

Sistemas de Energia Solar

Tópicos Avançados

Adriana Cardoso, N^o46705. EEA.

Limpeza dos Sistemas Solares

Resumo: Com o aumento da instalação de sistemas fotovoltaicos nos últimos anos, uma das prioridades atuais é garantir que estes funcionam com a maior eficiência possível, o que originou um interesse sobre se painéis solares deveriam ser limpos regularmente. A limpeza pode ser realizada com água ou a seco, com uma grande variedade de métodos que podem ser manuais ou automáticos. A decisão de sobre quais os melhores métodos depende do local da instalação, que está relacionado com o clima e o tipo de solo, em que se verifica que zonas mais áridas precisam de lavagens mais regulares, pois apresentam uma diminuição do desempenho do sistema solar considerável. Observa-se que para grandes centrais de produção solar compensa a realização da limpeza regularmente, em relação ao custo dos métodos utilizados, contudo para situações residências, principalmente em locais em que chove regularmente, a limpeza dos painéis solares pode não ser necessária.

Introdução

Se os sistemas solares não forem limpos regularmente, pode existir um aumento das perdas energéticas, diminuindo o desempenho do sistema. Painéis solares têm como parte da sua estrutura uma camada de vidro transparente na parte superior que recebe a radiação solar, mas se a camada for obstruída por meios físicos, como poeira, então a taxa de absorção da radiação por parte da camada vai diminuir, reduzindo também a eficiência da conversão de energia solar em energia elétrica. Os painéis fotovoltaicos podem ficar sujos não só por poeira, mas por algas, fezes de aves, musgo, ou poluição atmosférica e resíduos industriais. Os materiais utilizados durante a limpeza podem ter químicos que podem atrair ainda mais poeira, assim como danificar ainda mais os painéis, impedindo também a radiação de atingir as células solares na totalidade. Como a zona equatorial apresenta uma maior quantidade de irradiação incidente, tem ocorrido um grande aumento de sistemas PV instalados em locais que apresentam naturalmente muita areia e pó, característicos de climas muito áridos. A localização da instalação determina o tipo de poeira existente. Portanto, em sistemas montados em zonas desérticas a limpeza é ainda mais importante devido à quantidade de pó/areia que se encontra a circular continuamente. O estudo da importância da limpeza dos painéis em diferentes climas não está ainda muito desenvolvido, apesar de a manutenção dos sistemas PV ser uma indústria em grande desenvolvimento.

Efeitos no desempenho

É muitíssimo importante compreender como a deposição de partículas afeta o desempenho de painéis solares para se poder determinar se há necessidade da realização de uma limpeza. A deposição de partículas origina uma diminuição da corrente de curto circuito, da potência máxima e da eficiência dos módulos PV.

A forma como os fatores referidos são afetados varia bastante com o clima. Estudos realizados no sul da Itália em que o solo era areal originaram perdas energéticas de 6,9% após um ano sem qualquer limpeza, enquanto que em solo compacto as perdas observadas foram apenas de 1,1%, o que mostra o quão suscetíveis são as perdas ao tipo de solo. Um ambiente em que chove muito e com boa qualidade de ar necessita de ser bem avaliado, pois a chuva é uma forma de limpeza natural e uma boa qualidade de ar levará a menor existência de grandes partículas que se podem depositar nos painéis, sendo que muito poucos estudos são realizados. Em Portland, Oregon, nos EUA, foram observados painéis fotovoltaicos monocristalinos de silício, sendo comparados os efeitos da limpeza natural pela chuva com a limpeza manual. Após 17 dias sem qualquer tipo de precipitação observou-se uma perda de 4% de eficiência, sendo que logo a seguir a ter ocorrido um único dia de precipitação a eficiência ficou apenas 1% inferior em comparação com um painel equivalente limpo manualmente. Verificou-se que a temperatura do painel não foi afetada, portanto as perdas foram devido aos efeitos óticos de dispersão. Observou-se então que, numa zona de clima ameno, a limpeza natural dos painéis pela precipitação se mostrou bastante eficiente, logo é necessária uma boa estratégia para que a limpeza não ocorra regularmente, quando não é preciso. Estudos realizados mostram também que sistemas PV concentrados são ainda mais sensíveis à deposição de poeiras, atingindo perdas de 26% após 4 meses, como seria de esperar, pois os sistemas concentrados apresentam características óticas muitíssimo específicas.

Efeito da inclinação

A latitude do local, assim como o clima, determinam a inclinação dos módulos PV, que afetam a capacidade de autolimpeza do sistema, considerando diferentes tipos de solo. Zonas áridas em latitudes baixas apresentam menor precipitação, temperaturas mais altas, pouca vegetação e muito vento, o que origina uma grande concentração de poeira no ar, existindo também tempestades de areia regularmente. Os painéis instalados costumam apresentar uma baixa inclinação que permite uma ótima produção energética, contudo a baixa inclinação origina uma grande deposição de areia e pó sobre a parte frontal dos painéis solares. Então, os ângulos de inclinação impedem uma boa autolimpeza, sendo, portanto, mais importante limpar os módulos nas zonas referidas em comparação com locais de temperaturas moderadas, com maior latitude, em que existem menos poeiras no ar, como na Alemanha, em que ângulos de inclinação superiores a 12° permitem a uma boa autolimpeza quando ocorre precipitação ao

longo do ano, com perdas inferiores a 1% quando não ocorre limpeza manual. Podem ocorrer perdas diárias de 0,3% até 1% em zonas desérticas, que é um valor equivalente às perdas anuais observadas na Alemanha. Para melhorar as condições nas zonas áridas podem-se colocar os módulos no ângulo máximo de inclinação durante tempestades de areia, durante a noite, sendo que sistemas com *tracking* permitem então menores perdas que sistemas fixos. Uma vantagem das zonas com menos precipitação é que a limpeza das partículas na superfície dos módulos é mais simples por não existir cimentação da área, como ocorre em zonas temperadas.

Efeito do tipo de solo

O que determina o tipo de solo é o local, sendo que o tipo de solo está relacionado com a facilidade com que a limpeza é realizada. Areias finas são responsáveis por maior sombreamento dos módulos, provocando, portanto, mais perdas na eficiência energética, sendo também mais difíceis de ser levadas pelo vento ou água, em comparação com areias mais espessas, que, contudo, afetam mais as camadas anti refletora e de vidro dos módulos, durante o processo de limpeza.

Deposição de poeiras devido à poluição necessita também de ser referida, sendo que as perdas de eficiências energética se verificam superiores em painéis perto de centrais a carvão e elevado trânsito, em que a lavagem é mais complexa, pois as partículas são muito viscosas, em comparação com zonas menos industriais. Locais com agropecuária podem também originar partículas orgânicas que podem afetar sistemas PV instalados na zona.

Métodos

Existem diversos métodos de limpeza dos sistemas solares que necessitam de ser escolhidos considerando o clima local e o tipo de módulo existente.

Limpeza manual vs. automática



Figura 1: Representação de um exemplo de limpeza manual de módulos solares. Fonte: www.sintef.no

Na limpeza manual é necessário que um operador realize a limpeza utilizando qualquer material que sirva para esfregar como uma esponja, como observável na **Figura 1**, sendo que se determina se o módulo está bem limpo através de confirmação visual, o que mostra que é um método bastante subjetivo, complexo, em que operadores têm de, por vezes, subir para os telhados ou de limpar uma enorme quantidade de painéis, o que

demora bastante tempo. Os materiais utilizados são líquidos de limpeza que vão afetar a qualidade do material transparente, sendo muito difícil evitar qualquer dano nos módulos.



Figura 2: Limpeza manual utilizando um aparelho com sucção a vácuo. Fonte: https://www.researchgate.net/publication/314254127_A_Comparative_Study_of_Dust_Cleaning_Methods_for_the_Solar_PV_Panels

Para a limpeza dos painéis pode ser utilizado um aparelho a que é fornecida energia elétrica para que o motor a vácuo funcione, como mostra **Figura 2**, de forma a que uma bomba de ar sugue a poeira, que é basicamente uma limpeza de sucção a vácuo que é realizada manualmente, em que o operador tem de ser treinado. A eficiência do processo não é boa o suficiente para justificar a quantidade de energia elétrica necessária, por não conseguir chegar aos cantos dos painéis totalmente, sendo que causa também riscos no módulo PV.

A limpeza automática é muito mais eficiente, sem ter os problemas de serem necessários operadores para a realizar. Um aparelho de limpeza automática borrifa água com químicos que depois é esfregada por uma borracha. Tem uma bateria para funcionar automaticamente. Contudo, os danos causados no módulo são equivalentes aos referidos para a limpeza manual, com a exceção do peso dos operadores.

Outro método automático é a precipitação eletrostática que utiliza o Arduíno para que exista uma limpeza regular dos módulos de forma inteligente, não ocorrendo limpeza em demasia, que significa mais custo, mas limpando a poeira sempre que a eficiência do módulo esteja a ser realmente afetada. Um precipitador eletrostático, ESP, é constituído por um conjunto de elétrodos fixos que são utilizados para retirar as partículas, sendo um aparelho de filtração que permite retirar as poeiras finas depositas na superfície do módulo PV através da indução de uma carga eletrostática. O ESP é colocado em cada um dos lados do painel, que tem um sensor de peso que consegue determinar a espessura da poeira através da alteração do peso do painel. Quando um valor específico de peso é ultrapassado, o microcontrolador de Arduíno avisa o ESP. O primeiro elétrodo tem uma tensão negativa muito alta, sendo que as partículas ao se aproximarem adquirem também uma carga negativa, sendo que o segundo elétrodo tem uma tensão positiva muito alta para atrair as partículas carregadas negativamente, que são removidas por um mecanismo de vibração ou por limpeza manual. Devido a ser tão eficiente, é maioritariamente utilizado na indústria da cerâmica, cimento, entre outras indústrias que produzem muita poeira. A grande vantagem do ESP como método automático de filtração é que é um método que não necessita de contacto com a superfície do módulo.

Determinar qual o melhor método é discutível, pois cada um tem as suas vantagens. A limpeza manual realizada por grupos de operadores é de boa qualidade, contudo pode também ser mais cara que a automática, pois as equipas que fazem a limpeza dos painéis precisam de ser treinadas, como é o caso da *Elite*

Module Washing no Colorado, que funciona apenas para sistemas muito grandes de mais de 40 000 painéis, em que o custo varia consoante o quão árido é o local, pois como já referido um local mais árido significa que os painéis estarão também mais sujos. É no início do Verão que a equipa tem mais trabalho, para os painéis ficarem completamente limpos antes da altura de maior produção. Utilizam apenas água e uma escova. Por vezes, no início da criação do projeto é realizado o contrato indicando quando é que vão ser realizadas as limpezas. A lavagem automática é mais rápida que a manual, o que é muito importante para a eficiência dos painéis. Empresas como a *Heliotex* sugerem que a melhor forma de limpeza dos painéis é semanalmente, de forma que a que o painel não acumule poeira porque a limpeza é muito mais complexa após a sujidade existir em grande quantidade. A empresa não utiliza qualquer aparelho complexo, lavando apenas com um borrifador de água com sabão biodegradável, que não ocupa muito espaço, ficando facilmente integrado entre módulos PV, como observável na **Figura 3**. Para não afetar a produção de eletricidade, nem danificar os painéis, o sistema funciona durante a noite. Pela forma como funciona, o sistema da *Heliotex* é visto como um complemento do sistema PV construído e não um custo adicional anual de manutenção.



Figura 3: Método de limpeza automática com borrifadores de água da Heliotex. Fonte: <https://www.solarpowerworldonline.com/2015/02/fighting-dirty-manual-washing-vs-automatic-cleaning-of-solar-modules/>

Limpeza com água vs. seca

Como a água ou qualquer químico líquido conseguem dissolver os materiais depositados, de seguida transportando-os, é possível afirmar que no geral, os métodos de limpeza com água são mais eficientes que os métodos de limpeza a seco. Na limpeza a seco, a limpeza é realizada por fricção das partículas que são transportadas pelo ar. Quando a poeira se encontra muito “colada”, pode arranhar a superfície dos painéis, na realização da fricção para a retirar do vidro, o que pode provocar danos aos módulos PV, logo é necessário que seja estudada a força imposta na remoção das partículas. O processo de fricção pode até

danificar a camada anti refletora do módulo. Portanto, a pressão exercida diretamente na parte frontal dos módulos não deve ser superior à capacidade de transporte de carga mecânica do módulo, de forma a que não se criem micro fraturas em células, por exemplo, cristalinas, que originam perdas de potência e *hot spots*. Alguns sistemas, como os semiautomáticos têm um peso muito elevado, de 35 a 65 kg, que ao serem colocados sobre cada conjunto de módulos podem causar as fraturas referidas. Quando a limpeza é realizada durante o dia, necessita de ser realizada com mais cuidado, pois o sombreamento de parte do módulo pode também causar *hot spots*, logo quando não existem díodos de *bypass* é mais acertado realizar a limpeza durante a noite.

É possível identificar 4 tipos diferentes de limpeza a seco: semiautomática, totalmente automática, portátil e *truck-mounted*.

A limpeza semiautomática utiliza aparelhos que têm de ser colocados manualmente na superfície dos painéis, para de seguida se deslocarem de forma automática numa direção, tendo um sensor que indica que chegaram ao fim destes. Podem-se deslocar completamente no topo dos módulos, mas podem também apenas utilizar a armação. É um método semiautomático pois quando uma “tabela” de módulos é limpa, tem de se colocar o aparelho na seguinte “tabela” de módulos manualmente, sendo necessário 2 operadores para o fazer, mas como é automático funciona com uma bateria. Após a construção do sistema, o aparelho de limpeza pode facilmente ser instalado, sendo preferencial para sistemas sem qualquer intervalo ou ângulo entre módulos PV.



Figura 4: Método de limpeza de módulos fotovoltaicos completamente automático. Fonte: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117313965>

Existem alguns aparelhos que necessitam de um ângulo específico para funcionar, podendo até funcionar de forma automática ou semiautomática como é o caso da *Nomadd Desert Solar Solution*.

Os aparelhos portáteis podem ter até 1 m² de área, sendo constituídos por sensores que determinam o fim do módulo PV, permitindo que o aparelho se desloque na superfície do módulo em todas as direções, como é o caso do *Raybot* da *Ecovacs Robotics*, como apresentado na **Figura 5**, mas podem também ser

controlados remotamente de forma manual, como o *Gekko Solar*. Podem, portanto, ser automáticos ou semiautomáticos. Os dois exemplos referidos têm um aspirador que permite com que fiquem presos na superfície, podendo limpar em módulos com uma grande inclinação. São o método de limpeza mais utilizado em instalações nos telhados de habitações ou em módulos que têm *tracking* Solar.



Figura 5: Robot de limpeza de módulos solares da Ecovacs Robotics. Fonte: <https://www.solarpowerworldonline.com/2015/02/fighting-dirty-manual-washing-vs-automatic-cleaning-of-solar-modules/>

Os sistemas de limpeza *truck-mounted* são constituídos por uma enorme escova ligada a um veículo que se desloca entre as filas dos módulos PV, como apresentado na **Figura 6**, funcionando tanto de dia como de noite. Os aparelhos permitem controlar qual a pressão que a escova exerce sobre a superfície do módulo, sendo que é um método que não é afetado por diferentes inclinações entre grupos de módulos, mas têm de existir obrigatoriamente uma determinada distância entre as linhas dos módulos, de



Figura 6: Representação do método de limpeza de módulos PV truck-mounted. Fonte: <http://www.bitimec.com>

2,5 a 3 metros que varia com o tipo de aparelho, juntamente com uma área no final de cada linha para que o aparelho inversa a direção. Apesar de existir o controlo da pressão da escova, é um dos métodos de limpeza que pode causar mais danos nos módulos, tendo também o custo adicional de necessitar de um operador sentado no veículo, devidamente treinado, geralmente pela empresa que fabrica os módulos, como a *BP Metalmeccanica*.

Antes de se iniciar o processo de limpeza a seco é necessária a caracterização do solo que existe no local, sendo que é necessário que seja dada uma garantia aos utilizadores do sistema de limpeza para o caso dos módulos PV serem afetados. Para avaliar os riscos do atrito durante a limpeza deve ser utilizada uma terceira parte para testar os aparelhos de limpeza. Tem também de existir uma manutenção dos dispositivos, sendo que para os aparelhos automáticos é necessário considerar o tempo de vida da bateria. Como o tempo de vida dos sistemas PV é de pelo menos 25 anos, a empresa que faz a limpeza tem também

de garantir o funcionamento do aparelho durante esse tempo, fornecendo partes sobressalentes sempre que necessário.

Em zonas secas subtropicais não existe acesso a uma grande quantidade de água, portanto a limpeza dos painéis utilizando água teria um custo associado alto, sendo importante também referir que se as zonas áridas já são muito secas, utilizar a pouca água existente para limpeza de painéis não é o mais correto, havendo necessidades de saúde mais importantes, como a água para beber simplesmente.

Tecnologias Futuras

Com o grande desenvolvimento do mercado PV, têm também surgido novas tecnologias para a limpeza dos sistemas solares. Um protótipo de um sistema de limpeza ultrassónico está em progresso, em que a poeira é removida através da geração de uma cavidade no meio, quer seja ar ou água, através do vácuo durante o ciclo de rarefação. Uma grande variedade de robots que lavam os painéis está também a ter grande evolução, como o sistema de limpeza de alta tensão, TAFT, da *Taft Instruments*, em que os robots estão ligados à armação dos painéis, utilizando um campo elétrico de alta tensão AC para retirar a poeira dos módulos PV. Funcionam como sistemas semiautomáticos, em que à medida que o robot se move sobre a superfície do módulo, as partículas carregadas vão oscilando, deslocando-se em direção às extremidades do painel, até caírem para fora do módulo. É utilizada radiação infravermelha para determinar até onde o robot se pode movimentar, sendo que são as células PV que dão a energia ao robot, funcionando quando existe radiação incidente, o que pode danificar os módulos PV muito finos sem díodos de *bypass*, como já referido.

Custos

Para que haja um investimento em sistemas de limpeza é necessário que seja demonstrado de forma clara uma relação custo-investimento positiva. Considerando grandes instalações de sistemas fotovoltaicos, os métodos semiautomáticos custam desde 2000 a 12000 euros, sendo dos mais utilizados. Um sistema completamente automático para uma central PV de 10 MW pode custar cerca de 450 000 euros, sendo que apesar de ter um custo de investimento alto, o custo de operação é inferior aos restantes sistemas. Os métodos *truck-mounted* apresentam um custo variável de 120 000 a 150 000 euros, com os robots portáteis a apresentarem um custo de cerca de 70 000 euros. Os custos referidos não consideram os operadores necessários para os sistemas não totalmente automáticos, subindo bastante o custo dos métodos *truck-mounted* que também consomem combustível, assim como os métodos semiautomáticos, que como já referido, necessitam de 2 operadores durante o funcionamento. A frequência com que é realizada a limpeza permite determinar quais os métodos mais adequados para cada situação, sendo que os métodos totalmente automáticos devem ser

utilizados em situações de limpeza regular, com os restantes a serem mais adequados para uma limpeza pontual.

Cada sistema vai ter um determinado custo consoante o método selecionado, sendo que considerando grandes instalações de sistemas PV é possível afirmar que para a grande maioria, com o método certo escolhido, a limpeza compensa economicamente, em comparação com o custo que resultaria das perdas de eficiência caso a lavagem não fosse realizada.

Limpeza de painéis residenciais

Com cada vez uma maior quantidade da população a compreender as vantagens da utilização de sistemas fotovoltaicos, aliado à diminuição dos custos da energia solar PV, é importante referir especificamente a limpeza de painéis residenciais.

Geralmente, os painéis solares residenciais encontram-se nos telhados dos edifícios, com um determinado ângulo de inclinação ou planos. Como já referido, a chuva limpa uma grande quantidade da sujidade, portanto a lavagem dos painéis não necessita de ser realizada regularmente para sistemas caseiros, relativamente pequenos, em zonas não muito secas. Contudo, no caso de fezes de aves, a chuva pode não realizar a limpeza muito eficientemente. O que se verifica é que a população que investiu na instalação de pequenos sistemas solares nas habitações não estará disposta a pagar uma grande quantidade de dinheiro para uma equipa de limpeza ir lavar os painéis ou para pôr um aparelho semiautomático, que são opções muito mais comuns para grandes centros de produção de energia elétrica, principalmente se a queda da eficiência for inferior a 5%, com uma perda de apenas 20 dólares por ano, num sistema de 5 kW, que é muito inferior ao custo dos métodos de limpeza referidos. Portanto, o mais típico é a limpeza, se necessária, ser realizada pelos habitantes, que podem utilizar apenas uma mangueira e por vezes, um pouco de detergente macio. Podem também utilizar um sistema de monitorização que alerta se os painéis solares estão a funcionar corretamente, sendo que até através da observação da conta da eletricidade é possível verificar se existe alguma variação no custo. Algumas empresas de instalação dos painéis têm até recomendações sobre a melhor forma de realizar a lavagem. Os painéis devem ser limpos num dia mais fresco, com pouca radiação solar, para que não estejam quentes, com materiais que não causem grande pressão sobre a superfície, maioritariamente com água apenas.

Não existe qualquer norma específica para a limpeza de sistemas solares, logo todos os aparelhos de limpeza têm de ser testados rigorosamente por diversos institutos antes de poderem ser utilizados, como o *PI Berlin* e o *Quality Institute Srl*. Todos os testes realizados necessitam de considerar uma enorme variedade de fatores como o tipo de solo e o clima do local, a frequência de limpeza, o tipo de sistema solar assim como o tipo de módulo, considerando a inclinação presente, entre outros.

Conclusão

É possível concluir que a limpeza de sistemas solares é uma área em desenvolvimento, com ainda poucas opções disponíveis devido ao crescimento muitíssimo rápido da indústria PV nos últimos anos. Portanto, é extremamente importante que a decisão de se a limpeza deve ser realizada, assim como qual o método que deve ser utilizado, seja bastante ponderada considerando o tamanho da instalação, em que grandes instalações apresentam uma relação custo-investimento positiva em comparação com instalações residenciais pequenas. O local do sistema PV é também um dos fatores que mais determinam a necessidade de limpeza pois determina o solo e o clima, em que zonas mais áridas, com pouca precipitação, vão apresentar uma regularidade de lavagem muito superior às restantes. Os diferentes tipos de métodos adequam-se a diferentes tipos de construções, sendo que atualmente existe em progresso a criação de novos métodos, principalmente automáticos, que não danifiquem os módulos PV que é uma das maiores preocupações quando ocorre a limpeza do sistema.

Referências Bibliográficas

- [1] PV Module Cleaning. PI Berlin. [Online] Disponível em: <https://www.pi-berlin.com/images/pdf/publication/White%20Paper%20-%20PV%20Module%20Cleaning%20-%20Market%20Overview%20and%20Basics.pdf> [Consultado a: 27 de dezembro de 2018]
- [2] SMITH, M.K. & WAMSER, Carl. Agosto de 2013. Effects of Natural and Manual Cleaning on Photovoltaic Output. [Online] Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/262300214_Effects_of_Natural_and_Manual_Cleaning_on_Photovoltaic_Output [Consultado a: 29 de dezembro de 2018]
- [3] HUDEDMANI, MALLIKARJUN & Outros. Janeiro de 2017. A Comparative Study of Dust Cleaning Methods for the Solar PV Panels. [Online] Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/314254127_A_Comparative_Study_of_Dust_Cleaning_Methods_for_the_Solar_PV_Panels [Consultado a: 29 de dezembro de 2018]
- [4] Fighting Dirty: Manual Washing vs. Automatic Cleaning of Solar Modules. Fevereiro de 2015. [Online] Disponível em: <https://www.solarpowerworldonline.com/2015/02/fighting-dirty-manual-washing-vs-automatic-cleaning-of-solar-modules/> [Consultado a: 4 de janeiro de 2019]
- [5] Cleaning Your Solar Panels. EVERGREEN SOLAR. [Online] Disponível em: <https://evergreensolar.com/how/cleaning/> [Consultado a: 4 de janeiro de 2019]