

ESTUDO PROSPECTIVO EM ENERGIA FOTOVOLTAICA: UMA SÍNTESE PARA POLÍTICAS PÚBLICAS

Fernando Cosme Rizzo Assunção – rizzo@cgee.org.br
Elyas Ferreira de Medeiros – elyasmedeiros@cgee.org.br
Centro de Gestão e Estudos Estratégicos – CGEE
Rafael Amaral Shayani – shayani@ene.unb.br
Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Elétrica

Resumo. *O Estudo Prospectivo em Energia Fotovoltaica do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos – CGEE – realizado entre 2008 e 2009, teve como objetivo construir recomendações de políticas públicas visando o desenvolvimento do setor fotovoltaico no país. O estudo foi realizado em três fases: panorama (onde os pontos fortes e fracos do país e do mundo foram levantados), perspectivas (onde foi identificada a potencialidade do país para a produção de silício grau solar e para incentivar o mercado nacional) e propositiva. Nessa última fase foram apresentadas propostas para políticas públicas dentro de quatro idéias centrais: incentivo à pesquisa e à inovação tecnológica, criação de mercado consumidor, estabelecimento de indústrias de células solares e de módulos fotovoltaicos e estabelecimento de indústrias de silício grau solar e eletrônico. Como principal resultado do estudo, recomenda-se que o governo invista para estabelecer indústrias de silício e de energia solar fotovoltaica no país, dada a identificação de significativos potenciais para geração de milhares de empregos de alto nível no país, geração e distribuição de riqueza socioeconômica, desenvolvimento de parque industrial competitivo internacionalmente e produção de energia renovável e ambientalmente limpa, visto o elevado potencial solar existente no país.*

Palavras-chave: *Energia Solar Fotovoltaica, Estudo Prospectivo, Incentivos ao Mercado Fotovoltaico, Políticas Públicas, Silício Grau Solar*

1. INTRODUÇÃO

O Estudo Prospectivo em Energia Fotovoltaica, conduzido pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) entre 2008 e 2009, por encomenda do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), objetivou construir recomendações de políticas públicas visando o desenvolvimento do setor fotovoltaico no país. Apoiado no conhecimento de centenas de especialistas dos âmbitos de governo, academia e empresas, o resultado desse estudo se propõe a subsidiar decisões com abrangência até o horizonte de 2025. Propõe-se ainda a assistir tomadores de decisão e formuladores de políticas diante de oportunidades e desafios ao fomento dessa cadeia produtiva de energia fotovoltaica.

Esse artigo apresenta a metodologia adotada e os principais resultados do estudo prospectivo, com a apresentação de propostas para implantar a cadeia produtiva do setor fotovoltaico no país, visando ao estabelecimento do mercado de energia solar fotovoltaica e de indústrias de silício grau solar no Brasil.

2. METODOLOGIA DO ESTUDO PROSPECTIVO

O estudo prospectivo foi conduzido em três fases distintas, a seguir apresentadas:

- Panorama, onde foram levantadas informações sobre a atual situação do assunto no país e no mundo;
- Perspectiva, onde as principais oportunidades foram analisadas, considerando as oportunidades e os desafios identificados na fase de panorama; e
- Propositiva, onde foram identificadas propostas visando incorporar os potenciais identificados na fase de perspectivas à cadeia produtiva nacional.

Na condução desse estudo prospectivo, o CGEE consultou centenas de especialistas, tomando o cuidado de sempre contemplar o ponto de vista de todos os três agentes responsáveis por impulsionar qualquer setor produtivo: governo, academia e empresas. O detalhamento de como as fases foram conduzidas, visando identificar os elementos essenciais necessários para embasar a formulação de uma política pública brasileira que possa estimular o setor fotovoltaico, são descritas a seguir.

2.1. Fase de panorama

Para identificar o panorama do Brasil e do mundo sobre o setor fotovoltaico, foi realizada uma reunião presencial em Brasília em outubro de 2008, onde diversos especialistas responderam às seguintes perguntas:

- Quais os pontos fortes e fracos do potencial produtivo brasileiro para atuar competitivamente através dos próximos 15 anos?
- Quais as características da sociedade brasileira e de mercado internacional que justifiquem no país um programa intensivo e coordenado entre governo, empresas e academia?

Da análise das contribuições dos especialistas, o estudo prospectivo pôde destacar as possíveis frentes de atuação nos âmbitos da iniciativa público-privada no Brasil:

- Desenvolvimento de processos para purificação de silício;
- Desenvolvimento de processos de obtenção de lâminas de silício;
- Desenvolvimento de processos industriais de fabricação de células solares com várias tecnologias;
- Desenvolvimento de equipamentos para fabricação de células solares e de módulos fotovoltaicos;
- Desenvolvimento de equipamentos de condicionamento de potência;
- Regulamentação clara e atualizada para a instalação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica; e
- Lançamento de um programa de incentivo ao usuário para a instalação de sistemas fotovoltaicos.

Como resultado dessa etapa foi elaborado o documento "Potencial produtivo brasileiro e macro dimensões estratégicas em energia fotovoltaica — Uma primeira abordagem do Estudo" (CGEE, 2008).

2.2. Fase de perspectivas

A etapa de perspectivas desdobrou a questão da purificação do silício e do programa de incentivo ao usuário para a instalação de sistemas fotovoltaicos, por serem consideradas pelos especialistas como tópicos de grande relevância para a participação nacional em elos da cadeia produtiva de sistemas fotovoltaicos.

Produção de silício grau solar no Brasil. Foi realizada, em dezembro de 2008, uma consulta eletrônica abordando a base da cadeia de valor do setor fotovoltaico, isto é, a produção de silício grau solar no Brasil. As seguintes perguntas foram apresentadas a dezenas de especialistas, solicitando que as respostas fossem elaboradas contemplando uma perspectiva de 15 anos:

- Qual é o potencial sustentável de mercado nacional e mundial de silício grau solar?
- Quais são as implicações ao desenvolvimento social e ambiental do país que se pode esperar decorrente da produção nacional de silício grau solar?
- Quais são os marcos regulatórios de maior impacto, necessários à produção de silício grau solar de forma sustentável no país?
- Quais são as tendências tecnológicas e desenvolvimentos científicos que podem gerar uma vantagem competitiva nacional em silício grau solar no país e no mundo?

Como resultado dessa etapa foi elaborada a nota técnica "Produção de silício grau solar no Brasil" (CGEE, 2009a).

Incentivos ao mercado fotovoltaico. Com a base do setor produtivo fotovoltaico já mapeado pelo estudo, na questão da fabricação das células solares a partir do silício no Brasil, efetuou-se a consulta eletrônica seguinte, realizada em março de 2009. Foi abordado o topo da cadeia produtiva, apresentando questões relacionadas aos incentivos necessários para a criação de um mercado fotovoltaico nacional. As seguintes questões foram submetidas a centenas de especialistas:

- Nas situações e regiões do país onde a energia fotovoltaica é mais barata que a extensão ou reforço da rede elétrica, que incentivos ou regulação são necessários para criar este mercado específico?
- Em que outras situações a energia solar fotovoltaica já é competitiva com a convencional no Brasil? O que fazer para incentivar um mercado sustentável?
- Como estimular no Brasil o mercado de energia fotovoltaica integrada a edificações, sob a oportunidade das certificações "verdes"?
- Que mecanismos de governo seriam adequados para incentivar o uso da energia fotovoltaica conectada à rede? Que impactos isso trará para a conta de energia elétrica?
- Considerando que haja um grau de penetração no Brasil de produtos portáteis (carregadores de celulares, etc) à energia fotovoltaica, como estimular esse mercado? Que outros produtos nacionais poderiam ter boa receptividade na população?
- Que incentivos estimulariam um mercado especial (condomínios, estádios, aeroportos, etc) interessado em marketing e/ou na redução da conta de energia elétrica?
- Para que empresas sejam atraídas a produzirem sistemas fotovoltaicos no Brasil, qual deve ser a demanda mínima em MW/ano que viabiliza um mercado? As medidas que você sugeriu anteriormente são suficientes?

Como resultado dessa etapa foi elaborada a nota técnica "Incentivo ao mercado de energia fotovoltaica no Brasil" (CGEE, 2009b).

2.3. Fase propositiva

A fase propositiva foi dividida em duas etapas. Inicialmente foram formuladas propostas de políticas públicas por especialistas do setor, e posteriormente validadas em um simpósio específico sobre o assunto.

Apresentação de propostas. Em junho de 2009 foi realizada em Brasília uma reunião com os agentes do setor para apresentação de propostas. O objetivo dessa reunião era construir recomendações aos processos de formulação e implantação de políticas de incentivo ao desenvolvimento científico e tecnológico necessário ao suporte de atividades industriais em segmentos estratégicos da cadeia de produção de silício grau solar e de geração de energia solar fotovoltaica.

Aos especialistas foi solicitado apresentarem propostas considerando tanto uma visão de mercado (de curto a médio prazo, considerando tecnologias já disponíveis), como também uma agenda tecnológica estratégica (de médio a longo prazo, necessitando de atividades de P&D).

Como resultado dessa etapa foi elaborada a nota técnica "Energia Solar Fotovoltaica no Brasil: Documento propositivo de ações para políticas públicas" (CGEE, 2009c).

Validação das propostas. Visando consolidar as diversas contribuições que governo, empresa e academia apresentaram ao responderem aos questionamentos apresentados na identificação do panorama (pontos fortes e pontos fracos do país), no início da cadeia produtiva (produção de silício grau solar no Brasil), no topo da cadeia (incentivos ao mercado) e nas propostas de políticas públicas, foi realizado, também em Brasília, o Simpósio "Recomendações estratégicas em energia solar fotovoltaica, silício e semicondutores orgânicos", em Setembro de 2009, onde todas as propostas foram apresentadas aos presentes e seu conteúdo discutido.

As principais propostas de ação para políticas públicas, visando o estabelecimento do mercado de energia solar fotovoltaica e de indústrias de silício de grau solar no Brasil, são apresentadas a seguir. Os respectivos argumentos motivadores, coletados durante o Estudo Prospectivo, acompanham as propostas.

3. PROPOSTAS DE AÇÕES PARA POLÍTICAS PÚBLICAS

As recomendações apresentadas a seguir servem de subsídio à formulação e à implantação de políticas de incentivo à inovação tecnológica e à participação industrial do Brasil no mercado de silício de grau solar e de energia solar fotovoltaica. Essas propostas foram elaboradas a partir de opiniões de especialistas, considerando a importância socioeconômica do tema com horizonte até 2025.

3.1 Principais percepções identificadas pelo estudo prospectivo

Geração de empregos. O governo deve investir para estabelecer indústrias de silício e de energia solar fotovoltaica, dada a identificação de significativos potenciais para geração de milhares de empregos de alto nível no país, geração e distribuição de riqueza socioeconômica, desenvolvimento de parque industrial competitivo internacionalmente e produção de energia renovável e ambientalmente limpa, visto o elevado potencial solar existente no país.

Há indicações de que a geração de empregos global, demandada pelo desenvolvimento do mercado fotovoltaico, encontra-se entre 3,7 e 10 milhões de empregos até 2030. Estima-se que, do mercado global previsto para 2030, 8% das instalações fotovoltaicas acumuladas estejam na América Central e América do Sul. A energia fotovoltaica apresenta importante benefício referente à criação de empregos, pois muitos dos postos de trabalho estão no local da instalação do sistema (instaladores, revendedores e engenheiros), estimulando a economia local. Baseado em informações providas por indústrias, pode-se considerar que 10 empregos são criados para cada MW produzido, e 33 empregos por MW instalado (EPIA, 2008). Estudo realizado sobre o potencial brasileiro estima a geração de mais de 60 mil empregos até 2025 (EPIA, 2006).

Existência de matéria prima em solo nacional. Há sistemas solares fotovoltaicos fabricados com diversas tecnologias, entre elas: Silício monocristalino, Silício policristalino, Silício amorfo, Disseleneto de Cobre, Índio e Gálio (CIGS), Telureto de Cádmio (CdTe) e Semicondutores Orgânicos. Os módulos de silício são os mais utilizados no mundo, provavelmente permanecendo assim pelos próximos 15 anos.

Potenciais vantagens competitivas destacam o Brasil em relação aos concorrentes. Existem importantes reservas de quartzo de qualidade no país (Guzzo, 2008) e indústrias com liderança em silício de grau metalúrgico (Braga *et al.*, 2007). A tradicional forma de purificação do silício para obtenção do silício de grau eletrônico utiliza a rota química. Para o silício de grau solar, pode ser adotada a rota metalúrgica, a qual necessita de menos energia e reduz o impacto ao

meio ambiente. A conseqüente redução de custos apresentada por esta tecnologia é uma promissora vantagem (Braga *et al.*, 2007).

Produção de riqueza para o país. O silício grau metalúrgico é considerado matéria-prima ainda bruta para a produção de painéis fotovoltaicos. O grau de pureza desse material deve ser extremamente elevado para que possa ser transformado em célula solar. O processo de purificação do silício agrega imenso valor ao mineral brasileiro, podendo ser transformado tanto em silício de grau solar quanto em silício de grau eletrônico. O silício grau solar chega a valer mais de 100 vezes o preço do silício grau metalúrgico atualmente exportado pelo Brasil (Mei, 2008).

Sinergia com dispositivos eletrônicos. O silício de grau solar, dependendo de seu grau de purificação, pode ser utilizado como matéria-prima para a indústria fotovoltaica e para a produção de semicondutores (chips de computadores). A possibilidade de produção nacional de silício grau eletrônico pode estimular a instalação de fábricas de componentes e de equipamentos eletrônicos no país.

Vantagem competitiva. O processo de purificação de silício tradicionalmente utilizado no mundo denomina-se “rota química”, da qual se obtém silício de grau eletrônico. No Brasil existem pesquisas para a utilização de um processo alternativo de purificação, denominado “rota metalúrgica”, a qual produz silício de grau solar com menor gasto de energia e menor impacto ambiental. O fato de o Brasil já possuir indústrias de silício de grau metalúrgico instaladas em território nacional é uma vantagem adicional. O desenvolvimento da rota metalúrgica pode fazer com que o país figure entre os líderes mundiais de produção de silício de grau solar, possibilitando exportação para todo o mundo. A Fig. 1 mostra a situação atual da pesquisa em busca do domínio tecnológico da purificação do silício pela rota metalúrgica.



Figura 1 – Situação das pesquisas brasileiras para purificação do silício.

Possibilidade de produção de lâminas e células solares. Uma vez obtida a matéria-prima refinada, seja importada ou produzida nacionalmente, deve-se proceder a seu tratamento, para produzir lâminas (wafers), células solares e módulos fotovoltaicos. O processo de beneficiamento necessita de vários insumos, estimulando assim a geração de empregos indiretos, além do desenvolvimento de outras atividades industriais correlatas.

Possibilidade de produção de equipamentos complementares. Para que a eletricidade produzida pelo sistema fotovoltaico seja efetivamente utilizada (em locais que ainda não dispõem de energia elétrica, ou conectados às redes elétricas já existentes) são necessários equipamentos complementares, tais como acumuladores de energia para armazenamento da energia (para que possa ser utilizada durante a noite) e conversores (para disponibilizarem energia com tensão 110/220 volts).

Já existem indústrias de produtos semelhantes estabelecidas no país. O Brasil já possui, em território nacional, fábricas de acumuladores de energia e de conversores. Com o devido estímulo, esses produtos podem ser adaptados a fim de atender às exigências específicas dos sistemas solares fotovoltaicos. A Fig. 2 apresenta essa cadeia de valor e as oportunidades disponíveis para o país.

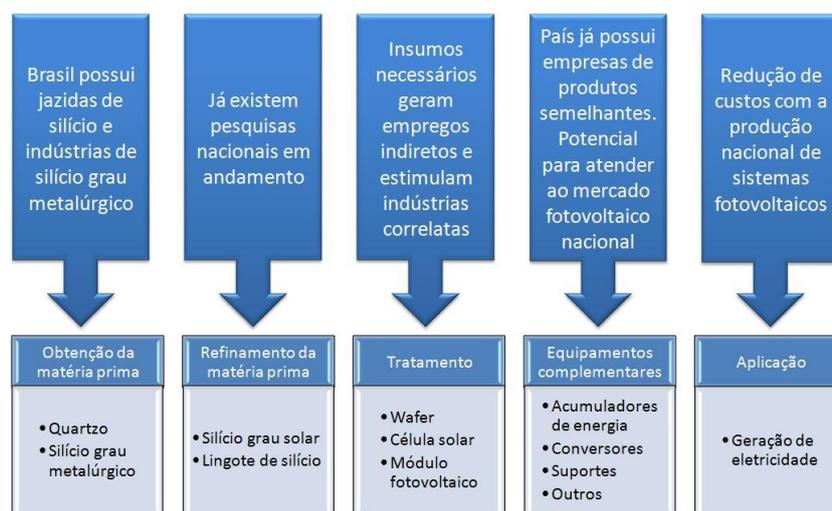


Figura 2 – Cadeia de valor da energia fotovoltaica e as oportunidades disponíveis para o país.

Geração de eletricidade. O fornecimento de energia elétrica à população é um dever do Estado, considerado como um serviço público essencial. A produção nacional de sistemas solares fotovoltaicos propicia uma redução de custo, facilitando sua disseminação, inclusive em locais ainda não atendidos por eletricidade.

A utilização dos sistemas solares conectados à rede elétrica, através de uma política de incentivo, possibilita gerar escala para a produção e, conseqüentemente, redução de custos. Existem expectativas de que, em aproximadamente 10 anos, o preço da energia fotovoltaica será igual ou inferior a tarifa aplicada ao consumidor de energia elétrica. Ao adotar as recomendações deste estudo, neste momento, o país já terá no médio/longo prazo um parque industrial estabelecido para oferecer essa energia para a população em geral.

3.2 Macro proposta

Para se ter no Brasil um mercado fotovoltaico sustentável e de larga escala, é preciso instituir programa de incentivo ao estabelecimento de fábricas de equipamentos. Caso contrário, o país se tornará um grande importador de insumos da indústria internacional. Esse programa será ordens-de-grandeza mais rentável se incluir cláusulas de criação de empregos e de desenvolvimento tecnológico doméstico.

As principais propostas, detalhadas a seguir, visam sustentabilidade e competitividade de um setor fotovoltaico brasileiro. Elas podem ser agregadas nas seguintes linhas centrais, complementares entre si:

- 1ª: Incentivo à pesquisa e à inovação tecnológica;
- 2ª: Criação de mercado consumidor;
- 3ª: Estabelecimento de indústrias de células solares e de módulos fotovoltaicos; e
- 4ª: Estabelecimento de indústrias de silício grau solar e eletrônico.

Essa macro proposta consiste em começar utilizando as experiências de sucesso de outros países, enquanto são realizadas pesquisas e definidas estratégias próprias para promover a inovação tecnológica e a sustentabilidade socioeconômica do empreendimento solar fotovoltaico no Brasil.

As Políticas Públicas a serem formuladas, baseadas nas recomendações do Estudo Prospectivo em Energia Fotovoltaica, terão melhor eficácia se elaboradas e implementadas em cooperação entre Governo Federal, Governos dos Estados e, onde aplicável, Governos Municipais interessados ou envolvidos.

3.3 Proposta Central Nº 1: Incentivo à pesquisa e à inovação tecnológica

Considerando que:

- Instituições de P&D nacionais, tais como CB-Solar, LAB-Solar, Cetec, Cetem, IME, Inmetro, CTI, INPI, IEE-USP e outras podem dar contribuições significativas à cadeia produtiva de energia fotovoltaica, pois essas articulam potenciais e competências em: prospecção, caracterização e descontaminação de quartzo para produção de silício metalúrgico, grau solar e grau eletrônico; desenvolvimento de planta pré-industrial de células e módulos; desenvolvimento de coletores solares e análise do desempenho de instalações autônomas ou interligadas à rede elétrica; capacidade certificadora em módulos, inversores e acumuladores de energia; levantamento de competências na tecnologia de módulos fotovoltaicos para auxiliar roadmaps; competência para integração de sistemas fotovoltaicos, relacionado a edificações e ao design; e, estudos avançados para desenvolvimento de novas tecnologias em filmes finos;
- É preciso buscar a redução dos custos de produção dentro da cadeia produtiva, de modo a aumentar a competitividade em energia solar fotovoltaica;

- Há necessidade de modernizar os laboratórios de pesquisa;
- É preciso promover intercâmbio com centros de referência, para troca de experiências, normatizações, medições e suporte;
- É preciso localizar e estudar o quartzo oriundo de áreas de alto grau de metamorfismo;
- O mercado, sendo altamente inovador e globalizado, requer desenvolvimento de recursos humanos para inovação e formação de mão-de-obra de grau técnico, para instalar, operar e manter os sistemas fotovoltaicos;
- Há escassez de engenheiros, químicos, outros, e de uma série de especialidades necessárias ao empreendimento fotovoltaico;
- Apesar de algumas empresas de silício de grau solar já estarem estabelecidas no país, o que demonstra a viabilidade do processo, pesquisas adicionais devem ser feitas na rota metalúrgica, visto se tratar de uma tecnologia emergente e que ainda não possui pleno domínio tecnológico. Existem importantes competências em P&D no país para desenvolver, em parceria com empresas nacionais, estratégias que venham a ser construídas. As atividades laboratoriais nas universidades e centros de pesquisas encontram-se atualmente ou em nível de pesquisa aplicada ou em aplicação prática seletiva. Já a mão-de-obra especializada neste setor necessita ser estabelecida;
- O setor fotovoltaico propiciará a geração de milhares de empregos em nível médio e superior;
- Há necessidade de laboratório de pesquisa, talvez vinculado a um parque tecnológico nacional, vocacionado para a solução dos desafios tecnológicos específicos do tema para suportar a indústria;
- A tecnologia fotovoltaica baseada em silício é semelhante à da microeletrônica; e
- Já existe o Programa Nacional de Microeletrônica (PNM).

A partir dessas considerações, extraídas dos documentos deste Estudo, o CGEE, após ampla participação de especialistas, recomenda:

Proposta 1.1: Financiar programa de PD&I que possibilite ganhos de competitividade. As seguintes áreas de atuação são indicadas:

- Estudos da matéria-prima (quartzo);
- Desenvolvimento de rotas alternativas para a produção de silício grau solar e grau eletrônico, além de lâminas de silício;
- Desenvolvimento de processos de fabricação de células solares e módulos fotovoltaicos de menor custo e/ou maior eficiência;
- Desenvolvimento da cadeia produtiva: insumos para produção de módulos fotovoltaicos com células de silício; alternativas para pastas serigráficas, POCl₃ (oxicloreto de fósforo), vidros, EVA (acetato de vinila), filme posterior, alumínio e selo de bordas;
- Desenvolvimento de equipamentos de produção de células e módulos fotovoltaicos, propiciando maior eficiência de produção e manutenção;
- Desenvolvimento de pesquisas que explorem interesses comuns entre energia fotovoltaica e microeletrônica, incluindo: conhecimento de lacunas entre propriedades ideais e as disponíveis (eficiência máxima e eficiência obtida); processos produtivos de filmes e superfícies; projeto e preparo de dispositivos; modelos físicos; ensaios e medidas;
- Desenvolvimento e inovação tecnológica de conversores CC/CA (corrente contínua / corrente alternada) para sistemas conectados à rede, conversores CC/CA bidirecionais para sistemas isolados e condicionamento de potência para sistemas fotovoltaicos de bombeamento;
- Estudos sobre tecnologias alternativas ao silício para fabricação de células fotovoltaicas, tais como filmes finos e semicondutores orgânicos;
- Desenvolvimento de pesquisas que visem nichos de mercado, tais como sistemas fotovoltaicos integrados às edificações e programa de universalização do acesso e do uso da energia;
- Desenvolvimento de projetos e formação de recursos humanos em cooperação com a área de microeletrônica; e
- Desenvolvimento de projetos cooperativos entre empresas e instituições de ciência e tecnologia (ICT), visando agregação de valor a produtos e desenvolvimento de processos e produtos na cadeia produtiva fotovoltaica.

Proposta 1.2: Estreitar o relacionamento entre a indústria e centros de PD&I. Para tanto instituir um Centro Nacional de Pesquisa em Energia Fotovoltaica, com as seguintes características:

- Equipe de pesquisadores, técnicos e administrativos com dedicação exclusiva;
- Pesquisa própria com ênfase em mostrar viabilidade industrial do empreendimento fotovoltaico;
- Capacidade para certificação (associada ao Inmetro, por exemplo);
- Capacidade de caracterização de impurezas em grau eletrônico;
- Forte interação com indústria, universidades, institutos federais, escolas e sociedade; e
- Metas definidas em conjunto com especialistas da área, visando atender às necessidades brasileiras.

Um dos objetivos desse Centro deve ser o desenvolvimento de mecanismos que promovam a inovação na cadeia produtiva fotovoltaica, em especial com projetos cooperativos entre ICT e empresas.

Proposta 1.3: Coordenar atividades de PD&I através de uma rede de informações. Características da rede de informações:

- Coordenar a pesquisa entre universidades, institutos federais e bases industriais de P&D&I, para maior sinergismo; e
- Possibilitar forte colaboração entre centros de purificação e centro de fabricação de células solares, visto que um processo realimenta o outro.

Esta proposta pode ser coordenada pelo Centro Nacional de Pesquisa em Energia Solar Fotovoltaica, aqui apontado.

Proposta 1.4: Modernizar laboratórios e estabelecer processos-piloto. As seguintes ações são recomendadas:

- Criar laboratório de caracterização de impurezas do quartzo e do silício em nível eletrônico;
- Estabelecer processos-piloto de redução de minérios de silício e de refino de silício, com forte apoio da engenharia metalúrgica, de minas e geologia, que potencializem a vocação mineiro-metalúrgica do Brasil;
- Estabelecer processos-piloto de fabricação de lâminas de silício grau solar a partir de silício grau metalúrgico, e de células solares à base de silício, com versatilidade para se explorar tecnologias vigentes relevantes até médio prazo (10 anos), com recursos que permitam PD&I nas diversas etapas do processo; e
- Desenvolver projetos para fortalecer e ampliar a capacidade de ensaios e medidas, o conhecimento da física de dispositivos, bem como o estudo e desenvolvimento de novas tecnologias de células solares fotovoltaicas.

Proposta 1.5: Formar recursos humanos qualificados. As seguintes ações são recomendadas:

- Formar profissionais para atuarem nas etapas de projeto, instalação, operação e acompanhamento do desempenho de sistemas fotovoltaicos;
- Formar profissionais de pesquisa (especialização, mestrado, doutorado) e de operação (instalação, engenharia, arquitetura, etc.);
- Capacitar projetistas e instaladores;
- Qualificar pessoal, para formação de massa crítica e para demonstrar a viabilidade técnica da geração fotovoltaica integrada a edificações urbanas;
- Promover a formação e capacitação de profissionais para projetar edificações verdes;
- Incluir disciplinas sobre energias renováveis, com ênfase em energia fotovoltaica e nas tecnologias relacionadas, nos cursos de graduação em engenharia elétrica, eletrônica e mecatrônica, além dos cursos tecnólogos na área de sistemas elétricos;
- Incluir disciplinas sobre energia fotovoltaica, tecnologias de módulos, conversores e instalações de sistemas fotovoltaicos, nos cursos técnicos de eletrotécnica e de eletrônica;
- Oferecer, por meio de parcerias com prefeituras e com o Ministério do Trabalho (FAT - Fundo de Amparo ao Trabalhador), cursos de treinamento para profissionais já formados, com conteúdo igual aos especificados nos dois itens anteriores; e
- Estabelecer centros de treinamento em parceria com universidades e institutos federais que pesquisem o assunto, visando a formação de profissionais e instrutores para atuarem em cursos de treinamento.

Proposta 1.6: Estabelecer cooperação internacional. As seguintes ações são recomendadas:

- Promover acordos de cooperação com centros de excelência de classe mundial, com o objetivo de capacitar recursos humanos, possibilitar troca de informações, promover a execução de projetos cooperados e realizar transferência de tecnologias; e
- Promover acordo de cooperação com países desenvolvidos em tecnologias fotovoltaicas visando formação e capacitação de recursos humanos.

3.4 Proposta Central Nº 2: Criação de mercado consumidor

Considerando que:

- O potencial de insolação territorial brasileiro é elevado, se comparado aos países que atualmente lideram a produção fotovoltaica;
- A energia fotovoltaica apresenta importante benefício referente à criação de empregos. Muitos dos postos de trabalho estão no local da instalação do sistema (instaladores, revendedores e engenheiros), estimulando a economia local;
- Há importante mercado de equipamentos para o Brasil em se tratando de desenvolvimentos para sistemas autônomos e conectados à rede;
- As empresas investidoras em sistemas fotovoltaicos, que trabalham com sistemas conectados à rede, esbarram na regulamentação adequada que o Brasil ainda não tem;
- Foi estabelecido o Grupo de Trabalho de Geração Distribuída com Sistemas Fotovoltaicos (GT-GDSF) do Ministério de Minas e Energia (MME) para elaborar estudos, propor condições e sugerir critérios destinados a subsidiar definições competentes acerca de uma proposta de política de utilização de geração fotovoltaica

conectada à rede, em particular em edificações urbanas, como um fator de otimização de gestão da demanda de energia e de promoção ambiental no país, em curto, médio e longo prazo;

- Sistemas integrados à edificação urbana não ocupam espaço exclusivo;
- O fato de o Brasil ter forte base hidrelétrica apresenta a vantagem de absorver mais facilmente fontes intermitentes, tal como a solar. A combinação dessas fontes promove maior estabilidade da rede elétrica;
- A existência de um mercado consumidor proporciona o desenvolvimento tecnológico;
- A energia fotovoltaica tem grande potencial de redução de custos, promovendo a modicidade tarifária no futuro;
- A energia fotovoltaica pode promover o desenvolvimento e incrementar a qualidade de vida de populações que vivem em regiões de difícil acesso para a rede elétrica convencional; e
- O mercado de carros elétricos pode ser impulsionado se a energia solar fotovoltaica estiver abundantemente disponível.

A partir dessas considerações, extraídas dos documentos deste Estudo, o CGEE, após ampla participação de especialistas, recomenda:

Proposta 2.1: Regulamentar a conexão de sistemas fotovoltaicos à rede elétrica. As seguintes ações são recomendadas:

- Definir aspectos regulatórios, tais como ponto de conexão na rede, medição, segurança energética e tarifação; e
- Remover entraves legais para que produtores independentes possam vender energia solar às concessionárias, utilizando tarifas-prêmio.

Proposta 2.2: Divulgar a energia solar fotovoltaica para a sociedade. As seguintes ações são recomendadas:

- Realizar investimento em projetos piloto e projetos vitrine (tais como estádios solares e aeroportos solares, bancos, correios, etc), proporcionando amadurecimento e domínio tecnológico. A possibilidade de iluminar os estádios da Copa do Mundo de 2014 utilizando energia fotovoltaica é uma oportunidade que promoverá grande visibilidade à população;
- Fomentar debates para discussão da importância da geração fotovoltaica no planejamento da universalização do acesso à energia elétrica;
- Divulgar as estimativas de redução de custos e os benefícios associados;
- Disseminar o uso da tecnologia fotovoltaica junto aos empreiteiros, arquitetos, engenheiros e órgãos de governo;
- Fornecer informações para maior esclarecimento da classe política, justificando investimentos para a tecnologia brasileira fotovoltaica; e
- Lançar uma campanha de divulgação e marketing, para ganhar o suporte da opinião pública, podendo criar um portal na internet para oferta de cursos online e divulgação de informação para instaladores, prestadores de serviços, fabricantes, agentes financiadores e potenciais usuários, além de espaço para ofertas de produtos e serviços, divulgação de trabalhos técnicos, eventos, etc. Este portal poderia ser administrado pelas federações de indústrias, Senai e Sebrae, por exemplo.

Proposta 2.3: Incentivar a geração fotovoltaica distribuída conectada à rede elétrica. As seguintes ações são recomendadas:

- Adotar o método de maior estímulo no mundo a edificações com os sistemas fotovoltaicos: a tarifa-prêmio;
- Incentivar os produtores independentes a venderem energia solar às concessionárias, utilizando tarifa-prêmio;
- Estender, oportunamente, a geração fotovoltaica às unidades residencial, comercial, industrial e prédios públicos;
- Estabelecer que áreas com grandes superfícies disponíveis (tais como condomínios e estádios) possam ter redução de impostos (IPTU, por exemplo) ao utilizem sistemas fotovoltaicos conectados à rede; e que aeroportos possam cobrar uma “taxa carbono” devido às emissões provocadas pelas aeronaves, como formas de subsídio à geração fotovoltaica;
- Criar regulamentação municipal, estadual ou nacional, para que edificações com determinado porte tenham metas de utilização de energia verde. Pode-se criar um selo de qualificação, agregando valor às edificações. Os certificados verdes poderiam ser negociados, com compra garantida pelo governo;
- Elaborar plano de certificação de construtoras e empresas de instalações e adaptações, para ficarem aptas a transformar edificações já existentes em edificações verdes;
- Determinar uma meta de percentual de participação na matriz elétrica nacional, que possa servir de atração para novas indústrias, visando fomentar a produção nacional de equipamentos;
- Incentivar a geração distribuída fotovoltaica em prédios comerciais ou públicos, pois a curva de carga e de geração fotovoltaica são coincidentes;
- Instituir um programa de incentivo para fomentar o acúmulo de experiências e o desenvolvimento em escala, reduzindo preços e alcançando a paridade tarifária e, posteriormente, a modicidade tarifária;
- Investir no curto prazo em energia fotovoltaica para permitir o preparo do parque industrial para atender à sociedade quando a paridade tarifária for alcançada;
- Estabelecer um fundo financiador de novos projetos para o setor fotovoltaico;

- Incentivar a utilização de geração distribuída fotovoltaica com armazenamento de energia visando à redução da demanda em horários de pico de consumo de prédios residenciais, comerciais ou públicos, reduzindo a utilização de sistemas motorizados a óleo diesel; e
- Associar a geração fotovoltaica distribuída às pesquisas sobre Redes Eficientes (Smart Grids).

Proposta 2.4: Incentivar a geração fotovoltaica em larga escala para cargas específicas com demanda estável.

As seguintes cargas são recomendadas:

- Sistemas elétricos que podem utilizar a energia fotovoltaica: irrigação, organizações militares, prédios públicos, hospitais, escolas, aeroportos, edificações comerciais urbanas, sistemas para telecomunicações, telemetria, sinalização náutica (faróis e bóias);
- Outras aplicações para sistemas fotovoltaicos: utilização em lugares remotos, proteção catódica, telefones nas estradas, iluminação pública, luminárias de jardins, conservação de vacinas em regiões remotas, transmissão de sinais de comunicação e cercas eletrificadas; e
- Aplicação em veleiros, que estão expostos ao sol e longe das tomadas elétricas; semáforos, dispositivos fotovoltaicos em roupas, acumulando energia para pequenos equipamentos (relógios, telefones, iluminação, mapas, GPS, etc.); barracas para acampamento; itens de lazer em geral; ferramentas elétricas e fontes primárias portáteis de iluminação. Sensores e atuadores utilizados em campo aberto para agricultura de precisão.

Proposta 2.5: Fomentar a implantação de minirredes. As seguintes recomendações são propostas:

- Atender pequenas localidades a partir de minidistribuidoras e minigeradoras, utilizando sistemas híbridos (solar/biomassa/eólico/back-up fóssil);
- Promover projetos especiais de minirredes no contexto do Programa “Luz para Todos”; e
- Implantar um sistema de subsídios específico para a energia gerada, ou seja, a substituição da “Conta de Consumo de Combustíveis Fósseis – CCC” pela “Conta de Geração de Energia – CGE” para sistemas isolados, em que o subsídio seja pago pela quantidade de energia (kWh) gerada, independente do tipo de fonte utilizada.

Proposta 2.6: Estimular a criação de empresas de serviços de instalação e manutenção. As seguintes ações são recomendadas:

- Estimular a criação de empresas prestadoras de serviços de instalação e manutenção; e
- Criar um selo de qualidade para os serviços de instalação e manutenção, visando garantir qualidade mínima dos serviços técnicos de projeto e instalação.

3.5 Proposta Central Nº 3: Estabelecimento de indústrias de células e módulos fotovoltaicos

Considerando que:

- Existem interesses de grupos industriais no Brasil, atuantes em comercialização do silício grau-solar, comercialização de lâminas (wafers), comercialização de sistemas fotovoltaicos completos e em usina geradora de energia fotovoltaica;
- O país já possui tecnologia para fabricação de células solares e módulos fotovoltaicos, com planta piloto operando na PUC-RS;
- O estabelecimento dessas indústrias foi o caminho seguido por países que se inseriram no mercado mundial nos últimos anos, tendo como exemplo a China, onde a empresa Suntech tornou-se a terceira maior produtora mundial;
- Países como Índia e México possuem fábricas de células solares e/ou módulos fotovoltaicos;
- As maiores empresas de células/módulos não produzem lâminas;
- Recursos humanos qualificados para produção estão sendo formados na planta piloto na PUC-RS;
- Existe cadeia de fornecedores montada na PUC-RS, com a possibilidade de estabelecer contratos de fornecimento de lâminas de silício em curto prazo;
- A indústria fotovoltaica e sua cadeia de fornecedores promovem a geração de empregos de nível médio e superior;
- Com a criação do mercado, haverá demanda interna para os módulos fotovoltaicos; e
- Existe possibilidade de exportação de células solares, com mercado internacional em crescimento acelerado.

A partir dessas considerações, extraídas dos documentos do Estudo, o CGEE, após ampla participação de especialistas, recomenda:

Proposta 3.1: Inserir o tema Energias Renováveis na PDP. A seguinte ação é recomendada:

- Inserir o tema “Energias Renováveis” na Política de Desenvolvimento Produtivo (PDP) a fim de criar um ambiente de governança político-institucional para o fomento nacional a inovações tecnológicas para a cadeia fotovoltaica e desenvolvimentos industriais mediante planos e programas de ação.

Proposta 3.2: Estimular o estabelecimento de indústrias de células e módulos fotovoltaicos. As seguintes ações são recomendadas:

- Garantir um índice de nacionalização, criando movimentação econômica no país a partir do estabelecimento de novas empresas, gerando empregos e riqueza;
- Utilizar o poder de compra do Estado. Com o mercado consumidor já estabelecido, a escala de produção provocará diminuição de custos e viabilização de investimentos privados na cadeia produtiva;
- Utilizar os benefícios já existentes da Lei de Informática e da Lei da Inovação. Com mercado interno regido por políticas de Estado, e facilidades, mais estímulos à exportação, haverá atração de investimentos estrangeiros e nacionais na geração da energia fotovoltaica e na implantação de uma cadeia produtiva do setor; e
- Criar um programa com empresas nacionais para fornecimento de sistemas fotovoltaicos padronizados para sistemas isolados, reduzindo impostos (IPI, PIS e Cofins, por exemplo) e juros de financiamento. O incentivo à produção de tecnologia nacional e a iniciativa de projetos privados e governamentais promoverá a redução de custos e a proliferação dessa fonte energética.

Proposta 3.3: Estimular o estabelecimento de indústrias de equipamentos para sistemas fotovoltaicos. As seguintes ações são recomendadas:

- Incentivar à produção industrial de equipamentos para sistemas fotovoltaicos, nos quais o país tem capacitação para produção e pode competir no mercado internacional;
- Incentivar a produção de acumuladores de energia específicos para aplicações em sistemas fotovoltaicos;
- Incentivar a produção de inversores CC/CA bidirecionais para sistemas fotovoltaicos isolados;
- Incentivar a produção de inversores CC/CA para sistemas conectados à rede; e
- Utilizar o poder de compra do Estado (a exemplo da proposta 3.2). Com o mercado consumidor já estabelecido, a escala de produção provocará diminuição de custos e viabilização de investimentos privados na cadeia produtiva.

3.6 Proposta Central Nº 4: Estabelecimento de indústrias de silício grau solar e grau eletrônico

Considerando que:

- O Brasil possui uma das maiores reservas de quartzo para produção de silício grau solar e grau eletrônico;
- Existem interesses de grupos industriais no Brasil atuantes em: comercialização do silício grau solar, comercialização de lâminas (wafers), comercialização de sistemas fotovoltaicos completos e usina geradora de energia fotovoltaica;
- O mercado internacional de silício grau solar vem crescendo em ritmo acelerado, e a previsão é que continue com aumentos de demanda de aproximadamente 40% ao ano. Cerca de 90% dos painéis fotovoltaicos produzidos utilizam silício; a expectativa de intensificação do uso desses sistemas solares no mundo demandará uma quantidade de silício diversas vezes superior à atual produção. Tecnologias de filmes finos reduzirão, em médio prazo, a participação do silício como matéria-prima para painéis fotovoltaicos, porém o silício continuará com porção expressiva do mercado. Existe espaço para a entrada de novos fabricantes, assim como oportunidades para que os atuais produtores aumentem sua capacidade. Porém, muitas empresas pelo mundo estão se preparando para adentrar neste mercado, o que implica um considerável aumento da atual oferta (concorrência) de silício grau solar;
- Potenciais vantagens competitivas destacam o Brasil em relação aos concorrentes. Existem importantes reservas de quartzo de qualidade no país e indústrias com liderança em silício de grau metalúrgico. A tradicional forma de purificação do silício para obtenção do silício de grau eletrônico utiliza a rota química. Para o silício de grau solar, pode ser adotada a rota metalúrgica, a qual necessita de menos energia e reduz a agressão ao meio ambiente. A consequente redução de custos apresentada por esta tecnologia é uma promissora vantagem;
- A necessidade de pesquisas na rota metalúrgica dificulta a entrada do país neste mercado a curto prazo. A rota química convencional apresenta disponibilidade tecnológica imediata, além de possibilitar o desenvolvimento da indústria de microeletrônica no Brasil. As duas tecnologias podem atuar em conjunto, com produção de silício grau solar e eletrônico pela rota química e pesquisas paralelas na rota metalúrgica, visando garantir domínio tecnológico futuro e competitividade frente aos concorrentes;
- Elevado valor agregado também está presente na purificação do silício, pois o grau solar chega a valer mais de cem vezes o preço do silício grau metalúrgico atualmente exportado pelo Brasil;
- O Brasil possui um parque industrial estabelecido e competitivo internacionalmente para a produção de silício metalúrgico; e
- Esse foi o caminho seguido por outros países, tais como China e Coreia do Sul: primeiro, fábricas de células solares e módulos fotovoltaicos e, em seguida, a produção de silício grau solar.

A partir dessas considerações, extraídas dos documentos do Estudo, o CGEE, após ampla participação de especialistas, recomenda:

Proposta 4.1: Estimular o estabelecimento de indústrias de silício grau solar e eletrônico. As seguintes ações são recomendadas:

- Disponibilizar suporte econômico e financiamento vantajoso, visando atrair indústrias atualmente produtoras de silício metalúrgico. Empresas de crescimento de lingote mono e multicristalinos podem se estabelecer para fornecimento de lâminas de silício para indústria de células solares; e
- Utilizar os benefícios já existentes do Programa de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Indústria de Semicondutores (Padis). Com indústrias de células e módulos fotovoltaicos estabelecidas, a produção nacional de silício deverá ter mercado garantido.

4. CONCLUSÕES

O presente artigo apresentou os principais resultados do Estudo Prospectivo em Energia Fotovoltaica realizada pelo CGEE entre 2008 e 2009. Em consulta com centenas de especialistas dos âmbitos de governo, academia e empresas, foi possível concluir que o governo deve investir para estabelecer indústrias de silício e de energia solar fotovoltaica, dada a identificação de significativos potenciais para geração de milhares de empregos de alto nível no país, geração e distribuição de riqueza socioeconômica, desenvolvimento de parque industrial competitivo internacionalmente e produção de energia renovável e ambientalmente limpa, visto o elevado potencial solar existente no país. Para que toda a cadeia produtiva do setor fotovoltaico seja estabelecida no país, são necessárias políticas públicas abrangendo os seguintes pontos: incentivo à pesquisa e à inovação tecnológica, criação de mercado consumidor, estabelecimento de indústrias de células solares e de módulos fotovoltaicos e estabelecimento de indústrias de silício grau solar e eletrônico.

Agradecimentos

O Estudo Prospectivo em Energia Fotovoltaica foi construído a partir de contribuições diretas de especialistas que participaram de uma ou de várias fases do estudo, os quais o CGEE agradece e cumprimenta cordialmente: Adão Benvindo da Luz (Cetem), Ado Jório (INMETRO), Adriano Moehlecke (PUCRS/CB-Solar), Alvaro Galvani (MRE), Angela Vogel (Konergy), Antônia Sônia A. Cardoso Diniz (Cemig), Antonio Granadeiro (Kyocera), Arthur José G. da Silva (Petrobras), Ary Vaz Pinto Junior (Cresesb), Cássio Marx R. da Costa (ABDI), Claudia Valle (MPX), Cristiano Krug (UFRGS), Davies William L. Monteiro (UFMG), Demétrio Bastos Neto (VSE), Eduardo Soriano (MCT/Setec), Eduardo Vieira (Petrobras), Evando Mirra de Paula e Silva (ABDI), Fernando Cunha (ABEER), Francisco C. Marques (Unicamp/IFI), Francisco Galvão (Especialista), Gustavo Oliveira dos Anjos (MMA), Henrique O. Miguel (MCT/Sepein), Homero M. Schneider (CTI), Isabel Salamoni (UFSC), Izete Zanasco (PUCRS/CB-Solar), Jairo Coura (MCT/Setec), Jarbas Bezerra Xavier (MME), João Alves Sampaio (Cetem), João Batista Ferreira Neto (IPT), João Tavares Pinho (UFPA e ISES-BR), José Geraldo Abrão (Petrobras), José Gustavo S. Gontijo (MCT/Setec), José Roberto Tavares Branco (Cetec), Laercio de Sequeira (Finep), Leila Rosa de Oliveira Cruz (IME), Luciana Nunes (CNI), Luis Filipe Barbosa (VSE), Marcelo Goldstein (BNDES), Marcelo Khaled Poppe (CGEE), Marco Antonio Galdino (Cepel), Marco Cremona (Inmetro), Marcos Torrizela (Heliodinâmica), Marina Rodrigues de Aguiar (Unicamp), Mauro Passos (Instituto Ideal), Nelson Veissid (INPE), Olga Moraes Toledo (CEFET/MG), Oscar Corbella (UFRJ/FAU/Prourb), Patrícia de Castro da Silva (Creseb), Paulo Leonelli (MME), Paulo Malamud (MDIC), Paulo Roberto Mei (Unicamp), Régis Assao (VSE), Ricardo C. Mascarenhas (Petrobras), Ricardo Marques Dutra (Cresesb), Ricardo Rütther (UFSC/Instituto Ideal), Roberto Ferreira Santos (Inpi), Roberto Zilles (USP/IEE), Rodolfo Gomes (IEI-LA), Rodrigo Guido Araújo (Petrobras), Sérgio M. Matsumoto (VSE), Sérgio B. Silva (IFTO), Thomas Lehmann (Manferrostaal), Trajano Viana (UFSC) e Wagner Anacleto Pinheiro (IME).

REFERÊNCIAS

- Braga, A.F.B, Moreira, S.P., Zampieri, P.R., Bacchin, J.M.G., Mei, P.R., 2007. New processes for the production of solar-grade polycrystalline silicon: A review. In: Solar Energy Materials and Solar Cells, doi:10.1016/j.solmat.2007.10.003
- Centro de Gestão e Estudos Estratégicos – CGEE, 2008. Potencial produtivo brasileiro e macro dimensões estratégicas em energia fotovoltaica — Uma primeira abordagem do Estudo. Relatório de Abertura do Estudo, Brasília.
- _____, 2009a. Produção de silício grau solar no Brasil. Nota Técnica, Brasília.
- _____, 2009b. Incentivo ao mercado de energia fotovoltaica no Brasil. Nota Técnica, Brasília.
- _____, 2009c. Energia Solar Fotovoltaica no Brasil: Documento propositivo de ações para políticas públicas, Brasília.
- European Photovoltaic Industry Association / Greenpeace International, 2006. Solar Generation - Solar electricity for over one billion people and two million jobs by 2020. Disponível em <http://www.greenpeace.org>
- _____, 2008. Solar Generation V – 2008 - Solar electricity for over one billion people and two million jobs by 2020. Disponível em <http://www.epia.org>

- Guzzo, P. L., 2008. Quartzo Natural: Propriedades, Aplicações e Impurezas. Trabalho apresentado no Workshop “Cadeia Produtiva do Silício Solar: a Importância da Matéria Prima”, CETEM-MCT, Rio de Janeiro.
- Mei, P. R., 2008. Silício: Graus de pureza e aplicações. Trabalho apresentado no Workshop “Cadeia Produtiva do Silício Solar: a Importância da Matéria Prima”, CETEM-MCT, Rio de Janeiro.

PROSPECTIVE STUDY INTO PHOTOVOLTAICS: A SUMMARY FOR PUBLIC POLICIES

Abstract. *The Prospective Study on Photovoltaics, performed by Centro de Gestão e Estudos Estratégicos between 2008 and 2009, aimed at building a set of recommendations on public policies to develop the Brazilian photovoltaic industry. The study was divided into three different phases: (i) panorama (where the strengths and weaknesses of the country and the world were identified); (ii) perspectives (where the country capability for producing solar grade silicon and for developing its internal market were identified); and (iii) proposals. In this last phase, proposals for public policies were presented, grouped in four main topics: (a) incentives for research and technological innovation, (b) establishing of photovoltaic internal market, (c) establishing of solar cells and photovoltaic modules industries, and (d) establishing of solar grade and electronic grade silicon industries. The main conclusion of this study is that the Brazilian Government should make efforts to establish silicon and solar energy industries in the country, because of their significant potential for generating thousands of high-level jobs, producing and distributing wealth, developing internationally competitive industries and producing renewable energy using the country's high solar potential.*

Key words: Photovoltaic market support, photovoltaic solar energy, prospective study, public policy, solar grade silicon