



Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

Faculdade de Ciências e Letras

Departamento de Economia

MONOGRAFIA

A ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA E SEU MERCADO NO BRASIL

Graduanda: Letícia Neiva Uto

Orientador: Prof^ª. Dr^ª. Luciana Togeiro de Almeida

Araraquara, junho de 2012

FACULDADE DE CIÊNCIAS E LETRAS – CAMPUS DE ARARAQUARA
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA

LETÍCIA NEIVA UTO

A ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA E SEU MERCADO NO BRASIL

Monografia apresentada à Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” como exigência para a conclusão do curso de Ciências Econômicas da Faculdade de Ciências e Letras.

Orientador: Prof^ª. Dr^ª. Luciana Togeiro de Almeida

Banca Examinadora: Prof. Dr. Rogério Gomes

*Aos meus pais, por todo amor, apoio e
dedicação, e por terem acreditado sempre no
meu potencial independente das
circunstâncias.*

Agradecimentos

Agradeço aos meus amigos e familiares pelo total apoio e que, mesmo longe, me deram a certeza de que todos os meus obstáculos poderiam ser superados, pois sempre poderia contar com a força e a confiança de cada um. Devo um agradecimento especial aos meus pais que sempre se esforçaram ao máximo para não deixar que faltasse para suas filhas a educação, pois, como dizem, o conhecimento é a única coisa que não pode ser tirada do homem.

Os (hoje, curtos) anos longe de casa foram recompensados com oportunidades únicas de crescimento. Todas as experiências foram válidas de uma maneira singular: conviver com diferentes pessoas em um ambiente de “república” me ensinou o respeito mútuo; participar de uma empresa júnior foi essencial para meu crescimento profissional e me ajudou a compreender a importância do trabalho em grupo e do valor de cada indivíduo nas mais diversas circunstâncias; estudar na UNESP me ensinou o sentimento de unidade e a valorizar as oportunidades que nos são dadas ao máximo. Agradeço a todos os amigos que pude conhecer e com os quais compartilhei todos os momentos unespianos, desde as noites em claro para os estudos até as famosas festas universitárias!

A algumas pessoas devo um agradecimento especial: ao Roberto, por ser o meu verdadeiro companheiro desde minha primeira semana fora de casa, por me apoiar e não me deixar perder o foco ou desanimar por mais difíceis que fossem os obstáculos; à Mariane, pela companhia e apoio incomparáveis (e extraordinários) em todos os momentos da minha graduação, mesmo quando só ela acreditava em mim; à Lidianne, por ensinar como é bom poder contar com um coração amigo sempre; à Silmara por ter sido a melhor vizinha que eu poderia ter tido durante nosso intercâmbio para a França; e a tantos outros estimados amigos que fizeram dos meus dias como universitária araraquarense inesquecíveis: Mariana Negri (Mariguete), Carlos (Carlinhos), Renata Perina (Rê), Rafael Campolina (Rafa), Felipe Cezar (Chernobyl), Giovanna (Djow), Caroline (Carol), Fernando Augusto (Aladin)... Muito obrigada pela oportunidade de conhecer e compartilhar cada experiência com vocês!!

Aos meus docentes, agradeço pela paciência e dedicação. Em especial, devo agradecer a mestres como a Prof^a. Dr^a. Luciana Togeiro de Almeida, por trazer ao alcance de seus alunos assuntos que vão muito além da economia política, mas que lidam com o ser humano e o meio em que ele vive. Obrigada por me apresentar esse caminho que, hoje, sigo com muito orgulho e dedicação.

Resumo

A energia solar fotovoltaica tem se destacado como uma opção de fonte energética limpa e muito confiável. No entanto, é a Europa que detém a maior representatividade fotovoltaica no mercado mundial, indo contra o senso comum de que seriam os países pertencentes ao Cinturão do Sol aqueles com a maior capacidade instalada. Apesar das condições favoráveis para o desenvolvimento da fonte, o Brasil possui um mercado muito deficitário, contando apenas com poucos projetos de incentivo para levar eletricidade para comunidades carentes afastadas dos centros de geração ou das redes de distribuição. O país carece de programas exclusivos para a energia solar fotovoltaica que proporcionem incentivos ao mercado, a fim de impulsionar a indústria local e estimular o investimento no longo prazo para a maior diversificação da matriz energética brasileira. Assim, o presente estudo buscou ilustrar e analisar o cenário do mercado brasileiro atual da energia solar fotovoltaica, apresentando seus saldos comerciais com os quatro principais mercados mundiais para a fonte: Europa, EUA, Japão e China, segundo os dados disponibilizados pelo banco de dados Aliceweb para os itens 8541401, 8541402 e 8541403, classificados segundo a NCM.

Palavras-chave: energia solar fotovoltaica, desenvolvimento sustentável, matriz energética.

Índice

INTRODUÇÃO.....	7
CAPÍTULO 1 – O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A ECONOMIA ECOLÓGICA.....	9
1.1 Introdução.....	9
1.2 Desenvolvimento Sustentável.....	10
1.3 A Economia Ecológica e o Desenvolvimento Sustentável.....	13
CAPÍTULO 2 – A ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA (ES-FV) COMO OPÇÃO DE ENERGIA LIMPA.....	16
2.1 Introdução.....	16
2.2 Fontes Energéticas.....	17
2.2.1 Energias Não Renováveis.....	18
2.2.1.1 Gás Natural.....	19
2.2.1.2 Petróleo.....	19
2.2.1.3 Carvão.....	19
2.2.1.4 Energia Nuclear.....	20
2.2.2 Considerações sobre as Energias Não Renováveis.....	21
2.2.3 Energias Renováveis.....	22
2.2.3.1 Energia Hídrica.....	25
2.2.3.2 Energia Eólica.....	25
2.2.3.3 Energia da Biomassa.....	26
2.2.3.4 Energia Solar Térmica.....	26
2.3 A Energia Solar Fotovoltaica: Uma Opção Viável de Energia Limpa.....	27
2.3.1 A Tecnologia da ES-FV.....	28
2.3.1.1 O Silício (Si).....	29
2.3.1.2 Células, Módulos e Outras tecnologias.....	29
2.3.2 A Produção Atual da ES-FV e seu Mercado Mundial.....	33
2.3.3 Mais Razões para Apostar na ES-FV.....	37
CAPÍTULO 3 – CONSIDERAÇÕES ACERCA DO MERCADO BRASILEIRO DE ES-FV.....	40
3.1 Introdução.....	40
3.2 A Matriz Energética Brasileira.....	42
3.3 A ES-FV no Brasil: Linha do Tempo e Programas de Incentivo às Energias Renováveis.....	45
3.4 O Mercado Brasileiro da ES-FV.....	51
3.4.1 Os Volumes Comercializados.....	53
CAPÍTULO 4 – O CINTURÃO DO SOL E O CENÁRIO DA AMÉRICA LATINA.....	62
4.1 Introdução.....	62
CONCLUSÃO.....	68
Referências Bibliográficas.....	70

Índice de Figuras, Gráficos e Tabelas

Figura 1: Sistema Energético: da extração aos serviços energéticos.....	18
Figura 2: Ilustração da Fusão Nuclear.....	20
Figura 3: Ilustração da Fissão Nuclear.....	20
Figura 4: Custos externos para a produção de energia na Comunidade Europeia (Eurocent/kWh).....	24
Figura 5: Comparação entre coletores solares térmicos: planos e tubos evacuados.....	27
Figura 6: Cadeia de Valor FV.....	30
Figura 7: Hyung-Jun Koo and Dr. Orlin D. Velez, “Aqueous soft matter based photovoltaic devices”.....	31
Figura 8: Japanese Spherical Solar Cells.....	31
Figura 9 : World Game Stadium.....	32
Figura 10: Evolução da capacidade instalada da ES-FV em MW 2000-2010.....	34
Figura 11: Capacidade FV instalada em países líderes nos anos de 2000, 2004 e 2008, e sua distribuição no mapa mundi.....	34
Figura 12: Capacidade global acumulada instalada 2010 (MW, %) - Mercado.....	35
Figura 13: Mercado vs. Produção.....	36
Figura 14: Comparação das disponibilidades das fontes energéticas renováveis.....	37
Figura 15: Comparação das quantidades de gases de efeito estufa (gramas de CO ₂) emitidos por kilowatt-hora.....	38
Figura 16: Desempenho e preço atuais de diferentes tecnologias de módulos FV.....	39
Figura 17: Sistema de bombeamento FV – Santa Cruz I (Mirante do Paranapanema - SP).....	46
Figura 18: Sistema FV de bombeamento de água para irrigação (Capim Grosso – BA).....	46
Figura 19: Sistema de eletrificação FV do Núcleo Perequê (Vale do Ribeira - SP).....	46
Figura 20: Usina Solar de Tauá.....	49
Figura 21: Estádio Pituacu, Salvador-BA.....	50
Figura 22: Mercado vs. Produção.....	53
Figura 23: Países do Cinturão do Sol escolhidos para o escopo do estudo.....	63
Figura 24: Mapa da oportunidade para a ES-FV nos Países do Cinturão do Sol.....	64
 Tabela 1: Eficiência dos módulos FVs em um período de 20 anos.....	 30
Tabela 2: Instrumentos de Política adotados no Brasil.....	47
Tabela 3: Classificação de 3 itens da cadeia FV segundo a NMC.....	52
Tabela 4: Classificação dos Instrumentos de Promoção de Fontes de Energia Renováveis.....	60
Tabela 5: Capacidade FV de alguns países do Cinturão do Sol.....	66

INTRODUÇÃO

A sociedade econômica reconheceu, há tempos, que o padrão econômico de consumo praticado não é mais sustentável, o que leva a uma preocupação constante de como sustentar ou dar manutenção para tal sistema econômico tão fragilmente pautado em fontes não renováveis e que geram diversas externalidades negativas.

Uma abordagem multidisciplinar deve ser utilizada para se tratar de um tema que diz respeito não só à população que hoje usufrui das condições atuais, mas também, na mesma magnitude, das possibilidades de gerações futuras usufruírem do mesmo ou de maior padrão de vida que a atual sociedade, remetendo-nos à definição de desenvolvimento sustentável. É pela preocupação com as alterações climáticas no mundo, decorrentes da emissão indiscriminada de gases de efeito estufa, que convenções sobre o clima vem sendo realizadas por organismos internacionais desde 1992. Durante a Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas de 2009 (COP15), realizada em Copenhague, Dinamarca, por exemplo, foi-se acordado sobre a necessidade de limitar a 2°C por ano o aumento da temperatura média global da Terra.

A energia é uma das fontes mais essenciais para a existência do homem, pois ela é o motor que viabiliza o desenvolvimento no geral, principalmente, de tecnologias que auxiliam na manutenção da produção global, possibilitando o desenvolvimento de toda a humanidade. No entanto, são as fontes para a obtenção dessa energia que preocupam, pois há ainda uma grande demanda por insumos fósseis que causam malefícios para o meio ambiente e, portanto, para todos os meios de vida.

Uma das opções de geração de energia elétrica a partir de fonte abundante, naturalmente renovável e limpa (que não emite gases de efeito estufa) é a energia solar fotovoltaica, que é a geração de energia elétrica a partir da luz solar, através de sistemas isolados ou ligados diretamente à rede de distribuição elétrica. A energia elétrica proveniente de sistemas solares pode ser a alternativa para reduzir o consumo direto e indireto de insumos de fontes não renováveis e extremamente maléficos ao meio ambiente quando utilizados indiscriminadamente.

A energia solar fotovoltaica ainda é pouco conhecida e explorada mesmo em locais com grande potencial energético solar, como é o caso do Brasil. Nesse sentido, este estudo busca apresentar tal fonte energética e analisar seu respectivo mercado atual no país,

para difundir o seu grande potencial. A fim de atingir tais objetivos, o estudo foi estruturado em quatro partes.

Após apresentar o cenário preocupante em que se encontra a humanidade e sua relação com o meio ambiente e discutir quais as abordagens devem ser utilizadas para lidar com o assunto, no primeiro capítulo, o segundo capítulo dará início ao tema energético.

O capítulo analisa as opções energéticas atualmente disponíveis para suprir a crescente demanda mundial por eletricidade, introduzindo, ainda, o conceito da energia solar fotovoltaica como uma opção válida de uma fonte energética limpa a ser explorada. O capítulo aborda a geração fotovoltaica desde a matéria-prima para construir seus sistemas de captação até o patamar de desenvolvimento e usufruto da fonte no cenário mundial.

Assim, no terceiro capítulo é o mercado brasileiro que entra em cena. Apesar do alto potencial da energia fotovoltaica, muito pouco é ou foi feito para estimular seu desenvolvimento neste “país tropical”. Os saldos comerciais das transações de alguns itens da cadeia produtiva do setor fotovoltaico expõem o quão carente de incentivos a fonte energética se encontra.

Para concluir o estudo, o capítulo quatro levanta o grau de desenvolvimento do tema em outros países com o mesmo ou superior potencial para a fonte, possibilitando a conclusão da pesquisa.

CAPÍTULO 1 – O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A ECONOMIA ECOLÓGICA

1.1 Introdução

A Revolução Industrial, em meados do século XVIII, foi um verdadeiro marco no processo produtivo mundial, com a introdução de máquinas e mecanismos capazes de aumentar a produtividade e a qualidade de vida à época. A produção em escala e as inovações para a locomoção das mercadorias aceleraram a expansão do novo sistema industrial, que trouxe consigo um crescente acúmulo de capitais que alimentava novos e abundantes investimentos produtivos. A divisão de trabalho e a urbanização foram consequências expressivas que ao longo do tempo acabaram tornando-se bases de sustentação para a continuidade da industrialização (BELINI, 2006).

As atividades industriais se apoiavam nas fontes, então abundantes, de energia e matéria-prima. Sendo o carvão (vegetal e mineral) a primeira principal fonte geradora de energia para os maquinários durante a Revolução Industrial, deu-se início, então, ao que hoje chamamos de “sociedade do carbono”. Tal expressão caracteriza a sociedade que utiliza, majoritariamente, fontes energéticas, em sua grande maioria não renováveis e que cujas origens são principalmente de compostos de carbono. A utilização (através da queima) de tais fontes acarreta na liberação para o meio ambiente de grandes quantidades de carbono antes “presas” nesses materiais orgânicos que levaram milhões de anos para se decomporem.

A utilização de combustíveis fósseis (substâncias de origem mineral, formadas por compostos do carbono, como o carvão mineral, petróleo e gás natural) se caracteriza, ainda hoje, como a fonte vital das economias mundiais. No entanto, há tempos a sociedade reconheceu que os padrões econômicos de produção e consumo praticados não são mais sustentáveis, uma vez que são geradores de diversas externalidades negativas (principalmente pela geração dos altos níveis de poluição atmosférica, grandes responsáveis pelo agravamento do efeito estufa, do aquecimento global e das mudanças climáticas).

Em 1968, a partir de um encontro de profissionais das áreas da diplomacia, indústria, academia e sociedade civil comprometidos em analisar e divulgar os indícios cruciais de questões globais futuras, nasce o Clube de Roma. Preocupados em investigar o consumo ilimitado de recursos num mundo crescentemente independente, quatro anos depois desse encontro, ficou clara a originalidade da proposta do Clube de Roma em um relatório intitulado “*The Limits to Growth*”. O relatório, expressivo o suficiente para entrar no topo da

agenda global, chamou a atenção dos líderes internacionais e da sociedade ao apontar a contradição do crescimento sem limites do consumo material em um mundo com recursos visivelmente finitos (*THE CLUB OF ROME*, 2012).

O relatório, que esse ano completa 40 anos de publicação, não se conteve em mostrar apenas a inconsistência dos padrões da época para com as projeções futuras, mas também se preocupou em fazer previsões de uma possível drástica redução da população devido à poluição, a diminuição de terras aráveis e a escassez de recursos energéticos ao longo dos anos.

No mesmo ano da publicação alarmante do Clube de Roma, ocorreu a primeira conferência de nível mundial para tratar das preocupações com as questões ambientais globais, foi a Conferência sobre o Ambiente Humano das Nações Unidas (Estocolmo). Ficava cada vez mais claro que a qualidade de vida possibilitada pela Revolução Industrial logo se inverteu e deixava marcas cada vez maiores e mais nocivas ao meio ambiente e, conseqüentemente, aos seres vivos.

1.2 Desenvolvimento Sustentável

“Sustainable development is development that meets the needs of the present, without compromising the ability of future generations to meet their own needs.”¹ (Our Common Future, 1987) (RELATÓRIO DE BRUNDTLAND, 1991)

Em 1987, pela primeira vez, surge o conceito formalizado de desenvolvimento sustentável, como resposta aos problemas de degradação ambiental discutidos pela comissão de Gio Brundtland para a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento. A definição diz que o desenvolvimento sustentável é aquele que procura satisfazer as necessidades da geração atual, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem as suas próprias necessidades. Significa possibilitar que as pessoas, agora e no futuro, atinjam um nível satisfatório de desenvolvimento social, econômico e de realização humana e cultural, fazendo um uso racional dos recursos da terra e, ao mesmo tempo, preservando as espécies e os habitats naturais (RELATÓRIO DE BRUNDTLAND, 1991).

O Relatório de Brundtland investigou as inúmeras preocupações que cresceram ao longo das décadas, principalmente as que diziam respeito às ações severas da humanidade e de seus impactos negativos no planeta. A abordagem recorrente foi a de que os padrões de crescimento e desenvolvimento se tornariam ambos insustentáveis caso não fossem

¹ “Desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento que corresponde às necessidades do presente, sem comprometer a possibilidade das futuras gerações suprirem suas próprias necessidades.”

repensados (*THE CLUB OF ROME*, 2012). O relatório chamava a atenção para a importância da cooperação e multilateralismo para enfrentar os desafios da virada do século, não se limitando aos problemas ambientais, mas também enfatizando a relação direta entre desenvolvimento sustentável e problemas sociais (tais como a pobreza, a má distribuição de alimentos, e más condições de sistemas de saúde e moradia), e também para com a necessidade de buscar novas matrizes energéticas baseadas em fontes renováveis e inovações tecnológicas.

Ao tratar do desenvolvimento urbano para cidades sustentáveis, George Wilhelm utiliza uma definição muito pertinente sobre o desenvolvimento sustentável, pois afirma que “(...) não há desenvolvimento quando o ambiente é prejudicado, os indicadores sociais pioram, a dignidade humana é desprezada, a oportunidade de trabalho diminuída, a democracia prejudicada, a riqueza concentrada e injustamente distribuída, e a economia estagnada” (NEVES et al., 2002). Tal abordagem reafirma o fato de que a definição para o desenvolvimento sustentável é muito mais abrangente e pode ser interpretada de diversas maneiras, mas sempre se aproximando da busca pelo equilíbrio ambiental, social e econômico em face à sociedade.

O efetivo reconhecimento pelos líderes internacionais do conceito e ao mesmo tempo do desafio do desenvolvimento sustentável veio vinte anos após a Conferência de Estocolmo, em junho de 1992, com a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento que aconteceu na cidade do Rio de Janeiro. O objetivo da conferência era de estabelecer uma nova e igualitária parceria global para a criação de novos níveis de cooperação entre Estados e setores-chaves da sociedade.

Foi nesta conferência que nasceu a Agenda 21 e também foi onde foram aprovadas convenções sobre diversos temas ligados ao meio ambiente e às necessidades para o desenvolvimento sustentável, e dentre os documentos gerados foi desenvolvida a Declaração do Rio de Janeiro sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento. A declaração acordada na conferência inclui 27 princípios a serem seguidos pelos países participantes, e dentre eles o seguinte princípio merece destaque:

Princípio 7: Os Estados deverão cooperar num espírito de parceria global para conservar, proteger e recuperar a integridade do ecossistema da Terra. Tendo em conta os diferentes contributos para a degradação ambiental global, os Estados têm responsabilidades comuns, mas diferenciadas. Os países desenvolvidos reconhecem a responsabilidade que lhes cabe na procura, a nível internacional do desenvolvimento sustentável considerando as pressões exercidas pelas suas sociedades sobre o meio ambiente global e as tecnologias e os recursos financeiros

de que dispõem. (Adaptado de: *The Brazilian Report for the UN Conference on Environment and Development*, 1992)

Mesmo atentando-se ao fato de que grande parte da responsabilidade sobre os danos ao meio ambiente seja atribuída aos países industrializados, não há como negar que só haverá desenvolvimento sustentável com o devido apoio e cooperação de todos os demais países para provocar a mudança necessária e almejada nos padrões econômicos vigentes. Fernando Collor, naquele momento presidente da república, enfatizou que o encontro seria uma oportunidade para reconsiderar a base sobre a qual as alianças econômicas internacionais repousavam, e também para construir novos modelos de desenvolvimento econômico sustentável em escala global juntos. (*The Brazilian Report for the UN Conference on Environment and Development*, 1992)

Uma questão que por vezes é levantada é quanto ao modelo de desenvolvimento a ser seguido afinal. Apesar de “classificados” como países desenvolvidos, o modelo de crescimento predatório praticado por tais países industrializados está longe de ser o idealizado a partir das concepções sustentáveis. Uma história atribuída a Mahatma Gandhi, que pode ser encontrada no site da ONG WWF-Brasil, é a de que ao ser questionado se, após a independência, a Índia perseguiria o estilo de vida britânico, Gandhi teria respondido que a Grã-Bretanha precisara de metade dos recursos do planeta para alcançar a prosperidade e que, assim sendo, quantos planetas precisaria um país como a Índia para alcançar tal patamar?

Fica claro que a virada do século veio com uma nova definição que expressa o fim do desenvolvimento que se provou ecologicamente predatório, socialmente perverso e politicamente injusto. Enfrenta-se um período de autêntica transição ecológica, quando não é mais possível nos abster do argumento ecológico em prol de uma falsa capacidade ilimitada de geração de bens.

Mesmo com indícios sendo sistematicamente expostos quanto à fragilidade do planeta Terra em relação ao modelo de consumo vigente, foi somente em 1997 que houve a primeira tentativa internacional de estabelecer limites para países desenvolvidos, com a 3ª Conferência das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas, em Kyoto. Foi com o Protocolo de Kyoto, um dos instrumentos jurídicos internacionais mais importantes na luta contra as alterações climáticas, que os países industrializados se viram “ameaçados”. O protocolo resumiu em compromissos quantificados e detalhados por países, respeitado o princípio de “responsabilidades comuns, mas diferenciadas”, a redução das emissões de gases

agravantes do efeito estufa previamente discutida na Convenção-Quadro das NU sobre as Alterações Climáticas, realizada em 1992 na cidade de Nova Iorque (UNIÃO EUROPEIA, 2012).

O Protocolo de Kyoto incide sobre seis dos gases agravantes do efeito estufa² com objetivos vinculados e quantificados de limitação e diminuição dos mesmos na atmosfera, sendo assim um renomado instrumento de combate às mudanças climáticas.

Na Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas de 2009 (COP15), realizada em Copenhague, Dinamarca, foi-se acordado sobre a necessidade de limitar a 2°C por ano o aumento da temperatura média global da Terra, mostrando a constante e justificável presença da preocupação com as alterações climáticas acarretadas pelas emissões ainda desordenadas de gases de efeito estufa.

O desenvolvimento sustentável não leva em consideração apenas aspectos ambientais, mas inclui fatores de caráter econômico e social à sua discussão. Da mesma forma, não é mais possível reduzir a crise ambiental a uma questão de manter o ar que respiramos ou a água que bebemos limpos.

1.3 A Economia Ecológica e o Desenvolvimento Sustentável

A problemática ambiental caracterizada pela poluição, principalmente, atmosférica aparece como uma situação na qual a produção de poluição afeta não apenas a comunidade local próxima ao local emissor como também o restante das populações que usufruem do mesmo meio pelo qual essa poluição é dispersa (GOLDEMBERG, 2000). Esse é o caso da emissão de gases agravantes do efeito estufa, como é o caso do dióxido de carbono (CO₂), resultante, principalmente, da queima dos combustíveis fósseis. A economia ecológica (EE) vem discutir, de forma abrangente, os melhores caminhos e possibilidades que restam para serem seguidos para a manutenção de problemas desse teor.

A EE surge a partir do reconhecimento de que o sistema ecológico de sustentação da vida encontra-se cada vez mais frágil e ameaçado, e por isso busca descrever a relação entre ecossistemas e sistemas econômicos no seu sentido mais amplo, com uma abordagem multidisciplinar. A economia de recursos e meio ambiente, por si só, consegue abranger

² Os seis gases de efeito estufa abrangidos pelo Protocolo de Kyoto são: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrocarbonetos fluorados (HFC), hidrocarbonetos perfluorados (PFC), hexafluoreto de enxofre (SF₆). Tais gases são os principais componentes das emissões gasosas derivadas das combustões de combustíveis fósseis para produção industrial, locomoção e produção de carne bovina, lembrando que o desflorestamento é fator agravante da incapacidade dos seres fotossintéticos de absorverem o total do volume de gases emitidos desde a Revolução Industrial.

apenas a aplicação neoclássica para ambos meio ambiente e recursos. A ecologia, por sua vez, aborda os impactos humanos nos ecossistemas. Assim, a proposta da EE é de incluir tanto a abordagem econômica (neoclássica) quanto a abordagem dos impactos ecológicos, estimulando novas abordagens e vias de pensamento para solucionar os problemas correntes, tornando o estudo transdisciplinar e mais promissor, aproveitando-se desse pluralismo conceitual do termo/tema (CONSTANZA, 1989).

Cavalcanti (2009) é categórico ao afirmar: “Não se trata de aceitar um dogma de fé, mas de reconhecer inquestionável evidência: não existe sociedade (e economia) sem sistema ecológico, mas pode haver meio ambiente sem sociedade (e economia)”. A EE surge como uma via de estudos e não necessariamente um campo fechado, não sendo uma área de estudos exclusiva para economistas e ecologistas.

Trata-se de “internalizar” o subsistema econômico no meio ambiente (e não o contrário, como vem sendo feito), considerando as relações e efeitos possíveis e efetivos das ações humanas para com a natureza, sistema do qual a economia é parte, na verdade (CAVALCANTI, 2009).

O otimismo tecnológico assume que os problemas de suprimento de energia e recursos para uma contínua alta taxa de crescimento podem ser superados via a própria evolução da tecnologia, estimulada pelo enfrentamento de momentos de escassez. Por outro lado, há também o pessimismo tecnológico, que diz que inevitavelmente o crescimento cessará caso os limites de reposição dos recursos mesmo que renováveis não forem respeitados. Herman Daly é um dos poucos economistas que sustenta a teoria do pessimismo tecnológico. A EE busca analisar essas políticas pessimistas de forma prudente, tentando reduzir a incerteza acerca do real estado dos limites dos recursos. A questão central se torna a de que se a tecnologia é realmente capaz de ultrapassar os limites dados (CONSTANZA, 1989).

Constanza (1989) e Cavalcanti (2009) concordam que questões de sustentabilidade são pautadas em limites, escassez de recursos, e que ainda que não se tenha certeza quanto à existência ou não destes limites, o mais prudente a se fazer é prevenir.

A EE está estreitamente relacionada com o desenvolvimento incluyente, sustentável e sustentado. Quando discutindo sobre a relação entre a ética e a economia (no sentido de “abordagem de engenharia”) que Amartya Sen aborda em seus textos *Ethics and Economics*, Sachs (2004) diz “que os objetivos do desenvolvimento vão bem além da mera

multiplicação da riqueza material. O crescimento é uma condição necessária, mas de forma alguma suficiente [...], para se alcançar a meta de uma vida melhor, mais feliz e mais completa para todos.” O desenvolvimento sustentável é a alternativa desejável e possível para a promoção da inclusão do bem-estar econômico e da preservação dos recursos naturais.

A sustentabilidade global deve incluir maior igualdade e justiça social e econômica (AMAZONAS, 2009). Deve-se aproveitar a história vivida, os resultados obtidos para planejar o futuro com a cautela de não cometer os mesmos erros sistematicamente. E nesse sentido, Sachs (2000/2008) afirma que esse é o momento ideal para os países em desenvolvimento aproveitarem o que ele chama de “segunda revolução verde”, aproveitando para se desenvolver e buscar alternativas para a gestão da biodiversidade.

CAPÍTULO 2 – A ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA (ES-FV) COMO OPÇÃO DE ENERGIA LIMPA

2.1 Introdução

A descoberta do fogo marca um importante passo na evolução da humanidade. O fogo controlado, ou seja, a produção do fogo em circunstâncias determinadas pela vontade do homem deu a ele a capacidade de iluminar suas noites, de afugentar seus predadores, de aquecer seus entes, cozinhar sua carne e cozer o barro, além de outras atividades que se tornaram viáveis graças a esse controle sobre o calor (como é o caso da extração de metais dos minérios). A energia, então, se mostrava na forma de calor e luz, mas essa obviamente não era a única forma de energia vivenciada pelo ser humano. O simples movimento dos músculos para a realização dos trabalhos diários eram formas de obtenção de energia. Numa tentativa simplista de definir o que é energia, pode-se dizer que é a propriedade de um sistema que lhe permite realizar trabalho (FELTRE, 2004).

O progresso da civilização deveu-se também à procura de novas formas de obtenção de energia, como por exemplo, pela utilização de animais domesticados para tração de carroças, a utilização de moinhos de vento e rodas d'água para acionar moendas etc. O consumo de energia teve a sua demanda aumentada consideravelmente desde então, e há, ainda hoje, uma busca incessante por novas fontes de geração, transporte e conservação de energia.

A produção de energia pode ser classificada quanto à sua fonte, podendo ser de fontes convencionais, não convencionais e exóticas. As convencionais (fósseis, energia elétrica, biomassa) estão com sua tecnologia completamente desenvolvida e disponível a custos considerados aceitáveis pelos padrões atuais de consumo, o que justifica a sua utilização majoritária na matriz energética mundial. As não convencionais (marés, ventos, ondas, xisto, geotérmica, energia solar - térmica e fotovoltaica-, fissão nuclear) possuem tecnologia demonstrada ou em desenvolvimento, mas com problemas de aceitação na sociedade, quer seja por razões econômicas quer seja por não conseguirem suprir os padrões da demanda para consumo atuais. As fontes exóticas são aquelas cujas tecnologias ainda não estão demonstradas (GOLDEMBERG & VILLANUEVA, 2003).

A energia é um dos fatores mais essenciais para a subsistência da humanidade, não apenas por possibilitar o aumento da qualidade de vida, permitindo, por exemplo,

cozinhar uma refeição, aquecer uma casa, iluminar uma rua, manter funcionando hospitais e indústrias, mas por também ser o motor que viabiliza o desenvolvimento no geral, principalmente, de tecnologias que auxiliam na manutenção da produção global, possibilitando o desenvolvimento de toda a humanidade e a manutenção da competitividade e emprego dos fatores de produção. No entanto, são os meios para a geração dessa energia que preocupam, pois há ainda uma grande demanda de insumos fósseis que causam malefícios para o meio ambiente e, portanto, para todos os meios de vida.

A obtenção de energia é fator de importância crucial para o desenvolvimento sustentável da sociedade e para a manutenção da vida na Terra. A Revolução Industrial permitiu um aumento da qualidade de vida, inicialmente, proveniente das evoluções tecnológicas alcançadas, no entanto, acarretou em grande aumento de emissões de carbono para a atmosfera para a obtenção da energia necessária através dos recursos até então descobertos e utilizados. Esse crescimento acelerado da industrialização resultou em um acúmulo exacerbado de gases de efeito estufa na atmosfera uma vez que as fontes de abastecimento energético foram, e ainda são em quantidade expressivas, baseadas em combustíveis fósseis, dando origem a uma fonte de poluição que, conseqüentemente, tem efeitos (negativos) diretos sobre a vida na Terra.

A preocupação com o desenvolvimento sustentável, apoiando-se nos pilares social, econômico e ambiental, dirige atenção especial para os padrões de consumo e obtenção da energia na atualidade. Por este motivo os recursos energéticos renováveis vêm ganhando destaque nas discussões acerca do desenvolvimento sustentável.

2.2 Fontes Energéticas

A energia é a capacidade de realizar trabalho. A análise do desenvolvimento do homem deixa evidente que é a sua capacidade de utilização da energia que determina seu futuro sucesso, e a fonte de energia mais conhecida por nós é a elétrica. No entanto, há várias formas de energia, entre elas a Cinética – associada ao movimento dos corpos-; a Potencial, que é a energia armazenada em um corpo material ou numa posição no espaço podendo ser convertida em energia sensível a partir de uma modificação de seu estado inicial; a Luminosa, como o é o caso da luz; e a Térmica, que é caracterizada pelo calor (BONJORNO & CLINTON, 1992).

Para que seja possível usufruir da energia elétrica, existem mecanismos de

proveniente da mesma, que variam de acordo com as disponibilidades de fontes primárias energéticas de localidade para localidade (como o Sol, o movimento de massas de água e ar, combustíveis fósseis ou mesmo biomassa). Um exemplo de ciclo energético que utiliza o carvão como fonte primária (GOLDEMBERG, 2003):

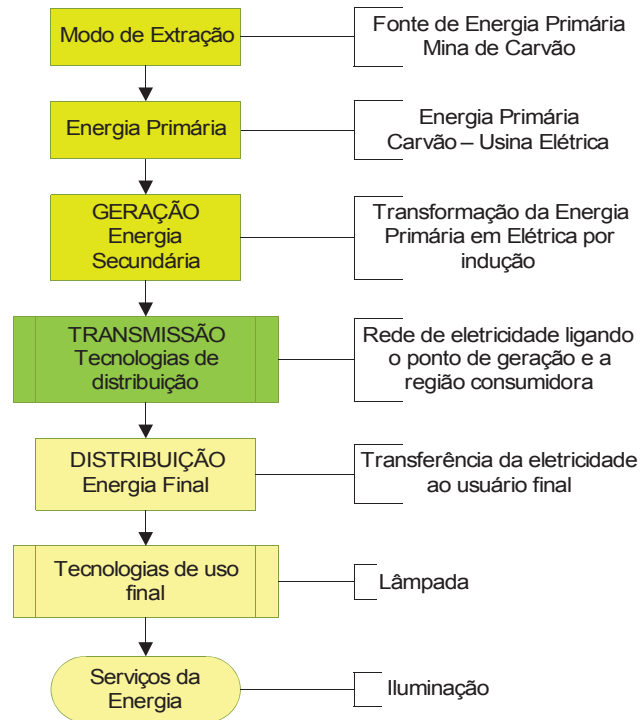


Figura 1: Sistema Energético: da extração aos serviços energéticos

As fontes energéticas podem ser divididas em não renováveis e renováveis. As fontes não renováveis são provenientes dos combustíveis fósseis (sendo principalmente o petróleo, o carvão e o gás natural) e daqueles chamados nucleares. As principais fontes renováveis são as de energia da biomassa, hidráulica, eólica e a da solar direta.

2.2.1 Energias Não Renováveis

As fontes não renováveis se caracterizam por possuírem uma capacidade de renovação muito baixa, muito menor do que as taxas (constantemente crescentes) de demanda energética. Sendo suas reservas, portanto, limitadas e a interrupção do consumo inviável, o ritmo atual de exploração de tais combustíveis torna-se cada vez mais insustentável e apresenta riscos à segurança energética, pelo fato de seu abastecimento estar sujeito à disponibilidade dos fornecedores e, conseqüentemente, possuir preços instáveis.

2.2.1.1 Gás Natural

Dentre os combustíveis fósseis, o gás natural é o único que se apresenta sob a forma gasosa na natureza e também é considerado o menos poluente dentre eles, por emitir baixas quantidades de dióxido de enxofre e de resíduos de combustão presentes na fumaça, ainda que o metano seja seu principal componente. É versátil por poder ser utilizado em aplicações domésticas, industriais e automotivas, sendo um substituto da gasolina, óleo diesel e até mesmo o etanol, é também uma fonte de geração de energia elétrica (PETROBRAS, 2012).

Tal gás é encontrado preso no topo dos reservatórios de petróleo, atualmente sendo extraído juntamente com o petróleo, ao invés de ser simplesmente queimado nos topos dos poços de extração, como era feito antes de se atestar seu alto poder calorífico.

2.2.1.2 Petróleo

É um óleo de origem fóssil que se encontra nas rochas sedimentares de grandes profundidades. É, ainda hoje, a principal fonte de energia do mundo. Sua refinação transforma o óleo bruto em seus derivados, dentre eles os mais comuns: a gasolina, o querosene (inclusive o de aviação), a nafta, lubrificantes, óleos combustíveis e o GLP (gás liquefeito de petróleo). Outros produtos obtidos a partir do petróleo são os petroquímicos, que substituem uma grande quantidade de matérias-primas, como madeira, vidro, algodão, metais, celulose e até mesmo lã, couro e marfim. Além de estarem presentes também em fertilizantes, plásticos, borrachas, tintas, entre outros (PETROBRAS, 2012).

2.2.1.3 Carvão

Acredita-se que o carvão seja o combustível fóssil mais abundante na Terra. Proveniente de depósitos de uma vegetação pré-histórica em pântanos sob uma lâmina d'água durante milhões de anos, o material orgânico, sujeito a aumentos de temperatura e pressão, sofreu um processo de carbonificação, ou seja, perdeu oxigênio e hidrogênio, aumentando sua concentração de carbono, transformando-o no carvão mineral. Os seus quatro estágios de formação, segundo temperatura e pressão aos quais foram submetidos, são: turfa, linhito, carvão (hulha) e antracito. Aqueles de melhor qualidade possuem maiores concentrações de carbono, o que lhes dá maior poder calorífico e, conseqüente, maior poder energético (ABCM, 2012).

Sua extração é via mineração, mas a utilização do carvão é uma fonte considerável de poluição, pois sua queima produz altas concentrações de dióxido de carbono e de óxido de enxofre, que é muito tóxico e corrosivo.

2.2.1.4 Energia Nuclear

Para entender a energia nuclear é preciso saber que os átomos são formados por prótons (de carga elétrica positiva), elétrons (de carga negativa) e nêutrons (sem carga). Os prótons, localizados no núcleo do átomo, tem a tendência de se repelirem, por possuírem cargas positivas semelhantes, mesmo que os nêutrons estejam presentes para estabilizar ao máximo tal situação. A energia que mantém os prótons juntos no núcleo é a chamada Energia Nuclear.

Alguns átomos de núcleos compostos por números iguais de prótons, mas com números diferentes de nêutrons, os chamados isótopos, apresentam a capacidade de emitir energia durante reações nucleares, a partir das quais massa é convertida em energia. Tais reações podem ser induzidas ou podem ocorrer espontaneamente. Existem duas formas de aproveitar a energia nuclear dos isótopos, convertendo-a em calor: através da fissão nuclear, onde o núcleo atômico se subdivide em duas ou mais novas partículas; ou através da fusão nuclear, onde ao menos dois núcleos atômicos se unem para produzir um novo núcleo (BIODIESELBR, 2012).

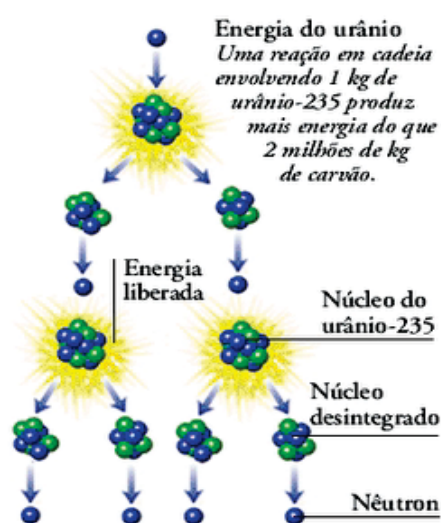


Figura 3: Ilustração da Fissão Nuclear

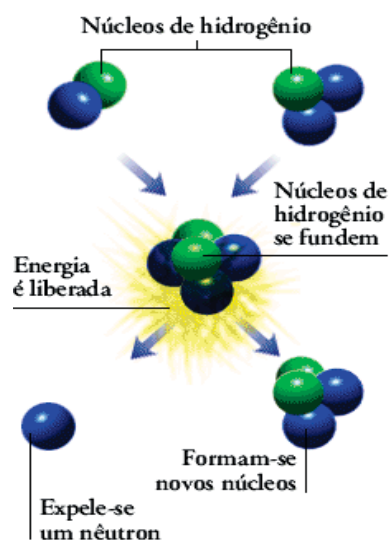


Figura 2: Ilustração da Fusão Nuclear

Os procedimentos mais comuns em usinas nucleares é a obtenção de energia pela fissão nuclear do urânio, do plutônio ou do tório, ou a fusão nuclear do hidrogênio. A grande quantidade de energia liberada nas reações é utilizada para aquecer a água e transformá-la em vapor, que por sua vez gira um sistema de turbinas, gerando, assim, energia elétrica através da indução magnética, ou seja, do movimento de um ímã que faz aparecer uma corrente elétrica no sistema.

Apesar da energia gerada por Reatores Nucleares não ser radioativa, há controversas quanto à segurança das Usinas Nucleares, uma vez que as reações provocadas só liberam tamanha quantidade de energia por se tratar de reações em cadeia entre os átomos até o momento em que o sistema se estabilize com todos os núcleos das partículas geradas, de fato, estáveis. Alguns teóricos afirmam que as reações podem, sim, ser controladas e que não há chances de contaminação radioativa a partir dos compostos utilizados e gerados, mas as tragédias de Chernobyl e, mais recentemente, do Japão, colocam em questionamento tais afirmativas.

2.2.2 Considerações sobre as Energias Não Renováveis

O problema fundamental em relação aos combustíveis fósseis não é, primeiramente, o fato de serem escassos. O carvão, por exemplo, é relativamente barato e abundante ao redor do mundo e pode ser considerado como uma fonte alternativa aos próprios combustíveis fósseis de preços crescentes (petróleo e gás natural). No entanto, como foi previamente citado, o uso crescente do carvão, com as tecnologias hoje disponíveis, aumenta substancialmente os níveis de gases do efeito estufa na atmosfera, gerando riscos ambientais, sociais e econômicos. É a gestão destes riscos que requer foco urgente no desenvolvimento de alternativas econômicas, de baixo teor de carbono, juntamente com novas tecnologias que reduzam os impactos negativos sobre a qualidade ambiental e a saúde pública do uso dos combustíveis convencionais de hoje. Os esforços de pesquisa, desenvolvimento e implementação deveriam estar voltados para as perspectivas de disponibilidade de métodos custo-efetivo de captura e armazenamento das emissões de dióxido de carbono, principalmente. No entanto, os padrões de consumo energético atuais não devem se alterar significativamente caso não haja forte guinada nas condições regulatórias de mercado (Um futuro com energia sustentável: Iluminando o caminho, 2010).

2.2.3 Energias Renováveis

As fontes de energia conhecidas como renováveis possuem uma taxa de regeneração (ou renovação) muito superior às demais fontes conhecidas, caracterizando-as como fontes inesgotáveis. A busca pelo desenvolvimento sustentável está intimamente ligada ao desenvolvimento das tecnologias e à disseminação do uso das fontes alternativas de energia, principalmente pelo fato de que tais fontes causam consideravelmente menos impacto ao meio ambiente durante todo o seu ciclo em comparação com aquelas convencionais, desde a captação até a sua distribuição ao consumidor final.

No entanto, a ênfase dada à energia renovável como um todo não trata apenas de garantir o fornecimento de energia para a crescente demanda e dependência da sociedade com o menor impacto para o meio ambiente, mas engloba o tripé: desenvolvimento (sustentável), segurança energética e meio ambiente. Este tripé é muito próximo às bases do desenvolvimento sustentável (que foca o progresso econômico, desenvolvimento social e meio ambiente).

Quando se fala no tocante desenvolvimento em relação à energia, quer-se dizer que há uma forte correlação positiva entre o fornecimento de energia e o aumento de competitividade das nações, devido à realização de inúmeras atividades possibilitadas através do aumento da disponibilidade de meios de produção e P&D (relembrando que estão intimamente ligados à disponibilidade de energia). O quesito segurança energética refere-se à garantia de fornecimento suficiente e garantido, em preço preferencialmente acessível, para que todas as atividades correntes e possíveis do país (principalmente de sua indústria) sejam realizadas sem riscos de apagões ou de falta de fornecimento externo de energia, ou mesmo sem oscilações imprevisíveis dos preços e fornecimento de combustíveis fósseis, por exemplo. Quanto ao meio ambiente, é necessário garantir que esse fornecimento energético não comprometa suas fontes (escassas ou não), seja através da poluição gerada pela captação da energia ou ainda pela utilização excessiva do recurso, muito além da sua capacidade de renovação.

Por muitos anos, a preocupação em relação às questões energéticas estava focada na questão da disponibilidade a baixos custos (no caso dos recursos fósseis, principalmente). Atualmente, os olhares se fixaram na questão dos impactos gerados tanto localmente (para a comunidade local ou próxima, como é o caso das poluições) quanto globalmente (que seriam as externalidades negativas) na geração da energia, além da preocupação com a questão da

segurança energética. No relatório final da Força Tarefa Energia Renovável do G8³, de Julho de 2001, é dito que a principal descoberta do mesmo foi a de que as fontes energéticas renováveis podem, atualmente, reduzir drasticamente os impactos ambientais nos níveis tanto local, regional e global, ao mesmo tempo em que diminuem os riscos de segurança envolvidos no fornecimento de energia. Além disso, é citado que as tecnologias para a energia renovável são, geralmente, as opções de custo mais reduzido para o fornecimento doméstico para famílias em áreas rurais ou afastadas de países em desenvolvimento, por serem de fornecimento próximo ao local de consumo, além de auxiliar no fortalecimento das economias locais.

As instalações de energias renováveis trazem empregos, capital e fontes de rendimentos para a comunidade local, pois geralmente são as únicas fontes que alcançam as comunidades distantes. Além disso, muitas das tecnologias para os recursos renováveis não apresentam complexidade tamanha como as tecnologias para fornecimento de energia de fontes fósseis, o que facilita a instalação e manutenção desses projetos, por vezes menores em escala.

O custo para o desenvolvimento das tecnologias e para o fornecimento dos recursos energéticos renováveis ainda é elevado se comparados, por vezes de forma superficial⁴, às fontes convencionais de energia (SHAYANI et al., 2006). O impacto das reduções de custo em tais fontes e o aumento de parcela de mercado que elas vêm alcançando, caracterizam a chamada “curva de aprendizagem”. A cada nova instalação e pesquisa, novo conhecimento é agregado pelos gestores e produtores da tecnologia em desenvolvimento, desta forma o nível de experiência tende a aumentar, como ocorreu um dia com as fontes de energia consideradas, hoje, convencionais. A disponibilidade para investimentos em P&D e transferência de técnicas e tecnologias entre os países ajudam a indústria da energia renovável a atingir níveis cada vez maiores de progresso. Porém, essa relativa imaturidade de algumas destas fontes leva analistas a apostarem que haverá uma aceleração do aumento de performance e redução de custos, prometendo ganhos significativos de competitividade no

³ “G8 Renewable Energy Task Force – Final Report”, 2001.

⁴ Essa afirmação baseia-se em um estudo de Shayani et al. (2006), apresentado no V Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, onde são comparados os custos da energia solar FV e de fontes convencionais. Por vezes, o estudo superficial destes custos leva em consideração o preço da energia FV comparado com o valor pago apenas pelos consumidores residenciais finais, ao invés de confrontar tal valor com o preço ofertado pela usina geradora. Ao contabilizar todos os processos envolvidos para prover a energia ao consumidor final, e também os impostos, custos ambientais e sociais, a energia FV mostra-se competitiva em relação às fontes convencionais. (Os processos incluem desde uma detecção da fonte, extração, transporte, preparação etc.)

futuro, e não imediatamente (G8 FINAL REPORT, 2001).

Não se pode negar que as fontes renováveis não são inteiramente limpas e podem, sim, gerar alguns impactos no meio ambiente. A utilização das terras, os materiais, por vezes tóxicos, utilizados na fabricação dos materiais para a captação da energia, e até mesmo a “poluição” visual dos parques de captação são fatores que devem ser levados em consideração pela comunidade próxima às áreas da instalação dos projetos alternativos. No entanto, por mais que nos projetos renováveis ainda existam externalidades negativas, um projeto convencional apresenta muitos outros fatores agravantes dos seus custos externos.

Ainda no relatório final da Força Tarefa Energia Renovável do G8, é apresentado o seguinte estudo sobre as externalidades na geração de energia comparando as fontes renováveis e as convencionais, do Programa Energia da Comissão Europeia (5º Programa-Quadro da Comunidade Europeia em matéria de investigação, desenvolvimento tecnológico e demonstração). Este estudo mostra as estimativas de custos externos por kWh da eletricidade gerada a partir de diversas fontes (incluindo custos externos quantificados do aquecimento global, saúde pública, danos materiais, etc) e demonstra o alto custo socioambiental da utilização de combustíveis fósseis, principalmente do carvão e do linhito⁵.

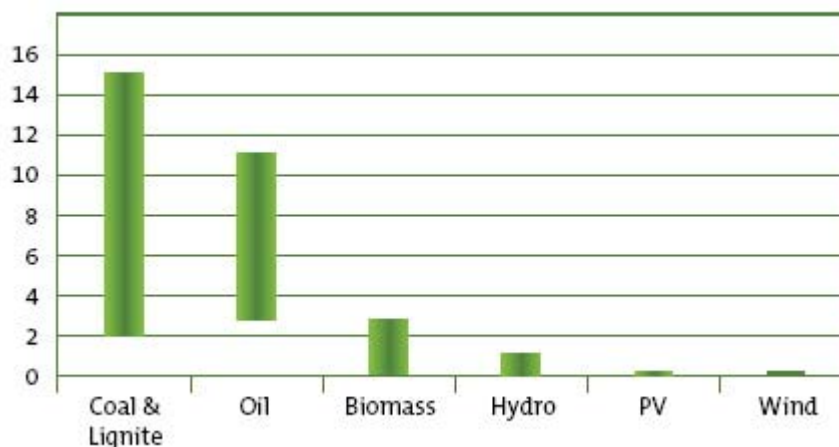


Figura 4: Custos externos para a produção de energia na Comunidade Europeia (Eurocent/kWh)

Fonte: G8 FINAL REPORT, 2001 (fonte original: European Commission-ENERGIE Programme - European Union 5th Research and Technological Development Framework Programme -, G-8 RETF, 2001, Figura 4, p. 19)

⁵ O linhito (*lignite* em inglês, ou lignito) é um tipo de carvão com alta concentração de carbono na sua constituição (65 a 75%), geralmente encontrado em superfícies mais rasas, pois sofrera menos pressão durante sua decomposição (é um fóssil 'recente' de matéria orgânica vegetal), sendo, portanto, de mais fácil e menos onerosa extração. Durante sua queima uma grande quantidade de CO₂ é liberada.

Como se pode ver, as fontes renováveis geram custos de externalidades negativas consideravelmente menores do que as fontes convencionais, podendo-se também verificar, através do estudo, que os danos locais e globais sobre o meio ambiente são igualmente vastamente reduzidos com as tecnologias alternativas.

Algumas fontes de energia renovável são: hídrica, eólica, biomassa, solar, geotérmica, ondas entre outras. Serão abordadas as fontes cujas tecnologias apresentam-se mais desenvolvidas atualmente ou que se tem mostrado mais promissoras no curto e médio prazos.

2.2.3.1 Energia Hídrica

Sua geração é principalmente efetuada através de centrais hidroelétricas, que utilizam da diferença de nível entre o reservatório de água construído com barragens, que interrompem o fluxo de rios, e a saída dessa água através de tubulações. A pressão da corrente da água força o rotor de uma turbina, produzindo um movimento giratório do eixo da mesma, acionando o gerador e produzindo um campo eletromagnético. Esse campo produz a eletricidade que será distribuída ao consumidor final.

Apesar do relativo baixo impacto das usinas hidrelétricas, as mudanças provocadas para a formação dos reservatórios são irreversíveis, e acarretam em uma modificação da fauna e flora de onde antes habitavam comunidades e animais, alteram a velocidade da correnteza da água que sai das turbinas, entre outros fatores. O fornecimento de energia elétrica a partir de usinas hidrelétricas depende das oscilações e irregularidades das chuvas, o que pode acarretar em falta de água nos locais das instalações ou no racionamento de energia para prevenir apagões.

2.2.3.2 Energia Eólica

É um recurso energético renovável e não poluente que é utilizado pela humanidade há milhares de anos, mas que só obteve investimentos significativos em sua tecnologia após a primeira crise internacional do petróleo, na década de 1970, quando foi devidamente desenvolvida e produzida em escala comercial.

É a energia cinética contida nos ventos, que é captada com o auxílio de turbinas eólicas (aerogeradores) que transformam a energia cinética de rotação em energia elétrica. Suas pequenas centrais podem suprir pequenas localidades distantes das redes convencionais

de fornecimento de energia elétrica. Seus principais impactos socioambientais negativos são os sonoros e visuais, pois os rotores podem fazer ruídos de acordo com as especificações dos equipamentos (pode ocasionar perturbações nos sistemas de comunicação e transmissão de dados) e as instalações das torres e aerogeradores geralmente se situam agrupadas (nos casos de vasta captação de energia eólica, há formação da chamada fazenda eólica). Há ainda assim, mesmo que seja classificado como um incômodo por alterar a paisagem natural, atração turística até tais agrupamentos (ANEEL, 2005).

2.2.3.3 Energia da Biomassa

É a fonte de energia mais simples e antiga utilizada pelo homem. Do ponto de vista energético, a biomassa é todo recurso renovável oriundo de matéria orgânica (do Reino Animal ou Vegetal) que pode ser utilizada na produção de energia. Assim como a energia hídrica e outras fontes renováveis, a biomassa é uma forma indireta de energia solar, pois a energia solar é convertida em energia química através da fotossíntese, que é a base dos processos biológicos de todos os seres vivos. Trata-se de uma fonte energética dispersa, cujo uso, é tradicionalmente em países pobres e em setores menos desenvolvidos, e pouco eficientes (ANEEL, 2005).

Sua principal vantagem é que seu aproveitamento pode ser feito diretamente, por meio da combustão em fornos, caldeiras etc, embora sua eficiência energética seja reduzida. É este o caso da utilização do carvão vegetal, obtido a partir da lenha, cujo consumo acarretou na devastação das florestas da Inglaterra no século XVIII e também na destruição de grandes partes de florestas nativas em países como o Brasil (INEE, 2012). Este é um dos fatores que desestimulam a utilização dessa fonte renovável, pois está associada a problemas de desflorestamento e desertificação.

2.2.3.4 Energia Solar Térmica

Suas tecnologias podem ser utilizadas para condicionamento do ar (tanto quente como frio) em edifícios, para aquecer água ou para produzir combustíveis e eletricidade (como será visto no tópico 2.4). As oportunidades mais dispersas em relação à energia solar térmica dizem respeito ao aquecimento e/ou iluminação de ambientes e fornecimento de água quente, em aplicações dispersas e em pequena escala. No caso da captura da energia térmica, pode-se utilizar as características arquitetônicas “passivas” (vidros voltados para o Sol,

coletores solares em paredes ou telhados, janela para ventilação cruzada etc), que se mostram muito eficientes.

A energia do Sol, nesse caso, é transformada em calor através dos coletores solares, que podem apresentar diferentes eficiências de acordo com o seu tipo. Atualmente, a energia solar térmica é utilizada principalmente para aquecimento de água, pois suas demais tecnologias (como para resfriamento e desumidificação) continuam sendo ofertadas a preços pouco atrativos (Um futuro com energia sustentável: Iluminando o caminho, 2010).

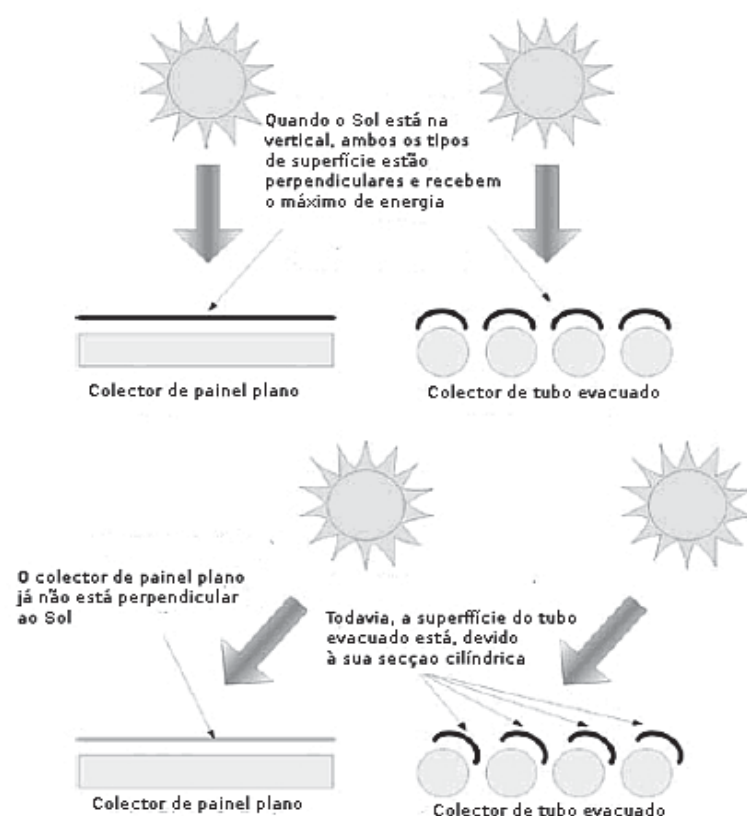


Figura 5: Comparação entre coletores solares térmicos: planos e tubos evacuados

Fonte: <www.profelectro.info/?tag=painel-solar-térmico>

2.3 A Energia Solar Fotovoltaica: Uma Opção Viável de Energia Limpa

Uma das opções de geração de energia elétrica a partir de fonte abundante, naturalmente renovável e limpa (que não emite gases de efeito estufa durante a captação de energia para a produção de energia elétrica) é a energia solar fotovoltaica, que é a geração de eletricidade a partir da luz solar, através de módulos isolados ou ligados diretamente à rede elétrica.

A conversão direta da energia solar em energia elétrica ocorre pelos efeitos da radiação (o calor e a luz) sobre materiais como os semicondutores. Dentre estes efeitos destacam-se o termoeletrico e o fotovoltaico: no primeiro há uma diferença de potencial provocada pela união de dois metais, em condições específicas; no segundo, fótons contidos na luz solar são convertidos em energia elétrica por meio de células solares (ANEEL, 2005). Cada vez mais, a energia solar FV está sendo utilizada em aplicações integradas, onde seus módulos são incorporados aos telhados e/ou fachadas de edificações e conectados à rede, para que o fluxo de energia excedente retorne para o sistema de distribuição energético convencional.

As estimativas sobre a contribuição futura da energia solar variam amplamente, dependendo muito dos pressupostos de políticas e de custos que fazem com que as perspectivas sejam melhores em alguns países do que em outros. Os custos da energia solar FV variam de acordo com a qualidade do recurso e do módulo solar utilizado, mas seus custos de instalação e geração são normalmente mais altos do que os custos das fontes convencionais. Outro fator que merece atenção em relação a tal tecnologia é o fato de que existem diferentes parâmetros econômicos e de confiabilidade que se aplicam à utilização fora da rede, como as questões da intermitência, mesmo que a produção da energia solar fotovoltaica seja geralmente menos onerosa do que outras fontes alternativas de utilização fora da rede (Um futuro com energia sustentável: Iluminando o caminho, 2010).

2.3.1 A Tecnologia da ES-FV

Fotovoltaico é um termo que deriva do casamento de duas palavras: “*photo*” que tem raiz na língua grega, significando 'luz' e “*voltaico*” que vem de 'volt', unidade utilizada para medir o potencial elétrico em um dado ponto. Os sistemas fotovoltaicos usam células para converter a radiação solar em eletricidade, sendo que tais células consistem em uma ou duas camadas de um material semicondutor que faz com que a luz solar crie um diferencial elétrico que atravessa as camadas criando uma corrente elétrica quando a luz solar brilha sobre as células. Assim, o sistema FV não necessita de luz solar incidente diretamente para operar, podendo gerar eletricidade também em dias nublados, graças ao reflexo da luz solar (EPIA, 2010).

2.3.1.1 O Silício (Si)

O material semicondutor mais usado em células fotovoltaicas é o silício (c-Si), elemento mais comumente achado na areia, cuja limitação como material primário é praticamente inexistente. O silício é o segundo material mais abundante na Terra. Até o final da década de 90, o silício de grau solar (SiGS - empregado na produção de células solares fotovoltaicas) era obtido como subproduto de alta pureza gerado durante a produção do silício de grau eletrônico (SiGE), de altíssima pureza, que é empregado na produção de circuitos integrados. Com o aumento da demanda pelo SiGS devido à expansão do mercado da energia solar FV rotas alternativas de obtenção do mesmo foram traçadas a fim de suprir a crescente demanda, como é o caso da rota metalúrgica, que permite obter o SiGS a custos reduzidos diretamente a partir do silício de grau metalúrgico (SiGM), que é de elevada impureza⁶ (IPT, 2012).

2.3.1.2 Células, Módulos e Outras tecnologias

Os dois tipos mais comuns de módulos FV são: aqueles feitos de silício cristalino (c-Si), que representam 85-90% do mercado atual anual e se subdividem em silício monocristalino (sc-Si), obtido pelo corte de um único cristal de silício, e silício multicristalino (mc-Si), obtido a partir de um bloco de cristais de silício; e os feitos de filmes finos semicondutores alternativos, que são responsáveis por 10% a 15% das vendas globais de módulos, se subdividindo em três famílias: *i*) amorfo (a-Si) e micromorfo (a-Si/ μ c-Si), *ii*) telureto de cádmio (CdTe), *iii*) disseleneto de cobre-índio (CIS) e *iv*) cobre-índio-gálio-selênio (CIGS) (IEA, 2010).

A produção de módulos de silício envolve a produção de lingotes de silício para fazer as células solares, e o interligamento elétrico destas células, seguido do encapsulamento, formando o módulo. Os módulos de sc-Si possuem custos mais elevados, no entanto também são os mais eficientes. A tecnologia de filmes finos, também de comum utilização, consiste no depósito de camadas extremamente finas de materiais fotossensíveis sobre um suporte de baixo custo (vidro, aço inox ou mesmo plástico) (LA ROVERE, 2011).

⁶ O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de SiGM, com possibilidade de agregar valor a este produto, aumentando o seu preço de mercado dependendo da qualidade do produto produzido. Essa potencial indústria brasileira produtora da principal matéria-prima empregada na produção de células solares FV, possibilitaria o surgimento de mais condições favoráveis para os projetos de implantação e expansão de indústrias fabricantes de células e painéis solares fotovoltaicos no Brasil, impulsionando a ESFV como um todo no país e no mundo (IPT, 2012).

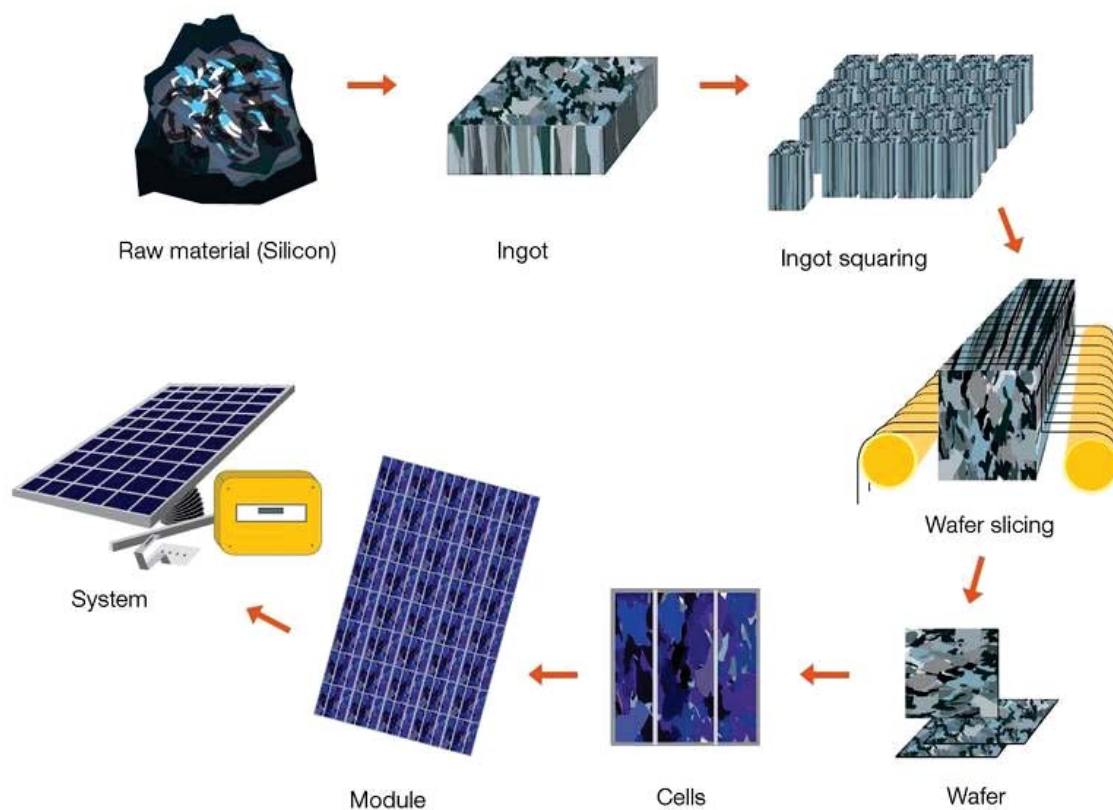


Figura 6: Cadeia de Valor FV

Fonte: EPIA, 2010

A performance da célula solar é medida em termos de eficiência de conversão da luz solar em eletricidade, tendo uma célula comercial uma eficiência média de 15% (cerca de um sexto da luz que atinge a célula é convertida em energia elétrica) (EPIA, 2010).

Tabela 1: Eficiência dos módulos FVs em um período de 20 anos

Perspectiva da Evolução da Eficiência dos Módulos FV				
Tecnologia		2010-2015	2015-2020	2020-2030
Silício (c-Si)	Monocristalino (sc-Si)	21%	23%	25%
	Multicristalino (mc-Si)	17%	19%	21%
Filmes finos		10%	12%	15%
CdTe		12%	14%	15%
CIGS		14%	15%	18%

Fonte: IEA, 2010

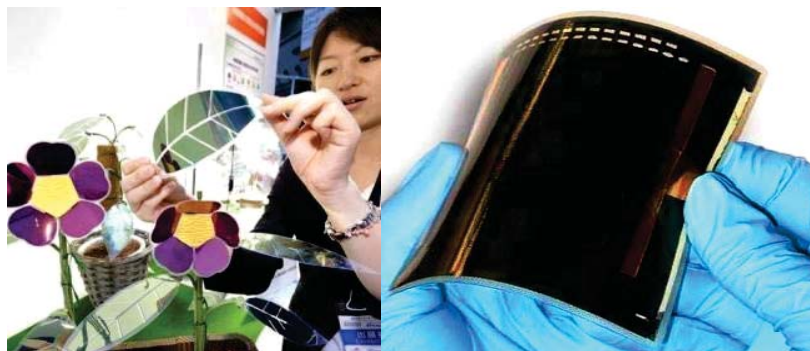


Figura 7: Hyung-Jun Koo and Dr. Orlin D. Velev, “Aqueous soft matter based photovoltaic devices”

Fonte: (Publicado em: 21 Set 2010, no Journal of Materials Chemistry)

Outras tecnologias de produção de módulos FV se baseiam na fabricação de células e dispositivos FV manufaturados a partir da tecnologia Ribbon, que se compõe de longas e finas fitas com base no silício cristalino. Há também a *Artificial Leaf*, que é composta por dispositivos manufaturados com base no Dióxido de Titânio (TiO_2) e corantes fotoexcitáveis. Outra tecnologia é a *Spherical*, que utiliza pequenas esferas de silício com camadas dopadas convenientemente e dispostas sobre finas folhas de alumínio.



Figura 8: *Japanese Spherical Solar Cells*

Fonte: <<http://www.solarfeeds.com/in-focus-spherical-solar-cells/>>

2.3.1.3 As Aplicações⁷

A utilização mais popular de sistemas solares FV para casas e prédios comerciais em áreas desenvolvidas é a de sistemas conectados à rede. Manter o sistema FV ligado à rede de eletricidade local permite que qualquer excesso de energia produzido alimente a rede, vendendo este excedente de energia para a companhia elétrica (no sentido inverso do que

⁷ Toda essa seção teve como principal fonte bibliográfica a cartilha da EPIA “*Electricity from the Sun*” de 2010.

geralmente ocorre), segundo tarifa previamente disponibilizada pela companhia elétrica “compradora”⁸. Quando não há Sol, a energia elétrica é normalmente adquirida através da rede. Para que tal trânsito de energia seja possível, um conversor é utilizado para transformar a energia solar produzida de corrente direta (CD) para corrente alternada (CA), que é a que percorre os equipamentos elétricos normais.

As centrais solares FV conectadas à rede são sistemas que produzem grandes quantidades de eletricidade FV em um único lugar, uma vez que suas plantas podem variar a produção de algumas centenas de kilowatts para muitos megawatts⁹. Esses sistemas podem ser localizados em terminais de aeroportos ou de trem, prédios industriais ou mesmo em estádios. Esse tipo de aplicação utiliza áreas previamente disponíveis e compensa o local com parte da energia produzida por esses consumidores energia-intensivo.



Figura 9 : *World Game Stadium*

Obra de Toyo Ito, este é o maior estádio-solar já construído, localizado em Taiwan. É capaz de produzir em torno de 1,14 gigawatts/hora de energia (o equivalente à 80% da demanda elétrica dos bairros ao seu redor), sendo que o seu excedente de produção é redirecionado para a rede local.

Outro tipo de sistema é o de central de energia solar FV sem conexão com a rede ou isolada, que se localiza onde as redes elétricas convencionais não alcançam ou não são disponibilizadas, como é o caso de áreas rurais distantes, topos de montanhas ou ainda em

⁸ Essas tarifas são as chamadas *feed-in*, que são as tarifas aplicadas no momento de revenda da energia produzida domesticamente (pelo sistema FV instalado), geralmente mais elevadas do que as tarifas da eletricidade fornecida pela rede. Esse mecanismo permite reaver o investimento inicial num curto prazo. Países como Alemanha, Espanha, Itália, França e Grécia já utilizam tal sistema de compensação aos consumidores que optam por energias limpas. (www.epia.org)

⁹ O watt (W) é a unidade de potência do Sistema Internacional de Unidades (SI). Equivale a um joule por segundo (1J/s).

países em desenvolvimento. Assim, a energia produzida é armazenada em baterias via um controlador de carga. O inversor pode ser utilizado para fornecer energia CA, para aplicação eletrônica normal.

Sistemas híbridos são aqueles que se combinam a outras fontes de energia – geradores de biomassa, turbinas de vento ou geradores a diesel – para garantir o fornecimento constante de energia. Eles podem estar ligados à rede, ser autônomos ou dar assistência à rede.

Algumas aplicações remotas são frequentes no ramo das telecomunicações, especialmente no que diz respeito à conexão de áreas rurais ao restante do país. Isso é feito através de aplicações industriais de sistemas solares FV sem conexão à rede, que, atualmente, possuem custo competitivo, pois evitam que cabos de rede sejam onerosamente necessários.

Outras aplicações das células FV estão presentes no nosso dia a dia, como por exemplo em relógios, brinquedos, calculadoras, tetos solares profissionais para automóveis entre outros.

2.3.2 A Produção Atual da ES-FV e seu Mercado Mundial

Ainda que a União Europeia tenha dominado o mercado global por anos e que ainda o faça (detendo mais de 75% do mercado, com Itália e Alemanha representando cerca de 60% do crescimento do mercado global no ano de 2011), é no restante do mundo que se encontra o maior potencial de expansão para a energia FV. O mercado cresceu de 1.459 MW em 2000 para 39.529 MW no ano de 2010, um crescimento cujo fator multiplicador foi de 27, uma taxa média de 40% de crescimento anual, o que traduz bem o que se quer dizer com crescimento robusto da ES-FV na última década.

Impulsionado pela demanda local e global de energia, o crescimento mais veloz da energia FV é esperado para continuar na China e na Índia, seguidos pelo Sudeste Asiático, América Latina e os países do Oriente Médio e Norte da África. O potencial FV dos países do Cinturão do Sol¹⁰ poderia subir de 60 para 250 GW até 2020, e de 260 a 1.100 GW em 2030, representando 27% para 58% da capacidade global FV instalada até então (EPIA, 2011a).

¹⁰ Os países do Cinturão do Sol (*The Sunbelt Countries*, em inglês) são aqueles que se localizam entre as latitudes de 35°N e 35°S, que são justamente aqueles que recebem maior radiação solar no planeta. Abrigam cerca de 75% da população global e também são aqueles com o crescimento populacional mais acelerado.

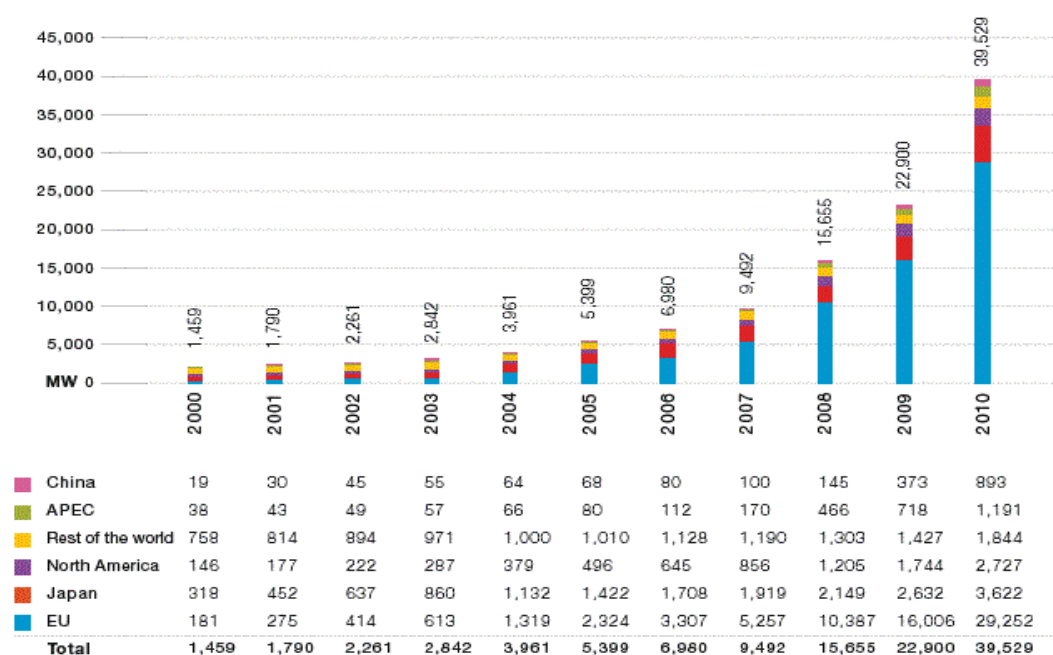


Figura 10: Evolução da capacidade instalada da ES-FV em MW 2000-2010

Fonte: EPIA, 2011¹¹

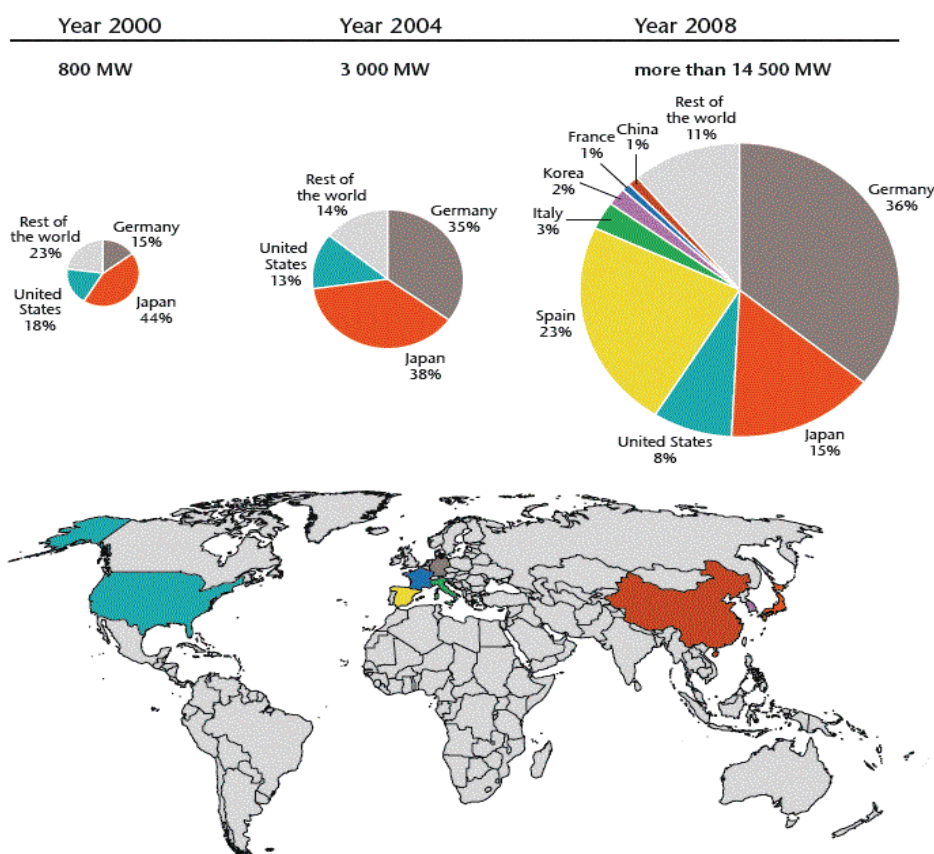


Figura 11: Capacidade FV instalada em países líderes nos anos de 2000, 2004 e 2008, e sua distribuição no mapa mundi

Fonte: IEA, 2010

¹¹ A legenda APEC corresponde à região Ásia-Pacífico.

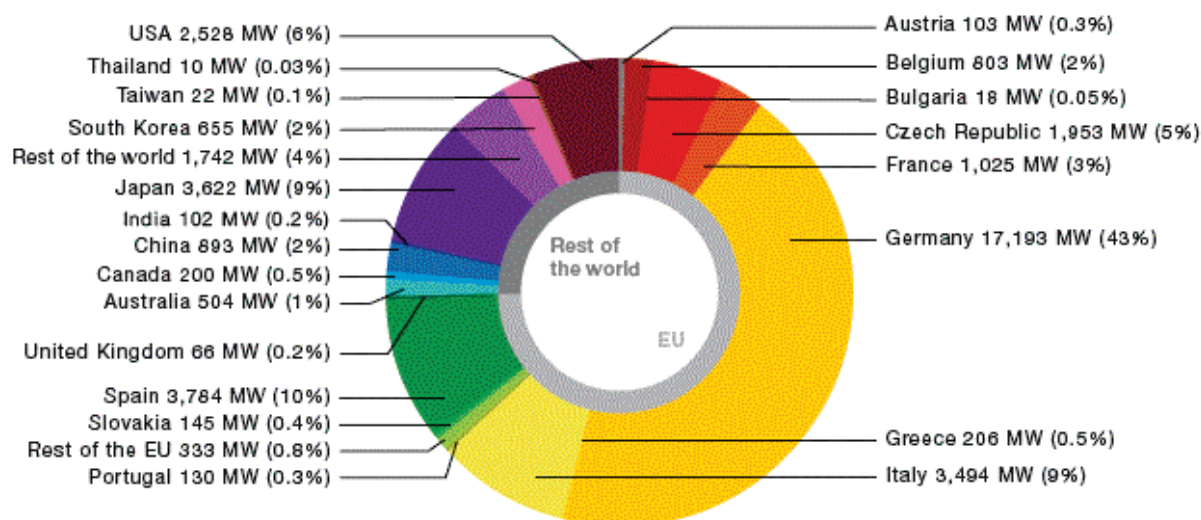


Figura 12: Capacidade global acumulada instalada 2010 (MW, %) - Mercado

Fonte: EPIA, 2011a

Ainda que pequeno em relação com a União Europeia, o resto do mundo contabiliza aproximadamente 1,8 GW do mercado para a energia FV, e espera-se que esse crescimento continue expandindo.

Segundo o relatório da EPIA para a capacidade do mercado FV até 2015, comparada com outras regiões do Cinturão do Sol, a América Latina ainda não demonstrou grandes evoluções com a atividade FV. O México, ainda que com sua base FV pequena (28 MW até o fim de 2010), é o que apresenta maior capacidade de manufatura na região. O Brasil possui uma base FV ainda menor (20 MW até final de 2010, sendo 99% sem conexão com a rede) e carece de programas nacionais de incentivo à energia FV, como ocorre com as fontes hídrica e eólica.

A indústria FV tende a acompanhar o crescimento dos mercados, com o aumento acelerado da produção na Ásia sendo a China seu carro-chefe, nos últimos anos. Apesar de a produção ser asiática, a maior parte dela é levada para a União Europeia, onde há afinal a criação de metade do valor dos sistemas FV, mais ao final da cadeia produtiva e mais próxima dos consumidores finais.

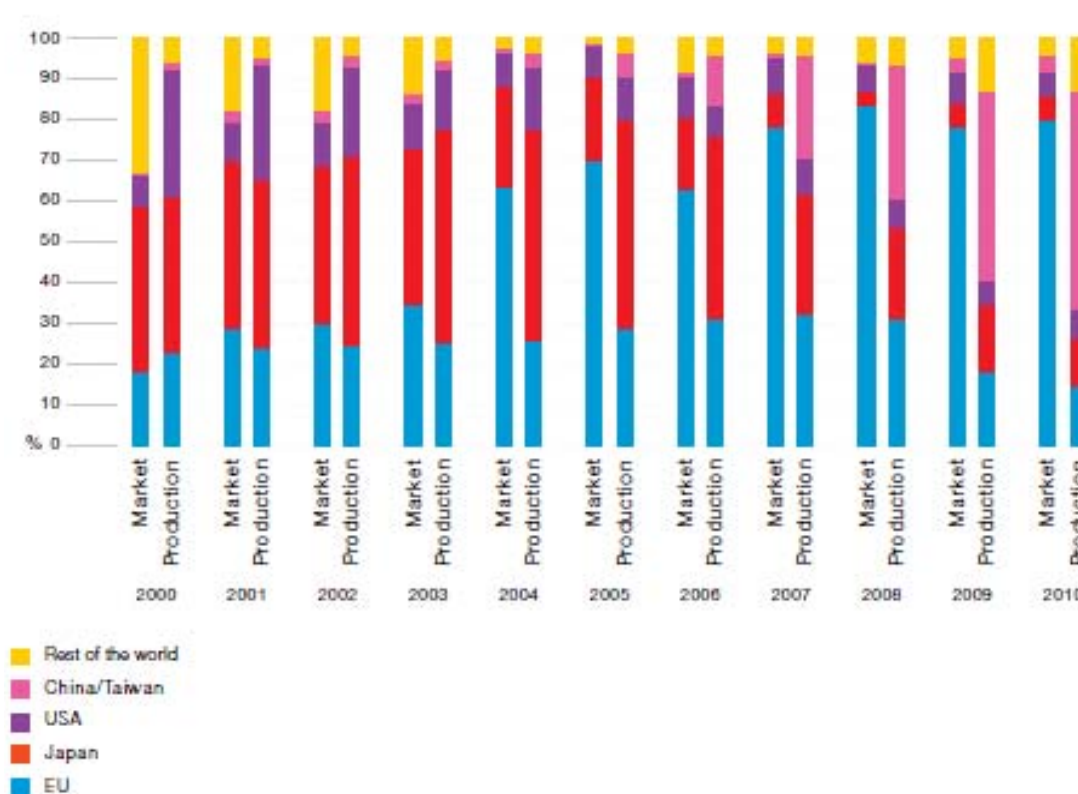


Figura 13: Mercado vs. Produção

Fonte: EPIA, 2011a

Até 2002-2003, a demanda dos mercados locais era suprida pela produção local. No entanto, a partir de 2004 houve aumento de demanda de módulos FV japoneses, que conseguia ofertar, a priori, quantidades suficientes para suprir o rápido aumento da demanda exterior da Europa devido ao desenvolvimento da sua indústria eletroeletrônica (que também utiliza o SiGE). O mesmo fenômeno ocorreu com os módulos chineses, que passaram a fornecer os produtos com grande vantagem competitiva devido ao preço baixo e grande oferta de sua mão de obra. Dos 15% de 2006, a China aumentou sua produção para suprir mais de 50% da demanda de 2010.

Três são os principais fatores apontados pelo relatório da EPIA (2011a) para a capacidade do mercado FV até 2015, que explicam o espetacular crescimento FV nos últimos anos:

-A energia renovável não é mais uma curiosidade. A ES-FV já provou ser confiável e segura (do ponto de vista da segurança energética) em todas as regiões do mundo.

-A diminuição do preço que trouxe a energia FV para um patamar de paridade com outras fontes energéticas encorajou novos investimentos/investidores.

-E, finalmente, *policy makers* em alguns países chaves adequaram tarifas do tipo *feed-in* apropriadas e outros incentivos que ajudaram a desenvolver mercados, reduzir preços e aumentar o interesse de investidores na tecnologia.

2.3.3 Mais Razões para Apostar na ES-FV

Além de ser uma fonte inesgotável de energia, pois sua produção de eletricidade só depende da luz do Sol (que até onde se sabe brilhará até o final dos tempos), a energia solar fotovoltaica não produz barulho, resíduos maléficos (durante sua utilização) e nem mesmo gases poluentes, além de ter como fonte principal para produção de seus sistemas FV o silício, de enorme abundância na massa terrestre.

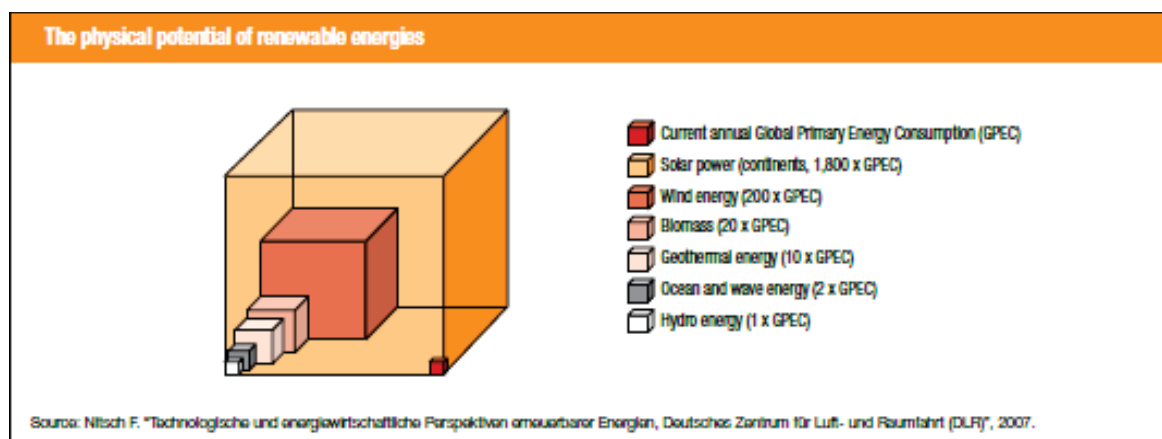


Figura 14: Comparação das disponibilidades das fontes energéticas renováveis

Fonte: <http://www.ceps.eu/system/files/El_Gammal.pdf>

Espera-se que até 2020 a energia FV tenha atingido um patamar de paridade (de competitividade com os preços) de fontes convencionais. Por isso a *International Energy Agency* (IEA) estima que até 2050, cerca de 11% da eletricidade global será fornecida pela fonte FV, evitando a emissão anual de 2,3 gigatoneladas (Gt) de gás carbônico para a atmosfera (IEA, 2010).

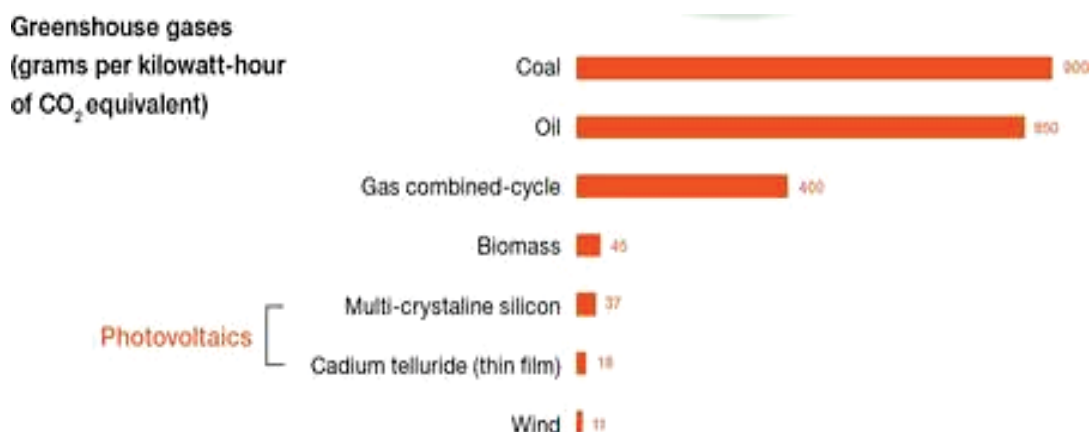


Figura 15: Comparação das quantidades de gases de efeito estufa (gramas de CO₂) emitidos por kilowatt-hora

Fonte: EPIA Externe project, 2003; Kim and Dale, 2005; Fthenakis and Kim, 2006; Fthenakis and Kim, 2007; Fthenakis and Alsema, 2006.

A energia FV também é de alta confiabilidade e segurança. Um módulo FV pode ter uma vida útil de até 30 anos, o que, com a evolução da tecnologia, passará a compensar o seu alto investimento inicial e o tornar ainda mais confiável no longo prazo. Sua manutenção também é baixa e sua instalação facilitada. Desta forma, a eletricidade se torna mais disponível, agregando valor para áreas rurais distantes, por exemplo.

Mesmo nas áreas urbanas os módulos FV podem ser esteticamente integrados às construções, cobrindo telhados, fachadas etc. Isso só é possível pelo fato de ser uma energia limpa, que não oferecerá praticamente nenhum tipo de externalidade negativa para o consumidor final. Projetos com a iniciativa de promover a integração de módulos FV às construções servem como um tipo de incentivo para o uso de energia renovável, por exemplo, impulsionando a redução de custos através de parcerias e aumentando a acessibilidade à ES-FV, além de intensificar o diálogo dos *stakeholders* em relação ao futuro energético e sustentável do meio ambiente (*PVSUNRISE*, 2012).

Regulamentações, incentivos e metas no longo prazo devem aumentar os níveis de segurança energética proveniente deste tipo de fonte energética, pois suas escalas ascendentes de competitividade de preço têm exercido pressões para que os *policy makers* mantenham-se atentos à sua evolução, acompanhando suas necessidades de incentivos iniciais.

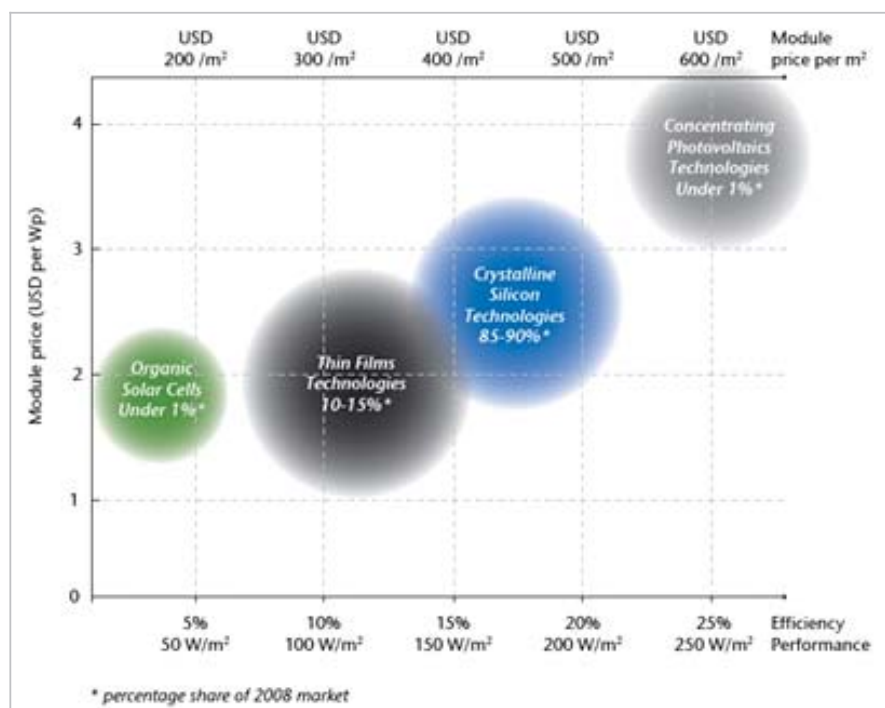


Figura 16: Desempenho e preço atuais de diferentes tecnologias de módulos FV

Fonte: IEA, 2010

A ES-FV, ainda que recente, já começa a possibilitar o surgimento de novos setores industriais atingindo a vida de outros milhares de pessoas que não sejam necessariamente consumidoras finais da energia FV, como é o caso de indústrias que se especializaram em coletar e reciclar os materiais utilizados para a produção de módulos FV a base ou não de tecnologias de silício. Apesar de inovador, o setor investe pesadamente na área para que os avanços tecnológicos da produção dos módulos sejam constantemente acompanhados, possibilitando o papel ativo da nova indústria no incentivo de maiores investimentos na energia FV (*PVCYCLE*, 2012).

CAPÍTULO 3 – CONSIDERAÇÕES ACERCA DO MERCADO BRASILEIRO DE ES-FV

3.1 Introdução

Não há como negar que a matriz energética brasileira é fortemente pautada em fontes renováveis. No entanto, essa energia renovável é proveniente, majoritariamente, de fontes hídricas e de biomassa, quando ainda há grande potencial de outras energias limpas e menos impactantes para o meio ambiente pouco ou quase nada utilizadas, como é o caso das energias solar e eólica. Somente pela composição predominante de duas fontes renováveis não se pode falar de uma matriz energética totalmente sustentável no Brasil.

No caso da energia solar, o Brasil é o país de maior extensão territorial nos trópicos, sendo abundante em água e também em luz solar, mas não há incentivos próprios para o setor fotovoltaico, o que impossibilita a energia solar de se desenvolver tecnologicamente e de se tornar competitiva como ocorreu com a energia eólica, a biomassa e as pequenas centrais hidrelétricas após o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia (Proinfa).

Em Dezembro de 2010, o site do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI, 2011) anunciou um Acordo de Cooperação Técnica entre o seu ministério e do de Minas e Energia (MME), que tem por objetivo fomentar o desenvolvimento científico e tecnológico para o aproveitamento da energia solar no Brasil. Os indicadores desse grande potencial energético ainda adormecido no país são bem explicitados no Projeto “A Carta do Sol”, coordenado por Emílio Lèbre La Rovere. La Rovere (2011), acerca da ES-FV, afirma que se deve diversificar a matriz energética brasileira; dar incentivos à redução de custos para a fonte de energia limpa e com excelentes perspectivas futuras para o Brasil; desenvolver a indústria nacional, gerando tecnologia e empregos; aproveitar o potencial solar abundante no país; evitar ou minimizar riscos de blackouts; suprir a alta demanda de eletricidade nos horários de pico de estabelecimentos urbanos.

Por vezes, análises superficiais comparam o preço final da energia renovável com o preço de sistemas convencionais centralizados, apontando a energia proveniente de sistemas alternativos como mais dispendiosos do que os atuais meios de fornecimento de energia. No entanto, quando se contabiliza todos os processos envolvidos desde a produção até a transmissão e efetivo uso pelo consumidor final dessa energia, constata-se que o custo da produção de energia por fontes renováveis pode, sim, ser inferior (SHAYANI et al., 2006).

Com o avanço tecnológico e os incentivos corretos para a ES-FV, ela pode se tornar competitiva no curto prazo e se tornar uma opção para o consumidor final de fonte limpa, renovável e de baixa manutenção. Com o crescimento exponencial da capacidade instalada mundialmente, o Brasil poderia se beneficiar, se tornando competitivo por meio de medidas de inovação tecnológica e incentivos à cadeia produtiva de ES-FV. Ainda que seja tentador vislumbrar esses segmentos de curto prazo, deve-se estar atento às condições políticas, regulatórias e de mercado no longo prazo para incorporar de vez a energia solar na matriz energética brasileira. Existem exemplos a serem seguidos como os da Alemanha e Dinamarca, que combinaram mecanismos de incentivos e estabilidade regulatória para garantir o financiamento de projetos que impulsionariam a energia solar em seus territórios.

Para o estabelecimento do setor fotovoltaico nacional, sustentável e competitivo, é mais do que necessário além das regulamentações devidas, divulgar a ES-FV para a sociedade e criar mecanismos de incentivo à geração e, ao mesmo tempo, à demanda (mercado consumidor) desse tipo de energia.

Os estudos coordenados pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) foram tema de discussão do MCTI já em Junho de 2009. Esses estudos objetivaram recomendar formulação e implementação de políticas de incentivo ao desenvolvimento das atividades industriais do setor fotovoltaico. Vê-se que desde então houve crescente discussão acerca do assunto, sempre buscando identificar os gargalos e as soluções para os impasses do setor no Brasil.

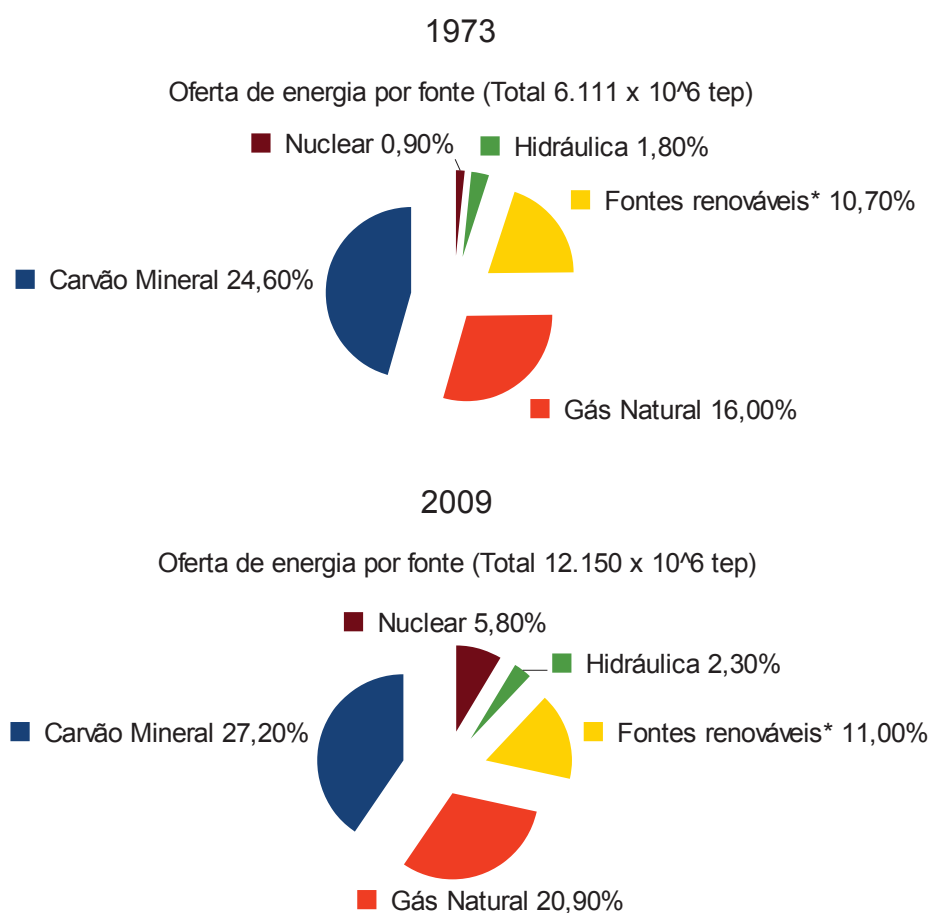
Já em 2010, pesquisadores da Universidade de Brasília mostravam que em algumas regiões do Brasil, entre 2012 e 2013, a ES-FV poderia ter preço equivalente com a energia convencional para o usuário final. As simulações realizadas pelo grupo de pesquisadores levaram em consideração o modelo alemão como exemplo e utilizaram uma tarifa-prêmio (tarifa *feed-in*) como o incentivo temporário à energia solar nos cenários desenvolvidos. Sem a necessidade de subsídios, a paridade seria alcançada já em 2013, mas isso depende do investimento na tecnologia, para tornar o mercado brasileiro competitivo e diversificar cada vez mais sua matriz energética (SHAYANI et al., 2006).

Notícias mais recentes apontam que a Carta do Sol está sendo analisada e é o carro-chefe de um plano nacional de estímulo à energia solar no Brasil. Em informe à imprensa, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) divulgou que o Plano Decenal de Expansão de Energia – PDE 2020 contará com um aumento da participação das energias renováveis, o que

mostra que está havendo um avanço quanto ao reconhecimento do potencial dessas energias no território brasileiro, no entanto, o informe não cita a energia solar, o que mais uma vez justifica a iniciativa do Projeto “A Carta do Sol”.

3.2 A Matriz Energética Brasileira

Antes de analisar a matriz energética brasileira é interessante observar que a oferta de energia mundial em 2009, se comparada com a oferta de 1973, manteve-se estruturalmente semelhante, porém teve seu potencial praticamente dobrado. A dependência energética continua a apresentar concentrações maiores nas fontes fósseis (petróleo, carvão mineral e gás natural). A energia nuclear ganhou destaque (saindo de 0,9% para 5,8% em 2009) e as fontes renováveis mantiveram sua proporção de oferta (10,7% em 1973 e 11,0% em 2009), apesar dos crescentes incentivos ao desenvolvimento das mesmas.



(*Fontes renováveis respondem por fontes geotérmica, solar, eólica,

Gráfico 1: Oferta mundial de energia por fonte em tep, 1973 e 2009
biocombustível e calor)

Fonte: IEA, 2011

Fugindo do padrão mundial, o Brasil tem a base de sua matriz energética predominantemente pautada em energia renovável, com somente a geração interna hidráulica correspondente a mais de 74% da oferta total. Somando as importações (essencialmente de origem renovável), pode-se afirmar que 86% da eletricidade do país é de fontes renováveis. (EPE, 2011a). No entanto, ter uma matriz energética focada em apenas duas fontes renováveis não é o melhor caminho a ser seguido, principalmente quando o país apresenta vastas possibilidades para expandir outras fontes energéticas menos impactantes e também eficientes.

Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte - 2010

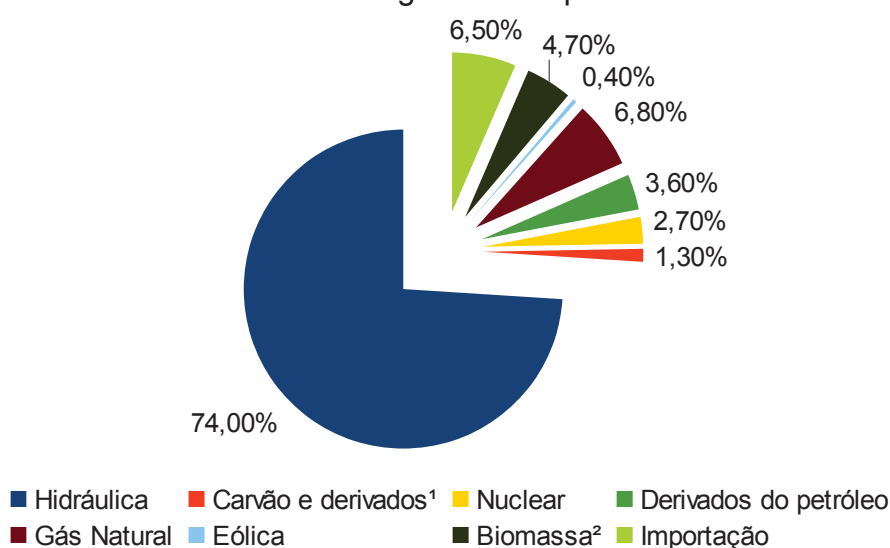


Gráfico 2: Oferta interna de Energia Elétrica por Fonte – 2010

(Notas: ¹ inclui gás de coqueria; ² biomassa inclui lenha, bagaço de cana, lixivia e outras recuperações.)

Fonte: EPE, 2011a

O fornecimento de energia deve ser suficiente para suprir as demandas da economia pela mesma. Ainda de acordo com o Relatório Final do Balanço Energético Nacional de 2011 (BEN 2011), em relação a 2009, o consumo de energia elétrica pelo setor industrial cresceu 9,9%, com destaque para os setores “ferro-gusa e aço”, “mineração e pelletização”, “não ferrosos e outros da metalurgia”, além de “alimentos e bebidas”. O setor residencial manteve suas tendências de crescimento, muito em função dos programas sociais do governo.

A produção de petróleo e óleo de xisto subiu 5,4% em 2010, sendo que a produção marítima correspondeu a 91,2% do total nacional. A recuperação do mercado de gás

natural, o aumento da geração termelétrica e a construção de 1.599km de gasodutos impulsionaram o aumento da participação do gás natural para 10,3%, sendo que sua demanda industrial (em especial na siderurgia e na pelletização) aumentou 29% em relação ao ano anterior. O fato de 2010 não ter apresentado condições hidrológicas muito favoráveis para nossa matriz energética, fez com que o aumento da demanda por eletricidade fosse suprida com os 180% de aumento na geração térmica a gás natural. Esse acontecimento ressalta a importância da diversificação da matriz energética para garantir a segurança energética e possibilitar o desenvolvimento do país sem maiores dificuldades.

Se comparada com o a porcentagem de 21,1% de dependência externa¹² de 2001, a situação do Brasil em 2010 é muito promissora, indicando apenas 7,8% de dependência, porcentagem que é compatível com recente autossuficiência conquistada no setor petrolífero do país devido à descoberta da camada pré-sal juntamente com gás natural (EPE, 2011a).

O Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE 2020) (EPE, 2011b), elaborado e coordenado pelo MME segundo as políticas e diretrizes previamente propostas pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), representa uma etapa fundamental no processo de planejamento da expansão de energia, que deve apoiar o crescimento econômico sustentável. O PDE 2020 prevê que a capacidade instalada do nosso parque gerador de energia elétrica deverá crescer 56% na próxima década, o que, portanto, exigirá do Sistema Interligado Nacional, responsável pelo escoamento dessa energia, um crescimento de 43%, alcançando 142 mil quilômetros de linhas de transmissão.

As dificuldades para o licenciamento ambiental de usinas hidrelétricas e de linhas de transmissão provavelmente impulsionarão a oferta de grandes volumes de gás natural associado à produção petrolífera do Pré-Sal, o que pode forçar o aumento de sua representatividade na atual matriz brasileira. Ainda assim, o PDE 2020 reconhece a importância de manter a significativa participação das fontes renováveis a partir de 2014. Para garantir que tais propostas não fossem em vão, a discussão sobre mudanças climáticas, no Brasil, deslocou-se para um patamar institucional quando, a partir da Conferência de Copenhague (COP15), promulgou-se a lei 12.187/09 que institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima, com meta de redução das emissões de gases de efeito estufa.

Apesar do discurso sustentável proposto no plano, nada se propõe quanto à

¹² O percentual da dependência externa é calculado como sendo a razão entre a diferença da demanda total de energia e a produção de energia primária (ou seja, o próprio valor da dependência externa), com a demanda total de energia.

diversificação das bases sustentáveis da matriz energética, se limitando a propor o contínuo investimento nas fontes eólicas, de biomassa e nas pequenas centrais hidrelétricas (PCHs). Investimentos para aumento e melhorias na produção de biocombustíveis também estão previstos. Infelizmente nada é dito para justificar a exclusão da energia solar fotovoltaica do planejamento decenal.

A esperança de inverter esse cenário reside no fato de o Plano Nacional de Energia 2030 (PNE 2030) (MME, 2007) considerar a energia solar nos seus estudos. Já existiram e ainda existem projetos de implementação de sistemas fotovoltaicos (que serão explorados na próxima seção deste capítulo), no entanto a expansão, em muitos casos, ainda depende de incentivos. Há o reconhecimento da energia solar FV integrada à rede como um potencial para a geração distribuída, como segue no próprio plano:

“Questões técnicas para seu emprego [da energia solar fotovoltaica integrada à rede] parecem equacionadas. Um dos aspectos importantes será normalizar questões essenciais da geração distribuída, nos aspectos de qualidade, segurança e proteção. Mas a maior dificuldade ainda reside no custo das células. Considera-se que a geração torna-se competitiva a partir de US\$ 3.000/kW, tomando como base de comparação a tarifa de fornecimento. Nessa situação, o custo do módulo seria de US\$ 1,50, que a curva de aprendizagem sugere possível atingir, nos Estados Unidos, somente após 2020. Nessas condições, considerou-se que o aproveitamento da energia solar fotovoltaica, integrada à rede, seria marginal no horizonte do PNE 2030.” (MME, 2007)

A expressão “marginal” deixa claro que, apesar do reconhecimento do potencial, a ES-FV, infelizmente, não entra como uma prioridade para a diversificação da matriz energética brasileira até 2030.

3.3 A ES-FV no Brasil: Linha do Tempo e Programas de Incentivo às Energias Renováveis

A maior parte do território brasileiro está localizada relativamente próxima da linha do Equador, região onde a inclinação da Terra propicia uma incidência solar mais intensa, não se observando grandes variações na duração solar do dia. É no Nordeste brasileiro que se encontra a maior radiação solar do país (MME, 2007). Há certo reconhecimento do potencial da geração FV de eletricidade no país e conta com variados projetos nacionais para a fonte, mas de pouca abrangência.

Segundo o Relatório da ANEEL sobre Energia Solar (ANEEL, 2005), os pequenos projetos são principalmente para o suprimento de eletricidade em comunidades rurais e/ou isoladas do Norte e Nordeste, atuando basicamente com quatro tipos de sistemas:

i) bombeamento de água para abastecimento doméstico, irrigação e piscicultura;



Fonte: CENTRO DE REFERÊNCIA PARA A ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO - CRESESB, 2000. Disponível em: www.cresesh.cepel.br/cresesh.htm.

Figura 18: Sistema FV de bombeamento de água para irrigação (Capim Grosso – BA)



Fonte: UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – USP, Instituto de Eletrotécnica e Energia – IEE, Formação técnica, São Paulo: 2000.

Figura 17: Sistema de bombeamento FV – Santa Cruz I (Mirante do Paranapanema - SP)



Fonte: UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – USP, Instituto de Eletrotécnica e Energia – IEE, Formação técnica, São Paulo: 2000.

Figura 19: Sistema de eletrificação FV do Núcleo Perequê (Vale do Ribeira - SP)

- ii) iluminação pública;
- iii) sistemas de uso coletivo, tais como eletrificação de escolas, postos de saúde e centros comunitários;
- e
- iv) atendimento domiciliar.

Os, ainda, baixos níveis de rendimento de conversão da radiação solar em eletricidade e os elevados investimentos iniciais são importantes obstáculos para o aproveitamento da energia FV no país. No entanto, no meio rural já se atingem as condições de viabilidade econômica para sua utilização.

A linha do tempo da energia no Brasil começa em 1795 com a descoberta do carvão. A partir das pesquisas e investimentos, em 1881, é instalada a primeira iluminação externa pública, no Rio de Janeiro; em 1883, nasce a primeira unidade produtora de energia do país, uma usina termelétrica construída em Campos (RJ); e em 1889 inicia-se a operação da primeira hidrelétrica nacional de grande porte, para a época, a Marmelos-Zero (RJ). Os

avanços continuam com a expansão das usinas hidrelétricas no país, a criação de estatais para gerir o mercado da energia elétrica e o desenvolvimento de regulamentações para o setor. O petróleo que teve sua primeira sondagem profunda em solo brasileiro no ano de 1892, em 1963 já é exportado (com o monopólio estatal) e cinco anos mais tarde descobre-se petróleo no mar. Neste meio tempo, surgia a primeira usina nuclear em Angra dos Reis (RJ) a partir de um convênio entre a Eletrobrás e a Comissão Nacional de Energia Nuclear (BRASIL, 2012a).

Os avanços do setor energético brasileiro no sentido de aproveitar as fontes renováveis disponíveis em abundância são notáveis. No entanto, a diversificação se inicia somente em 1992, quando é instalada em Fernando de Noronha a primeira turbina de energia eólica do Brasil, e apenas dez anos mais tarde é que as fontes renováveis (eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas) recebem seu primeiro programa expressivo de âmbito nacional de incentivo (ainda que muito em função da intensidade e abrangência do racionamento ocorrido durante o ano de 2001 até início de 2002): o PROINFA (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica). Em 2008, a atenção é voltada novamente para uma fonte energética fóssil, com a descoberta da camada Pré-Sal (BRASIL, 2012a).

A tabela a seguir descreve bem qual foi o desenrolar do PROINFA como um mecanismo de incentivo direto para as fontes renováveis no Brasil.

Tabela 2: Instrumentos de Política adotados no Brasil

No Brasil, tivemos a adoção do PROINFA (Lei 10.438/2002), como um mecanismo de incentivo direto, voltado para a promoção da energia eólica, biomassa e PCHs. Este instrumento foi primordial para promover no país a indústria de energia eólica, e para reduzir os custos de geração dessa fonte no mercado brasileiro. O PROINFA estabeleceu uma tarifa Premium a ser paga por um período de 20 anos, para uma capacidade máxima de 3.300 MW. Paralelamente também houve “incentivos ao investimento” pelo BNDES, oferecendo empréstimos a taxas de juros mais baixas, exigindo para isso um índice de nacionalização nos projetos. Para viabilizar o investimento, foi oferecido pelo BNDES financiamento de longo prazo na modalidade *Project Finance* com participação de recursos do BNDES em até 75% dos ativos totais do projeto, a um custo compatível com as tarifas do PROINFA e seus índices de reajuste, reduzindo assim as incertezas para os investidores. Isso foi possível graças à estrutura de garantias montada para os projetos enquadrados no PROINFA, com a interveniência da Eletrobrás na arrecadação dos recursos, bem como no baixo risco de não pagamento por parte dos consumidores. O maior risco da operação residia nas incertezas quanto à performance dos projetos, principalmente no caso de usinas eólicas, pois havia poucas informações sobre a performance dos aerogeradores em sítios brasileiros.

O PROINFA, entretanto, não atingiu completamente seus objetivos. A geração elétrica a biomassa,

por exemplo, não apresentou projetos suficientes para completar a cota de 1.100 MW, pois os empreendedores entendiam que poderiam conseguir preços melhores para a energia gerada em outras modalidades de contratação. Assim, a capacidade instalada necessária para completar os 3.300 MW do PROINFA foi atingida a partir da contratação de outros empreendimentos eólicos e baseados em PCHs. Dos 3.299,40 MW contratados na primeira etapa do programa, 1.191,24 MW são de 63 PCHs; 1.422,92 MW são de 54 usinas eólicas; e 685,24 MW são de 27 usinas à base de biomassa.

No caso da energia eólica, vem se notando atrasos na entrada em operação da maior parte das usinas devido a uma série de fatores. Em termos de legislação, a demora na regulamentação do programa pelo governo gerou incertezas sobre a divisão de competências, condições de aquisição de energia e prazos de contratação. Houve também problemas relacionados à obtenção de licenças ambientais por conta de fatores jurídicos, técnicos e financeiros. Já em termos de mercado, os principais problemas foram o financiamento e o acesso de empreendedores ao crédito, o valor econômico dos projetos, a falta de segurança para investidores e o índice mínimo de nacionalização.

Alguns projetos de biomassa tiveram dificuldade de conexão à rede elétrica. Este fato foi mais bem encaminhado somente com a definição das ICGs¹³ a partir do Leilão de reserva de biomassa em 2008. A formação de condomínio de geradores na contratação de serviços de transmissão de energia elétrica tem se mostrado fundamental para a viabilização da expansão da capacidade de geração instalada a partir de fontes alternativas em regiões com pouca ou nenhuma capilaridade de redes de transmissão e de sub-transmissão.

Vale ressaltar, no entanto, que existem expectativas sobre a real implantação desses projetos. Isso porque, além do preço, a exemplo do que ocorreu no Reino Unido nos leilões de eólicas o fator de capacidade projetado na maioria dos projetos foi da ordem de 40-50%. Dados do ONS vêm apresentando para os projetos do PROINFA um fator de capacidade da ordem de 30-35%, bem abaixo do projetado para os novos projetos, o que pode impactar negativamente o fluxo de caixa do projeto.

Fonte: LA ROVERE, 2011

Como se pode notar, ao longo da linha do tempo da energia apresentada no próprio site do Governo brasileiro, não é ressaltado nenhum programa de expressividade para a energia FV. No Relatório Técnico para a Carta do Sol, 2011, são apresentados alguns programas para o incentivo do mercado FV no país, que sempre esteve ligado a programas de eletrificação rural e de acesso à energia elétrica. Grande parte da energia FV conectada à rede corresponde a sistemas de universidades ou de empresas que a utilizam no âmbito de projetos de P&D.

O Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios (PRODEEM) foi lançado em 1994 e possibilitou a instalação de aproximadamente 9 mil

¹³ ICGs: Instalações de Interesse Exclusivo de Centrais de Geração para Conexão Compartilhada. Definidas pelo Decreto 6.460 de 20 de maio de 2008 consistem em um arranjo que permite a repartição dos custos entre diversas usinas, seja eólica, a biomassa ou PCH.

sistemas FVs, totalizando 5.112 kWp. Seus objetivos eram de implementar ações que incentivassem o desenvolvimento do mercado de energia renovável local para comunidades carentes no Brasil, especialmente aquelas que viviam no meio rural ou que estavam fora dos perímetros urbanos, explorando o potencial dos recursos disponíveis e fomentando os serviços de energia renovável, para a geração de empregos e a elevação da renda destas famílias. Durante a sua vigência, o programa passou por problemas que iam desde a falta de recursos dos estados (responsáveis pela montagem dos sistemas), passando pela severidade da seca nordestina até a falta de capacidade de acelerar a manutenção da oferta em vista da crescente demanda por energia em zonas carentes (PNUD, 2012).

O PRODEEM incluiu projetos energéticos instalados na área rural de bombeamento de água, iluminação pública e sistemas energéticos coletivos, e em sua grande maioria localizados nas regiões Norte e Nordeste do país. A energia solar fotovoltaica, como fonte predominante para o fornecimento de energia ao longo da vigência do programa, recebeu estímulos para a redução do seu preço, abrindo as portas para grandes licitações desses sistemas. Tendo sido finalizado em 2010, prevê-se a revitalização dos módulos fotovoltaicos instalados através da incorporação do PRODEEM a outro programa federal de expansão do acesso à energia elétrica no Brasil, o Programa Luz para Todos.

Outras iniciativas que vêm ganhando espaço merecem ser lembradas:



Figura 20: Usina Solar de Tauá

- ▲ Usina Solar Fotovoltaica de Tauá (CE): primeira usina de energia solar do país conectada à rede, contou com a iniciativa da MPX, e foi inaugurada no ano de 2011 com a capacidade instalada de 1MW (o suficiente para abastecer cerca de 1.500 famílias). Com apenas seis meses de operação comercial, a usina já gerou 808.369 MWh e, após seu primeiro ano, já solicitou a ampliação da

licença da mesma para 50 MW, dependendo da implantação de um mecanismo de contratação que viabilize o investimento no projeto (MPX, 2012).

- ▲ Megawatt Solar: projeto da ELETROSUL para a implantação de um sistema FV integrado ao seu edifício sede, utilizando a área do telhado e dos estacionamentos adjacentes, e que será conectado à rede da distribuidora de energia elétrica local. Será

o primeiro prédio público brasileiro a utilizar o conceito *Building Integrated Photovoltaic (BIPV)* conectada à rede elétrica em larga escala (ELETROSUL, 2012).

▲ CEMIG: parte do Projeto “Cidades do Futuro”, pretendem instalar 3MW de ES-FV em Sete Lagoas – MG, interligados à rede de energia elétrica.

▲ Estádios solares: o primeiro estádio solar da América Latina foi inaugurado em maio de 2012, o estádio Pituaçu (Salvador-BA). Mesmo sem ser um dos escolhidos para sediar a Copa do Mundo FIFA de 2014 no Brasil, o estádio obteve o apoio e o aval da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) para receber o investimento, juntamente com recursos subsidiários do governo da Bahia e o investimento da



Figura 21: Estádio Pituaçu, Salvador-BA

Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia (Coelba). Os estádios-sede para a Copa 2014 que contarão com captação de energia solar em suas coberturas são: o Mineirão (Belo Horizonte-MG); o Estádio Nacional (Brasília-DF) com capacidade de obter até 2,5 MW; a Arena Pernambuco (Recife-PE); Maracanã (São Paulo-SP) (BRASIL, 2012b).

Um grande avanço no sentido de desenvolver o setor FV no Brasil foi a Audiência Pública Nº 42/2011 promovida pela ANEEL, que teve como objetivo obter contribuições na busca da redução às barreiras para a instalação de micro e minigeração distribuída incentivada e alteração na TUSD (Tarifa de Uso dos Sistemas Elétricos de Distribuição) e TUST (Tarifa de Uso dos Sistemas Elétricos de Transmissão) para a usina com fonte solar. Foi aprovada, então, a regulamentação que estimula e organiza a expansão da geração FV conectada à rede de distribuição, contando com um sistema de compensação do usuário final sempre que sua produção for maior que o seu consumo no mês (contabilizando como crédito para sua conta de luz dos próximos meses).

Na Cartilha – Conselhos de competitividade do Plano Brasil Maior do Governo da Dilma Rousseff, na qual se materializam as ações de apoio à indústria para fortalecer a competitividade, acelerar ganhos de produtividade, promover o adensamento produtivo e tecnológico das cadeias de valor, ampliar mercados, criar empregos de melhor qualidade e

garantir um crescimento inclusivo e sustentável, encontram-se no Bloco 2 as energias renováveis. Para a energia solar, as diretrizes são divididas entre: A) a ampliação do mercado consumidor: com o desenvolvimento e aperfeiçoamento de incentivos para a geração distribuída, e a análise de disponibilização de crédito de longo prazo para a aquisição e instalação dos sistemas; B) o adensamento produtivo e tecnológico das cadeias de valor: fomentando o desenvolvimento dos elos da cadeia produtiva nacional para a energia solar, e dando estímulos para P,D&I para as diversas etapas produtivas; e C) a criação e fortalecimento de competências críticas: promovendo a capacitação de mão de obra técnica e científica (MDIC, 2012).

3.4 O Mercado Brasileiro da ES-FV

Quando analisamos o mercado mundial da ES-FV no tópico 2.3.2, pudemos ver que grande parte da cadeia de valor da indústria FV é gerada próximo ao consumidor final. Tendo isto em mente e também o papel que a economia chinesa vem exercendo no fornecimento de células e módulos fotovoltaicos, o que nos resta é a indagação de como está atualmente a indústria FV no Brasil.

Para facilitar a visualização do panorama atual de desenvolvimento do setor energético fotovoltaico, será feita em seguida uma análise de três itens classificados segundo a Nomenclatura Comum do MERCOSUL (NCM) que foram escolhidos pela representatividade para a produção de módulos fotovoltaicos.

Tabela 3: Classificação de 3 itens da cadeia FV segundo a NMC

Capítulo: 85 - Máquinas, Aparelhos e Materiais Elétricos, e suas partes; Aparelhos de Gravação ou de Reprodução de Som, Aparelhos de gravação ou de Reprodução de Imagens e de Som em Televisão, e suas partes e acessórios.	
Posição: 8541 - Diodos, transistores e dispositivos semelhantes semicondutores; dispositivos fotossensíveis semicondutores, incluídas as células fotovoltaicas, mesmo montadas em módulos ou em painéis; diodos emissores de luz; cristais piezelétricos montados.	
Subposição: 854140 - Dispositivos fotossensíveis semicondutores, incluídas as células fotovoltaicas, mesmo montadas em módulos ou em painéis; diodos emissores de luz.	
Item: 8541401 - Não montados	
85414011 - Diodos emissores de luz (LED), exceto diodos "laser"	
85414012 - Diodos "laser"	
85414013 - Fotodiodos	
85414014 - Fototransistores	
85414015 - Fototiristores	
85414016 - Células solares	
85414019 - Outros	
Item: 8541402 - Montados, exceto as células fotovoltaicas em módulos ou painéis	
85414021 - Diodos emissores de luz (LED), exceto diodos "laser", próprios para montagem em superfície (SMD - "Surface Mounted Device")	
85414022 - Outros diodos emissores de luz (LED), exceto diodos "laser"	
85414023 - Diodos "laser" com comprimento de onda de 1.300nm ou 1.500nm	
85414024 - Outros diodos "laser"	
85414025 - Fotodiodos, fototransistores e fototiristores	
85414026 - Fotorresistores	
85414027 - Acopladores óticos, próprios para montagem em superfície (SMD - "Surface Mounted Device")	
85414029 - Outros	
Item: 8541403 - Células fotovoltaicas em módulos ou painéis	
85414031 - Fotodiodos	
85414032 - Células solares	
85414039 - Outras	

Fonte: Dados coletados na base de dados *AliceWeb*

Como apresentado no gráfico da Figura 22, os principais *players* na comercialização de módulos fotovoltaicos em ordem de representatividade no mercado consumidor atualmente são: União Européia (EU), Japão, Estados Unidos da América (EUA) e China. Por esse motivo, as análises das transações comerciais dos itens supracitados foram feitas levando tais países em consideração, além de respeitar o período disponibilizado, que é de 2000 a 2011.

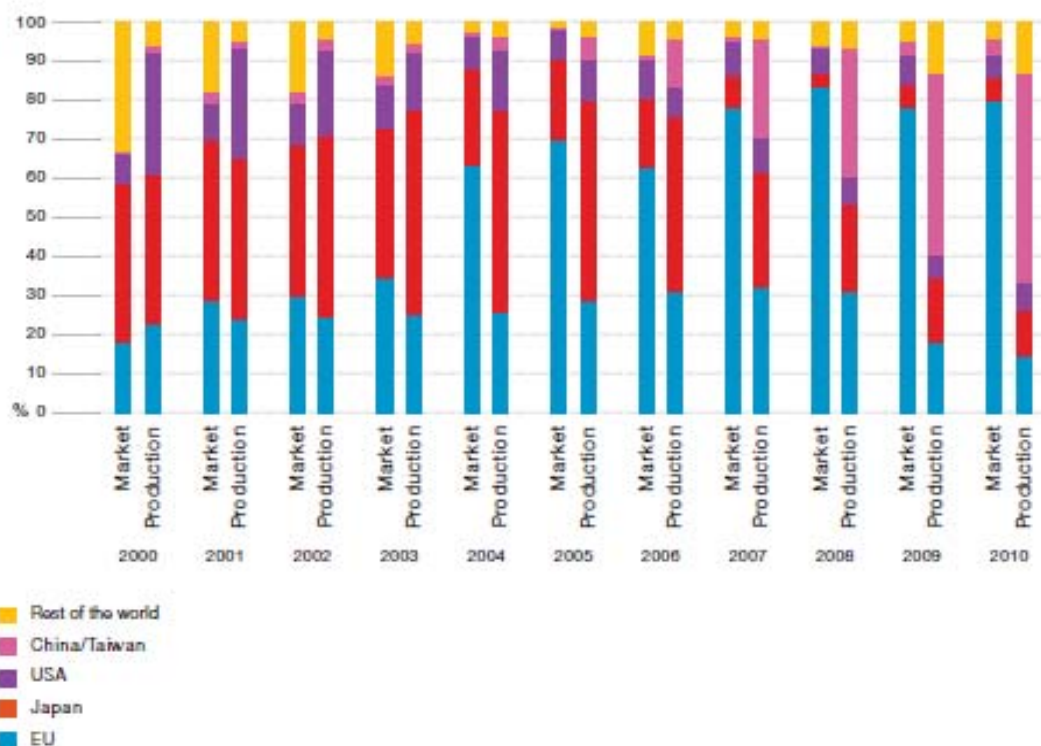


Figura 22: Mercado vs. Produção

Fonte: EPIA, 2011a

3.4.1 Os Volumes Comercializados

A UE vivenciou um grande aumento de demanda por módulos FV a partir de 2004, quando os incentivos para a mesma foram responsáveis pelo aumento da demanda interna de módulos e células, que foram majoritariamente supridos pelo Japão no curto prazo graças a sua capacidade tecnológica disponível.

Ao mesmo tempo em que a demanda europeia aumentava, a demanda brasileira também passava por um momento de revitalização da sua capacidade FV, isso porque o PRODEEM iniciou em 2003 um processo de reestruturação do projeto. Em 2004, foram realizadas as etapas de levantamento, recuperação e regularização da situação patrimonial dos equipamentos já instalados, acompanhados de planos para a expansão do PRODEEM para sua futura integração ao Programa Nacional de Universalização – Luz para Todos (GALHARDO & VIANA, 2004). Tem-se então uma justificativa para o pico de importação dos itens analisados.

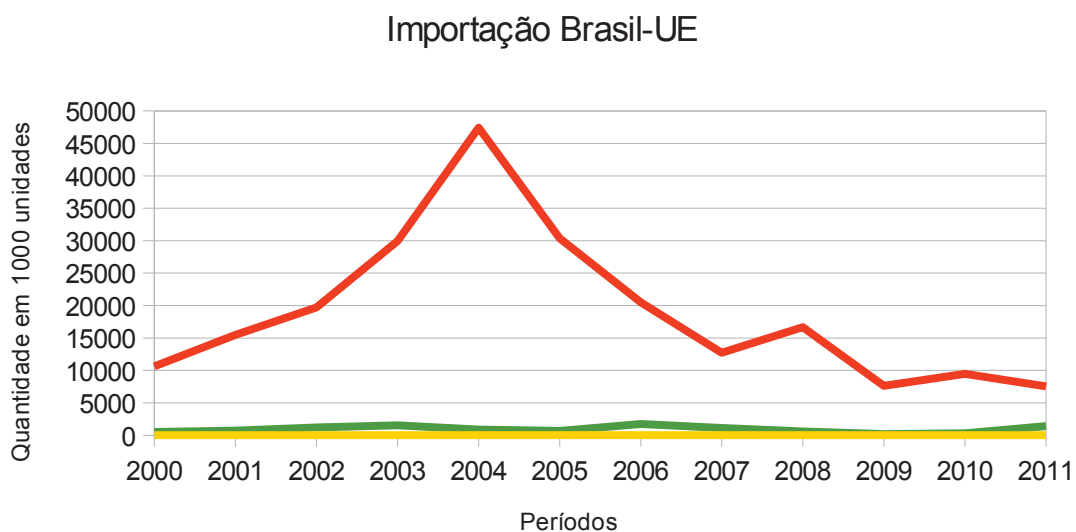
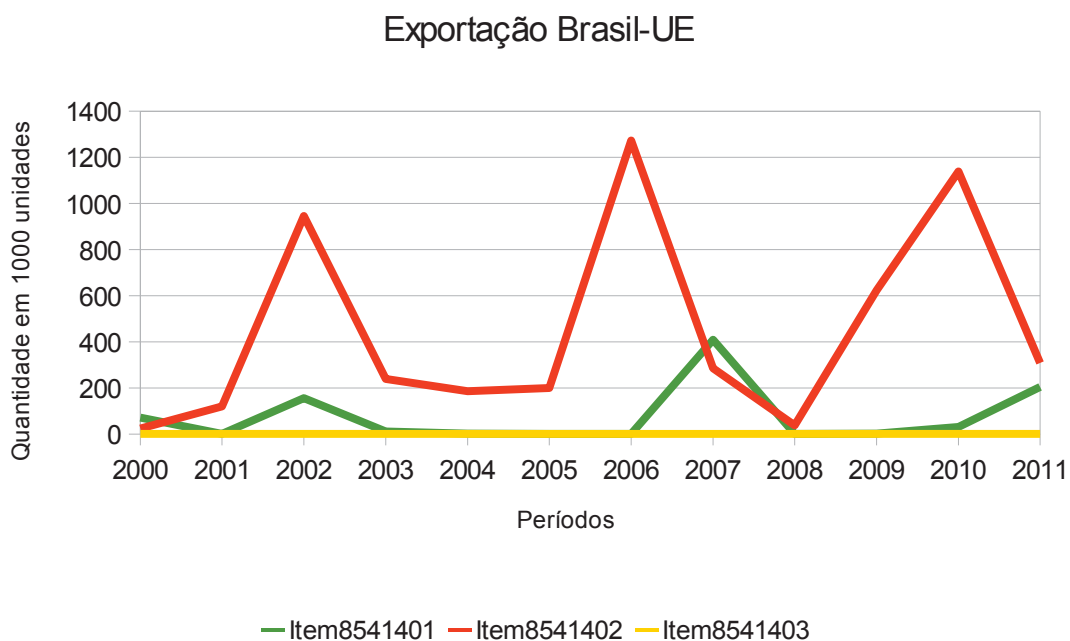


Gráfico 3: Volume comercializado entre Brasil-UE

O Japão, com seu expressivo potencial tecnológico, foi o principal fornecedor de peças, principalmente dos subitens do item 8541402, para o desenvolvimento da energia solar FV no Brasil, dentre os países e comunidade levantados neste estudo. No entanto, apesar de continuar a responder por grande parte das importações desses itens no Brasil, o Japão está perdendo a taxas gradativas decrescentes o mercado brasileiro.

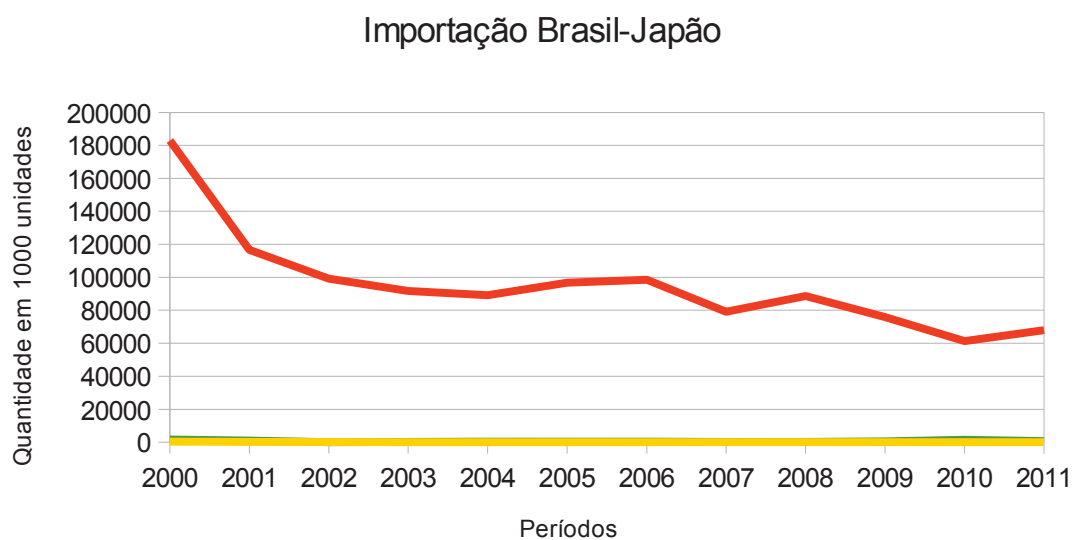
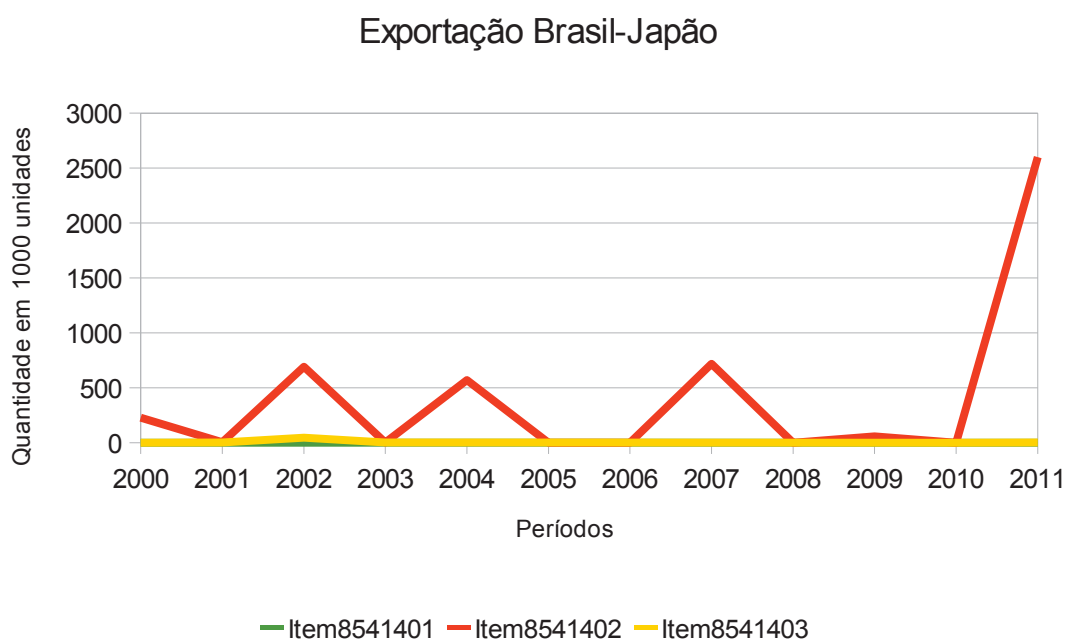
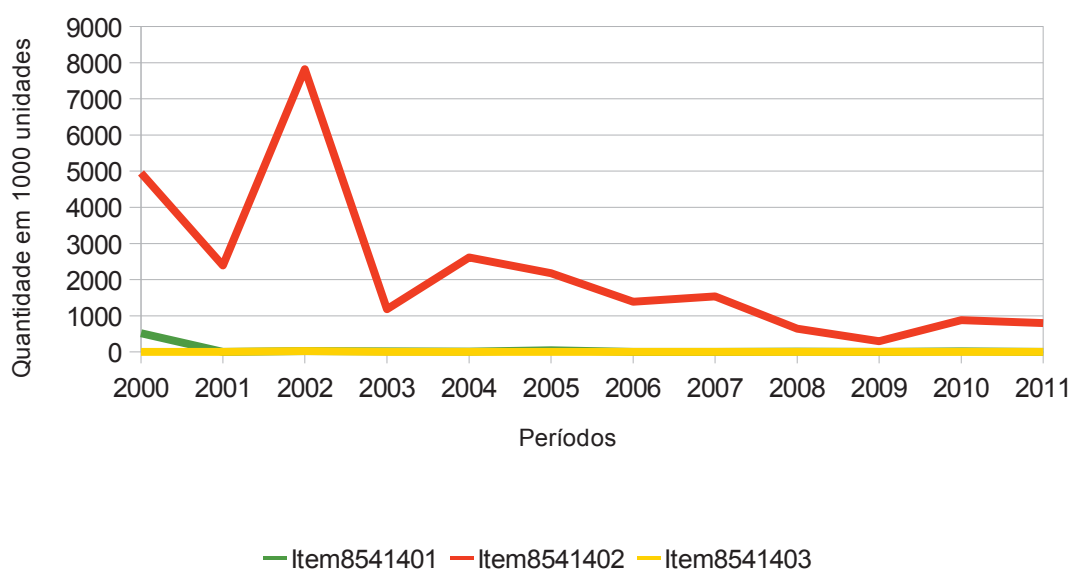


Gráfico 4: Volume comercializado entre Brasil-Japão

O comércio entre Brasil e EUA não apresenta justificativas relevantes para seu fluxo, a não ser nos anos que permeiam 2003, quando houve aumento de demanda e produção internas motivadas pelo PRODEEM.

Exportação Brasil-EUA



Importação Brasil-EUA

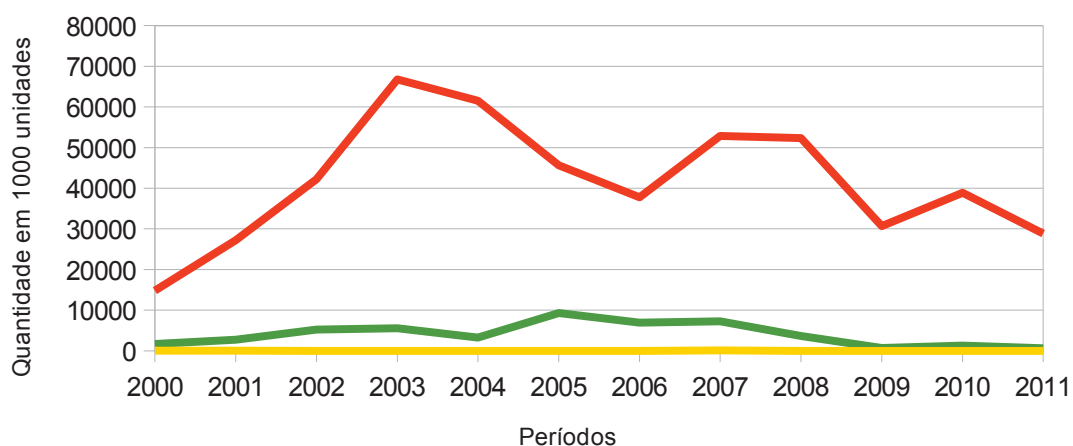


Gráfico 5: Volume comercializado entre Brasil-EUA

A partir do ano de 2005, a China começa a expandir a sua oferta de produtos para o setor FV, se destacando por ter abocanhado em cinco anos um espaço do mercado antes compartilhado entre Japão e a UE, principalmente. A abertura do mercado brasileiro para a China facilitou a entrada de seus produtos, bem como a via contrária, a de fornecimento de produtos para a economia chinesa.

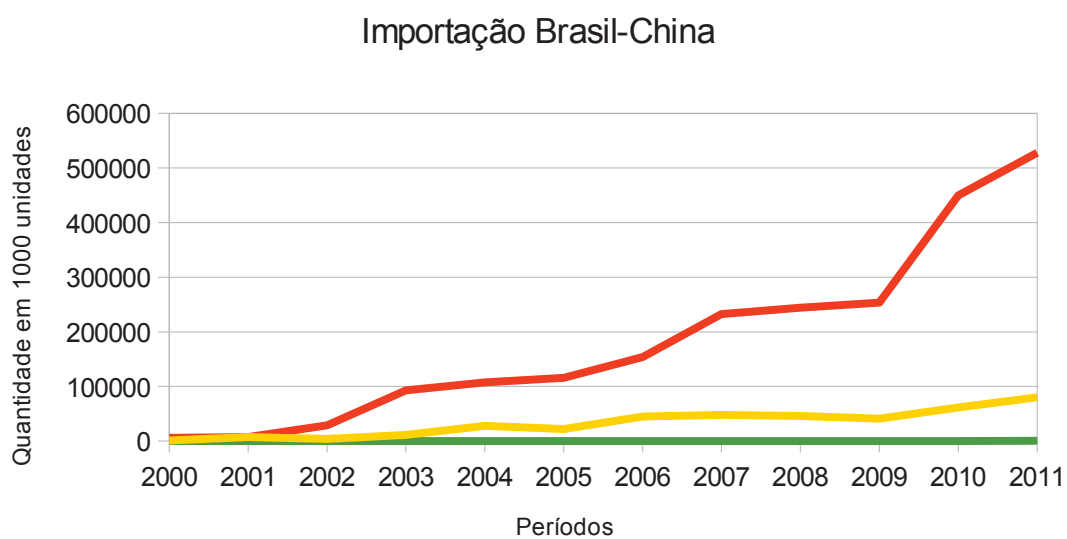
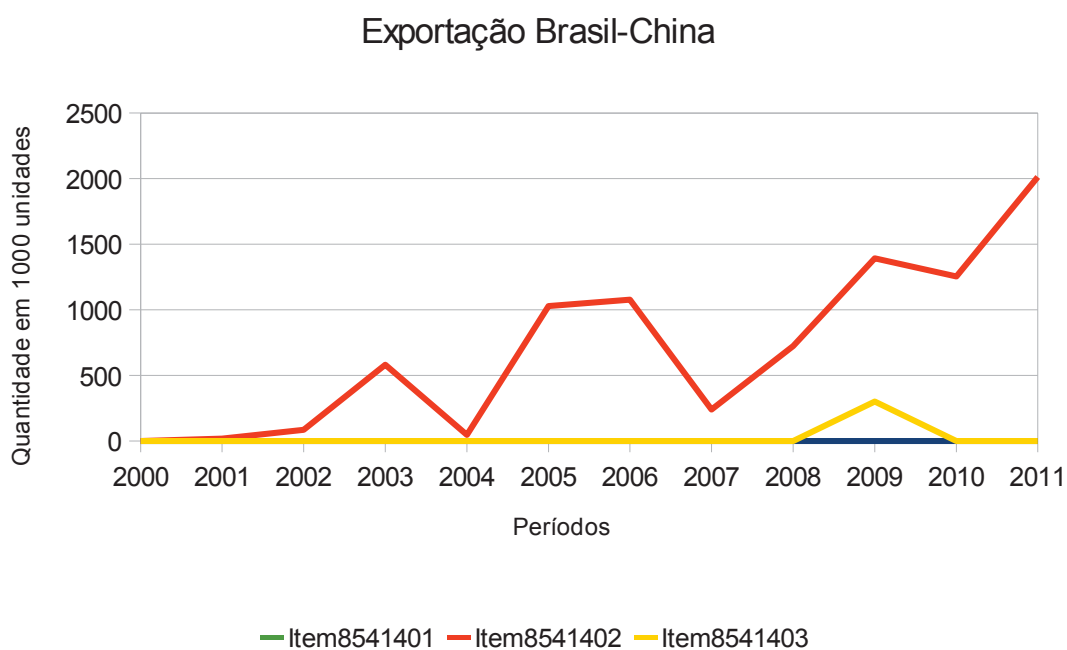
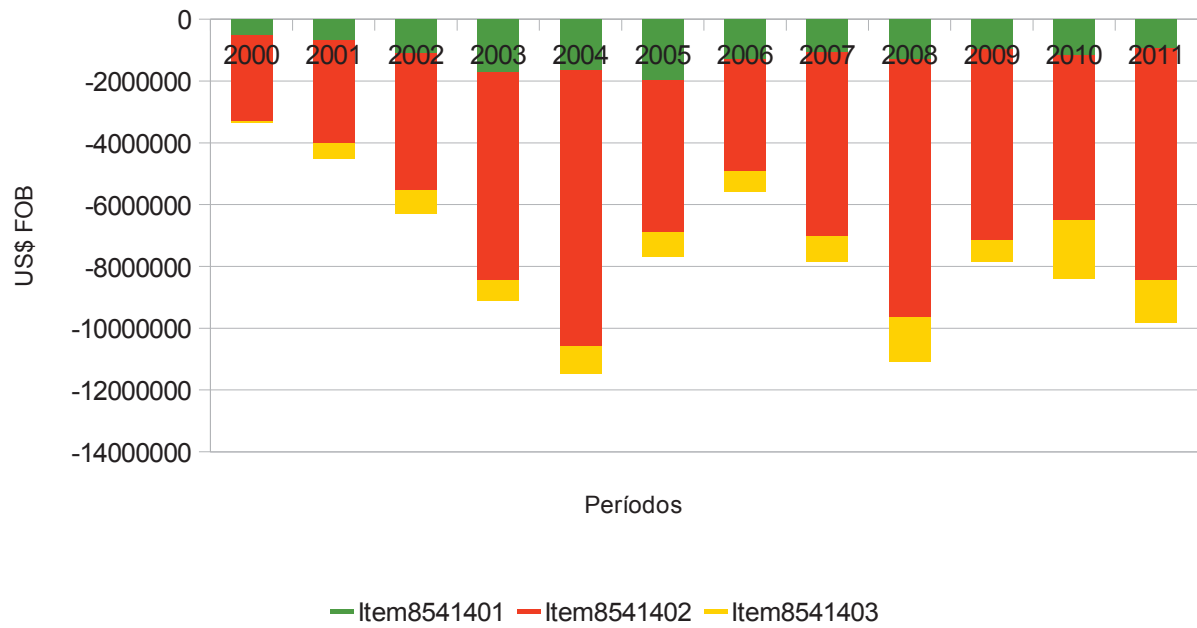


Gráfico 6: Volume comercializado entre Brasil-China

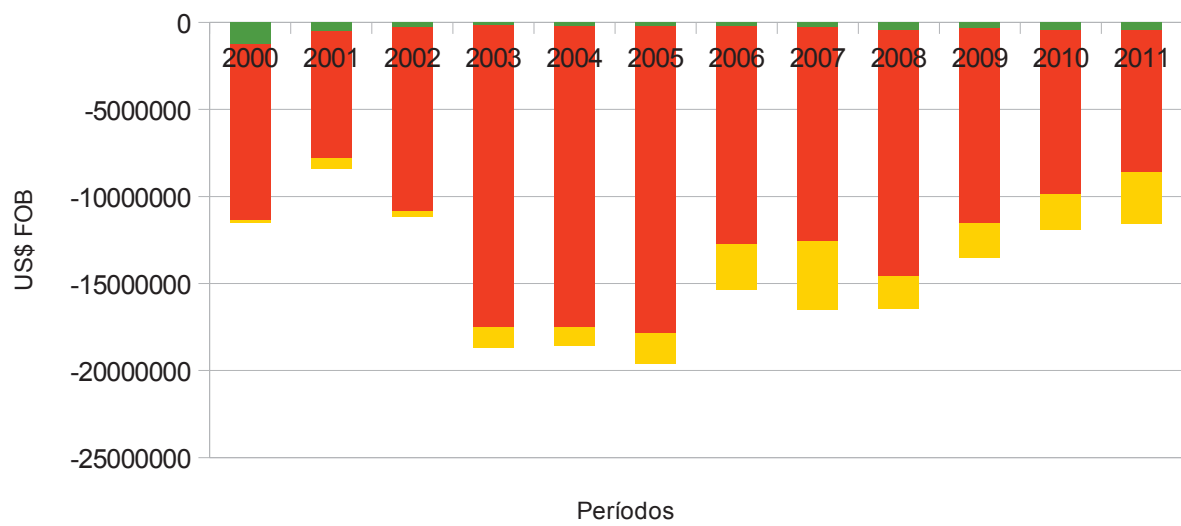
3.4.2 Os Saldos Comerciais

A fim de facilitar a interpretação da situação atual da indústria brasileira FV, podemos observar os saldos comerciais das transações dos itens 8541401, 8541402 e 8541403 entre o Brasil e os países e comunidade previamente apontados.

Saldo Comercial Brasil-UE



Saldo Comercial Brasil-Japão



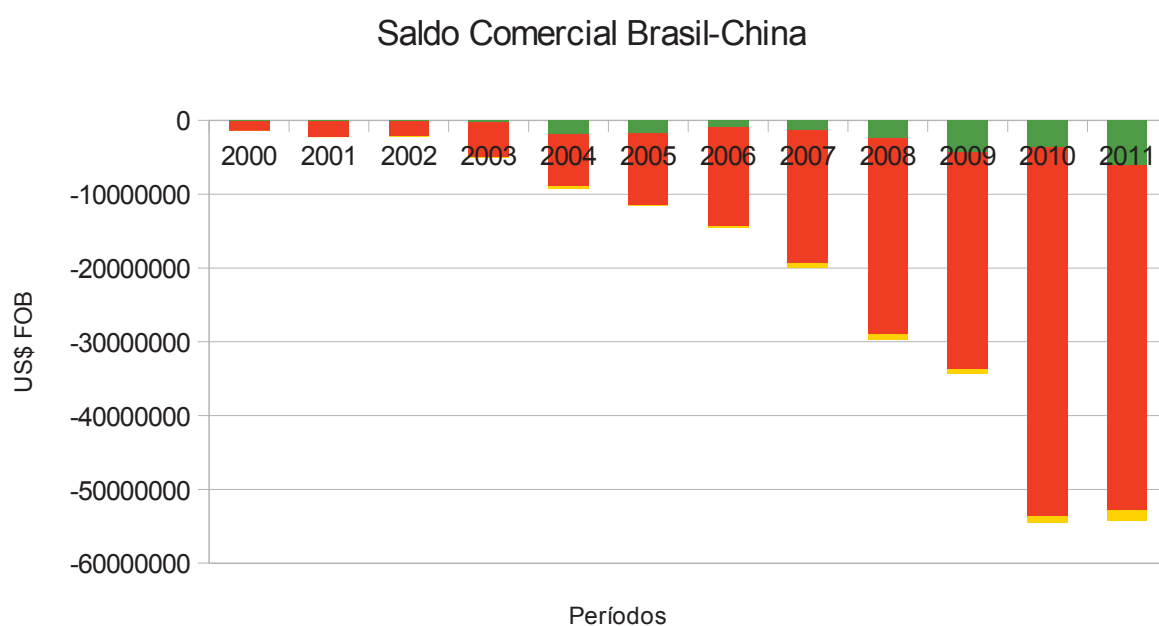
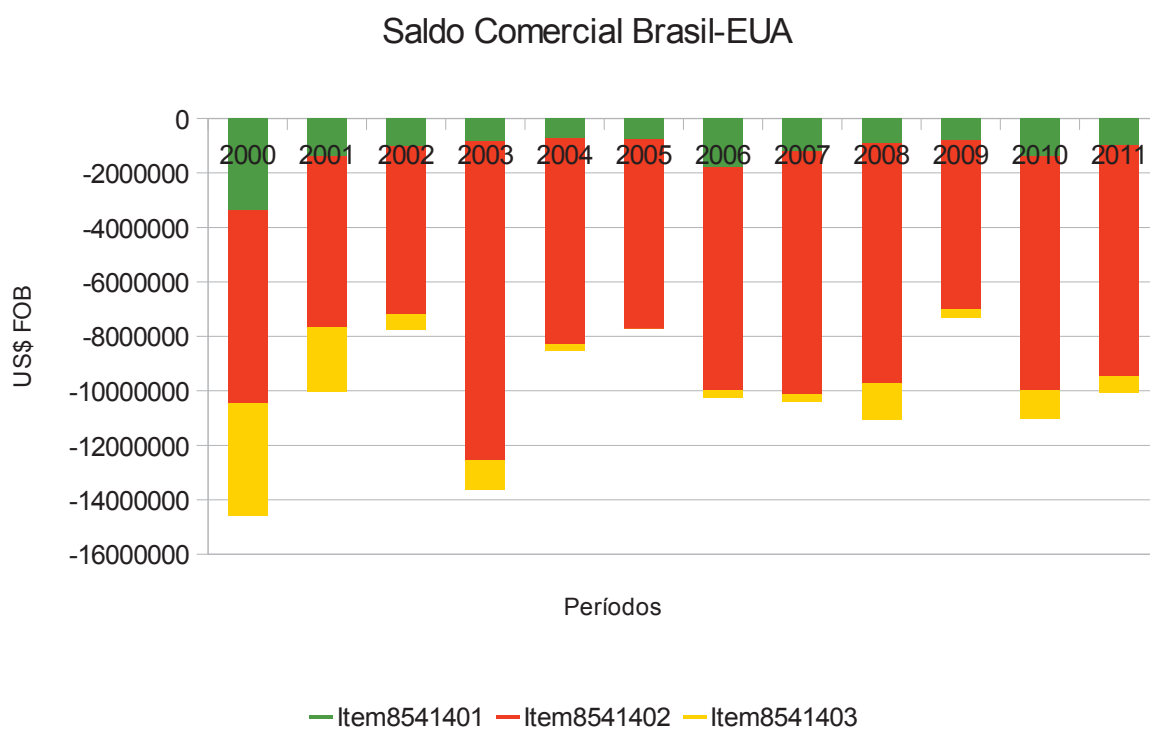


Gráfico 7: Saldos Comerciais para os itens 8541401, 8541402 e 8541403, segundo a classificação da NCM, entre o Brasil e UE, Japão, EUA e China, respectivamente

O desempenho da indústria brasileira no setor FV é expressivamente deficitário, apresentando em alguns anos (como os de 1998 e 1999, anteriores aos abordados pelos

gráficos) certos níveis, ainda que próximos a zero, de saldo comercial positivo para pelo menos um dos três itens analisados. É clara a necessidade de criar mecanismos de incentivos para o setor energético FV para garantir a sua evolução para preços competitivos e, assim, estimular sua utilização em escala suficientemente grande para conseguir manter, futuramente, a indústria FV sem necessidade de subsídios.

A análise dos gráficos, portanto, justifica o fato de que, atualmente, tem-se dado muita atenção aos mecanismos de incentivos de caráter indireto, que procuram melhorar as condições de infraestrutura, financeira e regulatória no longo prazo. Há também mecanismos diretos para incentivo imediato para a promoção de fontes renováveis e instrumentos regulatórios. Todos os mecanismos são classificados conforme forem baseados no “preço” ou na “quantidade” ou se eles apoiam o “investimento” ou a “geração”, como ilustrado na tabela abaixo. (LA ROVERE, 2011)

Tabela 4: Classificação dos Instrumentos de Promoção de Fontes de Energia Renováveis

Foco		Direto		Indireto
		Preço	Quantidade	
Regulatório	Investimento	<i>Incentivo ao Investimento</i>	Sistema de leilão (<i>tendering system for investment grants</i>)	Taxas ambientais Simplificação dos procedimentos de autorização
		<i>Tax credits</i>		
		<i>Low Interests /Soft Loans</i>		
	Geração	<i>Feed-in tariffs</i> <i>Fixed Premium System</i>	Sistema de leilão para contratos de longo prazo Sistema de Quotas com Certificado Verdes	Taxas de conexão, balanceamento de custos
Voluntário	Investimento	Programa de Acionistas (<i>shareholders program</i>)	Acordos voluntários com definição de quantidade e certificados verdes	Acordos Voluntários
		Programas de contribuição		
	Geração	Tarifas Verdes		

Fonte: (LA ROVERE, 2011)

É preciso cautela para implementar os incentivos à indústria brasileira, pois é preciso definir qual o objetivo almejado, uma vez que se vê uma grande onda de oferta de

produtos chineses a preços cada vez mais atraentes e de difícil competição, com entrada muitas vezes facilitada por acordos bilaterais. O mais sensato é investir em atividades que agreguem valor aos produtos, visto que essas etapas são realizadas mais próximas do consumidor final.

CAPÍTULO 4 – O CINTURÃO DO SOL E O CENÁRIO DA AMÉRICA LATINA

4.1 Introdução

Apesar de todo o conteúdo abordado ao longo deste trabalho, alguns questionamentos podem ter sido levantados ao longo da leitura. Por exemplo, uma questão que merece destaque é em que patamar de desenvolvimento FV se encontram os outros países com o potencial semelhante ao do Brasil para esta fonte energética. Tais países, já brevemente citados, são parte do chamado Cinturão do Sol (ou, em inglês, *The Sunbelt Countries*) e apesar de seu potencial, dentre os top 10 mercados FV no mundo, apenas a China está entre um dos maiores mercados e aproveita da sua localização geográfica.

O problema de falta de desenvolvimento de meios (desde infraestrutura até incentivos político-econômicos) para a geração de energia FV não é uma questão pouco explorada apenas no Brasil, como veremos a seguir.

4.2 Potencial FV no Cinturão do Sol¹⁴

O Cinturão do Sol abriga, atualmente, 75% da população mundial e representa 40% da demanda mundial de eletricidade, sendo que os países em rápido desenvolvimento serão os responsáveis por grande parte do crescimento da demanda energética nos próximos 20 anos. Ainda que o potencial varie de acordo com o tamanho e as condições locais, ainda existe um potencial FV significativo em cada um dos países situados na área entre as latitudes $\pm 35^\circ$ próximos à linha do Equador.

Os dez maiores mercados FV do mundo são: Alemanha, Bélgica, Coreia do Sul, Espanha, Estados Unidos, França, Itália, Japão, República Tcheca e, como único país membro do Cinturão do Sol, a China. Dentre os 148 países do cinturão, 66 foram escolhidos para o estudo da EPIA (2011b), pois seus 5 bilhões de habitantes representam aproximadamente 95% da população do cinturão e quase 75% da população global, além de sua demanda energética corresponder a 97% de todos os outros países do cinturão (aproximadamente 38% do consumo de eletricidade mundial).

¹⁴ Esta seção foi baseada nas informações provenientes do relatório da EPIA: “*Unlocking the Sunbelt Potential of Photovoltaics*” (EPIA, 2011b).

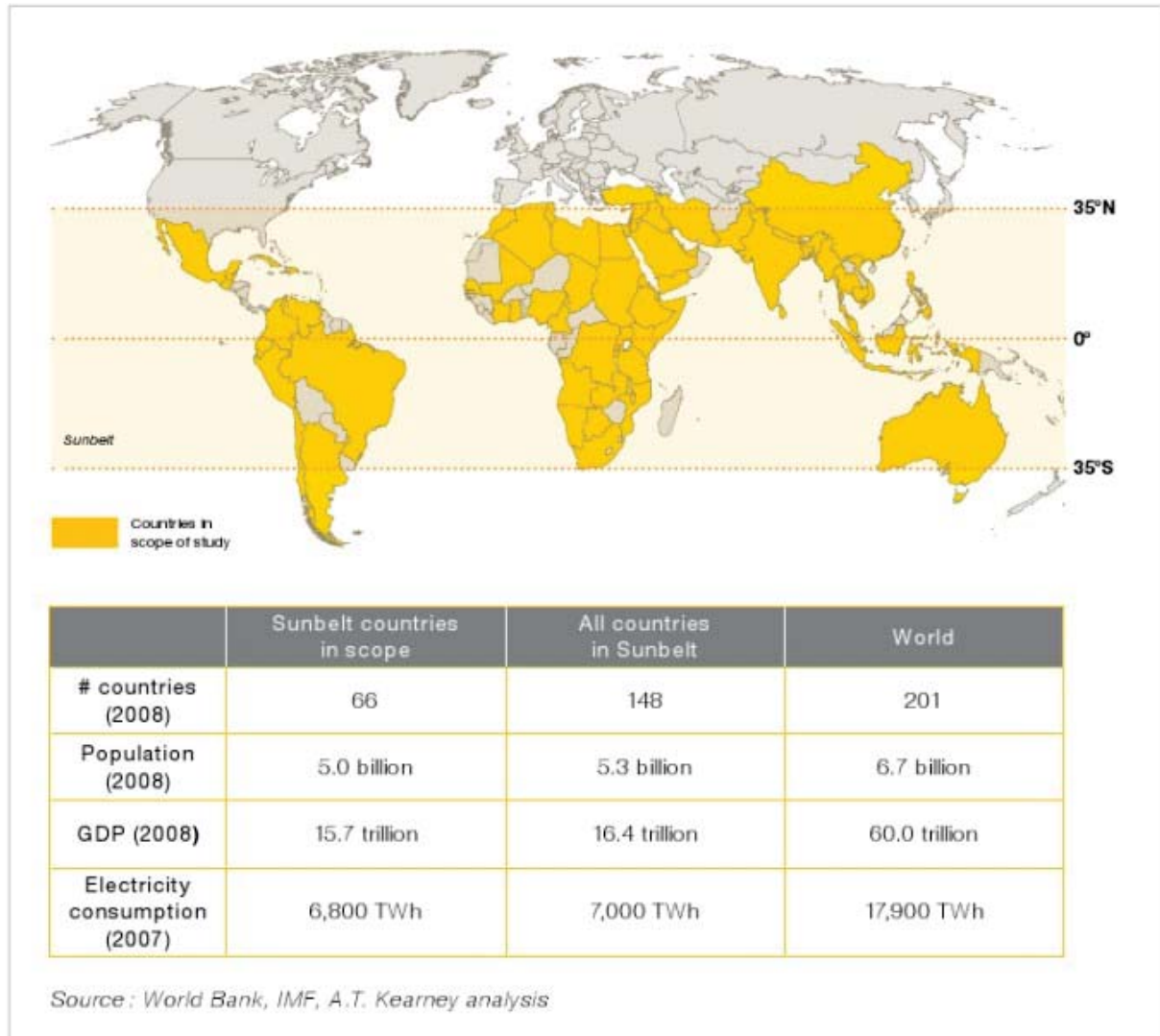


Figura 23: Países do Cinturão do Sol escolhidos para o escopo do estudo
 Fonte: EPIA, 2011b

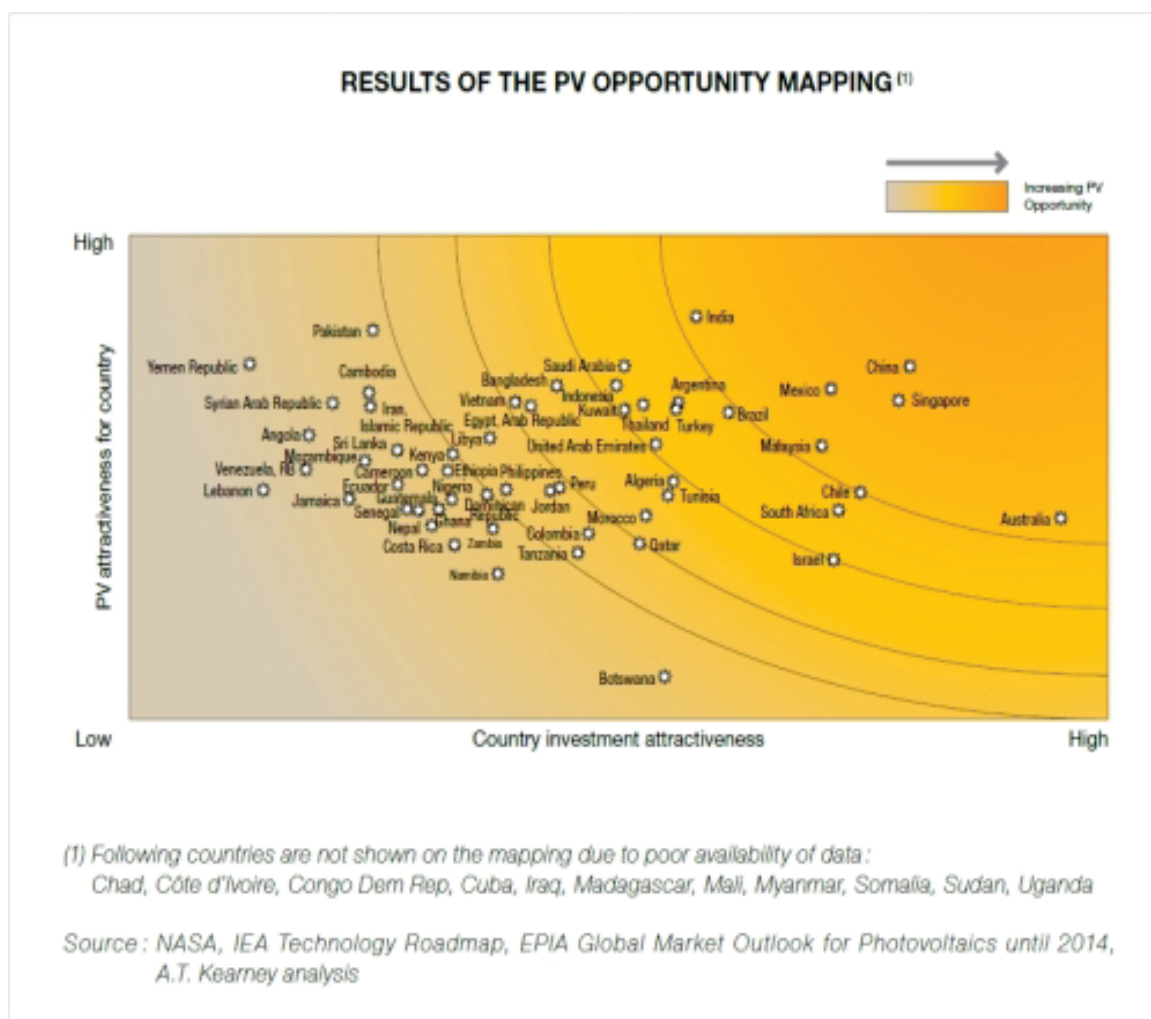


Figura 24: Mapa da oportunidade para a ES-FV nos Países do Cinturão do Sol

Fonte: EPIA, 2011b

Ainda no relatório, é feito um mapeamento da atratividade FV dos 66 países versus sua atratividade para investimentos, o que acaba por posicionar o Brasil em um patamar de elevada atratividade para investimentos FVs. O levantamento é feito levando em consideração critérios como: renda per capita, meio ambiente econômico e político, estabilidade financeira e políticas para energias renováveis, no tocante à classificação da atratividade do país para investimento. Para subsidiar a atratividade para a energia FV, os critérios foram: tamanho do mercado energético, projeção do crescimento do consumo elétrico, custos competitivos FVs, distribuição e perda energética, flexibilidade da matriz energética para diversificar seu *mix* de fontes.

Dependendo do desenvolvimento do cenário atual nesses países, o potencial FV pode sair de 60 para 250 GWp até 2020, e de 260 para até 1.100 GWp em 2030. Assim, os

países do cinturão poderiam representar de 27% a 58% da previsão da capacidade FV instalada até 2030.

4.2 Desafios e Cenários da ES-FV no Cinturão do Sol¹⁵

A falta de *know-how* é um importante obstáculo para a ES-FV nesses países, mesmo que a fonte já se apresente competitiva em relação a alguma outra fonte (como, por exemplo, quando comparada ao abastecimento energético através do óleo diesel). A ausência de estágios mesmo iniciais de políticas de suporte e incentivo à fonte FV também se configura como significativa barreira para seu desenvolvimento. Assim, propagar os casos de sucesso da implementação em outros países é uma importante forma de apoiar as iniciativas políticas dos países do cinturão, sendo o *lobby* para convencer os *key players* locais uma ferramenta, da mesma forma, essencial.

A pouca (ou a falta) de capacidade ou vontade dos investidores de financiar a energia FV está relacionada à falta do *know-how* e também aos precoces ou inexistentes incentivos para a fonte, como previamente discutido. E mesmo as redes elétricas pouco desenvolvidas de algumas regiões ou países, consideradas como fatores que limitam a absorção da fonte e aumentam as dificuldades de operações conectadas à rede, também são resultantes da pouca ou nenhuma divulgação e incentivo para os investidores potenciais da fonte (como é o caso dos bancos). Obviamente, um mercado emergente para serviços e sistemas FV significa que existe ainda ineficiência para supri-lo, resultando em custos e prazos maiores, exigindo maiores esforços por parte dos investidores em compreender a lentidão do desenvolvimento deste mercado interno.

Os obstáculos para a energia FV justificam o pouco desenvolvimento da fonte nos países do cinturão, exceto na Índia e na China que apresentam capacidade instalada bem acima do que é encontrados nos demais países, como é possível verificar nos dados da capacidade FV acumulada instalada dos países selecionados abaixo. A tabela também mostra a soberania do mercado chinês para a produção tanto de células, módulos e de filmes finos, sendo acompanhada pela Índia (ainda que sua produção fique em torno de 7,5% da capacidade da produção total chinesa) e Cingapura (com capacidade produtiva equivalente a 8,5% do total chinês, mas com menos diversificação que a Índia, pois não possui produção de filmes finos).

¹⁵ Esta seção foi baseada nas informações provenientes do relatório da EPIA: “*Unlocking the Sunbelt Potential of Photovoltaics*” (EPIA, 2011b).

Tabela 5: Capacidade FV de alguns países do Cinturão do Sol

		Capacidade FV Acumulada instalada (MW)	Capacidade produtiva para células (MW)	Capacidade produtiva para módulos (MW)	Capacidade produtiva para filmes finos (MW)
Mediterrâneo e Norte Africano					
	Algéria	2,3			
	Egito	3			
	Israel	25	0	200	0
	Jordânia	0,2	0	39	0
	Marrocos	6			
	Tunísia	1,4			
	Turquia	5			
Sudeste Asiático					
	Camboja	0,1			
	Cingapura	1,4	550	590	0
	Indonésia	6,5			
	Filipinas	0,6	574	0	0
	Malásia	11	150	0	812
	Tailândia	40	25	65	60
	Vietnã	0,8			
China e Índia					
	China	300	6085	6856	444
	Índia	160	557	407	50
América Latina					
	Argentina	10	0	1	0
	Brasil	14			
	Chile	2,5			
	Colômbia	6			
	México	40	0	245	0

(*Equador, Peru e Venezuela não apresentam dados disponíveis)

Fonte: Dados retirados do Relatório “*Unlocking the Sunbelt Potential of Photovoltaics*” (EPIA, 2011b).

A América Latina enfrenta as mesmas barreiras apresentadas previamente: o *know-how* e a percepção da ES-FV podem ser trabalhados com o fortalecimento dos *stakeholders* locais com alta competência FV; os incentivos que tratam exclusivamente da energia FV ainda precisam ser criados e podem contar com o exemplo das políticas de mercado para a fonte como as presentes na Malásia e Tailândia; o necessário investimento pode vir da combinação do investimento privado e parceiros internacionais (Banco Mundial, por exemplo); a especificação de incentivos para a conexão à rede é crucial; assim como no

México, que aproveita a sua proximidade dos EUA para exportar módulos, a base produtiva FV pode se desenvolver mesmo se os mercados domésticos permanecerem pequenos.

CONCLUSÃO

Tendo tido como principal motivação o Projeto “A Carta do Sol”, este estudo buscou abordar o tema da ES-FV com a finalidade de expor uma situação precária pouco conhecida pela maioria dos brasileiros. A matriz energética do Brasil é, dentre muitos outros fatores, um motivo de orgulho nacional quando se trata dos temas meio ambiente e sustentabilidade. No entanto, pouco é discutido quanto à qualidade da diversificação da matriz brasileira.

O grande potencial FV do país acaba passando despercebido nos programas de incentivo a fontes alternativas de energia e também nos planos nacionais energéticos. No entanto, este não é um problema enfrentado apenas pelo Brasil. Os demais países do Cinturão do Sol, com igual ou superior potencial para a energia FV, também enfrentam certa estagnação ou ausência de incentivos para a fonte, muitas vezes por falta de *know-how*, inexistência de incentivos exclusivamente voltados para a ES-FV, falta de investimento (público e privado, pois não há incentivos político-econômicos) e falta de interesse pela fonte por parte dos próprios *policy makers* (certas vezes pelo forte *lobby* que gira em torno das já consolidadas fontes energéticas locais).

O Brasil carece de políticas mais sólidas para diversificar a sua matriz energética e garantir uma maior segurança energética e sustentabilidade para sua sociedade. Já é chegado o momento do país aproveitar as suas características de “país tropical, abençoado por Deus”, deixando de ser passivo quanto aos benefícios já adquiridos pela posição e extensão geográfica privilegiadas e começar a investir, mais ativamente e de forma mais concisa nas áreas que podem trazer distinta vantagem competitiva para o país no longo prazo. Isso quer dizer, criar mais mecanismos de incentivo atrativos o suficiente para estimular a diversificação dos investimentos no setor energético brasileiro e também a migração da população para outras fontes alternativas de eletricidade, especialmente a FV, que carece de programas próprios de incentivo para a sua utilização ligada à rede.

Atualmente, a análise dos saldos comerciais do Brasil para os itens 8541401, 8541402 e 8541403, segundo a NCM e a partir dos dados disponibilizados pela base de dados Aliceweb, com os quatro principais mercados para a ES-FV (UE, Japão, EUA e China) (EPIA, 2011a) mostra o quão deficitário é o mercado brasileiro para a fonte. Adicionalmente, dentre os países da América Latina, mesmo com as características muito favoráveis (tanto

geográficas como econômicas) para o desenvolvimento da fonte no Brasil, sua capacidade acumulada instalada gira em torno de 14 MW e não apresenta capacidade produtiva significativa para células, módulos e filmes finos, ficando muito atrás do México, que possui uma capacidade acumulada instalada de 40 MW e com capacidade produtiva para módulos de 245 MW (EPIA, 2011b).

A fonte é deixada de lado pelo PDE 2020 e mesmo pelo PNE 2030 com a justificativa de que seu preço ainda não é competitivo. Por isso, muitos estudos ainda precisam ser feitos para apoiar a mudança do posicionamento do país quanto à fonte FV, mas países como o México, pela sua capacidade de se aproveitar da proximidade dos EUA e produzir módulos para exportação, China e Índia, pela agressividade com a qual abriram espaço num mercado antes dominado, majoritariamente, pelo Japão e Europa, e Malásia e Tailândia, pelo impulso dado ao mercado FV local através de políticas de incentivo, precisam ser abordados para fortalecer as tomadas de decisões no Brasil. Alemanha, Espanha, Japão, Itália e EUA também devem ser foco de estudos para o mercado brasileiro, pois são países que já possuem um mercado FV consolidado e com sólidas práticas de incentivos, de todos os tipos, mesmo que não façam parte do Cinturão do Sol.

Como levantado por La Rovere (2011), os principais desafios para a introdução da ES-FV no país hoje advêm da falta de motivação política; da inexistência de um arcabouço legal e regulatório para apoiar o desenvolvimento das energias renováveis, dando garantia e prioridade de acesso à rede de distribuição e da contratação da renovável no longo prazo; da falta de financiamentos de longo prazo adequados, para estimular o investimento e prevenir de riscos os empreendedores; ao pouco incentivo fiscal para a ES-FV e demais fontes alternativas, quando comparado aos incentivos já oferecidos para as fontes convencionais, hoje, de tecnologias maduras; da falta de capacitação de mão de obra e de desenvolvimento de competências específicas ao longo da cadeia de energia FV; e, finalmente, pela falta de informação, comunicação, educação e treinamento da sociedade em relação à ES-FV.

Uma população mais bem informada consegue exercer pressão para que os meios de comunicação e pesquisa estejam constantemente atentos no que diz respeito à fonte e os movimentos rumo à criação de incentivos sejam iniciados. Por isso, era parte deste estudo provocar o mínimo de reflexão acerca dos rumos que estão sendo tomados para a matriz energética brasileira, com a recente descoberta da camada Pré-Sal e dos projetos de investimentos massivos em energia hidrelétrica.

Referências Bibliográficas

- ABCM – Associação Brasileira do Carvão Mineral. [Internet]. Disponível em: <<http://www.carvaomineral.com.br/abcm/>>. Acesso em: 17 mar. 2012.
- AMAZONAS, M. **O Pluralismo da Economia Ecológica e a Economia Política do Crescimento e da Sustentabilidade**. In: Boletim da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica, nº20, 2009.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. ANEEL, 2ª ed.. Brasília-DF, 2005.
- BELINI, L. **A caminho das energias renováveis**. In: III Encontro da ANPPAS. Brasília – DF, 2006.
- BIODIESELBR. **Energia Nuclear: o que é energia nuclear?** [Internet]. Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/energia/nuclear/energia-nuclear.htm>>. Acesso em: 17 mar. 2012.
- BONJORNO, J. E CLINTON, M. **Física 1 – Mecânica**. Editora FTD. São Paulo-SP, 1992.
- BRASIL. **Linha do tempo**. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/linhadotempo/html/tema/lista_epocas?tema=Energia>. Acesso em: 11 mai. 2012(a).
- BRASIL. **Portal da Copa**. Disponível em: <<http://www.copa2014.gov.br/>>. Acesso em: 17 mai. 2012(b).
- CAVALCANTI, C. **Texto II: O que é Economia Ecológica: resgate de uma perspectiva**. In: Boletim da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica, nº20, 2009.
- CONSTANZA, R. **What is ecological economics?** Ecological Economics. Elsevier Science Publishers B.V.. Amsterdã, Reino da Holanda, 1989.
- ELETROSUL – Eletrosul Centrais Elétricas S.A. **SOL Megawatt Solar: O Projeto**. Disponível em: <<http://www.eletrosul.gov.br/home/conteudo.php?cd=1150>>. Acesso em: 14 mai. 2012.
- EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço Energético Nacional 2011: Ano base 2010**. EPE. Rio de Janeiro-RJ, 2011a.
- EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2020**. Ministério de Minas e Energia/EPE. Brasília-DF, 2011b.
- EPIA – *European Photovoltaic Industry Association* . **Photovoltaic Energy: Electricity from**

the Sun. EPIA, 2010.

EPIA - *European Photovoltaic Industry Association. Global Market Outlook for Photovoltaics until 2015*. EPIA, 2011a.

EPIA - *European Photovoltaic Industry Association. Unlocking the Sunbelt Potential of Photovoltaics*. EPIA, 3ª ed. 2011b.

FELTRE, R. **Química: Vol 1**. Ed. Moderna, 6ª Ed. São Paulo-SP, 2004.

G8 FINAL REPORT – Renewable Energy Task Force. In: Kyushu-Okinawa Summit. Nago, Okinawa, 2001.

GALHARDO, C.R; VIANA, F.G. MME inicia reestruturação do PRODEEM: Seminário discute revitalização do programa. **PCH Notícias & SHP NEWS**. n. 19, p. 11-12. Ago./Set./Out. 2004.

GOLDEMBERG, J. **Mudanças climáticas e desenvolvimento**. Estudos Avançados 14 (39), 2000.

GOLDEMBERG, J.; VILLANUEVA, L.D. **Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento**. Tradução André Koch, Ed. da Universidade de São Paulo, 2ª ed. Rev. São Paulo-SP, 2003.

IEA – *International Energy Agency. Technology Roadmap: Solar Photovoltaic Energy*. IEA, 2010.

IEA – *International Energy Agency. Key World Energy Statistics: 2011*. OECD/IEA. Paris, 2011.

INEE – Instituto Nacional de Eficiência Energética. **Biomassa & Energia**. Disponível em: <http://www.inee.org.br/biomassa_sobre.asp?Cat=biomassa>. Acesso em: 17 mar. 2012.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Rota metalúrgica para produção de Silício Grau Solar**. Coordenador: João Batista Ferreira Neto. Disponível em: <www.ipt.br/projetos/5.htm>. Acesso em: 17 mar. 2012.

LA ROVERE, E. L. **Projeto "A Carta do Sol" – Relatório Técnico: subsídios para o planejamento da promoção da energia solar fotovoltaica no Brasil**. LIMA/PPE/COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro-RJ, 2011.

MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **MCT e MME lançam as bases para aproveitamento de energia solar**. Publicado em 29/12/2010. Disponível em <<http://www.mct.gov.br>>. Acesso em: 10 de novembro de 2011.

MDIC – Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **Brasil Maior -**

Cartilha: Conselhos de competitividade Setoriais. MDIC. Brasília-DF, 2012.

MME – Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia 2030.** MME/EPE. Brasília-DF, 2007.

MPX – Grupo EBX. **Ampliação da licença da usina solar de Tauá.** In: Sala de imprensa: Notícias, publicado em 23/02/2012. Disponível em: <<http://www.mpx.com.br/pt/sala-de-imprensa/noticias/Paginas/Amplia%C3%A7%C3%A3o-da-licen%C3%A7a-da-usina-solar-de-Tau%C3%A1.aspx>>. Acessado em: 14 mai. 2012.

NEVES, E; WILHEIM, J.; MELO, A.M.. **Sistematização do debate sobre “Desenvolvimento Urbano – Cidades Sustentáveis e Qualidade de Vida”.** In: Seminário Internacional: Novos Rumos do Desenvolvimento. BNDES, Rio de Janeiro-RJ, 2002.

ONG WWF-Brasil. Disponível em: <<http://www.wwf.org.br/>>. Acesso em: 16 mar. 2010.

PETROBRAS. **Energia e tecnologia** [Internet]. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/pt/>>. Acesso em: 17 mar. 2012.

PNUD, Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. **Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios (PRODEM).** Disponível em: <http://www.pnud.org.br/projetos/meio_ambiente/visualiza.php?id07=35>. Acesso em: 14 mai. 2012.

PVCYCLE. Disponível em: <<http://www.pvcycle.org/>>. Acesso em: 18 mar. 2012.

PVRUNRISE. Disponível em: <<http://www.pvsunrise.eu/>>. Acesso em: 18 mar. 2012.

RELATÓRIO BRUNDTLAND. **Nosso futuro comum.** Comissão Mundial Sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. Ed. FGV, 2ª ed. Rio de Janeiro, 1991.

SACHS, I. **Caminhos para o desenvolvimento sustentável.** Organizadora: Paula Yone Stroh. Garamond, 3ª ed.. Rio de Janeiro-RJ, 2000/2008.

SACHS, I. **Desenvolvimento: includente, sustentável, sustentado.** Garamond. Rio de Janeiro-RJ, 2004.

SHAYANI, R. A.; OLIVEIRA, M. A. G. de; CAMARGO, I. M. de T. **“Comparação do custo entre energia solar fotovoltaica e fontes convencionais”.** In: V Congresso Brasileiro de Planejamento Energético – CBPE. Brasília, 2006.

SUSTAINABLE DEVELOPMENT COMMISSION. **History of SD** [Internet]. Disponível em: <http://www.sd-commission.org.uk/pages/history_sd.html>. Acesso em: 15 mar. 2012.

THE BRAZILIAN Report for the UN Conference on Environment and Development. UNCED. Rio de Janeiro-RJ, 1992.

THE CLUB OF ROME. The story of the Club of rome: The birth of the Club of Rome [Internet]. Disponível em: <<http://www.clubofrome.org/?p=375>>. Acesso em: 15 mar. 2012.

UM FUTURO com energia sustentável: Iluminando o caminho. FAPESP. Tradução: Maria Cristina Vidal Borba, Neide Ferreira Gaspar. Academia Brasileira de Ciências. São Paulo-SP, 2010.

UNIÃO EUROPEIA. **Protocolo de Quioto relativo às alterações climáticas** [Internet]. Disponível em: <http://europa.eu/legislation_summaries/environment/tackling_climate_change/l28060_pt.htm>. Acesso em: 16 mar. 2010.