

Energia Solar e Eólica 2

Paulo Jayme Pereira Abdala
(Organizador)

 **Atena**
Editora

Ano 2019

Paulo Jayme Pereira Abdala
(Organizador)

Energia Solar e Eólica 2

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Geraldo Alves e Karine de Lima

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

E56 Energia solar e eólica 2 [recurso eletrônico] / Organizador Paulo Jayme Pereira Abdala. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Energia Solar e Eólica; v. 2)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-067-4

DOI 10.22533/at.ed.674192201

1. Energia – Fontes alternativas. 2. Energia eólica. 3. Energia solar. I. Abdala, Paulo Jayme Pereira.

CDD 621.042

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

As chamadas energias renováveis, também conhecidas como energias alternativas ou ainda energias limpas são três denominações possíveis para qualquer forma de energia obtida por meio de fontes renováveis, e que não produzem grandes impactos ambientais negativos. Atualmente, com a grande preocupação mundial em compensar as emissões de CO₂, o consumo deste tipo de energia tem sido o foco de governos e empresas em todo globo.

Neste sentido, o Brasil possui uma matriz energética bastante limpa, onde predomina o uso de hidrelétricas, apesar do crescimento do uso de termelétricas, as quais são abastecidas por combustível fóssil. No Brasil, o setor energético é responsável por grande parte das emissões de CO₂, ficando atrás somente do setor agrícola que reapresenta a maior contribuição para o efeito estufa brasileiro.

A energia proveniente do sol é a alternativa renovável mais promissora para o futuro e, por este motivo tem recebido maior atenção e também mais investimentos. A radiação solar gratuita fornecida pelo sol pode ser captada por placas fotovoltaicas e ser posteriormente convertida em energia elétrica. Esses painéis usualmente estão localizados em construções, como indústrias e casas, o que proporciona impactos ambientais mínimos. Esse tipo de energia é uma das mais fáceis de ser implantada em larga escala. Além de beneficiar os consumidores com a redução na conta de energia elétrica reduzem as emissões de CO₂.

Com relação à energia eólica, o Brasil faz parte do grupo dos dez países mais importantes do mundo para investimentos no setor. As emissões de CO₂ requeridas para operar esta fonte de energia alternativa são extremamente baixas e é uma opção atrativa para o país não ser dependente apenas das hidrelétricas. Os investimentos em parques eólicos vem se tornando uma ótima opção para neutralização de carbono emitidos por empresas, indústrias e etc.

Neste contexto, este EBOOK apresenta uma importante contribuição no sentido de atualizar os profissionais que trabalham no setor energético com informações extremamente relevantes. Ele está dividido em dois volumes contendo artigos práticos e teóricos importantes para quem deseja informações sobre o estado da arte acerca do assunto.

Paulo Jayme Pereira Abdala

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	10
ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA PARA A INSTALAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS NOS CAMPI IFG ITUMBIARA E URUAÇU	
Sergio Batista da Silva Olívio Carlos Nascimento Souto Fernando Nunes Belchior Ghunter Paulo Viajante Elias Barbosa Macedo Vera Ferreira Souza	
DOI 10.22533/at.ed.6741922011	
CAPÍTULO 2	24
ESTUDO DE VIABILIDADE PARA IMPLEMENTAÇÃO DE UMA PLANTA FOTOVOLTAICA INTEGRADA EM UM SHOPPING CENTER DE FORTALEZA - CE	
Sofia da Costa Barreto Paulo Cesar Marques de Carvalho	
DOI 10.22533/at.ed.6741922012	
CAPÍTULO 3	41
ESTUDO DO COMPORTAMENTO E QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA DO ABACAXI SECADO EM SECADOR HÍBRIDO SOLAR-ELÉTRICO	
Raphaella Soares da Silva Camelo Juliana Lobo Paes Milena Araujo Silva Madelon Rodrigues Sá Braz Dhiego Santos Cordeiro da Silva Camila Lucas Guimarães	
DOI 10.22533/at.ed.6741922013	
CAPÍTULO 4	54
ESTUDOS TEÓRICOS E EXPERIMENTAIS SOBRE O CUINSE ₂ E SUA APLICAÇÃO EM DISPOSITIVOS FOTOVOLTAICOS	
Yuri Hamayano Lopes Ribeiro Denis Gilbert Francis David Marcus Vinícius Santos da Silva Jailton Souza de Almeida	
DOI 10.22533/at.ed.6741922014	
CAPÍTULO 5	66
EXPERIÊNCIA DE CURSO GRATUITO DE INSTALADOR DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE OFERECIDO PELO IFTO CAMPUS PALMAS	
Claudio Silva dos Santos Abimael Ribeiro Martins Adail Pereira Carvalho Brunno Henrique Brito	
DOI 10.22533/at.ed.6741922015	
CAPÍTULO 6	78
IMPACTO DA LEI PALMAS SOLAR NA ANÁLISE FINANCEIRA DA MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA EM PALMAS - TO	
Isamara Quirino de Castro Carlos Brunno Henrique Brito	

Felipe Tozzi Bittencourt
DOI 10.22533/at.ed.6741922016

CAPÍTULO 7 91

IMPACTOS DOS INCENTIVOS DOS GOVERNOS DO ESTADO E DO MUNICÍPIO NA MICROGERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA EM PALMAS - TO

Allan Carlos do Nascimento Silva
Brunno Henrique Brito

DOI 10.22533/at.ed.6741922017

CAPÍTULO 8 104

IMPLANTAÇÃO E AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE DOIS GERADORES FOTOVOLTAICOS CONECTADOS DIRETAMENTE NO BARRAMENTO C.C. DO LABORATÓRIO DE SISTEMAS HÍBRIDOS/MINIRREDES (GEDAE/UFPA)

Jorge Augusto Leal Corrêa
Claudomiro Fábio de Oliveira Barbosa
Marcos André Barros Galhardo
João Paulo Alves Veríssimo
Israel Hidai Lobato Lemos
Edinaldo José da Silva Pereira
João Tavares Pinho

DOI 10.22533/at.ed.6741922018

CAPÍTULO 9 121

INFLUÊNCIA DA SUJEIRA NA GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

Elismar Ramos Barbosa
Merlim dos Santos Ferreira de Faria
Fabio de Brito Gontijo

DOI 10.22533/at.ed.6741922019

CAPÍTULO 10 132

INFLUÊNCIA DO ESPECTRO SOLAR EM MÓDULOS FOTOVOLTAICOS SOB CÉU LIMPO, CÉU PARCIALMENTE NUBLADO E CÉU NUBLADO

Guilherme Marques Neves
Waldeir Amaral Vilela
Enio Bueno Pereira
Luiz Angelo Berni

DOI 10.22533/at.ed.67419220110

CAPÍTULO 11 146

INTENSIFICAÇÃO DA TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM COLETOR SOLAR DE PLACA PLANA ATRAVÉS DE GERADOR DE VÓRTICE LONGITUDINAL DO TIPO DELTA

Felipe Augusto Santos da Silva
Leandro Oliveira Salviano

DOI 10.22533/at.ed.67419220111

CAPÍTULO 12 161

METODOLOGIA COMPUTACIONAL DE CONTROLE DE QUALIDADE DE DADOS DE IRRADIÂNCIA SOLAR

Marcus Vinícius Contes Calça
Matheus Rodrigues Raniero
Alexandre Dal Pai
Carlos Roberto Pereira Padovani
Domingos Mario Zeca Fernando

CAPÍTULO 13 174

PROJETO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA ABRIGOS DE PONTOS DE ÔNIBUS NA AV. ALMIRANTE BARROSO – BELÉM/PA

Ana Laura Pinheiro Ruivo Monteiro
Edinaldo José da Silva Pereira
Everton Leandro Santos Amaral
Ítalo de Sousa
Magda Tayane Abraão de Brito

DOI 10.22533/at.ed.67419220113

CAPÍTULO 14 191

PROJETO PRELIMINAR DE UM RADIÔMETRO ABSOLUTO PARA MEDIR A IRRADIÂNCIA SOLAR TOTAL

Franciele Carlesso
Jenny Marcela Rodriguez Gomez
Luiz Angelo Berni
Graziela da Silva Savonov
Luis Eduardo Antunes Vieira
Waldeir Amaral Vilela
Edson Luiz de Miranda

DOI 10.22533/at.ed.67419220114

CAPÍTULO 15 200

PROJETO, DESENVOLVIMENTO E TESTE DE FOGÕES SOLARES

Diego Lopes Coriolano
Erico Diogo Lima da Silva
Iraí Tadeu Ferreira de Resende
Vanina Cardoso Viana Andrade
Denilson Pereira Gonçalves
Renan Tavares Figueiredo
Odésia Leonor Sanchez de Alsina

DOI 10.22533/at.ed.67419220115

CAPÍTULO 16 213

PROPOSTA DE RETROFIT NO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO E ESTUDO DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA EM UM DOS BLOCOS DA UTFPR EM CURITIBA

Larissa Barbosa Krasnhak
Jair Urbanetz Junior

DOI 10.22533/at.ed.67419220116

CAPÍTULO 17 229

PROPOSTA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA OTIMIZAÇÃO DO GASTO PÚBLICO COM O CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DE UMA UNIDADE DE ENSINO FEDERAL IMPLANTADA NA REGIÃO DO VALE DO SÃO FRANCISCO

Adriano Moraes da Silva
Rebeca Lorena Santos Maia e Silva
Danielle Bandeira de Mello Delgado

DOI 10.22533/at.ed.67419220117

CAPÍTULO 18 246

PLATAFORMA PORTÁTIL E DE BAIXO CUSTO PARA A AQUISIÇÃO DA CURVA CARACTERÍSTICA

DE CÉLULAS SOLARES FOTOVOLTAICAS

Júlio César Madureira Silva
Augusto César da Silva Bezerra
Claudinei Rezende Calado
Ana Luiza F. Maia
Amanda Ribeiro Amorim

DOI 10.22533/at.ed.67419220118

CAPÍTULO 19 255

SISTEMA DE AQUISIÇÃO PARA PAINÉIS FOTOVOLTAICOS COM ARMAZENAMENTO DE DADOS EM SERVIDOR REMOTO UTILIZANDO PLATAFORMAS OPEN SOURCE RASPBERRY PI E ARDUINO

José Ilton de Oliveira Filho
Wilk Coelho Maia

DOI 10.22533/at.ed.67419220119

CAPÍTULO 20 263

SUJIDADE DEPOSITADA SOBRE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS INSTALADOS EM GOIÂNIA: MORFOLOGIA E COMPOSIÇÃO QUÍMICA

Pedro Victor Valadares Romanholo
Bernardo Pinheiro de Alvarenga
Enes Gonçalves Marra
Sérgio Pires Pimentel

DOI 10.22533/at.ed.67419220120

CAPÍTULO 21 275

TRATAMENTO E ANÁLISE DE DADOS SOLARIMÉTRICOS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DA EMC/UFG

Jéssica Alice Alves da Silva
Bernardo Pinheiro de Alvarenga
Sérgio Pires Pimentel
Enes Gonçalves Marra

DOI 10.22533/at.ed.67419220121

CAPÍTULO 22 290

TESTES DE SENSIBILIDADE PARA DIFERENTES PARAMETRIZAÇÕES CUMULUS DO MODELO WRF PARA MELHORAR AS ESTIMATIVAS DE VENTO

Lucia Iracema Chipponelli Pinto
Francisco Jose Lopes de Lima
Fernando Ramos Martins
Enio Bueno Pereira

DOI 10.22533/at.ed.67419220122

CAPÍTULO 23 303

O ENSINO SOBRE ENERGIAS RENOVÁVEIS NOS CURSOS DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA NAS UNIVERSIDADES BRASILEIRAS

André Barra Neto
Ana Paula Pinheiro Zago
Márcia Helena da Silva
Mirian Sousa Moreira
José Eduardo Ferreira Lopes

DOI 10.22533/at.ed.67419220123

CAPÍTULO 24	317
POTENCIALIDADE DO BIOGÁS GERADO PELA CODIGESTÃO ENTRE DEJETO BOVINO E SUÍNO	
<ul style="list-style-type: none"> Juliana Lobo Paes Camila Ferreira Matos Gabriel Araújo e Silva Ferraz Giancarlo Bruggianesi Camila Kelly de Queiroz Caroline Stephanie Gomes de Castro Soares 	
DOI 10.22533/at.ed.67419220124	
CAPÍTULO 25	333
SIMULAÇÃO DE UMA PLANTA OTEC DE CICLO FECHADO OPERANDO NO BRASIL	
<ul style="list-style-type: none"> Marcus Godolphim de Castro Neves Hélio Henrique Rivabene Ferreira Dias Cassio Roberto Macedo Maia Ricardo Alan Verdú Ramos 	
DOI 10.22533/at.ed.67419220125	
CAPÍTULO 26	344
ANÁLISE DA PRODUÇÃO DE 24 MESES DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE NO ESTADO DO TOCANTINS	
<ul style="list-style-type: none"> Brunno Henrique Brito Thálisson Câmara Belém Márcio Serafim de Almeida Felipe Tozzi Bittencourt 	
DOI 10.22533/at.ed.67419220126	
CAPÍTULO 27	359
ESTUDO TECNOLÓGICO DE SISTEMAS DE CULTIVO DE MICROALGAS	
<ul style="list-style-type: none"> Robson de Souza Santiago Bruno Lindbergh Sousa Yordanka Reyes Cruz Estevão Freire Suely Pereira Freitas Gisel Chenard Díaz 	
DOI 10.22533/at.ed.67419220127	
CAPÍTULO 28	376
INFLUÊNCIA DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM AEROPORTOS SOBRE A SEGURANÇA DAS OPERAÇÕES AERONÁUTICAS	
<ul style="list-style-type: none"> Francisco Wilson Falcão Júnior Paulo Cesar Marques de Carvalho Wilson Cabral de Sousa Júnior 	
DOI 10.22533/at.ed.67419220128	
SOBRE O ORGANIZADOR	390

SUJIDADE DEPOSITADA SOBRE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS INSTALADOS EM GOIÂNIA: MORFOLOGIA E COMPOSIÇÃO QUÍMICA

Pedro Victor Valadares Romanholo

Mestrando em Engenharia Elétrica e de
Computação

Universidade Federal de Goiás
Goiânia – Goiás

Bernardo Pinheiro de Alvarenga

Enes Gonçalves Marra

Sérgio Pires Pimentel

Professor Doutor da Escola de Engenharia
Elétrica, Mecânica e de Computação
Universidade Federal de Goiás
Goiânia – Goiás

RESUMO: A tecnologia de fabricação de módulos fotovoltaicos avançou intensamente nas últimas décadas, oferecendo ao mundo equipamentos mais eficientes e menos onerosos. Devido a suas características intrínsecas de funcionamento, os módulos são instalados o mais livre possível de obstruções físicas, principalmente daquelas que causem sombreamento. Entretanto, ao serem instalados ao ar livre, estes equipamentos são submetidos a ações climáticas e das substâncias que compõem a atmosfera em que estão inseridos. Desta maneira, partículas suspensas no ar se depositam sobre a superfície dos módulos, comprometendo a operação destes. A extensão do impacto causado pela deposição de partículas dependerá principalmente da

morfologia e da composição química destas. A partir disto, realizou-se uma investigação das características físico-químicas da sujidade depositada sobre os módulos do sistema de geração solar fotovoltaica instalado na Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de Computação da Universidade Federal de Goiás. Com este objetivo, foram coletadas amostras da sujidade depositada, a qual teve sua morfologia analisada via técnica de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e sua composição química via técnica de espectroscopia de energia dispersiva (EDS). Os resultados obtidos mostram uma grande variação no tamanho e morfologia das partículas, sendo observado um intervalo de valores entre, aproximadamente, 10 e 100 μm para o diâmetro destas. A caracterização química apresenta indícios da presença de compostos orgânicos e minerais, resíduos de poluição urbana e dejetos de pássaros.

PALAVRAS-CHAVE: Energia Solar, Sujidade, Módulos Fotovoltaicos.

ABSTRACT: The fabrication technology of photovoltaic modules has greatly advanced in the last decades, offering the world cheaper and more efficient devices. Due to its intrinsic operational characteristics, these devices have to be installed in such places that there are no physical obstructions, especially those which might lead to module's surface shadowing.

However, being exposed to open air environment, these devices also become exposed to climatic factors and to the existing substances in the atmosphere. Hence, suspended particles in the air start to deposit onto module's surface, compromising the operation of devices. The impact, caused by particles deposition, on photovoltaic systems depends primarily on particles morphology and chemical composition. Therefore, a physical chemical investigation was conducted on dust deposited on the surface of modules of the solar photovoltaic generation system at the Electrical, Mechanical and Computing Engineering School of Federal University of Goiás. Collected material's morphology was analyzed by means of scanning electron microscopy (SEM) and its chemical composition was examined by energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS). Results showed nonuniform particle morphology and size ranging from 10 to 100 μm . Chemical characterization indicated the presence of minerals and organic compounds, urban pollution residues and bird dropping.

KEYWORDS: Solar Energy, Dusting, Photovoltaic Modules.

1 | INTRODUÇÃO

O processo fotovoltaico de conversão de energia é uma tecnologia proeminente no aproveitamento da abundância do recurso solar. Para que esta riqueza natural seja adequadamente desfrutada, tem-se que os sistemas fotovoltaicos, responsáveis pela captação e conversão de energia, são usualmente instalados em zonas onde há uma alta intensidade de radiação solar. A partir da revisão realizada por Sarver et al. (2013), observa-se que, normalmente, as regiões escolhidas para grandes empreendimentos desta natureza apresentam clima seco e intensa atividade dos ventos. Assim, torna-se imprescindível conhecer as características climáticas da região selecionada, principalmente acerca do comportamento da ação dos ventos e da precipitação. É por meio destes fenômenos naturais que ocorre a poluição, bem como a limpeza, da superfície dos módulos.

Um fenômeno a que todo módulo fotovoltaico está submetido é o da deposição de matéria particulada em sua superfície, i.e., acúmulo de sujeidade. Como mostrado por Ghazi et al. (2014), esta sujeidade pode ser composta por uma miríade de substâncias, sendo a mais comum delas a poeira (por poeira entende-se qualquer agregado de partículas com menos de 500 μm de diâmetro). A identidade da poeira também é diversa, podendo conter pólen, material têxtil e frequentemente minerais orgânicos, como areia e argila. Segundo Sarver et al. (2013), a origem da sujeidade pode ser traçada a partir da dinâmica dos ventos, que podem transportar partículas depositadas no solo, resíduos produzidos por automóveis e a própria poluição urbana e industrial. Naturalmente, as características da sujeidade e a forma como esta se deposita variam sensivelmente tanto com as condições climáticas quanto geográficas.

A caracterização da sujeidade presente na superfície de módulos fotovoltaicos é

baseada em uma investigação da morfologia das partículas, de sua composição química e de suas propriedades físicas. Uma análise completa deve considerar as interações da sujidade com o material no qual se deposita e com as condições ambientais em que se insere. Esforços tem sido empregados para a melhor compreensão da relação entre a sujidade e o desempenho dos sistemas fotovoltaicos, já que em situações extremas o sistema pode cessar seu funcionamento ou mesmo sofrer danos que comprometam significativamente sua operação (estas situações extremas podem ser observadas em ambientes desérticos caso não haja limpeza regular dos módulos), como mostrado pelo estudo desenvolvido por Makrides et al. (2012) e Ghazi et al. (2014). A Fig. 1 mostra o efeito de um acúmulo severo de sujidade na superfície de módulos fotovoltaicos instalados no Egito.



Figura 1: Instalação de módulos fotovoltaicos no Egito.

Fonte: Ghazi et al. (2014)

Com o objetivo de se executar um estudo de caso acerca dos efeitos da sujidade depositada sobre a superfície de módulos fotovoltaicos, foi realizada uma caracterização físico-química das substâncias depositadas sobre os dispositivos instalados na Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de Computação (EMC) da Universidade Federal de Goiás (UFG). Esta caracterização foi realizada por meio da técnica de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e da técnica de Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS).

2 | SISTEMA ESTUDADO

O sistema fotovoltaico analisado se encontra instalado no telhado de um centro de aulas da Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de Computação (EMC) da Universidade Federal de Goiás (UFG), localizada na cidade de Goiânia.

Goiânia está situada na latitude 16,68° sul e longitude 49,24° oeste. A temperatura média compensada anual é de 23,2 °C e o índice pluviométrico anual é igual a 1.570

mm. Existem duas estações bem definidas, uma seca (maio a setembro) e uma chuvosa (outubro a abril) (INMET). O sistema de geração solar fotovoltaica da EMC é composto por 145 módulos de silício policristalino da marca SUN EARTH. Cada módulo possui potência igual a 235 Wp, sendo que o sistema completo possui potência instalada igual a 34 kWp. São utilizados oito inversores da marca Eltek (seis com potência igual a 4,4 kW e dois com 2,9 kW). O arranjo físico dos módulos pode ser observado por meio da Fig. 2.

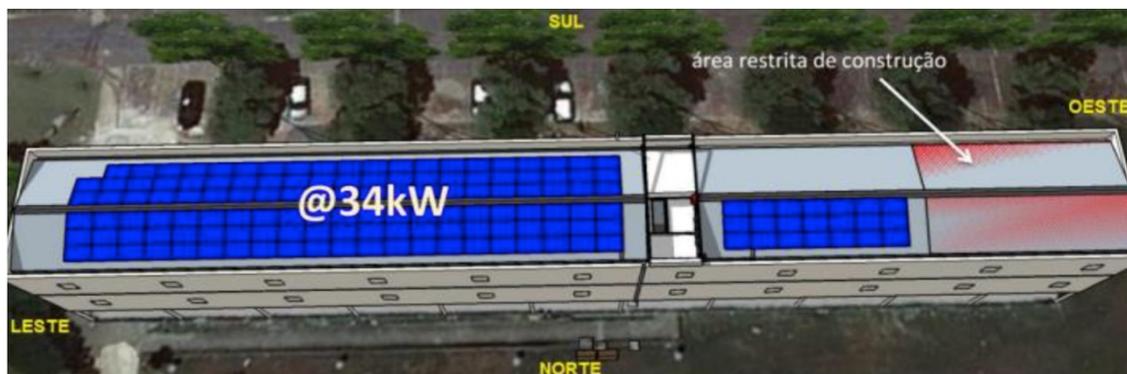


Figura 2: Configuração dos módulos da EMC.

Na mesma área onde estão instalados os módulos, encontra-se uma central meteorológica capaz de mensurar e armazenar os valores para a velocidade e direção do vento, temperatura ambiente, umidade relativa do ar, índice pluviométrico, irradiância solar e pressão atmosférica.

A Fig. 3 mostra uma imagem capturada de uma parte do sistema de geração fotovoltaica. Na figura, nota-se a presença de algumas marcações na superfície dos módulos (indicadas pelas setas em vermelho). Estas marcações são utilizadas no acompanhamento da deposição de sujeira nos módulos, objetivando analisar a velocidade na qual o processo ocorre. Salienta-se que os módulos nunca foram limpos desde a data de sua instalação, há cerca de um ano.



Figura 3: Sujidade depositada sobre os módulos.

3 | METODOLOGIA

Com a finalidade de se investigar as características físico-química da sujidade depositada sobre os módulos, foi realizada a coleta de amostras do material. A metodologia utilizada foi via raspagem com bastonetes de algodão. Foram coletadas 5 amostras no total, sendo três destas coletadas diretamente dos módulos do sistema de geração e as outras duas obtidas a partir do módulo conectado à central meteorológica. A escolha da zona de coleta foi feita qualitativamente, detendo-se a quatro tipos de sujidade observadas: manchas de coloração esbranquiçada, manchas de coloração escura, regiões onde a sujidade se mostrou visualmente uniforme e região onde a sujidade apresentou grande volume. Com exceção da amostra volumosa, todas as outras três regiões possuíam sujidade distribuída em forma de película, i.e., sem relevo. O Quadro 1 mostra a classificação utilizada para cada tipo de amostra.

Amostra	Características
1	Regiões esbranquiçadas nos módulos
2	Manchas escuras nos módulos
3	Sujidade uniformemente distribuída sobre os módulos
4	Sujidade volumosa no módulo da central meteorológica
5	Material sedimentado sobre o módulo da central meteorológica

Quadro 1: Classificação das amostras coletadas.

Após a coleta, as amostras foram isoladas em embalagens plásticas e

encaminhadas para análise junto ao Centro Regional para o Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (CRTI), localizado na UFG. Para a investigação, as amostras foram fixadas em fita adesiva de carbono sobre porta amostras de alumínio e recobertas com carbono, como material condutor. As análises morfológicas foram realizadas em um microscópio eletrônico de varredura (MEV) marca Jeol, modelo JSM-IT300, em baixo vácuo no modo detecção de elétrons retroespalhados (BED-C). A inspeção composicional foi realizada pela técnica de espectroscopia de energia dispersiva (EDS), com um detector de raios-X Oxford Instruments X-MaxN.

4 | CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA E QUÍMICA

Os resultados das análises morfológicas via microscopia são apresentados em micrográficos, sendo que a análise da composição química é mostrada via espectro EDS. As Fig. 4 e 5 mostram os resultados obtidos para a amostra 1.

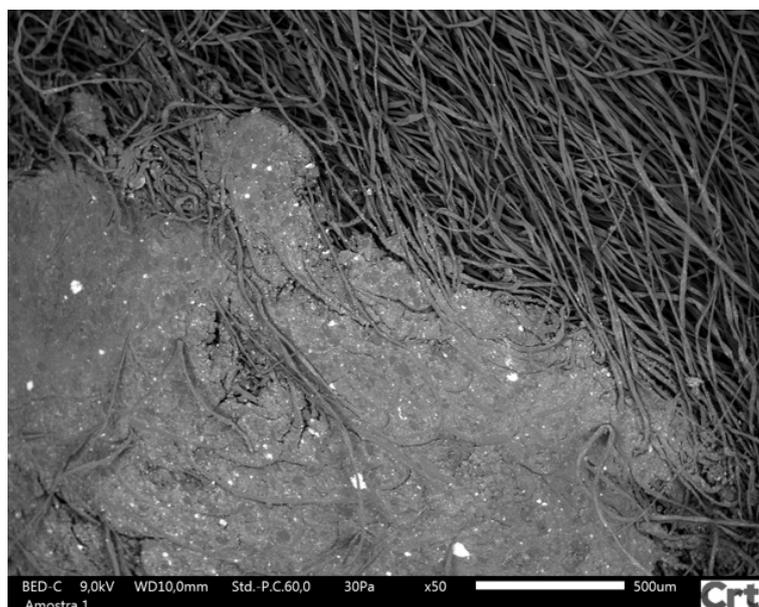


Figura 4: Micrográfico da amostra 1.

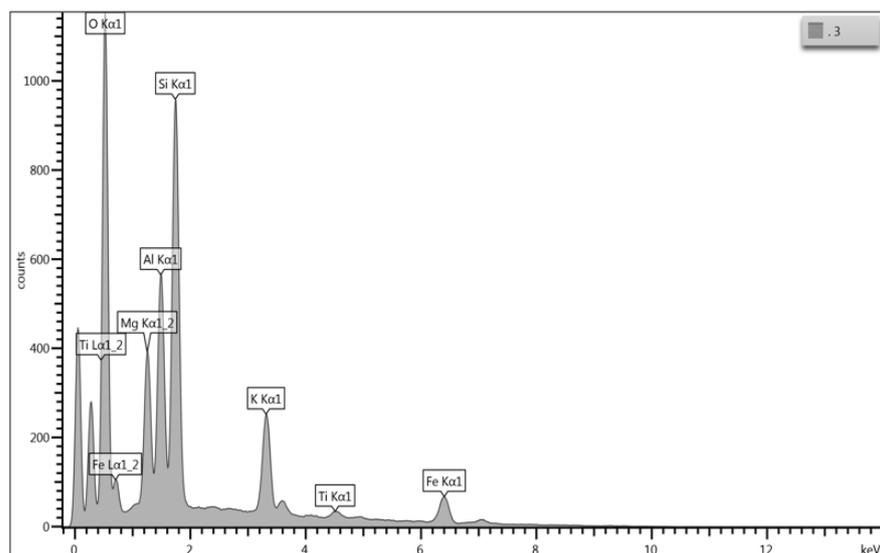


Figura 5: Espectro EDS da amostra 1.

Observa-se que a sujidade representada pela amostra 1 se apresenta aglomerada, dificultando a estimativa do tamanho das partículas que a compõem. Uma possível explicação para a aglomeração apresentada é dada por Cabanillas e Munguía (2011), onde os pesquisadores mostram que materiais orgânicos de origem urbana e da agricultura agem como substâncias “colantes”, mantendo as partículas da sujidade unidas. Por meio do espectro EDS é possível analisar a composição química da amostra. A alta concentração de silício, alumínio e magnésio traz indícios da presença de minerais como quartzo e caulinita. O estudo desenvolvido por Costa et al. (2016) traz resultados semelhantes aos observados para o sistema aqui estudado. As Fig. 6 e 7 trazem os micrográficos e o espectro EDS da amostra 2.

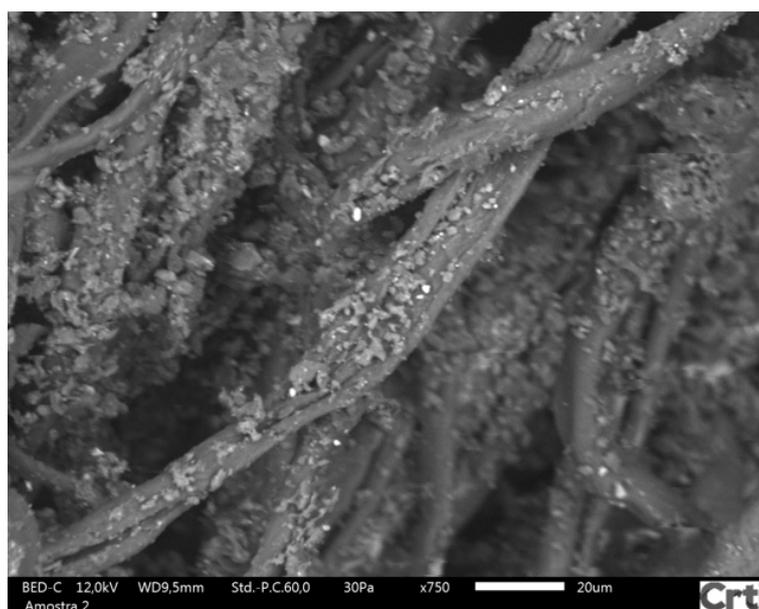


Figura 6: Micrográfico da amostra 2.

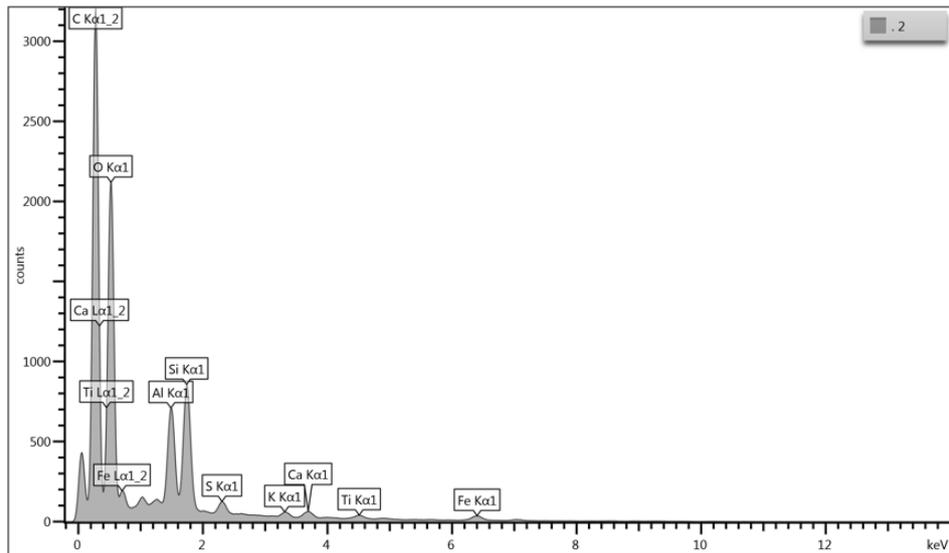


Figura 7: Espectro EDS da amostra 2.

Diferentemente da amostra 1, a sujidade representada pela amostra 2 se mostra distribuída, de modo que é possível observar que o tamanho médio das partículas é menor que 10 μm . Partículas muito pequenas apresentam grande dificuldade em sua remoção. Como mostrado por Cuddihy (1980, 1983, 1984), para partículas menores que 10 μm , as forças de atração destas aumentam com a diminuição de seus tamanhos, fazendo com que ventos de até 150 m/s sejam ineficazes em sua remoção. Appels et al. (2013) mostrou que partículas com diâmetro menor que 10 μm não foram removidas na presença de chuva. O espectro EDS mostra uma composição semelhante à da amostra 1. A alta concentração de carbono observada indica a presença de compostos orgânicos. As Fig. 8 e 9 mostram os resultados da análise realizada na amostra 3.

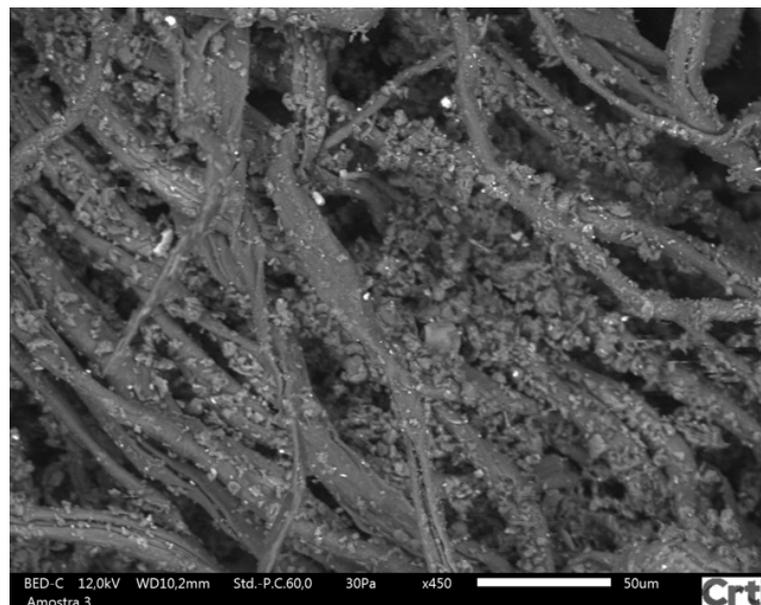


Figura 8: Micrográfico da amostra 3.

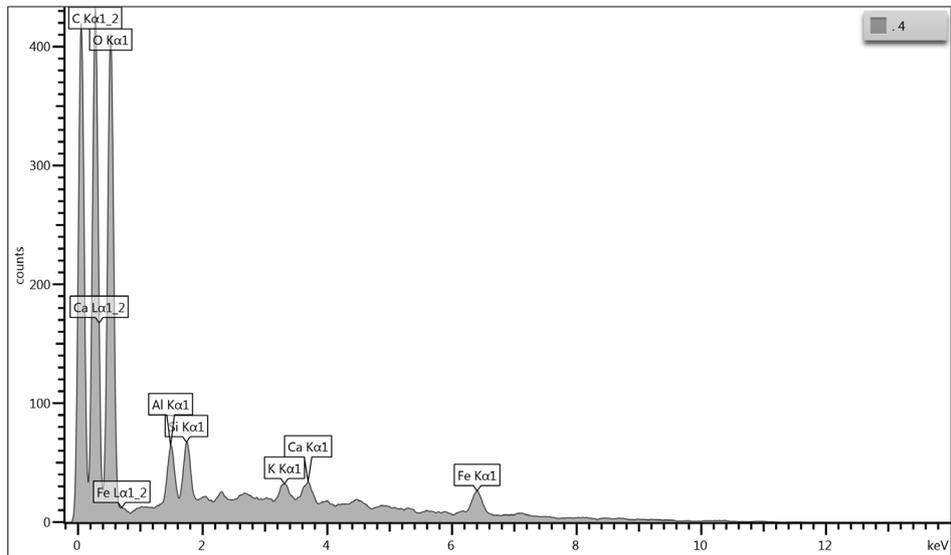


Figura 9: Espectro EDS da amostra 3.

A amostra 3 se assemelha muito à amostra 2, tanto morfológicamente quanto em sua composição química. A alta concentração de cálcio encontrada é um indício da presença de carbonatos. Os resultados da amostra 4 são mostrados via Fig. 10 e 11.



Figura 10: Micrográfico da amostra 4.

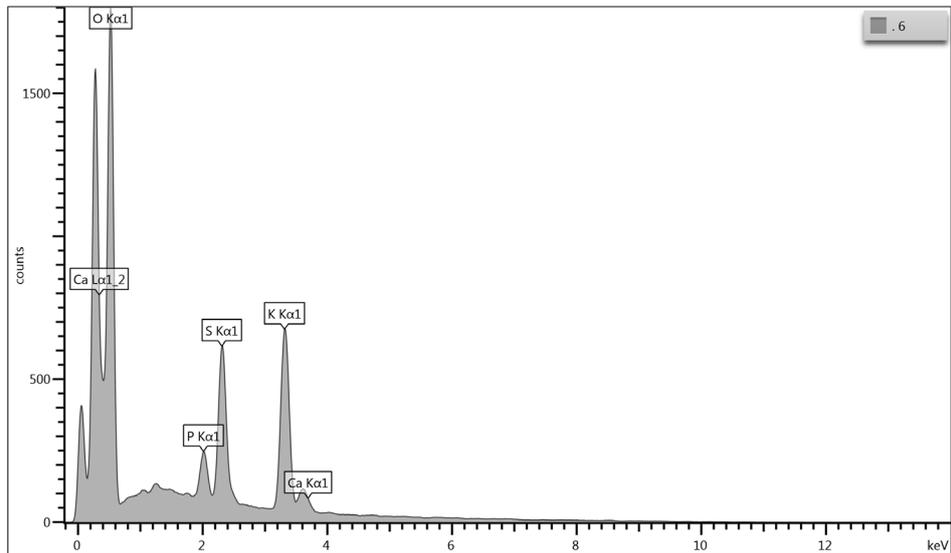


Figura 11: Espectro EDS da amostra 4.

O espectro EDS da amostra 4 apresenta alta concentração de enxofre e oxigênio, indícios da presença de ânions sulfato e/ou óxido de enxofre, produzidos a partir da queima de combustíveis fósseis. Dincer (2000) mostra que o enxofre liberado na queima deste tipo de combustível pode se depositar a seco nos módulos, na forma de dióxido de enxofre, ou por via úmida, onde o dióxido de enxofre se oxida formando ácido sulfúrico e, em seguida, se dissocia e é depositado sobre a superfície como o íon sulfato. As Fig. 12 e 13 trazem os resultados obtidos para a amostra 5.

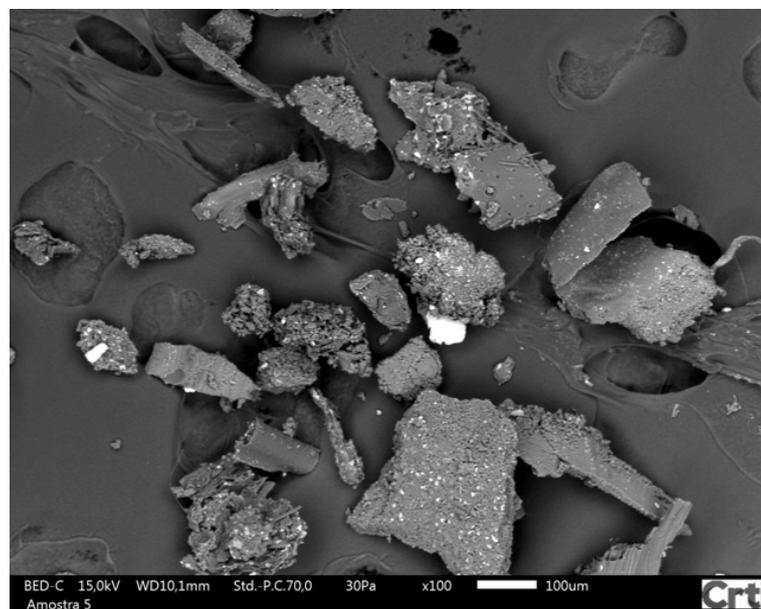


Figura 12: Micrográfico da amostra 5.

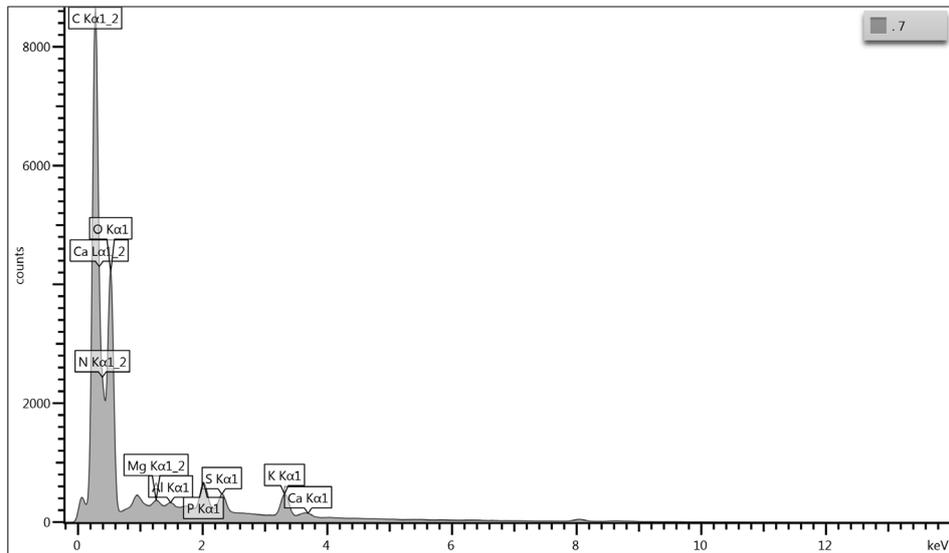


Figura 13: Espectro EDS da amostra 5.

Diferentemente das outras quatro amostras, a coleta da amostra 5 não foi feita a partir de bastonete de algodão, mas sim retirando-se uma alíquota do material sedimentado sobre o módulo. Como pode ser observado a partir da Fig. 12, esta amostra apresenta grãos muito maiores que os observados nas Fig. 4, 6, 8 e 10. Inicialmente, suspeitou-se que a sujidade representada por esta amostra seria originária de dejetos de pássaros. Esta suspeita vai ao encontro do espectro EDS, o qual apresenta altas concentrações de carbono, oxigênio, cálcio e nitrogênio. Ainda, o resultado pode ser comparado aos obtidos pelo estudo apresentado por Huang et al. (2011), onde os autores realizam uma investigação detalhada sobre as características físico-químicas de dejetos de pássaros em estruturas de rodovias.

Hammond et al. (1997) mostra em seu estudo que o impacto de dejetos de pássaros sobre módulos fotovoltaicos é muito maior que o causado pela deposição de poeira e sujeira comum. Maghami et al. (2016) mostra que a deposição destes dejetos sobre os módulos pode provocar danos severos ao dispositivo, visto que a presença deste tipo de sujidade acarreta facilmente o aparecimento de *hot spots*, diminuindo a geração do sistema e podendo até mesmo causar danos irreversíveis.

5 | CONCLUSÕES

Foram coletadas diversas amostras da sujidade depositada sobre a superfície de módulos fotovoltaicos. Por meio da técnica de microscopia eletrônica de varredura e da espectroscopia de energia dispersiva, foi possível obter informações acerca da composição química e da morfologia da sujidade coletada. As amostras 2 e 3 apresentaram partículas na ordem de 10 μm , o que dificulta a eliminação destas por meio de chuvas e ventos. No entanto, foi observado na amostra 5 partículas bem maiores, na ordem de 100 μm . Em todas as amostras foi observada a presença de

silício, indicando possível participação de areia ou de outra estrutura do dióxido de silício. Além disso, existe a possível presença de compostos orgânicos.

REFERÊNCIAS

APPELS, R. et al. **Effect of soiling on photovoltaic modules**. Solar Energy. Volume 96, p. 283-291, 2013.

CABANILLAS, R. E.; MUNGUÍA, H. **Dust accumulation effect on efficiency of Si photovoltaics modules**. Journal of Renewable and Sustainable Energy. Volume 3, 2011.

COSTA, S.; ABREU, A. et al. **Caracterização físico-química da sujidade depositada sobre módulos fotovoltaicos instalados em zonas climáticas de Minas Gerais**. VI Congresso Brasileiro de Energia Solar. Belo Horizonte, 2016.

CUDDIHY, E. F. **Theoretical considerations of soil retention**. Solar Energy Materials. Volume 3, p. 21-33. 1980.

CUDDIHY, E. F. **Surface soiling: theoretical mechanisms and evaluation of low- soiling coatings**. In: Proceedings of the flat-plate solar array project research forum on quantifying degradation. P. 379-396. 1983.

CUDDIHY, E. F.; WILLIS, P. B. **Antisoiling technology: theories of surface soiling and performance of antisoiling surface coatings**. Jet propulsion laboratory report. 1984.

DINCER, I. **Renewable energy and sustainable development: a crucial review**. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Issue 4, p.157- 175, 1999.

GHAZI, S.; SAYIGH, A.; IP, K. **Dust effect on flat surfaces - A review paper**. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Issue 33, p.742- 751, 2014.

HAMMOND, R.; SRINIVASAN, D.; HARRIS, A.; WHITFIELD, K.; WOHLGEMUTH, J. **Effects of soiling on PV module performance and radiometer performance**. In: Proceedings of the 26th IEEE PVSC, Anaheim. New York. P. 1121–1124. 1997.

HUANG, C. P.; LAVENBURG, G. **Impacts of Bird Droppings and Deicing Salts on Highway Structures: Monitoring, Diagnosis, Prevention**. Civil and Environmental Engineering, University of Delaware. Dezembro, 2011.

MAGHAMI, M.R. et al. **Power loss due to soiling on solar panel: A review**. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Issue 59, p.1307- 1316, 2016.

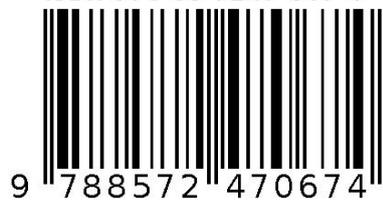
MAKRIDES, G.; ZINSSER, B.; NORTON, M. **Performance of photovoltaics under actual operating conditions**. In: Makrides, G.; Zinsser, B.; Norton, M. Third Generation Photovoltaics. Março, 2012.

SARVER, T. et al. **A comprehensive review of the impact of dust on the use of solar energy: History, investigations, results, literature, and mitigation approaches**. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Issue 22, p.698-733, 2013.

SOBRE O ORGANIZADOR:

Paulo Jayme Pereira Abdala possui graduação em Engenharia Eletrônica pelo Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca - RJ (1988), mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2005) e pós-graduação em Gestão de Aviação Civil pela Universidade de Brasília (2003). Entre 1989 e 2008 foi Chefe do Laboratório de Ruído Aeronáutico e Emissões de Motores do DAC/ANAC, tendo desenvolvido centenas de estudos sobre poluição sonora e atmosférica oriundas da atividade aeronáutica. Foi representante oficial do Brasil em diversos Fóruns Internacionais sobre meio ambiente promovidos pela Organização de Aviação Civil Internacional OACI - Agência da ONU. Foi Coordenador dos Cursos de Engenharia de Produção, Elétrica, Civil e Mecânica na UNOPAR/PG entre 2013 e 2018. Atualmente é Consultor Independente para a AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL, OACI e INFRAERO. Tem experiência na área de Engenharia Eletrônica, atuando principalmente nos seguintes temas: acústica, meio ambiente e pedagogia (metodologia TRAINAIR/OACI).

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-067-4



9 788572 470674