

DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE DE DIMENSIONAMENTO E SIMULAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS E ANÁLISE DE COMPENSAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - PVGRID 2.0

GIULIANO ARNS RAMPINELLI (UFSC) - giulianorampinelli@gmail.com

Breno Pereira Dela Bruna (UFSC) - brenodelabruna@gmail.com

Resumo:

O desenvolvimento sustentável é um dos desafios da sociedade contemporânea, sendo que a transição para uma matriz energética de carbono zero é imperativo. Os sistemas fotovoltaicos apresentam confiabilidade, maturidade tecnológica e competitividade econômica. A geração distribuída com sistemas fotovoltaicos está no coração da revolução energética. A geração distribuída está regulamentada pela Resolução Normativa 482/2012 e a operacionalidade é a partir do sistema de compensação de energia elétrica. Este artigo apresenta o desenvolvimento de um programa computacional (PV GRID Versão 2.0) para dimensionamento e simulação de sistemas fotovoltaicos de geração distribuída e análise do sistema de compensação de energia elétrica nas modalidades de geração na própria unidade consumidora e do autoconsumo remoto. O software foi desenvolvido utilizando a plataforma MATLAB. O usuário deve inserir dados sobre a localização geográfica do sistema fotovoltaico, o tipo de conexão (monofásica, bifásica ou trifásica) e o consumo mensal de energia elétrica da(s) unidade(s) consumidora(s). A partir das informações de entrada, o software dimensiona a potência do sistema fotovoltaico, estima a energia elétrica mensal gerada pelo sistema e realiza a compensação de energia elétrica e o faturamento, em kWh, da(s) unidade(s) consumidora(s).

Palavras-chave: *Sistemas Fotovoltaicos, Geração Distribuída, Software de Dimensionamento, PVGrid 2.0.*

Área temática: *Conversão Fotovoltaica*

Subárea temática: *Controle e monitoramento de sistemas fotovoltaicos*

DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE DE DIMENSIONAMENTO E SIMULAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS E ANÁLISE DE COMPENSAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – PVGRID 2.0

Breno Pereira Dela Bruna – brenodelabruna@gmail.com

Giuliano Arns Rampinelli – giuliano.rampinelli@ufsc.br

Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

Centro de Ciências, Tecnologias e Saúde – Núcleo Tecnológico de Energia Elétrica

Resumo. O desenvolvimento sustentável é um dos desafios da sociedade contemporânea, sendo que a transição para uma matriz energética de carbono zero é imperativo. Os sistemas fotovoltaicos apresentam confiabilidade, maturidade tecnológica e competitividade econômica. A geração distribuída com sistemas fotovoltaicos está no coração da revolução energética. No Brasil, a geração distribuída está regulamentada pela Resolução Normativa 482/2012 e a operacionalidade é a partir do sistema de compensação de energia elétrica. Este artigo apresenta o desenvolvimento de um programa computacional (PV GRID Versão 2.0) para dimensionamento e simulação de sistemas fotovoltaicos de geração distribuída e análise do sistema de compensação de energia elétrica nas modalidades de geração na própria unidade consumidora e do autoconsumo remoto. O software foi desenvolvido utilizando a plataforma MATLAB. O usuário deve inserir dados sobre a localização geográfica do sistema fotovoltaico, o tipo de conexão (monofásica, bifásica ou trifásica) e o consumo mensal de energia elétrica da(s) unidade(s) consumidora(s). A partir das informações de entrada, o software dimensiona a potência do sistema fotovoltaico, estima a energia elétrica mensal gerada pelo sistema e realiza a compensação de energia elétrica e o faturamento, em kWh, da(s) unidade(s) consumidora(s).

Palavras-chave: Sistemas Fotovoltaicos, Geração Distribuída, Software de Dimensionamento, PVGrid 2.0.

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas fotovoltaicos apresentam confiabilidade, maturidade tecnológica e competitividade econômica e podem ser inseridos na geração centralizada e na geração distribuída. Os sistemas fotovoltaicos promovem a descarbonização da matriz elétrica e contribuem para o desenvolvimento sustentável. Em 2017 e 2018, a capacidade nova adicionada, em âmbito mundial, foi da ordem de 100 GW_p, sendo que a capacidade nominal instalada é de aproximadamente 500 GW_p (IEA-PVPS, 2019). Em 2018, o mercado foi impulsionado, especialmente, por China, Índia e Estados Unidos e a energia elétrica proveniente de sistemas fotovoltaicos foi da ordem de 2,6 % (IEA-PVPS, 2019). O fator de capacidade médio, em 2018, foi da ordem de 14,5 % e o mercado fotovoltaico apresenta taxa média de crescimento da ordem de 30%/ano (IEA-SHC, 2019).

No Brasil, há um cenário favorável para os sistemas fotovoltaicos, tanto na geração centralizada quanto na geração distribuída. A capacidade de usinas fotovoltaicas, em operação e em construção, é da ordem de 2,3 GW_p e 0,8 GW_p, respectivamente (ANEEL, 2019a). O preço médio de comercialização da energia solar fotovoltaica no leilão A4/2019 foi de R\$ 67,48/MWh, um recorde e consolidando a competitividade econômica da fonte solar (EPE, 2019). A geração distribuída está regulamentada pela Resolução Normativa 482/2012 que estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica. Posteriormente, a RN 482/2012 foi alterada pelas Resoluções Normativas 687/2015 e 786/2017. O sistema de compensação de energia elétrica garante a operacionalidade da geração distribuída (ANEEL, 2019b). As modalidades da geração distribuída são: geração na própria unidade consumidora, autoconsumo remoto, geração compartilhada e empreendimentos com múltiplas unidades consumidoras (ANEEL, 2019b).

Atualmente o número de unidades consumidoras com sistemas fotovoltaicos de geração distribuída é da ordem de 135 mil, sendo que aproximadamente 20 mil sistemas fotovoltaicos estão caracterizados na modalidade de autoconsumo remoto. A potência instalada é de aproximadamente 1,57 GW_p, sendo que na modalidade de autoconsumo remoto a potência é da ordem de 357 MW_p. A classe de consumo predominante na inserção de sistemas fotovoltaicos de geração distribuída é o setor residencial, com um percentual de aproximadamente 73% (ANEEL, 2019c).

Há diversos e distintos softwares, gratuitos ou licenciados, de dimensionamento e simulação de sistemas fotovoltaicos disponíveis no mercado (Pinho e Galdino, 2014; Scarabelot e Rampinelli, 2018). Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um software acadêmico de dimensionamento e simulação de sistemas fotovoltaicos de geração distribuída e análise de compensação e faturamento, em kWh, de energia elétrica, chamado PVGrid 2.0. A versão 1.0 do software PVGrid está descrita em Scarabelot e Rampinelli (2018). O diferencial do software, entre os resultados de saída, é o faturamento da energia elétrica, em kWh, que é realizado nas modalidades de geração na própria unidade consumidora e autoconsumo remoto no âmbito da geração distribuída. O software é acadêmico e sem fins lucrativos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O software desenvolvido, *PVGrid 2.0*, compreende duas etapas, o dimensionamento e simulação de sistemas fotovoltaicos considerando o consumo de energia elétrica da(s) unidade(s) consumidora(s) e a análise do sistema de compensação e faturamento, em kWh, de energia elétrica no âmbito da geração distribuída. O software foi desenvolvido utilizando a plataforma MATLAB.

O programa MATLAB, inicialmente concebido para utilização em cálculos matriciais, possui também características que permitem o desenvolvimento de *scripts* e de algoritmos como em outras linguagens de programação. Um *script* é um arquivo que contém um ou mais comandos. Após salvar este arquivo, pode-se executá-lo digitando seu nome no interpretador de comandos do MATLAB. Como propriedade fundamental, o MATLAB faz uso das matrizes como estrutura de dados básica.

Para o dimensionamento e simulação do sistema fotovoltaico foi utilizado uma base de dados de radiação solar e equações consolidadas na literatura científica (Pereira et. al., 2017; Dias, 2006; Rampinelli, 2010; IEA-PVPS, 2014). Os dados de radiação solar são provenientes da base de dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017) disponível em http://labren.ccst.inpe.br/atlas_2017.html (Atlas Brasileiro de Energia Solar – LABREN/CCST/INPE). A Eq. (1) apresenta a produtividade de referência (Y_R) que é definida como a razão entre a irradiação solar em um período de tempo, diário, mensal ou anual, e a irradiância padrão de 1 kW/m². A Eq. (2) apresenta a produtividade do sistema fotovoltaico (Y_F) definida como a razão entre a energia elétrica ativa entregue no lado c.a. em um período de tempo, diário, mensal ou anual, e a potência nominal do sistema fotovoltaico. A Eq. (3) apresenta o índice de razão de desempenho ou *performance ratio* (PR) que é definido pela razão entre a produtividade do sistema fotovoltaico e a produtividade de referência.

$$Y_{R_i} = \frac{H_i}{G_{nominal}} [kWh/kW] \quad (1)$$

$$Y_F = \frac{\sum_1^i E_{gerada}}{P_{nominal}}, i = [1, \dots, 12] [kWh/kW] \quad (2)$$

$$PR = \frac{Y_F}{Y_R} \quad (3)$$

Inicialmente, para o dimensionamento da potência instalada do sistema fotovoltaico, a energia elétrica a ser gerada pelo sistema fotovoltaico, Eq. (4), é definida inicialmente como a diferença entre a energia consumida pela(s) unidade(s) consumidora(s) e pelo(s) seu(s) respectivo(s) custo(s) de disponibilidade. O período considerado é mensal, visto que é o período de faturamento da energia elétrica consumida por uma unidade consumidora. A Eq. (5) define a potência nominal de um sistema fotovoltaico que seja capaz de gerar a energia elétrica considerada para as unidades consumidoras envolvidas. Para estimar a energia elétrica gerada pelo sistema fotovoltaico levando em consideração a produtividade de referência mensal do local de instalação é utilizada a Eq. (6).

Para a estimativa da área necessária disponível para instalação do sistema fotovoltaico, Eq. (7), foi utilizado como referência a área de um módulo fotovoltaico comercial, sendo que foi considerado que os módulos aplicados na instalação apresentam potência nominal de 340 Wp, área de 2 m² e eficiência de 17 %. Por fim, é realizada a compensação e faturamento da(s) unidade(s) consumidora(s) segundo as condições estabelecidas na REN 482/2012 e suas devidas atualizações.

$$E_{gerada_i} = \sum_1^n (E_{consumida_{n,i}} - CD_n), i = [1, \dots, 12] \text{ e } n > 0 [kWh/ano] \quad (4)$$

$$P_{nominal} = \frac{\sum_1^n E_{gerada_i}}{Y_{R_{anual}} \times PR}, i = [1, \dots, 12] \quad (5)$$

$$E_{gerada_i} = P_{nominal} \times Y_{R_i} \times PR \quad (6)$$

$$A = \frac{P_{nominal} \times 2}{0,34} [m^2] \quad (7)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O software foi desenvolvido pelo Núcleo Tecnológico de Energia Elétrica (NTEEL) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e tem caráter acadêmico. A primeira etapa foi o desenvolvimento da interface gráfica do software utilizando a plataforma App Designer do MATLAB. A interface é composta por 3 abas, nomeadas “Apresentação”,

“Entrada de Dados” e “Resultados”. Na aba “Apresentação”, é apresentado o software, seus autores, a instituição, objetivo e instruções rápidas de uso (Fig. 1).



Figura 1 – Janela de abertura do software PVGrid Versão 2.0 / Aba “Apresentação”.

Na aba “Entrada de Dados”, o usuário deverá interagir com a interface, preenchendo o local da instalação, o consumo da(s) unidade(s), concordar com o disposto no item VIII do Art 2º da REN 482/2012, referente à definição da modalidade de autoconsumo remoto e pressionar o botão “SIMULAR”. O usuário pode escolher também a potência nominal do sistema fotovoltaico, verificando a simulação do faturamento da unidade consumidora (Fig. 2).

O/I	Ligação	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
☒	Monofásico	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 2 – Aba “Entrada de Dados”.

Por fim, a partir dos passos anteriores, o usuário poderá visualizar na aba “Resultados” as implicações da simulação requerida (Fig. 3). Na área superior esquerda são listadas informações sobre a unidade prosumidora e o sistema fotovoltaico, como: potência nominal, localização, coordenadas geográficas, irradiação solar, tipo de ligação, produtividade do sistema fotovoltaico e área necessária.

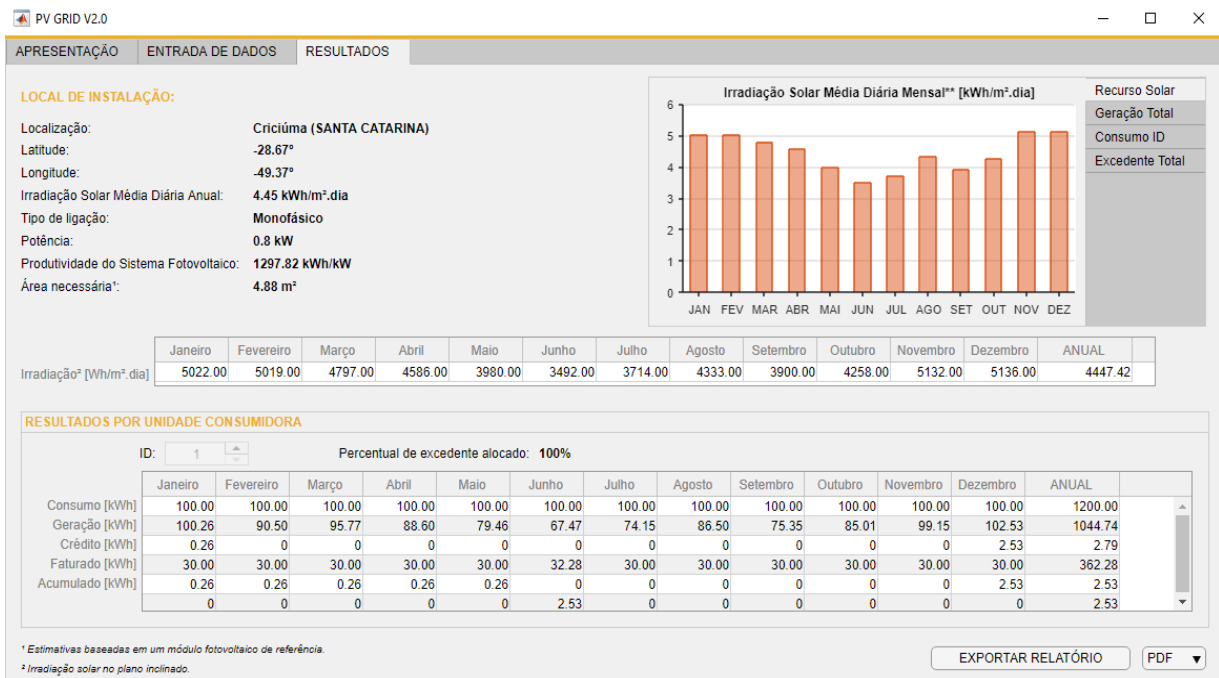


Figura 3 – Aba “Resultados”.

Na parte inferior da janela, o usuário irá visualizar um campo nomeado “ID”, seguido de uma tabela com o resultado da simulação de faturamento (Figura 4). O campo ID pode ser alterado, exibindo a simulação de faturamento de cada unidade consumidora participante do sistema de compensação.

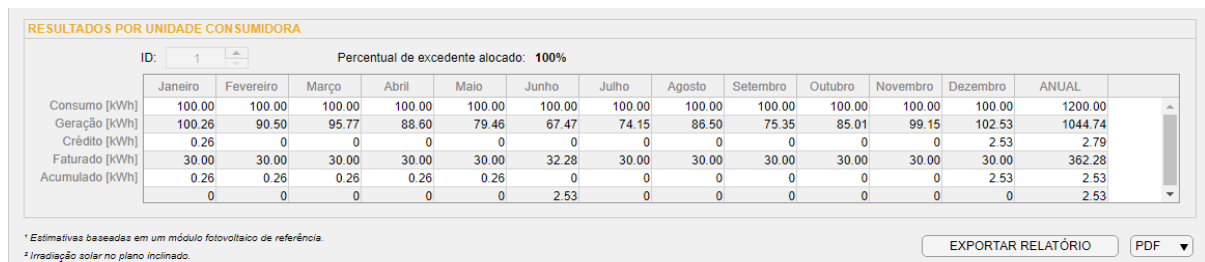


Figura 4 – Parte de exibição da simulação de faturamento da(s) unidade(s) consumidora(s).

Na parte superior direita, o usuário poderá visualizar a irradiação solar no local de instalação (Fig. 5), consumo total das unidades participantes e da geração de energia elétrica do sistema fotovoltaico (Fig. 6), o consumo individual da unidade selecionada (Fig. 7) e o percentual alocado em cada unidade consumidora (Fig. 8).

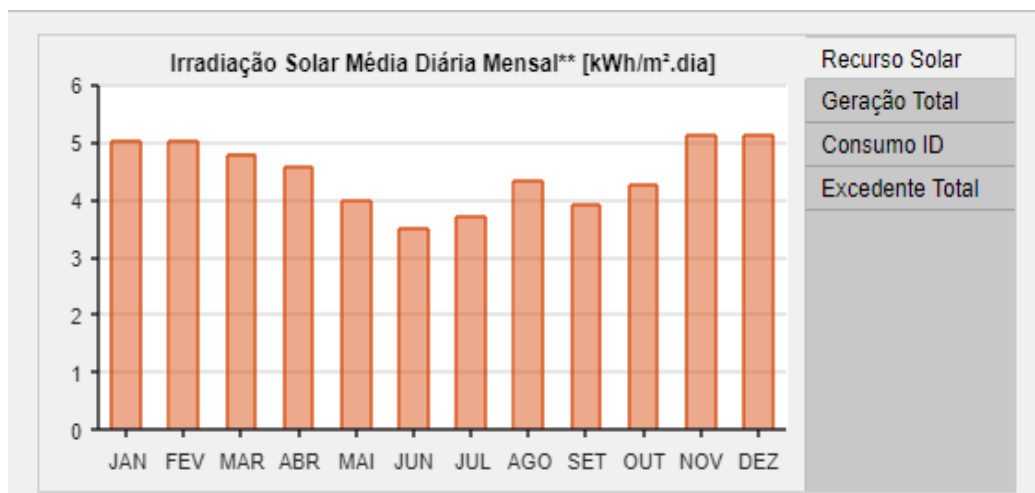


Figura 5 – Irradiação solar média mensal do local de instalação do sistema fotovoltaico.

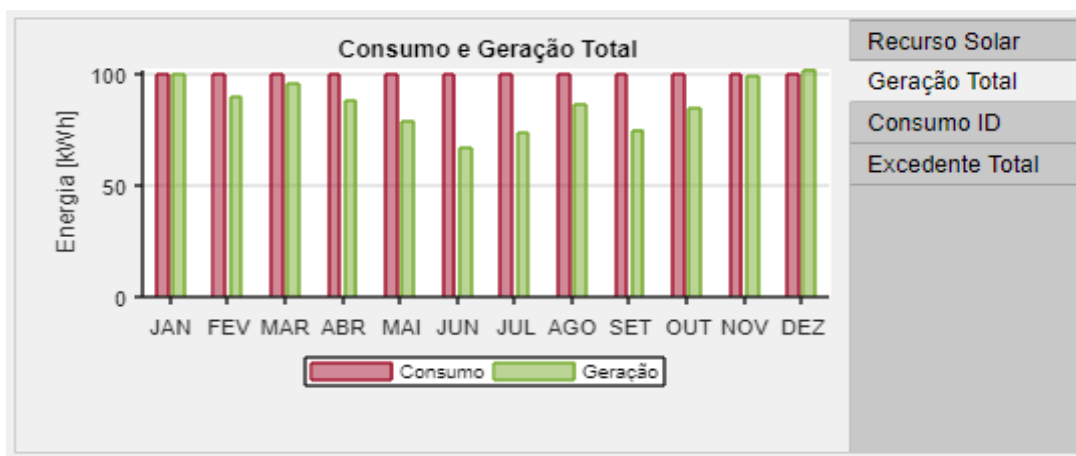


Figura 6 – Consumo total e energia elétrica gerada pelo sistema fotovoltaico.

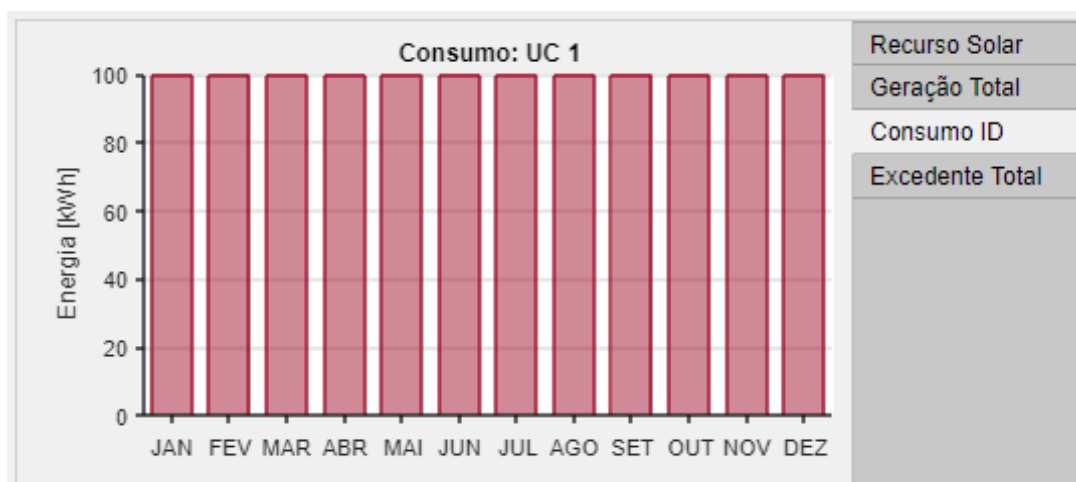


Figura 7 – Consumo individual da unidade selecionada no campo “ID”.

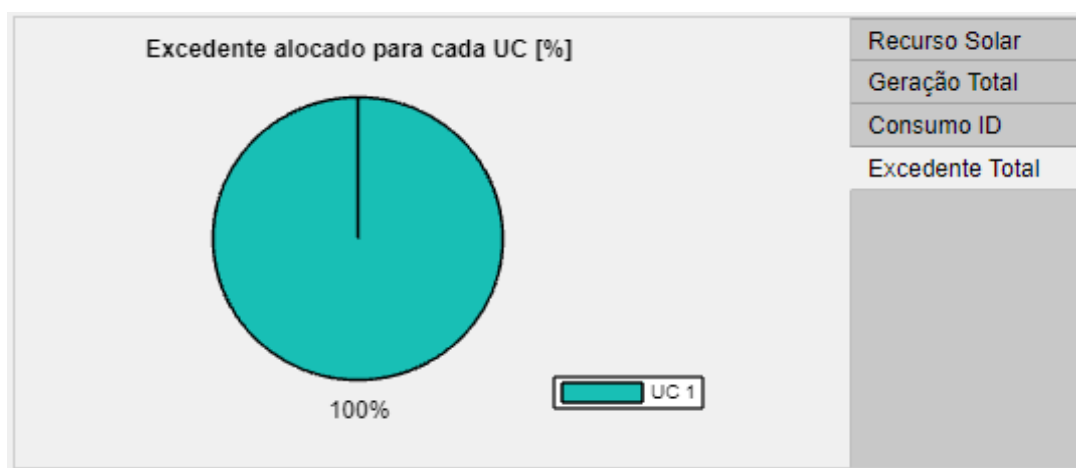


Figura 8 – Percentual de energia elétrica excedente alocado para cada unidade.

Por fim, na parte inferior direita, o usuário pode exportar um relatório com as informações sobre o dimensionamento, simulação e análise de compensação e faturamento de energia elétrica, nos formatos “PDF” e “HTML”.

Para verificar e validar a funcionalidade do software *PVGrid 2.0* foram utilizadas duas ferramentas com propostas similares e disponíveis gratuitamente. As ferramentas computacionais que foram utilizadas estão disponíveis em América do Sol (IDEAL, 2019) e *Global Solar Atlas* (WBG, 2019). A partir das ferramentas, foi realizada a simulação de um sistema de 1 kWp de potência nominal, localizado em Florianópolis (SC). Os dados de saída, em base mensal, das simulações são apresentados na Tab. 1 e na Fig. 9.

Na comparação entre o software *PVGrid 2.0* e o simulador do América do Sol, a diferença na energia elétrica anual foi de 0,5%, entretanto foram verificadas variações mensais de até 12,5%. A diferença na energia elétrica anual estimada pelo software *PVGrid 2.0* e o simulador da *Global Solar Atlas* foi da ordem de 10%, enquanto variações mensais da ordem de 20% foram verificadas. As diferenças verificadas podem ser explicadas pelas diferentes bases de dados de radiação solar utilizadas pelas ferramentas computacionais.

Tabela 1 – Energia elétrica gerada por um sistema fotovoltaico de 1 kWp em Florianópolis (SC).

	<i>PVGrid</i> Versão 2.0	América do Sol		<i>Global Solar Atlas</i>	
	Energia [kWh]	Energia [kWh]	%	Energia [kWh]	%
Janeiro	123,24	118,77	-3,6%	130,2	5,6%
Fevereiro	111,32	105,39	-5,3%	118,6	6,5%
Março	118,08	110,04	-6,8%	130,9	10,9%
Abril	102,76	121,22	8,0%	113,1	10,1%
Maio	94,19	99,78	5,9%	106,8	13,4%
Junho	80,48	75,67	-6,0%	93,7	16,4%
Julho	85,15	80,58	-5,4%	101,3	19,0%
Agosto	99,47	100,98	1,5%	112,2	12,8%
Setembro	88,71	97,74	10,2%	104,7	18,0%
Outubro	101,12	104,25	3,1%	111,4	10,2%
Novembro	115,32	100,89	-12,5%	118,7	2,9%
Dezembro	123,6	121,31	-1,9%	124	0,3%
Total	1.243,45	1.236,62	-0,5%	1.365,6	9,8%

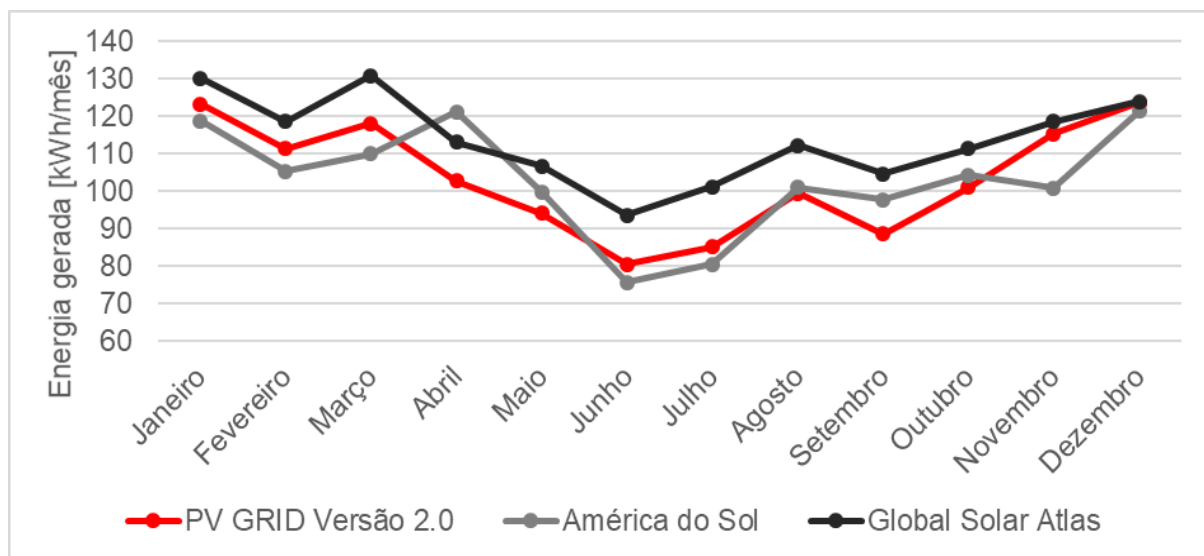


Figura 9 – Comparativo da energia elétrica gerada por um sistema fotovoltaico de 1 kWp em Florianópolis (SC) a partir das ferramentas computacionais disponíveis gratuitamente.

Para verificar a funcionalidade do software *PVGrid 2.0* na modalidade de autoconsumo remoto, foi realizado o dimensionamento e simulação de um sistema fotovoltaico de geração distribuída para atendimento de 3 unidades consumidoras, na região de Bom Jesus da Lapa (BA). A Fig. 10 mostra os dados de entrada utilizados na simulação. Foi incluída uma unidade consumidora monofásica, uma bifásica e uma trifásica para análise do faturamento de cada unidade considerando também o custo de disponibilidade associado. A Fig. 11 exibe o faturamento de energia elétrica da unidade prossumidora, assim como a geração do sistema fotovoltaico.

Um detalhe importante a ser observado é que, na modalidade autoconsumo remoto, o programa *PVGrid Versão 2.0* não aceita a alocação de créditos na unidade prossumidora. Por outro lado, é verificado o faturamento mínimo nesta unidade, como esperado. Na Fig. 12 é exibido o resultado da simulação para a unidade consumidora 2. Nesta unidade consumidora, o faturamento apenas não é mínimo no mês de janeiro, já que os créditos alocados para a unidade não são suficientes para compensar todo o consumo de energia elétrica. Porém, pode-se verificar um saldo de 111,17 kWh em créditos de energia no final do primeiro ano de operação do sistema fotovoltaico. Assim, o sistema será capaz de ser faturado pelo custo de disponibilidade em todos os meses. O percentual de créditos excedentes alocado para esta unidade foi de 36,34 %.

Por fim, a Fig. 13 mostra o faturamento e a alocação de créditos excedentes na unidade consumidora 3. De forma similar a unidade anterior, esta não apresenta faturamento pelo custo de disponibilidade apenas no mês de janeiro. Entretanto, os créditos de energia de energia excedente alocados para esta unidade consumidora, 63,66%, são suficientes para, após o primeiro ano de operação, garantir o faturamento mínimo da unidade.

Potência Nominal do Sistema Fotovoltaico:

☒ Baseado no consumo das UC's;
 ☐ Definido pelo usuário [kW]:

Localização:

Estado:

 Município:

Configurações avançadas:

Limite de iterações*:

 Razão de performance (Pr):

*Influencia a velocidade de processamento.

Nº de Unidades Consumidoras:

O/I	Ligação	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
☒	Trifásico	600.00	400.00	300.00	310.00	350.00	320.00	330.00	350.00	400.00	430.00	550.00	575.00
☒	Monofásico	54.00	76.00	50.00	68.00	69.00	74.00	80.00	88.00	95.00	80.00	100.00	98.00
☒	Bifásico	150.00	120.00	110.00	100.00	110.00	115.00	105.00	130.00	160.00	155.00	167.00	180.00

☒ Afirmo que todas as UC's acima estão sob mesma titularidade e dentro da mesma área de concessão ou permissão, nas quais a energia excedente será compensada. (conforme REN N°482/2012)

Figura 10 – Dados para dimensionamento e simulação de um sistema fotovoltaico com autoconsumo remoto.

[illegible]

Figura 11 – Resultado da simulação: Unidade Prossumidora.

RESULTADOS POR UNIDADE CONSUMIDORA													
ID:	2	Percentual de excedente alocado: 36.34 %											
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	ANUAL
Consumo [kWh]	54.00	76.00	50.00	68.00	69.00	74.00	80.00	88.00	95.00	80.00	100.00	98.00	932.00
Geração [kWh]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crédito [kWh]	17.29	77.13	127.04	115.61	94.17	93.64	105.03	109.38	87.27	84.97	8.08	19.12	938.73
Faturado [kWh]	36.71	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	366.71
Acumulado [kWh]	0	1.13	78.17	125.78	150.96	170.60	195.63	217.00	217.00	221.97	160.05	111.17	111.17
	6.71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	61.92	48.88	117.59

Figura 12 – Resultado da simulação: Unidade Consumidora 2.

RESULTADOS POR UNIDADE CONSUMIDORA													
ID:	3	Percentual de excedente alocado: 63.66 %											
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	ANUAL
Consumo [kWh]	150.00	120.00	110.00	100.00	110.00	115.00	105.00	130.00	160.00	155.00	167.00	180.00	1602.00
Geração [kWh]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crédito [kWh]	30.29	135.11	222.55	202.52	164.97	164.03	183.99	191.60	152.88	148.85	14.15	33.49	1644.42
Faturado [kWh]	119.71	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	669.71
Acumulado [kWh]	0	15.11	127.66	230.18	285.15	334.18	413.17	474.76	474.76	474.76	371.92	275.41	275.41
	69.71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	102.85	96.51	269.49

Figura 13 – Resultado da simulação: Unidade Consumidora 3.

A partir desta simulação da modalidade de autoconsumo remoto foi possível confirmar que a alocação de créditos excedentes proposta pelo software *PVGrid* Versão 2.0 otimiza um cenário favorável, possibilitando que um sistema fotovoltaico conectado à rede de potência instalada de 4,28 kWp seja suficiente para o faturamento mínimo das três unidades consumidoras participantes da modalidade de autoconsumo remoto. O software permite que o usuário insira uma nova potência nominal para o sistema fotovoltaico, a fim de verificar outras possibilidades de faturamento nas unidades consumidoras atendidas pelo sistema fotovoltaico.

A partir de outras simulações, foi comparado o método de dimensionamento geralmente adotado para sistemas fotovoltaicos, onde é considerado como consumo passível de abatimento a diferença entre o consumo e o custo de disponibilidade anual da unidade consumidora. Para ilustrar o caso, a Tabela 2 mostra a comparação entre a geração estimada de energia elétrica simulada pelo software *PVGrid* Versão 2.0 e um sistema fotovoltaico real com potência de 3,24 kWp, instalado na região de Criciúma (SC). Os dados reais de geração de energia elétrica estão compreendidos no ano de 2019. A diferença anual entre a energia elétrica estimada e a energia elétrica real é da ordem de 2,37%, entretanto, diferenças mensais da ordem de 30% foram verificadas. Essas diferenças podem ser explicadas pela diferença entre a base de dados de radiação solar do software *PVGrid* 2.0, que considera um ano meteorológico típico, e a efetiva radiação solar verificada no período considerado.

Tabela 2 – Comparativo da energia elétrica gerada em um sistema fotovoltaico de 3,24 kWp em Criciúma (SC).

	<i>PVGrid</i> Versão 2.0	Dados Reais	
	Energia [kWh]	Energia [kWh]	%
Janeiro	403,53	442,28	9,60%
Fevereiro	364,26	375,49	3,08%
Março	385,45	361,18	-6,30%
Abril	356,61	296,84	-16,76%
Maio	319,80	216,78	-32,21%
Junho	271,54	271,03	-0,19%
Julho	298,43	258,23	-13,47%
Agosto	348,17	344,11	-1,17%
Setembro	303,26	310,4	2,35%
Outubro	342,14	328,49	-3,99%
Novembro	399,06	421,01	5,50%
Dezembro	412,69	516,06	25,05%
Total	4.204,94	4.141,90	-2,37%

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou a descrição e desenvolvimento de um software, denominado *PVGrid* Versão 2.0, desenvolvido pelo Núcleo Tecnológico de Energia Elétrica (NTEEL) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). A finalidade do software é apresentar o dimensionamento e simulação de um sistema fotovoltaico e a análise de compensação e faturamento, em kWh, no âmbito da geração distribuída nas modalidades de geração na própria unidade consumidora ou de autoconsumo remoto, com alocação de créditos excedentes automática. Além disso, permite que o usuário verifique como uma ou mais unidades consumidoras são faturadas para um sistema fotovoltaico de potência nominal determinada. Os dados de entrada são a localização geográfica do sistema fotovoltaico, o tipo de conexão (monofásico, bifásico ou trifásico) e os dados mensais de consumo de energia elétricas da(s) unidade(s) consumidora(s).

Para validar e verificar a funcionalidade do software *PVGrid* Versão 2.0, foi realizada uma comparação entre a energia elétrica estimada pelo software desenvolvido e os simuladores América do Sol e *Global Solar Atlas*, considerando um sistema fotovoltaico de referência. Uma segunda análise apresentada no trabalho foi o dimensionamento e simulação de um sistema fotovoltaico hipotético para o atendimento da demanda de energia elétrica de três unidades consumidoras (modalidade autoconsumo remoto). O trabalho também apresentou uma comparação entre a energia elétrica estimada pelo software *PVGrid* 2.0 e energia elétrica real de um sistema fotovoltaico.

Para continuidade do aperfeiçoamento do programa desenvolvido, sugere-se que sejam incluídos cálculos mais precisos sobre a razão de performance dos sistemas fotovoltaicos simulados, além da possibilidade da variação no direcionamento dos módulos com impacto na radiação solar incidente nos mesmos. Ainda, sabendo das atuais discussões sobre a revisão da REN 482/2012, seria interessante possibilitar que o usuário optasse pela alternativa de faturamento dentre aquelas apresentadas pela ANEEL, acompanhado do fator de autoconsumo, buscando manter a fidelidade das simulações mesmo após as modificações da resolução normativa.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e ao Programa de Pós-Graduação em Energia e Sustentabilidade (PPGES) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Os autores também agradecem ao LABREN/CCST/INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) pela base de dados de radiação solar disponível.

REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) – Banco de Informações de Geração (BIG), 2019a. Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>> Acesso em 19/11/2019.
- Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), 2019b. Resolução Normativa 482/2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>> Acesso em 19/11/2019.
- Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) – Geração Distribuída, 2019c. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/GD_Fonte.asp>. Acesso em 19/11/2019.
- Dias, J. B. 2006. Instalação Fotovoltaica Conectada à Rede: Estudo Experimental para Otimização do Fator de Dimensionamento. Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.
- Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2019. Informe: Leilões de Geração de Energia Elétrica. Leilão de Geração de Energia A-4/2019.
- Instituto Ideal. América do Sol: Simulador Solar. Disponível em: <<http://americadosol.org/simulador/>>. Acesso em: 05 nov. 2019.
- International Energy Agency (IEA) – Photovoltaic Power System Programme (PVPS), 2019. Strategic PV Analysis and Outreach. 2019 Snapshot of Global PV Markets. Report IEA PVPS. 2019.
- International Energy Agency (IEA) – Solar Heat and Cooling Programme (SHC), 2019. Solar Heat Worldwide. Global Market Development and Trends in 2018. Report IEA SHC. 2019.
- International Energy Agency (IEA) – Photovoltaic Power System Programme (PVPS), 2014. Analytical Monitoring of Grid-connected Photovoltaic Systems. Good Practices for Monitoring and Performance Analysis. Report IEA PVPS. 2014.
- Pereira, E. B.; Martins, F. R.; Gonçalves, A. R.; Costa, R. S.; Lima, F. J. L. de; Rüther, R.; Abreu, S. L. de; Tiepolo, G. M.; Pereira, S. V.; Souza, J. G. de. Atlas Brasileiro de Energia Solar. 2017. 80 p. São José dos Campos: INPE, 2017. ISBN: 978-85-17-00089-8.
- Pinho, J. T.; Galdino, M. A. (org). 2014. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. CEPEL/CRESESB. Rio de Janeiro, 2014.
- Rampinelli, G. A. 2010. Estudo de Características Elétricas e Térmicas de Inversores para Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede. Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.
- Scarabelot, L. T.; Rampinelli, G. A. Desenvolvimento de Software de Dimensionamento e Análise do Sistema de Compensação de Geração Distribuída em Unidades Prossumidoras. In: VII Congresso Brasileiro de Energia Solar, 2018, Gramado. Anais do VII Congresso Brasileiro de Energia Solar, 2018.
- World Bank Group (WBG). Global Solar Atlas. Disponível em: <<https://globalsolaratlas.info/map>>. Acessado em: 04 nov. 2019.

DEVELOPMENT OF SOFTWARE OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS AND ELECTRICITY COMPENSATION ANALYSIS – PVGRID 2.0

Abstract. Sustainable development is a challenge for contemporary society, and the transition to a zero carbon energy matrix is imperative. Photovoltaic systems have reliability, technological maturity and economic competitiveness. Distributed generation with photovoltaic systems is at the heart of the energy revolution. Distributed generation is regulated by Normative Resolution 482/2012 and its operation is based on the electric energy compensation system. This paper presents the development of a software (PV GRID 2.0) for sizing and simulation of distributed generation photovoltaic systems and analysis of the electric energy compensation system. The software was developed using the MATLAB platform. The user must enter data about the geographic location of the photovoltaic system, the type of connection (single phase, two phase or three phase) and the monthly consumption of electricity of the consuming units. From the input information, the software estimates the nominal power of the photovoltaic system, estimates the monthly electricity generated by the system and performs the electric power compensation and billing, in kWh, of the consumer units.

Key words: Photovoltaic Systems, Distributed Generation, Software, PVGrid 2.0.