mercado vem sendo ampliado.

Nos Estados Unidos, a lei *Energy Independence and Security Act of 2007* (EISA), cujo objetivo é promover a independência e segurança energética do país, aponta metas voltadas à eficiência energética em prédios comerciais e residenciais, transportes e produtos, dentre as quais o estabelecimento de um mercado interno de biocombustíveis, sendo que uma parcela deve ser proveniente de processos tecnológicos avançados, definidos pela lei como “aqueles oriundos de biomassa, exceto o etanol produzido do amido de milho, nos quais sua utilização resulte em emissões de GEE, que sejam no mínimo 50% menores que os emitidos quando da utilização do combustível fóssil a ser substituído.”. A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA, da sigla em inglês) lançou, em 2010, a segunda versão do *Renewable Fuel Standards* (RFS2), criando novos mecanismos para elevar o consumo de biocombustíveis às metas de 68,7 bilhões de litros de combustíveis renováveis em 2014, e de 136 bilhões de litros em 2022. Ao alcançar tais metas, os Estados Unidos poderão diminuir a sua dependência de petróleo em mais de 328 milhões de barris por ano e, conseqüentemente, reduzir suas emissões de gases de efeito estufa em mais de 138 milhões de toneladas métricas por ano, até 2022⁹⁶.

Da meta estipulada para 2014, 54,5 bilhões de litros (79%) devem ser provenientes de etanol à base de milho e 14,2 bilhões de litros (21%) de biocombustíveis avançados, dos quais 6,6 bilhões de litros de biocombustíveis lignocelulósicos. Para alcançar a meta de produção de biocombustíveis avançados, estima-se que o governo norte-americano já tenha investido cerca de US\$ 1,3 bilhão, desde 2002⁹⁷. Como exemplo, pode-se mencionar a ação do Departamento de Energia norte-americano, no âmbito do programa *Advanced Energy Initiative*, ao disponibilizar apoio financeiro para iniciativas de pesquisa, desenvolvimento e implantação de usinas de biocombustíveis, destacando-se o aporte público de US\$385 milhões para seis unidades industriais de demonstração de produção de etanol de segunda geração, em escala próxima da comercial. Um valor mínimo de US\$230 milhões também será alocado para outras nove biorefinarias-piloto⁹⁸. Ainda nos Estados Unidos, mas em escala regional, ocorreu a aprovação pelo Conselho de Qualidade do Ar do Estado da Califórnia da regulamentação *Low Carbon Fuel Standard* (LCFS), que torna mandatória a redução em 10% da emissão de GEE neste Estado, até 2020. O cumprimento dessa regulamentação está estreitamente associado ao estabelecimento de metas de adição de etanol ao combustível comercializado na Califórnia.

Na União Européia, por meio da Diretiva 2009/28/EC, voltada à promoção de energia de fontes renováveis, estabeleceu-se uma meta de uso de 10% de energia renovável no setor de transporte, para 2020, que pode ser atingida pelo uso de motores híbridos, elétricos ou a biocombustíveis, dentre outros. Ainda que não sejam estipuladas metas para biocombustíveis, uma demanda anual potencial de 10 a 14 bilhões é prevista para o cumprimento dessa meta. Quaisquer biocombustíveis adotados como solução, devem reduzir ao menos 35% das emissões de GEE em relação ao combustível fóssil substituído. O Japão vê o etanol brasileiro como uma solução para reduzir suas emissões de GEE e considera exigir a adição de 10% de etanol à gasolina consumida no país, o que pode representar para o Brasil um crescimento de 6 bilhões de litros na demanda do produto.

A China busca saltar de 1,9 bilhão de litros de etanol para 12,7 bilhões até 2020⁹⁹. No Canadá, uma capacidade de 6 milhões de litros já está em operação¹⁰⁰. Na Europa diversas indústrias já se encontram em estágio de produção – em países como Alemanha, Espanha e Suécia. Fora disso, uma capacidade produtiva de 10 milhões de litros por ano está em implementação na região. A maior usina de biocombustíveis de segunda geração entrou em funcionamento na Holanda, em 2009, visando a produzir 200 milhões de litros de bio-metanol por ano.

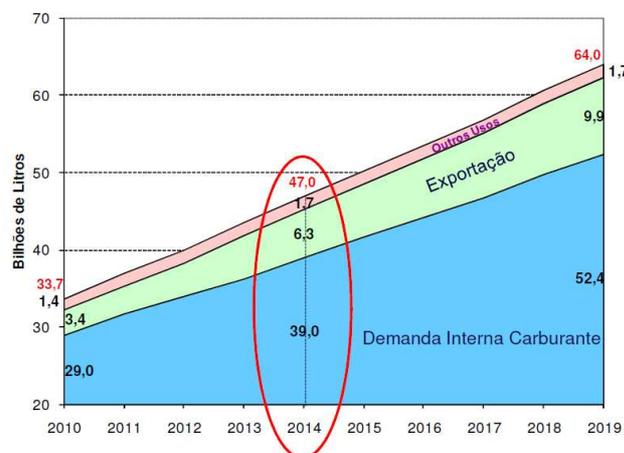
Em escala global, uma expansão de 1,5 bilhão de litros de etanol por ano é estimada, com a liderança de empresas como Royal Nedalco (Holanda), Econcern (Holanda), Iogen (Canadá), Diversa Celunol (EUA), Abelgoa (Espanha) e o consórcio Broin e DuPont (EUA).¹⁰¹

Vale ressaltar que alguns países sem tradição ou relevância na produção de etanol de primeira geração, como o Chile, têm optado por concentrar recursos em pesquisa e desenvolvimento de tecnologias de segunda geração. Isso é possível uma vez que a produção de etanol de segunda geração configura-se numa nova rota tecnológica, ainda em desenvolvimento, e pode utilizar-se de uma gama mais diversificada de matérias primas, não requerendo necessariamente experiência prévia na área. Além disso, o aprendizado relativo à tecnologia de primeira geração não é decisivo para a produção do etanol de segunda geração de forma competitiva.

Perspectivas: Brasil

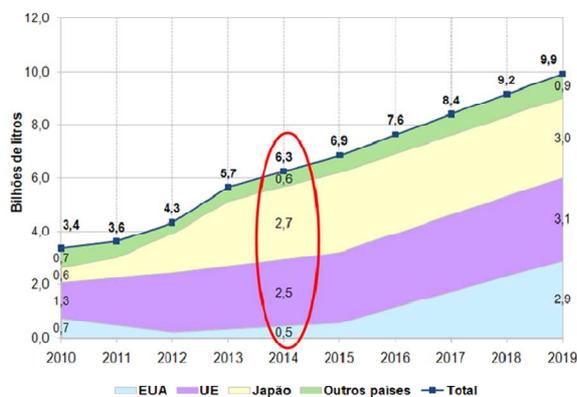
De acordo com o Plano Decenal de Energia 2010-2019, prevê-se que a produção brasileira de etanol seja quase que duplicada, atingindo 64 bilhões de litros, em 2019. Em 2014, o atendimento da demanda interna em transportes, alavancada, sobretudo, por conta da maior participação de veículos *flex fuel* na frota nacional, deve responder por 83% da produção, 3,6% serão destinados a outros usos internos, como produção de bebidas, cosméticos, produtos farmacêuticos e químicos. O valor restante, 6,3 bilhões de litros (13,4%), será destinado à exportação (Figura 12), tendo como principais destinos: Japão (43%), União Européia (40%) e Estados Unidos (8%). Entre 2014 e 2019, os Estados Unidos passam a ter uma participação 6 vezes maior, respondendo por 67% do crescimento das exportações brasileiras de etanol no período (Figura 13).

Figura 12 - Produção e destinação de etanol brasileiro 2010-19



Fonte: EPE (2010).

Figura 13 - Países-destino das exportações brasileiras de etanol 2010-19



Fonte: EPE (2010).

Tais projeções, apresentadas no PDE 2010-19, não levam em conta, contudo, as ambiciosas novas metas dos Estados Unidos para biocombustíveis mencionadas no item anterior, uma vez que esse plano foi concluído anteriormente à divulgação da nova estratégia norte-americana, daí a previsão de exportações brasileiras para esse país mostrarem-se restritas a 500 milhões de litros em 2014.

Mas, uma vez que o etanol de cana-de-açúcar em 2010 foi reconhecido como um biocombustível avançado pela EPA ¹⁰², o Brasil qualifica-se para suprir os 7,6 bilhões de litros necessários ao cumprimento da meta norte-americana de biocombustíveis avançados de origem não-lignocelulósica.

Com vistas à elaboração do PDE 2011-2020, a EPE desenvolveu três cenários de expansão das exportações brasileiras de etanol aos Estados Unidos. No mais realista deles – o que oferece menos espaço para importações pelos norte-americanos, assumindo-se que metade da meta de biocombustíveis avançados não-lignocelulósicos seja atendida por produtores norte-americanos – ao Brasil seria aberta a oportunidade de exportação de 3,8 bilhões de litros, uma quantidade 7,6 vezes acima da projetada no PDE 2010-19, o que implicaria a construção de 35 novas usinas no país, além das 51 já projetadas para 2014. ¹⁰³

Deve-se ressaltar, entretanto, que o acesso do etanol brasileiro ao mercado norte-americano esbarra na taxa de US\$ 0,54 por galão (US\$ 0,14 por litro) em adição à tarifa aduaneira, cuja variação é de 1,9% a 2,5%, que o país impõe, desde 1980, ao etanol importado.

Além disso, as metas para estabelecimento de um mercado norte-americano de biocombustíveis podem ser revistas, caso mostre-se impossível que sejam atingidas a partir de produção interna.

Mesmo assim, há que se ressaltar a expansão do setor sucroalcooleiro no país, cuja oferta de cana cresceu 9,4% ao ano na última década e impulsionou vários investimentos voltados à ampliação da produção de etanol de primeira geração no Brasil, dentre os quais merecem destaque a Cosan Limited, que transferiu R\$880 milhões para sua subsidiária brasileira, o fundo de *private equity* DGF, que reservou US\$140 milhões, além de US\$144 milhões da Comanche Clean Energy, US\$80 milhões da Brenco e US\$85 da Santelisa Vale.

O setor sucroalcooleiro observa uma tendência de consolidação desde o final de 2006, marcada por fusões e aquisições de grupos já tradicionais em um primeiro momento e, posteriormente, na entrada de empresas multinacionais de energia na área.

O movimento que deve reduzir o número de 160 grupos atuantes no setor é apontado por dados da KPMG, os quais apontam 99 fusões e aquisições desde o início do ano 2000 até setembro de 2009, das quais 22 operações envolvendo a compra unidades nacionais por empresas estrangeiras ¹⁰⁴. Especialistas no setor acreditam que tal processo de consolidação pode resultar em algo entre 20 e 40 grupos atuando no setor no país.

Grupos estrangeiros já entraram no setor com empresas de energia, como BP e Shell, que se associou a Cosan em um negócio de US\$12 bilhões ¹⁰⁵, e atuantes no segmento de commodities, como Cargill, Bunge e Téreos.

A francesa Louis Dreyfus adquiriu a segunda maior produtora do país, a Santelisa Vale, esta resultante da compra da Vale do Rosário pela Santa Elisa ainda em 2006, enquanto a Bunge

comprou o grupo Moema, assumindo a terceira colocação na previsão de moagem para a safra 2010/2011. No que tange somente o mercado de etanol, os investimentos estrangeiros diretos foram de US\$ 3,1 bilhões no período compreendido entre janeiro de 2007 a julho de 2009¹⁰⁶.

Tamanha movimentação no setor fez com que a participação de capital estrangeiro no mesmo período aumentasse consideravelmente e, desta forma, a moagem de cana brasileira em 2010/2011 está 25,5% sob controle de capital estrangeiro, frente a uma participação de 11,9% na safra 2007/2008¹⁰⁷.

Tal aumento da participação do capital estrangeiro traz como conseqüências uma maior facilidade para o etanol e o açúcar brasileiros acessarem os mercados externos, mas também tornará cada vez mais importantes aspectos como licenciamento e certificação socioambiental, medidas necessárias para plena introdução em mercados como EUA e Europa.

Os investimentos em segunda geração no Brasil também estão em crescimento. O país avança em pesquisa e desenvolvimento por meio de iniciativas como o Programa FAPESP de Pesquisa em Bioenergia (Bioen), de organizações como o Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), o Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE), além de empresas como Petrobras, Dedini, Oxiten, Amyris, entre outras¹⁰⁸.

A Petrobras também busca garantir seu papel no mercado de etanol de segunda geração e, por esse motivo, fechou acordo com a norte-americana KL Energy, com vistas a desenvolver tecnologia para a produção de etanol lignocelulósico, inclusive com o projeto de construção de uma usina, que deve entrar em operação em 2013¹⁰⁹.

Vale ressaltar que o interesse brasileiro pelo etanol lignocelulósico busca tornar ainda mais competitiva a solução brasileira de primeira geração, aumentando a produção de etanol produzido por hectare de cana-de-açúcar colhido. Estudos apontam que uma destilaria que produz 1 milhão de litros de caldo de cana por dia poderia obter um adicional de 150 mil litros de etanol por meio do emprego da tecnologia de hidrólise. Com o amadurecimento da tecnologia, o adicional poderia chegar a 400 mil litros em razão da utilização do bagaço de cana-de-açúcar, quantidade que pode ser incrementada caso a palha também seja utilizada.¹¹⁰

Com a consolidação da tecnologia de segunda geração, a usina, que já priorizava a produção de açúcar ou de etanol de acordo com os preços praticados no mercado no momento da moagem da cana, pode também passar a decidir entre o aproveitamento do bagaço e da palha para produção de etanol ou de calor e energia. Outras possibilidades devem ainda ser levadas em consideração nessa análise, como o fornecimento de etanol como insumo das indústrias alimentícia, de cosméticos ou álcool-química e a potencial produção de diesel a partir de etanol. Tal cenário de diversificação tende a garantir a rentabilidade da atividade sucro-alcooleira¹¹¹.

Em relação às pesquisas em etanol de segunda geração, o Brasil não domina a tecnologia para produção de enzimas e investe somente 10% do valor alocado pelos Estados Unidos, fatos que podem fazê-lo perder a corrida pela produção em grande escala de biocombustíveis, apesar de já ter uma matéria prima estabelecida. Outros países como Canadá e Suécia também têm se destacado em pesquisas nessa área.

Em fevereiro de 2010, a empresa dinamarquesa Novozymes, líder mundial no segmento de enzimas industriais, lançou comercialmente a sua primeira enzima voltada à produção de combustíveis de segunda geração. Essa empresa havia anunciado em 2007 uma parceria com o CTC e, em julho de 2010, divulgou um acordo com a empresa brasileira Dedini, líder no mercado brasileiro de equipamentos para a cadeia sucro-energética, para desenvolvimento do processo produção de etanol à base do bagaço e da palha da cana¹¹², o que aponta avanços de organizações brasileiras em parcerias internacionais.

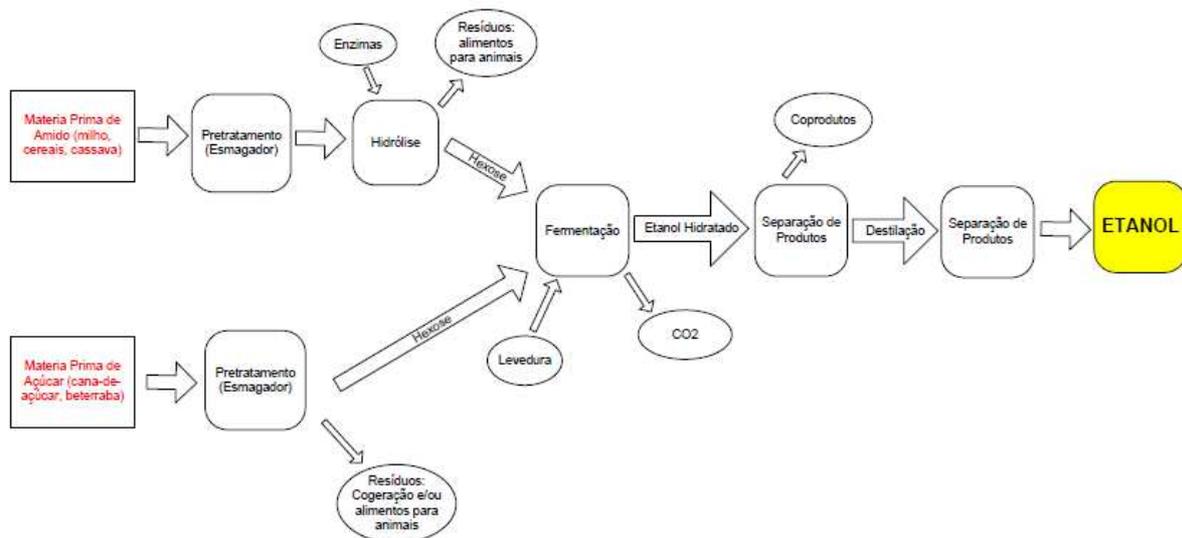
E embora os recursos para P&D sejam essenciais para o avanço brasileiro em tecnologia para produção de etanol lignocelulósico, há espaço ainda para inovações incrementais em primeira geração, que vão desde o aumento da eficiência nas usinas, sobretudo em relação ao consumo de água, à produção de biofertilizantes com base em insumos como vinhoto e fuligem¹¹³. Além disso, a logística ao longo da cadeia da cana-de-açúcar pode ser otimizada tanto em relação à logística *inbound* – das áreas de plantio até o local de moagem ou à usina – quanto *outbound* – das usinas até o mercado consumidor ou aos portos, por meio da utilização de dutos como alternativa ao transporte rodoviário.

Competitividade e rota tecnológica

O processo de produção de etanol de primeira geração se dá a partir da extração de açúcar da matéria prima. No caso das matérias primas ricas em açúcar, como a cana e a beterraba, dá-se inicialmente uma etapa de fracionamento e metabolização do suco (caldo) do insumo, por células de levedura.

Após esse processo de fermentação, o etanol é destilado até chegar ao produto final. Matérias primas ricas em amido têm de passar por um processo inicial de hidrólise enzimática para separar a glicose antes da etapa de fermentação. (Quadro 12).

Quadro 12 - Processo produtivo de primeira geração de etanol

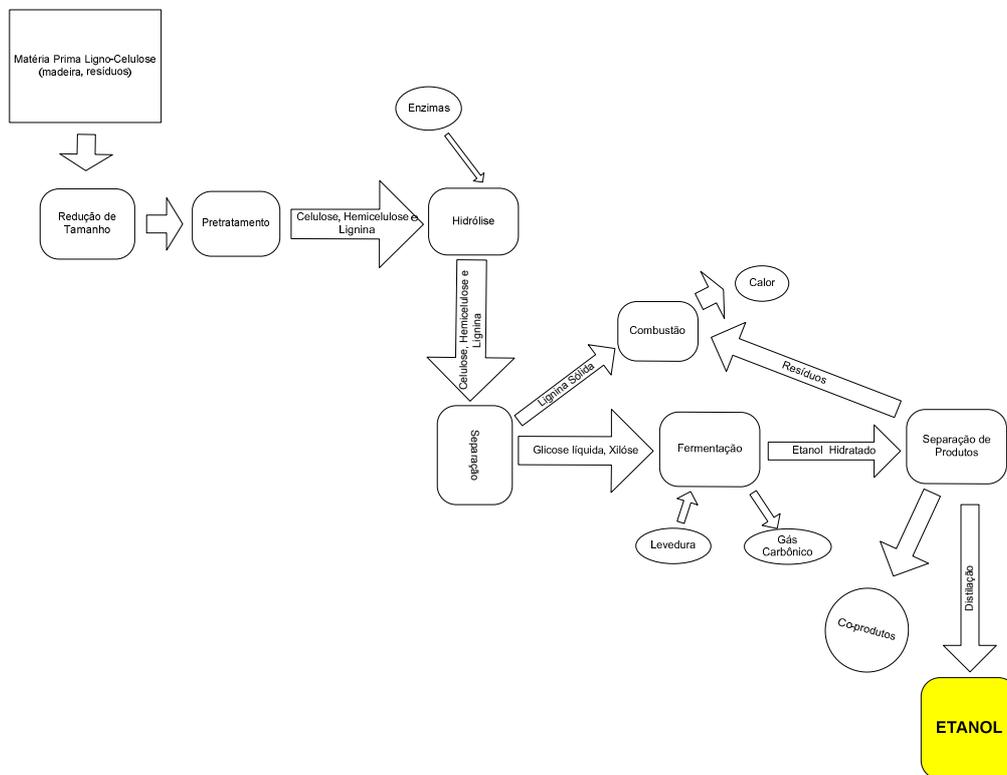


Fonte: From 1st to 2nd Generation Biofuels Technologies. 2008

A tecnologia de segunda geração para produção de etanol é baseada na lignocelulose, um termo que define a biomassa proveniente da fibra de plantas, composta por lignina, celulose e hemicelulose. Com a adição de enzimas, a matéria prima é convertida em glicose, que passa então por um processo de fermentação e, em seguida, é transformada em etanol. Estudos

mostram que a remoção de 35-43% da lignina em um pré-tratamento aumenta a eficiência da hidrólise enzimática de 50% a 85%. Sendo assim, várias tecnologias exigem a separação dos três componentes de lignocelulose. (Quadro 13).

Quadro 13 - Processo produtivo de segunda geração de etanol



Fonte: From 1st to 2nd Generation Biofuels Technologies. 2008

As críticas a respeito dos impactos socioambientais ligados ao etanol de primeira geração foram um dos principais catalisadores da pesquisa focada na tecnologia de segunda geração, baseada na celulose extraída de inúmeras matérias primas, muitas delas não ligadas a cadeias alimentares, que podem ser cultivadas em várias regiões distintas e colhidas por períodos mais longos – até mesmo durante o ano inteiro, e não somente durante períodos específicos de safra, como no caso de diversas culturas voltadas à alimentação humana. Além desse aspecto, outros avanços do etanol de segunda geração em relação ao de primeira são apresentados em Quadro 14.

De forma genérica, a segunda geração de etanol resolve vários problemas ligados ao de primeira geração e, em várias instâncias, é mais eficiente, o que reforça a tendência de que muitos produtores substituam o etanol de primeira pelo de segunda geração. Isso não significa que a produção de etanol de primeira geração será descontinuada. Estima-se que mais de 250 bilhões de litros de etanol de primeira geração e mais de 100 bilhões de litros de segunda geração serão produzidos anualmente até 2030¹¹⁴.

Para produzir etanol de primeira geração, somente as partes da matéria prima que contêm glicose são utilizadas; já, na produção do etanol de segunda geração, toda a planta pode ser utilizada, o que significa eliminação de resíduos e maior eficiência. A produção do etanol lignocelulósico pode ainda se beneficiar do processo produtivo de alimentos: resíduos secundários e terciários, que normalmente são descartados na cadeia produtiva alimentar, podem ser utilizados como matéria prima na produção de biocombustíveis de segunda geração.

Quadro 14 - Avanços da primeira para a segunda geração de etanol

Primeira Geração	Segunda Geração
Matéria prima consiste de produtos alimentares, gerando competição entre biocombustíveis e alimentos.	Matéria prima consiste de não-alimentos e variações em sua demanda não afetam o preço dos alimentos.
Algumas matérias primas não são eficientes em termos de geração de biocombustíveis, de forma que países que não tem outra opção senão as plantar têm que oferecer subsídios aos seus produtores.	A matéria prima é ligno-celulose, de maneira que há uma variedade maior de plantas passíveis de serem utilizadas para produzir etanol e redução da necessidade de subsídios no longo prazo.
Consideráveis reduções de emissão de GEE, dependendo da matéria prima.	Maiores reduções de emissão de GEE, dependendo da matéria prima.
Utilização de terras aráveis para produzir matéria prima.	Plantação de matéria prima pode ser feita em áreas menos adaptáveis á agricultura.
Maior quantidade de água utilizada para produzir, dependendo da matéria prima.	Menor quantidade de água utilizada para produzir, dependendo da matéria prima.
Acesso a matéria prima somente nos períodos de safra, uma vez que a produção baseia-se em um único cultivo.	Acesso a matéria prima durante o ano inteiro uma vez que vários cultivos, colhidas ao longo do ano, contém ligno-celulose.
Menor rentabilidade por metro plantado de matéria prima, pois somente as partes da planta que contém glicose podem ser utilizadas.	Maior rentabilidade por metro plantado de matéria prima, pois todas as partes da planta que contém ligno-celulose são utilizadas.

Fonte: Adaptado de From 1st to 2nd Generation Biofuels Technologies. 2008 & IEA. Sustainable Production of Second Generation Biofuels. 2010

Existem várias barreiras de entrada que impedem a produção de biocombustíveis de segunda geração em larga escala, dentre elas destacam-se os altos custos de produção e riscos de investimento. Uma fábrica de biocombustíveis de segunda geração custa dez vezes mais do que uma de primeira com a mesma capacidade. Entretanto, as tecnologias necessárias para a produção eficiente de biocombustíveis de segunda geração são novas e ainda não foram testadas suficientemente para serem consideradas viáveis em grande escala.¹¹⁵

8.4. Biodiesel

O biodiesel é um combustível renovável e biodegradável, obtido a partir da reação química de óleos ou gorduras, de origem animal, vegetal ou gordura reciclada. Esse combustível substitui total ou parcialmente o óleo diesel em motores automotivos ou estacionários, como os geradores de eletricidade e calor. Qualquer motor à diesel pode receber a mistura de biodiesel e diesel, não sendo necessárias adaptações como ocorre com o álcool combustível. Deve-se ressaltar, porém, que nem todos os motores suportam o biodiesel como única fonte de combustível. O biodiesel que é misturado ao diesel recebe a denominação “BX”, em que o X é substituído pela porcentagem de biodiesel na mistura. Assim, o biodiesel puro é denominado B100 e o B5, por exemplo, corresponde a uma mistura com 5% de biodiesel. O biodiesel utilizado no mundo é majoritariamente misturado ao diesel comum em pequenas proporções (B4, B5), sendo que ainda não há uso em larga escala do biodiesel puro em motores.

Para obter biodiesel é necessário um processo químico chamado transesterificação, que envolve uma gordura e um álcool, na presença de um catalisador. Um dos subprodutos principais do processo é a glicerina, que pode ser comercializada para indústrias que a utilizem como insumo. A tecnologia para a obtenção de biodiesel é relativamente simples se

comparada àquela empregada na produção do etanol, o que permite um modelo de produção atomizado. Mas a molécula do biodiesel é mais complexa que a do etanol, o que demanda cuidados com controle de qualidade para evitar alterações em aspectos como fluidez e viscosidade, em especial quando o produto tem que atender a normas físico-químicas específicas, como as definidas no Brasil pela Agência Nacional de Petróleo (ANP). Apesar das práticas de controle de qualidade distintas, pode-se afirmar que os principais produtores de biodiesel do mundo usam processos muito similares.

Dentre as matérias primas, as de fonte vegetal são as únicas em operação de larga escala, sendo que as mais comumente utilizadas são os óleos de soja, colza e girassol. Outras matérias primas vegetais que merecem destaque são: óleos de palma, girassol, amendoim, mamona, pinhão-manso (*jathropa curcas L.*) e mostarda. O biodiesel de fonte animal é mais raro e encontra-se restrito a alguns projetos de escala reduzida. O custo de produção do biodiesel depende do tipo de matéria prima utilizada na produção, do custo de capital e operacional associados à usina e do valor de venda dos subprodutos gerados no processo de produção. O biodiesel de soja é o que apresenta menor preço – entre US\$ 0,60 e 0,80/litro, seguido pelo de palma, canola, e de algas –, mas é mais caro que o diesel comum, em torno de US\$ 0,20/litro.

Diesel e biodiesel são combustíveis com desempenho muito similar¹¹⁶. O poder calorífico do biodiesel depende do processo produtivo, da matéria prima utilizada, do motor que o utiliza, dentre outros fatores¹¹⁷, mas o poder calorífico médio do biodiesel é cerca de 8% inferior ao do diesel comum¹¹⁸. Por outro lado, o biodiesel apresenta uma combustão mais eficiente do que o diesel convencional¹¹⁹. Dependendo do insumo utilizado, o consumo de biodiesel B100 reduz de 30% a 90% as emissões de GEE em comparação ao diesel convencional.¹²⁰ O B20, por exemplo, tem um potencial de redução de GEEs cerca de 4 vezes inferior ao B100. Comparando o B5, a mistura mais utilizada no mundo, ao diesel comum, seu potencial de redução de GEEs é de apenas 2%.¹²¹

Para avaliar o verdadeiro potencial de redução de GEEs do biodiesel deve-se levar em consideração todo o ciclo de vida do produto, considerando-se inclusive o impacto em emissões do plantio, no caso de matérias primas vegetais. Estima-se uma redução de cerca de 70% nas emissões de GEE do biodiesel de soja B100 em relação às emissões de GEE do diesel tipo 2 comum, desconsiderando-se os efeitos indiretos do uso da terra para a lavoura¹²². Quando tais efeitos são considerados, a redução de GEE é projetada em 34% em relação ao diesel. Em alguns países, o biodiesel é transportado por meio de caminhões movidos a combustíveis fósseis, o que diminuiu seu potencial redutor de emissão de GEEs.

A expansão da produção de biodiesel de origem vegetal é vista por muitos como uma alternativa que associa inclusão social de agricultores ao combate à mudança climática. Não devem ser desprezadas, entretanto, críticas aos possíveis impactos negativos em segurança alimentar de uma ampliação da demanda por biodiesel de origem vegetal, gerando encarecimento dos alimentos e, conseqüentemente, grave impacto social. Há que se ressaltar que a agricultura do biodiesel não compete necessariamente com culturas de alimentos, o que exige uma análise da relação por país ou região. Outros potenciais problemas a serem analisados dizem respeito às quantidades de água, fertilizantes e herbicidas utilizadas nos cultivos, o que varia segundo a matéria prima e as técnicas agrícolas utilizadas, dentre outros aspectos.

A possibilidade de se utilizar gordura reciclada para obtenção do biodiesel – proveniente, por exemplo, de óleo de cozinha – resolve alguns problemas potenciais, como a interferência em

segurança alimentar e os impactos ambientais no cultivo da matéria prima. Porém, projetos de produção de biodiesel à base de gordura reciclada ainda são pouco representativos, mas já existem projetos em fase de testes, em escala muito menor do que a produção a base de matéria prima vegetal, concentradas em áreas urbanas, nas quais o volume de gordura reciclada e políticas municipais adequadas podem conferir viabilidade à produção de biodiesel. Outra alternativa para a produção de biodiesel é a partir de microalgas – microorganismos que apresentam taxas de crescimento muito superiores a espécies como soja e mamona, proporcionando grande quantidade de biomassa rica em óleo. As microalgas se utilizam de CO₂ em seu metabolismo e podem transformar as suas áreas de cultivo em filtros para alguns GEE emitidos em processos produtivos, numa solução que se encaixa na lógica de ecologia industrial¹²³.

Mercado: principais países produtores

O biodiesel é o biocombustível produzido no maior número de países, superando o etanol. Os principais produtores de biodiesel no mundo são: Alemanha, Estados Unidos, França, Brasil e Argentina que respondem a quase 90% da produção global (Quadro 15).

Quadro 15 - Cenário mundial de produção de biodiesel (em milhões de litros)

País	Produção (2008)	Capacidade instalada anual (2009)	Matérias primas mais utilizadas
União Européia	8.813	16.000	colza e girassol
Alemanha	3.203	3.640	colza e girassol
Estados Unidos	2.649	9.842	soja
França	2.063	2.344	colza e girassol
Brasil	1.608	3.600	soja
Argentina	1.200	2.400	soja
Itália	676	768	colza e girassol
Malásia	477	-	palma e pinhão manso
Thailândia	400	-	palma e resíduos vegetais
Bélgica	315	-	colza e girassol
Polónia	313	-	colza e girassol
Espanha	235	267	colza e girassol
Reino Unido	218	-	colza e girassol
China	100	-	-
Mundo	12.000	-	-

Fontes: European Biodiesel Board, Associação dos Produtores de Biodiesel dos EUA, Agência Nacional de Petróleo (ANP), Câmara Argentina de Energias Renováveis, REN 21.

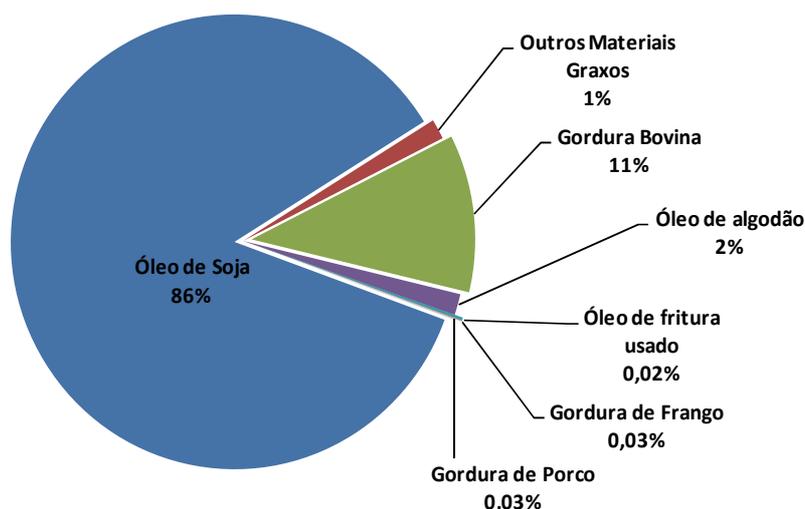
A produção mundial vem crescendo rapidamente: entre 2006 e 2008 a produção dobrou, passando de 6 para 12 bilhões de litros. Esse resultado é parcialmente atribuído ao fato de que diversos países apresentam políticas públicas de incentivo ao biodiesel sendo que a maioria dessas políticas cria obrigações de proporção de adição de biodiesel ao diesel comum vendido no país.

Biodiesel no Brasil

O início da pesquisa de biodiesel no Brasil data de meados da década de 1970, mas somente a partir de 2005 esse biocombustível começou a ser produzido em escala nacional, incentivado pelo Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB), cujo objetivo é a implementação de forma sustentável, tanto técnica quanto econômica, da produção e uso do biodiesel. Apesar de a produção de biodiesel em grande escala ser um projeto recente no país, não se deve desconsiderar, contudo, que diversas comunidades isoladas empregam óleos extraídos de plantas como combustíveis de geradores elétricos de pequeno porte, sobretudo na região norte do país, com base em plantas como buriti, babaçu e dendê. Mesmo nas regiões em que há atividade agrícola focada em grãos, é comum que agricultores produzam o combustível a ser usado em seus tratores a partir de óleo das plantas que eles mesmos cultivam, como soja e sorgo. Se, na Europa, as políticas de incentivo ao biodiesel foram criadas para responder principalmente a questões ambientais e, nos Estados Unidos, a preocupações com segurança energética, no Brasil as prioridades foram inclusão social e desenvolvimento regional, por meio da priorização da compra a partir de agricultura familiar, gerando renda para esses micro-produtores de matéria prima.

A partir de 2008, a mistura do biodiesel com diesel passou a ser obrigatória e, desde 2010, o biodiesel passou a ser adicionado ao óleo diesel na proporção de 5% em volume. A tendência é que, com o passar dos anos e com o amadurecimento da indústria, esse percentual continue aumentando. Apesar da rápida expansão nos últimos anos, o biodiesel representava apenas 1% da oferta interna de energia do país em 2008¹²⁴. O Brasil é um dos países com maior potencial para a geração do biodiesel, pois apresenta ampla área já convertida à agricultura ou em pastagens, com aproveitamento de baixa eficiência, boa variedade de matérias primas vegetais e animais, além de um setor agrícola tecnologicamente competitivo. Mesmo assim, a produção de biodiesel apresenta-se fortemente baseada em soja (Figura 14).

Figura 14 - Matérias primas utilizadas para a produção de biodiesel no Brasil



Fonte: ANP, 2009

No âmbito do PNPB, foi criado o Selo Combustível Social, que garante incentivos fiscais e creditícios às empresas que compram matérias primas advindas da agricultura familiar¹²⁵.

Passados cinco anos, apenas 1% do biodiesel produzido no país utiliza-se de matéria prima proveniente desses pequenos produtores¹²⁶, o restante é proveniente de grandes monoculturas mecanizadas de soja. Tal dependência apresenta dois aspectos altamente questionáveis: aponta no sentido inverso ao objetivo do PNPB, concentrando a produção nas regiões Centro-Oeste e Sul, em vez de pulverizá-la, alcançando sobretudo o Nordeste do país, e baseia-se na alternativa menos eficiente em produção de óleo – 17% – dentre as cultivadas no país (Quadro 16).

Quadro 16 - Culturas oleaginosas: produtividade e potencial gerador de renda

Espécie	Produtividade (toneladas/ha)	Porcentagem de óleo	Ciclo de Vida	Regiões Produtoras	Tipo de cultura	Rendimento (tonelada/ha)
Algodão	0,86 a 1,4	15	Anual	MT, GO, MS, BA e MA	Mecanizada	0,1 a 0,2
Amendoim	1,5 a 2	40 a 43	Anual	SP	Mecanizada	0,6 a 0,8
Dendê	15 a 25	20	Perene	BA e PA	Intensiva MO	3 a 6
Girassol	1,5 a 2	28 a 48	Anual	GO, MS, SP, RS e PR	Mecanizada	0,5 a 0,9
Mamona	0,5 a 1,5	43 a 45	Anual	Nordeste	Intensiva MO	0,5 a 0,9
Pinhão manso	2 a 12	50 a 52	Perene	Nordeste e MG	Intensiva MO	1 a 6
Soja	2 a 3	17	Anual	MT, PR, RS, GO, MS, MG e SP	Mecanizada	0,2 a 0,4

Fonte: Adaptada de Meirelles F. S. 2003

Parte do protagonismo da soja se explica pela não consolidação de outras matérias primas do biodiesel nacional como o dendê e a mamona. Essa última, por exemplo, é utilizada em cadeias de suprimento das indústrias farmacêutica, cosmética e química, e tem seu óleo até três vezes mais valorizado que outras alternativas. Além disso, seu óleo é muito viscoso, não se adéqua ao padrão físico-químico estabelecido pela ANP. Nesse cenário, o pinhão-manso – a alternativa com maior percentual de óleo – é vista como uma opção para o longo prazo para a produção de biodiesel no Brasil. Apesar de introduzida no país há séculos e dispersa no território brasileiro, somente em 2005 surgiram os primeiros plantios comerciais e experimentais visando ao aproveitamento do óleo, mas ainda demanda a adaptação de tecnologias de cultivo e melhoramento genético para tornar-se viável¹²⁷.

A produção de biodiesel no Brasil tem crescido consideravelmente ao longo dos últimos anos, o que possibilitou que o país se tornasse o quarto maior produtor mundial em 2009. Somente até março de 2010, o país já produziu quantidade equivalente a 33% do total produzido ao longo de todo o ano de 2009 (Quadro 17). Ao final de 2009, a capacidade instalada de biodiesel atingiu 3,6 bilhões de litros por ano, apenas superada por Estados Unidos e Alemanha.

Quadro 17 - Produção de biodiesel (B100) no Brasil desde 2005

Ano	2005	2006	2007	2008	2009	2010*
Produção Anual (milhões de litros)	0,736	69	404	1167	1608	534*
Crescimento da produção anual (%)	-	9273%	486%	189%	38%	-

Fonte: ANP. 2010 *Produção de 2010 até o mês de março, inclusive.

Em 2009, o Brasil contava com 53 empresas com capacidade para produzir biodiesel, sendo que as seis maiores em termos de capacidade eram: Granol, Oleoplan, ADM, Caramuru,

Bsbios e Petrobrás (ordenadas da maior produtora para a menor). Apesar de a Petrobrás se encontrar em sexto lugar, ela deve subir de posição nos próximos anos: em 2009, foi a empresa que mais expandiu sua capacidade instalada, para atingir uma meta de capacidade de produção de 938 milhões de litros de biodiesel por ano, em 2012¹²⁸. Outras empresas representativas no setor foram: Brasil Ecodiesel, Agrenco, Binatural, Biocapital, Bracol, Caramuru Alimentos, Comanche, Cooperbio, Oleoplan¹²⁹.

O custo do biodiesel no Brasil depende muito da matéria prima utilizada na produção, variando de R\$ 2,20/litro a R\$ 4,00/litro, sendo o biodiesel de soja o mais barato¹³⁰. Como o diesel comum custa em torno de R\$ 1,85/litro, o biodiesel brasileiro ainda só é viabilizado economicamente por meio de subsídios estimados em cerca de US\$ 260 milhões/ano.¹³¹ Em contrapartida, a produção de biodiesel nacional reduz a dependência de importação de diesel comum estrangeiro gerando economia de U\$ 1,5 bilhão/ano.¹³²

Na cidade do Rio de Janeiro, merece destaque o projeto de aproveitamento de 130 mil litros do óleo de soja descartado por 70 hotéis e 120 bares localizados em Copacabana, o qual recebeu o prêmio *Life cycle initiative award on non OECD Countries* 2008, oferecido pela UNEP. Proposto por pesquisadores da UFRJ, o estudo aponta viabilidade de implantação de uma unidade-piloto de produção de biodiesel no bairro, somando benefícios socioambientais aos econômicos¹³³. Em 2010, o Sindicato dos Hotéis, Bares e Restaurante do Rio de Janeiro encampou a proposta de implementação dessa usina¹³⁴, com estimativa de faturamento de R\$400 milhões/ano, tendo os caminhões da Companhia Municipal de Limpeza Urbana como consumidores do biodiesel produzido¹³⁵. Quando implementados no nível local, tais modelos de produção de biodiesel são menos questionáveis em relação às emissões de GEE associadas à logística reversa do insumo a ser reciclado.

Existem no Brasil alguns projetos para produção de biodiesel a partir de matérias primas não convencionais para o setor, que poderiam ser classificados como biodiesel de segunda geração. Em 2010, anunciou-se o início da fase de testes de um biodiesel à base de cana-de-açúcar para utilização em ônibus, pela empresa Amyris. Assim como outros países, o Brasil também possui frentes de pesquisa em biodiesel à base de microalgas: a empresa Algae Biotecnologia, do Grupo Ecogeo, aponta um prazo de 5 anos para que seus primeiros produtos sejam oferecidos no mercado.

8.5. Outras alternativas de energias renováveis: geotérmica e oceanos

A energia geotérmica baseia-se na utilização do calor armazenado na terra para a geração de eletricidade e é utilizada desde a Roma antiga para o aquecimento doméstico. Seu emprego ocorre majoritariamente em regiões próximas aos limites de placas tectônicas, sendo utilizada em 24 países, até 2008, acumulando cerca de 10 GW¹³⁶ de capacidade instalada, atendendo a 0,3% da demanda global por eletricidade, por meio de uma tecnologia considerada como madura e razoavelmente competitiva.

Coube ao príncipe italiano Piero Ginori Conti, o êxito ao testar o primeiro gerador geotérmico, em 1904. Ainda na Itália, em 1911, a primeira estação de caráter comercial entrou em operação. Até 1958, a Itália permaneceu como único país a ter instalações geotérmicas operando comercialmente, quando a Nova Zelândia construiu sua primeira planta geotérmica. Em 1960, os Estados Unidos inauguraram sua primeira unidade geradora de eletricidade de fonte geotérmica nos gêiseres na Califórnia e iniciou sua caminhada para tornar-se o principal país em termos de capacidade instalada. O pioneirismo italiano e a

história de mais de 40 anos da energia geotérmica nos Estados Unidos garantem a presença de tais países dentre os maiores *players* globais (Quadro 18).

Quadro 18 - Capacidade instalada em geração de energia geotérmica (2008)

Posição	País	Capacidade instalada 2008 (MW)
1	Estados Unidos	2.937
2	Filipinas	1.970
3	Indonésia	992
4	México	960
5	Itália	810

Fonte: World Energy Council - Survey Energy Reports 2009

A fonte geotérmica é eficiente em termos de custos (de US\$ 55 a US\$ 83/MWh¹³⁷), utiliza como fonte primária um recurso sem custos e apresenta pequenas emissões de gases poluentes durante a operação de suas plantas. Atraiu US\$ 2,2 bilhões¹³⁸ em novos investimentos ao longo de 2008, uma alta de 149% frente ao observado em 2007, com projetos para novas plantas totalizando 12,4 GW a serem construídos a partir de 2010. Todavia, os elevados custos iniciais associados à perfuração e exploração de recursos em regiões profundas constituem um obstáculo e oferecem certo risco a alguns projetos.

Os Estados Unidos aparecem como líderes em capacidade instalada, com perspectivas futuras positivas devido à aprovação de investimentos da ordem de US\$ 400 milhões para o Programa de Tecnologias Geotérmicas pelo governo federal norte-americano. É interessante ressaltar também a relevância de Filipinas e Indonésia, respectivamente segundo e terceiro da lista, países que não se configuram como potências globais para as demais fontes alternativas.

Os oceanos representam uma possível fonte de energia renovável pouco explorada até então, todavia com grande potencial estimado (Quadro 19). As formas de geração de eletricidade a partir do oceano variam desde o aproveitamento da energia cinética das ondas, correntes e marés, até a utilização dos gradientes de temperatura e salinidade entre diferentes regiões dos oceanos e mares.

Quadro 19 - Potencial de geração de energia nos oceanos

Fonte Energética	Potencial anual (TWh/ano)
Energia das Ondas	8.000 a 80.000
Energia das Marés	800
Gradiente de Salinidade	2.000
Energia Térmica Oceânica	10.000

Fonte: European Ocean Energy Association - 2008

Embora promissoras em termos de potencial, as fontes de energia oceânicas apresentam alguns obstáculos e desvantagens a superar, quais sejam, a distância do local de geração para o local de consumo da energia, tornando necessária a expansão de linhas de transmissão e, assim, elevando os custos envolvidos; a necessidade de utilização de materiais resistentes à água salgada com os altos custos de manutenção relacionados; e, principalmente, o impacto de tais tecnologias sobre a vida marinha.

Outra forma de energia dos oceanos com alguma aplicação comercial, embora com projetos majoritariamente experimentais, é a energia proveniente das ondas, a qual engloba enorme diversidade de técnicas (há 4 mil formas distintas patenteadas no mundo) que visam aproveitar o movimento das ondas para geração de eletricidade. Reino Unido e Portugal destacam-se como pioneiros para esta fonte, o primeiro com esforços de P&D, além de uma planta de 7 MW em operação no País de Gales e um projeto de 20 MW na costa da Inglaterra (“Wave Hub”); o segundo responsável pela inauguração da primeira planta comercial em 2008, com capacidade de 2,25 MW.

A energia das marés pode utilizar tanto o diferencial de altura do nível do oceano durante as marés altas e baixas (similar às hidrelétricas, com necessidades de barreiras ou represas), quanto a energia cinética das partículas de água em uma corrente ou maré (turbinas similares às eólicas) e, além de utilizar-se de um recurso renovável e sem custos, apresenta como vantagem o fato de tais movimentos das águas oceânicas serem previsíveis. A maior e mais antiga estação de energia proveniente de marés está em atividade desde 1966 na França e possui capacidade de 240 MW¹³⁹, porém existem outras poucas instalações com tal fonte primária de caráter comercial – Canadá (20 MW), China (5 MW) e Irlanda do Norte (1 MW), não existindo nenhuma planta deste tipo no Brasil. Todavia há alguns projetos em desenvolvimento na França - unidade com capacidade de 2 a 4 MW, com operação prevista para 2011, Reino Unido - capacidade total de 10,5 MW no País de Gales, previstos para 2011/2012 e 50 MW na Escócia, previstos para 2015, além de projetos nos Estados Unidos, ainda em fase de planejamento¹⁴⁰.

Os oceanos possibilitam a utilização de vasta gama de tecnologias para geração de energia elétrica além dos acima detalhados, sendo válido mencionar o processo de Conversão de Energia Térmica Oceânica (OTEC, na sigla em inglês), o qual utiliza o gradiente de temperatura entre as camadas superiores do oceano, aquecidas pelo sol, e as camadas inferiores mais frias para gerar eletricidade, todavia apresenta reduzida aplicação comercial, com o principal projeto desde 2008 na Índia (1 MW).

As demais técnicas para geração de energia por meio dos oceanos possuem caráter somente experimental e necessitam inclusive de maiores estudos acerca de seus impactos ambientais.

9. Energias renováveis: reflexões e oportunidades para o Brasil

Diversas evidências apresentadas ao longo deste estudo apontam que o Brasil não deve se contentar com o resultado de decisões de três a quatro décadas atrás, que o colocaram em condição de principal protagonista no cenário energético internacional. A razão do imenso prestígio é clara: com base em dados de 2008, o país oferta cerca de 85% de energia elétrica a partir de alternativas renováveis e apresenta a mais eficiente e amplamente adotada solução para produção de energia a partir de biomassa do planeta: somando-se o etanol e cogeração de eletricidade, os produtos de cana-de-açúcar responderam por 28% da oferta interna total de energia do país.

São conquistas expressivas, inegavelmente, que conferem ao país uma condição confortável, mas que não devem fazê-lo acomodar-se frente aos desafios e oportunidades que a questão energética coloca à humanidade no século XXI.

Por razões associadas, sobretudo, à segurança energética e adicionalmente a temas socioambientais, como o combate à mudança climática ou à geração de oportunidades de trabalho, diversos países desenvolvidos e em desenvolvimento vêm estimulando a expansão

do componente renovável em suas matrizes energéticas por meio de políticas de incentivo à instalação de projetos baseados em alternativas tais quais energia eólica e solar fotovoltaica, e de destinação de recursos para pesquisa e desenvolvimento em alternativas que se encontram em fase de maturação, como o etanol lignocelulósico. Nesse contexto, merecem destaque países como:

- Estados Unidos: Segundo país que mais investiu em energias renováveis em 2009 (US\$ 18,6 bilhões), possui a maior capacidade instalada total, com 53,4 GW provenientes de fontes renováveis, dos quais 31,9 GW de energia eólica. É líder no consumo e produção de etanol (47 bilhões de litros) e apresenta meta de elevar tal número para 136 bilhões de litros até 2022.
- China: Liderou o ranking de investimentos em energias renováveis em 2009 com US\$ 32,6 bilhões, atingindo 52,5 GW de capacidade instalada, dos quais 26 GW provenientes da fonte eólica, devendo alcançar entre 100 e 150 GW instalados até 2020. Principal produtor de painéis fotovoltaicos do planeta, com mais de 50 empresas atuando no setor.
- Alemanha: É líder mundial em capacidade instalada em energia solar (7,7 GW) e terceiro maior em energia eólica (25,7 GW). Possui 29% de sua matriz de energia elétrica baseada em fontes renováveis, com 36,2 GW instalados até 2009.
- França: Embora não seja um dos maiores *players* em energias renováveis, apresenta 4,5 GW de energia eólica instalados e apresenta metas relevantes para a participação das fontes renováveis em sua matriz de energia elétrica, 10% até 2020, e de biocombustíveis no consumo total de combustíveis, também 10% até 2020.
- Espanha: Destaque com relação à geração em energia solar, com 3,6 GW instalados, e em energia eólica, com 19 GW instalados. Possui 30% da matriz de energia elétrica baseada em fontes renováveis e é o país que, em 2009, mais investiu nessa área relativamente ao tamanho de seu PIB: US\$ 10,4 bilhões.
- Índia: Grande *player* em energia eólica (10,9 GW) e também em PCHs (2,5 GW). Com relação à energia solar fotovoltaica, o país apresenta metas ambiciosas de instalar 20 GW até 2022.
- Japão: País pioneiro e dos mais voltados à promoção de eficiência energética, também apresentava, em 2009, 12,9 GW provenientes de fontes renováveis, com destaque para Biomassa (3,1 GW) e Solar FV (1,7 GW).
- Coreia do Sul: Até 2009 não apresentava grande destaque na utilização de fontes renováveis em sua matriz energética, mas foi um dos países a dedicar maior parcela de seu pacote de recuperação à crise econômica para investimentos verdes. Possui metas para energia eólica (2,25 GW) e solar (1,3 GW) até 2011.

Ao fazerem tais opções, esses países não apenas buscam alcançar maior segurança energética, mas também, ao estimularem o desenvolvimento de inovações associadas às energias renováveis em centros de pesquisa e empresas, consolidam competências no setor industrial e tornam-se mais capazes de explorar outras oportunidades que as energias renováveis potencialmente oferecem num cenário de transição global para uma economia verde, como a geração de empregos, a exportação de tecnologias, máquinas e equipamentos, o acesso à energia elétrica em áreas isoladas, dentre outros benefícios.

É neste ponto que vale retornar ao questionamento inicialmente apresentado neste estudo: seriam a exploração do potencial hidrelétrico e a produção de etanol as únicas oportunidades relacionadas ao setor energético para o Brasil no século XXI?

Analisando-se inicialmente o contexto interno da geração de eletricidade, a manutenção em níveis elevados do componente renovável na matriz de energia elétrica mostra-se ameaçada com o crescimento previsto da demanda. Ainda em 2007, a oferta interna de energia elétrica a partir de fontes renováveis correspondeu a 89% do total. Tal contribuição deve cair, segundo o PDE 2010-19 para 83%, em 2019, com ponto de mínimo em 79%, em 2013, a partir de quando não se prevê mais a expansão da geração de eletricidade à base de carvão, gás natural e óleo combustível, e retoma-se a participação de fontes renováveis. Entre 2010 e 2019, planeja-se a expansão em 49% da oferta de energia elétrica, uma adição de 54 GW à rede, para atingir 167 MW de oferta total ao final do período, com incremento de 57% do componente não-renovável e de 47% do renovável. Dos 44,2 GW previstos para serem adicionados no componente renovável até 2019, 83% dizem respeito a hidrelétricas – 33,5 GW em GHE e 2,9 GW em PCH, 10% a energia eólica (4,6 GW) e 7% em biomassa (3,1 GW).

Caso esse planejamento obtenha pleno êxito em sua implementação, ao final da segunda década deste século, as cinco principais contribuições na oferta total de eletricidade serão GHE (69%), gás natural (7%), óleo combustível (6%), biomassa de cana-de-açúcar (5%) e PCH (4%). A alternativa eólica (3,6%) seria apenas a 6ª mais relevante em geração energia elétrica e não há metas para energia solar em escala comercial no país.

Mas, o cumprimento da meta de expansão de hidrelétricas esbarra cada vez mais em questionamentos sobre os impactos socioambientais desses projetos, sobretudo naqueles localizados na região amazônica, o que coloca em dúvida também o alinhamento dessa alternativa ao desenvolvimento sustentável do país. Esse processo contribui para o aumento da complexidade do licenciamento ambiental de projetos de hidrelétricas, que passam a demandar mais tempo para serem aprovados.

Uma maneira de se gerenciar esse risco é reduzir o componente de energias renováveis na matriz energética do país: uma ação na contramão do que diversos países vêm fazendo, que o Brasil até poderia justificar em razão de sua matriz energética “limpa”, mas que certamente não cairiam bem ao um país que desempenha papel cada vez mais decisivo na comunidade internacional em temas sociais, econômicos e ambientais.

Outro caminho seria incrementar a participação de alternativas renováveis como energia eólica e solar na matriz energética nacional. Mas tal solução, contudo, é tida ainda por muitos como uma proposta ingênua, quando não inviável. Além disso, é comum que críticas à preferência nacional pela construção de novas hidrelétricas sejam simplesmente classificadas como meros libelos anti-barragistas. Vale ressaltar que o potencial eólico brasileiro, estimado em aproximadamente 140 GW no ano de 2001, é provavelmente superior a 300 GW tomando-se por base a tecnologia disponível em 2010. Em termos de energia solar, o país beneficia-se de 2.200 horas de insolação por ano, dado que a maior parte do território nacional encontra-se em regiões de clima tropical e com altos níveis de radiação, mas apresenta capacidade instalada de apenas cerca de 20 MW.

Uma vez que é bastante clara a tendência de expansão em escala global do uso de energia eólica – *onshore* e *offshore* – e solar fotovoltaica, e que o Brasil apresenta amplo potencial de

exploração dessas alternativas, o que poderia justificar a pouca prioridade dada a elas pelo país?

Se o argumento central é segurança energética, a energia eólica, em razão da complementaridade com o nível dos reservatórios do sistema hidrelétrico, encontra-se em posição privilegiada, o que justificaria metas mais ambiciosas para sua participação na oferta nacional de energia elétrica. Se a justificativa for o alto preço de contratação, a energia eólica pouco a pouco, vem se tornando cada vez mais competitiva nesse aspecto. Prova disso, se encontra no preço alcançado no último leilão de energias renováveis, realizado em agosto de 2010, em que ele atingiu R\$ 130,86 /kW, se mostrando até mais barato do que o de PCH. Além disso, ao se incrementar a participação das alternativas eólica e solar fotovoltaica, reduz-se a vulnerabilidade do sistema elétrico de forma semelhante ao que ocorre com a maior utilização de termelétricas, quando o nível dos reservatórios encontra-se baixo, com a vantagem de se contribuir à manutenção – ou até mesmo à expansão – do componente renovável na matriz de geração de energia elétrica brasileira.

Outro importante aspecto a ser considerado na análise dessa questão diz respeito aos reflexos da opção por privilegiar as hidrelétricas na competitividade do país, pouco preparado para explorar oportunidades em energias renováveis que não aquelas associadas à biomassa, no país ou em mercados internacionais.

A recente expansão da capacidade instalada em energia eólica esconde a falta de competitividade da indústria brasileira nessa alternativa. O país já se encontra muito atrás dos principais competidores, que começaram a pesquisar na década de 1970, no mesmo período em que, em razão da crise do petróleo, o Brasil apostou no etanol de cana-de-açúcar. Vale lembrar a dificuldade de se cumprir as metas iniciais do PROINFA em relação a projetos de energia eólica, em razão da dificuldade de atendimento da exigência de nacionalização de equipamentos e serviços de, no mínimo, 60% em valor, dentre os projetos a serem instalados. Ainda que ínfimo quando comparado a todo seu potencial, não se pode deixar de notar que há algum esforço do governo em incentivar a geração oriunda dessa fonte. Somente no último leilão de energias renováveis foram contratados 2.048 MW de energia eólica.

No caso da energia solar fotovoltaica, a disputa pelo mercado internacional vê países como Japão, China e Tailândia adentrando de forma robusta à competição, como fornecedores de placas solares, apesar de ainda não produzirem células fotovoltaicas comparáveis às oferecidas por Alemanha e Estados Unidos. Enquanto isso, no Brasil, as políticas para essa alternativa mostram-se ainda tímidas.

Em relação aos biocombustíveis, considerando-se todos os aspectos socioambientais, de segurança alimentar e de competitividade de nações, parece não haver alternativa à expansão da oferta de etanol ao longo do século XXI, que não por meio de tecnologias de segunda geração (etanol lignocelulósico).

Nesse contexto, o Brasil desempenha papel de destaque pelo fato de o país ser o único a apresentar uma alternativa de biocombustível avançado já implementada em larga escala, e pode ampliar a sua vantagem em relação à concorrência em razão de possuir uma matéria prima estabelecida, que pode ser explorada de forma complementar por tecnologias de segunda geração. Com possibilidade de produzir etanol também a partir do bagaço e da palha da cana-de-açúcar, a produtividade de etanol por hectare plantado de cana-de-açúcar pode ser acrescida em até 40%. Mas a confirmação de tal protagonismo passa necessariamente pelo êxito do país em suas pesquisas em etanol lignocelulósico – de variedades de cana a produção

de enzimas e equipamentos, numa corrida na qual já enfrenta forte competição de países como Canadá e Suécia, além dos Estados Unidos, sendo que os investimentos deste último já suplantam os brasileiros.

No entanto, para além da necessidade de investimentos em P&D em tecnologia para etanol lignocelulósico, há uma ampla gama de oportunidades não exploradas que dizem respeito ao etanol de cana-de-açúcar de primeira geração. As metas internacionais de expansão do uso de biocombustíveis em transporte oferecem ao Brasil não apenas oportunidades de exportar etanol de cana-de-açúcar, já reconhecido como biocombustível avançado, mas também de tecnologia, máquinas e equipamentos. Contudo, apenas o aumento recente do consumo interno, por meio da expansão da frota de carros *flex fuel*, já saturou a cadeia de suprimento que atende a demanda interna por novas usinas, as quais atualmente levam cerca de quatro anos para serem instaladas. E há que se considerar ainda que tal processo deve se tornar ainda mais intenso com a consolidação da cadeia alcoólquímica no país – examinada no próximo estudo desta série – e com o amadurecimento da tecnologia de segunda geração.

O Brasil apresenta grande potencial para o desenvolvimento das energias renováveis e não pode se satisfazer apenas com a exploração do seu potencial hidrelétrico e com a liderança em no cenário internacional de biocombustíveis. Dado o seu potencial para a geração de energia a partir das matrizes eólica e solar, ignorar tais vocações é um contra-senso em termos de segurança energética, que acaba por afetar também a competitividade do país e de suas empresas, uma vez que os mais importantes países do cenário internacional estão investido cada vez mais em P&D e geração a partir de energias renováveis e suas empresas têm ampliado sua participação nesses segmentos.

Há que se reconhecer que, embora tenha se tornado uma referência em biocombustíveis com o desenvolvimento do etanol de cana-de-açúcar, o Brasil ainda tem seu processo de inovação industrial e agrícola distante do século XXI. Por esse aspecto, considerando-se a transição para uma economia verde em escala global, é essencial que o país crie condições adequadas a inovações para o desenvolvimento sustentável em energias renováveis.

-
- ¹ BARBIER, Edward B. Rethinking the Economic Recovery: A Global Green New Deal. UNEP. 2009
- ² REN 21. Global Issues of Renewable Energies. Disponível em: <http://www.ren21.net/GlobalIssues/>
- ³ FAPESP. Um futuro com energia sustentável: iluminando o caminho. 2010.
- ⁴ EU-27: Alemanha, Áustria, Bélgica, Bulgária, Chipre, Dinamarca, Eslováquia, Eslovênia, Espanha, Estônia, Finlândia, França, Grécia, Hungria, Holanda, Irlanda, Itália, Letônia, Lituânia, Luxemburgo, Malta, Polônia, Portugal, Reino Unido, República Tcheca, Romênia e Suécia.
- ⁵ Renewable Energy Snapshots 2010. Joint Research Centre - European Commission.
- ⁶ REN21, 2009
- ⁷ New Energy Finance, 2010
- ⁸ REN 21. Disponível em: <http://www.ren21.net/GlobalIssues/SustainabilityIssues/>
- ⁹ 1.181 MW em 62 PCHs, 550 MW em 21 usinas termelétricas a biomassa e 1.423 MW em 54 usinas eólicas. (EPE, 2010)
- ¹⁰ EPE 2009
- ¹¹ EPE 2009
- ¹² Termo usado oficialmente pela EPE, relacionado à redução efetiva do consumo de energia e não à conservação em termos físicos da mesma. (EPE, 2010)
- ¹³ JACKSON, Tim. Prosperity without growth? The transition to a sustainable economy. Sustainable Development Commission. 2009. Disponível em: <http://www.sd-commission.org.uk/publications.php?id=914>
- ¹⁴ OECD. The Oslo Manual: The Measurement of Scientific and Technical Activities. Paris: OECD; Eurostat, 1997.
- ¹⁵ OECD. Sustainable Manufacturing and Eco-innovation: Towards a Green Economy. 2009.
- ¹⁶ BARBIERI, J.C; VASCONCELOS, I.F.G; ANDREASI, T; VASCONCELOS, F.C. Inovação e sustentabilidade: novos modelos e proposições. Revista de Administração de Empresas (RAE), v. 50, n. 2, abr – jun/2010.
- ¹⁷ BARBIERI, J.C; VASCONCELOS, I.F.G; ANDREASI, T; VASCONCELOS, F.C. Inovação e sustentabilidade: novos modelos e proposições. Revista de Administração de Empresas (RAE), v. 50, n. 2, abr – jun/2010.
- ¹⁸ REN 21. Global Issues of Renewable Energies. Disponível em: <http://www.ren21.net/GlobalIssues/>
- ¹⁹ FAPESP. Um futuro com energia sustentável: iluminando o caminho. 2010.
- ²⁰ FAPESP. Um futuro com energia sustentável: iluminando o caminho. 2010
- ²¹ FAPESP. Um futuro com energia sustentável: iluminando o caminho. 2010. p. 27.
- ²² IEA, World Energy Outlook 2009.
- ²³ UNEP. Green jobs. Towards decent work in a sustainable, low-carbon world. 2008.
- ²⁴ Disponível em: <http://www.agencia.fapesp.br/materia/11943/especiais/sustentabilidade-energetica-comecaramos-transportes.htm>.
- ²⁵ Towards Sustainable Production and Use of Resources: Assessing Biofuels, publicado pela International Panel for Sustainable Resource Management - UNEP and Wuppertal Institute (2009); Principles & Criteria for Sustainable Biofuel Production, publicado pelo Roundtable on Sustainable Biofuels (2009); Bioenergy: A Framework for Decision Makers, publicado pela UN-Energy (2007); Sustainability Standards for Bioenergy, publicado pela WWF (2006);
- ²⁶ World Wind Energy Association, publicado pelo Sustainability and Due Diligence Guidelines (2005).
- ²⁷ Resíduos são combustíveis compostos por diversos materiais descartados por indústrias, empresas, hospitais e domicílios, como borracha, plásticos, óleos de origem fóssil dentre outros produtos semelhantes. Podem ser usados tanto na forma líquida quanto sólida, renovável ou não, biodegradável ou não (IEA, 2005)
- ²⁸ FAPESP. Um futuro com energia sustentável: iluminando o caminho. 2010
- ²⁹ FAPESP. Um futuro com energia sustentável: iluminando o caminho. 2010. p. 211
- ³⁰ FAPESP. Um futuro com energia sustentável: iluminando o caminho. 2010.
- ³¹ EU-27: Alemanha, Áustria, Bélgica, Bulgária, Chipre, Dinamarca, Eslováquia, Eslovênia, Espanha, Estônia, Finlândia, França, Grécia, Hungria, Holanda, Irlanda, Itália, Letônia, Lituânia, Luxemburgo, Malta, Polônia, Portugal, Reino Unido, República Tcheca, Romênia e Suécia.
- ³² Renewable Energy Snapshots 2010. Joint Research Centre - European Commission.
- ³³ FAPESP. Um futuro com energia sustentável: iluminando o caminho. 2010.
- ³⁴ REN21, 2009
- ³⁵ New Energy Finance, 2010
- ³⁶ REN 21. Renewables 2007 Global Status Report.

-
- ³⁷ REN21 Renewables 2009 Global Status Report Update
- ³⁸ REN 21. Disponível em: <http://www.ren21.net/GlobalIssues/SustainabilityIssues/>
- ³⁹ Agência Internacional de Energia (IEA), Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP), REN21, Comissão Europeia para Estudos de Políticas em Energias.
- ⁴⁰ 1.181 MW em 62 PCHs, 550 MW em 21 usinas termelétricas a biomassa e 1.423 MW em 54 usinas eólicas. (EPE, 2010)
- ⁴¹ EPE 2009
- ⁴² EPE 2009
- ⁴³ Termo usado oficialmente pela EPE, relacionado à redução efetiva do consumo de energia e não à conservação em termos físicos da mesma. (EPE, 2010)
- ⁴⁴ World Wind Energy Association. World Wind Energy Report. 2009
- ⁴⁵ REN21. Renewables Global Status Report. 2009
- ⁴⁶ World Wind Energy Association. World Wind Energy Report. 2009
- ⁴⁷ New Energy Finance
- ⁴⁸ Previsão de capacidade da China em IEA, World Energy Outlook, 2009 & REN21; e dos Estados Unidos Previsão em IEA, World Energy Outlook, 2009.
- ⁴⁹ REN21. Interactive Map (Country Profiles)
- ⁵⁰ Site corporativo: www.londonarray.com
- ⁵¹ UNEP. Global Trends in Sustainable Energy Investment 2009.
- ⁵² UNEP. Global Trends in Sustainable Energy Investment 2009; AWEA. USA Wind Outlook. 2009; EWEA. Wind in Power: 2009 Statistics; e disponível em: <http://www.bloomberg.com>.
- ⁵³ UNEP. Global Trends in Sustainable Energy Investment 2009. Em termos de projeções futuras, consta no Global Futures 2020 Peak.
- ⁵⁴ New Energy Finance
- ⁵⁵ UNEP. Global Trends in Sustainable Energy Investment 2009
- ⁵⁶ New Energy Finance
- ⁵⁷ Global Wind Energy Council. Global Wind Report 2009.
- ⁵⁸ World Wind Energy Association. World Wind Energy Report 2009
- ⁵⁹ ANEEL, 2010
- ⁶⁰ World Wind Energy Association. World Wind Energy Report 2009
- ⁶¹ World Wind Energy Association. World Wind Energy Report 2009
- ⁶² ANEEL, 2001
- ⁶³ World Wind Energy Association. World Wind Energy Report 2009
- ⁶⁴ Wind Forum Brazil, 2009
- ⁶⁵ Porrua, F., Bezerra, B., Barroso, L.A., Lino, P., Ralston, F. and Pereira, M.V.F., 2010. Wind power integration through energy auctions in Brazil. Proceedings of IEEE General Meeting, Minneapolis, MN.
- ⁶⁶ EPE – “INFORME À IMPRENSA Leilões de Fontes Alternativas 2010”
- ⁶⁷ UNEP. Global Trends in Sustainable Energy Investment 2009. Análise Energia. Anuário 2010.
- ⁶⁸ Associação Brasileira de Energia Eólica, 2010
- ⁶⁹ 10¹⁵ Watts
- ⁷⁰ New Energy Finance, 2010
- ⁷¹ New Energy Finance, 2010
- ⁷² U.S Department of Energy - 2008
- ⁷³ REN 21
- ⁷⁴ IEA (2009)
- ⁷⁵ REN 21
- ⁷⁶ U.S Department of Energy - 2008
- ⁷⁷ EPIA - Solar Generation V Report Sep 2008
- ⁷⁸ INPE. Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2006.
- ⁷⁹ Varella, Fabiana K. de O. M.; Gomes, Rodolfo D. M. Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica no Brasil: Panorama da Atual Legislação, 2009.
- ⁸⁰ U.S Department of Energy - 2008
- ⁸¹ Zilles, R. Geração Distribuída com Sistemas Fotovoltaicos, 2008
- ⁸² Plano Nacional de Energia 2030. EPE, 2007. Disponível em: <http://www.epe.gov.br>
- ⁸³ Projeto de Lei Senado 336-2009
- ⁸⁴ REN 21. Global Status Report. 2009
- ⁸⁵ REN 21. Global Status Report. 2009
- ⁸⁶ IEA. Energy Technology Essentials: Biofuel Production. 2007

-
- ⁸⁷ IEA. From 1st to 2nd Generation Biofuels Technologies. 2008
- ⁸⁸ New Energy Finance. Green Investing. 2010
- ⁸⁹ REN 21. Global Status Report. 2009
- ⁹⁰ EPA. Renewable Fuel Standard Program, RFS2. 2010
- ⁹¹ IEA. Energy Technology Essentials: Biofuel Production. 2007
- ⁹² IPEA, Biocombustíveis no Brasil. Etano e biodiesel. 2010.
- ⁹³ COPERSUCAR. Relatório de sustentabilidade 2009/2010.
- ⁹⁴ FAPESP. Um futuro com energia sustentável: iluminando o caminho. 2010
- ⁹⁵ COPERSUCAR. Relatório de sustentabilidade 2009/2010
- ⁹⁶ Agroanalysis. Cumprimento da meta. 2010, vol 30, n. 3.
- ⁹⁷ EPE. Nota técnica. Cenários para exportação de etanol para os EUA. 2010.
- ⁹⁸ IEA. From 1st to 2nd Generation Biofuels Technologies. 2008
- ⁹⁹ IEA. Sustainable Production of Second Generation Biofuels. 2010
- ¹⁰⁰ UNEP. Global Trends in Sustainable Energy Investment. 2009
- ¹⁰¹ UNEP. Global Trends in Sustainable Energy Investment. 2009
- ¹⁰² EPA. Renewable Fuel Standard Program, RFS2. 2010
- ¹⁰³ EPE. Nota técnica. Cenários para exportação de etanol para os EUA. 2010.
- ¹⁰⁴ NASTARI, G. Capital estrangeiro cada vez mais forte. Agroanalysis. 2010, vol 30, n. 4.
- ¹⁰⁵ Agroanalysis. O Processo de Internacionalização. 2010, vol 30, n. 3.
- ¹⁰⁶ Agroanalysis. O Processo de Internacionalização. 2010, vol 30, n. 3.
- ¹⁰⁷ Agroanalysis. O Processo de Internacionalização. 2010, vol 30, n. 3.
- ¹⁰⁸ NASTARI, G. Capital estrangeiro cada vez mais forte. Agroanalysis. 2010, vol 30, n. 4
- ¹⁰⁹ JUNIOR, , Cirilo. Petrobras planeja usar bagaço de cana na produção de álcool. Folha de São Paulo. 25 de ago. de 2010.
- ¹¹⁰ MARQUES, F. O alvo é o bagaço. Revista Fapesp, no.163, set. 2009.
- ¹¹¹ NASTARI, P. A indústria também é flex. Agroanalysis. 2010, vol 30, n. 3.
- ¹¹² RINGSTROM, A. Dedini e Novozymes fecham acordo para fazer etanol celulósico. Disponível em: <http://portalexame.abril.com.br/meio-ambiente-e-energia/noticias/dedini-novozymes-fecham-acordo-fazer-etanol-celulosico-579168.html>
- ¹¹³ MARQUES, F. O alvo é o bagaço. Revista Fapesp, no.163, set. 2009.
- ¹¹⁴ New Energy Finance. Green Investing. 2010
- ¹¹⁵ IEA. From 1st to 2nd Generation Biofuels Technologies. 2008
- ¹¹⁶ Para comparar o desempenho geral de dois combustíveis deve-se empreender uma análise complexa que considera que tipo de motor está sendo utilizado para queima do mesmo, a eficiência de combustão deste motor, o seu torque, o consumo de combustível por distância, e a potência (em cv) gerados por este motor. Estes fatores são afetados diretamente pelo tipo de combustível utilizado. A matéria-prima empregada para produzir o biodiesel também influi no desempenho final deste: nem todo biodiesel é igual em termos de desempenho geral. Em diversos estudos, nos Estados-Unidos, Brasil e Europa, conclui-se que o desempenho do biodiesel é muito próximo ao do diesel comum.
- ¹¹⁷ O poder calorífico é a quantidade de calor liberada durante a combustão (queima) de um combustível, quanto maior o poder calorífico mais energia o combustível nos fornece.
- ¹¹⁸ Nota técnica: O valor de 8% diz respeito ao poder calorífico do combustível. O valor de 8% aqui citado compara o poder calorífico do biodiesel puro (B100) feito a partir de óleo de soja com o diesel comum tipo 2 americano. Fonte:National Biodiesel Board, 2010
- ¹¹⁹ A qualidade de ignição na combustão do biodiesel é medida pelo chamado “número de cetano”. O número de cetano é maior para o biodiesel do que para o diesel comum o que indica que o biodiesel tem uma combustão mais eficiente do que o diesel comum. Fonte:National Biodiesel Board, 2010
- ¹²⁰ Considerando-se todo o ciclo de vida do biodiesel. Fonte: EPA. A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions. 2002
EPA, 2001
- ¹²² CARB. Detailed California-Modified GREET Pathway for Biodiesel from Midwest Soybeans.
- ¹²³ ALGAE. Site corporativo: <http://www.algae.com.br/>
- ¹²⁴ Ministério de Minas e Energia (MME). Empresa de Pesquisa Energética, (EPE). Balanço Energético Nacional 2009: ano base 2008 – resultados preliminares.
- ¹²⁵ Em 2010, o selo Combustível Social é concedido a empresas que compram matéria-prima da agricultura familiar em um percentual mínimo que varia segundo a localização da família produtora: sendo de 15% para região Norte e Centro-Oeste e 30% para famílias das regiões Sul, Sudeste, Nordeste e Semi-árido. Além disso, há outras exigências: o contrato entre a empresa e o pequeno agricultor deve seguir certas especificações, e a

empresa compradora da matéria-prima deve fornecer capacitação técnica e assistência aos agricultores familiares. A empresa pode utilizar o selo para se promover comercialmente. O selo garante redução nos encargos fiscais: PIS/PASEP e COFINS dependendo da região e da matéria-prima que é comprada, além disso, possibilita que a empresa tome empréstimos mais baratos no BNDES, Banco do Brasil, Banco do Nordeste do Brasil e Banco da Amazônia. Fonte: Ministério do Desenvolvimento Agrário. Disponível em: <www.mda.gov.br/selo>.

¹²⁶ IPEA, 2010

¹²⁷ DURÃES, F. O.; LAVIOLA, B. Pinhão-manso: uma opção a longo prazo. *Agroanalysis*, v. 30, n.4; abril 2010.

¹²⁸ *Análise Energia* (2010)

¹²⁹ UNEP. *Global Trends in Sustainable Energy Investment*, 2009.

¹³⁰ EPE – Plano Decenal de Energia, 2008-2017

¹³¹ Estimativa de subsídio ao biodiesel feita pela ANP para o ano de 2009.

¹³² Estimativa feita pela Petrobrás para o ano de 2010, disponível em IPEA (2010)

¹³³ PLANETA COPPE. Disponível em <http://www.planeta.coppe.ufrj.br/artigo.php?artigo=1215>

¹³⁴ Aguarda-se o apoio da prefeitura do município na cessão de um terreno em Copacabana, para implantação da usina.

¹³⁵ WERNECK, F. Engenheiro propõe usina de biodiesel em Copacabana. *O Estado de S.Paulo*. 10 jul 2010. Disponível em http://www.estadao.com.br/estadaodehoje/20100710/not_imp579209,0.php.

¹³⁶ World Energy Council – *Survey of Energy Resources 2009*

¹³⁷ *New Energy Finance*, 2010.

¹³⁸ UNEP. *Global Trends in Sustainable Energy Investment*, 2009.

¹³⁹ *European Ocean Energy Association – 2008*

¹⁴⁰ *Survey of Energy Resources – World Energy Council - 2009*