



EXPANSÃO DA GERAÇÃO

PROJETOS FOTOVOLTAICOS NOS LEILÕES DE ENERGIA

Análises dos leilões A-4 e A-6 de 2019

Janeiro de 2020



GOVERNO FEDERAL
MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
MME/SPE

Ministério de Minas e Energia

Ministro

Bento Albuquerque

Secretário-Executivo do MME

Marisete Fátima Dadald Pereira

Secretário de Planejamento e Desenvolvimento Energético

Reive Barros

Secretário de Energia Elétrica

Secretário de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

Renata Beckert Isfer

Secretário de Geologia, Mineração e Transformação Mineral

Alexandre Vidigal de Oliveira

EXPANSÃO DA GERAÇÃO

PROJETOS FOTOVOLTAICOS NOS LEILÕES DE ENERGIA

*Análises dos leilões A-4 e A-6
de 2019*



Empresa de Pesquisa Energética

Empresa pública, vinculada ao Ministério de Minas e Energia, instituída nos termos da Lei nº 10.847, de 15 de março de 2004, a EPE tem por finalidade prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético, tais como energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados, carvão mineral, fontes energéticas renováveis e eficiência energética, dentre outras.

Presidente

Thiago Vasconcelos Barral Ferreira

Diretor de Estudos Econômico-Energéticos e Ambientais

Giovani Vitória Machado

Diretor de Estudos de Energia Elétrica

Erik Eduardo Rego

Diretor de Estudos de Petróleo, Gás e Biocombustível

José Mauro Ferreira Coelho

Diretor de Gestão Corporativa

Álvaro Henrique Matias Pereira

URL: <http://www.epe.gov.br>

Sede

Esplanada dos Ministérios Bloco "U" Sala 744
CEP: 70.065-900 - Brasília - DF

Escritório Central

Av. Rio Branco, 01 - 11º Andar
20090-003 - Rio de Janeiro - RJ

Coordenação Geral

Erik Eduardo Rego

Coordenação Executiva

Bernardo Folly de Aguiar
Cristina Maria Vasconcelos Falcão
Elisângela Medeiros de Almeida
Jose Marcos Bressane

Equipe Técnica

Alexandre Santucci Breves Oliveira
Aline Couto de Amorim
Cristiano Saboia Ruschel
Daniel Dias Loureiro
Glauce Maria Lieggio Botelho
Gustavo Pires da Ponte
Luisa Domingues Ferreira Alves
Marcos Vinicius G. da Silva Farinha
Michele Almeida de Souza

Nº. EPE-DEE-003/2020-r0

Data: 23 de janeiro de 2020

IDENTIFICAÇÃO DO DOCUMENTO E REVISÕES

 Empresa de Pesquisa Energética		
<i>Área de Estudo</i> EXPANSÃO DA GERAÇÃO		
<i>Estudo</i> PROJETOS FOTOVOLTAICOS NOS LEILÕES DE ENERGIA		
<i>Macro-atividade</i> Análises dos leilões A-4 e A-6 de 2019		
<i>Ref. Interna (se aplicável)</i>		
<i>Revisões</i>	<i>Data de emissão</i>	<i>Descrição sucinta</i>
r0	21/01/2020	Emissão original

APRESENTAÇÃO

Dando continuidade à série de Notas Técnicas sobre a participação de empreendimentos fotovoltaicos nos leilões de energia do mercado regulado, esta edição traz a atualização dos dados apresentados nas edições anteriores, incluindo os leilões A-4 e A-6 de 2019. A abordagem é similar à do trabalho anterior (NT n. EPE-DEE-NT-091/2018-r0¹), sendo o documento dividido em três partes.

A primeira seção apresenta um resumo dos resultados de cadastramento e do processo de habilitação técnica dos dois leilões de 2019, com o quantitativo cadastrado e habilitado por UF, bem como os principais motivos de inabilitação a cada leilão, com uma discussão da evolução desses motivos ao longo do tempo.

A segunda parte traz a evolução das características técnicas dos projetos fotovoltaicos ao longo dos leilões, destacando as tendências mais recentes e por vezes separando os empreendimentos novos daqueles que vêm mantendo sua documentação nos últimos leilões. A tendência de redução de custos de investimentos, agora mais perceptível, também é demonstrada, com análises dos máximos, mínimos, medianas e quartis a cada certame.

Por fim, é apresentado um quadro resumo dos projetos que comercializaram energia no A-4 e no A-6 de 2019, bem como as quantidades contratadas e a trajetória de redução de preços nos sete leilões nos quais a fonte vendeu energia, fruto da evolução dos empreendimentos e da queda nos custos dos equipamentos.

¹ Disponível em <http://bit.ly/UFV2018>

Sumário

APRESENTAÇÃO	4
1. INTRODUÇÃO	6
2. CADASTRAMENTO E HABILITAÇÃO TÉCNICA	7
3. RESULTADOS E AVALIAÇÕES	13
3.1 Aspectos relativos ao recurso solar.....	13
3.2 Equipamentos.....	15
3.2.1 Módulos fotovoltaicos	15
3.2.2 Inversores	19
3.2.3 Estruturas de suporte dos módulos	20
3.3 Fator de Capacidade.....	21
3.4 Custos de investimento	23
4. VENDEDORES	27
4.1 Resumo das informações	27
4.2 Preço da energia.....	30
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	32
REFERÊNCIAS.....	33

1. INTRODUÇÃO

Os Leilões de Energia Nova A-4 e A-6 de 2019 tiveram suas diretrizes estabelecidas respectivamente pela Portaria MME n. 160/2019, de 8 de março de 2019 e pela Portaria MME n. 222/2019, de 8 de maio de 2019. O primeiro certame contou com a participação das fontes fotovoltaica, eólica, hidrelétrica e térmica a biomassa. Do segundo, participaram as mesmas, em adição a térmicas a carvão mineral e gás natural. Destaca-se que este foi o primeiro ano no qual a fonte solar fotovoltaica participou de um leilão com o horizonte mais longo para a entrega de energia, nesse caso de 6 anos.

Para esta fonte, destacam-se alguns pontos estabelecidos nas Portarias:

- início do suprimento da energia elétrica em 1º de janeiro de 2022, para o leilão A-4/2019 e 1º de janeiro de 2024, para o A-6/2019;
- negociação na modalidade quantidade de energia em ambos os certames, diferentemente do que vinha sendo realizado até o ano anterior, quando se contratava na modalidade disponibilidade de energia;
- prazo de suprimento de 20 anos;
- projetos com potência final instalada inferior a 5 MW não foram admitidos;
- reajuste anual do preço da energia pelo Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo – IPCA;
- obrigatoriedade de negociação de ao menos 30% da sua energia habilitada; e
- cálculo das capacidades remanescentes de escoamento para os barramentos candidatos cadastrados no Leilão A-4/2019.

Conforme vem sendo praticado nos leilões de mais curto prazo (A-3 e A-4) desde 2013, o Leilão A-4 de 2019 também adotou a avaliação do cálculo das capacidades de escoamento do sistema de transmissão como requisito de habilitação técnica dos empreendimentos de geração, conforme diretrizes da Portaria MME n. 444/2016. No caso do Leilão A-6, a avaliação preliminar das condições de acesso passa a ser uma responsabilidade da EPE quando o ponto de conexão dos projetos for classificado como Rede Básica, Demais Instalações de Transmissão – DIT ou Instalações Compartilhadas de Geração – ICG e, para fins de habilitação técnica dos projetos com pontos de conexão na rede de distribuição, independentemente do prazo de início de suprimento do leilão (A-4 ou A-6), é obrigatória a apresentação de um Parecer de Acesso ou o Documento de Acesso para Leilão – DAL, sendo uma responsabilidade da Distribuidora acessada avaliar as condições de acesso à sua rede.

2. CADASTRAMENTO E HABILITAÇÃO TÉCNICA

O cadastramento e a habilitação técnica dos projetos foram realizados pela EPE de acordo com as diretrizes do Ministério de Minas e Energia (MME), bem como a Portaria MME n. 102, de 22 de março de 2016 e as “Instruções para Solicitação de Cadastramento e Habilitação Técnica com vistas à participação nos Leilões de Energia Elétrica”, publicadas pela EPE em seu sítio eletrônico². Esse capítulo apresenta um resumo desses processos.

2.1. Cadastramento

À época dos respectivos leilões, a EPE publicou resumos dos projetos cadastrados e potências totais por unidade federativa. Essas informações são reproduzidas na Tabela 1 abaixo, na qual as potências podem diferir ligeiramente dos valores divulgados anteriormente devido a ajustes realizados durante o processo de análise técnica.

Após a queda verificada em 2016, influenciada pelo início do requisito de medições solarimétricas, a quantidade de projetos cadastrados vem crescendo continuamente. No ano de 2019, foram registrados novos recordes de cadastramento de projetos fotovoltaicos, tanto em termos de potência quanto em quantidade de projetos, alcançando-se 827 projetos no A-6/2019, e aproximando-se de 30 GW de potência CA no mesmo certame.

Tabela 1 - Empreendimentos fotovoltaicos cadastrados nos leilões de 2019

Estados	A-4/2019		A-6/2019	
	Projetos	Potência CA (MW)	Projetos	Potência CA (MW)
Alagoas	9	300	9	300
Bahia	193	6.109	218	6.946
Ceará	82	3.165	87	3.294
Mato Grosso do Sul	8	450	8	450
Minas Gerais	62	2.458	63	2.527
Paraíba	25	739	24	727
Pernambuco	57	1.993	72	2.712
Piauí	178	6.185	202	6.895
Rio Grande do Norte	124	4.628	129	5.202
Sergipe	-	-	2	600
Tocantins	13	225	13	225
Total Leilão	751	26.253	827	29.878

² Disponíveis em <http://www.epe.gov.br/pt/leiloes-de-energia/leiloes/instrucoes-para-cadastramento>

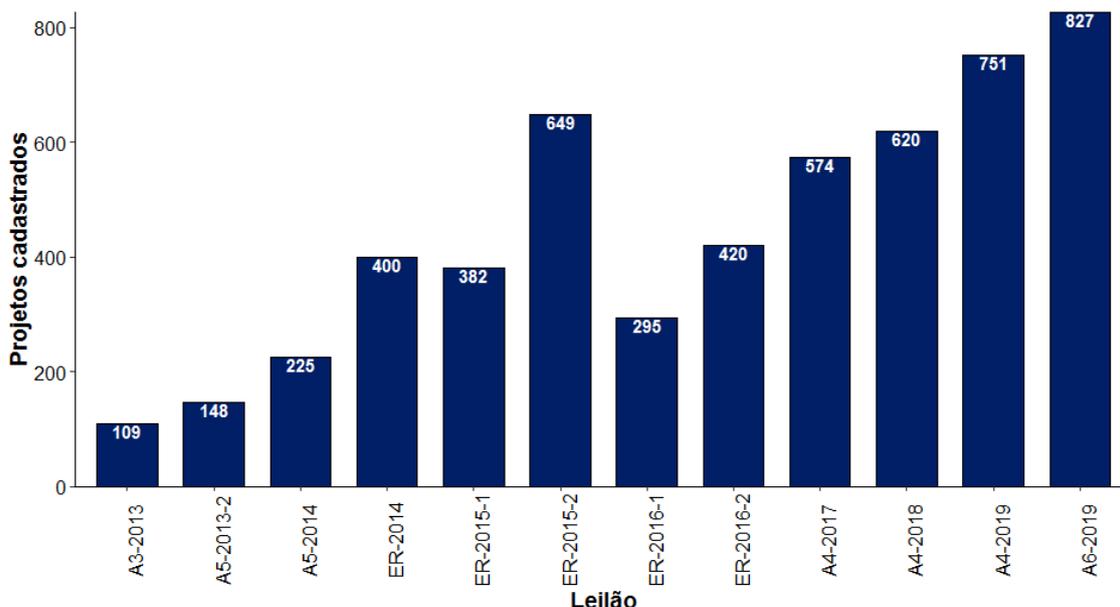


Figura 1 – Histórico de projetos cadastrados nos leilões³

A proporção de cadastrados no subsistema Nordeste aumentou em relação aos leilões passados. Se nos leilões de 2017 e 2018 a fração foi de 84%, nas competições de 2019 o número ficou entre 88% e 89%, tanto da potência quanto da quantidade de projetos. O ano de 2019 voltou a apresentar também projetos na região Norte, que esteve ausente nos dois anos anteriores, no estado do Tocantins, embora esses representem menos de 2% dos projetos e menos de 1% da potência total cadastrada. O restante, como vem acontecendo historicamente, localiza-se no subsistema Sudeste/Centro-Oeste, este ano sem a presença do estado de São Paulo, com projetos em Minas Gerais e Mato Grosso do Sul.

2.2. Habilitação Técnica

O processo de análise e habilitação técnica abrange diversos aspectos do projeto e da documentação recebida pela EPE, com o objetivo de selecionar aqueles que demonstram, basicamente, sua viabilidade técnica e capacidade de entregar o montante de energia a ser contratado.

Para o A-4/2019, a EPE habilitou tecnicamente 77% dos empreendimentos fotovoltaicos cadastrados, totalizando 580 projetos, enquanto para o A-6/2019 a proporção foi um pouco superior, próxima a 83%, representando 685 empreendimentos habilitados.

Um resumo do quantitativo de empreendimentos habilitados e de potência instalada, agregados por estado em cada leilão é apresentado na

³ Embora tenha havido cadastramento e habilitação técnica, não ocorreram os leilões de 2016 para a fonte fotovoltaica.

Tabela 2, a seguir.

Tabela 2 - Projetos fotovoltaicos habilitados tecnicamente nos leilões de 2019

Estados	A-4/2019		A-6/2019	
	Projetos	Potência CA (MW)	Projetos	Potência CA (MW)
Alagoas	9	300	9	300
Bahia	163	5.115	191	6.119
Ceará	60	2.358	64	2.400
Mato Grosso do Sul	8	450	8	450
Minas Gerais	28	1.059	50	2.070
Paraíba	22	667	22	667
Pernambuco	52	1.902	52	2.021
Piauí	128	4.621	165	5.810
Rio Grande do Norte	97	3.772	115	4.726
Tocantins	13	225	9	190
Total Leilão	580	20.469	685	24.753

Os leilões de 2019 apresentaram fração de inabilitados inferior aos anos anteriores. Desde 2017, em que houve um pico de 45% de inabilitados, essa proporção vem sendo reduzida, conforme apresenta a Figura 2 a seguir.

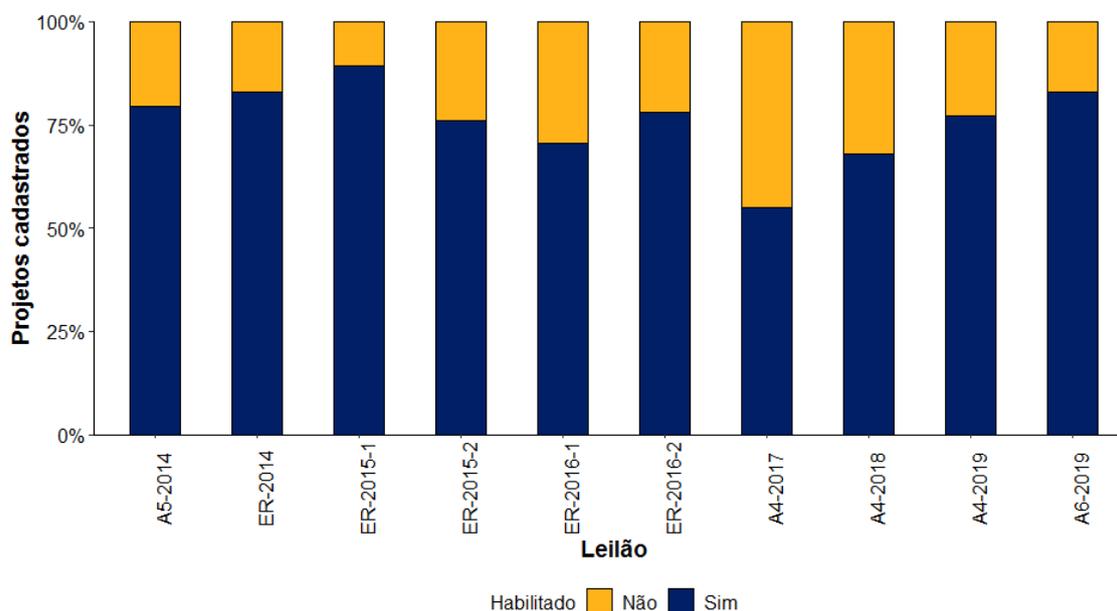


Figura 2 - Resultado da habilitação técnica de empreendimentos fotovoltaicos nos últimos Leilões de Energia

Essa queda é principalmente devida à redução dos projetos desqualificados por questões relacionadas à conexão, que deixaram de ser o principal motivo de inabilitação dos empreendimentos fotovoltaicos em 2019. No A-4 deste ano, a maioria dos projetos não

aprovados teve como motivo a existência de problemas na documentação relacionada ao licenciamento ambiental, enquanto no A-6 a principal dificuldade foi com relação à comprovação do direito de usar e dispor do terreno do empreendimento.

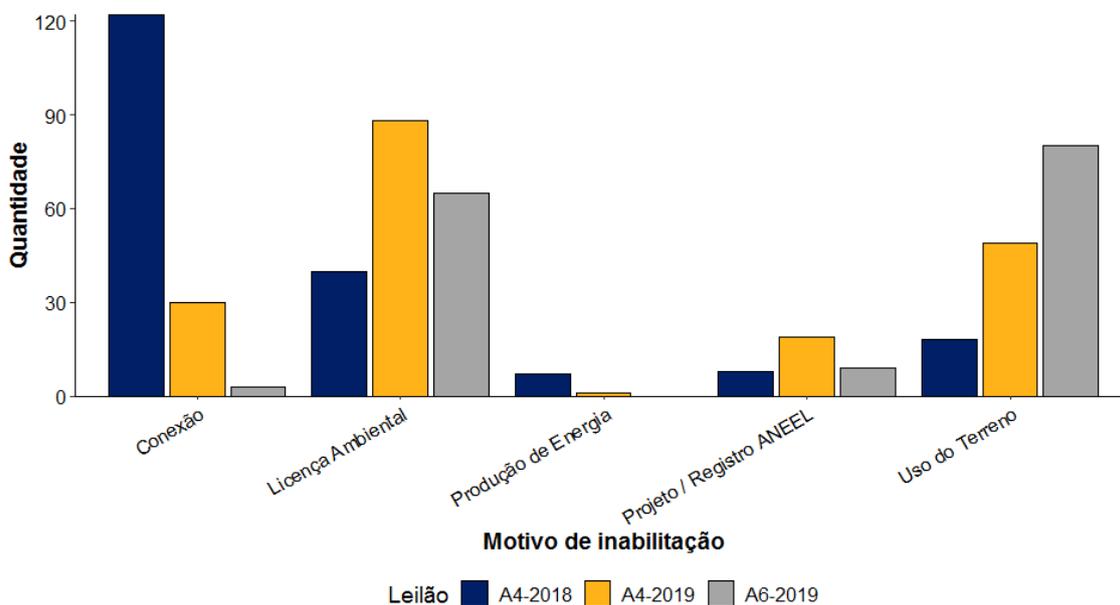


Figura 3 - Principais motivos das inabilitações dos projetos fotovoltaicos nos Leilões de 2018 e 2019

A quantidade de empreendimentos inabilitados por questões relacionadas à **conexão** vem caindo substancialmente nos últimos leilões em função da concretização das expansões da malha de transmissão recomendadas nos estudos de planejamento realizados pela EPE. Com a previsão de implantação de novas linhas de transmissão e novas subestações de Rede Básica dentro do horizonte de análise dos leilões de energia é possível usufruir de uma maior capacidade de transmissão e, dessa forma, acomodar com maior flexibilidade e confiabilidade os projetos de geração que participam dos certames de energia.

Especificamente para o Leilão A-4 de 2019 foram publicadas duas notas técnicas associadas ao processo do cálculo das margens de escoamento, seguindo os requisitos estabelecidos na Portaria MME n. 444/2016. A primeira, elaborada conjuntamente com o ONS (EPE-DEE-RE-021/2019 - ONS NT 0039/2019)⁴, foi emitida em maio de 2019 e contempla a descrição da metodologia, das premissas e dos critérios utilizados para a definição das capacidades remanescentes de escoamento de todos os barramentos informados pelos empreendedores no ato do cadastramento do leilão. A segunda nota técnica, por sua vez, foi elaborada exclusivamente pelo ONS e trouxe os resultados das

⁴ Disponível em: <http://epe.gov.br/pt/imprensa/noticias/epe-ons-e-aneel-divulgam-nota-tecnica-com-metodologia-premissas-e-criterios-para-o-calculo-das-margens-do-leilao-a-4-2019>

simulações realizadas com base na metodologia definida na nota técnica referenciada anteriormente e os valores das margens de escoamento dos barramentos cadastrados.

É importante destacar que a Portaria MME n. 444/2016 é de fundamental importância para os leilões em que é realizado o cálculo das capacidades de escoamento do sistema, pois permite padronizar as regras para o cálculo das margens, tornando o processo mais transparente e previsível, possibilitando aos empreendedores realizar suas próprias estimativas dos valores das margens antes mesmo da publicação da Nota Técnica do ONS.

Já no Leilão A-6, para conexão em Rede Básica, Demais Instalações de Transmissão – DIT ou Instalações Compartilhadas de Geração – ICG, a EPE avalia as condições de acesso sob a ótica do desempenho elétrico do sistema considerando: (i) as expansões da rede previstas nos estudos de planejamento; (ii) as recomendações sobre os melhores pontos de conexão indicadas nos estudos prospectivos da expansão da transmissão; e (iii) a expansão da geração contratada nos leilões regulados precedentes bem como os empreendimentos que comercializam energia no mercado livre que tenham formalizado o acesso junto ao ONS.

Ao final do processo de análise técnica, a EPE emite um Documento Equivalente de Acesso apenas para os projetos que tenham sido habilitados tecnicamente. É importante ressaltar, todavia, que o Documento Equivalente de Acesso emitido pela EPE é exclusivo para cada leilão e não pode ser reutilizado em outros certames. Além disso, a obtenção do documento equivalente de acesso não substitui quaisquer etapas associadas aos processos de consulta de acesso ou solicitação de acesso junto ao ONS.

Os efeitos benéficos das expansões da transmissão puderam ser observados de forma mais proeminente no Leilão A-4/2019 uma vez que a Nota Técnica ONS-NT-0046/2019⁵ com as capacidades de escoamento da rede demonstrou haver pouca ou quase nenhuma restrição à conexão dos projetos participantes do certame. Naturalmente, o aumento nas margens de escoamento também pode ser verificado na análise técnica realizada pela EPE para os projetos cadastrados no Leilão A-6/2019.

Com relação à exigência de documentação relativa ao **licenciamento ambiental**, observou-se no Leilão A-4 2019 que, dos 88 empreendimentos não habilitados, 86 o foram por não terem encaminhado a licença ambiental e 2 por apresentarem licença vencida. Em relação ao Leilão A-6 2019, dos 65 empreendimentos não habilitados, 41 não encaminharam a licença ambiental, 22 apresentaram incompatibilidade da licença

⁵ Disponível em: <http://epe.gov.br/pt/leiloes-de-energia/leiloes/leilao-de-energia-nova-a-4-2019>

ambiental com as características cadastradas do projeto e 2 encaminharam a licença ambiental vencida.

Dessa maneira, considerando os dois leilões de energia nova de 2019 o principal motivo de não habilitação na área ambiental foi a não apresentação da licença. Com o avanço do processo de licenciamento ambiental, estes projetos potencialmente tendem a apresentar suas respectivas licenças nos leilões futuros.

Em relação à **comprovação do direito de usar e dispor do terreno**, não é possível identificar uma exigência específica, dentre as formuladas nas Instruções, que tenha gerado maior dificuldade de cumprimento por parte dos empreendedores. Com efeito, as inabilitações de empreendimentos fotovoltaicos nos leilões de energia realizados em 2019 ocorreram pelas mais variadas razões. Em especial, a falta de apresentação de instrumento contratual vinculando o empreendedor ao proprietário do imóvel onde seria instalado o empreendimento e a falta de averbação deste instrumento contratual ou do georreferenciamento do imóvel na sua certidão de ônus reais destacam-se como os motivos de mais significativa representatividade.

No motivo de inabilitação por **projeto**, boa parte dos empreendimentos inabilitados apresentaram problemas quanto a demonstração de suficiência de área para a execução do projeto com as características apresentadas, havendo também projetos inabilitados por questões formais de registro na ANEEL. Quanto à **estimativa de produção de energia**, apenas um empreendimento foi inabilitado no A-4, por apresentar informações insuficientes, e no A-6 não houve problemas nesse ponto.

3. RESULTADOS E AVALIAÇÕES

Neste capítulo, são apresentadas algumas análises com relação ao histórico de empreendimentos habilitados, abordando em mais detalhes os leilões A-4 e A-6 de 2019. Vale destacar que as avaliações apresentadas têm como base os projetos habilitados pela EPE para participação nos leilões de energia, o que não representa necessariamente as configurações que seriam adotadas caso os projetos viessem a ser implantados, uma vez que é facultado ao empreendedor promover mudanças nos projetos, após a outorga por meio de um processo de alteração de características técnicas⁶. Essas alterações são naturais, dado que, com a rápida evolução dos equipamentos no setor fotovoltaico, é possível que aqueles que foram considerados durante a etapa de projeto não sejam os mais competitivos após a assinatura do contrato ou sequer estejam disponíveis.

3.1 Aspectos relativos ao recurso solar

Desde 2016, são exigidas medições *in-situ* do recurso solar, conforme Art. 6º, II da Portaria MME nº 102/2016:

"Art. 6º Os empreendedores com projetos de geração a partir de fonte solar deverão atender as condições para Cadastramento e Habilitação Técnica, estabelecidas no art. 4º e, também, aos seguintes requisitos:

(...)

II - no ato do Cadastramento, apresentação de histórico de medições contínuas de irradiação global horizontal, por período não inferior a doze meses consecutivos, realizadas no local do empreendimento, integralizadas a cada dez minutos, para empreendimentos fotovoltaicos, sem tecnologia de concentração da irradiação".

Essa exigência objetivou aumentar a confiabilidade dos dados solarimétricos utilizados no cálculo da produção de energia certificada, sendo esperado que o uso das medições implicasse na redução das incertezas globais dos projetos. Cabe ressaltar que para a estimativa de produção de energia do empreendimento devem ser considerados dados de longo prazo, geralmente provenientes de modelos baseados em imagens de satélite, sendo ajustados, caso necessário, com base na medição local (Ruschel e Ponte, 2018). Desses dados, em geral se deriva um ano meteorológico típico (TMY) utilizado para a estimativa da produção de energia, do qual a irradiação global horizontal é o dado analisado nesta seção.

⁶ Os processos de alteração de características técnicas são conduzidos pela ANEEL e incluem análise técnica da EPE, segundo as diretrizes estabelecidas na Portaria MME n. 481/2018.

Com relação às incertezas relacionadas à produção de energia dos projetos, de fato houve uma redução, em especial na incerteza dos dados solarimétricos em 2016, mantendo-se praticamente constante desde então. A incerteza padrão dos projetos reduziu-se até 2017, e não tem se alterado. A Figura 4 apresenta a média das incertezas dos projetos habilitados a cada leilão.

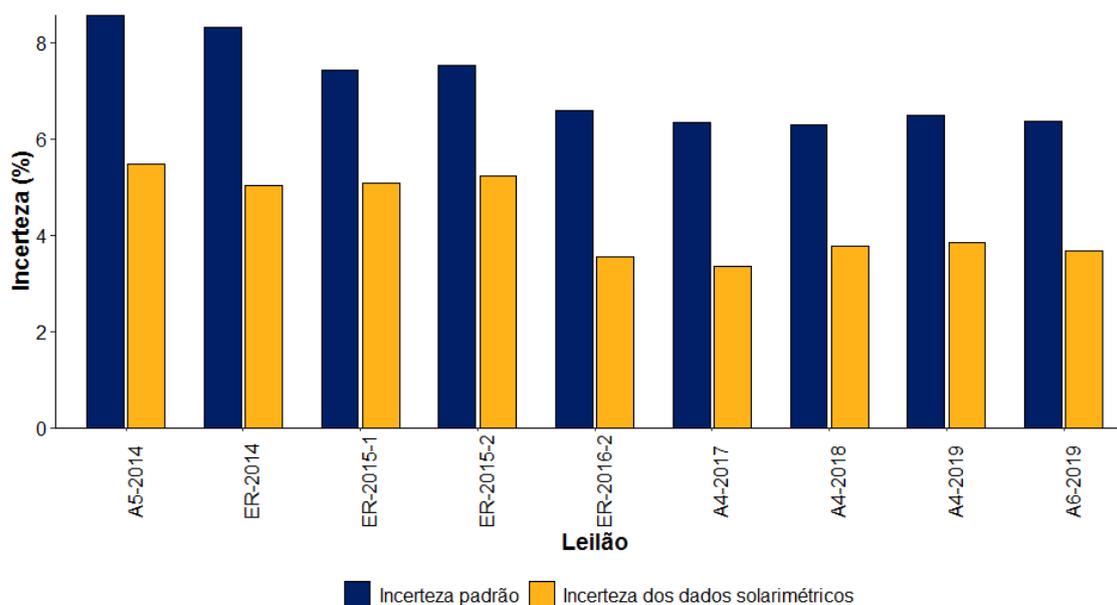


Figura 4 - Incertezas padrão e dos dados solarimétricos por leilão

Quanto ao número de estações solarimétricas, considerando os projetos cadastrados no ano de 2019, 163 estações únicas foram utilizadas, já que cada estação em geral é utilizada por mais de um empreendimento. Destas, 59 correspondem a estações que não foram utilizadas em leilões anteriores, ou seja, correspondem a projetos que se cadastraram pela primeira vez em 2019. O Anexo I apresenta o mapa com a localização de cada uma destas.

Os totais de irradiação global anual têm permanecido em uma faixa similar no histórico dos leilões. Em 2019, os valores variaram entre 1.913 kWh/m².ano e 2.427 kWh/m².ano, ligeiramente superiores aos dos anos anteriores. A Figura 5 apresenta os valores mínimos, máximos, a mediana, além do primeiro e terceiro quartis por Unidade Federativa, e dos agregados dos subsistemas Nordeste e Sudeste/Centro-Oeste para todo o histórico dos leilões. A região Norte não foi mostrada separadamente, já que está representada apenas pelo estado do Tocantins. Os estados de Alagoas e Goiás não são apresentados dado o baixo número de projetos distintos em cada um destes.

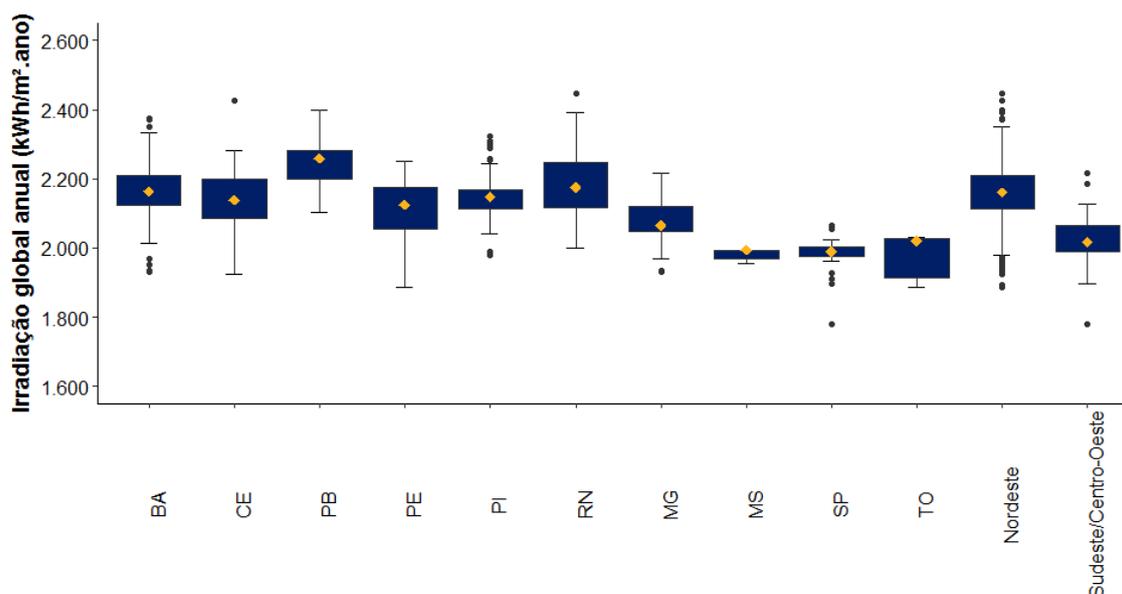


Figura 5 – Irradiação global horizontal por UF no histórico dos leilões

O subsistema Nordeste apresenta os valores mais elevados, seguida pelo Sudeste/Centro-Oeste, enquanto a região Norte apresentou mediana similar, mas quartis inferiores. No Sudeste/Centro-Oeste, destaca-se o estado de Minas Gerais, que apresenta valores mais altos que os demais. Em que pese a importância da irradiação global horizontal nos projetos fotovoltaicos, esta não deve ser tomada como uma referência de qualidade ou competitividade dos mesmos, dadas as diversas variáveis de influência técnicas, econômicas e socioambientais.

3.2 Equipamentos

Avalia-se a seguir a evolução dos equipamentos considerados nos projetos habilitados para os leilões. Ressalta-se que esses dados não correspondem necessariamente à participação efetiva de mercado, já que é comum que os projetos sofram alterações antes da construção.

3.2.1 Módulos fotovoltaicos

Com relação à tecnologia de material do módulo fotovoltaico, os projetos habilitados em 2019 não diferem em muito daqueles do histórico. Além de uma pequena fração de projetos utilizando telureto de cádmio (CdTe), tem havido oscilação entre as tecnologias de silício monocristalino e policristalino⁷. Após um pico de proporção de habilitados em

⁷ Na academia, há uma tendência de denominar esta tecnologia como *multicristalino*. Neste documento, foi mantida a nomenclatura *policristalino* por ser esta a forma em que os fabricantes geralmente apresentam seus catálogos.

2017, os módulos policristalinos voltaram a perder espaço para os monocristalinos, que no leilão A-6/2019 compuseram 1/3 da potência CC habilitada, e considerando apenas os projetos novos⁸ apresentados em 2019, essa fração foi de 40%, conforme apresentado na Figura 6.

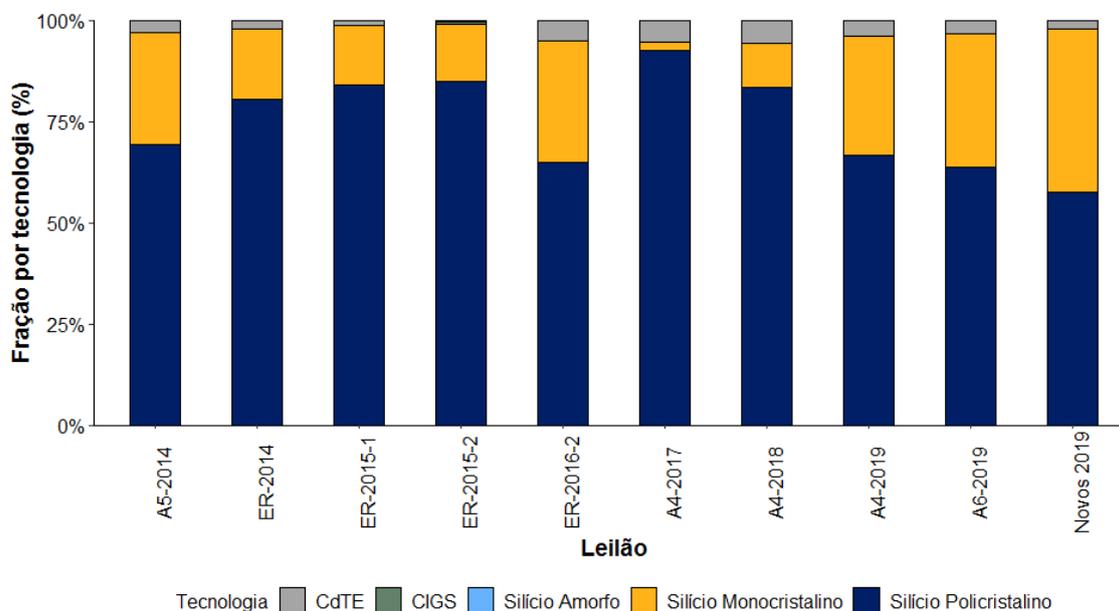


Figura 6 – Proporção da potência CC, por tecnologia, a cada leilão, dos projetos habilitados tecnicamente

A potência média por módulo fotovoltaico tem aumentado, tanto pelos ganhos de eficiência quanto pela migração para módulos de maior área. Enquanto os módulos de silício de 60 células possuíam cerca de 1,66 m², os de 72 células (ou 144) tipicamente possuem cerca de 2 m². Nota-se também, na Figura 7, grande aumento na potência média dos módulos de CdTe. Este se explica pelo lançamento de uma nova série utilizando essa tecnologia, que possui área de 2,47 m², ante 0,72 m² das séries anteriores. Nos projetos novos que consideraram CdTe, todos utilizaram o modelo mais recente.

⁸ Caso o projeto tenha sido habilitado tecnicamente para a participação em leilões anteriores, é permitida a manutenção de sua documentação. Com isso, tais projetos podem não refletir as tendências tecnológicas mais atuais. São considerados projetos novos aqueles que não participaram do leilão A-4/2018 ou alteraram a documentação no ano de 2019.

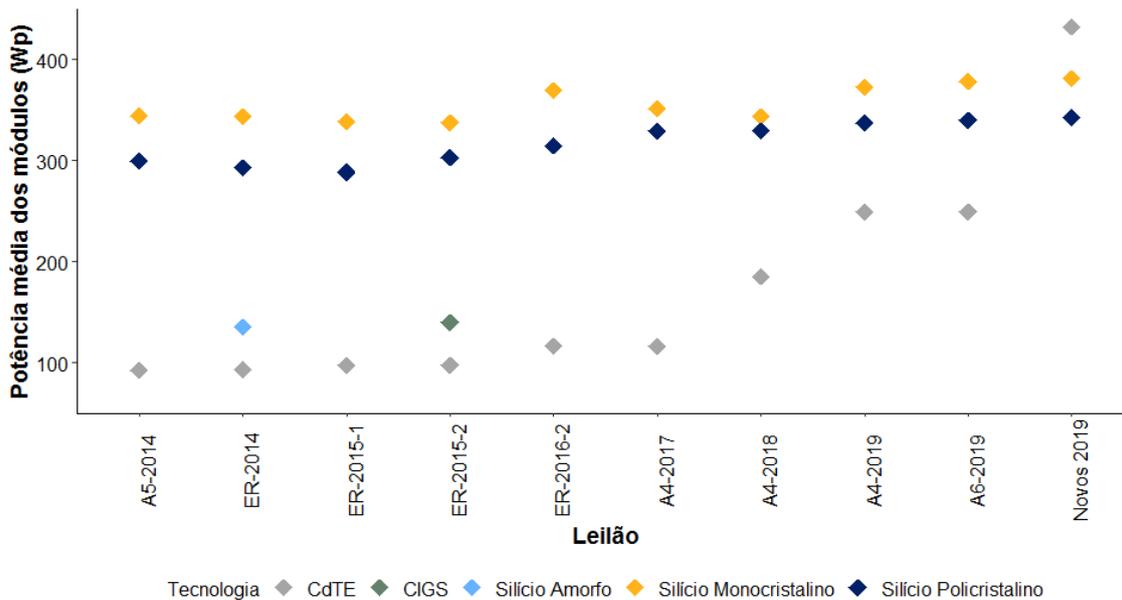


Figura 7 - Potência média dos módulos por tecnologia a cada leilão

Em termos de quantidade de células para os módulos de silício cristalino, após a migração de módulos de 60 células para 72 células até 2016, recentemente houve um crescimento expressivo no uso dos modelos de 144 células, demonstrado na Figura 8. Os módulos de 144 células possuem dimensões e potências similares àqueles de 72 células, mas utilizam células cortadas ao meio, sendo por isso denominados *half-cut cell*. Esses módulos apresentam correntes mais baixas que os modelos que utilizam a célula inteira, reduzindo as perdas resistivas. Outra vantagem é a maior tolerância a sombreamentos parciais, já que apenas 1/6 da potência total é afetada ao se sombrear uma célula, ante 1/3 em módulos comuns.

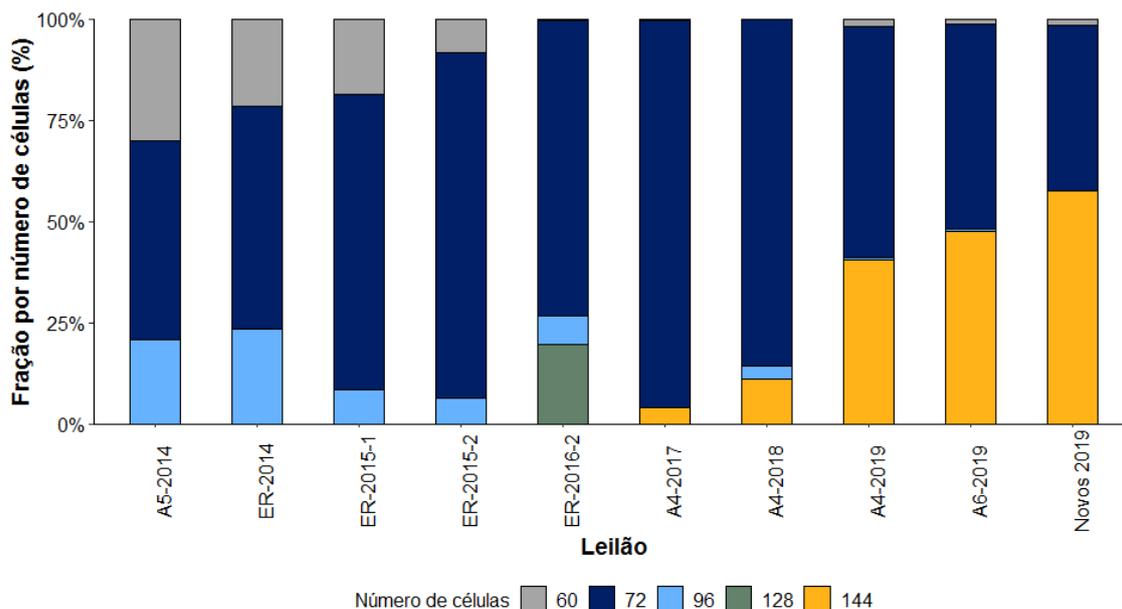


Figura 8 – Proporção da potência CC dos projetos habilitados por quantidade de células

A tendência de incremento da tensão máxima admissível dos módulos para 1500 V foi mantida, atingindo cerca de 75% da potência CC habilitada nos leilões de 2019 (83% da potência CC dos projetos novos), tal como apresentado na Figura 9. Conforme comentado na Nota Técnica de 2018, os sistemas de maior tensão permitem o uso de séries fotovoltaicas mais longas, reduzindo as correntes no sistema e os custos com cabeamento.

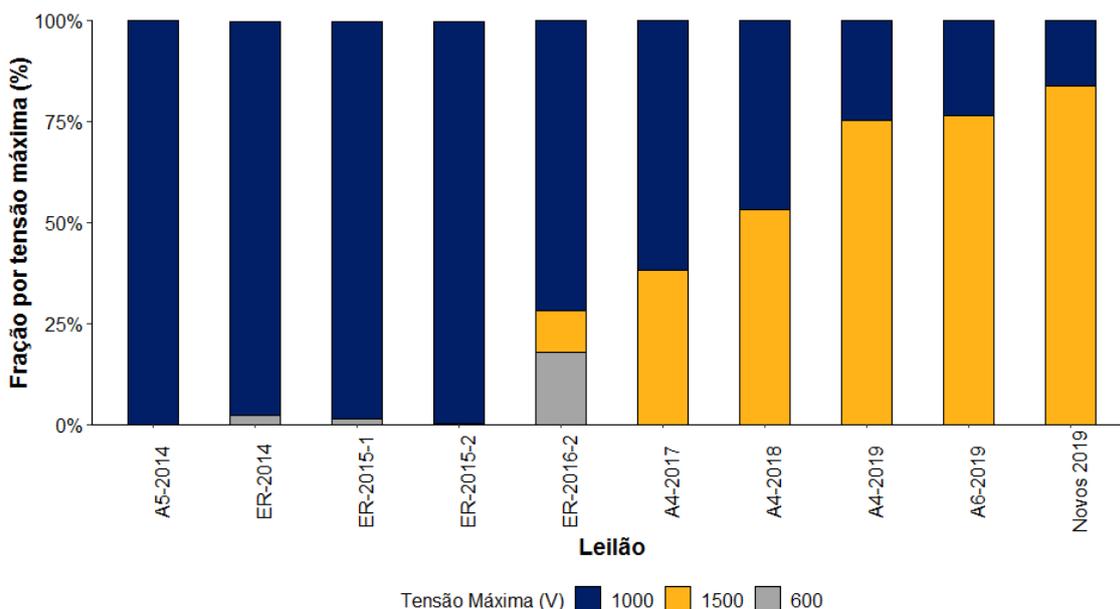


Figura 9 – Proporção da potência CC dos projetos habilitados por tensão máxima

A tecnologia PERC (*Passivated Emitter Rear Cell*) também tem ganhado destaque nos leilões recentes. Apesar de a tecnologia ser conhecida há décadas, com artigos publicados desde o final dos anos 80 (Blakers et. al, 1989), apenas recentemente esta atingiu viabilidade, e seu uso têm crescido rapidamente dado o baixo custo de implantação pela indústria atual. Alguns autores apontam haver um mecanismo de degradação a altas temperaturas (LeTID) nessa tecnologia, que poderia causar perdas significativas de potência (Fertig et. al, 2017), sendo necessário estudo e acompanhamento desse efeito. Os primeiros projetos considerando módulos PERC foram habilitados em 2017, embora totalizassem apenas 0,6% da potência CC habilitada. Essa proporção vem se incrementando, e dentre os projetos novos do ano de 2019, chegou a 28,5% da potência habilitada. A Figura 9 apresenta o crescimento desde 2017.

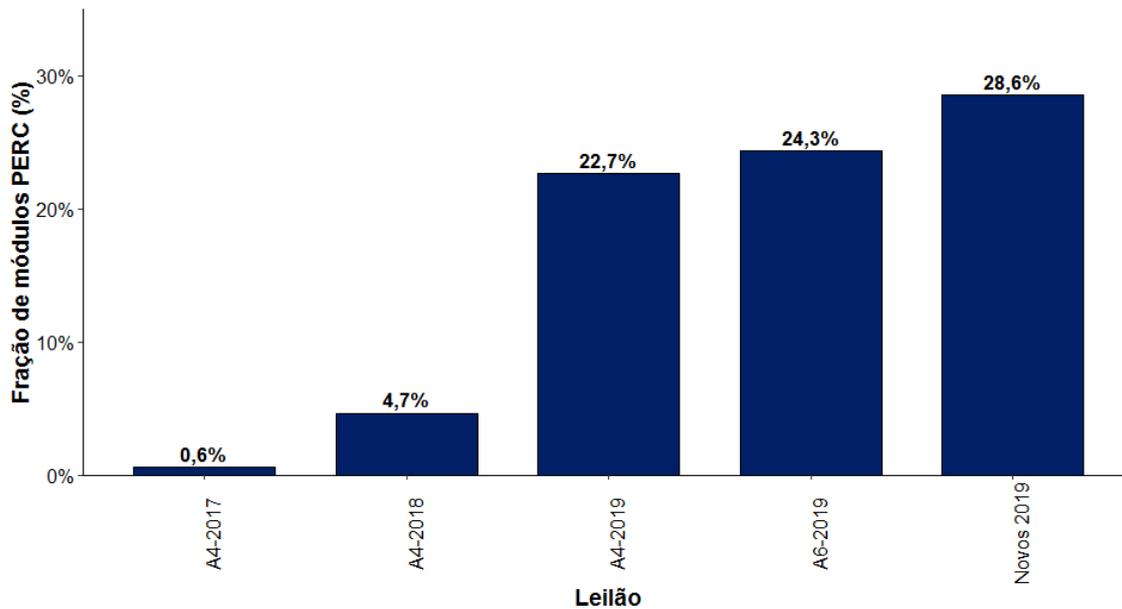


Figura 10 – Proporção da potência CC dos projetos habilitados com módulos PERC

Outra novidade foi o uso de módulos bifaciais, mais uma aposta do setor fotovoltaico para o incremento da eficiência dos parques. Estes possuem vidro também na parte posterior e células capazes de converter a energia solar em ambas as faces. Embora parem algumas dúvidas quanto aos reais ganhos por bifacialidade e desafios quanto à sua estimativa (Konzen et. al, 2019), diversos projetos estão sendo desenvolvidos com essa tecnologia. Ausentes nos anos anteriores, estes representaram 19,5% e 19,0%, respectivamente, da potência CC dos leilões A-4 e A-6 de 2019.

3.2.2 Inversores

Na evolução dos projetos ao longo dos anos, têm havido uma tendência de se utilizar inversores menores em relação à potência CC, levando à redução do Fator de Dimensionamento de Inversor (FDI). Em 2019, houve um pequeno incremento em relação aos anos anteriores, em especial nos valores máximos e mínimos, com a mediana mantendo-se em um nível similar, conforme apresentado na Figura 11.

Uma discussão introduzida na edição anterior foi sobre possíveis limites da estratégia de subdimensionamento do inversor, e a necessidade de cautela devido a possíveis erros na estimativa de produção de energia. De fato, foi verificado em Ruschel e Ponte (2019), que a utilização de dados horários para estimativa da produção fotovoltaica pode levar a sobrestimativas, e que esse efeito é agravado para valores mais baixos de FDI. No caso estudado, a diferença entre simulações horárias e minutais cresceu de 1% com um fator de dimensionamento de 0,89 para 4% considerando um FDI de 0,69.

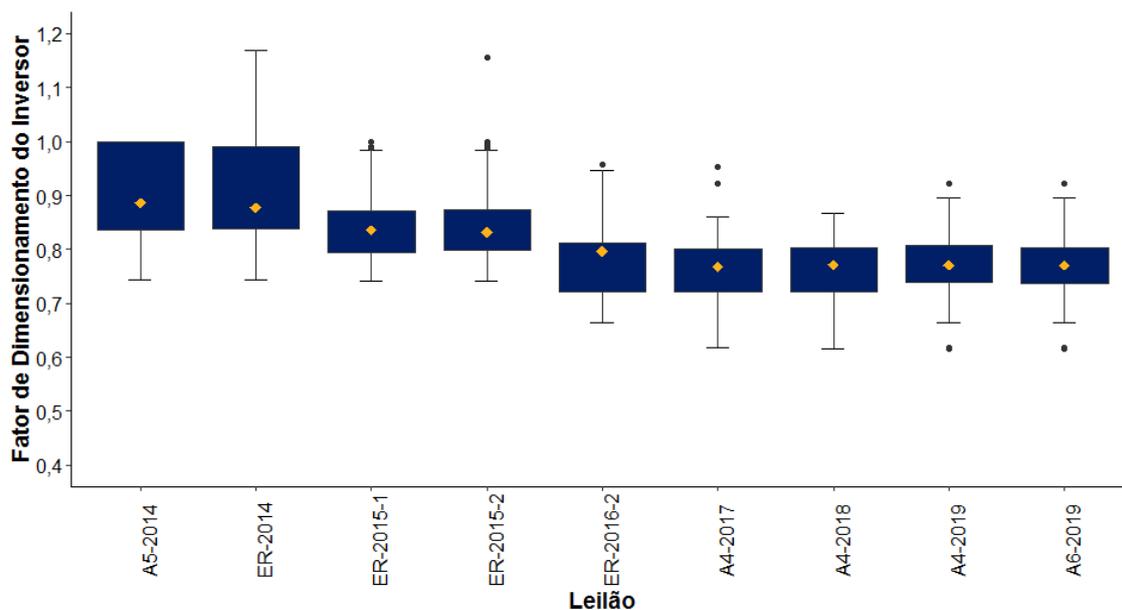


Figura 11 - Fator de dimensionamento do inversor (FDI) por leilão

Nos leilões de 2019, houve alteração no critério de potência nominal do inversor. Até o ano anterior, era considerada a potência atingida à maior temperatura presente no catálogo, ao passo que este ano passou a se considerar a potência mais alta apresentada no catálogo, ou seja, aquela atingida à menores temperaturas. Para compatibilização com os valores de projeto, propôs-se o uso do campo Fator de Capacidade Máxima, já existente no AEGE. Tal alteração foi debatida com os agentes do setor antes de sua realização, e está melhor detalhada no Apêndice A das Instruções para Cadastramento de Empreendimentos Fotovoltaicos.

3.2.3 Estruturas de suporte dos módulos

O uso de rastreamento de um eixo manteve-se como a escolha predominante dos projetistas nos leilões de 2019, com participações similares e acima de 95% desde o ano de 2017. A Figura 12 ilustra o histórico, que se iniciou com predominância de sistemas de estrutura fixa.

O uso de rastreamento de um eixo tem contribuído para atingir fatores de capacidade mais elevados, com produções de energia mais constante ao longo do dia, mas necessita maior quantidade de área para instalação da usina.

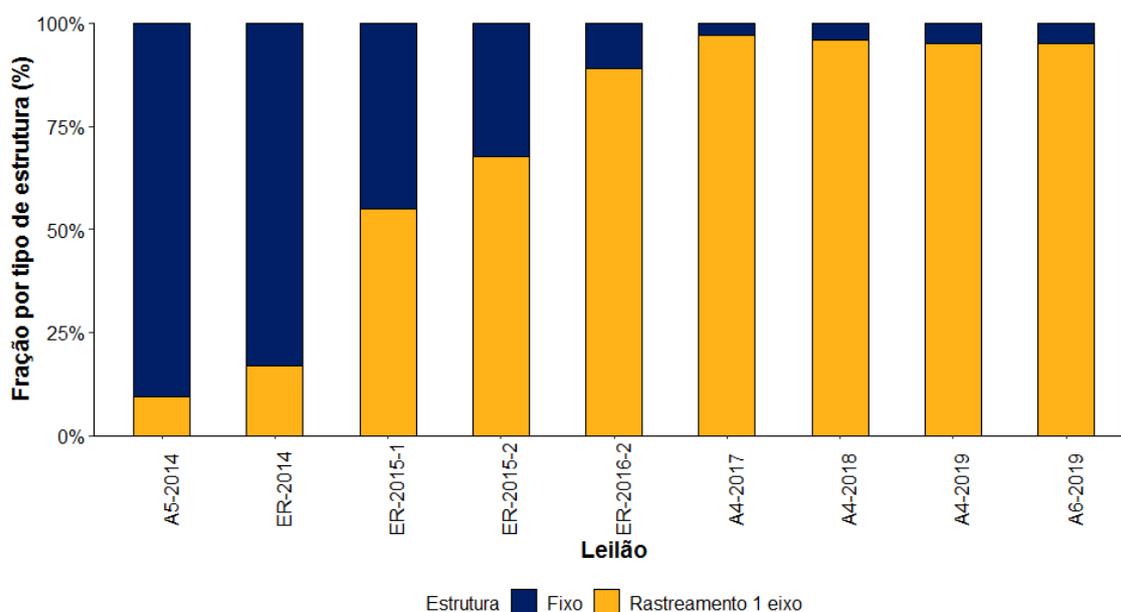


Figura 12 – Proporção de projetos por estrutura de suporte

3.3 Fator de Capacidade

O fator de capacidade (FC) de um empreendimento é definido como a razão entre a produção de energia efetiva da planta e o que seria produzido se ela operasse continuamente em sua capacidade nominal, em determinado intervalo de tempo.

Para fins deste documento, e considerando as regras do Ambiente de Contratação Regulada (ACR), o fator de capacidade de um empreendimento é definido como a razão entre a expectativa de geração de energia (P50) da planta, em MWmed, e a sua potência instalada, em MW.

Após um crescimento mais pronunciado nos primeiros anos da participação da fonte nos leilões de energia, desde 2017 os fatores de capacidade têm se mantido em níveis similares, variando entre 25% e 35% para os projetos com rastreamento em um eixo, e entre 19% e 25% para projetos com estrutura fixa, considerando-se a potência habilitada⁹ (em geral a potência CA), conforme ilustra a Figura 13.

Com relação a variações regionais, a Figura 14 traz a distribuição dos fatores de capacidade históricos por estado, além dos agregados dos subsistemas Nordeste e Sudeste/Centro-Oeste, com base na potência habilitada. Percebe-se que, embora haja influência, o fator de capacidade não depende apenas do recurso solar local, mas também das características de cada projeto, em especial o tipo de estrutura e o dimensionamento do inversor.

⁹ Para cada unidade geradora, a potência habilitável é considerada a menor entre a potência do arranjo (CC) e do inversor (CA).

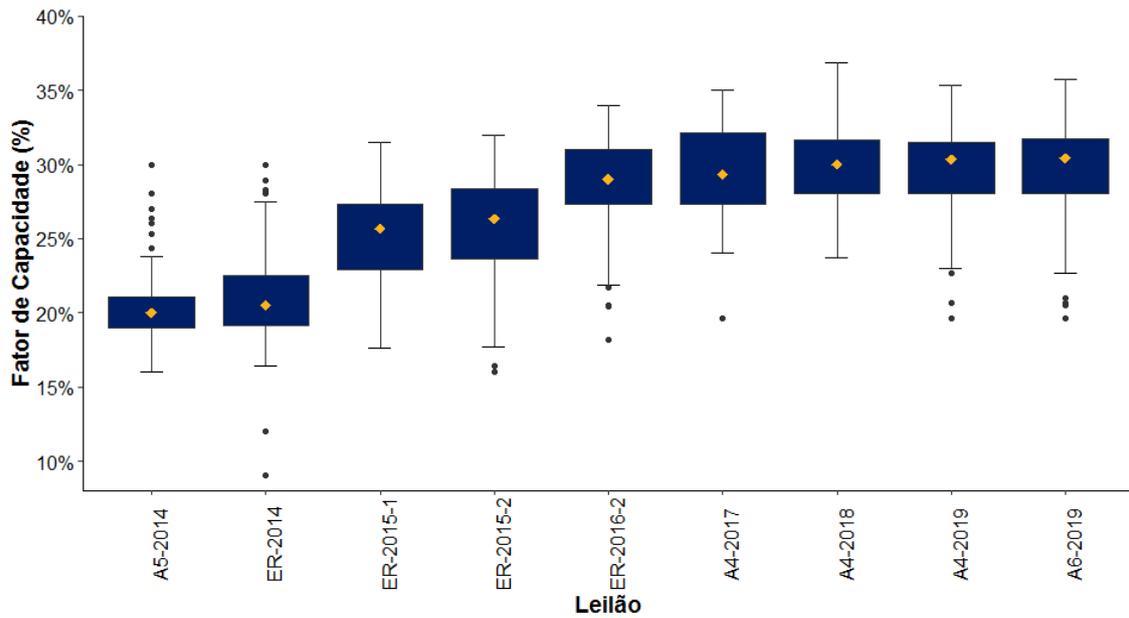


Figura 13 - Histórico do fator de capacidade (base Potência Habilitada)

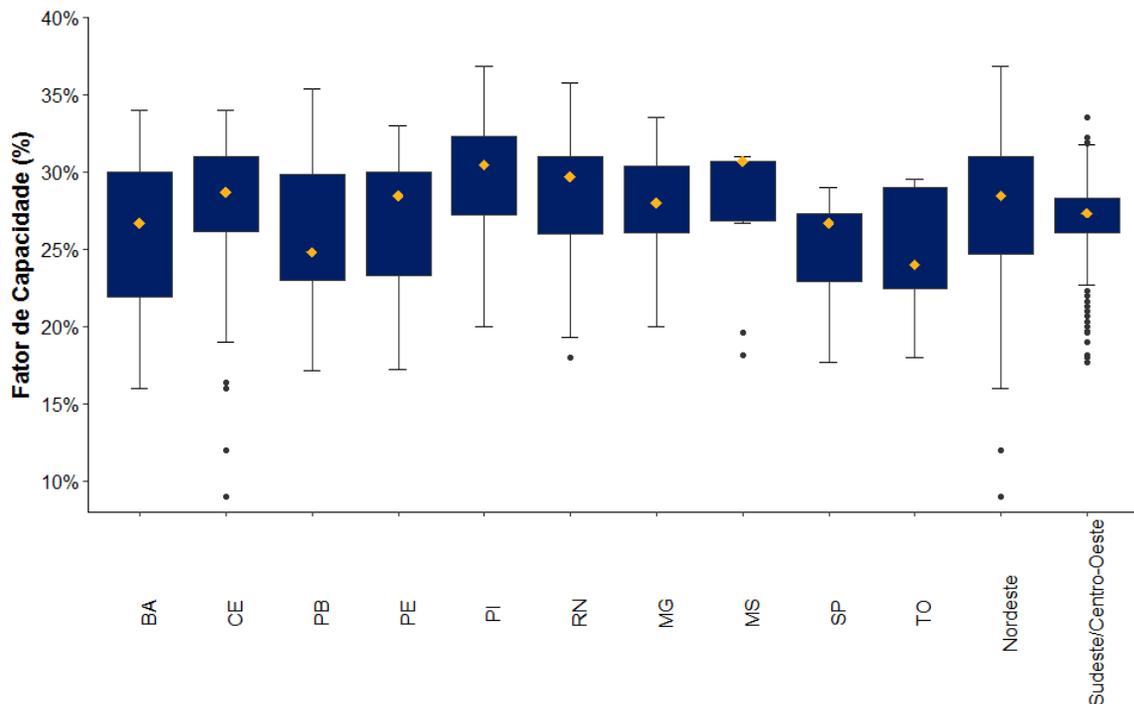


Figura 14 - Fator de capacidade no histórico dos leilões por UF

Ao utilizar um fator de dimensionamento do inversor menor, por exemplo, um projeto em uma região de baixa irradiação poderia ter um fator de capacidade maior do que outro em regiões com recurso mais favorável. A título de exemplo, o estado do Mato Grosso do Sul, embora apresente irradiação global inferior ao Ceará (Figura 5), possui projetos com fatores de capacidade similares. Na comparação entre subsistemas, a mediana do FC projetos é similar para o Nordeste e para o Sudeste/Centro-Oeste, com o primeiro apresentando maior dispersão.

3.4 Custos de investimento

Após apresentar constância ou até leve incremento de custos nos primeiros anos de participação da fonte nos leilões, nos últimos dois anos verificou-se uma redução nos custos de investimento declarados para os empreendimentos fotovoltaicos, considerando-se o custo em R\$/kW_p. Estes são os custos em relação a cada unidade de potência CC do projeto, e essa informação é apresentada na Figura 15 a seguir. Ressalta-se que tais valores de investimento não consideram os juros durante a construção - JDC e estão referenciados a dezembro do ano anterior ao do respectivo leilão.

Devido ao fato de que uma fração importante dos custos de projetos fotovoltaicos é afetada pelo valor do dólar, representa-se na Figura 16 a variação dos custos de investimento, em termos de US\$/kW_p. Os valores foram corrigidos com a média da taxa comercial para a venda do dólar no mês de dezembro anterior ao respectivo leilão¹⁰.

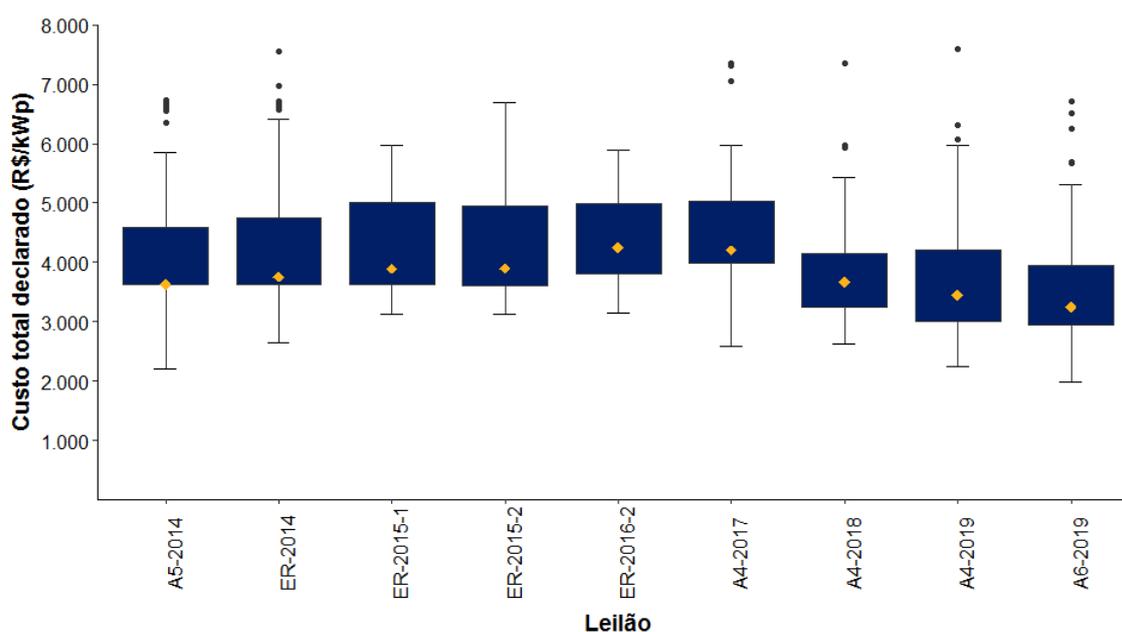


Figura 15 - Custo de investimento (R\$/kW_p) declarado nos leilões para empreendimentos fotovoltaicos

Em 2016, devido ao valor mais alto do dólar em dezembro de 2015, os valores registrados foram nominalmente mais baixos. Com a redução da moeda americana nos anos subsequentes, os custos de investimento em US\$/kW_p voltaram a subir, mas

¹⁰ Valores da taxa de câmbio média em dezembro do ano anterior aos leilões de 2014, 2015 e 2016, 2017, 2018 e 2019 em real por dólar americano, respectivamente: R\$ 2,3455; 2,6394; 3,8711; 3,3523; 3,2919 e 3,8828/US\$. Fonte: <http://www.ipeadata.gov.br> (taxa de câmbio comercial para venda – média mensal).

permaneceram em níveis inferiores aos dos leilões anteriores a 2016. No ano de 2019, com um novo aumento do câmbio e com a redução dos valores de investimento em moeda nacional, os custos em US\$/kW_p atingiram seus valores mais baixos, com uma mediana de US\$ 837/kW_p no A-6/2019.

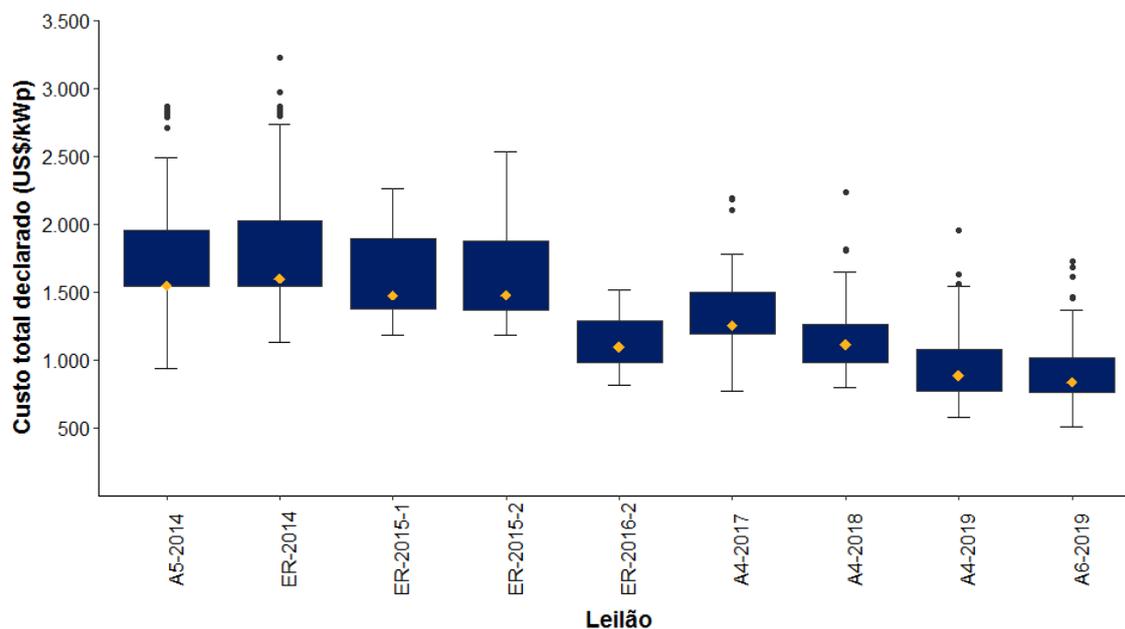


Figura 16- Variação dos Custos de Investimento em US\$/kWp por leilão

A maior parcela de custos corresponde aos equipamentos, sendo que os módulos fotovoltaicos, apesar de uma redução relativa, representam cerca de 40% do custo total do projeto. A seguir, as estruturas (incluindo rastreadores) e os inversores representam respectivamente cerca de 15% e 9% do custo total, e demais equipamentos em torno de 6,5%.

O custo de transmissão e conexão, além das obras civis, também apresentam frações importantes, sendo respectivamente da ordem de 11% e 8,5%. A parcela identificada como "outros" inclui diversos custos, entre eles: terreno, ações socioambientais, custos indiretos, logística, montagem, testes e seguro, e representa cerca de 10% dos custos totais. A Figura 17 apresenta a evolução da distribuição de custos a partir de 2016, período no qual se possui essa informação com a subdivisão completa.

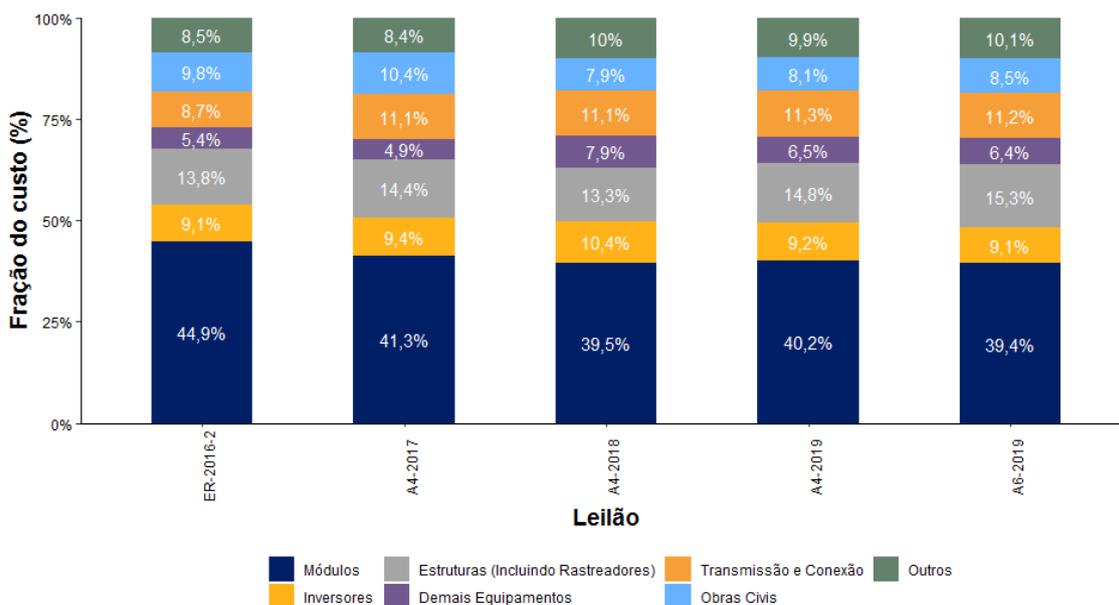


Figura 17 - Peso relativo dos custos no orçamento total dos projetos (valores médios)

A exemplo do verificado nos anos de 2017 e 2018, houve redução adicional principalmente no custo dos módulos fotovoltaicos. Outro fato relevante demonstrado na Figura 18 é a redução na dispersão dos valores declarados, especialmente no último leilão, o A-6/2019, indicando uma redução da assimetria entre os projetos, o que pode contribuir para a competitividade do certame.

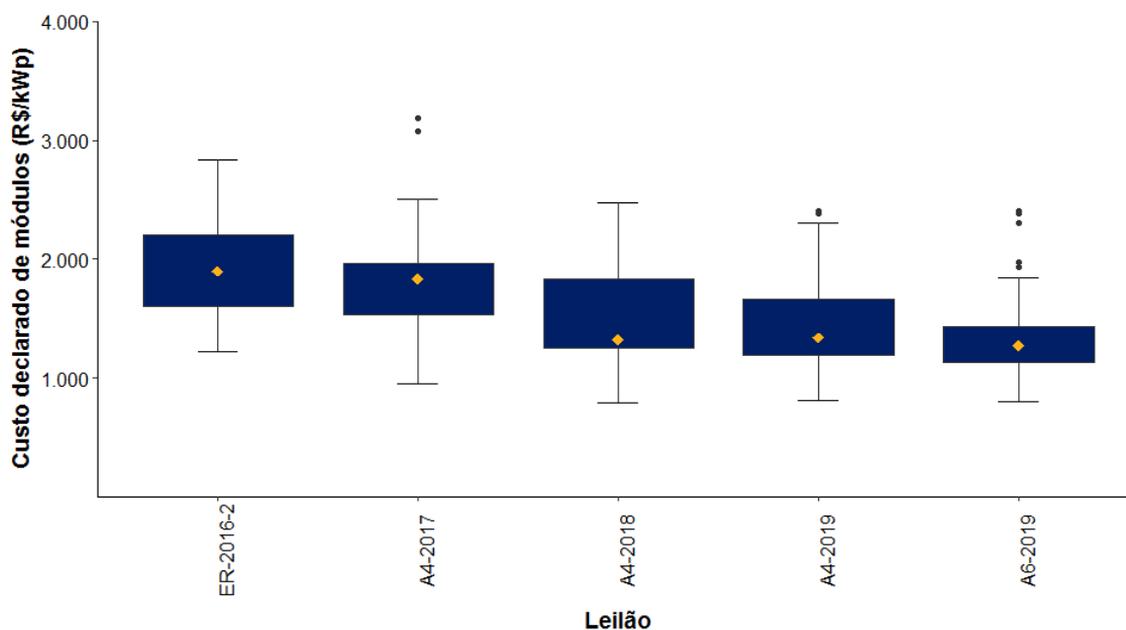


Figura 18 - Custos declarados de módulos fotovoltaicos por leilão

Conclusão semelhante pode ser derivada para os inversores a partir da Figura 19. Apesar de a queda nos valores medianos não ter sido expressiva, houve importante redução da variabilidade, em especial dos valores superiores. Já nos custos de estruturas percebe-

se uma relativa estabilidade nos valores medianos, com alguma redução nos inferiores, conforme verifica-se na Figura 20.

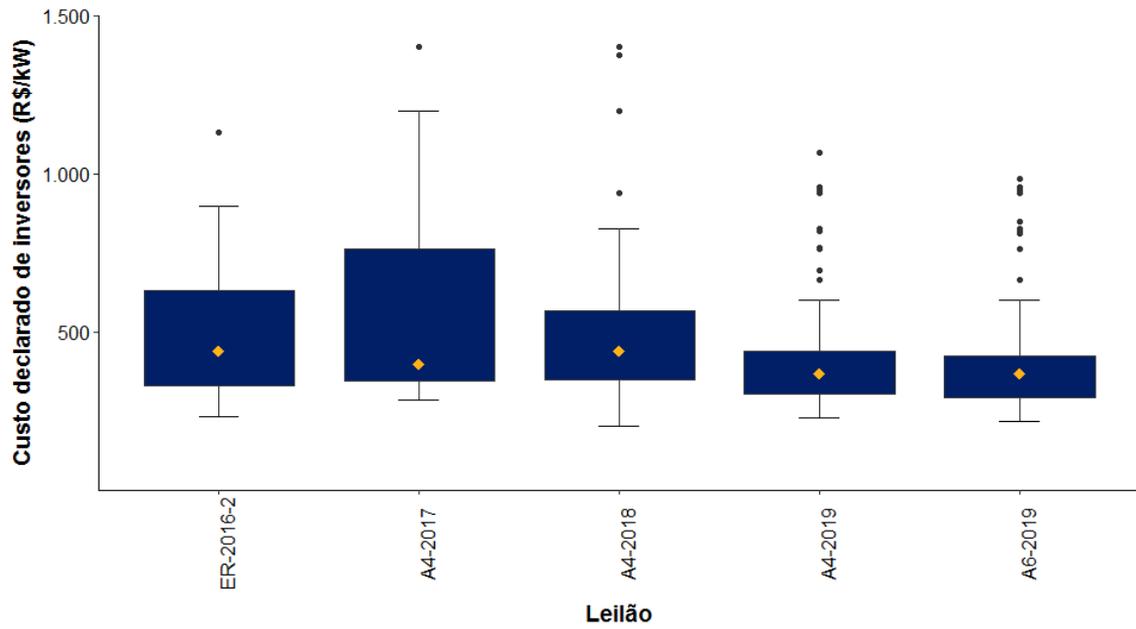


Figura 19 - Custos declarados de investidores por leilão

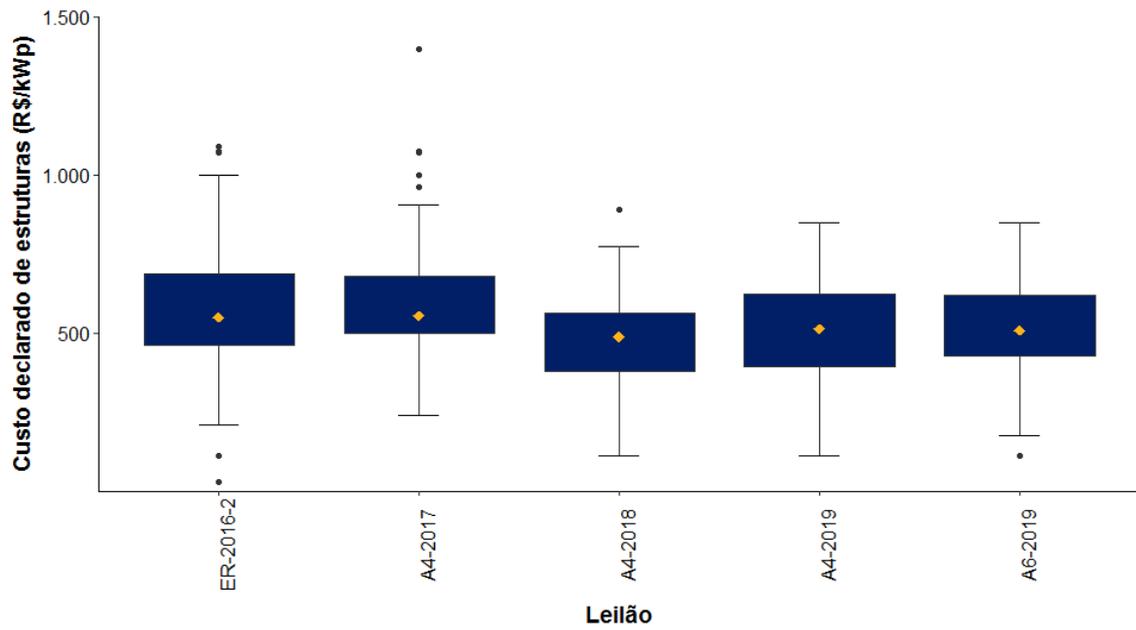


Figura 20 - Custos declarados de estruturas (incluindo rastreadores) por leilão

4. VENDEDORES

Neste capítulo, apresenta-se de forma resumida as informações referentes aos projetos que venderam energia nos Leilões de Energia Nova A-4 e A-6 de 2019. A seguir, comenta-se sobre algumas características relevantes dos empreendimentos vendedores, e, por fim, avaliam-se os preços de energia obtidos com relação ao histórico de contratações.

4.1 *Resumo das informações*

No total dos dois certames, foram contratados 83,3 MW_m de energia, de um total de 234,1 MW_m disponíveis dos empreendimentos que comercializaram energia, representando 35,6% de contratação para o mercado regulado. Tal estratégia tem sido usual nos leilões recentes, mesmo para outras fontes, revelando a importância cada vez maior do Ambiente de Contratação Livre (ACL), enquanto nos anos anteriores optava-se pela venda praticamente da totalidade da garantia física no ambiente regulado.

A Tabela 3 e a Tabela 4, apresentam, respectivamente, os empreendimentos que comercializaram energia nos leilões A-4 e A-6 de 2019, compilando as principais informações referentes a esses empreendimentos.

Tabela 3 - Empreendimentos que comercializaram energia no Leilão A-4/2019

Empreendimento	UF	Potência Instalada CC (kWp)	Potência Instalada CA (kW)	FDI	FC (CA) (%)	Tecnologia	PERC	Bifacial	Garantia Física (MWm)	Energia Contratada (MWm)	Ponto de conexão	Custo Total Declarado (R\$ mil)	Preço de venda (R\$/MWh)
JAÍBA SE1	MG	51120	40000	0,78	30,8%	Silício Policristalino	Não	Não	12,3	6,1	Seccionamento 138kV Janaúba 1 - Jaíba	177 881,95	73,60
Milagres I	CE	40500	32740	0,81	30,2%	Silício Monocristalino	Sim	Sim	9,9	3,0	Seccionamento da LT 230 kV Milagres – Bom Nome C2	135 669,31	64,99
Milagres II	CE	40500	32740	0,81	30,5%	Silício Monocristalino	Sim	Sim	10,0	3,0	Seccionamento da LT 230 kV Milagres – Bom Nome C2	135 669,31	64,99
Milagres III	CE	40500	32740	0,81	30,2%	Silício Monocristalino	Sim	Sim	9,9	3,0	Seccionamento da LT 230 kV Milagres – Bom Nome C2	135 669,31	64,99
Milagres IV	CE	40500	32740	0,81	30,5%	Silício Monocristalino	Sim	Sim	10,0	3,0	Seccionamento da LT 230 kV Milagres – Bom Nome C2	135 669,31	64,99
Milagres V	CE	40500	32740	0,81	30,5%	Silício Monocristalino	Sim	Sim	10,0	3,0	Seccionamento da LT 230 kV Milagres – Bom Nome C2	135 669,31	64,99

Tabela 4 - Empreendimentos que comercializaram energia no Leilão A-6/2019

Empreendimento	UF	Potência Instalada CC (kWp)	Potência Instalada CA (kW)	FDI	FC (CA) (%)	Tecnologia	PERC	Bifacial	Garantia Física (MWm)	Energia Contratada (MWm)	Ponto de conexão	Custo Total Declarado (R\$ mil)	Preço de venda (R\$/MWh)
Gameleira 1	CE	36936	30000	0,81	28,7%	Silício Policristalino	Não	Sim	8,6	2,6	Seccionamento da LT 230 kV Milagres – Icó C1	141 510,00	84,39
Gameleira 2	CE	36936	30000	0,81	28,7%	Silício Policristalino	Não	Sim	8,6	2,6	Seccionamento da LT 230 kV Milagres – Icó C1	141 510,00	84,38
Gameleira 3	CE	36936	30000	0,81	28,7%	Silício Policristalino	Não	Sim	8,6	2,6	Seccionamento da LT 230 kV Milagres – Icó C1	141 510,00	84,37
Gameleira 4	CE	36936	30000	0,81	28,7%	Silício Policristalino	Não	Sim	8,6	2,6	Seccionamento da LT 230 kV Milagres – Icó C1	141 510,00	84,36
Graviola 1	PI	99828	75000	0,75	30,5%	CdTE	-	Não	22,9	11,8	SE São João do Piauí 230 kV	289 584,00	84,50
Graviola 2	PI	99828	75000	0,75	30,5%	CdTE	-	Não	22,9	11,8	SE São João do Piauí 230 kV	289 584,00	84,55
Graviola 3	PI	99828	75000	0,75	30,7%	CdTE	-	Não	23,0	7,2	SE São João do Piauí 230 kV	289 584,00	84,00
Graviola 4	PI	99828	75000	0,75	30,5%	CdTE	-	Não	22,9	7,2	SE São João do Piauí 230 kV	289 584,00	84,00
Luiz Gonzaga II	PE	38808	30000	0,77	30,0%	Silício Monocristalino	Sim	Não	9,0	2,7	SE Terra Nova 138 kV	121 006,81	84,40
Serra do Mel I	RN	82485	60000	0,73	34,8%	Silício Policristalino	Não	Não	20,9	6,3	SE Açú III 500 kV	223 574,15	84,90
Serra do Mel II	RN	27495	20000	0,73	35,0%	Silício Policristalino	Não	Não	7,0	2,1	SE Açú III 500 kV	74 524,72	84,00

Todos os projetos vendedores optaram pelo uso de estrutura com rastreamento em um eixo, sendo esta informação omitida das tabelas. Percebe-se o uso de estratégias variadas, com módulos de CdTe sendo utilizados em projetos vencedores, o que não ocorria desde 2015, além de silício policristalino e monocristalino. Parte dos projetos com módulos monocristalinos consideram a tecnologia PERC, e uma fração dos de silício indicaram a intenção de utilizar módulos bifaciais. Quanto ao carregamento dos inversores, também houve variações entre os projetos, variando de 0,73 a 0,81, contribuindo para a ocorrência de distintos fatores de capacidade. Ressalta-se que os equipamentos, e questões de dimensionamento dos projetos podem ser alteradas antes da construção, por meio de um processo de alteração de características técnicas.

O Anexo II apresenta o mapa com a localização dos empreendimentos vendedores, com as potências agregadas por município, incluindo também os empreendimentos vendedores nos leilões anteriores do ambiente de contratação regulada.

4.2 Preço da energia

Os preços de venda da energia da fonte solar fotovoltaica mantiveram a trajetória de queda, sendo os preços dos leilões de 2019 significativamente inferiores aos dos leilões anteriores, mesmo com a alteração da modalidade de contrato para quantidade. Ressalta-se, contudo, que diferentemente dos anos anteriores, em 2019 os empreendimentos vendedores destinaram entre 30% e 50% da sua garantia física para o ambiente regulado, deixando o restante descontratado para negociações no ambiente de contratação livre. Assim, os preços obtidos nos leilões não podem ser tomados como uma referência de custo de energia da fonte, dado que os projetos receberão uma composição das duas receitas como remuneração. Os preços e potências dos projetos contratados estão compilados na Tabela 5.

Ainda que não seja uma referência de custo, os preços praticados nos leilões serão os preços efetivos de compra dessa energia por parte dos consumidores regulados. Assim, destaca-se a expressiva queda nesses valores em um curto intervalo de tempo. Com relação ao maior médio preço histórico, praticado em 2015, o preço médio do A-6/2019 representa menos de $\frac{1}{4}$ desse valor, e o do A-4/2019 é inferior a $\frac{1}{5}$ do valor máximo.

Tabela 5 - Quantidades comercializadas e preços de venda a cada leilão

Leilão	Projetos contratados	Potência comercializada (MW)	Preço-teto (R\$/MWh)	Preço médio na data do leilão (R\$/MWh)	Preço médio atualizado ¹¹ (R\$/MWh)
LER/2014	31	890	262,0	215,1	282,0
1º LER/2015	30	834	349,0	301,79	364,13
2º LER/2015	33	929	381,0	297,75	353,65
A-4/2017	20	574	329,0	145,7	155,8
A-4/2018	29	807	312,0	118,1	131,2
A-4/2019	6	204	276,0	67,5	67,73
A-6/2019	11	530	209,0	84,39	84,39

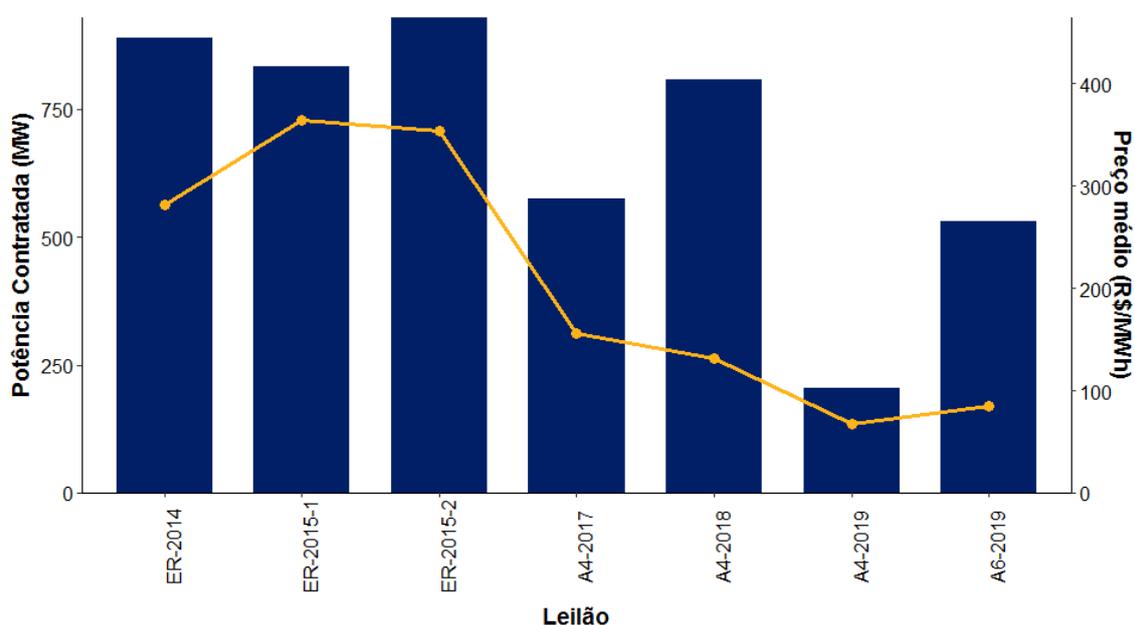


Figura 21 - Potências contratadas e preços médios a cada leilão

¹¹ Valores atualizados pelo IPCA para outubro de 2019

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A fonte solar fotovoltaica vem apresentando evoluções relevantes a cada ano, tanto em quantidade de projetos quanto nas questões de atualizações tecnológicas e redução de custos. Em 2019, houve recorde de projetos cadastrados, aproximando-se dos 30 GW de oferta no leilão A-6.

As variações tecnológicas têm ocorrido com grande velocidade, com novas tendências sendo adotadas e por vezes tornando-se o novo padrão em poucos anos. O exemplo mais claro é o caso das estruturas de suporte, considerando que em 2014 a maioria dos projetos utilizava fixas, e a partir de 2017 mais de 95% dos projetos passaram a utilizar rastreamento em um eixo. Novos modelos de módulos fotovoltaicos também são utilizados a cada leilão, com as tecnologias PERC e bifacial aparecendo em uma fração relevante dos projetos após pouco tempo no mercado.

As inabilitações por restrições associadas à conexão dos empreendimentos têm se tornado cada vez menos frequentes em função da concretização das expansões da malha de transmissão recomendadas nos estudos da EPE. As margens de escoamento calculadas pelo ONS têm demonstrado que a evolução da rede decorrente das recomendações dos estudos de planejamento permitirá acomodar uma expansão da geração com elevado grau de flexibilidade e confiabilidade.

Os custos declarados dos empreendimentos têm alcançado novos patamares desde 2018, em linha com o mercado internacional de equipamentos e indicando evolução do setor fotovoltaico nacional. Em 2019, o aumento do câmbio e a diminuição dos valores de investimentos em moeda brasileira fizeram com que os custos em US\$/kWp atingissem os menores patamares. A análise da composição de custos demonstra uma queda da participação dos módulos e inversores no investimento total, e pequenas variações na importância dos demais custos ao longo dos anos.

Os preços de energia seguiram uma trajetória de queda iniciada no leilão de 2017, influenciados pela evolução técnica dos empreendimentos, pela redução nos custos de investimento e por aspectos financeiros. Uma componente adicional que contribuiu para a queda em 2019 pode ter sido a estratégia de vender uma parcela da garantia física no mercado regulado, com o intuito de buscar contratos mais atrativos no ambiente de contratação livre.

REFERÊNCIAS

A.W.Blakers, A.Wang, A.M.Milne, J.Zhao, M.A.Green. **22.8% Efficient Silicon Solar Cell**, Appl. Phys. Lett. 55. 1363–1365, 1989

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Projetos Fotovoltaicos nos Leilões de Energia: Características dos empreendimentos participantes nos leilões de 2013 a 2018**. Nota Técnica, 2018.

Fertig, F., Lantsch, R., Moher, A., Schaper, M, Bartzsch, M., Wissen, D., Kersten, F., Mette, A., Peters, S., Eidner, A., Cieslak, J., Duncker, K., Junghänel, M., Jarzembowski, E., Kauert, M., Faluwetter-Quandt, B., Meissner, D., Reiche, B., Jeong, D.J.W. **Mass production of p-type Cz silicon solar cells approaching average stable conversion efficiencies of 22%**. Energy Procedia. v-124. Pp-338-345., 2017.

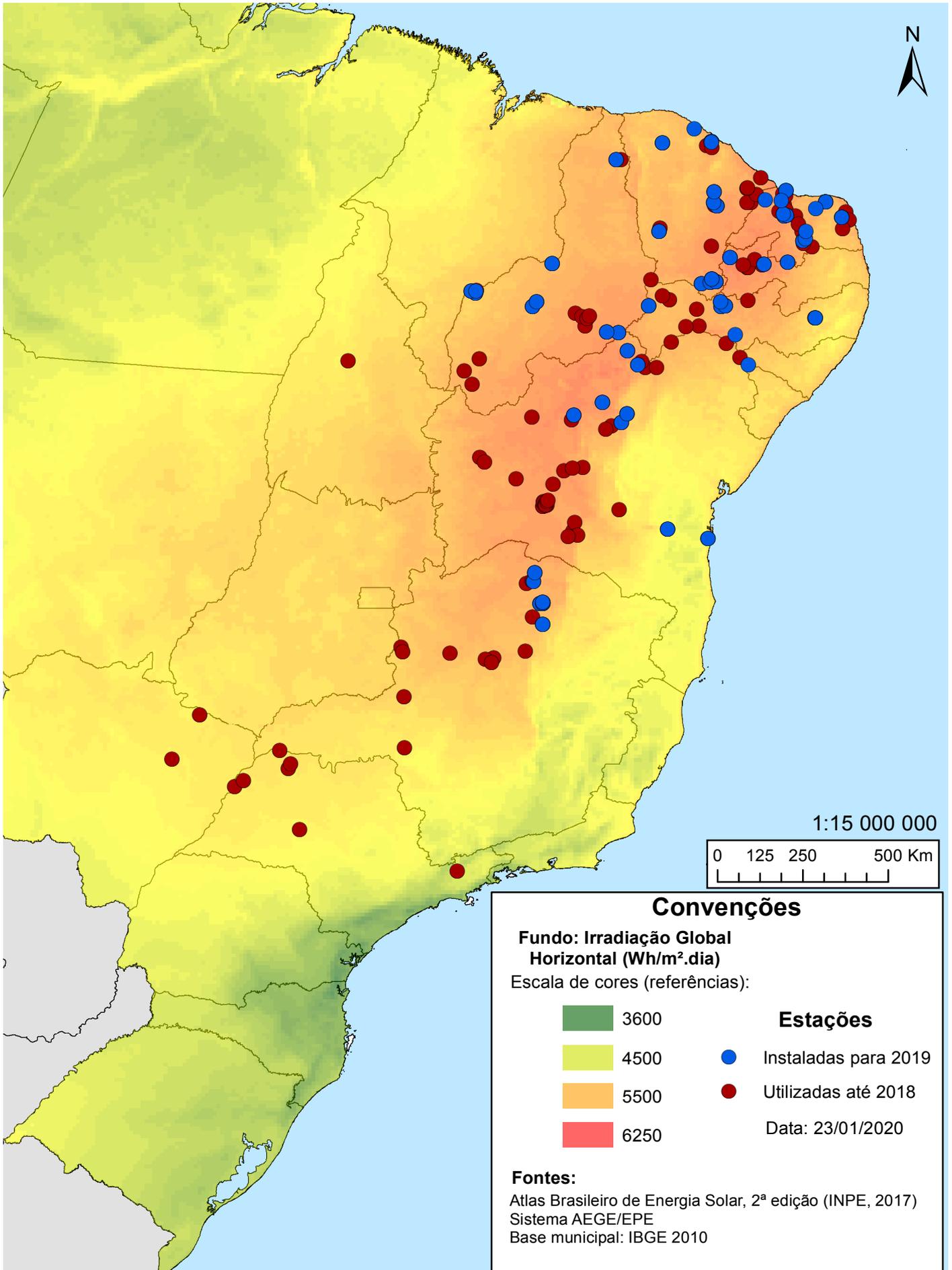
Konzen, G., Ruschel, C.S., Ponte, G.P., 2019. **Módulo bifacial: lançamento dos anos 80 aterrissa agora nos projetos comerciais**. Cenários Solar. Disponível em: <https://cenariosolar.editorabrasilenergia.com.br/modulo-bifacial-lancamento-dos-anos-80-aterrissa-agora-nos-projetos-comerciais/> <acesso em 05/12/2019>

INPE. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2ª Edição, São José dos Campos, 2017.

MME - Ministério de Minas e Energia. **Portaria n. 102, de 22 de Março de 2016**.

Ruschel, C. S. e Ponte, G. P. **Metodologias de Ajuste de Dados Solarimétricos Visando a Estimativa de Produção de Energia de Longo Prazo**. VII Congresso Brasileiro de Energia Solar, 2018.

Ruschel, C. S. e Ponte, G. P. **Efeito da discretização temporal na estimativa da produção de energia de usinas fotovoltaicas**. XXV Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, 2019.



UFV - VENCEDORES

Empreendimentos Fotovoltaicos Vendedores nos Leilões de Energia (potência agregada por município)

