

## SISTEMA DE MICROGERAÇÃO OU MINIGERAÇÃO FOTOVOLTAICO OFF-GRID, DESEMPENHO E FATORES DE OTIMIZAÇÃO

Ulisses Galvão Romão Especialista em Engenharia Elétrica, Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia de São Paulo (IFSP), Cubatão, São Paulo, Brasil.

**Resumo:** Sistema de geração com células fotovoltaicas independente da rede de distribuição elétrica ou off-grid, são sistemas de micro ou mini geração elétrica que utilizam painéis que convertem diretamente energia luminosa em energia elétrica, fotovoltaico, de forma estática, silenciosa, não poluente e renovável. Mas que para situações de falta ou redução de iluminação, utiliza sistemas de armazenamento de energia elétrica para suprir a demanda. Utiliza para esta geração uma fonte gratuita e mais abundante de luz que está presente em praticamente todos os locais habitados de nosso planeta, o sol.

Neste artigo descreveremos esta tecnologia, os componentes necessários para a integração dos painéis de células fotovoltaicas e os acumuladores de energia elétrica. Mas talvez tão importantes quanto seus componentes para a integração de um ótimo sistema de geração são as cargas consumidoras interligadas ao sistema ou simplesmente sua demanda. Elas serão a base para os cálculos e necessidades inerentes ao sistema, assim minimizando e otimizando seu desempenho e melhorando seu custo-benefício.

**Palavras-chave:** Geração fotovoltaica. Sistema off-grid. Comportamento otimizador.

**Abstract:** Generation system with photovoltaic cells independent of the electrical distribution network or off-grid, are micro or mini electric generation systems that use panels that directly convert light energy into electrical, photovoltaic energy, in a static, silent, non-polluting and renewable way. However, for situations of lack or reduction of lighting, it uses electrical energy storage systems to supply the demand. For this

generation it uses a free and more abundant source of light that is present in practically all inhabited places on our planet, the sun.

In this article, we will describe this technology, the necessary components for the integration of photovoltaic cell panels and electric energy accumulators. However, perhaps as important as its components for the integration of a great generation system are the consumer loads connected to the system or simply its demand. They will be the basis for the calculations and needs inherent to the system, thus minimizing and optimizing its performance and improving its cost-benefit ratio.

**Keywords:** Photovoltaic generation. Off-grid system. Optimizing behaviour.

## INTRODUÇÃO

Segundo a incidência diária de energia solar sobre a superfície da terra é superior ao total de demanda anual terrestre, ou seja, a potência instantânea total que incide sobre a terra é da ordem de  $1,75 \times 10^{17}$  W ou  $1.353 \text{ W/m}^2$ , a demanda energética mundial é da ordem de  $3,4 \times 10^6$  Wh/ano. Assim o tempo necessário de incidência sobre a terra de energia solar que equivalha à demanda energética mundial anual é aproximadamente 12 minutos (RUTER 2004, p.8).

A incidência de uma fração da energia dos fótons contidos na luz solar sobre determinado material semicondutor com características elétricas, excita elétrons deste semicondutor, que por sua vez poderão originar corrente elétrica. Este é o principal efeito na geral de energia elétrica das células fotovoltaicas, utilizadas nos painéis solares, que convertem diretamente a energia dos fótons intrínsecos da luz solar em energia elétrica, sendo considerado um dos processos mais eficientes em sistemas de geração, e uma das mais promissoras e empregadas na atualidade.

A utilização da geração solar fotovoltaica vem substancialmente crescendo devido à suas características, sendo considerada uma energia limpa, livre disponibilidade da luz solar, geração silenciosa, portanto de baixo impacto ambiental. Facilidade e

rapidez de instalação, entre outros fatores, possibilita a instalação em residências e comércio. (ALMEIDA, 2011), (BRANDÃO, 2012)

Assim com este perfil das redes fotovoltaicas, o Brasil alcançou a marca histórica de 1 giga Watt de potência instalada. De acordo com a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (Absolar), esta potência é suficiente para atender o consumo de 2 milhões de brasileiros. O resultado coloca o Brasil entre os 30 países do mundo de um total de 195 - que possuem mais de 1 GW de capacidade instalada de energia solar. Na geração distribuída, também foi registrado crescimento em todas as regiões do país, nesse caso é de 0,164 GW, totalizando 1,1 GW operacionais no país desde o início de 2018. (INOVAÇÃO, 2018)

### **Células fotovoltaicas**

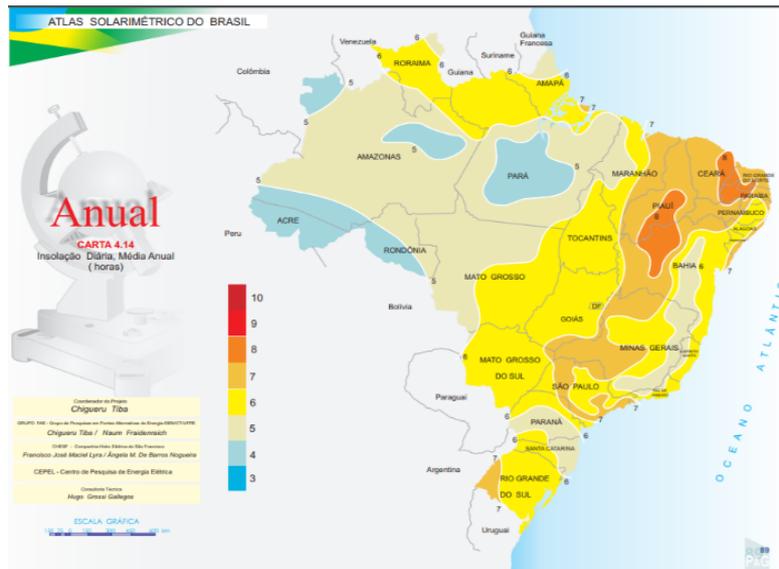
Muitos tipos de materiais são empregados em sua fabricação, desde os mais simples com baixas taxas de rendimento e custo baixo até equipamentos mais modernos com materiais mais sofisticados de altas taxas de rendimento e altos custos de aquisição. Normalmente a eficiência é diretamente proporcional ao seu custo e inversamente proporcional a suas dimensões, mas o aspecto mais importante para escolha deste componente não é sua eficiência, mas sim a quantidade necessária de energia gerada em relação ao espaço disponível na instalação. Portanto devemos começar a escolha pelo cálculo de energia necessária e analisar a quantidade de insolação média anual em horas na região a ser instalada (ROMÃO 2019, p.246).

### **Quantidade de Insolação Média Anual em Horas na Região Escolhida**

Obtido no Atlas Solarimétrico do Brasil editado pelo Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de S. Brito, podemos encontrar a quantidade de insolação diária média mensal em horas em todo o Brasil e aproximadamente a média diária anual em horas (figura 1), que servirá de referência para o cálculo da geração fotovoltaica sobre os painéis. (CRESESB 2000, p.89)

Para maior precisão, entrar no link: (<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&>;) e no final da página completar os dados de latitude e longitude do local desejado e ativar o botão “Buscar”. Nas tabelas e gráficos apresentadas procurar a localização mais próxima e obter a Irradiação Solar Média Diária por m<sup>2</sup> (I<sub>RSM</sub>) na coluna Média do Cálculo no Plano Horizontal, a unidade é [kWh/m<sup>2</sup>.dia] (figura 2).

Figura 1 - Insolação média diária anual em horas



Fonte: Atlas Solarimétrico do Brasil, p.89 (2000)

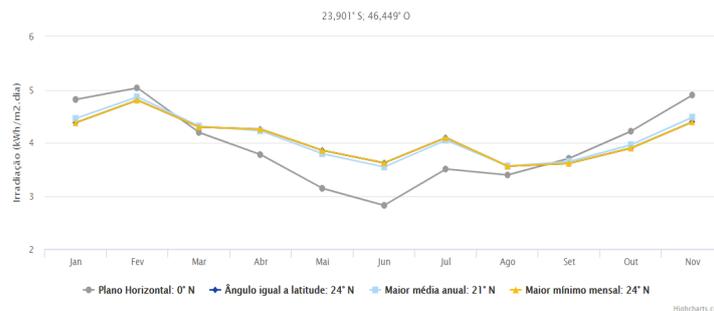
Figura 2 – Exemplo de cálculo da Irradiação média no plano Inclinado

**Cálculo no Plano Inclinado**

Estação: Cubatão  
 Município: Cubatão, SP - BRASIL  
 Latitude: 23,901° S  
 Longitude: 46,449° O  
 Distância do ponto de ref. ( 23,928444° S; 46,412324° O ): 4,8 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m <sup>2</sup> .dia]													
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
✓	Plano Horizontal	0° N	4,62	5,03	4,20	3,78	3,14	2,82	2,86	3,51	3,40	3,71	4,22	4,90	3,87	2,21
✓	Ângulo igual a latitude	24° N	4,38	4,81	4,30	4,26	3,86	3,62	3,58	4,10	3,56	3,61	3,90	4,39	4,03	1,24
✓	Maior média anual	21° N	4,46	4,86	4,31	4,23	3,79	3,55	3,51	4,05	3,56	3,65	3,96	4,48	4,04	1,36
✓	Maior mínimo mensal	24° N	4,38	4,81	4,30	4,26	3,86	3,62	3,58	4,10	3,56	3,61	3,90	4,39	4,03	1,24

Irradiação Solar no Plano Inclinado –Cubatão–Cubatão, SP-BRASIL



Fonte: [http://www.cresesb.cepel.br/index.php#localidade\\_5314](http://www.cresesb.cepel.br/index.php#localidade_5314) (2020)

Através deste valor é possível a podemos iniciar os cálculos necessários e a escolha das redes de células fotovoltaicas disponíveis no mercado. Para se efetivar este passo é possível encontrar vários artigos e vídeos sobre este assunto, ou diretamente através do artigo Sistema de Geração Fotovoltaico Ligado Diretamente à Rede Elétrica da Qualif Revista Acadêmica. (ROMÃO 2019, p.240/249)

### **Sistemas de geração de energia elétrica autônomos ou “off-grid”**

São sistemas de micro ou mini geração de energia elétrica que utiliza como componente principal as células fotovoltaicas associado a rede de acumuladores de eletricidade para suprir a demanda em todas as ocasiões. Foram os primeiros sistemas de geração fotovoltaicos a serem utilizados, pois se desenvolveram para local onde a rede pública era inexistente são normalmente independentes da rede de distribuição de energia elétrica pública, mas onde exista a distribuição pública, podem ter chaveamento manual ou automático quando o nível dos acumuladores estiverem muito baixo. Mas para situações de falta ou redução de iluminação incidente. Atualmente devido ao elevado custo da energia elétrica pública, suas constantes mudanças e indefinições nas políticas públicas de minigeração e microgeração e o aumento provável do consumo individual devido a troca dos meios de transporte térmico pelo elétrico, está se intensificando a instalação deste tipo sistema em locais onde há redes de energia elétrica instaladas.

Este sistema pode ficar integrado a edificação do ponto de consumo, instaladas em telhado ou fachada, utilizando os painéis fotovoltaicos (figura 3), telhas fotovoltaicas (figura 4) ou película fotovoltaica (figura 5), como material de revestimento arquitetônico dando à edificação uma aparência estética de alta tecnologia e ecológica, com vantagens de não requer áreas extras e ser utilizada no meio urbano.

Figura 3- Painéis fotovoltaicos como material de revestimento arquitetônico.



Fonte: <https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/curiosidades-sobre-energia-solar/porque-dimensionar-o-seu-inversor-e-uma-boia-ideia.html>

Figura 4 - Telhas fotovoltaicas como material de revestimento arquitetônico.



Fonte: <https://www.eternit.com.br/solar/>(2020)

Figura 5 - Películas fotovoltaicas como material de revestimento arquitetônico.



Fonte: Material de divulgação Sunew

Este artigo concentra nos aspectos técnicos e configurações do sistema fotovoltaico off-grid com ou sem rede pública de distribuição de energia elétrica, figura 6.

Figura 6. Diagrama esquemático do sistema off-grid com chaveamento opcional.



Descrevendo a integração de sistemas de geração utilizando células fotovoltaicas ou células solares em sistemas de forma local, independente da rede elétrica, figura 7.

Figura 7. Sistema off-grid independente da rede elétrica pública.



Fonte: <https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/como-funciona-o-sistema-fotovoltaico-com-back-up-de-baterias.html>

Opcionalmente com possibilidade de chaveamento e interligação da demanda para consumo da energia elétrica da rede pública de distribuição, figura 8.

Figura 8. Sistema off-grid com chaveamento opcional.



Fonte: <https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/como-funciona-o-sistema-fotovoltaico-com-back-up-de-baterias.html>

Estes sistemas são instalados de tal maneira que os geradores solares, formados pelos captadores fotovoltaicos, circuitos eletroeletrônicos como inversor CC/CA e painéis de comando e chaveadores, acumuladores de energia elétricos, dispositivos de proteção contra surtos elétricos (DPS), sistemas de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA), conforme Norma NBR 5419 e instalação elétrica adequada conforme Norma NBR 5410, capturam a energia em forma de corrente elétrica de corrente contínua, que são armazenados nos acumuladores de energia e concomitantemente são transformados em corrente alternada e podem alimentar a energia elétrica demandada para o consumo residencial.

## **EQUIPAMENTOS NECESSÁRIOS**

Basicamente o sistema off-grid é composto do arranjo de células fotovoltaicas que devem ser interligadas em série e/ou paralelo de forma a fornecerem a tensão e corrente necessária para ativar o controlador eletrônico de carga e o inversor eletrônico de frequência CC/CA.

### **Controle Eletrônico de Carga**

Suas funções são otimizar a tensão e a corrente da carga das baterias e os supercapacitores (opcionalmente), indicar a quantidade instantânea de corrente (A) e energia em Ampères hora (Ah) fornecidas pelas células fotovoltaicas, em alguns equipamentos também integrar a somatória desta energia no tempo. Alguns controladores também podem se comunicar via internet ou bluetooth para informar a operação do sistema.

### **Baterias**

Tem a função de armazenar energia elétrica para suprir a demanda dos equipamentos CA ligado ao sistema, quando da diminuição ou falta de fornecimento pela rede fotovoltaica, devido ao mau funcionamento ou redução na incidência de luz solar. Neste caso devem ser exclusivamente de especificação estacionárias e nunca automotivas, devido a peculiaridades do sistema, descreveremos a seguir estas diferenças.

## **Comparação entre Baterias Automotivas e Estacionárias**

As baterias chumbo-ácido como é o caso da maioria das baterias normalmente só podem ser utilizadas ou armazenadas na posição em que seus terminais fiquem para cima. As baterias automotivas são projetadas para uso em automóveis, com vida útil estimada em três anos. As estacionárias são construídas com materiais melhorados elevando sua vida útil estimada em mais de cinco anos, havendo casos onde ultrapassam dez anos, dependendo dos ciclos de carga e temperatura ambiente, contudo seu custo também é mais elevado.

### **Baterias Automotivas**

São fabricadas com placas de chumbo finas e em maior quantidade, assim torna maior a superfície de contato com a solução ácida, fornecendo maior capacidade corrente elétrica, mas com degradação mais rápida de suas placas. São desenvolvidas para estarem sempre carregadas e para dar partida no motor térmico, fornece uma grande quantidade de corrente em curto período de tempo. Sua descarga máxima projetada é de 10% de sua capacidade total. Emitem de gases tóxicos, portanto não podem ser armazenadas ou instaladas em ambientes fechados.

### **Baterias Estacionárias**

São baterias projetadas com placas de chumbo mais espessas e de melhor qualidade com liga chegando a mais de 95% de pureza, assim podem sofrer até 80% de descarga e suportar quantidade maior de ciclos sem prejudicar sua vida útil. Suas aplicações típicas são sistemas que demande uma corrente moderada por longos períodos de tempo. Possuem filtro que impedem emissão de vapor da solução ácida, passando somente hidrogênio, que não é tóxico, mas é recomendável a instalação em locais ventilados. Sua vida útil cai pela metade para cada 10 graus acima da temperatura trabalho estipulado é 25 graus Celsius e dobra para cada 10 graus abaixo. Existem outras tecnologias de baterias estacionárias como a VRLA que por terem seu eletrólito interno imobilizado por mantas de fibra de vidro e outros materiais, podem ser utilizadas em qualquer posição.

Portanto podemos concluir que somente as baterias estacionárias se adéquam as exigências do sistema fotovoltaico off-grid.

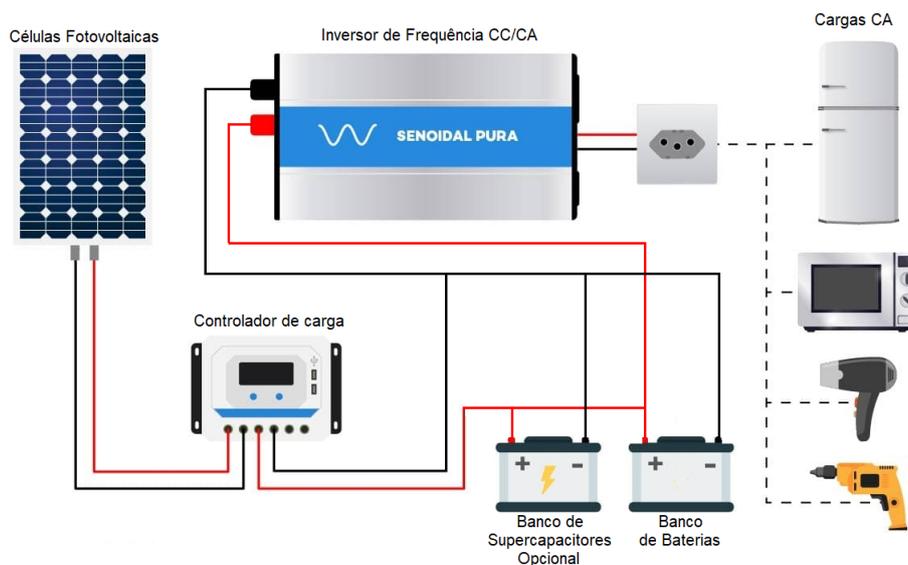
### Supercapacitores

São opcionalmente utilizados quando há necessidade de cargas AC instaladas que absorvem muita energia em sua inicialização, como datacenter, certos equipamentos que contem motores de indução, dentre outros. Suas necessidades de uso são causadas pelas baterias estacionárias que são desenvolvidas para armazenar e fornecer grandes quantidades de energia, mas com baixas e médias quantidades demandadas de corrente, podendo comprometer sua vida útil se for demandada altas correntes de seus terminais.

### Inversor Eletrônico de Frequência CC/CA

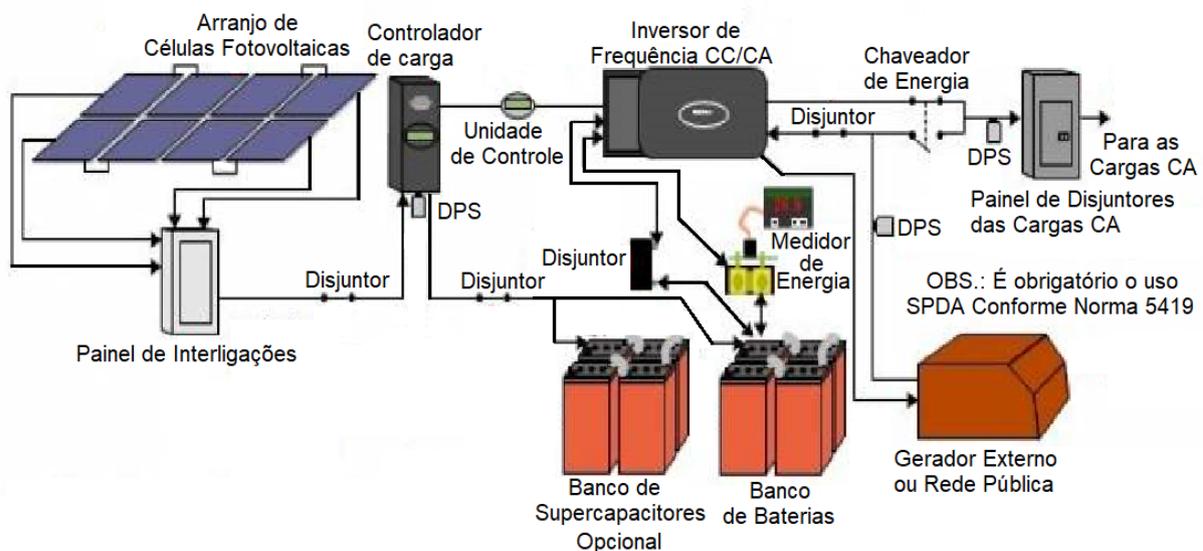
São equipamentos que recebem a energia em corrente contínua e converte esta energia para corrente alternada, com nível de tensão e frequência necessária para alimentar a maioria dos equipamentos atualmente alimentados pela energia elétrica da rede pública (figura 7).

Figura 7. Diagrama básico para o sistema gerador fotovoltaico off-grid



Devemos salientar que em um sistema de geração de energia elétrica isolada, todos os surtos elétricos provenientes das descargas atmosféricas, ficarão restritas aos equipamentos deste sistema, por este motivo devemos ter todas precauções para impedir que estes surtos venham a danificar ou até mesmo causar um acidente maior, por exemplo, incendiar os equipamentos. Assim como mencionado na introdução, devemos instalar todos os dispositivos de proteção necessários, como os dispositivos de proteção contra surtos elétricos (DPS) e sistemas de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA), conforme Norma NBR 5419. Também devemos sempre desenvolver uma estrutura de interligações e dimensionamentos adequados para esta instalação, inclusive se tratando do aterramento, que é extremamente necessário em instalação elétrica, que deverá ter conformidade com a Norma NBR 5410 (figura 8).

Figura 8. Diagrama completo para sistema gerador fotovoltaico off-grid com chaveamento a gerador externo da rede pública ou outro.



## DEMANDA DE ENERGIA

Para a especificação dos componentes que integrarão o sistema, necessitamos calcular a demanda necessária de energia e o tempo de fornecimento de energia pelos acumuladores quando da falta geração fotovoltaica. Para tal devemos somar as potências diárias alimentadas pelo sistema do gerador fotovoltaico. Neste sentido o comportamento de consumo das cargas é extremamente importante, pois não

basta dimensionar o sistema para a demanda atual, o ideal é analisar alguns fatores destas cargas como, por exemplo, o fator de potência, que interfere substancialmente na eficiência, e aumentará o custo do equipamento e não trará nenhum benefício sobre isto. Como esta fundamentação teórica é extremamente importante para continuar os entendimentos, a seguir serão resumidos os conceitos de potência e fator de potência das cargas.

### **Potência Elétrica**

Para gerar trabalho através da energia elétrica, como calor, luz, radiação, movimento, dentre outros, a energia fornecida a cada segundo para sua execução é chamada de potência. Esta Potência é bem definida para o uso em corrente contínua e é calculada com o produto da tensão pela corrente do bipolo em questão (CREDER, 2008).

Mas as cargas alimentadas pelo sistema do gerador fotovoltaico são de corrente alternada, cujas potências são divididas em três tipos, Potência Ativa ou Útil, Potência Reativa e Potência Aparente. São vetores cuja direção e sentido denomina sua intensidade, e o ângulo formado pela tensão e corrente.

### **Potência Ativa ou Útil**

Potência que corresponde efetivamente a energia elétrica que está realizando o trabalho elétrico das cargas (PEREIRA, 2012), ou seja, sendo transformada em calor ou em trabalho mecânico em cada segundo, sua unidade é o Watt (W) e é associada a resistência elétrica da carga e forma um ângulo  $0^\circ$  entre sua tensão e sua corrente.

### **Potência Reativa**

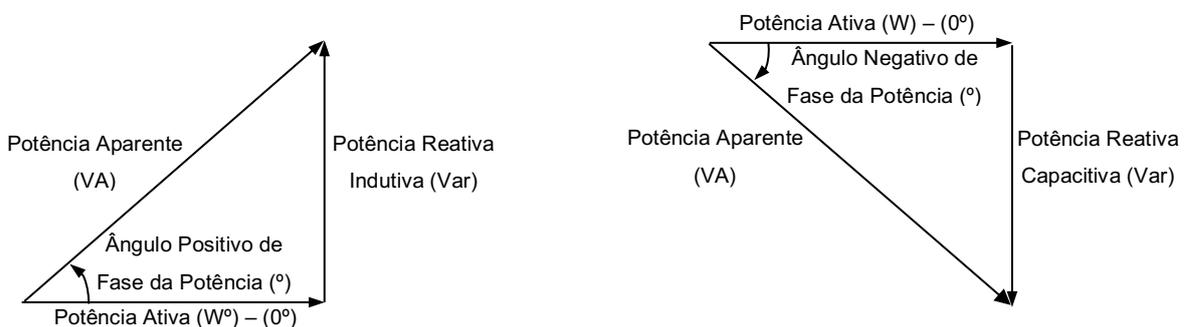
Parcela gasta por segundo para sobrepujar a reatância das cargas não resistivas, representadas pelos indutores e capacitores do circuito elétricos (PEREIRA, 2012). É a energia gasta para criar o campo elétrico dos capacitores e o campo magnético dos indutores. Sua unidade é o Volt-Ampère Reativo (VAr). Os ângulos formados por sua tensão e corrente são  $-90^\circ$  no capacitor e  $+90^\circ$  no indutor. Esta potência não é

realmente consumida pelos componentes, pois como se trata de corrente alternada, inicialmente quando o semiciclo da onda aumenta, o componente absorve potência da rede, mas quando o semiciclo da onda diminui, este devolve a potência para a rede. Assim essa potência somente influencia no consumo do gerador fotovoltaico, pois como normalmente o inversor de frequência não aceita esta energia de volta, ela se perde e até pode influenciar negativamente como ruído para as outras cargas alimentadas.

### Potência Aparente

É a soma Vetorial das duas potências anteriores, este é a potência real do consumo de energia do circuito elétrico, ou seja, é a energia gasta por segundo para vencer as dificuldades totais do circuito elétrico, figura 9. Sua unidade é o Volt-Ampère (VA) (ANZENHOFER, 1974)

Figura 9. Potência Aparente e seu ângulo de fase



### Fator de Potência (FP)

Por definição, fator de potência é o cosseno do ângulo da defasagem entre a corrente e a tensão em um determinado circuito ou carga elétrica, que também é o mesmo ângulo formado pela soma vetorial entre as potência ativa e potência reativa, consumidas nesse circuito, portanto, é igual ao ângulo da potência aparente, ou seja, se este ângulo é  $0^\circ$ , a única potência existente é a potência ativa, portanto não existe a potência reativa. Mas se este ângulo é diferente de  $0^\circ$ , as duas potências estão presentes e a somatória vetorial resulta na potência aparente. Como o fator de

potência é o cosseno do ângulo, o ideal de consumo é que o fator de potência seja sempre próximo de 1.

Portanto, para verificar o real consumo de energia de um produto não se deve olhar o seu consumo em Watts, mas em VA (Volt-Ampère).

Muitos fabricantes só mencionam o consumo de seus produtos em Watts, pelo fato do medidor das concessionárias de energia elétrica residencial não medir a potência reativa. Assim, a conta é cobrada somente pela energia ativa, geralmente em kWatts x hora (kWh). Mas em instalações maiores, como no comércio e manufaturas, os medidores são diferentes e medem também o fator de potência. Em 2012, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), alterou a redação da Resolução Normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010 do caput do art. 95 em seu parágrafo 3º, que passou a vigorar com a seguinte redação: O fator de potência de deslocamento de referência “FR”, indutivo ou capacitivo, ficou com o limite mínimo permitido para o consumidor de energia elétrica, o valor de 0,92 indutivo ou capacitivo para as unidades consumidoras dos grupos A e B conectadas em níveis de tensão inferiores a 69 kV e o valor de 0,95 indutivo para as demais unidades consumidoras. Assim se o consumo de energia defasada, ou seja, com o fator de potência menor que os valores anteriores, ocasiona uma multa devido a esta potência reativa.

## **ECONOMIA PELO FATOR DE POTÊNCIA**

Como neste tipo de instalação o gerador fotovoltaico é independente, se as cargas demandadas no sistema tiverem o fator de potência menores que 1, significa que o consumo de corrente é maior do que realmente precisa ser, ou seja, seu sistema de gerador fotovoltaico deverá ser maior do que realmente precisava ser se as cargas tivessem fator de potência igual a 1. Neste caso o gasto para sua aquisição será desnecessariamente maior, devido as energias que são consumidas pelas cargas reativas e não necessitariam ser consideradas se todo o consumo fosse causado por potência útil. Portanto para otimizar o funcionamento e o custo benefício na aquisição do sistema gerador fotovoltaico é imprescindível a análise do fator de potência das cargas.

Normalmente em uma instalação elétrica temos várias cargas, mas em maior número tem a iluminação que atualmente são de led. Para efeito de exemplo, faz sentido compararmos os principais fatores das lâmpadas led dos vários fabricantes representados no Brasil, comparando suas várias características, inclusive o fator de potência e seu efeito no sistema de geração, servindo também como referência de aquisição. Para esta comparação foram utilizadas somente as lâmpadas desta do tipo bulbo de 4,5 a 40W (que são as mais consumidas no mercado), bivolt (110V/220V), com IRC, (Índice de Reprodução de Cor, a capacidade que uma fonte luminosa tem de reproduzir com fidelidade a cor natural de um objeto, em uma escala de 0 a 100, e quanto mais próximo ao 100 temos mais fidelidade de cor) igual a 80 e vida útil de 25.000 horas. Todos os dados foram obtidos nos respectivos sites de seus fabricantes (tabela 1). (LIMA, 2018)

Na tabela foram utilizados somente números para identificar os fabricantes, são eles:

1. FLC; 2. Golden; 3 Osran; 4. Philips; 5. Taschibra; 6. Luminatti; 7. Ourolux; 8. Brilia; 9. Galaxy Led; 10. Ledstar; 11. OL Ilum; 12. Empalux; 13. Avant; 14. Intral; 15. Kian; 16. EQQO.

Tabela 1. Comparação das características das lâmpadas de led de Bulbo

Item	Fabricante	Potência Ativa (W)	Fluxo Luminoso Lúmens (lm)	Eficiência Luminosa (lm/W)	F.P.	Potência Aparente W/F.P. (VA)	Garantia (anos)
1	1	4,5	480	106,667	0,50	9,000	3
2	2				0,40	11,250	1
3	3				0,45	10,000	3
4	4				0,40	11,250	5
5	5				0,40	11,250	3
6	6	4,7	450	95,745	0,50	9,400	3
7	7				0,50	9,400	1
8	8	4,8	480	100,000	0,50	9,600	2
9	9				0,70	6,857	5
10	10				0,50	9,600	3
11	11				0,80	6,000	1
12	12				0,70	7,000	3
13	6	5,0	400	80,000	0,80	6,250	3
14	10	5,5	480	87,273	0,70	7,857	5
15	13	6,0	540	90,000	0,70	8,571	2
16	1		600	100,000	0,85	7,059	3
17	14		560	93,333	0,70	8,571	2
18	15		600	100,000	0,90	6,667	3
19	3		560	93,333	0,70	8,571	1
20	7						

Item	Fabricante	Potência Ativa (W)	Fluxo Luminoso Lúmens (lm)	Eficiência Luminosa (lm/W)	F.P.	Potência Aparente W/F.P. (VA)	Garantia (anos)
21	4	6	600	100,000		8,571	5
22	5		500	83,333	0,80	7,500	3
23	8		600				2
24	12		602	85,714			1
25	9	7	600		0,70	10,000	
26	14						2
27	6		560	80,000			
8	11		700	100,000	0,88	7,955	3
29	4	7,5	806	107,467	0,70	10,714	5
30	1		806	100,750	0,85	9,412	3
31	2	8	803	100,375	0,70	11,429	1
32	3		806	100,750	0,90	8,889	
33	5		810	101,250	0,80	10,000	3
34	13		810	90,000			2
35	8		803	89,222			
36	12		810	90,000			1
37	16						
38	9	9	803	89,222	0,70	12,857	
39	14		806	89,556			2
40	15		810	90,000			
41	10		803	89,222			5
42	6		810	90,000			2
43	11		900	100,000	0,88	10,227	3
44	7	9	806	89,556	0,70	12,857	1
45	5		900	100,000	0,80	11,250	3
46	3		1.018	107,158	0,90	10,556	3
47	7	9,5		111,053			1
48	4		1.055		0,70	13,571	5
49	1	9,8		107,653	0,80	12	3
50	10		1.055		0,70	14,000	5
51	3	10	1.018	101,800	0,70	14,286	1
52	13		1.050	87,500			2
53	8		1.018	84,833	0,70	17,143	
54	12		1.044	87,000			1
55	16		1.050	87,500			2
56	1		1.311	109,250	0,90	13,333	3
57	9		1.018	84,833			
58	14	12	1.060	88,333	0,70	17,143	2
59	16		1.080	90,000			
60	6		1.050	87,500			
61	11		1.200	100,000	0,92	13,043	
62	3		1.311	109,250	0,90	13,333	3
63	7		1.200	100,000	0,70	17,143	1
64	5		1.100	91,667	0,80	15,000	3
65	4		1.510	111,852	0,70	19,286	5
66	5	13,5	1.600	118,519	0,80	16,875	3
67	5		1.400	103,704			
68	2	14	1.507	107,643	0,70	20,000	1
69	14		1.600	114,286	0,80	17,500	2
70	13		1.250	83,333			2
71	12		1.320	88,000			1
72	16	15	1.250	83,333	0,70	21,429	
73	9		1.300	86,667			2
74	14		1.360	90,667			

Item	Fabricante	Potência Ativa (W)	Fluxo Luminoso Lúmens (lm)	Eficiência Luminosa (lm/W)	F.P.	Potência Aparente W/F.P. (VA)	Garantia (anos)				
75	15	15	1.350	90,000	0,70	21,429	2				
76	6		1.507	100,467							
77	11		1.350	90,000	0,92			16,304	3		
78	7		1.510	100,667	0,70			21,429	1		
79	14	16	1.840	115,000	0,70	22,857	2				
80	6		1.800	112,500							
81	4		1.836	108,000				0,92	18,478	3	
82	1	17	2.010	118,235	0,70	24,286	3				
83	14		1.836	108,000				0,92	18,478	1	
84	3		1.800	105,882				0,50	40,000	2	
85	7		2.000	100,000				0,92	28,571	2	
86	8	20	1.800	90,000	0,92	21,739	2				
87	12		1.600	80,000				0,92	21,739	2	
88	9		1.836	91,800				0,70	28,571	2	
89	2		1.800	90,000				0,92	28,571	3	
90	15		2.330	101,304				0,92	25,000	3	
91	6		3.000	130,435				0,70	32,857	5	
92	11	24	2.250	93,750	0,70	34,286	5				
93	1		25	2.700				108,000	0,92	27,174	2
94	4			2.500							
95	6	27	2.700	100,000	0,92	29,348	1				
96	14		2.550	85,000				0,50	60,000	2	
97	6		2.700	90,000				0,95	31,579		
98	7		3.000	100,000				0,92	32,609	2	
99	14	30	2.400	80,000	0,70	42,857	1				
100	13		2.200	73,333				0,92	32,609	2	
101	8		2.400	80,000				0,92	32,609	3	
102	12		2.200	73,333				0,70	42,857	1	
103	16		2.550	85,000				0,92	32,609	2	
104	1		2.700	90,000				0,92	32,609	3	
105	9		3.000	100,000				0,92	32,609	3	
106	2		3.600	120,000				0,92	40,000	2	
107	15		3.800	127,000				0,95	42,105	2	
108	6		4.120	139,000				0,92	43,478	2	
109	11		3.000	90,000				0,70	57,143	2	
110	3	40	3.600	90,000	0,92	43,478	3				
111	7		3.500	87,500				0,70	57,143	2	
112	14		3.600	90,000				0,92	43,478	3	
113	6		4.000	100,000				0,92	43,478	3	
114	14		3.400	85,000				0,50	80,000	2	
115	13		3.800	95,000				0,95	42,105	2	
116	8	4.120	103,000	0,92	43,478	2					
117	12	3.000	75,000	0,92	43,478	2					
118	16	3.200	80,000	0,92	43,478	2					
119	9	3.600	90,000	0,70	57,143	2					
120	2	3.500	87,500	0,70	57,143	2					
121	15	3.600	90,000	0,92	43,478	3					
122	11	4.000	100,000	0,92	43,478	3					
123	3										

Comparando os itens 86 e 87, tem a mesma potência útil de 20 Watts, eficiências energéticas próximas de 90 e 100 (lm/W), fatores de potência de 0,5 e 0,92 e as potências aparentes, 40VA e 21,739VA respectivamente, teremos:

$$P_{86} = V.I_{86} (VA)$$

$$P_{87} = V.I_{87} (VA)$$

$$\frac{P_{86}}{P_{87}} = \frac{V.I_{86}}{V.I_{87}} = \frac{I_{86}}{I_{87}} = \frac{40}{21,739} = 1,84 \Rightarrow \frac{I_{86}}{I_{87}} = 1,84$$

Concluimos que a corrente do item 86 com FP = 0,5 é 1,84 vez maior que a corrente do item 87 com FP = 0,92. Como o sistema de geração é independente da rede, seu dimensionamento e custo serão superiores com cargas que tenham FP baixo, por este motivo é que devemos primeiro escolher cargas com FP próximas de 1. Também como podemos observar na tabela, existem outros fatores a serem analisados antes de sua aquisição, como fluxo luminoso, eficiência Luminosa e até mesmo a garantia do fabricante.

Este raciocínio para lâmpadas de led também deve ser utilizado para todas as cargas e equipamentos que serão interligadas ao sistema de gerador fotovoltaico, mas como descrito anteriormente, o consumo de potência aparente e o FP nem sempre são fornecidos. Existem instrumentos portáteis, precisos e de baixo custo, menos que US\$ 30,00 (Brasil), que podem ser utilizados para efeito de comparação, como é o caso do medidor de energia, que inclusive transmite os dados coletados via bluetooth (figura 10).

Figura 10. Medidor de energia com transmissão bluetooth



Fonte: <https://hidance.pt.aliexpress.com/store/2022043>

## CONCLUSÕES

O sistema de geração fotovoltaica off-grid sendo um sistema independente, que pode ser conectado ou não a rede de distribuição de energia elétrica pública, tem suas vantagens e desvantagens, como todo sistema. As vantagens são inerentes do isolamento e, portanto, não depender de mudanças de tarifação ou impostos, podem controlar e consumir sem depender de fatores alheios e poder aumentar ou diminuir sua demanda a seu bel-prazer. As desvantagens também são inerentes da geração isolada, ou seja, ter que arcar com todos os custos de sistema, desde a instalação, a manutenção e a substituição de componentes por desgaste ou queima. Mas com o advento previsto da substituição dos meios de transporte térmico pelo elétrico, aumentam as vantagens deste tipo de geração.

Mas para otimizarmos a instalação e seu custo benefício, devemos primeiro analisar as cargas que serão utilizadas, quanto a sua eficiência e fator de potência. Atualmente são fabricados equipamentos com altos índices de eficiência, como por exemplos condicionadores de ar, sistemas de refrigeração, máquinas de lavar e secadoras com controladores eletrônicos com simples e duplo inversores de frequência, que garantem maior eficiência e baixo consumo de energia elétrica. Na escolha por lâmpadas led, como visto, é possível adquirir melhor lâmpada com características que além de otimizar a iluminação com maior eficiência, também é possível minimizar o consumo de corrente com componentes com fator de potência mais próximos de um.

As melhores práticas indicam que primeiro deve-se atualizar os produtos que demandam energia elétrica antes de calcular as necessidades de geração. Com o sistema de consumo otimizado, partir para as análises e a escolha do melhor sistema de geração fotovoltaica off-grid e seus componentes. Ressaltamos que como se trata de um sistema isolado, sempre há necessidade do profissional especializado para o desenvolvimento do projeto e sua instalação, inclusive o cumprimento das Normas Brasileiras citadas neste documento.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, P. M. d. et al. Modelagem e controle de conversores fonte de tensão utilizados em sistemas de geração fotovoltaicos conectados à rede elétrica de distribuição. Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), 2011.

ANNEL, RESOLUÇÃO NORMATIVA de 2012, [http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2012/065/documento/ren\\_-\\_alteracoes\\_-\\_fp\\_-\\_11-06-2012.pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2012/065/documento/ren_-_alteracoes_-_fp_-_11-06-2012.pdf), 2012.

ANZENHOFER, K. et all, Eletrotécnica para Escolas Profissionais, Tradução de Walfredo Schmidt. São Paulo, Mestre Jou, 1974.

BRANDÃO, D. I. et al. Considerações sobre a implementação de um sistema fotovoltaico de geração distribuída multifuncional. In: Congresso Brasileiro de Automática. [S.l.: s.n.], 2012.

CREDER, H., Instalações Elétricas, ed. 15, Rio de Janeiro, LTC, 2008.

CRESESB, [http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Atlas\\_Solarimetro\\_do\\_Brasil\\_2000.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Atlas_Solarimetro_do_Brasil_2000.pdf), p. 89, 2000.

INOVAÇÃO, TECNOLÓGICA, Brasil chega a 1 GW de potência instalada de energia solar fotovoltaica, [https://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=brasil-1-gw-energia-solar-fotovoltaica&id=020175180109#.W89\\_X1RKhNA](https://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=brasil-1-gw-energia-solar-fotovoltaica&id=020175180109#.W89_X1RKhNA), 09/01/2018.

LIMA, R. F., Qual é a melhor lâmpada LED Bulbo? – Tabela comparativa entre Marcas, <https://blog.borealled.com.br/qual-e-a-melhor-lampada-led-bulbo/>, 7 de junho de 2018.

PEREIRA, J. R., Eletricidade II, 8 ed, Rio de Janeiro, [s.n.], 2012.

ROMÃO, U. G., Sistema de Geração Fotovoltaica Ligado Diretamente à Rede Elétrica (on-grid, grid-tie), v. 4, p. 240-259, 2019.

RUNTER, R., Edifícios Solares Fotovoltaicos. Editora UFSC/Labsolar, ISBN 85-87583-04-2, Florianópolis, p.7-80. 2004.