

ROBÔ DE LIMPEZA SOLAR FV VS. LIMPEZA MANUAL: ECONOMIA EM O&M



Calculando a Economia em O&M: Limpeza Robótica vs. Manual em Grandes Usinas Fotovoltaicas

Grandes usinas FV não perdem dinheiro apenas quando equipamentos falham. Elas também sofrem perdas financeiras quando sujeira, poeira, excrementos de pássaros, resíduos industriais e uma limpeza inconsistente reduzem gradualmente a produção em milhares de módulos FV. É por isso que a limpeza de módulos FV não é apenas uma tarefa de manutenção; é um fator determinante nos custos de O&M (Operação e Manutenção).

No setor de energia solar em escala de utilidade pública, os custos médios de O&M caíram significativamente ao longo do tempo, mas continuam sendo relevantes. O NREL cita pesquisas que mostram a queda dos custos médios de O&M fotovoltaico nessa escala de cerca de 31 USD/kWac-ano, em 2011, para aproximadamente 16 USD/kWac-ano, em 2017. Em outras palavras, os operadores já capturaram muitos ganhos de eficiência óbvios nas operações solares FV, o que torna ainda mais importante, hoje, evitar custos desnecessários relacionados à limpeza.

Ao mesmo tempo, o acúmulo de sujeira continua sendo um problema real de desempenho. A IEA PVPS afirma que esse acúmulo causa perdas globais médias de energia entre 4% e 7%, enquanto o NREL observa que as perdas podem ser muito mais severas em climas com muita poeira e que as decisões sobre limpeza afetam diretamente a viabilidade econômica da usina. A IEA PVPS também aponta que estratégias de limpeza podem reduzir as perdas de produção fotovoltaica em até 6% a 8% durante os meses de verão em alguns climas.

Esse é o verdadeiro argumento comercial para a limpeza robótica em grandes usinas FV: não se trata apenas de substituir mão de obra, mas de reduzir o custo total para manter a usina solar FV operando no nível de desempenho desejado.

O que as Grandes Operadoras de Sistemas FV estão Realmente Comparando

Quando os operadores comparam a limpeza manual com a limpeza robótica, geralmente não perguntam: “Qual método pode remover a poeira?” Ambos podem.

A verdadeira questão é esta:

Qual modelo de limpeza resulta na menor carga total de O&M e ao mesmo tempo que preserva o rendimento energético?

Essa comparação geralmente se resume a cinco categorias de custos:

1. Mão de obra
2. Água
3. Acesso e logística
4. Exposição a riscos de segurança
5. Perda de geração de energia devido a limpeza atrasada ou inconsistente

A IEA PVPS observa explicitamente que a limpeza é uma decisão econômica local, condicionada pelos custos de mão de obra, pela disponibilidade e pelo custo da água, pelas tarifas de injeção na rede ou pelo valor da eletricidade, bem como pelas condições climáticas. Em usinas FV de grande porte, a comparação correta não é entre o custo do robô e um dia de trabalho manual; trata-se, na verdade, de comparar uma estratégia de limpeza robotizada com o custo anual total da execução manual e da resposta tardia ao acúmulo de sujeira.



Onde a Limpeza Manual se Torna Cara em Grandes Usinas Solares FV

A limpeza manual muitas vezes parece simples no papel. Na prática, torna-se cara em grande escala.

Em uma grande usina solar FV, a limpeza manual geralmente acarreta:

- Mobilização recorrente de mão de obra
- Qualidade de limpeza variável entre as equipes
- Resposta mais lenta a picos repentinos de acúmulo de sujeira
- Necessidade de manuseio, transporte ou tratamento de água
- Maior dificuldade de acesso ao local, abrangendo longas mesas e blocos remotos
- Maior exposição dos trabalhadores em áreas inclinadas, nas bordas e sob condições climáticas adversas

O NREL observa que a limpeza de sistemas FV de grande porte (escala de concessionária) custa atualmente entre US\$ 0,20 e US\$ 0,50 por módulo, dependendo do tamanho e da localização do sistema. O NREL também apresenta um exemplo: ao custo de US\$ 0,20 por módulo, uma única limpeza de um sistema de 10 MW com módulos de 365 W custa mais de US\$ 5.000.

Esse número torna-se muito mais crítico rapidamente em escala de serviços públicos.

Com base no exemplo de custo de módulos do NREL, uma usina de **100 MW** composta por **módulos FV de 365 W** teria aproximadamente **273.973 módulos FV**. Isso significa que um ciclo de limpeza manual, a um custo de **US\$ 0,20 a US\$ 0,50 por módulo FV**, resultaria em um gasto de cerca de **US\$ 54.795 a US\$ 136.986 por limpeza**. Considerando **12 limpezas anuais**, o custo total ficaria entre aproximadamente **US\$ 657.534 e US\$ 1,64 milhão por ano** — isso sem contar a logística da água, a supervisão, as ineficiências de acesso ou a perda de geração de energia entre as limpezas.

É aqui que a limpeza robótica começa a mudar a dinâmica econômica.

Como Robôs de Limpeza de Módulos FV Reduzem os Custos de O&M

Um robô de limpeza de módulos FV não elimina magicamente todos os custos de limpeza; o que ele faz é alterar a estrutura de custos.

Em vez de depender fortemente de mão de obra manual recorrente e de rotinas de campo que consomem muita água, a limpeza robótica pode reduzir a pressão sobre O&M de quatro maneiras práticas.

1. Menor dependência de trabalho manual recorrente

A limpeza manual apresenta baixa escalabilidade, pois cada ciclo adicional de limpeza geralmente implica mais horas de trabalho da equipe, maior necessidade de coordenação e mais deslocamentos pelo local. A limpeza robotizada transfere grande parte do trabalho para uma operação programada, repetível e baseada em equipamentos.

Isso é relevante porque o acúmulo de sujeira não é um problema pontual. Tanto o NREL quanto a IEA PVPS enfatizam que a frequência de limpeza deve ser otimizada ao longo do tempo, com base nas condições locais e na relação econômica entre as perdas causadas pela sujeira e os custos de limpeza. Um programa de limpeza compatível com o uso de robôs torna a manutenção com maior frequência mais viável do que um modelo baseado exclusivamente em mão de obra.

2. Menor consumo de água, especialmente em regiões secas ou com escassez hídrica.

A água é frequentemente tratada como um item de custo secundário, até que os operadores contabilizem os custos de transporte, armazenamento, bombeamento, controle de qualidade e descarte, bem como o risco de escassez local. A IEA PVPS ressalta que a relação custo-benefício da limpeza depende fortemente da mão de obra local e das condições de disponibilidade de água. Para muitas usinas solares FV, especialmente em regiões áridas e semiáridas, isso se torna um importante desafio operacional.

É exatamente por isso que os robôs de limpeza a seco são relevantes. O IFBOT X3 foi projetado como uma solução de limpeza que não utiliza água, enquanto o IFBOT M20 permite a limpeza com água nos casos em que a sujeira incrustada ou as condições do local justificam o uso de água no processo. As próprias diretrizes ambientais da IFBOT também apresentam a limpeza robótica como uma forma de reduzir o desperdício de água na manutenção de sistemas solares FV.

3. Limpeza mais consistente em grandes arranjos FV

Grandes usinas não sofrem apenas com o acúmulo de sujeira; elas também enfrentam a inconsistência na qualidade da limpeza.

A IEA PVPS observa que a sujeira nem sempre se distribui de maneira uniforme pela usina ou mesmo pela superfície de um único módulo FV. Isso significa que uma limpeza manual inconsistente pode resultar em perdas residuais de desempenho, especialmente nas bordas inferiores dos módulos ou em áreas de difícil acesso. O valor de um sistema robótico não reside apenas na sua capacidade de limpar, mas na sua habilidade de realizar a limpeza de forma mais padronizada e consistente.

4. Melhor acesso e menor atrito operacional

Em grandes usinas FV, perde-se tempo não apenas na limpeza dos módulos, mas também no deslocamento de equipes e ferramentas até os locais de trabalho. Isso envolve lidar com longas mesas, variações de terreno e a necessidade de acessar áreas de difícil alcance com segurança.

É nesse ponto que o design do equipamento se torna fundamental. As páginas recentes de produtos e informações da IFBOT destacam sistemas voltados para uma implantação ágil e leve, limpeza a seco ou com auxílio de água — conforme as necessidades do local — e acesso assistido por drones para áreas de difícil alcance. O sistema de drone da IFBOT foi desenvolvido especificamente para facilitar o acesso e a implantação em instalações remotas ou de difícil acesso.

A economia oculta: perda de energia evitada

Muitas discussões sobre limpeza solar FV se concentram apenas na fatura da limpeza. Isso ignora o número maior: a energia não gerada porque a usina permaneceu suja por muito tempo.

O IEA PVPS afirma que as perdas médias globais por sujidade giram em torno de 4% a 7%. O NREL também observa que, em regiões com alta incidência de sujidade, as perdas anuais podem ser muito maiores e o impacto na receita de grandes instalações pode chegar a milhões de dólares.

Aqui está uma ilustração simples.

Uma usina de **100 MW** operando com um **fator de capacidade de 20%** gera cerca de **175.200 MWh por ano**. Uma perda por sujidade de **4% a 7%** significa que, aproximadamente, entre **7.008 e 12.264 MWh** de geração ficam em risco anualmente. Mesmo antes de considerar um preço de PPA específico para o projeto, trata-se de um volume significativo de produção perdida.

É por isso que a limpeza robótica frequentemente faz mais sentido financeiro para:

- Usinas FV de grande porte com longos trajetos de limpeza
- Ambientes com alta concentração de poeira ou pólen
- Locais com escassez de água
- Locais onde a limpeza manual é muito lenta ou pouco frequente
- Locais onde o custo ou a disponibilidade de mão de obra estão se tornando uma limitação

Limpeza Manual vs. Limpeza Robótica em Grandes Usinas FV

A limpeza manual geralmente é mais vantajosa quando:

- o local é pequeno
- a limpeza é pouco frequente
- a mão de obra é barata e fácil de mobilizar
- o acesso à água é simples
- os riscos relacionados ao terreno e ao acesso são baixos

A limpeza robótica geralmente é mais potente quando:

- local é grande e a limpeza precisa ser realizada com frequência
- a sujidade reaparece rapidamente
- os custos de mão de obra ou de água estão aumentando
- acesso é difícil
- os operadores buscam uma qualidade de limpeza mais previsível
- as equipes de O&M precisam reduzir a exposição dos trabalhadores e ampliar a escala sem aumentar o quadro de funcionários

Isso não significa que todas as instalações FV devam eliminar totalmente a limpeza manual. Na prática, muitos operadores de usinas FV de grande porte estão migrando para um modelo híbrido: robótica para limpeza de rotina ou de alta frequência e intervenção humana direcionada apenas quando surgem casos de contaminação atípica ou situações que exigem manutenção específica.

Qual Sistema IFBOT se Adequa a Qual Cenário de O&M?

É aqui que a IFBOT pode se expressar de forma clara e prática.

Para locais secos, empoeirados e sensíveis à água

O IFBOT X3 apresenta o argumento mais sólido em termos de O&M para cenários que exigem limpeza a seco frequente e onde a água é cara, escassa ou operacionalmente inviável. A IFBOT posiciona o equipamento como uma solução leve, portátil e que dispensa o uso de água para a manutenção de rotina.

Para sujeira aderente, resíduos industriais ou limpeza profunda periódica.

O IFBOT M20 é mais adequado para situações em que os operadores precisam de limpeza com água para lidar com sujeira mais pesada. Na página do produto M20, a IFBOT especifica um sistema de lavagem com água e escovas duplas, peso de 12,7 kg e produtividade de 1.000 m²/h.

Para seções de grande porte remotas ou de difícil acesso

O sistema de drones IFBOT é relevante em situações em que o próprio acesso é um fator que eleva os custos. Se as equipes perdem tempo e dinheiro apenas para levar o equipamento de limpeza até o local específico da instalação, a eficiência na operação do sistema passa a contribuir também para a redução dos custos de O&M.



A Verdadeira Conclusão Sobre O&M

Para grandes usinas FV, a questão econômica já não é se os painéis devem ser limpos. As evidências deixam claro que o acúmulo de sujeira pode reduzir significativamente a geração de energia e que as decisões sobre a limpeza devem ser otimizadas com base na viabilidade econômica do empreendimento.

A pergunta mais relevante é esta:

Como uma usina FV pode realizar a limpeza com a frequência necessária para preservar o rendimento energético, sem deixar que os custos com mão de obra, água, acesso e segurança saiam de controle?

É aí que os robôs de limpeza solar FV geram economia em O&M.

Eles ajudam grandes usinas FV a abandonarem um modelo reativo e intensivo em mão de obra em favor de um modelo de manutenção mais padronizado, escalável e orientado por dados. No local adequado, isso pode significar:

- Menor custo recorrente com mão de obra
- Menor custo operacional relacionado ao uso de água
- Qualidade de limpeza mais consistente
- Resposta mais rápida ao acúmulo de sujeira
- Menor atrito operacional em grandes usinas solares FV
- Melhor preservação da geração de energia

Para operadores de projetos de grande porte, isso não é apenas uma melhoria na manutenção; é um aprimoramento da estratégia de O&M.

FAQs

Robôs de limpeza de módulos FV reduzem os custos de O&M em grandes usinas FV?

Sim. Eles podem reduzir a dependência de trabalho manual recorrente, diminuir o consumo de água, melhorar a consistência da limpeza e facilitar a manutenção do rendimento energético por meio de limpezas mais regulares. As maiores economias geralmente ocorrem em locais extensos, empoeirados, com escassez de água ou de difícil acesso.

A limpeza robótica é sempre mais barata do que a limpeza manual?

Nem sempre. Em instalações pequenas ou com baixo nível de sujeira, a limpeza manual ainda pode ser adequada. A limpeza robotizada torna-se uma opção mais vantajosa à medida que aumentam o porte da usina FV, a frequência de limpeza, o custo da mão de obra, o custo da água e a complexidade do acesso.

Quanto o acúmulo de sujeira pode reduzir a produção?

A IEA PVPS afirma que as perdas médias globais por acúmulo de sujeira situam-se entre 4% e 7%, embora esse índice possa ser muito mais elevado em ambientes com muita poeira.

Qual é a principal vantagem financeira da limpeza robótica?

A principal vantagem não é apenas a redução da mão de obra. Trata-se de proteger a receita ao facilitar a execução de limpezas pontuais e padronizadas em uma grande instalação FV.

Qual robô IFBOT é o mais adequado para usinas FV de grande porte?

Isso depende do desafio de limpeza. O X3 é adequado para a limpeza rotineira a seco e locais sensíveis à água, o M20 é indicado para sujeira mais pesada e limpeza com água, e o sistema UAV auxilia em áreas de difícil acesso.

Fale conosco:

- Dr. Reinaldo Escada Chohfi
- E-mail: reinaldo.escada@geodesign.com.br
- Cel.: +55 12 99669-5678 
- Tel.: +55 12 3153-5115

Tradução do inglês para o português realizada pela GeoDesign Internacional, distribuidora exclusiva da IFBOT no Brasil.