

DESENVOLVIMENTO DE UM *ROADMAP* TÉCNICO-COMERCIAL DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA CENTRALIZADA NO BRASIL

Eduardo Lopes^a, Carmen B. Rosa^b, Graciele Rediske^a, Paula D. Rigo^a, Leandro Michels^b, Julio Cezar M. Siluk^a

^aDepartamento de Engenharia de Produção e Sistemas, ^bDepartamento de Processamento de Energia Elétrica
Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)
Santa Maria, Brasil.

Abstract— A instalação de sistemas solares fotovoltaicos cresceu de forma exponencial nos últimos anos por tornarem-se cada vez mais viáveis economicamente. Com isso, o presente artigo tem como objetivo apresentar um modelo de *roadmap* técnico-comercial sobre a energia solar fotovoltaica centralizada no Brasil. A criação do *roadmap* é periodicamente conduzida em quatro etapas: estudo preliminar sobre o tema, definição da estratégia, organização das informações e construção da nova edição. Foram desenvolvidos quatro modelos de *roadmaps* nos últimos três semestres, dos quais, três deles trataram do cenário da energia solar fotovoltaica distribuída. A última edição, discutida neste artigo, apresentou dados atualizados da geração centralizada no Brasil. A disponibilização destas informações promove o setor, levando informação técnica, que eleva o nível de geração da energia e comercial, que contribui para a competitividade do setor, tornando-o mais forte, já que a informação aprimora processos, produtos e serviços.

Keywords— *Análise Técnica e Comercial; Energia Solar Fotovoltaica; Geração Centralizada; Roadmap.*

I. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a geração de energia fotovoltaica tornou-se uma das formas mais promissoras de geração de energia renovável [1]. O Brasil é um dos países com grande potencial de geração de energia elétrica através da tecnologia fotovoltaica devido ao seu vasto território, à sua localização tropical e ao nível de irradiância solar direta recebida. Com uma perspectiva de crescimento de 200 vezes sua capacidade instalada até 2024 [2], a energia solar fotovoltaica está em constante expansão no Brasil. Com isso, busca a consolidação como uma das fontes alternativas para garantir o suprimento energético brasileiro.

As fontes renováveis, embora inicialmente mais caras, tornam-se mais competitivas na medida em que se expandem. Sendo o aumento da competitividade uma resultante da redução dos custos através do ganho de escala e dos avanços tecnológicos. Apesar de a geração de energia solar fotovoltaica apresentar-se em estágio inicial no Brasil, existem diversos incentivos governamentais para o aproveitamento desta fonte [3]. Alguns desses incentivos são aplicados também para outras fontes renováveis de geração de energia elétrica.

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede no Brasil são classificados em dois grupos: grandes centrais fotovoltaicas, ou usinas solares, que são construídas em regiões fora da área urbana, geralmente em áreas com boas condições de irradiação, o que permite uma maior eficiência do sistema [4]; e os sistemas de geração distribuída, que são conectados diretamente na rede de baixa tensão e que se localizam próximos aos pontos de consumo [5]. Ambos modelos vêm apresentando crescimento no número de empreendimentos nos últimos anos. No Brasil, o Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) estima que a capacidade instalada de geração solar chegue a 8.300 MW em 2024, sendo 7.000 MW de geração centralizada e 1.300 MW de geração distribuída [6].

Diante deste cenário, para obter uma vantagem competitiva e defender posições estratégicas no mercado, é necessário que os investidores do setor de energia solar fotovoltaica conheçam e compreendam a dinâmica dos atores nos âmbitos empresarial e estrutural, permeados pelos indicadores capazes de mensurar, de fato, sua realidade específica [7]. Sendo assim, percebe-se que a geração de energia solar fotovoltaica está inserida em um ambiente mundialmente competitivo, principalmente por apresentar-se em um setor com características específicas, o que obriga os sistemas solares a desempenhar seus processos com máxima eficiência.

A partir dessa necessidade, verifica-se que o setor de energia solar fotovoltaica no Brasil vem em uma trajetória de busca por informações técnicas e comerciais para fornecer dados aos agentes envolvidos, a fim de orientar e facilitar a tomada de decisão, para que a fonte solar fotovoltaica seja competitiva frente a outras fontes de geração de energia. Identificar as tendências de mercado e definir os requisitos para as melhorias necessárias é essencial para ter sucesso no ambiente competitivo [8]. Porém, atualmente, existe a carência de informações baseadas em dados que refletem a realidade do setor e que sejam divulgadas através de relatórios periódicos. Em vista disso o presente artigo tem como objetivo apresentar um modelo de *roadmap* técnico-comercial sobre a energia solar fotovoltaica. Para fins de delineamento de pesquisa, o presente estudo abordará somente os empreendimentos de geração centralizada de energia solar fotovoltaica no Brasil.

Diante disso, a proposta apresenta-se inovadora em âmbito acadêmico, no desenvolvimento do conteúdo técnico-comercial, e em âmbito social, pois o *roadmap* será divulgado através da plataforma de comunicação que apresentará, periodicamente, a pesquisa à população e agentes interessados, pesquisadores, indústrias, empresas de instalação e atuais e futuros consumidores.

A segunda seção desse artigo apresenta a metodologia de construção do *roadmap*, que foi aplicada para o desenvolvimento desse *roadmap*, sobre geração centralizada de energia fotovoltaica, e outros três *roadmaps* desenvolvidos no ano de 2017 que trataram dados da microgeração e minigeração distribuída de energia fotovoltaica. Em sequência, a terceira seção apresenta os resultados do artigo, que são divididos em duas subseções, a primeira apresenta a plataforma de comunicação onde são disponibilizados os *roadmaps* e a segunda apresenta os resultados do *roadmap* sobre geração centralizada. Por fim, a quarta seção expõe as conclusões deste artigo.

II. METODOLOGIA DE CONSTRUÇÃO DO ROADMAP

Para compreender os principais aspectos abordados e alcançar o objetivo proposto, o procedimento metodológico que configura o modelo de *roadmap* técnico-comercial da geração centralizada de energia fotovoltaica foi conduzido em três etapas, conforme a Fig. 1.

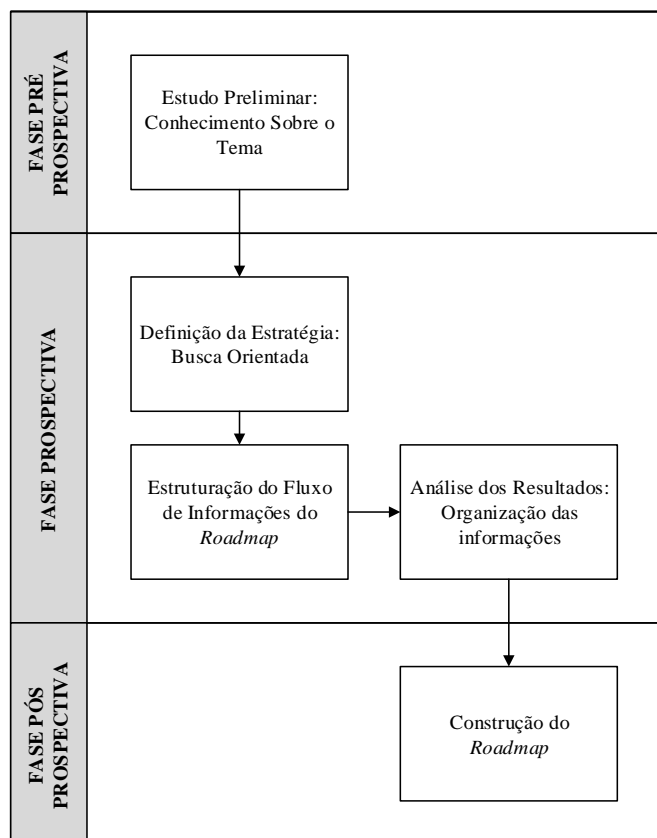


Fig. 1 – Etapas Metodológicas

Para o cumprimento da primeira fase, que originou a construção da introdução desse artigo e a justificativa do *roadmap*, foi utilizado o Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes/MEC) e a consulta em livros, artigos publicados em anais de eventos e Notas Técnicas direcionadas à construção de *Roadmaps* e energia solar fotovoltaica, com a finalidade de buscar embasamento teórico para a identificação do contexto dos sistemas solares instalados no Brasil através do conceito de *roadmapping*. A abordagem do *roadmapping* foi desenvolvida pela Motorola para melhorar o alinhamento entre tecnologia e inovação [9] e sua aplicação tornou-se popular durante a última década, tendo sido adotada por empresas, governos e outras instituições. *Roadmap* pode ser traduzido como roteiro. A palavra "roteiro" representa um resumo dos planos de ciência e tecnologia na forma de mapas, e o processo de roteiro é o desenvolvimento deste roteiro [10]. Embora um roteiro possa ser apresentado de várias formas, ele geralmente inclui uma representação gráfica multicamadas de um plano que conecta tecnologia e produtos com oportunidades de mercado. A perspectiva temporal considerada nesta análise depende do tipo de indústria e do seu horizonte de planejamento [11], [12].

Tendo em vista os conceitos de *roadmapping*, a primeira etapa da fase de prospecção consiste na definição da estratégia para o fluxo de geração do conhecimento na plataforma de comunicação, conforme o esquema proposto na Fig. 2.

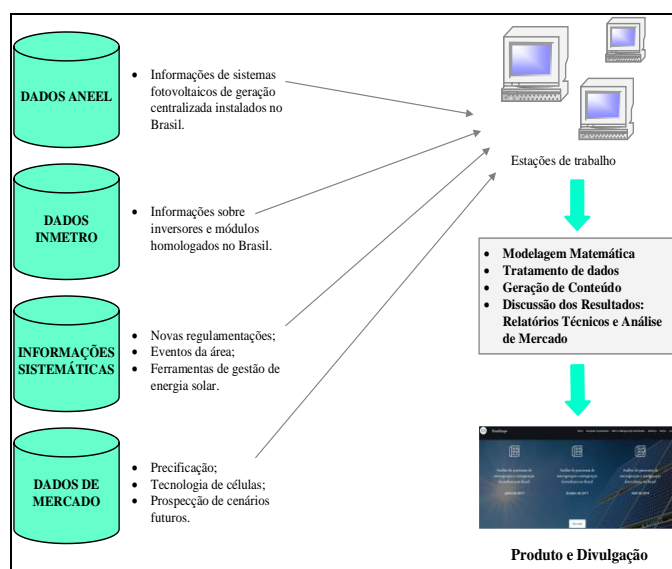


Fig. 2 – Definição da estratégia para geração do conhecimento.

O levantamento dos dados, do fluxo de geração de conhecimento, foi realizado através de buscas no banco de Geração de Informações de Energia Elétrica [13]. O tratamento, análise e discussão da informação bruta coletada foi elaborado a partir da tabulação de todos os projetos de usinas listados nos registros da ANEEL, compreendendo projetos em operação, em construção e com construção não iniciada. Além dessa busca, os autores utilizaram recorrências identificadas por meio da pesquisa bibliográfica e documental, atendo-se assim ao objetivo de gerar conhecimento técnico-comercial da inserção da energia solar fotovoltaica centralizada no Brasil.

O *roadmap*, divulgado através da plataforma de comunicação, com conteúdo técnico-comercial do setor de energia solar fotovoltaica, deve ser criado e atualizado regularmente para identificar tendências e definir requisitos para as melhorias necessárias e essenciais no desenvolvimento da energia fotovoltaica no Brasil. Para isso, foi estipulado uma periodicidade de três meses para lançamento das edições do *roadmap*. O conteúdo a ser desenvolvido será atualizado nessa periodicidade, o que permite, além de caracterizar o setor, apresentar-lhes previsões. Essas previsões podem evidenciar as lacunas de investimento em tecnologia e pesquisa, e também, evidenciar a tendência da tecnologia da energia fotovoltaica no Brasil. Acrescenta-se a isso, que ao consolidar essas análises, será possível desenvolver índices e indicadores de produtividade e competitividade, que poderão ser consagrados como referência para o setor.

Para a construção do *roadmap* duas importantes questões devem ser validadas: a qualidade da informação e a forma como essa informação será divulgada. Para a primeira, os subsídios utilizados para a construção do *roadmap* serão oriundos de fontes seguras, como agências públicas, órgãos de pesquisa e institutos nacionais, como visto na Fig. 2. Sendo assim, a validação destas informações é feita pela apresentação dessas fontes de pesquisa. Já para as análises do *roadmap*, o uso de metodologias e softwares específicos para o tratamento e o processamento de dados assegura a qualidade da informação. E para certificar a qualidade das projeções do setor, serão realizadas comparativos entre a realidade e o que foi projetado nas edições passadas do roteiro tecnológico.

Sequencialmente, a forma como a informação chega a interessados, por meio de uma plataforma de comunicação online, pode ser validada de várias formas. Dentro da plataforma, podem ser oferecidos questionários para os visitantes, que verificam o layout, o uso das cores, o design dos infográficos, a facilidade do acesso a informação, ou seja, aspectos da usabilidade do produto. Na concepção de extensão em que são entregues essas informações, serão analisados dados quantitativos da plataforma online, como número de visitantes, tempo de permanência, acessos por cidade, estado e país, número de comentários, entre outros. A próxima seção apresenta a plataforma de comunicação e os resultados obtidos na última edição do *roadmap* de geração centralizada.

III. RESULTADOS

A. Plataforma de comunicação: Divulgação dos Roadmaps

Com o intuito de aplicar as etapas da proposta de criação do *roadmap* com a finalidade de garantir ao setor de energia solar fotovoltaica um conteúdo técnico-comercial baseado em registros de fontes de pesquisa com referência, fez-se três modelos de *roadmaps* nos últimos semestres. O primeiro protótipo foi apresentado em junho de 2017, o segundo em outubro e a terceira edição foi lançada em abril de 2018. Os tópicos abordados nessas três edições apresentam o cenário da energia solar fotovoltaica no aspecto da geração distribuída. A Fig. 3 exibe a plataforma de comunicação desenvolvida, sendo que a aba “notícias” apresenta esses três *roadmaps*.



Fig. 3 – Página inicial da plataforma de comunicação

Na próxima subseção, é exposto os principais resultados da última edição do *roadmap* publicado na plataforma de comunicação desenvolvida pelos autores. Nesta pesquisa, os autores dedicaram-se a investigar e tratar os dados que compreendam a geração centralizada no Brasil.

B. Roadmap para Energia Solar Fotovoltaica: Geração Centralizada

A aquisição de energia elétrica pelas concessionárias de distribuição para atendimento de seus consumidores cativos deve ser feita, segundo a regulação vigente desde 2004, através de licitações, que são conduzidas na forma de leilões de energia. Em 2014 o primeiro leilão de geração de energia solar fotovoltaica foi realizado, com um total de 889,7MW contratado, como exibido na Tabela 1.

TABELA 1 – LEILÕES ENERGIA SOLAR

Leilão	Capacidade (MW)	Preço médio R\$/MWh	Data para Entrada em Operação
31/10/2014	889,7	R\$ 215,10	01/10/2017
28/08/2015	833,8	R\$ 301,80	01/08/2017
13/11/2015	929,3	R\$ 297,70	01/11/2018
18/12/2017	674,5	R\$ 145,00	01/01/2021
04/04/2018	807	R\$ 118,07	01/01/2022

A fonte solar vem sendo incluída nestes leilões desde 2014, onde desde então já ocorreu a contratação de 4,1GW de capacidade instalada de energia solar fotovoltaica. A Fig 4 apresenta o gráfico da evolução por ano da geração centralizada fotovoltaica no Brasil.

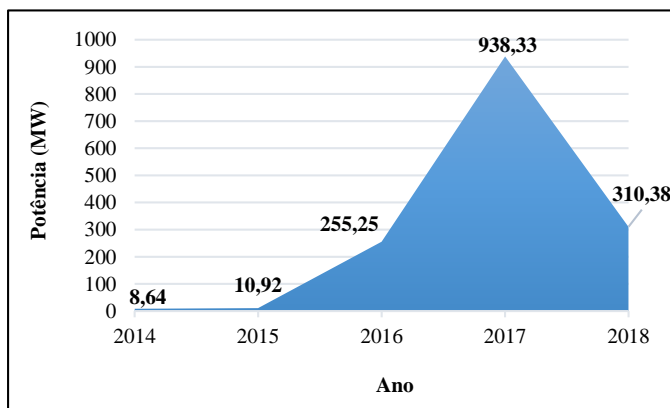


Fig 4 – Evolução por ano da Geração Centralizada Fotovoltaica no Brasil.

Esse crescimento do setor fica mais evidente ao observar o gráfico de usinas que entram em operação a cada ano, atingindo em julho de 2018, o patamar de 1306.506 kW de potência instalada, apresentando um crescimento de 267% de 2016 até o final de 2017. O número representa uma marca histórica de crescimento, liderando o segmento de geração centralizada. Porém, dos 26 estados brasileiros, apenas oito apresentam usinas em operação, o Amapá, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Pernambuco, Bahia, Minas Gerais e São Paulo, como pode ser visto na Fig. 5.



Fig. 5 – Estados com usinas em Operação

Os empreendimentos que estão em operação se encontram em grande maioria nas regiões sudeste e nordeste, o que se justifica por serem as regiões que apresentam altos índices de irradiação solar. Indo ao encontro da literatura de que a irradiação solar é um fator de extrema importância para a viabilidade econômica de um sistema de geração de energia fotovoltaica. A Fig. 6 apresenta o gráfico dos cinco estados com maior número de potência instalada em geração centralizada.

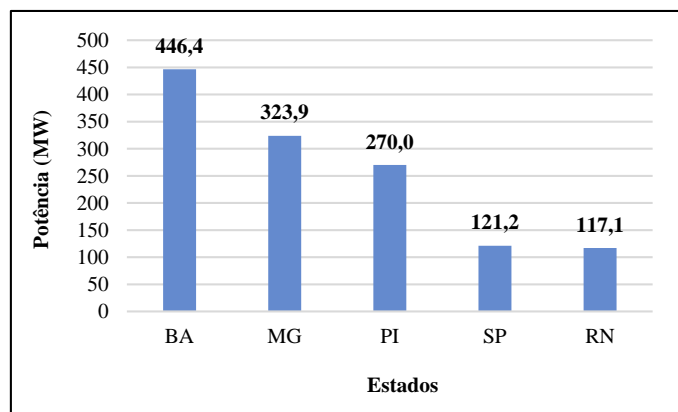


Fig. 6 – Potência de Geração de cada Estado

Conforme a Fig. 6 o estado que apresenta o maior número de potência instalada é a Bahia, seguida de Minas Gerais e Piauí, estados que apresentam fatores climáticos favoráveis na geração de energia através da fonte solar. Além das usinas em operação, os estados com usinas que já foram aprovadas nos leilões e que se encontram em construção podem ser visualizadas na Fig. 7.

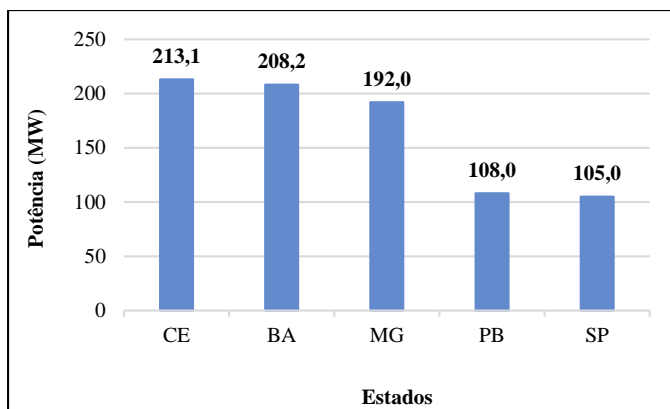


Fig. 7 – Estados com Usinas em Construção

Estas usinas possuem outorga, porém ainda não estão em operação, se encontram na etapa de construção segue o destaque para os estados das regiões com maior índice de irradiação, preponderando que o Ceará o chamado “estado do sol” que não possui nenhuma usina em operação, se encontra no ranking com 213MW de potência outorgada dos empreendimentos que estão na etapa de construção.

No caso das Usinas Solares que receberam outorga, porém a construção ainda não foi iniciada, as regiões se mantiveram, sendo a maioria das regiões sudeste e nordeste. Na Fig.8 é possível objetivar que houve um destaque maior para os estados de Pernambuco e Piauí, que juntos somam 230 MW de potência outorgada, ou seja 44,5% da potência outorgada de usinas que ainda não estão em construção.

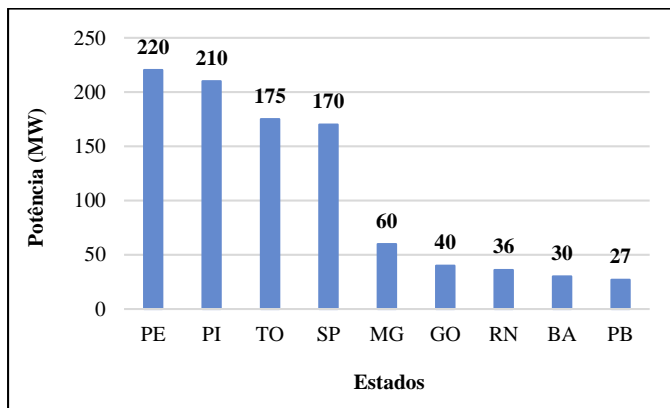


Fig. 8 – Estados com Usinas com Construção não iniciada.

Das usinas que ainda não iniciaram a sua construção, aparece um novo estado, o Tocantins, que vai iniciar a fazer parte dos estados que possuem geração centralizada de energia fotovoltaica.

Com o panorama apresentado da geração centralizada verifica-se o expressivo crescimento da geração solar fotovoltaica no Brasil, que juntamente a geração distribuída somam atualmente 1.603 MW de potência instalada como pode ser observado na Fig. 9. Crescimento que se justifica pelo aumento na oferta de incentivos e linhas de financiamento, além

da queda de preços da tecnologia, que acelerou de tal forma que o país já se destaca no cenário internacional.

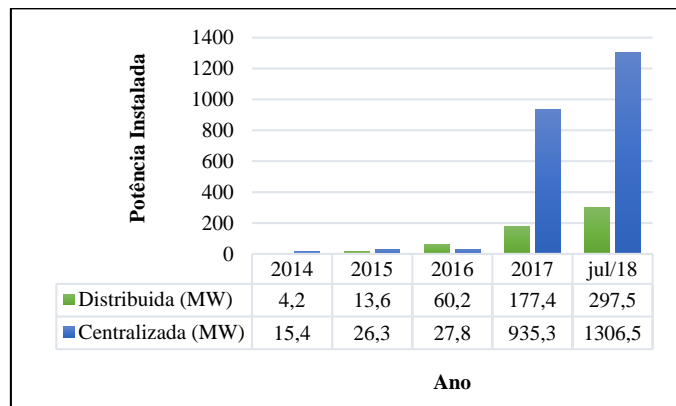


Gráfico 5 – Evolução do Mercado Fotovoltaico

A contratação de Geração Centralizada de parques solares está sendo de grande valia para o setor energético brasileiro, sendo atualmente a forma de aproveitamento desta fonte com maior potência instalada, pois mesmo o assunto principal das notícias sendo com relação a geração distribuída, é na geração centralizada que este aumento está sendo mais significativo para o setor, conforme podemos visualizar no Gráfico 5.

De acordo com a proposta do artigo, evidencia-se nesta seção a importância de uma visão gráfica ampliada do campo de pesquisa escolhido a partir de pesquisas científicas e dados técnicos coletados em fontes seguras. Sabe-se que roteiros comunicam visões, atraem recursos do negócio e do governo, estimulam investigações e monitoram o progresso. De acordo com [5] os *roadmaps* tornam-se o inventário de possibilidades para um determinado campo. Em engenharia, este tipo de processo de mapeamento tem influenciado positivamente as indústrias como apoio ao suporte fundamental de tecnologia.

IV. CONCLUSÃO

A estratégia da geração de conteúdo proposta é disponibilizar uma fonte de consulta lacônica e infográfica, que apresente as informações de forma interativa, objetiva e atualizada com base na coleta de dados. Através dos *roadmaps*, os interessados poderão munir-se de informações necessárias para o desenvolvimento e aprimoramento de suas pesquisas e empreendimentos na geração de energia fotovoltaica. Estas informações promovem o setor, levando informação técnica, que eleva o nível de geração da energia e comercial, que contribui para a competitividade do setor, tornando-o mais forte, já que a informação aprimora processos, produtos e serviços.

Em relação ao *roadmap* técnico-comercial da energia solar fotovoltaica de geração centralizada no Brasil, de julho de 2018, apresentado nesse artigo, os leilões têm fomentado o ingresso de novos agentes no setor, a inserção de novas tecnologias, desempenhando papel importante no Setor Elétrico Brasileiro. O Brasil possui no total de empreendimentos de geração centralizada de larga escala em operação cerca de 1.306.506 kW de potência instalada. E está previsto para os próximos anos uma adição de 1.703,51 kW na capacidade de geração do País,

proveniente dos 29 empreendimentos atualmente em construção e mais 32 em Empreendimentos com Construção não iniciada.

Os fatores analisados mostram que houve grande desenvolvimento tecnológico no setor solar fotovoltaico, que tem levado a reduções de custos e aumento do fator de capacidade das plantas. Podemos observar também uma queda de preço de contratação significativa, um dos principais fatores que proporcionou essa redução foi a queda do preço dos equipamentos. No Leilão de Energia de Reserva realizado no final de 2015, o módulo FV era comercializado internacional, entre ao preço de US\$ 0,56/Wp, enquanto que agora em 2018 o preço está em US\$ 31/Wp, ou seja, uma redução de 44% em dois anos. Queda similar foi verificada nos inversores, com preço variando de US\$ 0,11/Wp para US\$ 0,06/Wp entre 2015 e 2017 [14].

Por fim, considerando as informações apresentadas, ressalta-se que a energia fotovoltaica tem se mostrado como uma alternativa competitiva para a expansão da matriz elétrica brasileira. Sendo de elevada importância aos futuros investidores do setor a compreensão das dinâmicas relatadas no mercado de comercialização de energia solar fotovoltaica. No qual o *Roadmap* apresentou com maior transparência o panorama atual da geração centralizada no Brasil.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao INCTGD, CAPES, CNPq e FAPERGS pelo apoio financeiro recebido para o desenvolvimento desse trabalho. J. Siluk e L. Michels são bolsistas do CNPq – Brasil. O presente trabalho foi realizado com apoio do INCT e suas agências financiadoras (CNPq processo 465640/2014-1, CAPES processo No. 23038.000776/2017-54 e FAPERGS 17/2551-0000517-1) e CAPES-PROEX

REFERENCES

- [1] Nakabayashi, R. K. Microgeração Fotovoltaica no Brasil: Condições Atuais e Perspectivas Futuras. Dissertação (Mestrado em Ciências) Universidade de São Paulo, SP, 107 p. 2014.
- [2] Bloomberg. New Energy Outlook 2015: Long Term projections of the global energy sector. Junho de 2015. Disponível em: <https://www.bnef.com/dataview/new-energy-outlook/index.html>. Acesso em: 13 jul. 2018
- [3] Nascimento, R. L. *Energia Solar no Brasil: Situação e Perspectivas*. Estudo Técnico. Março, 2017.
- [4] VIANA, S. F. A. C. Modelação de Micro-Sistemas Híbridos Fotovoltaicos/Eólicos para Produção Descentralizada. Tese (Doutorado Ciências da Engenharia). 310f, 2010.
- [5] PEREIRA, O. L. S.; GONÇALVES, F. F. Dimensionamento de Inversores para Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica: Estudo de Caso do Sistema de Tubarão- SC. *Revista Brasileira de Energia*, v. 14, n. 1, p. 25-45, 2008.
- [6] EPE, Empresa de Pesquisas Energéticas. Plano decenal de expansão de energia 2024. 2015. Disponível em: <www.epe.gov.br>. Acesso em: 20 jun. 2018.
- [7] Di Serio, L.C.; Vasconcellos, M.A. *Estratégia e competitividade empresarial: inovação e criação de valor*. São Paulo: Saraiva, 364 p. 2009.
- [8] Fu, R.; James, T. L.; Woodhouse, M. Economic Measurements of Polysilicon for the Photovoltaic Industry: Market Competition and Manufacturing Competitiveness. *IEEE Journal of Photovoltaics*, vol. 5, n. 2. 2015.

- [9] C. H. Willyard e C. W. McClees, Motorola's Technology Roadmap Process. *Res. Manage.*, vol. 30, nº 5, p. 13–19, set. 1987.
- [10] N. R. Kostoff e R. R. Schaller. Science and Technology Roadmaps. *IEEE Trans. Eng. Manag.*, vol. 48, nº 2, p. 132–143, 2001.
- [11] D. R. Probert, C. J. P. Farrukh, e R. Phaal. Technology roadmapping—developing a practical approach for linking resources to strategic goals. *Proc. Inst. Mech. Eng. Part B J. Eng. Manuf.*, vol. 217, nº 9, p. 1183–1195, set. 2003.
- [12] M. M. Carvalho, A. Fleury, e A. P. Lopes. An overview of the literature on technology roadmapping (TRM): Contributions and trends. *Technol. Forecast. Soc. Change*, vol. 80, nº 7, p. 1418–1437, set. 2013.
- [13] ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). Banco de Informações de Geração. 2018. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>> Acessado em: 05/07/2018.
- [14] EPE, Empresa de Pesquisas Energéticas Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2017. 2017. Disponível em: <www.epe.gov.br>. Acesso em: 01 jul. 2018.