

Análise das causas de baixo desempenho nos sistemas fotovoltaicos

Durante as negociações para a aquisição de um sistema fotovoltaico é comum o cliente criar grande expectativa em relação a sua nova aquisição, principalmente considerando-se a promessa de economia financeira proveniente da “energia do Sol”.

Infelizmente é possível que o sistema não atenda as expectativas devido ao baixo desempenho do gerador solar fotovoltaico, ou seja, não será gerada a quantidade de energia que foi “prevista” ou prometida ao cliente durante a etapa de negociação comercial.

Sabe-se que para atingir o sucesso em um projeto fotovoltaico é necessário um estudo minucioso do perfil de consumo do cliente, além de todos os cuidados técnicos no projeto e na execução do sistema fotovoltaico.

Em resumo, o desempenho final do sistema fotovoltaico pode ser afetado por uma das seguintes fases que compõem um projeto:

- **Dimensionamento:** Durante a fase de negociação com o cliente e elaboração da proposta comercial, o dimensionamento deve ser realizado com premissas corretas, por meio de uma análise minuciosa das faturas de energia do cliente e com o auxílio de ferramentas de dimensionamento e simulação de sistemas fotovoltaicos (como o [PVSyst](#)).
- **Projeto:** O projeto técnico do gerador solar fotovoltaico deve ser feito de acordo com as boas práticas de engenharia fotovoltaica, respeitando-se as normas técnicas pertinentes. Erros na estrutura do cabeamento elétrico, na organização dos *strings* e *arrays* e outros aspectos podem colocar tudo a perder. Normalmente a falta de capacitação das empresas do setor solar é o que mais afeta essa fase de projeto.
- **Instalação:** Não basta ter um projeto bem feito – ele precisa ser bem executado. Cabos mal organizados, conectores mal feitos e instaladores que

pisam sobre os módulos são apenas alguns dos problemas encontrados nas instalações solares. Aqui também a capacitação da empresa fornecedora é fundamental para o sucesso do projeto.

Dimensionamento do sistema fotovoltaico

Nesta fase definem-se o tamanho (potência) do sistema que será instalado e os recursos a serem utilizados – inversores, microinversores, otimizadores, tipo e quantidade de módulos etc.

Nesta fase é necessário analisar a média de consumo mensal do consumidor com base, pelo menos, nos 12 meses anteriores, a fim de se dimensionar um sistema adequado para que o cliente pague o menor valor possível em suas próximas faturas de energia.

Muita calma nessa hora! Muitas empresas de energia solar, ansiosas pelo fechamento do negócio, prometem o mundo aos clientes. Alguns clientes vão fechar o negócio sem questionamentos, mas a dor de cabeça pode vir depois, caso a promessa realizada não se concretize.

O melhor a ser feito é realizar a análise do consumo histórico do cliente e empregar ferramentas (como o [PVsyst](#)) para se fazer o dimensionamento do correto do sistema. Mesmo assim é importante informar ao cliente (e preferivelmente estabelecer isso em contrato) que, apesar das melhores práticas de engenharia utilizadas no dimensionamento do sistema solar, o resultado poderá variar em função das condições climáticas do local.

Certeza absoluta da geração, mesmo, nunca será possível. O importante é que o sistema seja corretamente dimensionado, com embasamentos técnicos corretos, e que o cliente receba informações com a máxima transparência possível.

HISTÓRICO DE CONSUMO			kWh	Dias
2019	FEV		161	28
	JAN		152	30
2018	DEZ		127	30
	NOV		87	33
	OUT		148	30
	SET		493	32
	AGO		178	30
	JUL		163	29
	JUN		212	32
	MAI		139	30
	ABR		209	29
	MAR		166	32
	FEV		182	29

Figura 1: É importante analisar o histórico de consumo do cliente para o correto dimensionamento do gerador solar fotovoltaico.

Projeto técnico

Após a fase de negociação comercial terá início a etapa de projeto técnico. Neste momento é necessário atentar às características do local de instalação como área disponível, inclinação e azimute, possíveis interferências com potencial de projeção de sombras, além das informações solarimétricas da região onde o sistema será instalado.

Ao analisar todas as áreas disponíveis para instalação deve-se identificar quais regiões do telhado possuem melhor resultado de geração, algo que pode ser verificado com ferramentas de dimensionamento e simulação como o [PVSyst](#).

Também se deve levar em conta a melhor forma de interligação dos módulos a fim de maximizar a geração do sistema fotovoltaico. Um erro muito comum das empresas de energia solar, por falta de conhecimento técnico, é a interligação de módulos localizados em diferentes águas do telhado dentro de um mesmo *string* (conjunto de módulos em série). Essa prática, além de não obedecer as normas de projeto de sistemas fotovoltaicos, compromete a geração de energia e também a segurança dos sistemas fotovoltaicos.

Com posse do máximo número informações e atentando-se aos detalhes, com o apoio de ferramentas de projeto, é possível dimensionar um sistema capaz de suprir a demanda de consumo do cliente com boa margem de acerto, com o melhor custo-benefício para o cliente.



Figura 2: Exemplo de imagem obtida com um software para estudos de sistemas fotovoltaicos. Quanto mais próximo da cor amarela, melhor será a geração. As cores mais escuras indicam a incidência de sombras e de outros fatores (como a inclinação do telhado para o Sul) que reduzem a coleta de energia da radiação solar.

Instalação do gerador solar fotovoltaico

A instalação do sistema deve obedecer rigorosamente o projeto técnico. Um projeto mal feito (ou a ausência total de projeto, que não é rara) vai comprometer a qualidade e a segurança do sistema instalado.

Um erro muito comum durante a instalação, mesmo quando há um projeto detalhado, é a inversão da polaridade de módulos em série. Como isso é possível? – podemos nos perguntar. A figura abaixo ilustra uma situação muito comum nos projetos fotovoltaicos em telhados residenciais, que pode levar a esse erro.

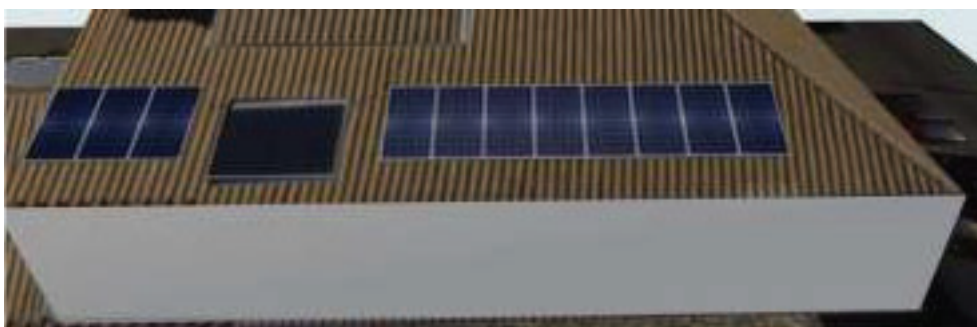


Figura 3: Módulos de um mesmo *string* (ligados em série) fisicamente distanciados sobre um telhado residencial.

A imagem acima ilustra uma situação na qual 11 módulos devem ser ligados em série, formando uma *string*, porém 3 módulos estarão afastados dos demais. Neste caso existe a necessidade de confeccionar um cabo de extensão para ligar um grupo ao outro. Se o esquema de ligação for do tipo **leapfrog** ([veja neste artigo o que é leapfrog](#)), será necessário confeccionar dois cabos de extensão.

Para que o tamanho da extensão seja o menor possível, porém o suficiente para atender à necessidade, e também porque os projetos (quando existem) em geral não são suficientemente detalhados, a crimpagem dos conectores costuma acontecer após a passagem dos cabos durante a montagem da obra. Justamente por isso existe a possibilidade de se crimpar em ambas as extremidades conectores iguais, ou seja, macho-macho ou fêmea-fêmea. Com isso ocorrerá a inversão de polaridade de um dos conjuntos quando os módulos forem conectados.

Além da redução da energia gerada, a exposição do módulo invertido à corrente reversa é potencialmente perigosa e pode originar incêndios. Felizmente, a inversão de módulos pode ser facilmente identificada ao medir se medir a tensão de circuito aberto da *string* após a execução da montagem. Ou seja: isso poderia ser facilmente percebido se os profissionais envolvidos nas montagens fotovoltaicas pelo menos soubessem o que é uma tensão de circuito aberto e estivessem instruídos a medi-la na etapa do comissionamento, que é a fase de testes realizada após a execução das montagens. Frequentemente a necessidade do comissionamento simplesmente tem sido negligenciada pelos profissionais e pelas empresas instaladoras.

Comissionamento do sistema

Um bom projeto fotovoltaico deve passar pela fase final de comissionamento, durante a qual pelo menos duas coisas devem ser medidas:

- *VOC* – Tensão de circuito aberto da *string*
- *ISC* – Corrente de curto-circuito da *string*

[Veja este artigo para entender os parâmetros da curva I-V](#) de um módulo ou *string* fotovoltaico. Dois desses parâmetros (*VOC* e *ISC*) podem facilmente ser medidos com um multímetro comum de baixo custo. Qualquer instalador de sistemas fotovoltaicos com o mínimo de instrução deveria ser capaz de realizar esses dois testes básicos.

Por exemplo, ao se considerar um módulo com tensão de circuito aberto 40 V, numa *string* com 11 módulos em série estima-se que a tensão *VOC* estará próxima de 440 V. Mesmo com a variação da intensidade da luz solar, a tensão de saída dos módulos sofre pouca (praticamente nenhuma) alteração, o que torna o resultado do teste de tensão de circuito aberto muito confiável.

A figura abaixo ilustra o resultado da medição da tensão e da potência gerada em um sistema fotovoltaico já em operação. O gráfico verde mostra a tensão de operação de uma *string* fotovoltaica, que se mantém constante durante boa parte do dia, sofrendo reduções ou variações apenas no início ou bem no final do dia, quando a intensidade da radiação solar é muito reduzida. O melhor horário para se fazer testes de comissionamento de sistemas fotovoltaicos é sempre próximo do meio-dia, quando a tensão de circuito aberto (ou a tensão operacional, que é mostrada no gráfico da figura abaixo) mantém-se aproximadamente constante independentemente de variações da irradiância solar.

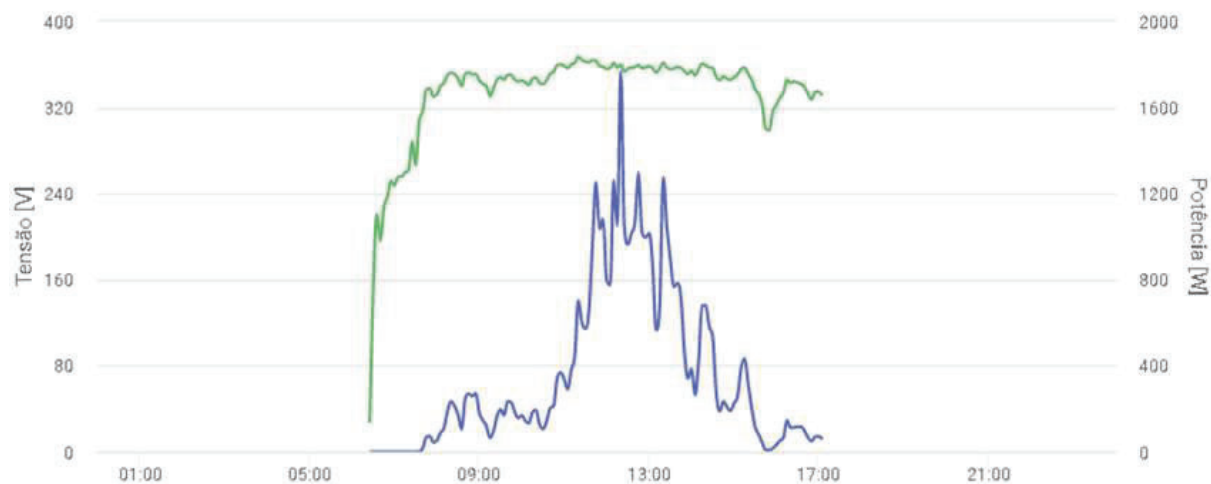


Figura 4: Resultado do monitoramento da tensão de operação e da potência de um sistema fotovoltaico real. Enquanto a potência (em azul) oscila durante todo o dia, a tensão de saída das *strings* (em verde) permanece em uma faixa aproximadamente constante. O gráfico verde mostra a tensão operacional dos módulos, mas um perfil semelhante (praticamente constante) aplica-se à tensão de circuito aberto.

Orientações divergentes no paralelismo de strings

Na instalação do sistema também é possível ocorrer problemas relacionados ao paralelismo de *strings* com orientação ou número divergente de módulos, o que vai impactar negativamente a geração e potencializar as possibilidades de incêndio.

Na realidade, analisando rigorosamente esses fatos, esse tipo de situação deveria ser evitado já na fase de projeto. Misturar módulos com orientações e inclinações diferentes na mesma *string* revela o despreparo de muitos “projetistas” fotovoltaicos em atuação no mercado brasileiro.

Com relação à associação paralela de *strings* com diferentes números de módulos, isso além de falta de preparo revela uma grande falta de responsabilidade. Qualquer profissional do setor solar minimamente preparado sabe que é proibido paralelar *strings* com números diferentes de módulos. O que pode acontecer se essa regra não for seguida? Veja [neste artigo](#) o resultado dessa mistura “explosiva” de *strings* diferentes ligadas à mesma entrada de um inversor.



Figura 5: Monitoramento da tensão de operação de 4 *strings* em um sistema fotovoltaico, estando as *strings* organizadas em 2 grupos com 2 *strings* em paralelo.

Na Figura 5 vemos o resultado do monitoramento da tensão de um sistema solar com 4 *strings* de módulos posicionados em diferentes orientações. Os dados apresentados foram obtidos no dia em que se realizou uma manutenção corretiva no sistema. Desde o início da manhã até as 14 horas havia dois *arrays* (com 2 *strings* cada). Cada *array* (com 2 *strings* paralelos) estava ligada a um inversor. As *strings* deste projeto tinham 11, 19, 9 e 18 módulos. Em resumo, a situação (totalmente absurda) era esta:

- Sistema com 2 inversores com 2 entradas de MPPT em cada um. No total havia 4 entradas de MPPT disponíveis. As *strings* foram agrupadas em *arrays* de 2. Cada *array* foi ligado a apenas uma entrada de um inversor. Esta situação está ilustrada na Figura 6 abaixo.

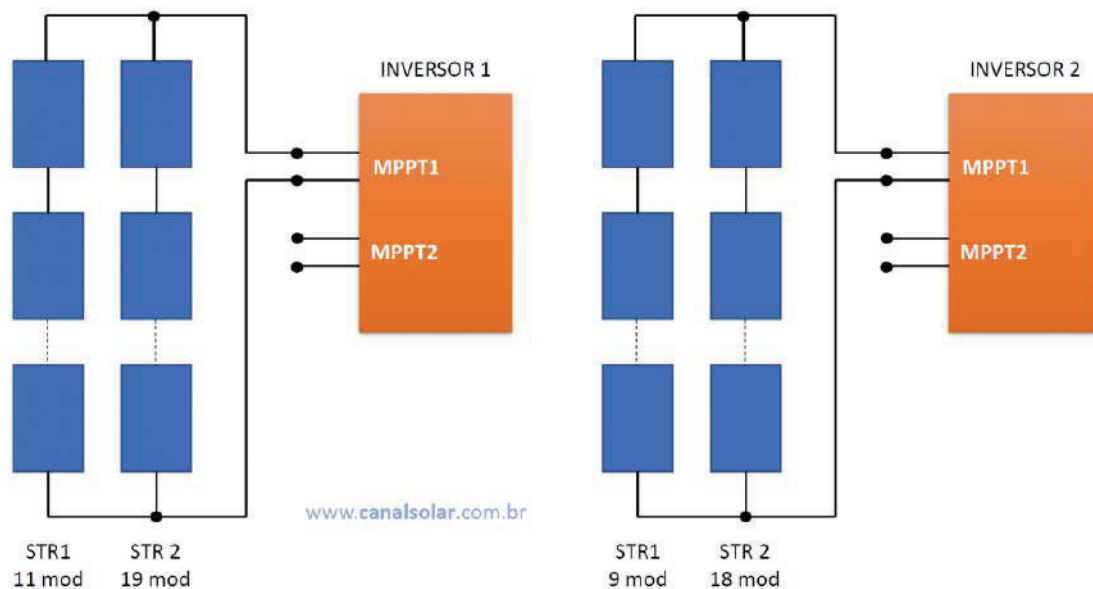


Figura 6: Sistema FV ligado incorretamente, com *strings* de diferentes tamanhos ligadas em paralelo e usando apenas uma entrada de MPPT de cada inversor.

Vejamos o absurdo da situação mencionada acima. Os inversores possuíam 2 entradas de MPPT cada um. Seria possível, portanto, acomodar perfeitamente 4 *strings* diferentes neste projeto. Por falta de conhecimento do projetista (e também do instalador) esse erro passou despercebido nas fases de projeto e de instalação. Etapa de comissionamento certamente não houve.

Observamos no gráfico da Figura 5 uma linha verde e uma roxa, cada qual correspondendo a um grupo de 2 *strings* paralelas. A partir das 14 horas as *strings* foram separadas e percebemos no gráfico o registro de 4 tensões diferentes, agora para cada *string* individualmente. As tensões das *strings* individuais são bastante superiores às tensões obtidas antes das 14 horas. Isso mostra claramente que não é uma boa ideia paralelar *strings* de módulos que operam em condições diferentes (de inclinação, orientação, sombreamento ou quantidade de módulos em série).

Após a ação corretiva, o sistema adquiriu esta configuração:

- Sistema com 2 inversores com 2 entradas de MPPT em cada um. Cada uma das 4 *strings* foi ligada individualmente a uma das 4 entradas de MPPT disponíveis. Esta situação está ilustrada na Figura 7 abaixo.

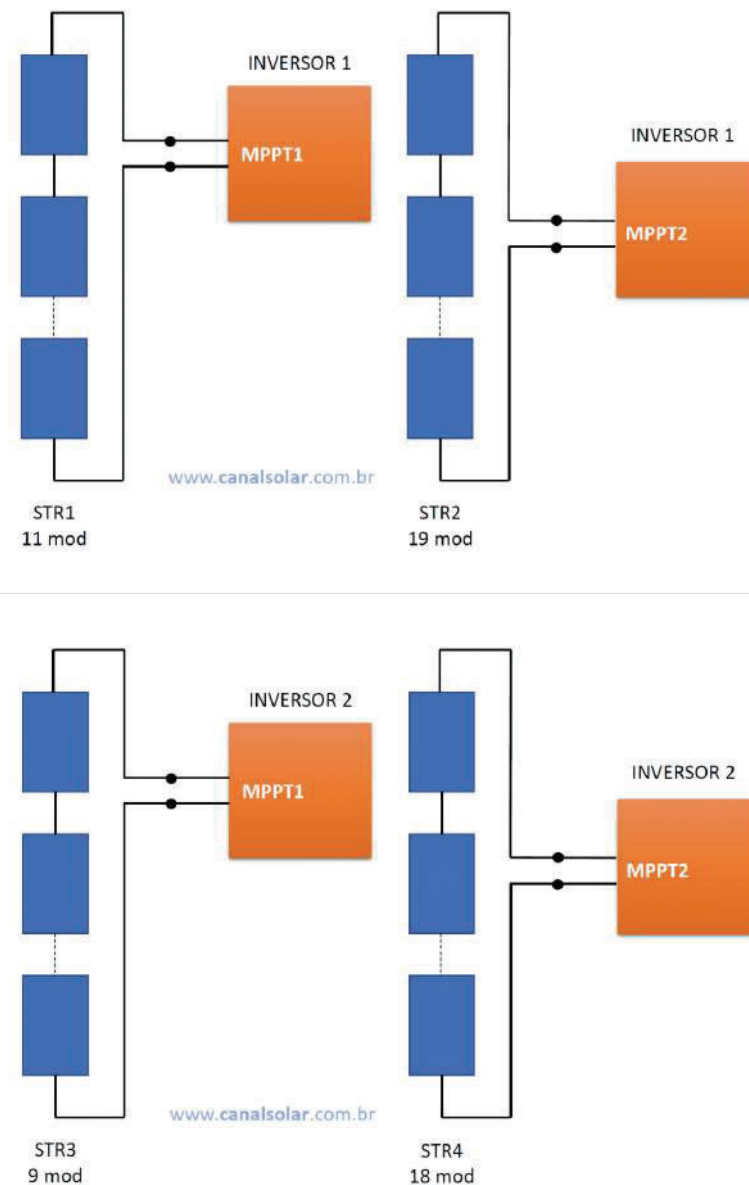


Figura 7: Sistema FV corrigido, com *strings* de diferentes tamanhos ligadas de forma independente em uma das 4 entradas de MPPT disponíveis.

O resultado da ação corretiva de um sistema fotovoltaico, com a separação de *strings* diferentes que antes se encontravam em paralelo, pode ser observado nos gráficos das figuras a seguir.

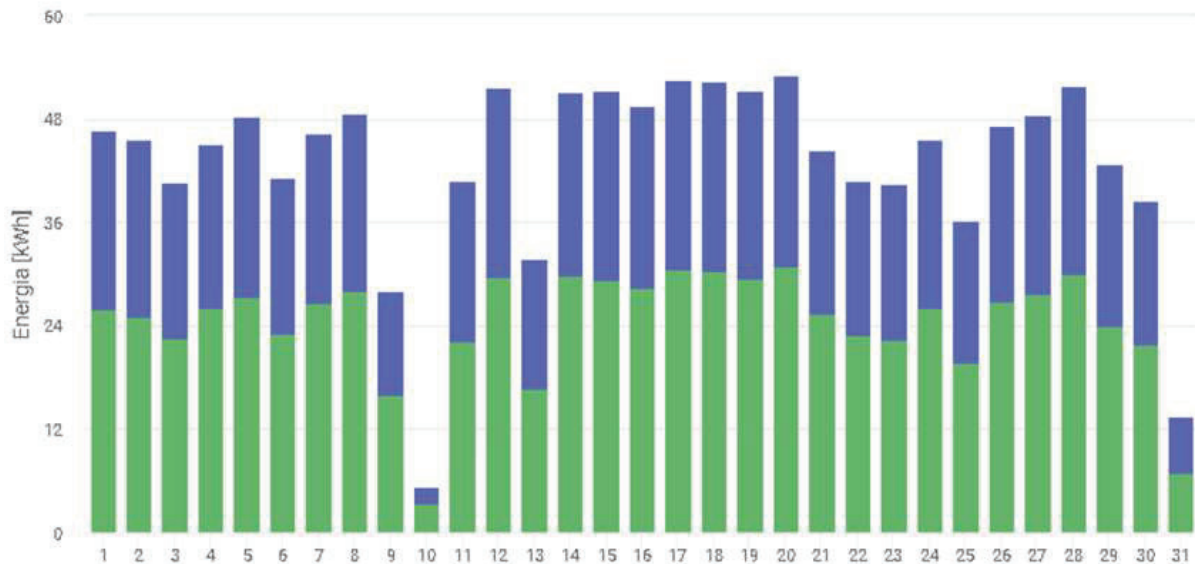


Figura 8: Monitoramento da energia gerada do sistema solar fotovoltaico antes da ação corretiva (quando *strings* diferentes eram ligadas em paralelo). O sistema possui dois inversores. Cada cor (azul e verde) corresponde à geração de um inversor.

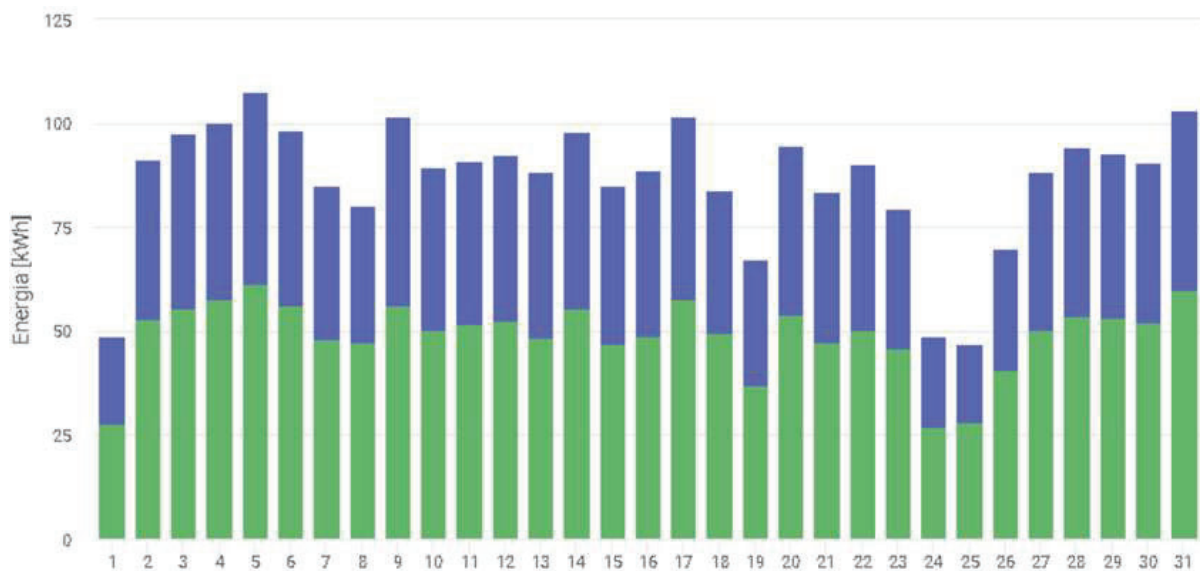


Figura 9: Monitoramento da energia gerada pelo sistema solar fotovoltaico após a ação corretiva (quando *strings* foram deixadas independentes). O sistema possui dois inversores. Cada cor (azul e verde) corresponde à geração de um inversor.

AUTORES:

Bruno Henrique Kikumoto de Paula - Engenheiro Eletricista (UDESC), Mestrado em Engenharia Elétrica (UNICAMP). Especialista em gerenciamento de projetos, inspeção e comissionamento de sistemas fotovoltaicos. Mais de 10 anos de experiência na indústria fotovoltaica. Instrutor nos cursos de energia solar na UNICAMP. [Veja outros artigos deste autor.](#)

Marcelo Gradella Vilalva - Especialista em sistemas fotovoltaicos. Doutor (PhD), Mestre e Graduado em Engenharia Elétrica. Docente e pesquisador do quadro permanente da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação (FEEC) da UNICAMP - Universidade Estadual de Campinas. Diretor do LESF - Laboratório de Energia e Sistemas Fotovoltaicos da UNICAMP. Autor de mais de 200 artigos técnicos de alcance internacional nas áreas de eletrônica de potência e sistemas fotovoltaicos. Autor do livro "Energia Solar Fotovoltaica - Conceitos e Aplicações". Pioneiro em treinamentos em sistemas fotovoltaicos no Brasil. É coordenador do programa de Extensão em Energia Solar Fotovoltaica da UNICAMP (<http://cursosolar.com.br>), onde apresenta cursos de Introdução à Energia Solar Fotovoltaica, Projeto e Dimensionamento de Sistemas com PVSyst e Instalação e Integração de Sistemas Conectados à Rede Elétrica.