

A UTILIZAÇÃO DO SILÍCIO NACIONAL PARA A FABRICAÇÃO DE PLACAS SOLARES: UMA REFLEXÃO DAS DIFICULDADES TECNOLÓGICA E FINANCEIRA

Felipe Souza Davies – felipesouzadavies@hotmail.com

Universidade Federal da Integração Latino Americana, Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território

Gustavo Luiz Frisso – gustavoluizfrisso@hotmail.com

Universidade Federal da Integração Latino-americana, Instituto Latino-Americano de Economia, Sociedade e Política.

Matheus Vinicius Brandão – matheusm.tnt@hotmail.com

Universidade Federal da Integração Latino Americana, Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território

Resumo. *O presente artigo aborda a energia solar, especificadamente a fotovoltaica, de uma perspectiva nacional, visando considerar os desafios que a indústria do país encontra para dominar a tecnologia das placas solares, já que o uso desta fonte aumenta notoriamente no Brasil em muito devido à grande incidência de radiação solar presente no país, possibilitando um potencial para permitir a diminuição de milhões de toneladas de CO₂ emitidas por outras fontes não renováveis. O subdesenvolvimento do Brasil no setor industrial eletrônico é uma das barreiras para a indústria fotovoltaica em função dos processos de purificação e transformação do silício. Aos exemplos de desenvolvimento na área estão China e Alemanha que, graças ao alto nível de desenvolvimento tecnológico que possuem, são responsáveis por grande parte da energia solar fotovoltaica convertida em elétrica no mundo, conseguindo fazer a cadeia de manufatura fotovoltaica inteira desde a extração do silício, até o fim na montagem das placas. O Brasil devido ao seu desenvolvimento industrial, consegue fazer apenas os extremos dessa cadeia de manufatura, sendo a coleta da matéria prima, transformação em silício metalúrgico e a montagem das placas fotovoltaicas, ocasionando um “oco” no centro da cadeia que obriga o país a importar a tecnologia fotovoltaica, como as células solares, para a montagem e instalação dos sistemas fotovoltaicos, afetando a implantação em maior escala da energia solar fotovoltaica. Ainda que como um complemento das fontes principais no Brasil, essa fonte poderia reduzir custos e impactos ambientais com linhas de transmissão, além de levar energia a locais que não a recebem pela distância em que se encontram de uma central de distribuição.*

Palavras-chave: *Fotovoltaica, Silício, Indústria.*

1. INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da civilização, o uso dos recursos energéticos são a força motriz da sobrevivência da raça humana, passando pela era da madeira, do carvão e chegando até este milênio na era do petróleo, onde em suas respectivas épocas, cada um destes recursos fora, e ainda são, de extrema importância para o cenário político e econômico das nações. É notório que o petróleo tornou-se um dos principais recursos energéticos disputados pelas grandes potências do mundo contemporâneo, principalmente por possuir um alto potencial energético e pelo fato de que, com as tecnologias atuais, é possível aproveitar a maior parte deste. Contudo, uma vez que esta fonte gera um imenso impacto ambiental degradando consecutivamente o planeta Terra, além disso é notório que o petróleo sozinho não é capaz de suprir a demanda energética à nível mundial, surge, então, a necessidade de geração de energia com o mínimo de impacto ambiental possível, com maior grau de diversificação (GRIPPI, 2009). Dentre as alternativas para que isso ocorra, a energia solar apresenta-se como uma excelente opção para abrandar o estrago causado pelas emissões de gases e compostos poluentes oriundos do uso maciço de combustíveis fósseis, além de ser um recurso renovável e disponível na maior parte do ano, permite dessa forma promover certa diversificação na matriz energética mundial.

O Sol emite uma energia de magnitudes imensuráveis na forma de radiação solar, onde anualmente é fornecido à Terra cerca de $1,5 \cdot 10^{18}$ KWh (CRESESB, 2006). Os efeitos das reações de fusão nuclear do hidrogênio que ocorrem sucessivamente no Sol fazem com que uma enorme energia seja irradiada por este, expandindo-se até o sistema Terra Atmosfera que está dentro da faixa espectrométrica dessa irradiação. O total de energia que chega ao planeta compare-se à energia de 10 bilhões da potência instalada da usina de ITAIPU, onde esta opera a uma capacidade de 14.000 MW (DIEGUEZ, 2016). Desta energia, 80%, aproximadamente, está na faixa do visível e/ou infravermelho, sendo responsável pelo mantimento dos processos naturais e artificiais que ocorrem internamente no planeta. se à energia de 10 bilhões da potência instalada da usina de ITAIPU, onde esta opera a uma capacidade de 14.000 MW (DIEGUEZ, 2016). Desta energia, 80%, aproximadamente, está na faixa do visível e/ou infravermelho, sendo responsável pelo mantimento dos processos naturais e artificiais que ocorrem internamente no planeta.

Uma alternativa para aproveitar essa imensa energia é a conversão desta em energia elétrica através das placas fotovoltaicas. Essa antiga tecnologia é utilizada mundialmente em larga escala, sobretudo em países como China, Alemanha e Japão que figuram entre os três países que mais participam do mercado mundial de energia fotovoltaica

(EPIA, 2016). O alto desenvolvimento destes países, sobretudo na indústria eletrônica, lhes possibilitou um incrível salto na utilização da energia solar fotovoltaica intrinsecamente relacionado com o domínio dos processos que envolvem a transformação do silício, material predominante na composição da maioria das placas fotovoltaicas.

O fato de ser o silício o material mais utilizado na fabricação de placas fotovoltaicas proporciona mais um ponto em favor da utilização em larga escala da energia solar fotovoltaica, visto que esse é um dos materiais mais abundantes no planeta. Essa disponibilidade material só não é ainda mais benéfica porque o silício utilizado indústria tanto eletrônica quanto fotovoltaica deve ser processado para obtenção de altos graus de pureza que determinam para qual sistema cada tipo de silício purificado irá ser utilizado. Essa purificação, por sua vez, exige alto nível tecnológico característico de países desenvolvidos o que acaba excluindo certa parte de países do mercado fotovoltaico.

2. ENERGIA SOLAR: PROCESSOS E HISTÓRIA

De acordo com (COMETTA, 1978), a energia solar traz consigo três principais processos de conversão de energia, sendo eles: elétricos, térmicos e químicos, onde os processos elétricos estão relacionados diretamente com a conversão desta energia irradiada pelo Sol em energia elétrica, dos quais os principais efeitos são: o fotovoltaico e o termelétrico. No que cabe aos processos térmicos, o princípio fundamental dá-se por meio de sistemas que utilizam a diferença de temperatura. Aquecedores de água e de ambientes apresentam-se como os principais meios de aplicação deste processo. Os processos químicos estão interligados principalmente aos meios de conversão natural desta energia, como por exemplo, a fotólise e a fotossíntese.

Os processos artificiais aqui apresentados estão implicitamente relacionados à utilização eletromecânica de conversão de energia, seja para fins termo-solares, termoeletrônicos, ou ainda para a destinação da climatização de ambientes com uso de tecnologias apropriadas. A energia solar, apresenta-se como uma alternativa bastante proeminente para a solução de um dos impetuosos desafios a serem solucionados no que tange à discussão sobre a escassez dos recursos energéticos não renováveis. Ao considerar todos os fatores, sabe-se que a energia provinda do Sol não é renovável, porém é inesgotável levando em conta o tempo útil de vida do planeta Terra em relação a ele (ABES, 2017).

Após décadas de estudos e avanços, fora possível, pela primeira vez, observar de forma analítica o efeito fotovoltaico. Datado em 1839, Edmond Becquerel verificou que placas metálicas, de platina ou prata, submersas em um eletrólito, eram capazes de gerar uma fração de potencial assim que as mesmas estivessem expostas à luz solar. Em 1883 surgiu a primeira célula solar, com uma pequena eficiência de conversão de aproximadamente 1% (VALLÊRA; BRITO, 2006). Desde então, a energia solar fotovoltaica está ganhando seu reconhecimento e, apresenta-se confiante nas últimas décadas com crescimentos cada vez mais significativos na produção energética a nível mundial. Considerando apenas as contribuições da energia irradiada pelo Sol para a conversão de energia elétrica, tem-se valores incríveis onde esta chega a 1.37 W/m^2 (NREL *et al.*, 2017).

Como mencionado, o efeito fotovoltaico provém do estímulo dos elétrons de certos elementos quando estão sob presença da irradiação solar (luz solar). Os materiais que melhor convertem essa radiação em energia elétrica, são utilizados nas chamadas células solares, como por exemplo, o Silício e o Gálio que são os principais materiais utilizados para tal fim, não obstante, as reservas do segundo são escassas, tornando inviável a utilização do mesmo. A eficiência de conversão destas células é calculada pelos índices de radiação solar que incide na Terra sobre a quantidade de energia que é transformada em energia elétrica, chegando a patamares onde a eficiência obtida fora de 25% (GREEN *et al.*, 2000).

3. ENERGIA SOLAR E SUA ATUAÇÃO NA ECONOMIA BRASILEIRA

Em conformidade com (GIRÃO, 2016) o consumo de energia no Brasil têm crescido gradualmente nas últimas décadas, resultando uma média anual de crescimento de aproximadamente 4%. No período de 2011 a 2012, houve uma vaga mudança no caráter dos meios de obtenção da demanda de energia no país, onde o aumento das fontes renováveis, que correspondiam a 44% do consumo em 2002, passou a 49% em 2011. Nesse período (2002-2011), o Brasil cresceu em termos de produção energética aumentando consideravelmente o seu PIB (Produto Interno Bruto). Tal informação demonstra que o país vem aprendendo a crescer na medida em que eleva o fornecimento energético, substituindo combustíveis fósseis por fontes renováveis. No entanto, ainda que o país apresente tal índice, observa-se que os preços da energia elétrica, que chega ao consumidor final, cresce a passos largos, levando a situação da matriz energética a ser repensada com cautela.

Por isso, a implementação de fontes de energia renovável tem sido cada vez mais indispensável para a diminuição destes custos elevados, assim como para a redução dos problemas sócio-ambientais gerados pelas fontes não renováveis que compreendem a grande maioria da matriz energética mundial. Portanto, a economia do país está intimamente ligada com a forma de obtenção dos recursos energéticos. É imprescindível ressaltar que a energia elétrica está entre as principais formas da conversão final de tais recursos. Esta, por sua vez, consiste basicamente da diferença de potencial entre dois pontos. Em consequência disto, elétrons conseguem manter um fluxo através deste potencial gerado, permitindo dessa forma que esta corrente seja utilizada para diferentes destinos. O sistema elétrico brasileiro é essencialmente hidrotérmico de grande porte e com grande predominância de usinas hidroelétricas (ABES, 2017). No gráfico da Fig. 1, observa-se que as usinas hidrelétricas são responsáveis por mais de 60% da energia elétrica gerada no Brasil.

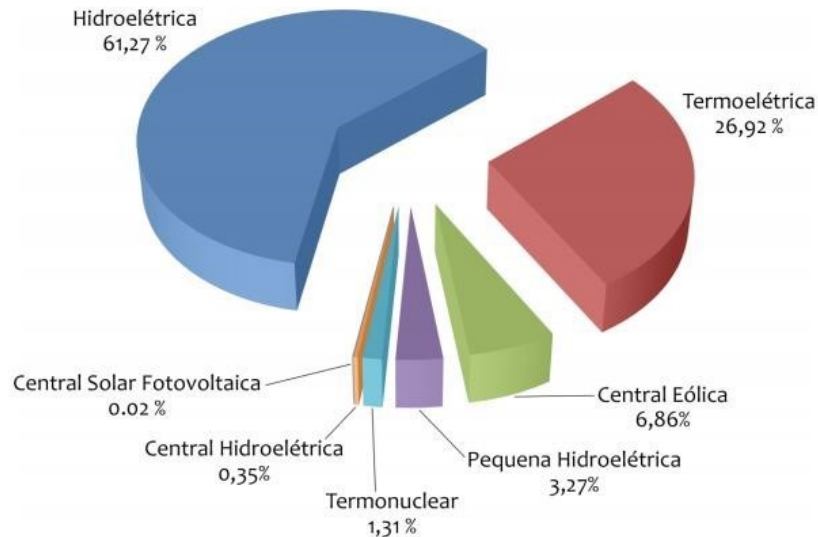


Figura 1- Gráfico da matriz elétrica brasileira conforme o Banco de Informações de Geração da Agência Nacional de Energia Elétrica.
 Fonte: ABES apud ANEEL, 2017.

Como apresentado na Fig. 1, o Brasil tem em sua matriz elétrica, para fins de abastecimento dessa rede, uma soberania da fonte hidrelétrica como a principal fornecedora de energia para o país. Percebe-se ainda, que há uma vasta gama de possibilidades para obtenção da energia elétrica. A lógica, para um melhor desenvolvimento dos meios de aquisição da mesma, seria haver um equilíbrio entre as centrais de geração de energia. Este fato da variedade e disponibilidade de distintas fontes de obtenção de energia é assegurado pela Resolução Normativa N° 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012, e esta, por sua vez, instaura a obtenção de energia por meio das placas fotovoltaicas (ANEEL, 2012). Porém, um dos problemas mais complicados de tentar mudar a matriz elétrica do país dá-se pelo custo de fabricação que, em suma, torna-se praticamente inviável, uma vez que o processo da fabricação do produto final (células solares) é extremamente caro, além do fato que o Brasil não possui plena dominação da tecnologia necessária para tal processo.

Para fins de análise comparativa, temos que na Alemanha, - país mais desenvolvido da europa - sua região de maior insolação, apresenta um índice de aproximadamente 40% menos radiação solar que a região de menor insolação no Brasil (CABRAL, TORRES e SENNA, 2013). Em vista disso, é notadamente explícito que a Alemanha, por meio de tecnologia de ponta, assim como eficiência de suas políticas de estado, apresente um maior aproveitamento desta energia. A Fig. 2 exhibe mapas da irradiação solar média anual do Brasil (à esquerda) e da Alemanha (à direita).

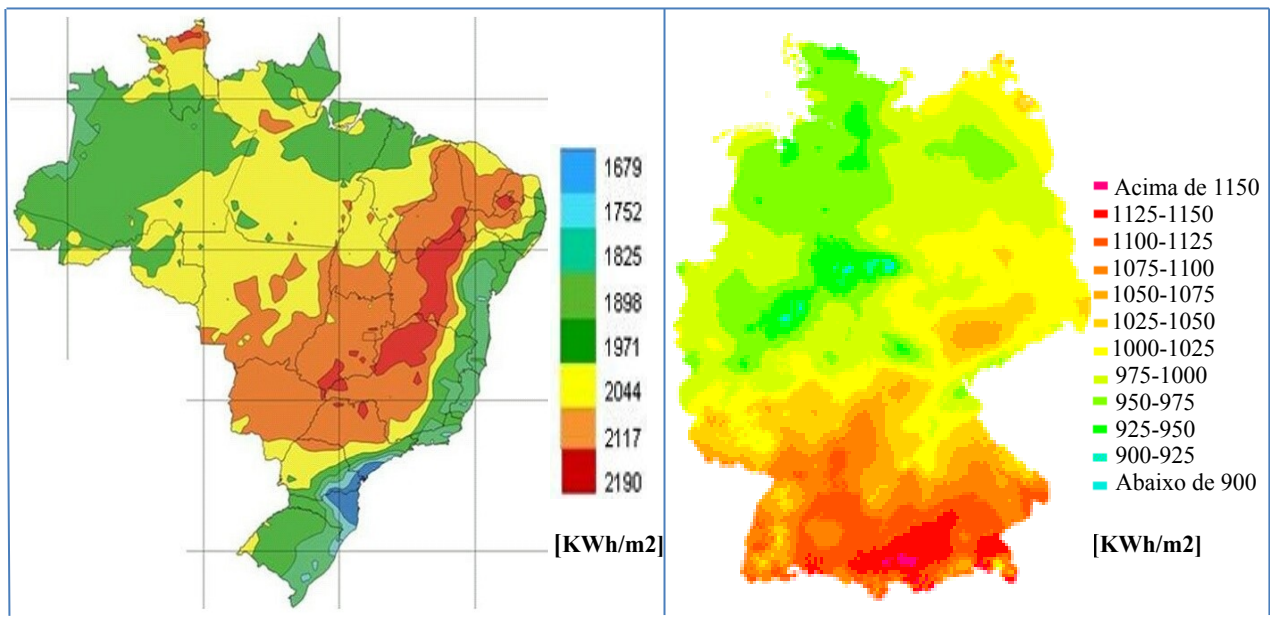


Figura 2- Mapa de irradiação solar média anual do Brasil para o plano inclinado à esquerda e Mapa de irradiação solar média anual da Alemanha à direita.

Fonte: Adaptação própria do Atlas Brasileiro de Energia Solar (2006); Adaptação própria de Solar Server.

Como demonstrado na Fig. 2, vê-se que a região menos ensolarada do Brasil apresenta índices solares em torno de 1642 kWh/m², que estão acima dos valores apresentados na área de maior incidência solar da Alemanha aproximadamente 1300 kWh/m² (SALAMONI E RÜTHER, 2007). Mesmo que faltem investimentos e incentivos fiscais para uma possível transição do sistema energético nacional, de meios não renováveis para meios renováveis, um dos grandes motivos pelo qual a energia fotovoltaica cresce cada vez mais e acima de tudo a elevadas taxas de crescimentos anuais dos sistemas instalados, é a grande incidência de radiação solar presente no território brasileiro. A empresa alemã German Solar Industry Association (2015), enunciou que o contexto global da energia solar pode atingir cerca de 100 GW, permitindo a diminuição de 70 milhões de toneladas de CO₂. Tal fonte de energia possui, como exposto anteriormente, um enorme potencial no Brasil e, portanto, tem-se a importância em reunir táticas políticas e econômicas de melhor manuseio desta fonte energética.

4. CADEIA PRODUTIVA

A produção das placas fotovoltaicas, necessárias para a implementação de sistemas de geração de energia solar, necessitam de desenvolvimento tecnológico. Como ressaltam Esposito e Fuchs (2013, p. 4), o processo de purificação e dopagem de silício esteve intimamente associado ao desenvolvimento da indústria eletrônica, com o advento de componentes eletrônicos tais como diodos e transistores e, depois, com a miniaturização desses componentes, que possibilitou a fabricação dos circuitos integrados. A relação da fabricação da tecnologia usada nas placas fotovoltaicas, como se observou, está integrada com a indústria eletrônica, exemplificando as indústrias alemãs, chinesas e estadunidenses nesse processo. O domínio tecnológico, de produção agregada, diferencia-se do domínio tecnológico da pequena indústria brasileira, fator relevante para a análise da cadeia produtiva das placas fotovoltaicas.

Conecta-se ao começo dos anos 2000 a consolidação da indústria fotovoltaica nos mercados desenvolvidos pelo aumento da demanda e da escala de produção. A instrumentalização da produção de geradores de energia solar através dos mercados desenvolvidos é relevante no que tange a viabilização da redução de preços e a consequente penetração maior no mercado, como observado por Esposito e Fuchs (2013, p. 5). Depreende-se a partir dessa análise a ligação entre indústrias de produção massiva com agregado tecnológico com as indústrias de produção de produtos não tão tecnológicos, em outras palavras, a diferença nas relações de custos entre Estados dominantes de uma indústria de produção tecnológica, produtos com valor agregado, de Estados com inserção internacional majoritária através de produtos primários. A distinção de Custos de produção nos Estados desenvolvidos diferencia-se com a mesma produção de Estados “em desenvolvimento”. O domínio tecnológico, como fator relevante na produção de sistema de geração energética por via solar, é fator chave para entender porque alguns Estados produzem mais placas fotovoltaicas do que outros. Esse desenvolvimento tecnológico sucedeu-se principalmente na Alemanha, nos Estados Unidos da América (EUA) e no Japão, com participação secundária de Itália, Espanha e Noruega (ESPOSITO; FUCHS, 2013, p.5). Percebe-se que hoje, os esforços de desenvolvimento tecnológico na indústria fotovoltaica estão concentrados na China, líder atual na produção de painéis fotovoltaicos (ESPOSITO; FUCHS, 2013, p. 5). Nessa pesquisa e produção da energia solar, observa-se que:

“Os EUA e a Espanha concentram as pesquisas tecnológicas e as plantas-piloto termossolares, muito por conta de suas vocações naturais, oriundas das altas irradiações solares nas regiões semiáridas de seus territórios. A Alemanha participa como principal desenvolvedora de tecnologia e fornecedora de materiais e bens de capital para o segmento termossolar, sobretudo com a instalação de plantas na Europa, África e Oriente Médio” (ESPOSITO; FUCHS, 2013, p. 6)

Dentro do contexto brasileiro, referindo-se à política energética, a energia solar é mais uma entre as diversas opções que o país detém (ESPOSITO; FUCHS, 2013, p. 6)

Referindo-se a cadeias tecnológicas de energia solar, percebe-se que as tecnologias fotovoltaicas, de acordo com Esposito e Fuchs (2013, p.8), têm uma cadeia de valor mais verticalizada, na qual há etapas de beneficiamento industrial de alto valor agregado, além dos serviços de instalação e montagem. Compreender esse tipo de cadeia tecnológica pela qual o sistema de geração de energia solar está integrado é fundamental para entender que esses processos representam parte substancial do preço final dos sistemas fotovoltaicos.

A cadeia de produção desse sistema, quando analisada a situação brasileira, constata-se que há empresas nas etapas iniciais da cadeia de silício cristalino (como Minas Ligas e Rima) e na última etapa, de montagem de painéis (como Dya, antiga Tecnomental) (ESPOSITO; FUCHS, 2013, p. 10). Além disso, ressalta-se que as etapas intermediárias desse processo se encontram ainda pouco desenvolvidas. O Brasil, e as empresas brasileiras, não conseguem manter toda a cadeia de produção desse sistema. Diferentemente da maior produtora de painéis fotovoltaicos do mundo: a China, que, de acordo com Esposito e Fuchs (2013, p. 13):

“já dispõe de fabricação própria desde o silício purificado até a fabricação de células e painéis fotovoltaicos. Ou seja, o país caminhou para etapas de maior escala e concentração industrial por meio de um processo de *catching-up* tecnológico que pode ser sintetizado em duas formas (não necessariamente sequenciais): engenharia reversa e aprendizado por meio das tecnologias importadas da Europa, dos EUA e do Japão, bem como pela aquisição de empresas, mais recentemente” (ESPOSITO; FUCHS, 2013, p. 13).

Percebe-se também que existe um potencial a ser aproveitado, como já foi discorrido, no entanto, são necessários investimentos em tecnologia para redução dos custos de implantação e geração (BRONZATTI; NETO, 2008, p. 2), além disso, a articulação de redução dos custos com o aumento da efetividade das células fotovoltaicas na captação de luz solar e transformação em energia é algo a ser elaborado em conjunto. Bronzatti e Neto (2008, p. 13) ainda levantam

algumas questões a serem implementadas como o investimento em tecnologia local e inovação para produção de células solares e regulamentação e incentivos a empresas privadas para produção de energia utilizada fontes renováveis. Tanto o interesse estatal em modificar a matriz energética nacional como o incentivo às empresas privadas para investirem na produção de energia solar estão no mesmo debate acerca da produção de energia solar como um todo no Brasil, considerando os fatores benéficos que esse sistema de geração de energia impacta no Brasil. Dentro dessas vantagens, ressalta-se a sua possibilidade de utilização de forma distribuída, promovendo o desenvolvimento social e econômico em todas as regiões e evitando gastos e impacto ambiental com linhas de transmissão (CAMARGO *et al*, 2006, p. 6).

5. SILÍCIO PARA INDÚSTRIA FOTOVOLTAICA

Não há como tratar de energia solar fotovoltaica desconsiderando os materiais utilizados na manufatura de células fotovoltaicas. Como já exposto, o silício é um dos principais compostos utilizados na fabricação de células solares fotovoltaicas, sendo altamente responsável pelo preço final dessa célula. Decorre que, de acordo com o tipo de silício utilizado na fabricação bem como os processos de fabricação há uma alteração notória no custo da célula, além de uma modificação em sua eficiência energética.

Seguindo os conceitos da ciência dos materiais, existem, basicamente, três tipos de silício usados em aplicações tecnológicas, o silício monocristalino, o policristalino e o silício amorfo. No monocristalino há uma estrutura majoritariamente definida por uma célula unitária que representa toda a estrutura do material, por consequência, este silício é mais puro e a célula solar dele proveniente alcança maiores eficiências, porém seu custo de manufatura é elevado. O silício policristalino possui uma estrutura menos homogênea, podendo apresentar várias formações em sua estrutura, em consequência, ocorre o contrário do caso monocristalino, ou seja, a eficiência da célula solar é menor e custo também. O menos apropriado para uma célula solar é o silício amorfo cuja estrutura interna não segue uma regra estrutural (característica dos materiais amorfos), em função disso, a eficiência de uma placa com este material chega a ser somente de 5% a 7% (ROSANA, 2013).

Uma das aplicações desses três tipos de silício em células solares é na tecnologia de filmes finos que consiste na utilização de finíssimas camadas de material, cuja espessura não ultrapassa 0.1mm (MARKVART, CASTANER, 2005), em placas solares. O objetivo é, portanto, é reduzir a quantidade de material utilizada e, também, a energia consumida reduzindo a complexidade dos processos de manufatura (SANTANA, 2011).

5.1. As tecnologias de transformação do silício

O silício encontrado na natureza, ou melhor, os materiais dos quais se extraem o silício, necessitam de uma cadeia de tratamento que pode ser demasiada longa dependendo do objetivo pretendido. O silício para a indústria microeletrônica, por exemplo, necessita de uma pureza de 99,999999999%, e, portanto, uma grande cadeia de processamento. No entanto, o silício utilizado na indústria fotovoltaica é o silício de grau solar (SiGS) que possui uma pureza de 99,9999%. A Fig. 3, abaixo ilustra a cadeia de purificação do silício para a fabricação de módulos fotovoltaicos:



Figura 3 – Cadeia de processamento do silício para sistemas fotovoltaicos.

Fonte: Modificado de (CARVALHO, MESQUITA, ROCIO, 2014).

Basicamente, o “silício bruto” pode ser obtido a partir da sílica (SiO_2) que é encontrada no quartzo (que, por sua vez, é abundante no Brasil). Esta sílica necessita de um tratamento de redução (processo químico) à temperaturas que ultrapassam 1500 graus célsius. O resultado desse processamento é o silício metalúrgico que ainda possui pouca aplicação na indústria tecnológica.

Após essa primeira parte do tratamento, é necessária mais uma etapa para a obtenção do silício de grau solar que já pode ser utilizado na fabricação de células solares. Essa etapa é a de maior complexidade e pode ser feita através de três processos amplamente conhecidos na indústria fotovoltaica: processo Siemens, processo Du Pont e processo Czochralski.

O processo Du Pont é o menos utilizado em função de suas dificuldades de realização. Este um utiliza um composto chamado tetracloro de silício (SiCl_4) reagindo com outro gás a uma temperatura inferior à 1000 graus célsius. O método Czochralski é o mais utilizado para a obtenção do silício monocristalino cuja pureza é superior à do silício resultante do processo Siemens. Por consequência disso, este método é empregado para a produção de silício para a indústria microeletrônica, sendo, também, utilizado para células fotovoltaicas de alta eficiência.

Por fim, o processo Siemens consiste, basicamente, no aquecimento do silício metalúrgico juntamente com um gás chamado triclorosilano. O resultado do processo é um silício de pureza 99,9999999%, ou seja, de uma pureza superior à que era requerida para a célula fotovoltaica.

Desse modo, dentre os três processos, o de Siemens e o Czochralski são os mais utilizados na indústria fotovoltaica sendo amplamente usados em países desenvolvidos como China, Alemanha e Japão que apresentaram um alto crescimento de sua capacidade fotovoltaica, alcançando juntos mais da metade do mercado fotovoltaico em 2015 segundo os dados da EPIA(2016), sendo que, retomando o que já foi mencionado, a China além fabricar células solares de alta eficiência ainda domina amplamente a cadeia ilustrada na Fig. 3, já que produz e purifica o próprio silício.

5.2. O silício nacional: Breves perspectivas de uma autonomia fotovoltaica

Contudo, um país extremamente rico em recursos naturais como o Brasil, é claro, não fica tão deslocado no cenário mundial em relação à produção de silício, ainda que de baixa aplicação tecnológica, este país possui uma das maiores reservas de quartzo do mundo, e ainda melhor, quartzo de alta qualidade, o que o tornou responsável por 8% da produção mundial de silício metalúrgico (CARVALHO, MESQUITA, ROCIO,2014). O quartzo, como já mencionado, pode ser empregado na produção de silício metalúrgico através da sílica contida neste material. Esta sílica, por consequência do quartzo, também é de alta qualidade o que implica um silício metalúrgico de alta qualidade. No entanto, como apresentado, o silício metalúrgico não possui aplicação considerável na indústria tecnológica tendo que ser processado para ganhar alta pureza. Isso, é claro, exige certa tecnologia. Por consequência disso, o Brasil exporta o silício ainda em nível metalúrgico ao preço que gira em torno de US\$ 2/kg (FARIAS, 2013) para importar células fotovoltaicas a preços, obviamente, muito mais elevados, ainda que existam ao menos as duas indústrias no país já citadas (Dya e Tecnomenta) que fazem a montagem dos módulos fotovoltaicos. Ou seja, o país domina apenas os extremos da cadeia de manufatura fotovoltaica da Fig. 3, (a extração e transformação em silício metalúrgico e a montagem das placas de conversão fotovoltaica). Decorre disso um “oco” industrial, tecnológico e econômico. Atualmente, a indústria brasileira não domina nenhum dos processos de purificação de silício mencionados na seção 5.1. Desse modo, há um maior gasto econômico para a implantação dos sistemas fotovoltaicos em solo nacional devido à importação de células e, sobretudo, módulos fotovoltaicos.

A pesar disso, o penúltimo nível da cadeia representada na Fig. 3, ou seja, a célula de grau solar já esteve e ainda está figurando como objetivo de testes e desenvolvimento em vários institutos nacionais, a exemplo das células de silício monocristalino desenvolvidas pela Universidade de São Paulo, cuja eficiência alcançou 12,5%, já nos anos 50 (PINHO, GALDINO, 2014). Infelizmente, nos anos seguintes observou-se um decréscimo na eficiência das novas células produzidas, cujo valor figurou entre 2 – 7%. Recentemente, integrantes da Universidade Católica do Rio Grande do Sul em parceria com a Eletrosul, desenvolveram uma célula fotovoltaica cuja eficiência é de 17,3%, sendo o maior valor já alcançado por produções brasileiras. Ainda que este valor esteja abaixo da eficiência das placas solares estrangeiras, o resultado serve de estímulo para a evolução das tecnologias voltadas às células solares no Brasil, podendo acarretar em novas descobertas e evoluções na área.

Desse modo, nota-se que a indústria brasileira do setor ainda se encontra quase inexistente (a não ser nos extremos da cadeia), em contraponto, pesquisas são desenvolvidas na área buscando um aprimoramento tecnológico, como notado no parágrafo acima. Decorre disso que há uma atenção voltada ao tema em vista do desenvolvimento de novas células no país, no entanto, para uma - considerando o atual momento econômico do país - chamada aqui de semi utópica autonomia fotovoltaica, não há o acompanhamento da indústria no setor acarretando um esbarramento do processo.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como demonstrado, a principal fonte de energia elétrica brasileira é a hídrica, dominando mais de 60% da matriz elétrica. Contudo, esta fonte não é completamente independente das condições climáticas. A seca por exemplo, pode reduzir drasticamente a geração de energia de uma hidrelétrica, porém, coincidentemente, a seca aumenta a geração de energia solar, ou seja, a energia fotovoltaica pode ser uma estratégia para uma mudança de fonte urgente que possa ser necessária em algum momento crítico da fonte hídrica. Ademais, a energia solar, principalmente a fotovoltaica, tem a vantagem de fácil instalação e disponibilidade territorial o que facilita a distribuição à locais eletricamente isolados. Desse modo, ainda que a energia solar não ocupe um grande espaço na matriz elétrica, essa fonte tem um papel fundamental no cenário energético do país.

O pressuposto de que um país tem sua matriz energética baseada na disponibilidade de seus recursos naturais é evidente no Brasil, mas, pode não ser inteiramente aplicável a outros países, ao exemplo da Alemanha cuja incidência solar é menor à brasileira e a utilização da energia solar é maior. Desse modo, é necessário considerar que cada fonte tem suas especificidades tecnológicas que podem não condizer com o nível de desenvolvimento em que se encontra um país, como ocorre com a questão da abundante fonte de silício brasileiro que não pode ser processada pela indústria local.

A exemplos discorridos, países que possuem grande participação mundial no mercado da energia fotovoltaica - como China, Alemanha e Japão - são, não coincidentemente, os que dominam inteiramente a cadeia de produção dos módulos fotovoltaicos, o que é muito diferente do caso brasileiro. Sucede aqui que, há, como foi apresentado na seção 5.2, atenção por parte do desenvolvimento científico na área que não é acompanhado por um desenvolvimento industrial que, por sua vez, deveria ser consequente. Isso ocasiona um esbarramento no processo já que não são encontrados os meios para fazê-lo. Assim, há uma relação desproporcional tendo em vista que países com baixa ou média incidência solar possuem alto desenvolvimento na indústria fotovoltaica e países de alta incidência se encontram minimamente desenvolvidos na área.

REFERÊNCIAS

- ABES., 2017. Atlas brasileiro de energias solar. Disponível em: <http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/Atlas_Brasileiro_Energia_Solar_2a_Edicao.pdf>. Acesso em: 24 out. 2017.
- Bronzatti, F. L., Neto, A. I., 2008. Matrizes energéticas no Brasil: cenário 2010-2030, XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, a Integração de cadeias produtivas com a abordagem da manufatura sustentável, Rio de Janeiro – RJ.
- Cabral, I. S; Torres, A. C; Senna, P. R, 2013. Energia Solar – Análise Comparativa entre Brasil e Alemanha. Disponível em:<http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2013/X-009.pdf>> . Acesso em: 25 out. 2017.
- Camargo, I. M. T., Oliveira, M. A. G., Shayani, R. A., 2006. Comparação do Custo entre Energia Solar Fotovoltaica e Fontes Convencionais, Políticas públicas para a Energia: Desafios para o próximo quadriênio, Brasília - DF.
- Carvalho, P.S.L, Mesquita, P.P.D.M, Rocio, M.A.M., 2014. A rota metalúrgica de produção de silício grau solar: uma oportunidade para a indústria brasileira?. Rio de Janeiro, n.40, p. 205-233.
- Cometta, Emilio., 1978. Energia Solar: utilização e empregos práticos. Tradução: Norberto de Paula Lima. São Paulo: Hemus Livraria Editora Limitada.
- CRESESB., 2006. Energia Solar: princípios e aplicações. Rio de Janeiro,. Disponível em:<http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_solar_2006.pdf> . Acesso em 20 out. 2017.
- Dieguez, Flávio., 2016. Rei Sol. Disponível em: <<https://super.abril.com.br/tecnologia/rei-sol/>>. Acesso em: 23 out. 2017.
- Esposito, A. S., Fuchs, P. G., 2013. Desenvolvimento tecnológico e inserção da energia solar no Brasil, Revista do BNDES, vol. 40, pp. 85-114.
- Farias, David Berto, 2013. Estudo do Processo de Purificação do Silício Grau Metalúrgico na Fabricação de Células Fotovoltaicas, Santo André, Vol.1, pg. 8 – 11.
- Girão, M. S., 2015. Economia Verde e a Matriz Energética Brasileira. In: Energia e Meio Ambiente: Contribuições para o necessário diálogo. Editora Universitária Leopoldianum. cap. 7, pp. 129-138.
- Green, M. A., 2003 Estimates of Te and In prices from direct mining of known ores. Progress in Photochemistry Reviews, v. 4., pp. 145-153.
- Grippi, Sidney., 2009. O gás natural e a matriz energética nacional. Rio de Janeiro :Editora Interciência.
- Markvart, T., e Castaner, L., 2005. Solar Cells: Materials, Manufacture and Operation. 2.ed. Kidlington: Elsevier Science.
- Nrel., 2017. Glossary of solar radiation resource terms: National Renewable Energy Laboratory. Disponível em <http://rredc.nrel.gov/solar/glossary/gloss_s.html> . Acesso em: 19 out. 2017.
- Pinho, J.T., Galdino, M.A., 2014. Manual da Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Rio de Janeiro, vol. 1, p. 47-499.
- Rosana, K.N, 2013. Desempenho de Painéis Solares Mono e Policristalinos em um Sistema de Bombeamento de Água, 44 f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel.
- Salamoni, I.; Rütther, R., 2007 Potencial Brasileiro da Geração Solar Fotovoltaica conectada à Rede Elétrica: Análise de Paridade de Rede. IX Encontro Nacional e V Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. Ouro Preto. Disponível em:<<http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2013/X-009.pdf>> . Acesso em: 26 out. 2017.
- Santana, R.J., 2011. Desenvolvimento de filme fino de a-Si:H por pulverização catódica para aplicações fotovoltaicas, 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – REDEMAT (Rede Temática em Engenharia de Materiais – UFOP, CETEC, UEMG), Ouro Preto.
- Schmela, Michael, Solar Power Europe (EPIA), 2016 Global Market Outlook 2016-2020 For Solar Power, Disponível em<http://www.solarpowereurope.org/fileadmin/user_upload/documents/Events/SolarPower_Webinar_Global_Market_Outlook.pdf> Acesso em: 21 de outubro de 2017.
- Solar Radiation. Disponível em: <<https://www.solarserver.com/knowledge/lexicon/s/solar-radiation.html>>. Acesso em: 24 jan . 2018.
- Vallêra, A. M; Brito, M. C., 2006. Meio século de história Fotovoltaica. Disponível em: <<http://solar.fc.ul.pt/gazeta2006.pdf>>. Acesso em: 25 out. 2017.

THE USE OF NATIONAL SILICON FOR THE MANUFACTURE OF SOLAR PANELS: A REFLECTION OF THE TECHNOLOGICAL AND FINANCIAL DIFFICULTIES

Abstract. *This paper approaches the solar energy thematic, specifically the photovoltaic, from a national view, considering the challenges of the national industry have to dominate the technology of solar panels, once the use of this source notably increases in Brazil due to the great solar radiation in the country. It permits the possibility to reduce millions tons of CO₂ emitted by other non-renewable sources. The underdevelopment of Brazil in the electronic industrial sector is one of the barriers to the photovoltaic industry because it's difficulty to manage the purification process and silicon transformation. China and Germany are examples of development in the area because they have a high level of technological development; They are also responsible for a big parcel of the photovoltaic solar energy converted into electric energy in the world, it permits them to manage the entire photovoltaic manufacturing chain,*

since silicon extraction until the end, in the assembly of the plates. Due the low industrial development, Brazil is only able to make the extremes of the manufacturing chain, being the collection of the raw material, the transformation into metallurgical silicon and the assembly of the photovoltaic plates. This causes a "hollow" in the center of the national chain, which forces the country to import photovoltaic technology, for example, the solar cells, which are necessary to the assembly and installation of photovoltaic system, affecting the larger scale deployment of the photovoltaic solar energy. Although as a complement to the main sources in Brazil, this source could reduce costs and environmental impacts with transmission lines, in addition to bringing energy to locations that don't receive it because of the distance that they are from a distribution center.

Key words: *Photovoltaic, Silicon, Industry.*