

PANORAMA DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA AMPARADOS PELA REN Nº482/2012 DA ANEEL NO BRASIL

Bruno Sabino Scolari – brunoengutfpr@gmail.com

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil - PPGEC

Jair Urbanetz Junior – urbanetz@utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil – PPGEC e Programa de Pós Graduação em Sistema de Energia - PPGSE

Resumo. Este trabalho apresenta um panorama dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFVCR) amparados pela Resolução Normativa (REN) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) Nº 482/2012 no Brasil. Primeiramente é efetuada uma breve introdução justificando os motivos que levaram ao desenvolvimento deste estudo, seguida pela explanação a respeito da metodologia, procedimentos e critérios adotados no trabalho. É apresentada uma comparação entre a geração fotovoltaica (FV) centralizada e distribuída no território brasileiro. A seguir será efetuada uma análise da expansão temporal e geográfica dos sistemas fotovoltaicos (SFV) de geração distribuída (GD), seguida do estudo da utilização do potencial FV no Brasil. Por último é apresentado o levantamento das características técnicas predominantes dos SFVCR para cada classe de unidade consumidora (UC). Os resultados deste trabalho pretendem ampliar o entendimento de como a expansão dos SFVCR se dá, sendo possível verificar tendências regionais e nacionais, possibilitando direcionar de maneira mais eficaz políticas urbanas, planejamentos energéticos e programas de incentivo a instalação de SFV.

Palavras-chave: Energia Solar Fotovoltaica, Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica, Resolução Normativa ANEEL Nº 482 /2012.

1. INTRODUÇÃO

O ano de 2012 foi um marco importante para a disseminação da Energia Solar Fotovoltaica (FV) no Brasil. A publicação da Resolução Normativa (REN) Nº 482, de 17 de Abril de 2012 pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e sua posterior atualização através REN Nº 687, de 24 de Novembro de 2015 do mesmo órgão estabeleceu as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, além do sistema de compensação de energia elétrica (ANEEL, 2012).

Na prática, essa resolução permitiu que desde os consumidores residenciais de pequeno porte até os consumidores industriais de grande porte pudessem instalar Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica (SFVCR) em suas próprias unidades consumidoras (UC) com reduzida burocracia de homologação. Ficaram estipulados os limites máximos de potência instalada de até 75kW para microgeração e sistemas superiores a 75kW e até 5MW para minigeração. Além disso, a resolução implementou o Sistema de Compensação de Energia Elétrica, no qual a energia elétrica gerada e não consumida pela UC em um dado momento pode ser injetada no sistema de distribuição da concessionária local e posteriormente compensada em momentos em que a UC não esteja gerando energia elétrica através do sistema fotovoltaico (SFV). Estes dois fatores tornaram viável o uso da energia solar FV em larga escala para consumidores de pequeno porte (Scolari *et al.*, 2017).

Em apenas cinco anos da aprovação da REN já pode-se notar a disseminação dos SFVCR de micro e minigeração distribuída nos consumidores residências, comerciais e industriais de pequeno e médio porte. A Tab. 1 e Fig.1 mostram o aumento das instalações de SFVCR amparados pela REN Nº 482 durante estes seis anos.

Tabela 1 – Quantidade e Potência de SFVCR de Micro e Minigeração Distribuída amparados pela REN Nº 482/2012 adicionados por ano. ¹ Até o dia 31 de dezembro de 2017.

Fonte: Compilação de dados dos autores com base na referência ANEEL (2017a).

ANO	Até 2013		2014		2015		2016		2017 ¹		TOTAL ¹	
Classe	Quant.	kW	Quant.	kW	Quant.	kW	Quant.	kW	Quant.	kW	Quant.	kW
Residencial	36	207	206	714	1.149	4.429	4.743	19.601	9.737	46.603	15.871	71.554
Comercial	10	1.093	56	944	209	3.110	986	18.107	1.916	46.978	3.177	70.232
Industrial	3	417	12	133	31	561	130	6.213	274	7.246	450	14.570
Rural	1	27	5	18	16	133	102	672	451	7.232	575	8.082
P. Público	4	55	7	592	23	1.125	64	1.689	134	5.704	232	9.264
Total	54	1.799	286	2.401	1.428	9.458	6.025	46.281	12.512	113.763	20.305	173.703

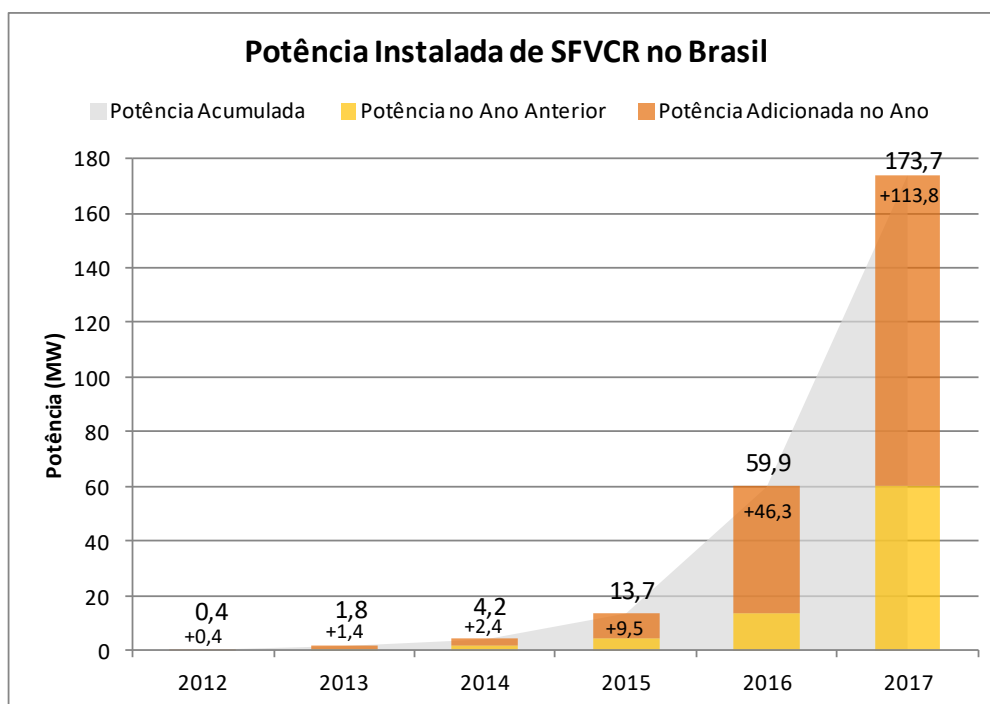


Figura 1- Evolução da Potência Instalada de SFVCR de Micro e Minigeração Distribuída amparadas pela REN Nº 482.
Fonte: Compilação de dados dos autores com base na referência ANEEL (2017a).

O sistema elétrico nacional possui dois bancos de dados relativos ao cadastramento de usinas de geração de energia elétrica: o Banco de Informações de Geração (BIG) que corresponde principalmente a usinas de grande porte com geração centralizada (GC); e o Banco de Dados de Unidades Consumidoras de Micro e Minigeração Distribuída amparadas pela REN Nº482/2012 que corresponde a usinas de até 5MW com geração distribuída (GD). Na Tab. 2 pode-se observar o panorama da capacidade de geração elétrica total comparada com a geração fotovoltaica em suas duas modalidades (geração centralizada e geração distribuída).

Tabela 2 – Quantidade e Potência dos SFVCR com Geração Distribuída e Geração Centralizada.
Fonte: Compilação de dados dos autores com base nas referências ANEEL (2017a) e ANEEL (2017b).

Banco de Dados (Até 31/12/2017)	Todas as Fontes		Somente Fotovoltaico	
	Nº Usinas	Potência Fiscalizada MW	Nº Usinas	Potência Fiscalizada MW
BIG	4.898	157.237	81	935
RENº 482/2012	20.468	245	20.305	174
Total	25.366	157.482	20.386	1.109

Atualmente a geração fotovoltaica em suas duas modalidades representa cerca de 0,70% da matriz energética elétrica brasileira, sendo 0,59% de geração centralizada e 0,11% de micro e minigeração distribuída amparada pela REN Nº 482. Seguindo uma tendência mundial recente (REN21, 2017), registra-se que 84% da geração FV no Brasil é efetuada de forma centralizada, enquanto que os outros 16% são relativos a micro e minigeração distribuída.

Somente nos últimos anos é que a geração FV vem aparecendo com maior ênfase nos estudos de planejamento energético nacional. Segundo projeções da ANEEL (ANEEL, 2017c) até o ano de 2024 devem existir 886.700 usinas fotovoltaicas (UFV) residenciais e comerciais amparadas pela RENº 482, totalizando 3.208MW de potência instalada.

O Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) 2026 prevê para o ano de 2026 cerca de 770 mil UFV de micro e minigeração distribuída amparadas pela REN 482, totalizando 3.330MW, suficientes para atender 0,6% do consumo total nacional (EPE, 2017).

Os estudos do Plano Nacional de Energia (PNE) 2050, elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), preveem para ano de 2050 uma potência instalada de micro e minigeração distribuída amparada pela REN 482 de 78.000MW, que será suficiente para suprir 5,7% do consumo total nacional (EPE, 2015). Este mesmo estudo estima que 18% dos domicílios de 2050 contarão com geração FV, o que suprirá 13% do consumo residencial (MME, 2016).

A Fig. 2 apresenta a projeção de potência instalada de UFV de micro e minigeração distribuída residenciais e comerciais amparadas pela REN Nº 482, segundo as projeções da ANEEL (2017c). Pode-se observar o rápido crescimento da potência instalada, fazendo com que os valores sejam praticamente dobrados a cada dois anos.

Segundo esta previsão, é esperada para o fim do ano de 2017 uma potência instalada de 102MW de micro e minigeração distribuída residenciais e comerciais, entretanto, até o dia 31 de Dezembro de 2017 a potência instalada

apenas de micro e minigeração distribuída residencial e comercial já atingiu a marca de 142MW. Mesmo sendo esta uma previsão elaborada recentemente (maio de 2017), ela não é capaz de estimar com precisão a previsão de potência FV que será instalada nos próximos anos. Isso demonstra que o cenário FV, principalmente no que diz respeito a micro e minigeração distribuída, é muito imprevisível em relação a sua taxa de crescimento; a instalação de um grande SFV ou o lançamento de programa regional ou nacional de incentivo de instalação de SFV pode alterar em poucos meses todo o cenário e previsões existentes até então.

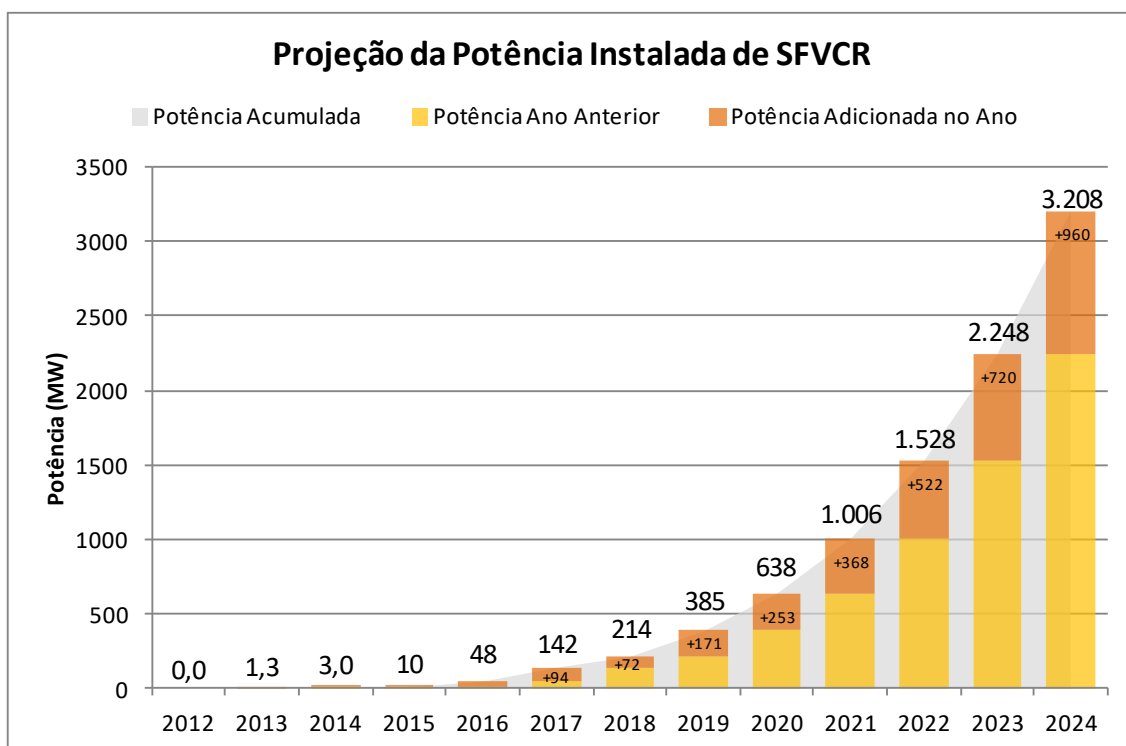


Figura 2- Projeção da Potência Instalada de SFVCR Residenciais e Comerciais de Micro e Minigeração Distribuída amparadas pela REN Nº 482/2012

Fonte: Compilação de dados dos autores. De 2012 até 2017 dados reais segundo ANEEL (2017a). De 2018 até 2024 dados projetados segundo ANEEL (2017c)

Como exemplo de programa de incentivo pode-se citar o “Projeto Bônus Fotovoltaico”, lançado no ano de 2017 pela empresa Centrais Elétricas de Santa Catarina (CELESC), que irá subsidiar a aquisição de 1.000 SFV para consumidores residenciais, totalizando um acréscimo de 2.600kWp na potência FV residencial do Estado. Esse acréscimo representará um aumento de 120% no número de SFVCR residenciais e de 84% na potência SFV residencial instalada no Estado de Santa Catarina, em relação aos dados de 26 de outubro de 2017.

Este tipo de programa de incentivo lançado em várias regiões do país, aliado à gradual redução dos custos de implantação de SFVCR e incertezas em relação aos impostos e valores de tarifa de energia elétrica ao longo do tempo faz com que a quantidade e potência FV instalada nas regiões sofram grandes variações em um pequeno intervalo de tempo, nem sempre sendo possível prever ou determinar os motivos específicos.

2. OBJETIVOS

Para que essa expansão seja melhor compreendida e aproveitada em seus aspectos técnicos, urbanos e sociais, se faz necessário conhecer as características usuais destes SFV sobre estes diversos aspectos.

O conjunto de análises em um determinado local efetuado sobre diferentes aspectos e perspectivas ampliará o entendimento de como essa expansão se dá, sendo possível verificar tendências regionais e nacionais, possibilitando direcionar de maneira mais eficaz políticas urbanas, planejamentos energéticos, programas de incentivo à instalação de SFV, etc.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é apresentar um panorama de todos os SFVCR de micro e minigeração distribuída amparados pela REN Nº 482/2012 instalados no Brasil. Primeiramente é apresentada uma comparação entre a geração fotovoltaica (FV) centralizada e distribuída no território brasileiro. A seguir será efetuada uma análise da expansão temporal geográfica dos SFV de geração distribuída, distribuindo-os segundo as unidades federativas (UF) do Brasil, seguida do estudo da utilização do potencial fotovoltaico (FV) no Brasil, sendo possível observar se os locais de maior potência FV instalada correspondem aos locais de maior potencial de geração. Por último é apresentado o levantamento das características técnicas predominantes para cada classe de UC, levantando-se as informações de

quantidade de sistemas instalados, potência, quantidade de módulos, área total ocupada, potência média dos módulos e eficiência média dos módulos.

Este trabalho apresenta os resultados parciais de um estudo em desenvolvimento que propiciará uma visão completa da caracterização e distribuição geográfica dos SFVCR instalados no Brasil, avaliada por diferentes aspectos, como indicadores socioeconômicos, características técnicas, níveis de irradiação solar, aspectos urbanos da região, entre outros.

3. METODOLOGIA, PROCEDIMENTOS E CRITÉRIOS ADOTADOS

Para que o objetivo deste trabalho fosse alcançado foi utilizado o banco de dados (ANEEL, 2017a) disponibilizado pela ANEEL com o registro de todas as UC's que possuem micro e minigeração distribuída amparadas pela REN Nº482/2012.

Como este banco de dados está em constante atualização, utilizou-se data de 20 de janeiro de 2018 para a obtenção dos dados, não foram consideradas as atualizações no banco de dados após esta data. O recorte temporal foi efetuado com base nos dados de até 31 de dezembro de 2017. É importante destacar também que durante este trabalho, quando forem citados números de UC's com geração FV, estes referem-se somente aos SFV com micro e minigeração distribuída amparados pela REN nº 482/2012 constantes no banco de dados supracitado na data de consulta e dentro do recorte temporal, exceto quando explicitado que o referido dado corresponde a outro banco de dados ou tipo de geração.

Este banco de dados possui diversas informações relevantes sobre os SFV instalados, como: estado, cidade e CEP da instalação, data de conexão à rede, potência, classe do consumidor, subgrupo de faturamento, nome do titular da UC, quantidade de módulos, quantidade de inversores e área ocupada pelo painel.

Como o banco de dados também considera outros tipos de geração distribuída (hidráulica, eólica, solar fotovoltaica e termoeletrônica) ele foi filtrado por "Tipo de Geração" e "data de conexão" sendo selecionadas somente as unidades que possuem "geração solar fotovoltaica" instalada até o dia "31/12/2017". Esta busca resultou em 20.305 sistemas FV de micro e minigeração distribuída instalados no Brasil conforme já demonstrado na Tab. 1. Este resultado foi transferido para uma planilha eletrônica, afim de que os dados pudessem ser tratados com maior flexibilidade. A partir deste ponto foi possível a criação de todas as tabelas e gráficos presentes neste trabalho.

3.1 Elaboração das Imagens da Expansão Temporal e Geográfica

Primeiramente criou-se uma planilha eletrônica com o CEP de todos os SFV de determinado ano, então criou-se um arquivo .CSV (*Comma-Separated Values*) que é compatível com o software de mapeamento Google Earth (Google, 2017). Desta forma o Google Earth cria um marcador para cada CEP listado. O Google Earth não conseguiu geocodificar 1.103 entradas de CEP, o que representa 6,9% do universo de dados. Estes erros ocorreram ou porque o Google Earth não reconhece determinado CEP mesmo estando correto, ou porque o cadastramento do CEP no banco de dados estava errado, sendo que nem mesmo o banco de dados dos Correios conseguiu identifica-los seja por números trocados ou até mesmo por números faltando no banco de dados.

Os marcadores dos SFV foram sobrepostos ao mapa da Irradiação Total Diária no Plano Inclinado na Latitude, disponível na Segunda Edição do Atlas Brasileiro de Energia Solar (PEREIRA *et al*, 2017).

3.2 Determinação do Potencial de Geração Fotovoltaica

Para a determinação do potencial de geração fotovoltaica de cada Unidade da Federação, foi utilizado o valor da "Irradiação Total Anual no Plano Inclinado na Latitude" expressa pela unidade kWh/m².ano. Esta grandeza considera a irradiação solar incidindo em um plano inclinado na latitude do local. Optou-se por utilizar a irradiação no plano inclinado prevendo que os SFV estarão instalados em inclinação próxima a da latitude do local, que corresponde a posição ótima de instalação. Quando este valor se referir à irradiação em uma grande área, como um país ou estado, o valor citado será referente a média da irradiação nesta área.

Para evitar repetições desnecessárias, os dados estarão acompanhados somente da indicação "Irradiação", porém convencionou-se que estes dados se referem à "Irradiação Total Anual no Plano Inclinado na Latitude" como já citado.

Todos os dados de irradiação das UF Brasileiras, assim como os dados de irradiação de outros países foram extraídos da Tese de Doutorado de Tiepolo (2015). A base de dados utilizada por Tiepolo (2015) para determinação das médias de irradiação por UF é relativa à Primeira Edição do Atlas Brasileiro de Energia Solar, de 2006; embora já se tenha dados mais recentes de irradiação na Segunda Edição do referido atlas, ainda não se têm estes dados compilados de forma a indicar a média da irradiação por Unidade da Federação, somente é dada a média por região brasileira, o que tornaria os resultados pouco representativos.

3.3 Caracterização Geral dos SFVCR

A caracterização dos SFVCR baseou-se nas informações disponíveis sobre estes sistemas no banco de dados de UC's com micro e minigeração distribuída (ANEEL, 2017a). Foi efetuada a caracterização de acordo com a classe (residencial, comercial, industrial, rural ou poder público) à qual pertence o sistema. Os dados extraídos do banco de

dados foram: Quantidade de SFVCR, Potência Total, Quantidade de Módulos e Área Ocupada Total. Para complementar a análise, foram calculados os seguintes parâmetros: Potência Média dos SFVCR (Eq. 1), Potência Média dos Módulos (Eq. 2) e Eficiência Média dos Módulos (Eq. 3).

$$Pot. Méd. SFVCR (kW) = \frac{Pot. Total dos SFVCR (kW)}{Quantidade de SFVCR} \quad (1)$$

$$Pot. Méd. Módulos (W) = \frac{Pot. Total dos SFVCR (W)}{Quantidade de Módulos} \quad (2)$$

$$Efic. Méd. Módulos (\%) = \frac{Pot. Total dos SFVCR (W)}{Área Total SFVCR (m^2) \times G_{TOT}} \times 100\% \quad (3)$$

Onde: G_{TOT} é a potência radiante solar total com as componentes direta, difusa e de albedo, recebido em uma unidade de área em uma superfície. O G_{TOT} definido nas condições padrões de ensaio é de $1.000 W/m^2$.

Devido a um erro de cadastramento de informações da área ocupada pelos SFV no banco de dados de UC's com geração distribuída, já relatado no estudo de Scolari *et al.* (2017), os valores das áreas cujo cálculo da eficiência média dos módulos foi superior a 25% ou inferior a 5%, foram corrigidos de modo a apresentar uma eficiência média calculada dos módulos de 15%. Essa medida foi tomada para não comprometer os resultados deste estudo com valores nitidamente incorretos, como é o caso de vários valores de área que resultariam em eficiências superiores a 100%. Foi corrigido o valor de área ocupada de 977 SFV cadastrados. O valor de referência de 15% de eficiência do módulo foi adotado em função da referência Almeida *et al.* (2015).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Comparativo Entre a Geração Fotovoltaica Centralizada e Distribuída

Dentre as fontes renováveis de geração de energia elétrica, a geração FV é a que apresenta o maior potencial e facilidade de ser instalada de forma distribuída. O fato de os consumidores de pequeno e médio porte poderem instalar uma usina FV no telhado de suas residências ou comércios a um custo relativamente acessível, fez com que a geração FV, no início de sua expansão no Brasil e mundo, fosse caracterizada como uma fonte de geração de energia elétrica predominantemente distribuída.

No entanto, percebe-se nos últimos anos uma tendência de instalação de grandes UFV, de potência acima dos 500MWp, invertendo o cenário FV mundial e brasileiro. No mundo, desde 2013 já é instalada mais potência FV de forma centralizada do que distribuída, conforme pode-se observar na Fig. 3. No Brasil, até o ano de 2016 havia uma crescente tendência de aumento da GD em relação à GC, como pode-se verificar na Fig. 4. Porém, o ano de 2017 marcou a ruptura deste comportamento, passando a seguir a tendência mundial.

Porém, o fato de a geração FV no Brasil ser 84% centralizada, não exclui o seu caráter de geração distribuída. Existirem 20.305 usinas FV distribuídas pelo Brasil, isso por si só já a caracteriza como uma fonte de energia elétrica distribuída, embora sua maior parcela de potência estar instalada de forma centralizada.

O mesmo ocorre no mundo, independentemente da tendência de centralização da potência FV instalada, o seu caráter de geração distribuída já está consolidado pela quantidade de SFV distribuídos existentes no mundo.

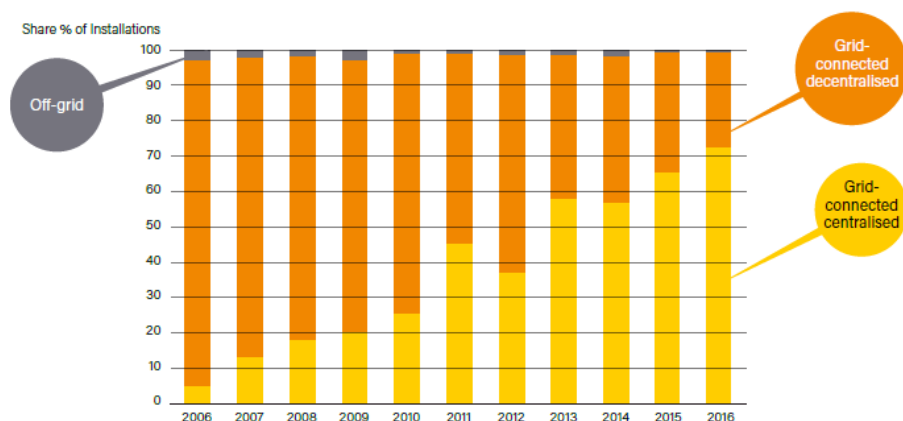


Figura 3- Percentual Mundial da Potência FV Adicionada Anualmente de forma Centralizada e Distribuída
Fonte: REN21 (2017).

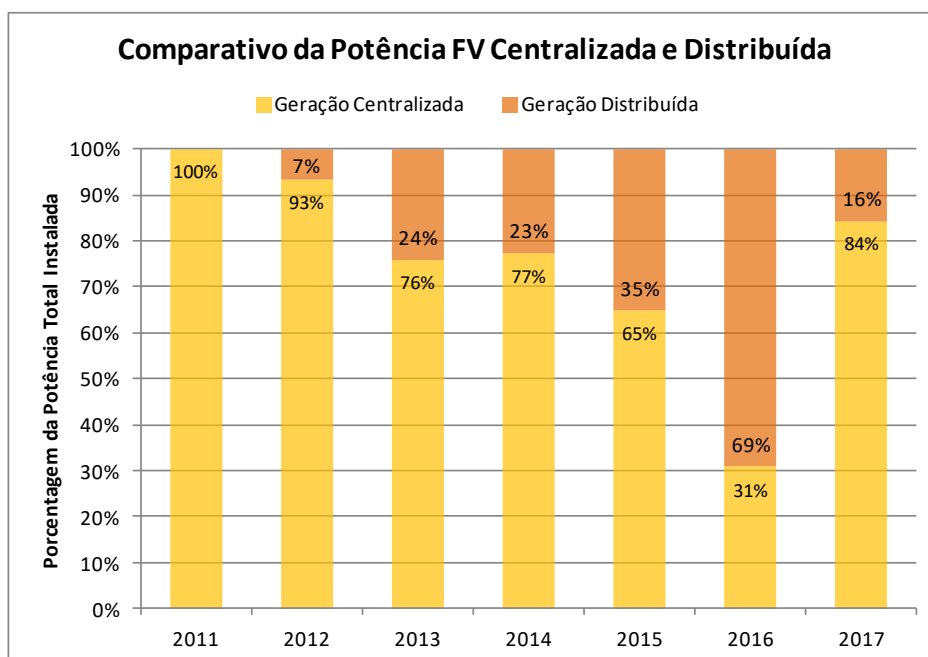


Figura 4- Percentual Brasileiro da Potência FV Total Acumulada Instalada de Forma Centralizada e Distribuída

Fonte: Compilação de dados dos autores com base nas referências ANEEL (2017a) e ANEEL (2017b).

4.2 Análise da Expansão Temporal e Geográfica

A distribuição da potência instalada de SFV de micro e minigeração distribuída amparadas pela REN N° 482 pelas Unidades da Federação encontra-se no gráfico da Fig. 5.

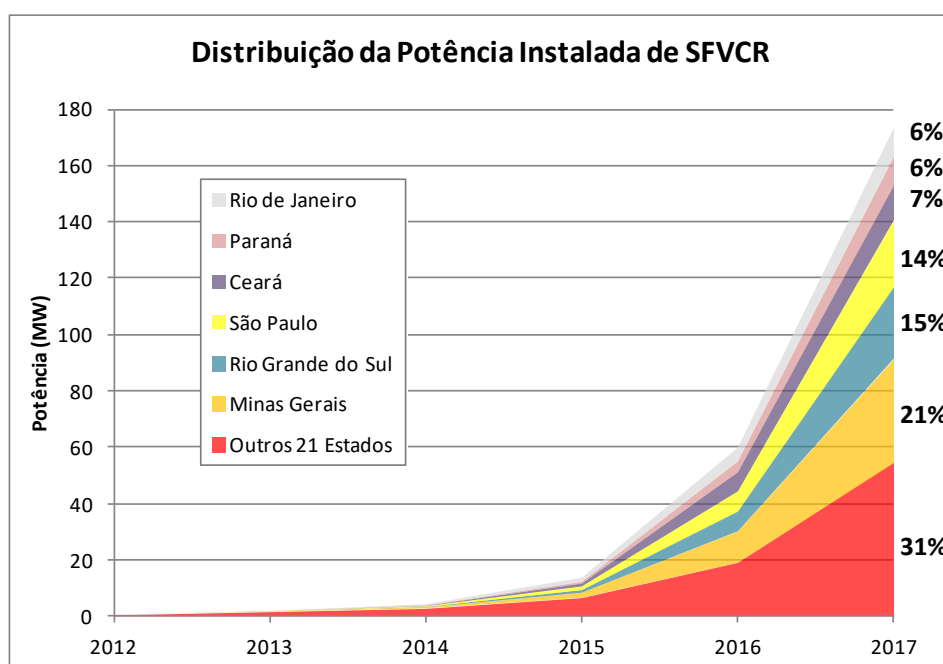


Figura 5- Distribuição Entre as Unidades da Federação da Potência Instalada de SFVCR de Micro e Minigeração Distribuída amparadas pela REN N° 482/2012 até 26 de outubro de 2017.

Fonte: Compilação de dados dos autores com base na referência ANEEL (2017a).

Nota-se que seis estados brasileiros contêm 69% da potência total instalada de micro e minigeração distribuída. Destes seis estados, cinco estão localizados na região sul e sudeste.

O estado do Ceará se destaca sendo o quarto estado em potência FV instalada, mesmo ocupando a sétima posição em número de SFV instalados. Ele possui três dos dez maiores SFVCR instalados no Brasil, possuindo inclusive o maior SFV instalado. O maior sistema corresponde a uma instalação de 2,98MW no município de Aquiraz. A potência deste único sistema corresponde soma das potências dos segundo, terceiro e quarto maiores SFV juntos.

Na Fig. 6 está representada a evolução da distribuição geográfica dos SFVCR de micro e minigeração distribuída ao longo destes seis primeiros anos de resolução 482, sendo possível observar de forma gráfica como se deu a expansão das instalações dos SFVCR no território nacional. Os pontos dos SFV foram sobrepostos ao mapa de Irradiação Total Diária no Plano Inclinado na Latitude, da Segunda Edição do Atlas Brasileiro de Energia Solar (PEREIRA *et al.*, 2017).

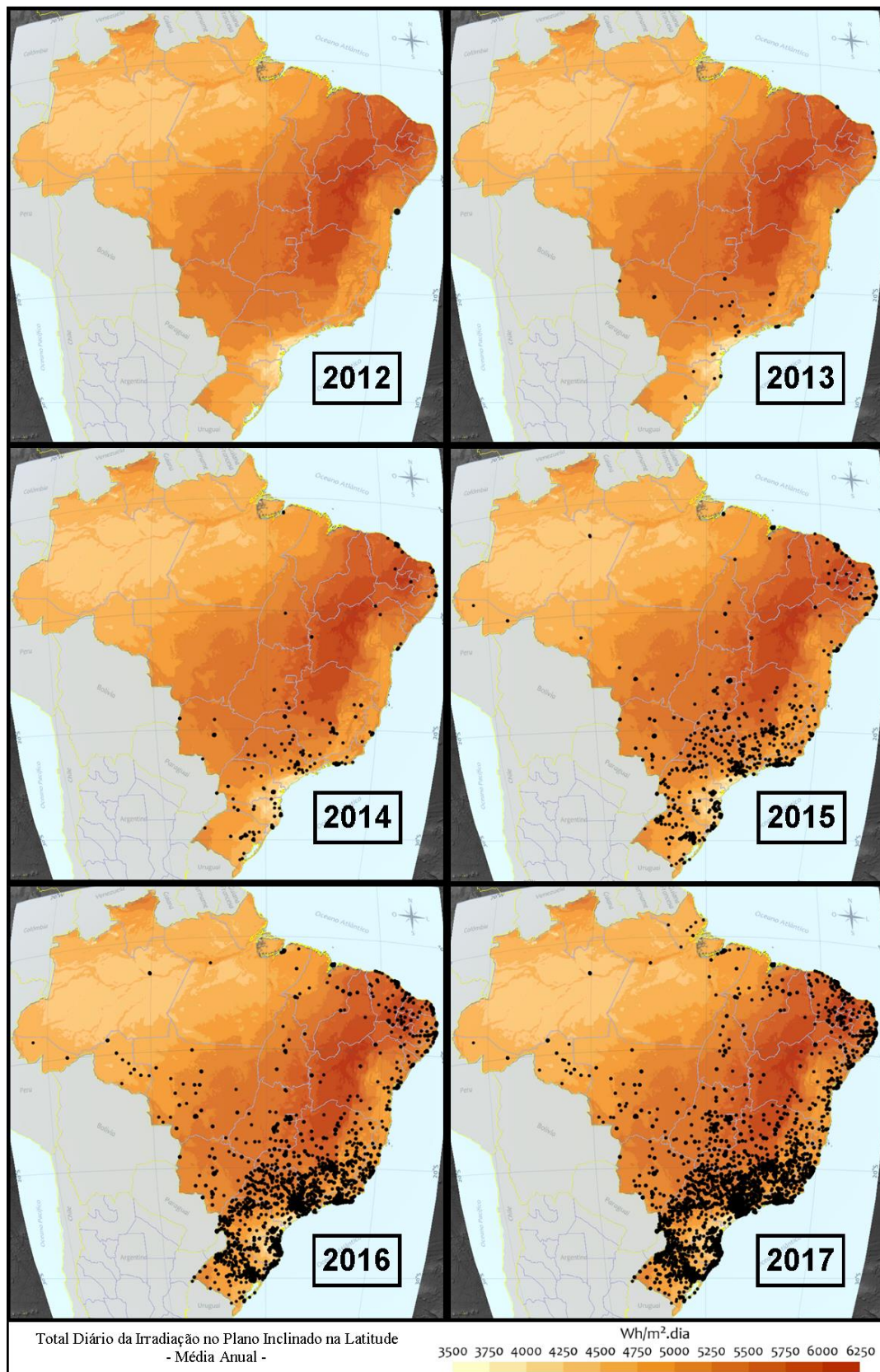


Figura 6- Expansão Temporal e Geográfica dos SFVCR de Micro e Minigeração Distribuída amparados pela REN 482.
Fonte: Compilação de dados dos autores com base na referência ANEEL (2017a) e (PEREIRA *et al.*, 2017).

Pode-se observar o primeiro e único SFV instalado no ano de 2012 amparado pela REN N° 482/2012. Este sistema está instalado no Estádio Governador Roberto Santos (Estádio Pituauçu) na cidade de Salvador na Bahia. O projeto, chamado de Pituauçu Solar foi aprovado pela ANEEL em 2009, fazendo parte do Programa de Eficiência Energética da Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia (COELBA). O investimento total deste primeiro SFV foi de R\$ 5,5 milhões, sendo R\$ 3,8 milhões investidos pela concessionária e R\$ 1,7 milhão pelo Governo do Estado da Bahia. O projeto teve apoio técnico da Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável (GIZ) e da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) (COELBA, 2013).

Verifica-se grande predominância dos SFV nas Regiões Sul e Sudeste, próximos aos grandes centros de carga. Não se percebe visualmente que exista a predominância de instalações nos locais de maior irradiação solar.

4.3 Utilização do Potencial Fotovoltaico no Brasil

Devido a sua extensão territorial, o Brasil apresenta grande variação do potencial de geração fotovoltaica em cada região. Assim, é importante avaliar se os locais onde se concentra a maior potência instalada de SFV correspondem com as regiões de maior potencial de geração fotovoltaica. Para isso foi elaborada na Fig. 7 uma comparação entre o valor médio da irradiação total anual no plano inclinado de cada unidade da federação com a sua potência FV de Micro e Minigeração Distribuída instalada. A título comparativo estão indicados na Fig. 7 os valores de irradiação média no Brasil e na Espanha, que é o país que apresenta o quarto maior valor médio de irradiação entre os países europeus.

Conforme já destacado no item 4.1, pode-se observar que os locais com maior incidência de SFV não são necessariamente os locais com maior potencial de geração FV. Esse comportamento é natural, pois, diferentemente das grandes usinas geração FV centralizadas as quais são instaladas em locais específicos após estudos aprofundados de potencial de geração FV na região, os SFV com geração distribuída estão localizados próximos ao consumidor, independente do potencial de geração da região. Assim, a incidência dos SFV está mais relacionada com o nível de desenvolvimento urbano da região do que com aspectos do potencial de geração fotovoltaica.

O valor de médio de irradiação no Brasil ($2.001 \text{ kWh/m}^2\text{.ano}$) é cerca de 2,7% maior do que o valor de irradiação da Espanha ($1.948 \text{ kWh/m}^2\text{.ano}$), que é o décimo país em potência FV instalada no mundo (REN21, 2017). Vinte das vinte e sete Unidades da Federação apresentam valores de irradiação superiores aos da Espanha. Já em relação à Alemanha ($1.251 \text{ kWh/m}^2\text{.ano}$) que é o terceiro país em potência FV instalada no mundo (REN21, 2017), o Brasil apresenta um valor de irradiação média 60% superior.

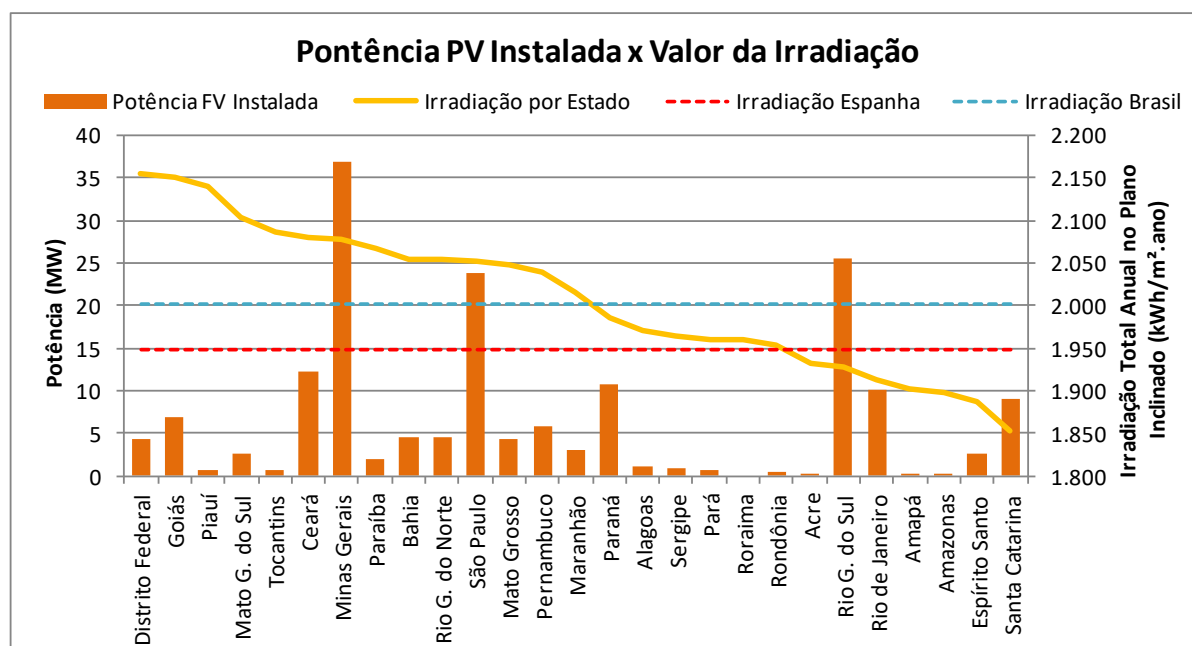


Figura 7- Comparação Entre a Potência de SFVCR de Micro e Minigeração Distribuída e o Valor Médio de Irradiação em cada Unidade da Federação.

Fonte: Compilação de dados dos autores com base nas referências: (ANEEL, 2017a) e (TIEPOLO, 2015).

4.4 Caracterização Geral dos SFVCR no Brasil

O resultado da caracterização dos SFVCR de micro e minigeração distribuída no Brasil está inserido na Tab. 3, com os resultados distribuídos para cada classe de unidade consumidora.

Os SFV instalados em UC residenciais representam 78% da quantidade total de instalações e 41% da potência total instalada, enquanto que os sistemas comerciais e industriais representam juntos 18% da quantidade total de instalações e 49% da potência total instalada. Esta disparidade está relacionada com a potência média dos SFV para

cada tipo de consumidor. Os consumidores residenciais possuem sistemas com potência média da ordem de 4,5kW, enquanto que os consumidores comerciais e industriais possuem SFV com potência média de 22kW e 32kW respectivamente. Essa diferença entre as potências médias é explicada devido a menor demanda energética de uma residência, quando comparada a consumidores comerciais e industriais. A maior disponibilidade de recursos para investimento nos consumidores comerciais e industriais também justifica os SFV de maior potência instalados nestes setores (Scolari *et al.*, 2017).

Tabela 3 – Caracterização Geral dos SFVCR amparados pela REN Nº 482/2012.
Fonte: Compilação de dados dos autores com base na referência ANEEL (2017a).

Classe da UC	Quantidade de SFVCR	Potência Total dos SFVCR (kW)	Quantidade de Módulos	Área Total Ocupada (m ²)	Potência Média dos SFVCR (kW)	Potência Média dos Módulos (W)	Eficiência Média dos Módulos (%)
Residencial	15.871	71.544	278.026	496.129	4,5	257	14,4%
Comercial	3.177	70.232	274.137	497.745	22,1	256	14,1%
Industrial	450	14.570	54.249	100.033	32,4	269	14,6%
Rural	575	8.082	31.005	56.916	14,1	261	14,2%
Poder Público	232	9.264	38.668	67.789	39,9	240	13,7%
Total	20.305	173.703	676.085	1.218.612	8,6	257	14,3%

Utilizando um valor de produtividade típico no Brasil de 1.300 kWh/kWp, conclui-se de forma aproximada que o total anual de energia gerada por todos estes SFV seria da ordem de 226 GWh. A título comparativo, o recorde anual de geração de energia da Usina Hidroelétrica de Itaipu foi de 103.100 GWh em 2016 (ITAIPU, 2017).

Em termos de área ocupada, os 1.218.612 m² ocupados pelos SFV seriam suficientes para cobrir 0,09% dos 1.350km² da represa da Usina Hidroelétrica de Itaipu (ITAIPU, 2017). Calculando o fator geração de energia por unidade de área (kWh/m²), tem-se que os SFV produzem em média 185,3 kWh/m² ao ano, enquanto que a Usina de Itaipu produziu 76,4kWh/m² de área alagada em seu melhor ano. Isso significa que 41,2% da área alagada de Itaipu cobertas com módulos FV seriam suficientes para gerar a mesma quantidade de energia ao ano.

Estudo aprofundado de caracterização técnica dos SFVCR na Cidade de Curitiba (TONIN e URBANETZ Jr, 2016), estudo este que pode ser extrapolado para o Brasil, aponta a predominância de sistemas FV com módulos de Silício Policristalino, que apresentam uma eficiência da ordem de 13% a 16,5% (ALMEIDA *et al.*, 2015). Estes valores vão ao encontro da Eficiência Média dos módulos FV calculada, que é de 14,3%. A Potência Média dos Módulos calculada, que é de 257W, também condiz com os valores comerciais médios dos módulos de Silício Policristalino disponíveis no mercado, que variam em sua maioria de 250W a 300W.

5. CONCLUSÕES

Através do desenvolvimento deste trabalho foi possível identificar como se dá a expansão e quais as características usuais dos SFVCR de micro e minigeração distribuída amparados pela REN Nº 482/2012.

Verificou-se que mesmo a geração FV centralizada representando 84% da potência instalada, a geração FV distribuída possui grande importância no cenário fotovoltaico nacional e mundial. Independentemente do avanço da geração FV centralizada nos próximos anos, a geração FV distribuída já se estabeleceu no cenário energético nacional como o modo mais viável de se efetuar geração distribuída, com previsões de expressivo aumento da potência instalada.

Ao efetuar o mapeamento dos SFV de micro e minigeração distribuída no território nacional não se verificou que eles estejam instalados necessariamente nos locais de maior potencial FV. A incidência dos SFV está mais relacionada com o nível de desenvolvimento urbano da região do que com aspectos do potencial de geração fotovoltaica.

Através da caracterização dos SFV foi possível identificar as diferenças entre as características usuais dos SFV das diferentes classes de unidade consumidora.

Espera-se com este trabalho que a acelerada expansão dos SFVCR de micro e minigeração possa ser compreendida em diversas abordagens e assim, ser melhor aproveitada em seus aspectos técnicos, urbanos e sociais.

REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), 2012. Resolução Normativa nº 482, de 17 de Abril de 2012, Brasília. Disponível em: < <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf> >. Acesso em: 16 out. 2017.
- Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), 2017a. Outorgas e Registros de Geração: Unidades Consumidoras com Geração Distribuída. Disponível em: < <http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/gd.asp> >. Acesso em: 20 jan. 2018.
- Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), 2017b. Banco de Informações de Geração (BIG). Disponível em: < <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm> >. Acesso em: 20 jan. 2018.

- Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), 2017c. Nota Técnica nº 0056/2017-SRD/ANEEL – Atualização das Projeções de Consumidores Residenciais e Comerciais com microgeração solar fotovoltaicos no horizonte 2017-2024, Brasília. Disponível em: < http://www.aneel.gov.br/documents/656827/15234696/Nota+T%C3%A9cnica_0056_PROJE%C3%87%C3%95ES+GD+2017>. Acesso em: 16 out. 2017
- Almeida, E., Rosa, A. C., Dias, F. C. L. S., Braz, K. T. M., Lana, L. T. C., Santo, O. C. E., Sacramento, T. C. B, 2015. Energia Solar Fotovoltaica: Revisão Bibliográfica, Belo Horizonte. Disponível em: < <http://www.fumec.br/revistas/eol/article/download/3574/1911>> . Acesso em: 19 out. 2017.
- Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia (Coelba), 2013. Notícia: Coelba Inaugura Centro de Visitação Sobre Energia Solar no Estádio de Pituaçu. Disponível em: < <http://www.coelba.com.br/Noticias/Pages/Coelba-Inaugura-Centro-de-Visita%C3%A7%C3%A3o-Sobre-Energia-Solar-no-Est%C3%A1dio-de-Pitua%C3%A7u.aspx>> . Acesso em: 18 out. 2017.
- Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2015. Plano Nacional de Energia (PNE) 2050 – Estudos da Demanda de Energia, Brasília. Disponível em: < <http://www.epe.gov.br/Estudos/Documents/DEA%2013-15%20Demanda%20de%20Energia%202050.pdf>> . Acesso em: 16 out. 2017
- Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2017. Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) 2026 – Eficiência Energética e Geração Distribuída, Brasília. Disponível em: < http://www.epe.gov.br/PDE/Documents/Arquivos/PDE2026/Cap9_Texto.pdf> . Acesso em: 16 out. 2017
- GOOGLE, 2017. Programa Google Earth Pro, Versão 7.1.8.3036. Disponível em: < <https://www.google.com/earth/>>. Acesso em: 19 out. 2017.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2010. Resultados Preliminares do Universo do Censo Demográfico 2010. Disponível em: < https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/resultados_preliminares/preliminar_tab_uf_zip.shtm> . Acesso em: 19 out. 2017.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2017. Brasil em Síntese. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/>> . Acesso em: 19 out. 2017.
- Pereira, E. B., Martins, F. R., Gonçalves, A. R., Costa, R. S., Lima, F. J. L., Rüther, R., Abreu, S. L., Tiepolo, G. M., Pereira, S. V., Souza, J. G., 2017. Atlas Brasileiro de Energia Solar – 2ª Edição, São José dos Campos. Disponível em < http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/Atlas_Brasileiro_Energia_Solar_2a_Edicao.pdf> . Acessado em: 28 out. 2017.
- Itaipu, 2017. Perguntas Frequentes. Disponível em: < <https://www.itaipu.gov.br/sala-de-imprensa/perguntas-frequentes>> . Acesso em: 26 out. 2017.
- Ministério de Minas e Energia (MME), 2016. Energia Solar no Brasil e no Mundo – Ano de Referência 2015, Brasília. Disponível em: < <http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/17+-+Energia+Solar+-+Brasil+e+Mundo+-+ano+ref.+2015+%28PDF%29>> . Acesso em: 16 out. 2017
- Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21), 2017. Renewable 2017 – Global Status Report. Disponível em < http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2017/06/17-8399_GSR_2017_Full_Report_0621_Opt.pdf>. Acessado em: 25 out. 2017.
- Scolari, B. S., Tonolo, E. A., Pan, R. C. Y., Urbanetz Jr, J., 2017. Mapeamento e Caracterização Geral dos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica na Cidade de Curitiba: Resultados Preliminares, Conferência Internacional de Energias Inteligentes – Smat Energy CIEI&EXPO 2017, Curitiba.
- Tiepolo, G. M., 2015. Estudo do potencial de geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos conectados à rede no estado do Paraná, Tese (doutorado), Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas - PPGEPS, Curitiba.
- Tonin, F. S., Urbanetz Jr, J., 2016. Caracterização de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica - SFVCR, Induscon, Curitiba.

PANORAMA OF GRID CONNECTED PHOTOVOLTAIC SYSTEMS SUPPORTED BY REN N° 482/2012 OF ANEEL IN BRAZIL

Abstract. *This article presents an overview of grid connected photovoltaic systems supported by the Normative Resolution of the National Electric Energy Agency No. 482/2012 in Brazil. Firstly, a brief introduction was made justifying the reasons that led to the development of this study, followed by an explanation about the methodology, procedures and criteria adopted in the study. A comparison between centralized and distributed photovoltaic (PV) generation in the Brazilian territory is presented. Next, is carried out an analysis of the temporal and geographic expansion of distributed generation photovoltaic systems (PVS), followed by a study of the use of PV potential in Brazil. Finally, it is presented the survey of the predominant technical characteristics of the SFVCR for each class of consumer unit. The results of this study intend to broaden the understanding of how the expansion of the SFVCR takes place, being possible to verify regional and national trends, making it possible to more effectively target urban policies, energy planning and incentive programs to install SFV.*

Key words: *Photovoltaic Solar Energy, Grid Connected Photovoltaic System, Normative Resolution ANEEL N° 482/2012.*