



DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL FOTOVOLTAICO DA REGIÃO SUL DO BRASIL

Adjeferson Custódio Gomes*¹, Giovanna Buscatti Gonçalves¹, Marcelo Alvinho Sanjuan Dias Ganem¹, Vinícius de Souza Andrade Wanderley¹, Victor Santos Matos¹, Luís Ricardo Cândido Cortes² e Adi Neves Rocha¹

¹DCET – Universidade Estadual de Santa Cruz

²FEELT – Universidade Federal de Uberlândia

Resumo - O objetivo do trabalho a seguir é a determinação do potencial fotovoltaico da região sul do Brasil a partir do levantamento de dados, que foram obtidos por meio do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), e artigos sobre energia fotovoltaica. Para o desenvolvimento da análise, foi realizado um comparativo entre os dados obtidos e a geração de energia fotovoltaica já existente.

Palavras-Chave – ANEEL, Geração Fotovoltaica, INMET, ONS, Potencial.

DETERMINATION OF PHOTOVOLTAIC POTENTIAL IN THE SOUTHERN REGION OF BRAZIL

Abstract - The objective of this work is the determination of the photovoltaic potential of the southern region of Brazil from the data collection, which were obtained through the National Institute of Meteorology (INMET), the National Electric System Operator (ONS), the Agency (ANEEL), and articles about photovoltaic energy. For the development of the analysis, a comparison was made between the obtained data and the generation of existing photovoltaic energy.

Keywords - ANEEL, Photovoltaic Generation, INMET, ONS, Potential.

NOMENCLATURA

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica.
BIG	Banco de Informações de Geração.
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia.
kWp	QuiloWatt-pico
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico.
SIN	Sistema Interligado Nacional.
UFV	Usina Fotovoltaica.

*acgomes@uesc.br

I. INTRODUÇÃO

Atualmente, a principal fonte de geração de energia elétrica no Brasil se caracteriza pelos empreendimentos hidrelétricos. Apesar de serem considerados uma fonte de energia renovável, causam impactos ambientais onde são instalados, mesmo na configuração a fio d'água e resultam em grandes debates no seu processo de construção, tanto no âmbito ambiental quanto social. Assim, tem-se como objetivo prospectar alternativas de menor impacto ambiental e que acompanhe o processo desenvolvimentista da nação, garantindo o atendimento da demanda energética [1].

Uma alternativa popular internacionalmente é a geração fotovoltaica. No Brasil, esta requer um alto custo de implementação, devido aos equipamentos envolvidos no processo de conversão. Porém, aos poucos, a população vem aderindo ao uso, devido à praticidade, retorno financeiro e nível de conscientização ambiental [1].

A conversão da energia solar em elétrica ocorre devido aos efeitos da radiação sobre materiais semicondutores. Os efeitos termoeletrônico e fotovoltaico são os principais: o primeiro é caracterizado pelo surgimento de uma diferença de potencial, provocada pela junção de dois metais, em condições específicas, e, no segundo, os fótons contidos na luz solar são convertidos em energia elétrica, por meio do uso de células solares [1].

O Brasil apresenta condições extremamente favoráveis a este tipo de empreendimento, uma vez que o mesmo se localiza em uma região de baixa latitude, sendo alvo de altos níveis de radiação solar. Entretanto, no que tange ao custo de investimento, sua adesão fica dependente da análise de eficiência daquele gerador no lugar a ser instalado, pontuada por dados como geografia do local, número de horas de radiação, topografia e vegetação, influência de vento, entre outros [2].

Neste trabalho é apresentada uma análise do potencial de geração fotovoltaica da região Sul do Brasil, utilizando dados de alguns empreendimentos de geração cadastrados no site da ANEEL, estabelecendo uma comparação com dados de boletins mensais de geração disponíveis no site da ONS e dados de insolação mensais encontrados no banco de dados do INMET. Buscou-se comparar dados por estado, devido à

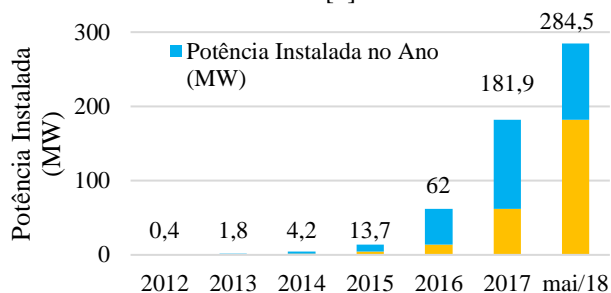
limitação de informações encontrados, mas de forma a se obter resultado mais precisos.

II. LEVANTAMENTO DE DADOS

A. Empreendimentos de geração

Dados do BIG da ANEEL informam que, atualmente no Brasil, existem cerca de 2.103.241 kW fotovoltaicos em operação, o que representa aproximadamente 1,27% da matriz elétrica brasileira, estando prevista uma adição de 810.668 kW para os próximos anos [3]. Na Figura 1, tem-se um gráfico de evolução da potência instalada de geração solar fotovoltaica no Brasil durante os últimos anos.

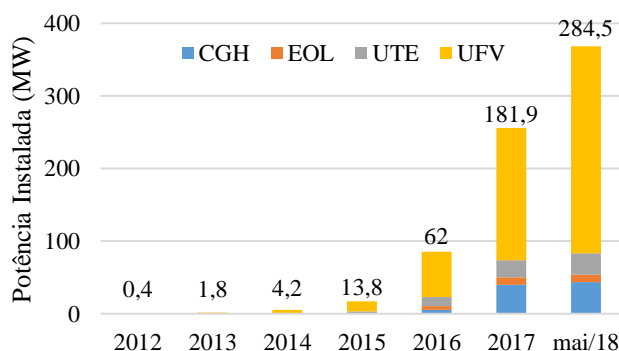
Figura 1 - Potência instalada (MW) de geração fotovoltaica no Brasil [4].



Já a Figura 2, apresenta a potência instalada de micro e minigeração distribuída no Brasil desde 2012 até maio de 2018, classificada por tipo de fonte.

Verifica-se que a fotovoltaica foi a que mais cresceu dentre as exibidas. De 2016 a 2017, a potência instalada quase triplicou no que tange à mesma. Vale ressaltar ainda que, comparada às demais fontes, a solar é aquela que apresenta o maior ritmo de crescimento, apresentando os maiores níveis de aumento da potência instalada, apesar de ainda representar uma parcela pequena de todo o suprimento energético do país.

Figura 2 - Evolução da potência instalada (MW) em microgeração e minigeração distribuída por tipo de fonte [4].



Na região Sul, já existem em operação alguns empreendimentos de geração fotovoltaica. A partir da pesquisa realizada, constatou-se, nos boletins de geração do mês de Julho de 2018, disponibilizados pela ONS [5, 6], que dados de microgeração e minigeração distribuída não são

contemplados pelo órgão e que os empreendimentos fotovoltaicos da região são categorizados na modalidade de operação Tipo III.

São incluídas no Tipo III:

- Usinas conectadas fora da rede básica, que não causam impactos na operação eletroenergética do SIN;
- Empreendimentos de autoprodução conectados na rede básica, cuja demanda seja permanentemente maior que a geração;

Obs.: Usinas classificadas na modalidade de operação Tipo III não tem relacionamentos operacionais com o ONS [5].

No site da ANEEL [7], foram encontrados 9 empreendimentos de geração na região sul, como mostra a Tabela 1, todas em operação, os quais, juntos, totalizam cerca de 4,1 MW de potência.

Além dos empreendimentos já citados, na cidade de Boa Vista das Missões, a 400 km de Porto Alegre, foi instalada a primeira usina de produção de energia solar do estado do Rio Grande do Sul, Figura 3. As características atmosféricas da região propiciam a não acumulação de nuvens, além de apresentar relevo de alta altitude, proporcionando condições adequadas para este tipo de instalação. Possui apenas equipamentos brasileiros, foi construída em 7 meses, e supre a demanda de 300 famílias da região, contando com cerca de 1000 placas solares em 25 painéis, com capacidade de produção média de 257 kWp de potência [8].

Figura 3 - Primeira usina solar do Rio Grande do Sul.



A usina atua em ciclo combinado com a Hidrelétrica Carlos Bevilacqua, de Seberi (RS), de forma que, no verão, com a intensificação da evaporação de água nos reservatórios e a utilização de parte da água para irrigação, ela atua compensando e mantendo a demanda por energia elétrica [9].

Em Tubarão, Santa Catarina, há um outro empreendimento denominado Nova Aurora, o qual foi possível a partir de uma parceria da Tracbel com a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Instalado próximo do Complexo Termelétrico Jorge Lacerda [10] atua com 3MW de potência instalada, tal que a energia elétrica é gerada por 19.424 painéis do projeto Cidade Azul, instalados em uma área de 10 hectares [11].

Tabela 1 - Empreendimentos da ANEEL com CEG (Código Único de Empreendimentos de Geração.)

CEG	Nome	Potência	Proprietário	Município
UFV.RS.RS. 037440-7.01	Ativa Solar	2,25 kW	ATIVA ELETRICA COMERCIAL LTDA - ME (07.432.425/0001-19)	Porto Vera Cruz (RS), Santa Cruz do Sul (RS)
UFV.RS.PR. 031622-9.01	Cobertura Estacionamento P1 - Renault	19,60 kW	RENAULT DO BRASIL S.A (00.913.443/0001-73)	São José dos Pinhais (PR)
UFV.RS.RS. 037610-8.01	Eduardo Daltoe de Freitas	3,08 kW	Eduardo Daltoe de Freitas (964.838.570- 04)	Sapucaia do Sul (RS)
UFV.RS.RS. 037126-2.01	Padaria Pritsch	44,10 kW	PADARIA PRITSCH LTDA. - EPP (88.194.006/0001-98)	Santa Cruz do Sul (RS)
UFV.RS.PR. 037131-9.01	Maxim Engenharia Elétrica	2,00 kW	CARLOS VINICIUS DIAS - INSTALACOES ELETRICAS (17.876.691/0001-94)	Sertanópolis (PR)
UFV.RS.SC. 031635-0.01	MEGAWATT SOLAR	930,00 kW	ELETROSUL CENTRAIS ELÉTRICAS S/A (00.073.957/0001-68)	Florianópolis (SC)
UFV.RS.SC. 031430-7.01	Nova Aurora	3.068,23 kW	ENGIE BRASIL ENERGIA S.A. (02.474.103/0001-19)	Tubarão (SC)
UFV.RS.SC. 030978-8.01	Silva Neto I	1,70 kW	João Bento da Silva Neto (060.591.077- 45)	Florianópolis (SC)
UFV.RS.PR. 031167-7.01	Volpato	0,46 kW	Guilherme Volpato Melo (055.314.239- 93)	Curitiba (PR)

B. Estações Meteorológicas

Foram coletados dados meteorológicos disponibilizados no site do INMET [12], referentes a 23 estações meteorológicas da região. As cidades com maior incidência de insolação apresentada são Pelotas, Maringá, Londrina, Caxias do Sul, Lagoa Vermelha, Torres e São Luiz Gonzaga. Poder-se-ia realizar um estudo de viabilidade para instalação de empreendimentos de geração de energia elétrica fotovoltaica nesses locais.

Devido à vasta extensão territorial do Brasil, cada região acaba por apresentar características climáticas distintas, o que afeta os índices de precipitação e de temperatura, características estas que influenciam diretamente no aproveitamento do recurso solar. A

Figura 4 apresenta um esquemático o qual caracteriza a influência do clima na produção, distribuição e uso da energia. Assim, consultou-se o Atlas de Energia Elétrica [1] para fins de obtenção de referenciais de potencial,

Figura 5, e de irradiação,

Figura 6.

As regiões Nordeste, Centro-Oeste e parte do Sudeste apresentam os maiores rendimentos médios anuais, conforme pode ser constatado a partir da

Figura 5, e acabam por concentrar boa parte dos empreendimentos de geração solar fotovoltaica centralizada do país.

Figura 5, mostra ainda, o rendimento energético anual máximo (medido em kWh de energia elétrica gerada por ano para cada kWp de potência fotovoltaica instalada) em todo o território nacional, incluindo dados de geração centralizada e distribuída. É colocado em ênfase a concentração populacional, simbolizada através dos círculos azuis no mapa.

Com isso, estabelece-se no Atlas [13] um mapa síntese de irradiação solar, categorizado por região. Observa-se que a região Sul possui baixos índices quando comparada às regiões Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste, mas ainda apresenta níveis maiores que a região Norte.

Figura 4 - Esquema da influência do clima sobre a produção de energia, sua distribuição e uso [13].

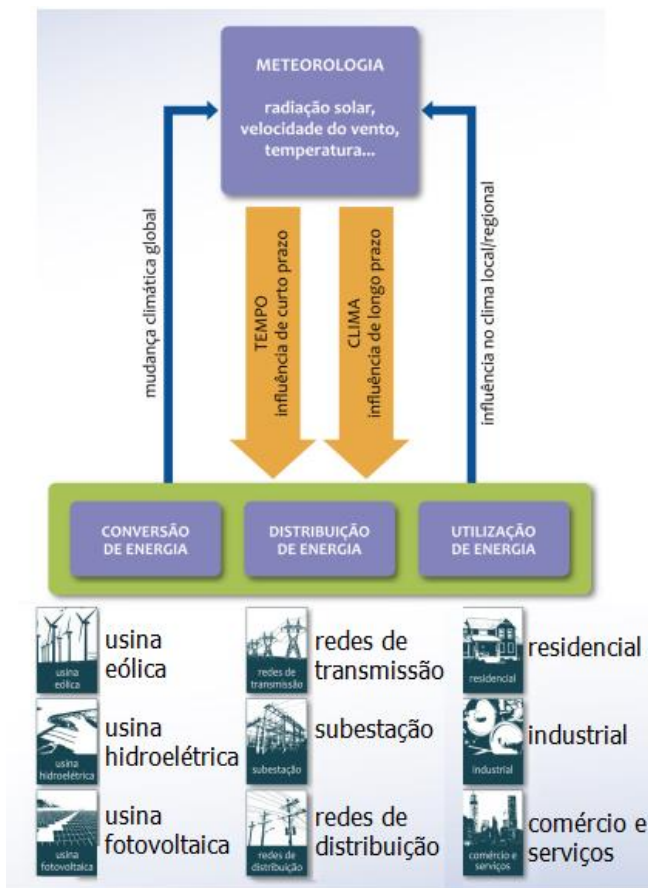


Figura 5 - Mapa do potencial de geração solar fotovoltaica em termos do rendimento energético anual para todo o Brasil, admitindo uma taxa de desempenho de 80% para geradores fotovoltaicos fixos e distribuição da população [13].

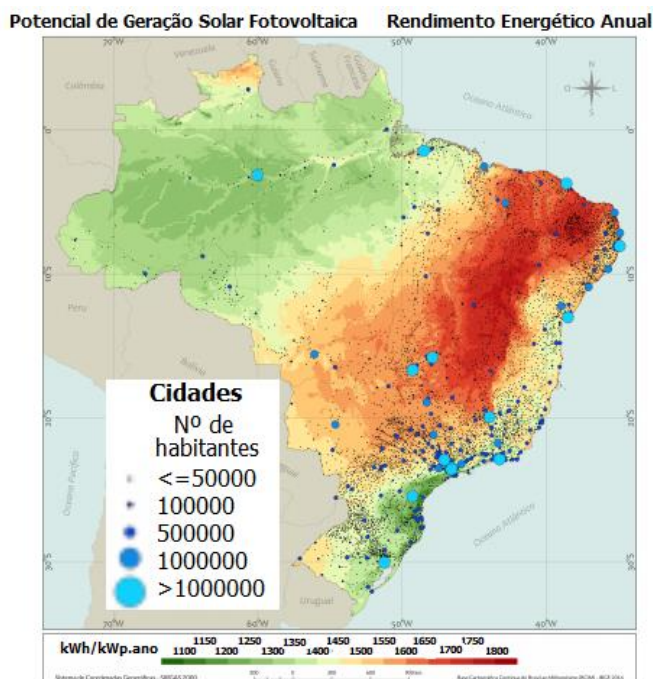
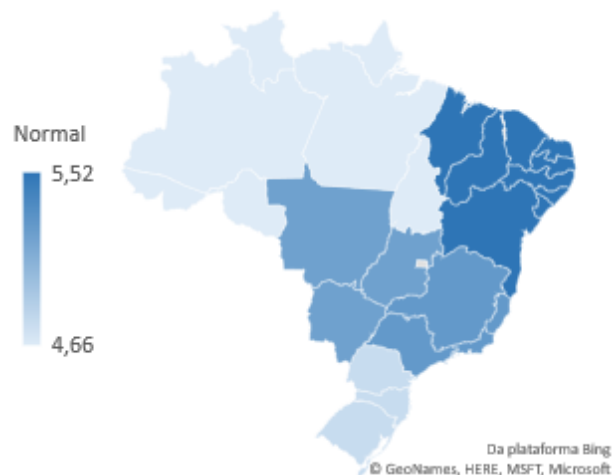


Figura 6 - Síntese dos níveis de irradiação no plano inclinado por região [13].



III. ANÁLISE DE POTENCIAL

Mesmo sendo a menor do país, a região sul é a segunda em consumo e campeã em geração por fontes renováveis, o que corresponde a 91,6% da energia total gerada, onde desta parcela 87% provém de fontes hidráulicas e menos de 1% de geração fotovoltaica [14].

Como mostra a

Figura 6 (gerada a partir dos dados da Tabela 2), as regiões Norte e Sul são as que possuem os menores potenciais de geração fotovoltaica no país. Entretanto, tal constatação é baseada meramente nos índices de irradiação solar aferidos na superfície e em uma comparação com os demais índices ao longo Brasil.

Por outro lado, a análise das informações providas pela Figura 7 mostra que a região Sul é uma das que possui o maior número de unidades consumidoras com geração fotovoltaica distribuída por município, o que se justifica pela alta densidade populacional na mesma.

No que tange à potência instalada por empreendimentos centralizados, utilizando o boletim de geração mensal da ONS disposto na Tabela 3, verifica-se que a região Sul possuía em Julho/2018 uma potência instalada de 90,32 MW, sendo todos do tipo III. Isso corresponde a 5,14% de toda potência instalada no país e a aproximadamente 20% da potência instalada no país proveniente dos empreendimentos do tipo III. Desta forma, a região Sul está somente a frente da região Norte em termos de potência.

Porém, mesmo tendo uma incidência solar de plano inclinado menor que as demais regiões, como é dado pela

Figura 6, o valor de 4,77 kW/m de média para a região Sul ainda é bastante elevado se comparado a diversos países que estão entre os líderes em geração fotovoltaica, tal como a Alemanha, conforme verificado na Figura 8.

Tabela 2 - Tabela de dados de Irradiação no Plano Inclinado.

Região	Média de irradiação no plano inclinado (kW/m ²)	
	Diária	Anual
Nordeste	5,52	2015
Sudeste	5,26	1918
Centro-Oeste	5,20	1900
Norte	4,66	1701
Sul	4,77	1743

A Tabela 2 traz um valor médio anual de irradiação no plano inclinado de 1743 kW/m² para os estados componentes da região Sul, valor este superior aos máximos registrados na Alemanha (Figura 8), os quais estão por volta dos 1300 kWh/m².

Figura 7 - Média Anual do total Diário de irradiação solar no plano Inclinado e distribuição de unidades consumidoras com geração fotovoltaica por município [15].

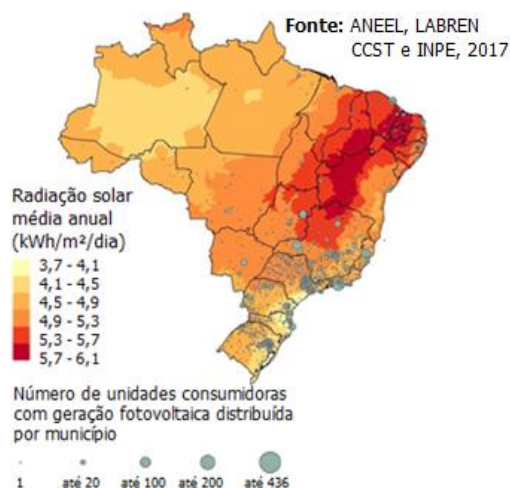


Tabela 3 - Potência instalada de usinas solares fotovoltaicas em operação comercial por Subsistema.

Subsist.	Potência instalada (MW)					Total
	I	II-B	Conj.	Total ONS	III	
N	0,00	0,00	0,00	0,00	16,93	16,93
NE	0,00	30,00	719,40	729,40	160,54	909,94
S	0,00	0,00	0,00	0,00	90,32	90,32
SE/CO	0,00	0,00	441,00	441,00	174,88	615,88
SIN	0,00	30,00	1.160,40	1.190,40	442,67	1633,07

Segundo o diretor da Aneel, André Pepitone, o Brasil possui uma grande vantagem quando comparado com países europeus, por possuir um índice de irradiação entre 1500 e 2400 kWh/m²/ano. Refere-se, ainda, ao pior índice que é visto no Paraná, com irradiação de 1500 kWh/m²/ano e que corresponde a um valor de 1,2 a 1,6 vezes maior do que os índices da Alemanha (Figura 8, por exemplo, que varia de 900 a 1250 kWh/m²/ano) [17].

Figura 8 - Irradiação média da Alemanha [kWh/m²] [19].



O potencial fotovoltaico da região Sul pode ser analisado utilizando como referência os países europeus, uma vez que os mesmos possuem características climáticas similares às apresentadas pela região ao longo do ano. Além disso, conforme Tabela 4, Reino Unido e Alemanha são líderes mundiais em termos de geração solar, o que torna tal comparação pertinente, pois tal feito fora alcançado apesar de possuírem características climáticas menos propícias à geração (quando comparadas com o Brasil) e de terem uma extensão territorial muito inferior.

Para critério de comparação, a Alemanha possui uma potência instalada de 42 GW, dos quais 1,8 GW foram instalados só em 2017. Com tais números, conseguiu gerar no primeiro semestre de 2018 um total de 21 bilhões de kWh, com 13,4% das placas fotovoltaicas em operação no mundo.

A partir do projeto Energiewende, o governo alemão oferece auxílio para quem instala as placas solares e acaba por estimular a população a investir na instalação de placas, conscientizando-se da necessidade de reduzir as emissões de gases que prejudiquem o planeta [20]. A energia gerada supre a demanda constante de energia, o que é notável se tratando de um país com elevado nível de industrialização e alta densidade populacional (um dos mais populosos da Europa).

Tabela 4 - Top 10 dos principais países para instalações e capacidade instalada total em 2017 [16].

Instalação - 2017		Total instalado - 2017	
1	China 53 GW	1	China 131 GW
2	EUA 10,6 GW	2	EUA 51 GW
3	Índia 9,1 GW	3	Japão 49 GW
4	Japão 7 GW	4	Alemanha 42 GW
5	Turquia 2,6 GW	5	Itália 19,7 GW
6	Alemanha 1,8 GW	6	Índia 18,3 GW
7	Austrália 1,25 GW	7	Reino Unido 12,7 GW
8	Coreia 1,2 GW	8	França 8 GW
9	Reino Unido 0,9 GW	9	Austrália 7,2 GW
10	Brasil 0,9 GW	10	Espanha 5,6 GW

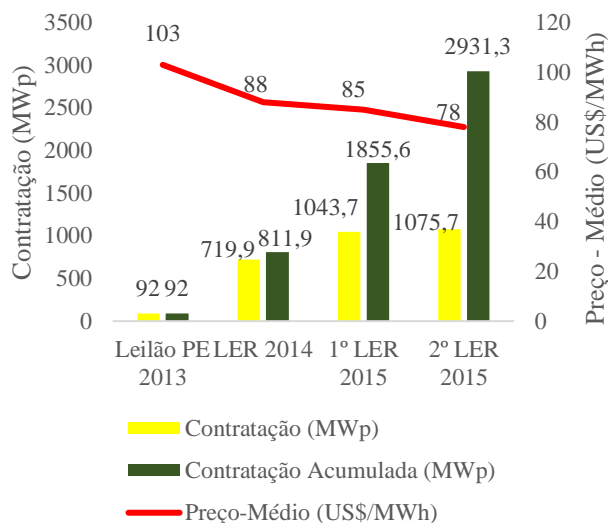
Dessa forma, as limitações para se estabelecer uma geração significativa de energia proveniente de fonte fotovoltaica ainda se encontram nos poucos incentivos da política pública,

investimentos e maiores tecnologias produzidas em solo brasileiro.

Analisando a viabilidade de geração fotovoltaica centralizada, a região Sul apresenta grande potencial para esse tipo de geração, pois possui menores distâncias dos grandes centros de consumo, o que acarreta menores perdas durante a transmissão. Além disso, possui a maior disponibilidade de pontos de acesso a rede de transmissão sem a necessidade de criação de novas linhas [13]. Todas estas vantagens citadas surgem como incentivos, tanto no que diz respeito a geração distribuída quanto na centralizada, sendo a última ainda não recorrente por falta de investimentos e um custo considerado elevado.

Entretanto, conforme evidenciado na Figura 9, a potência gerada via aproveitamento solar vem gradativamente se tornando mais participativa dos leilões de energia, e se preço-médio tem decaído continuamente, evento este que serve de estímulo a investimentos no setor.

Figura 9 - Evolução da Fonte Solar Fotovoltaica em Leilões.



IV. CONCLUSÕES

A energia proveniente de fontes de geração fotovoltaica ainda não é dominante no cenário brasileiro, apesar de apresentar um grande potencial de exploração. Isso é justificado pelo histórico de programas de investimentos em energia no país. O primeiro leilão que incluiu a área de geração fotovoltaica só foi realizado em 2014, o que deixa o país em torno de 15 anos atrasado em relação a outros países que investem na tecnologia [17].

Além do atraso em investimentos públicos, tem-se o fator custo de implementação. As placas solares já possuem isenção de IPI, porém peças complementares necessárias, como medidores, inversores, ainda tem em seu valor o imposto aplicado, além da possibilidade de revisão dos valores de impostos sobre importação e PIS/COFINS [21].

A região sul, devido a sua grande densidade populacional, vem apresentando grande crescimento na geração distribuída, de forma que o seu potencial já é utilizado em uma escala considerável, mesmo com índices de irradiação baixos,

comparados ao resto do país. Com maiores investimentos e incentivos governamentais, pode ocorrer um crescimento exponencial desses empreendimentos, considerando que a taxa de adesão da população em relação ao uso de fontes renováveis é notável.

V. REFERÊNCIAS

- [1] ANEEL. *Atlas de Energia Elétrica: 3 - Energia Solar*. Acedido em 25 de Setembro de 2018, em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/download.htm>
- [2] M. J. R. S. Gardenio Diogo Pimentel da Silva. "Análise de variáveis de projeto de sistema solar fotovoltaico utilizando o modelo SAM: Uma comparação entre Belém, Fortaleza e Brasília 1". *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, vol. 5, pp. 297-312, Março, 2016.
- [3] ANEEL. *Capacidade de Geração do Brasil*. Acedido em 23 de Setembro de 2018, em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>
- [4] R. L. Sauaia, "Geração Distribuída Solar Fotovoltaica: Benefícios Líquidos para o Brasil," presented at the Seminário Internacional de Micro e Minigeração Distribuída - ANEEL, Brasília - DF, 2018. Acedido em 26 de Setembro de 2018, em: <http://www.aneel.gov.br/documents/656877/16832773/4++ABSOLAR+GD+Solar+Fotovoltaica.pdf/f0d41ea4-4bba-8cf8-fb02-b864dc83c293>
- [5] ONS, "Boletim Mensal de Geração Solar Fotovoltaica - Julho 2018," ed, 2018.
- [6] ONS, "Boletim Mensal de Geração por Estado - Julho 2018," 2018.
- [7] ANEEL. *Consulta ao cadastro de empreendimentos da ANEEL com os respectivos CEG*. Acedido em 23 de Setembro de 2018, em: http://www.aneel.gov.br/scg/Consulta_Empreendimento.asp
- [8] RSDezoito. *Rio Grande do Sul tem a primeira usina de energia solar*. Acedido em 27 de Setembro de 2018, em: <http://lglsolar.com.br/blog/energia-solar/rio-grande-do-sul-tem-a-primeira-usina-de-energia-solar/>
- [9] A. C. Edevaldo Stacke. *Usina Solar Boa Vista opera em fase de testes*. Acedido em 27 de Setembro de 2018, em: <http://www.creluz.com.br/noticia/usina-solar-boa-vista-opera-em-fase-de-testes>
- [10] BlogSolar. *USINA SOLAR DE 3 MW DA TRACTEBEL É AUTORIZADA A OPERAR EM TESTE*. Acedido em 27 de Setembro de 2018, em: <https://studioequinocio.com.br/usina-solar-de-3-mw-da-tractebel-e-autorizada-a-operar-em-teste/>
- [11] D. CATARINENSE. *Maior usina solar do Brasil entra em funcionamento em Tubarão, no Sul de Santa Catarina*. Acedido em 27 de Setembro de 2018, em: <http://dc.clicrbs.com.br/sc/noticias/noticia/2014/08/maior-usina-solar-do-brasil-entra-em-funcionamento-em-tubarao-no-sul-de-santa-catarina-4580001.html>

- [12] INMET. *BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa*. Acedido em 29 de Setembro de 2018, em:
<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmepep>
- [13] F. R. M. Enio Bueno Pereira, Samuel Luna de Abreu, Ricardo Rütther. *Atlas brasileiro de energia solar*, 2 edição ed. São José dos Campos: INPE, 2017.
- [14] MME, "Matrizes Elétricas Estaduais ", ed, 2015.
- [15] ANEEL, "Atlas de energia elétrica do Brasil ", ed. Brasília, 2002.
- [16] IEA, "2018 SNAPSHOT OF GLOBAL PHOTOVOLTAIC MARKETS," ed.
- [17] C. Rocha. *As dificuldades para a expansão da energia solar no Brasil*. Acedido em 29 de Setembro de 2018, em:
<https://www.nexojournal.com.br/expresso/2018/01/10/As-dificuldades-para-a-expans%C3%A3o-da-energia-solar-no-Brasil>
- [18] DW. *Geração de energia limpa bate recorde na Alemanha*. Acedido em 30 de Setembro de 2018, em:
<https://www.dw.com/pt-br/gera%C3%A7%C3%A3o-de-energia-limpa-bate-recorde-na-alemanha/a-44487540>
- [19] T. W. B. Group, "GLOBAL SOLAR ATLAS ", ed, 2016.
- [20] P. Solar. *Alemanha se tornou líder em energia solar per capita*. Acedido em 30 de Setembro de 2018, em:
<https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/alemanha-se-tornou-lider-em-energia-solar-per-capita.html>
- [21] P. Telles. *O que falta para a energia solar decolar no Brasil*. Acedido em 30 de Setembro de 2018, em:
<https://www.nexojournal.com.br/ensaio/2017/O-que-falta-para-a-energia-solar-decolar-no-Brasil>.