

DIFERENTES MÉTODOS DE EXTRAÇÃO DE NÍVEIS DE SUJIDADE APLICADOS EM DISTINTOS CLIMAS

João Gabriel Bessa – jbessa@ujaen.es

Universidad de Jaén, Spain

Leonardo Micheli

Universidad de Jaén, Spain

Eduardo Fernández

Universidad de Jaén, Spain

Florencia Almonacid

Universidad de Jaén, Spain

Resumo. *A deposição de poeira na superfície dos módulos fotovoltaicos (FV) causa perdas significativas nos sistemas fotovoltaicos, com quedas de energia de até 50% em algumas regiões. Isso significa que pode levar a grandes perdas financeiras devido ao menor rendimento de energia dos sistemas fotovoltaicos e aos custos de Operação & Manutenção (O&M) mais altos e à incerteza no desempenho fotovoltaico. Portanto, monitorar e quantificar com precisão a sujeira é essencial para estabelecer um cronograma de limpeza ideal. O escopo deste trabalho é apresentar a metodologia de extração de perdas de sujeira em tempo real para sistemas fotovoltaicos (PV) localizados em distintas condições climáticas. Este trabalho descreve várias metodologias para quantificar as perdas de sujeira usando dados de desempenho fotovoltaico, sem a necessidade de estações de sujeira ou custos adicionais de mão de obra e manutenção. A aplicabilidade das distintas metodologias é validada nas distintas localidades, apresentando valores médios extraídos de índices de sujeira de 0.98 para Jaén e Nicósia e 0.99 para Sidirokastro. Esses dados explicitam as características climáticas de cada localidade, fator que afeta diretamente a análise da sujeira em sistemas fotovoltaicos.*

Palavras-chave: *Energia Solar, Fotovoltaica, Sujidade.*

1. INTRODUÇÃO

O desempenho de um sistema fotovoltaico é afetado por vários fatores ambientais como irradiância, temperatura, poeira/sujidade ou sombreamento. O processo onde poeira, sujeira e contaminantes orgânicos/inorgânicos se acumulam na superfície de um módulo fotovoltaico é conhecido como ‘soiling’. Este processo impacta a geração de energia espalhando, refletindo e absorvendo a radiação solar incidente, reduzindo então a conversão de energia. O efeito global da sujidade atingiu perdas até 5 mil milhões de euros em 2018 de acordo com a estimativa apresentada por (Ilse et al., 2019). Espera-se que o impacto da sujidade aumente no futuro com o crescimento do mercado fotovoltaico, especialmente em regiões com alto recurso solar e altos efeitos de sujidade, como as regiões MENA. Como perda reversível, a sujeira pode ser removida artificialmente ou por eventos naturais (chuva, neve, orvalho, gravidade e vento). Além disso, ações preventivas podem fazer parte da estratégia de mitigação de sujeira, incluindo a configuração do sistema (por exemplo, sistemas de seguimento, adaptação e seleção do local) e características do módulo fotovoltaico (por exemplo, revestimentos anti-sujidade e design otimizado do módulo)(AIDowsari et al., 2014; Gupta et al., 2019; Jamil et al., 2017; Mondal et al., 2018). Para alcançar uma estratégia de mitigação ideal, o monitoramento da sujidade é a principal atividade a ser implementada, onde uma estimativa correta da sujidade é essencial.

Apesar de seu impacto global, a sujidade é um fenômeno específico do local com variações temporais e espaciais e, portanto, deve ser abordado localmente. Com base neste princípio, a estratégia de mitigação de sujeira deve ser planejada de acordo com as características do sistema (por exemplo, projeto do módulo fotovoltaico, ângulo de inclinação e orientação, configuração de seguimento, etc.), da localização (por exemplo, condições climáticas e ambientais, sazonalidade, etc.), e de sujidade (por exemplo, propriedades das partículas). Essa complexidade e variabilidade intrínsecas da sujidade tornam o monitoramento constante uma atividade essencial para otimizar a mitigação da sujidade. Fig. 1 sumariza as várias técnicas de monitoramento de sujidade que são utilizadas atualmente.

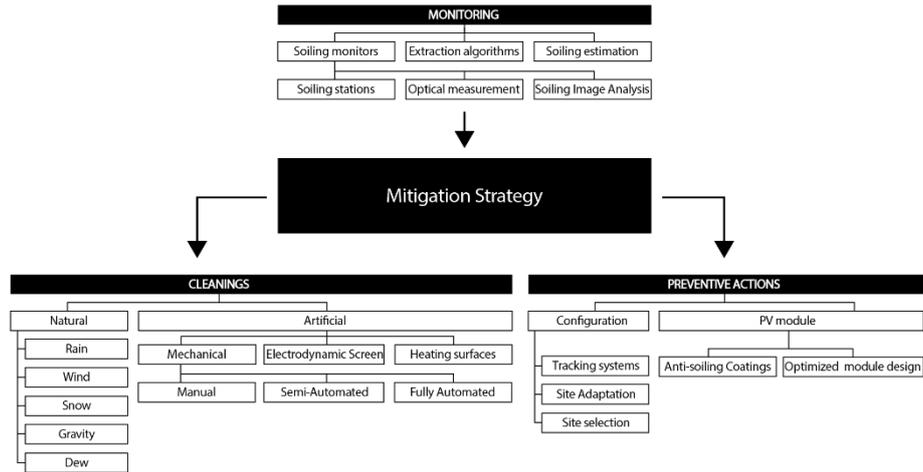


Fig. 1 Descrição das estratégias de monitoramento e mitigação de sujidade em sistemas fotovoltaicos(Bessa et al., 2021).

O método mais preciso para quantificar a sujidade é através da medição de uma curva I-V, pois fornece informações diretas sobre a intensidade das perdas e a presença de deposição não uniforme de sujidade(Schill et al., 2015). No entanto, as medições contínuas ou pelo menos regulares de vários módulos podem ser irreais, caras e expostas a grandes erros se os sensores de irradiância não estiverem limpos (Shrestha and Taylor, 2016). Por estas razões, diferentes soluções contínuas e automáticas foram propostas para o monitoramento de sujeira (por exemplo, estações de sujeira, sensores ópticos de medição de sujeira e sensores de análise de imagem de sujeira), com o objetivo de reduzir ao mínimo a necessidade de mão de obra humana e o custo(Bessa et al., 2021).

A norma IEC 61724-1 recomenda a instalação de monitores de sujidade em qualquer local com perdas anuais esperadas superiores a 2%. Devido à variabilidade espacial da deposição de sujeira, mais de um sensor é recomendado para sistemas maiores que 5 MW. Em particular, o número de sensores de sujidade, que deve ser igual ao número de sensores de irradiância e estações meteorológicas, varia entre 1 e 8 e depende apenas do tamanho do sistema(International Electrotechnical Commission, 2017). Devido à não linearidade entre o número de sensores e o tamanho do sistema fotovoltaico, plantas maiores permitirão sensores mais caros e mais precisos, graças ao menor número de sensores recomendados por unidade de capacidade. Por outro lado, plantas menores necessariamente exigirão soluções alternativas e mais econômicas. Além disso, quanto mais a perda de sujidade é reduzida (ou seja, quanto mais lucros são obtidos através da mitigação de sujidade), mais capitais poderiam ser investidos no monitoramento(Bessa et al., 2021).

Além dos monitores de sujeira acima mencionados, existem métodos alternativos (ou seja, algoritmos de extração) que podem ser usados para detectar o efeito da sujeira de um perfil de desempenho fotovoltaico. Nestes casos, os próprios módulos fotovoltaicos são convertidos em detectores. Tais algoritmos de extração de níveis de sujidade serão utilizados neste trabalho em três distintas localidades, demonstrando assim sua aplicabilidade.

2. METODOLOGIA

2.1. Índice de sujidade

Uma das métricas mais comuns usadas para quantificar a quantidade de sujidade depositada no módulo fotovoltaico é o Índice de Sujidade (r_s). A versão mais recente da IEC 61724-1 define o r_s como a relação entre a saída elétrica real de um painel fotovoltaico sob determinadas condições de sujeira e a saída esperada se o painel fotovoltaico estivesse limpo e livre de sujeira. É expresso da seguinte forma:

$$r_s = \frac{Z_{soil}}{Z_{clean}} \quad (1)$$

Onde Z é a saída elétrica. O subscrito 'soil' marca a saída elétrica em condições reais de sujeira, medida a partir de um sensor montado ao ar livre ou diretamente de módulos fotovoltaicos monitorados. O subscrito 'clean' marca a saída elétrica em condições limpas, medida a partir de um dispositivo de referência limpo ou estimado por meio de modelos de desempenho fotovoltaicos padrão. A perda de sujidade, chamada 'Soiling Ratio' nas normas IEC, pode ser calculada como $1-r_s$. O r_s tem um valor de 1 na ausência de sujidade (0% de perda de sujidade) e o seu valor diminui à medida que a sujidade se acumula na superfície do módulo fotovoltaico.

Os algoritmos de extração de sujidade são métodos alternativos à instalação de monitores de sujidade que podem ser utilizados para detectar o efeito da sujidade a partir de um perfil de desempenho fotovoltaico. Até agora, eles têm sido

usados para análise de dados históricos, mas podem ser adaptados para monitorar também as atuais perdas e taxas de sujidade. Pelo menos dois modelos de extração de sujeira PV foram apresentados na literatura, a Precipitação de Taxa Fixa (FRP) (Kimber et al., 2007) e a Taxa e Recuperação Estocástica (SRR) (Deceglie et al., 2018).

2.2. FRP

No modelo FRP, uma taxa de sujidade fixa, medida a partir da taxa do período seco mais longo, é aplicada a qualquer período de estiagem para gerar um perfil de sujidade em forma de dente de serra. A taxa de sujidade é definida para 1 em qualquer dia chuvoso "válido" e por vários dias após o mesmo. Esses períodos em que não ocorre deposição de sujidade são conhecidos como "períodos de carência". Além disso, os eventos de chuva são considerados "válidos" apenas se registrarem acúmulos diários acima de um "limiar de limpeza" mínimo predeterminado. Valores entre 0 e 5 mm/dia foram considerados neste estudo. Vários valores de limiar de limpeza têm sido sugeridos e/ou empregados na literatura, expressos como chuva acumulada (em mm ou polegadas) por dia ou por hora, dependendo dos dados de chuva disponíveis. Além disso, (Gostein et al., 2015) relataram que, estudando um local no sudoeste dos EUA, a sujeira não uniforme dos cantos dos módulos não foi limpa em uma ocasião por um evento de chuva de 5 mm/dia, mesmo que, em outras ocasiões, a sujeira mais severa tenha sido removida por eventos de chuva de intensidades mais altas. A Fig. 2 descreve as etapas realizadas pelo modelo FRP.

Os resultados da extração de FRP podem variar mais ou menos significativamente, dependendo das entradas escolhidas e, em particular, do limite de limpeza. Além disso, deve-se notar que também a fonte de dados de chuva pode afetar a extração de sujeira (Coello and Boyle, 2019).

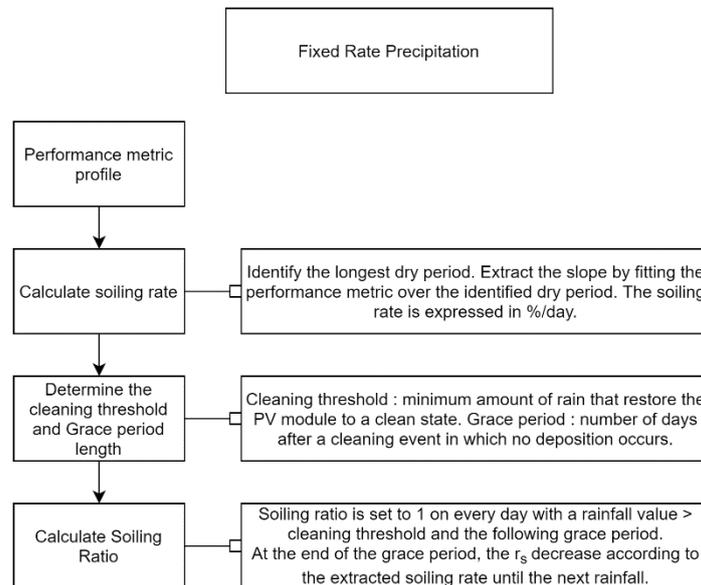


Fig. 2 Fluxograma da metodologia FRP

2.3. SRR

O modelo SRR foi desenvolvido com o objetivo de reduzir o número de escolhas arbitrárias na extração de sujeira e eliminar a dependência de dados pluviométricos e registros de limpeza. De fato, esse método não requer nenhum dado climático como entrada, porque as limpezas são identificadas com base em mudanças positivas da métrica de desempenho. O modelo calcula a mediana móvel da métrica de desempenho e, em seguida, segue quatro etapas. Primeiro, as diferenças (Δ) entre os valores da taxa de sujidade diária vizinha são calculadas e qualquer mudança positiva maior que $Q3+1.5 \cdot IQR$ é identificada como uma limpeza, onde $Q3$ e IQR são, respectivamente, o terceiro quartil e o intervalo interquartil de todos os $|\Delta|$ valores. Em segundo lugar, a taxa de sujidade de cada período dentro de dois eventos de limpeza consecutivos é determinada de acordo com a metodologia apresentada em (Deceglie et al., 2018). Em terceiro lugar, é realizada uma simulação de Monte Carlo, gerando estocasticamente 1000 possíveis perfis de sujidade. A taxa de sujidade do primeiro dia após a limpeza é selecionada aleatoriamente a partir de uma distribuição seminormal, para não assumir necessariamente uma recuperação completa da taxa de sujidade. Na quarta e última etapa, calcula-se a mediana das taxas médias de sujidade e os intervalos de confiança dos 1000 perfis. O modelo foi validado contra as medições de 11 estações de sujidade instaladas nos EUA e apresentou erros inferiores ao FRP (Deceglie et al., 2018). A Fig. 3 descreve os passos executados pelo modelo SRR.

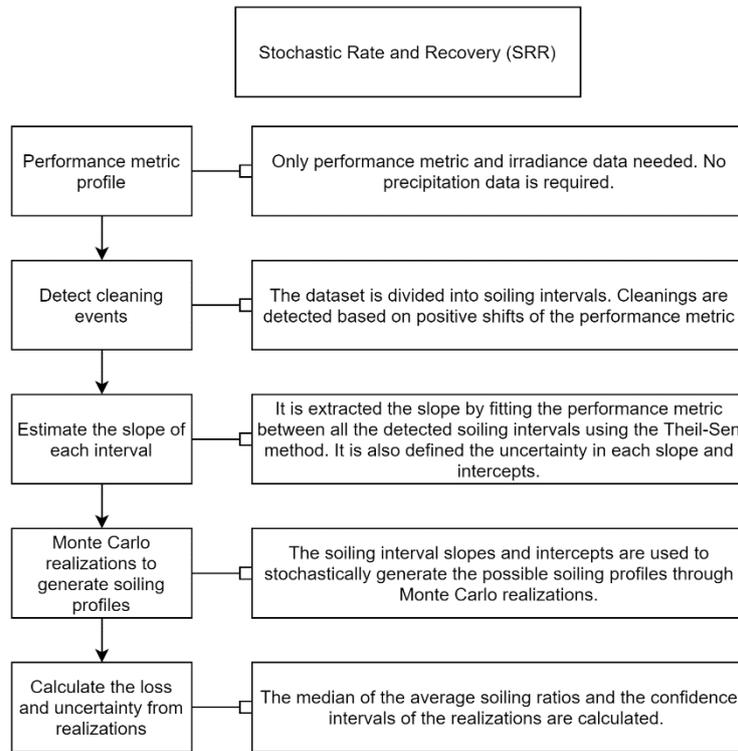


Fig. 3 Fluxograma da metodologia SRR

Essa abordagem de desconhecimento do clima tem a vantagem de não exigir o entendimento dos mecanismos naturais de limpeza, nem o conhecimento do cronograma de operação e manutenção (O&M), que pode ser relatado de forma imperfeita ou difícil de obter. De fato, como mencionado, nem todos os eventos de chuva têm efeitos de limpeza e, além disso, outros parâmetros além da chuva podem lavar a sujeira. No entanto, embora esse método não exija o conhecimento da precipitação e considere diferentes taxas de sujeira para cada período seco, ele não retorna um único perfil diário de sujeira, mas sim uma distribuição das perdas médias anuais potenciais. A fim de ultrapassar este problema e desenvolver um algoritmo para analisar ao mesmo tempo a sujeira e a degradação fotovoltaica, alguns dos autores (Deceglie et al., 2019) propuseram extrair o perfil da razão de sujeira média diária de todos os perfis gerados por Monte-Carlo.

2.4. AQUISIÇÃO DE DADOS

O presente estudo foi conduzido em três distintas localidades: Espanha, Chipre e Grécia. Para a cidade de Jaén, Espanha, os dados fotovoltaicos usados neste estudo são obtidos de um laboratório fotovoltaico localizado no telhado do CEAETEMA (Centre for Advanced Studies in Earth Science, Energy and Environment), na Universidade de Jaén. Uma estação de sujeira comercial (ou seja, sistema de monitorização de sujeira), composta por uma célula de referência que é limpa diariamente com água DI de alta pressão e um módulo de silício mono cristalino que se suja naturalmente, é instalada numa estrutura fixa (inclinação de 30°, Sul). Os dados foram coletados entre março de 2019 e maio de 2020. A partir deste sistema comercial de monitoramento, foram extraídas os Índices de Sujidade (r_s). A cidade de Jaén está classificada climaticamente como clima mediterrâneo (Kottek et al., 2006).

Para a cidade de Nicósia, Chipre, os dados são obtidos de uma instalação experimental durante os anos de 2006 e 2016. O sistema fotovoltaico consiste em 5 módulos de silício poli cristalino com uma potência total de 1.17kW. O sistema está instalado orientado ao sul, com um ângulo ótimo de 27.5°. Segundo a classificação climática de Koppen, Nicósia possui um clima semiárido quente (Kottek et al., 2006).

O presente estudo também analisa dados de uma planta solar localizada na cidade de Sidirokastro, no norte da Grécia durante os anos de 2013 e 2020. A planta solar possui uma potência total de 499.80 kWp, com módulos de silício poli cristalino instalados com orientação sul e ângulo ótimo de 25°. Esta região do norte da Grécia possui um clima subtropical úmido (Kottek et al., 2006).

Os índices de sujeira do sistema fotovoltaico cipriota e da planta solar grega foram extraídos mediante a Eq. 1 anteriormente citada, onde o parâmetro de referência ('clean') foi estimado mediante o uso de modelos de performance existentes na literatura (Dobos, 2014) e o parâmetro 'soil' representa os dados medidos.

3. RESULTADOS

Os perfis de sujidade extraídos através das metodologias acima descritas estão representados na Figura 4,5 e 6. Em Jaén, foi utilizado uma estação comercial de sujidade, e a partir dessa série de dados para o método FRP foram utilizados como limiar de limpeza 0 e 1mm de chuva acumulada por dia. Pode-se observar que o método FRP pode reproduzir o perfil de sujidade com as distintas configurações de limiar de limpeza e período de carência. Como mencionado anteriormente, o método SRR retorna 1000 perfis possíveis de sujidade. Com o objetivo de estimar um único perfil representativo, foi calculado um perfil mediano a partir dos diversos perfis possíveis. Cabe mencionar que o método SRR pode detectar a limpeza parcial ocorrida entre maio e junho de 2019, que não está relacionada com a chuva e, portanto, não foi detectada pelo FRP.

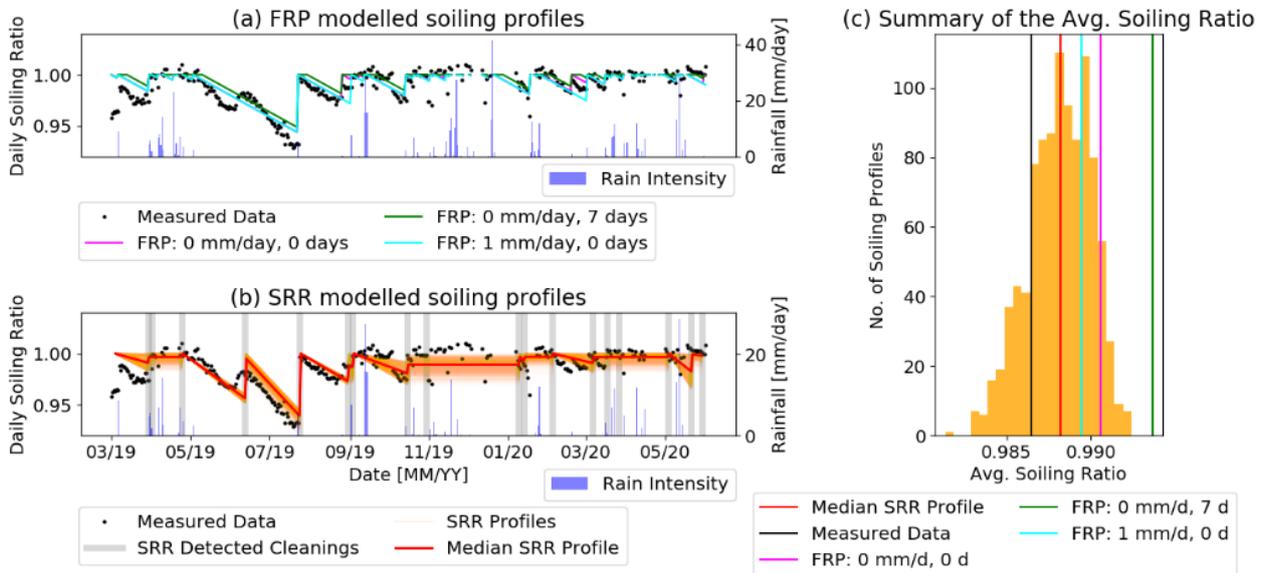


Fig. 4 Resultados para a cidade de Jaén. (a) Perfis de sujidade modelados através do método FRP com três combinações de limiares de limpeza (0 ou 1 mm/dia) e de períodos de carências (0 ou 7 dias). (b) Perfis de sujidade modelados pelo método SRR. A mediana dos perfis modelados é mostrada em vermelho. As linhas verticais cinzas representam os dias de limpeza detectados. (c) Média do índice de sujidade medido pela estação de sujidade comercial, média dos perfis do método FRP, média do perfil mediano extraído pelo SRR e distribuição da média dos índices de sujidade gerados pelo método SRR.

Em Nicósia, devido às incertezas nas medidas do piranometro, os dados possuem bastante ruído. Porém ainda assim os métodos puderam ser aplicados. Não foram observadas diferenças significantes entre os perfis modelados com períodos de carência de 0 e 7 dias para o método FRP. O perfil estimado pelo método FRP que mais se aproximou ao perfil médio de SRR ($r_s=0.982$) foi o perfil com limiar de limpeza de 1 mm/dia ($r_s=0.988$). De acordo com os investigadores responsáveis pela instalação experimental, tal valor está de acordo com as limpezas naturais observadas a campo ao largo dos 10 anos de experimento.

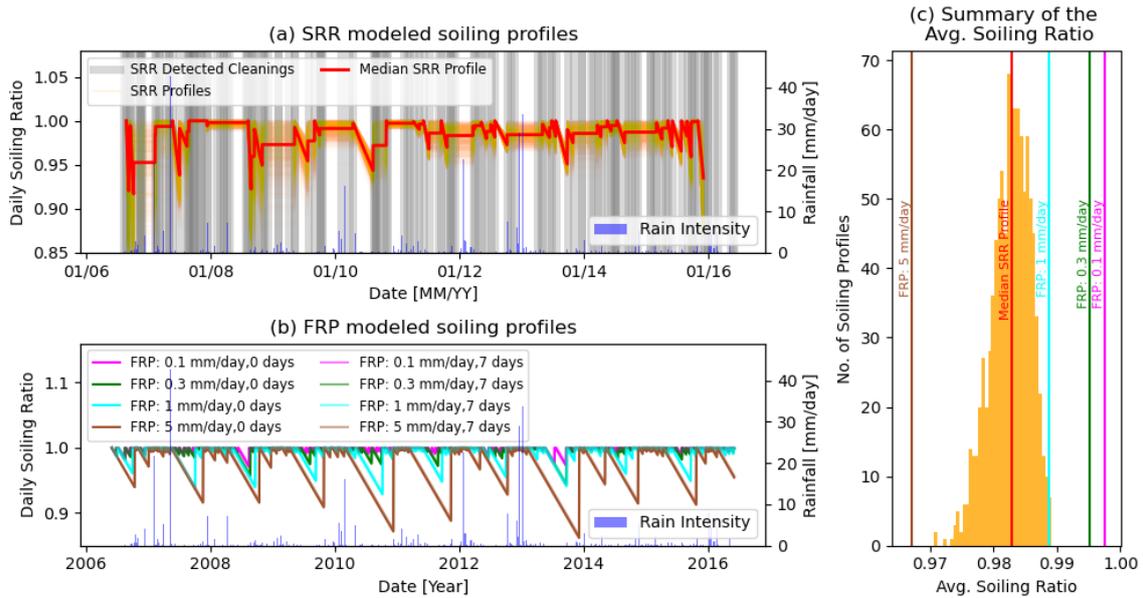


Fig. 5 Resultados para a cidade de Nicósia. (a) Perfis de sujidade modelados pelo método SRR. A mediana dos perfis modelados é mostrada em vermelho. As linhas verticais cinzas representam os dias de limpeza detectados. (b) Perfis de sujidade modelados através do método FRP com três combinações de limiares de limpeza (0 ou 1 mm/dia) e de períodos de carências (0 ou 7 dias) (c) Média do índice de sujidade medido pela estação de sujidade comercial, media dos perfis do método FRP, media do perfil mediano extraído pelo SRR e distribuição da média dos índices de sujidade gerados pelo método SRR.

A mesma incerteza observada na série de dados de Nicósia foi encontrada para a planta grega, gerando ruído na extração. Porém, igualmente pode-se extrair as métricas de sujidade para os distintos métodos. Cabe ressaltar, que a localidade de Sidirokastro possui um perfil pluviométrico ao longo do ano bastante alto. Tal característica influi nas análises dos níveis de sujidade, onde os períodos de estiagem são raros e não estacionais, como pode-se observar na diferença entre os valores médios calculados para os distintos métodos, SRR ($r_s=0.975$) e FRP para 1mm/dia ($r_s=0.997$).

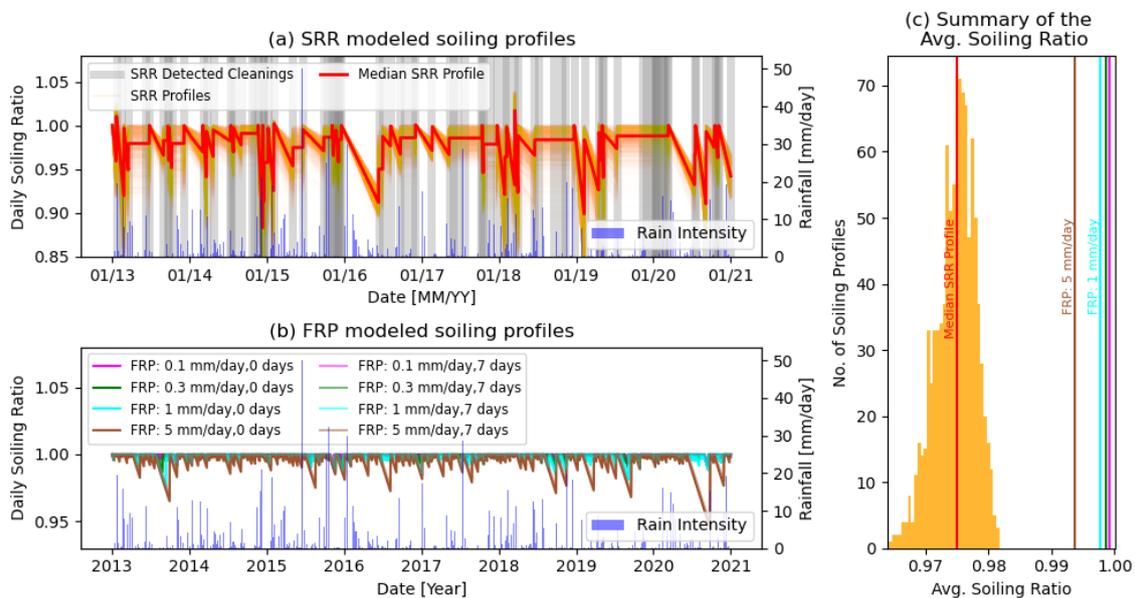


Fig. 6 Resultados para a cidade de Sidirokastro. (a) Perfis de sujidade modelados pelo método SRR. A mediana dos perfis modelados é mostrada em vermelho. As linhas verticais cinzas representam os dias de limpeza detectados. (b) Perfis de sujidade modelados através do método FRP com três combinações de limiares de limpeza (0 ou 1 mm/dia) e de períodos de carências (0 ou 7 dias) (c) Média do índice de sujidade medido pela estação de sujidade comercial, media dos perfis do método FRP, media do perfil mediano extraído pelo SRR e distribuição da média dos índices de sujidade gerados pelo método SRR.

4. CONCLUSÕES

Duas metodologias para extração de níveis de sujidade foram apresentadas. Tais métodos foram aplicados em três localidades com características climáticas distintas: Jaén, Nicósia e Sidirokastro.

Os resultados mostraram que para Jaén e Nicósia, o limiar de limpeza mais indicado seria o de 1mm/dia de chuva acumulada e com um período de carência de 0 dias. Sidirokastro, representa uma localidade com índices pluviométricos altos, portanto a definição do limiar de limpeza não é precisa, também pelo fato dos valores médios de índices de sujidade serem altos, ou seja, os módulos estão limpos a maior parte do tempo. Tais resultados, evidenciam a característica regional da sujidade, onde mesmo com a aplicação de métodos de extração, fatores como o ambiente e meteorologia devem ser analisados. Também foi observado que ainda com ruído nos dados fornecidos, os métodos de extração puderam ser aplicados.

Até agora, os dados de desempenho de sistemas fotovoltaicos têm sido usados principalmente para análises históricas, porém, juntamente com os monitores de sujeira comerciais, os módulos fotovoltaicos por si só podem atuar como detectores, com a devida coleta e tratamento de dados.

REFERÊNCIAS

- AlDowsari, A., Bkayrat, R., AlZain, H., Shahin, T., 2014. Best practices for mitigating soiling risk on PV power plants. 2014 Saudi Arab. Smart Grid Conf. SASG 2014 0–6. <https://doi.org/10.1109/SASG.2014.7274291>
- Bergin, M.H., Ghoroi, C., Dixit, D., Schauer, J.J., Shindell, D.T., 2017. Large Reductions in Solar Energy Production Due to Dust and Particulate Air Pollution. *Environ. Sci. Technol. Lett.* 4, 339–344. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.7b00197>
- Bessa, J.G., Micheli, L., Almonacid, F., Fernández, E.F., 2021. Monitoring Photovoltaic Soiling: Assessment, Challenges and Perspectives of Current and Potential Strategies. *iScience* 102165. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2021.102165>
- Coello, M., Boyle, L., 2019. Simple Model for Predicting Time Series Soiling of Photovoltaic Panels. *IEEE J. Photovoltaics* 9, 1382–1387. <https://doi.org/10.1109/JPHOTOV.2019.2919628>
- Deceglie, M.G., Micheli, L., Muller, M., 2018. Quantifying Soiling Loss Directly from PV Yield. *IEEE J. Photovoltaics* 8, 547–551. <https://doi.org/10.1109/JPHOTOV.2017.2784682>
- Deceglie, M.G., Muller, M., Jordan, D.C., Deline, C., 2019. Numerical Validation of an Algorithm for Combined Soiling and Degradation Analysis of Photovoltaic Systems. *Conf. Rec. IEEE Photovolt. Spec. Conf.* 3111–3114. <https://doi.org/10.1109/PVSC40753.2019.8981183>
- Dobos, A.P., 2014. PVWatts Version 5 Manual (NREL/TP-6A20-62641). *Natl. Renew. Energy Lab.* 20.
- Gostein, M., Duster, T., Thuman, C., 2015. Accurately measuring PV soiling losses with soiling station employing module power measurements. 2015 IEEE 42nd Photovolt. Spec. Conf. PVSC 2015. <https://doi.org/10.1109/PVSC.2015.7355993>
- Gupta, V., Sharma, M., Pachauri, R.K., Dinesh Babu, K.N., 2019. Comprehensive review on effect of dust on solar photovoltaic system and mitigation techniques. *Sol. Energy* 191, 596–622. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.08.079>
- Ilse, K., Micheli, L., Figgis, B.W., Lange, K., Daßler, D., Hanifi, H., Wolfertstetter, F., Naumann, V., Hagendorf, C., Gottschalg, R., 2019. Techno-Economic Assessment of Soiling Losses and Mitigation Strategies for Solar Power Generation 1–19. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2019.08.019>
- International Electrotechnical Commission, 2017. Photovoltaic system performance – Part 1: Monitoring (IEC 61724-1, Edition 1.0, 2017-03).
- Jamil, W.J., Abdul Rahman, H., Shaari, S., Salam, Z., 2017. Performance degradation of photovoltaic power system: Review on mitigation methods. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 67, 876–891. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.072>
- Kimber, A., Mitchell, L., Nogradi, S., Wenger, H., 2007. The effect of soiling on large grid-connected photovoltaic systems in California and the Southwest Region of the United States. *Conf. Rec. 2006 IEEE 4th World Conf. Photovolt. Energy Conversion, WCPEC-4* 2, 2391–2395. <https://doi.org/10.1109/WCPEC.2006.279690>
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., Rubel, F., 2006. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorol. Zeitschrift* 15, 259–263. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>
- Mondal, S., Mondal, A.K., Sharma, A., Devalla, V., Rana, S., Kumar, S., Pandey, J.K., 2018. An overview of cleaning and prevention processes for enhancing efficiency of solar photovoltaic panels. *Curr. Sci.* 115, 1065–1077. <https://doi.org/10.18520/cs/v115/i6/1065-1077>
- Schill, C., Brachmann, S., Koehl, M., 2015. Impact of soiling on IV-curves and efficiency of PV-modules. *Sol. Energy* 112, 259–262. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2014.12.003>
- Shrestha, S., Taylor, M., 2016. Soiling Assessment in Large-Scale PV Arrays [WWW Document]. *SolarPro Mag.*
- Toth, S., Hannigan, M., Vance, M., Deceglie, M., 2020. Predicting photovoltaic soiling from air quality measurements. *IEEE J. Photovoltaics* 1–6.
- You, S., Lim, Y.J., Dai, Y., Wang, C.H., 2018. On the temporal modelling of solar photovoltaic soiling: Energy and economic impacts in seven cities. *Appl. Energy* 228, 1136–1146. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.07.020>

DIFFERENT SOILING EXTRACTION METHODS APPLIED IN DISTINCT CLIMATE REGIONS

Abstract. Dust deposition on the surface of photovoltaic (PV) modules causes significant losses in photovoltaic systems, with power drops of up to 50% in some regions. This means it can lead to large financial losses due to lower energy yield of PV systems and higher Operation & Maintenance (O&M) costs and uncertainty in PV performance. Therefore, accurately monitoring and quantifying soiling is essential to establishing an optimal cleaning schedule. The scope of this work is to present the methodology for extracting soiling losses in real time for photovoltaic (PV) systems located in different climatic conditions. This work describes several methodologies to quantify soiling losses using PV performance data, without the need for soiling stations or additional labor and maintenance costs. The applicability of the different methodologies is validated in the different localities, presenting average values extracted from soiling ratios of 0.98 for Jaén and Nicosia and 0.99 for Sidirokastro. These results explain the climatic characteristics of each location, a factor that directly affects the analysis of soiling in photovoltaic systems.

Key words: Solar Energy, Photovoltaic, Soiling