



Grupo de Estudo de Geração Eólica, Solar e Armazenamento-GES

Definição de potência nominal de inversores fotovoltaicos de grande porte

**CRISTIANO SABOIA RUSCHEL(1); GUSTAVO PIRES DA PONTE(1); ALINE COUTO DE AMORIM(1);
BERNARDO FOLLY DE AGUIAR(1);
EPE(1);**

RESUMO

Os fabricantes de inversores fotovoltaicos utilizam diferentes referências de temperatura para a potência de catálogo dos equipamentos. Tal indefinição trazia dificuldades de registro, e fez-se necessária uma discussão com o setor. Até a realização desse debate, considerava-se potência nominal do equipamento aquela que o inversor pode sustentar a temperaturas mais elevadas. Após pleitos, a EPE propôs que a potência nominal seria a da temperatura de operação mais baixa presente no catálogo, e caso necessário, poderia ser declarada uma restrição ao equipamento. Em consulta aos agentes do setor fotovoltaico, houve concordância, e a proposta passou a vigorar em novembro de 2018.

PALAVRAS-CHAVE

Inversores fotovoltaicos, Leilões de energia, Temperatura

1.0 - INTRODUÇÃO

A crescente participação de projetos solares fotovoltaicos nos leilões de energia do Ambiente de Contratação Regulada, com contratação superior a 3 GW de projetos dessa tecnologia, tem levado a EPE à constante busca pelo aperfeiçoamento das análises dos empreendimentos candidatos à habilitação técnica para participação nos leilões.

Em que pese o amadurecimento dos projetos e dos critérios de análise, no que diz respeito ao dimensionamento e características técnicas desses projetos, vislumbrou-se a possibilidade de ajuste da definição da potência nominal dos inversores, como exposto a seguir.

Este trabalho tem por objetivo apresentar, no contexto dos processos de habilitação técnica na EPE para fins de participação nos leilões de energia e alteração de características técnicas: (i) as indefinições acerca do valor considerado como potência nominal dos inversores; (ii) a consideração anterior e a proposta, vigente desde novembro de 2018, bem como suas implicações; e (iii) exemplificar o procedimento a ser adotado pelos empreendedores para eventuais ajustes que sejam necessários em seus projetos.

2.0 - CONCEITOS GERAIS

Este capítulo apresenta as definições de potência instalada de projetos fotovoltaicos, e discute a dificuldade encontrada para a consideração de potência nominal de inversores fotovoltaicos.

2.1 Potência Instalada de Projetos Fotovoltaicos

Conforme definido nas “Instruções para Solicitação de Cadastramento e Habilitação Técnica de Empreendimentos Fotovoltaicos – Leilões de Energia” (1), a Potência Final Instalada de novo empreendimento fotovoltaico corresponde à soma das potências de suas unidades geradoras.

Por sua vez, a potência instalada de uma unidade geradora é definida pelo menor valor entre a soma das potências nominais dos módulos fotovoltaicos (nas *Standard Test Conditions* – STC) e a Potência Disponível do inversor, dada pela sua Potência Ativa Nominal, multiplicada pelo “Fator de Capacidade Máxima”, um termo criado com a função de representar eventuais limitações impostas ao equipamento.

Definições semelhantes foram adotadas pela ANEEL na Resolução Normativa nº 676/2015 (2), que estabelece os requisitos necessários à outorga de centrais geradoras fotovoltaicas.

Para a definição da potência dos módulos fotovoltaicos as normas internacionais que padronizam sua definição são amplamente conhecidas e utilizadas. Para inversores, apesar de haver padronização, nem sempre os fabricantes as consideram na definição de suas potências comerciais de placa.

2.2 Potência Nominal de Inversores Fotovoltaicos

Os inversores fotovoltaicos, componentes dos sistemas fotovoltaicos que convertem a potência em corrente contínua - CC produzida pelos módulos em potência em corrente alternada - CA, possuem um desempenho dependente da temperatura. Diferentemente dos módulos fotovoltaicos, que apresentam uma perda de eficiência linear com o aumento da temperatura, nos inversores, em geral, sua potência de saída é constante até um determinado valor, a partir do qual há um ou mais estágios de decaimento linear, até um limite no qual o equipamento é desligado. Esse comportamento é programado pelos fabricantes para proteção dos componentes eletrônicos e é apresentado em parte dos catálogos, conforme .

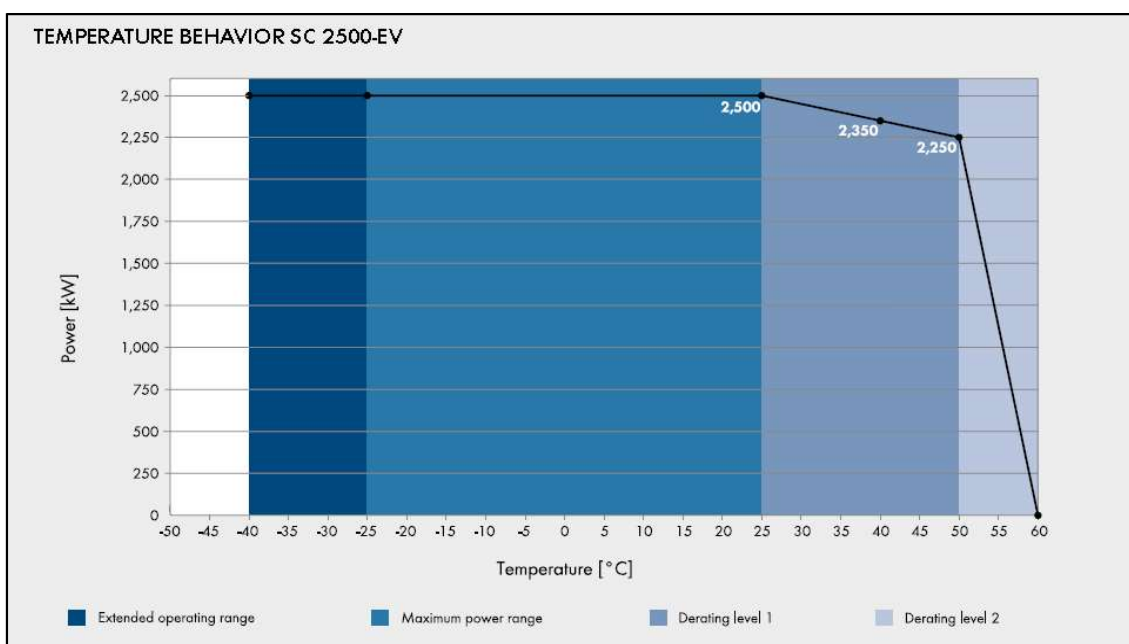


Figura 1 - Comportamento do inversor SMA SC 2500-EV com a temperatura

Ao contrário dos módulos fotovoltaicos, para os quais se convencionou que sua potência nominal é aquela dada a uma condição de laboratório (STC, 25°C, 1000 W/m² e AM 1,5), estabelecida na norma IEC 60904:2006 (3), e seguida por todo o setor, a potência nominal de inversor nem sempre segue um padrão único. A norma IEC 62894:2014 (4) estabelece como *Rated Power* o valor dado na conexão à rede, considerando a tensão nominal de entrada e temperatura ambiente de (25 ± 3) °C, especificando que este valor deve ser obtido depois do teste de aumento de temperatura.

Os fabricantes apresentam diferentes valores de potência ativa nominal para seus inversores, em função da temperatura. Há divergência de considerações tanto das condições presentes nos catálogos quanto de qual destas é utilizada para o nome comercial do equipamento.

Por exemplo¹, a GE apresenta as potências ativas a 35°C e a 50°C, escolhendo o valor à temperatura mais alta para o valor de placa. Outro fabricante, a Power Electronics, traz as potências a 25°C e 50°C, também elegendo a menor potência para nomear o equipamento. Um terceiro fornecedor, a SMA, informa 3 potências nominais, a 25°C, 40°C e 50°C, utilizando a maior destas (a atingida a 25°C) como nome comercial. Um destaque de cada um dos catálogos é mostrado nas Figuras 2, 3 e 4.



GE
Power Conversion

1. GE 1500V 1.1MW INVERTER DATA SHEET

Specifications	Units	Nominal
Output Data		
AC output power [35°C/50°C]	kVA	1155/1100
Operating grid voltage +/-10% ¹	V _{ac}	605
Maximum AC current [35°C/50°C]	A _{ac}	1102/1050
Grid frequency ±5%	Hz	50
Current harmonic distortion [TDD]	%	< 3
Power factor range		0-1 inductive or capacitive

Figura 2 - Especificações de um inversor GE

HEC_{V1500}

TECHNICAL CHARACTERISTICS

690VAC - MPPT Window 976V-1250V						
	FRAME 3	FRAME 4	FRAME 5	FRAME 6	FRAME 7	
NUMBER OF MODULES	3	4	5	6	7	
REFERENCE	FS1275CH15	FS1700CH15	FS2125CH15	FS2550CH15	FS3000CH15	
OUTPUT	AC Output Power(kVA/kW) @50°C ^①	1275	1700	2125	2550	3000
	AC Output Power(kVA/kW) @25°C ^②	1530	2040	2550	3060	3500
	Max. AC Output Current (A) @25°C	1285	1710	2140	2570	3000
	Operating Grid Voltage (VAC)	690V ±10%				
	Operating Grid Frequency (Hz)	50Hz/60Hz				
	Current Harmonic Distortion (THDi)	< 3% per IEEEE519				
	Power Factor (cosine phi) ^③	0.0 leading ... 0.0 lagging / Reactive Power injection at night				
	Power Curtailment (kVA)	0..100% / 0.1% Steps				

Figura 3 - Especificações de um inversor Power Electronics

SUNNY CENTRAL 2500-EV



Technical Data	SC 2500-EV
Output (AC)	
Nominal AC power at cos φ =1 (at 25°C / at 40°C / at 50°C)	2,500 kVA / 2,350 kVA / 2,250 kVA
Nominal AC power at cos φ =0.9 (at 25°C / at 40°C / at 50°C)	2,250 kW / 2,115 kW / 2,025 kW
Max. output current I _{AC, max}	2,624 A
Nominal AC current I _{AC, nom}	2,362 A
Max. total harmonic distortion	< 3% at nominal power
Nominal AC voltage / nominal AC voltage range	550 V / 440-660 V
AC power frequency	50 Hz, 60 Hz
Power factor at rated power / displacement power factor adjustable	1 / 0.8 overexcited to 0.8 underexcited

Figura 4 - Especificações de um inversor SMA

¹ Este documento possui caráter técnico e não pretende julgar as definições técnico-comerciais de cada fabricante

Ainda, nem todos os catálogos esclarecem se a temperatura citada é a de operação do inversor ou a ambiente. Caso se considerasse a primeira, seria necessário ainda definir em qual componente do equipamento deveria ser medida a temperatura. Contudo, quando questionados acerca desta definição, a maioria dos fabricantes afirma que a temperatura considerada é a ambiente. A mesma consideração é apresentada na supracitada norma IEC 62894:2014.

3.0 - DEFINIÇÕES PARA FINS DE REGISTRO

Diante das diferentes considerações encontradas, coube à EPE definir um critério para fins de registro dos equipamentos nos leilões de energia do mercado regulado. Tal definição levou a implicações que fizeram com que se decidisse por consultar os agentes interessados com o intuito de aprimorar o padrão utilizado. Este capítulo descreve a definição anterior, suas implicações, e a proposta sugerida, que após discussão com os agentes passou a vigorar em novembro de 2018.

3.1 DEFINIÇÃO ADOTADA ATÉ NOVEMBRO DE 2018

Para inscrição de projetos nos leilões de energia, a EPE convencionou, em um primeiro momento, utilizar o valor de potência mais baixo apresentado no catálogo, ou seja, aquele que é atingido mesmo a temperaturas mais elevadas. Alguns empreendedores questionaram tal posicionamento, com cartas dos fabricantes afirmando que a temperatura apresentada no catálogo é a ambiente, e que não seria razoável considerar a potência nominal como aquela produzida pelo equipamento a uma temperatura ambiente de, por exemplo, 50°C em projetos no Brasil. Em alguns casos, a requisição foi acatada, e a potência nominal de registro do equipamento foi alterada na base de dados do sistema AEGE².

Contudo, ainda que se esclarecesse que a temperatura apresentada nos catálogos é a do ambiente, e se reconhecesse que utilizar a potência à 50°C poderia não ser adequado, não havia uma resposta clara a esse problema. Arbitrar uma temperatura média que parecesse razoável para projetos localizados no Nordeste brasileiro (30°C ou 35°C, por exemplo) poderia não ser representativo para projetos da região Sudeste, para os quais 25°C poderia ser mais coerente. Ainda, como demonstrado nas figuras dos catálogos apresentados anteriormente (Figuras 2, 3 e 4), não havia uma padronização entre os fabricantes. Os três utilizam 50°C como valor superior, mas há fabricantes que não o fazem. Para a temperatura inferior, dois deles consideram 25°C e um 35°C. Outro informa ainda a potência a uma temperatura intermediária (40°C). Assim, qualquer valor que fosse arbitrado poderia trazer dificuldades no registro.

Adicionalmente, ressalta-se que é necessário que este efeito seja levado em conta na estimativa de produção de energia. Alguns softwares, como o PVsyst (5), permitem que seja inserida a curva de eficiência do inversor em função da temperatura, tal como a da , fazendo com que a produção de energia seja limitada em temperaturas mais elevadas. De toda forma, esse procedimento depende da correta inserção de parâmetros que nem sempre estão disponíveis nos catálogos dos equipamentos. Além disso, nem todos os softwares de simulação de produção fotovoltaica possibilitam a inserção da curva “potência x temperatura” do inversor.

Assim, embora houvesse uma norma tratando do assunto, não havia clareza sobre a definição da potência nominal dos inversores, definição esta que leva a algumas implicações nos projetos fotovoltaicos cadastrados para os leilões de energia. Mesmo quando consultados, os fabricantes não mencionaram a IEC 62894:2014, mostrando a falta de uniformidade quanto ao tema.

3.2 Implicações da Definição

A primeira implicação da definição da potência nominal de inversores é de cunho processual. Um dos requisitos básicos para os projetos inscritos nos leilões de energia é de que todos os documentos estejam compatíveis entre si e coerentes com o preenchimento do sistema AEGE. A divergência de considerações de potência de inversor é uma fonte comum de inconsistência entre documentos, requerendo diligências por parte da EPE. Se o projeto apresenta um padrão diferente daquele estabelecido pela EPE, faz-se necessária a correção de toda sua documentação: certificação de produção de energia, registro na ANEEL, memorial descritivo, bem como dos dados no sistema AEGE. Em casos extremos, se não sanadas, tais incompatibilidades podem, inclusive, levar à inabilitação técnica dos projetos.

Com relação à estimativa de produção de energia, há que se verificar também a metodologia adotada pela entidade certificadora, o software de simulação utilizado e a adequação dos parâmetros de entrada dessa simulação, como por exemplo:

- se o valor de potência nominal corresponde ao informado no catálogo do fabricante do inversor;

² Sistema de Acompanhamento de Empreendimentos Geradores de Energia Elétrica, no qual os empreendedores inserem os dados de seus empreendimentos com vistas a participar dos leilões de energia elétrica.

- se foi considerada a curva “temperatura x potência” do inversor”; e
- se a estimativa de perdas no inversor é compatível com a potência nominal considerada.

Tais parâmetros afetam diretamente a estimativa de produção de energia e, conseqüentemente, a Garantia Física do empreendimento, razão pela qual devem ser avaliados criteriosamente. Além dessas questões, essa definição traz outras implicações práticas nos projetos, em sua competitividade e na posterior operação das usinas. A potência nominal do empreendimento, por exemplo, serve de parâmetro para a determinação do montante do uso do sistema de transmissão (MUST) ou distribuição (MUSD) a ser contratado, assim como a potência máxima que este está permitido a injetar na rede.

Dependendo do padrão considerado, há dois cenários possíveis:

- 1) Ao se considerar uma potência nominal menor que a atingível, a usina seria obrigada a limitar sua produção, por não ter capacidade de escoamento (MUST ou MUSD) contratada, representando uma perda.
- 2) Considerando-se uma potência nominal mais alta, que seria atingida em poucas situações, a usina teria contratado um maior MUST, onerando o projeto e aumentando a ociosidade do sistema de transmissão.

Ressalta-se que, em qualquer dos cenários, é importante que suas implicações sejam consideradas na estimativa de produção de energia do projeto.

3.3 Definição proposta e adotada em novembro de 2018

Visando manter a isonomia entre os participantes dos leilões de energia e permitir a escolha por parte dos empreendedores da estratégia mais adequada a cada projeto específico, propôs-se alterar a definição utilizada até então de potência nominal de inversores, como segue:

- considera-se sempre a potência ativa mais alta entre as apresentadas no catálogo, ou seja, aquela atingida a temperaturas mais baixas.

- caso seja de interesse do empreendedor utilizar uma potência menor, pois, por exemplo, seu projeto está em uma região de temperaturas mais elevadas, este poderia declarar uma limitação de potência injetada. Para tanto, há o campo “Fator de Capacidade Máxima” no AEGE, onde preenche-se o percentual da potência máxima que se deseja considerar.

O campo “Fator de Capacidade Máxima” já existia no AEGE antes dessa proposta, e tinha o intuito de considerar quaisquer restrições que o empreendedor desejasse impor a seu equipamento. A diferença após a alteração do critério de potência do inversor é que este passou a representar uma limitação adicional: aquela devido à temperatura de operação do equipamento.

Esta definição, além de padronizar as considerações entre as centenas de projetos cadastrados para os leilões, se mostra aderente ao disposto na norma IEC 62894:2014.

Em atenção às contribuições recebidas, para minimizar transtornos entre os agentes, convencionou-se que a nova definição seria válida somente a partir de novembro de 2018, ou seja, após os leilões daquele ano e antes dos leilões do ano seguinte, garantindo prazos adequados para eventuais revisões de documentos e evitando alterações retroativas em processos vigentes ou já finalizados.

4.0 - ATUALIZAÇÃO DAS INSTRUÇÕES PARA CADASTRAMENTO DE EMPREENDIMENTOS FOTOVOLTAICOS

A nova definição foi incorporada às “Instruções para Solicitação de Cadastramento e Habilitação Técnica de Empreendimentos Fotovoltaicos – Leilões de Energia” (1) e, em atenção às contribuições recebidas, definiu-se que esta passaria a valer para leilões e processos de alterações de características técnicas realizadas após 01/11/2018, a fim de evitar alterações retroativas, sendo que os processos anteriores a esta data continuaram considerando a definição anterior.

Para ilustração do procedimento a ser realizado pelos empreendedores no registro de seus projetos, foi incorporado um exemplo às instruções, reproduzido a seguir.

Suponhamos que um projeto utilize o inversor fictício B-1000, cuja curva de potência é apresentada na . Convencionou-se que sua potência nominal é de 1.000 kW, valor no qual o equipamento trabalha até a

temperatura de 25° C, a partir da qual apresenta duas quedas lineares na potência. Consideremos que o projetista analise o local do empreendimento, verifique que as temperaturas em geral são mais elevadas, e, como o equipamento pouco trabalharia nessa faixa, decida limitar sua potência àquela atingida à temperatura de 30° C. A partir do gráfico o responsável pelo projeto conclui que a potência nesta temperatura é de 980 kW. Para informar essa consideração, deve ser declarado um Fator de Capacidade Máxima de 98%, conforme demonstrado na Figura 6.

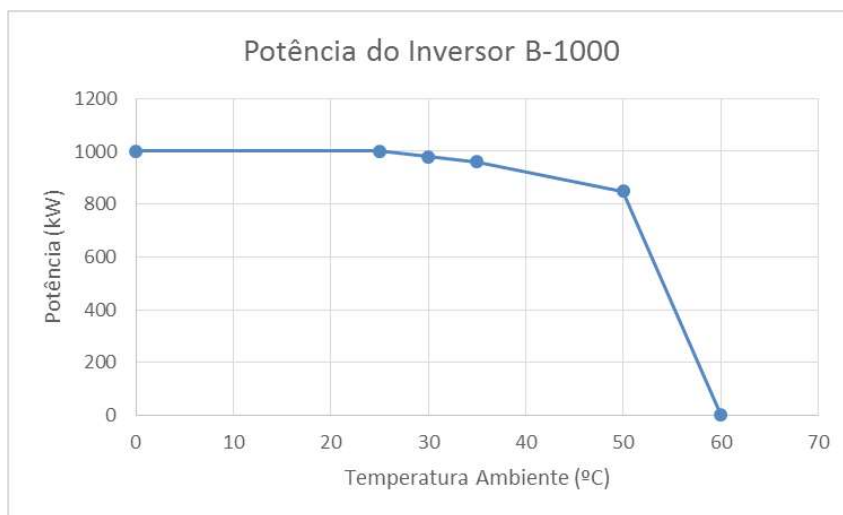


Figura 5 - Curva potência x temperatura de um inversor fictício

Cadastro > Empreendimentos > Inscricao

PROJETO - UFV - BRASIL SOLAR

Incluir Editar Salvar Excluir Desfazer

F. Dados Comprovante Hab. Técnica

Registrar sucesso

Empreendimento Capacidade Outorgas Características Técnicas Equipamentos Dados Socioambientais Conexão Leilão

Módulos Fotovoltaicos Inversores Unidades Geradoras

Arranjo Fotovoltaico							
Módulo Fotovoltaico	Fabricante A - A-P300	Número de Módulos por Série	20	Número de Séries em Paralelo	200	Número de Módulos por Arranjo	4000
Tipo de Estrutura de Suporte	Rastreamento 1 eixo	Inclinação das Fileiras (°)	55,0	Potência CC do Arranjo (kWp)	1200,000		
Inversor							
Inversor Associado ao Arranjo	Fabricante B - B-1000	Fator de Capacidade Máxima (%)	98,000000	Potência CA do Inversor (kW)	1000	Potência Disponível (kW)	980,000
Quantidade de Unidades Geradoras do Grupo							
Quantidade de UG	30			Potência de UG (kW)	980,000	Potência do Grupo UG (kW)	29400,000

cod Emp	nam Emp	Unidade Geradora	Módulo Fotovoltaico	Inversor Associado ao Arranjo	Equipamento Módulo Fotovoltaico	Equipamento Inversor	Tipo de Estrutura de Suporte	Inclinação das Fileiras (°)	Número de Módulos por Série	Número de Séries em Paralelo	Número de Módulos por Arranjo	Quantidade de UG	Potência CC do Arranjo (kWp)	Fator de Capacidade Máxima (%)	Potência CA do Inversor (kW)	Potência Disponível (kW)	Potência de UG (kW)
2502	1	1	445	332	Fabricante A - A-P300	Fabricante B - B-1000	Rastreamento 1 eixo	55,0	20	200	4000	30	1200,000	98,000000	1000	980,000	980,000

Figura 6 - Exemplo de uso de Fator de Capacidade Máxima no AEGE

Vemos que a potência disponível, com esta configuração, é de 980 kW, conforme desejado, e que a potência da unidade geradora (UG), no campo abaixo, assume o mesmo valor. Multiplicando pela quantidade de unidades geradoras, que no exemplo é de 30, têm-se a potência total do empreendimento, neste caso hipotético, de 29.400 kW.

Reitera-se que neste caso, ainda que durante a operação a temperatura ambiente do local possa ser inferior a 30° C em determinados momentos e os inversores possuam, nesses casos, capacidade técnica para atingir potências superiores a 980 kW cada, o empreendimento estará limitado à potência de 29.400 kW, já que regulatoriamente este é enxergado pelo sistema com tal potência, e esta deverá ser a capacidade de conexão contratada.

Assim, a estimativa de produção de energia do empreendimento deve considerar da mesma maneira esta limitação, ou seja, com a potência de cada inversor limitada, a todos os momentos, a 980 kW. Ainda, independente do uso ou não de um fator de capacidade máxima, os limites físicos do equipamento devem ser sempre respeitados, e tal restrição deve ser considerada na estimativa da produção de energia. Ou seja, caso o inversor da esteja, em algum momento, operando em um ambiente a 35° C, a potência máxima que este poderá entregar será de 960 kW, e tal limitação deve ser prevista na simulação de estimativa de produção de energia.

5.0 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Avalia-se que o processo de definição de novo critério de potência nominal do inversor foi exitoso. Este incluiu uma discussão com a participação dos agentes do setor, que concordaram com a proposta da EPE e propuseram alguns ajustes incorporados à versão final. A adoção deste critério possibilitou a padronização acerca da potência nominal de inversores fotovoltaicos considerada nos diversos projetos participantes dos leilões do mercado regulado, além de estar condizente com a norma IEC 62894:2014. Com o novo critério já vigente, observa-se que parte dos agentes tem considerado o Fator de Capacidade Máxima para ajustes conforme o novo procedimento, possibilitando assim a decisão por parte dos empreendedores da potência do equipamento que será utilizada, baseados nas características específicas de cada projeto.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) EPE, Instruções para Solicitação de Cadastramento e Habilitação Técnica de Empreendimentos Fotovoltaicos – Leilões de Energia, 2018.
- (2) ANEEL, Resolução Normativa nº 676/2015
- (3) IEC 60904:2006 – Photovoltaic Devices, 2006.
- (4) IEC 62894:2014 - Photovoltaic inverters - Data sheet and name plate, 2014.
- (5) PVSYST 6 Help. Disponível em: <http://files.pvsyst.com/help/index.html>, 2014.

7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Aline Couto de Amorim, nascida em Niterói – RJ em 1979, é Analista de Pesquisa Energética na Empresa de Pesquisa Energética – EPE, graduada em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal Fluminense – UFF (conclusão em 2006) e com MBA em Gestão pela Qualidade Total pela mesma Instituição (conclusão em 2009).

Bernardo Folly de Aguiar nascido em Nova Friburgo – RJ, em 1984, é superintendente de Projetos de Geração na Empresa de Pesquisa Energética – EPE, graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ (conclusão em 2007), possui MBA em Energy Business pela FGV-RJ (conclusão em 2013).



Cristiano Saboia Ruschel, nascido em Guaíba – RS em 1988, é Analista de Pesquisa Energética na EPE, e Engenheiro Mecânico graduado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS (conclusão em 2012). Possui mestrado e doutorado em Energia também pela UFRGS (conclusões em 2015 e 2019, respectivamente).

Gustavo Pires da Ponte, nascido em Brasília – DF em 1984, é Consultor Técnico na EPE, graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade de Brasília - UnB (conclusão em 2008) e pós-graduado em Engenharia de Tubulações pela PUC-Rio (conclusão em 2010) e mestre em Engenharia Urbana e Ambiental pela PUC-Rio e Technische Universität Braunschweig (conclusão em 2019).