



ESTUDO PRELIMINAR DA UTILIZAÇÃO DE JATOS CONTÍNUOS DE AR PARA ARRASTO DE PARTÍCULAS DEPOSITADAS EM UMA FV ATRAVÉS DE FLUIDODINÂMICA COMPUTACIONAL

¹ Pedro Freire de Carvalho Paes Cardoso (SENAI CIMATEC) – pedropcardoso06@gmail.com; ² Turan Dias Oliveira (SENAI CIMATEC) – turan.oliveira@fieb.org.br; ³ Paulo Roberto Freitas Neves (SENAI CIMATEC) – PAULON@fieb.org.br; ⁴ Juliana de Oliveira Cordeiro (SENAI CIMATEC) - eng.julianacordeiro@gmail.com; ⁵ Luzia Aparecida Tofaneli (SENAI CIMATEC) - luzia.tofaneli@fieb.org.br; ⁶ Alex Álisson Bandeira Santos (SENAI CIMATEC) - alex.santos@fieb.org.br.

Resumo: Pesquisas mostram que o rendimento de módulos fotovoltaicas (FVs) é consideravelmente reduzido com o acúmulo de poeira em sua superfície, pois este acúmulo impede que parte dos raios solares adentrem a placa. O presente trabalho tem como objetivo desenvolver um estudo preliminar utilizando Fluidodinâmica Computacional afim de modelar o efeito de jatos contínuos de ar no arrasto de partículas, removendo-as de uma superfície. A modelagem foi desenvolvida visando uma análise Euleriana baseada em condições físicas para então encontrar a velocidade do ar necessária para promover o arraste. Através do auxílio computacional utilizando o software ANSYS CFX 17.1 foi possível desenvolver simulações a partir do modelo montado e obter dados significativos.

Palavras-Chaves: Fotovoltaico; Poeira; Fluidodinâmica Computacional; Ar.

PRELIMINARY STUDY OF THE USE OF CONTINUOUS AIR JETS FOR CARRYING PARTICLES DEPOSITED ON A PV THROUGH COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

Abstract: Researches show that photovoltaic cells (PV) productivity is considerably reduced with dust accumulation in its surface, since this accumulation stops part of the sunlight from entering the cell. This paper has the goal of developing a preliminary study using computational fluid dynamics (CFD) in order to model the effect of continuous air jets in particle dragging, removing them from a surface. The modeling was developed aiming for an Eulerian analysis based in physical conditions in order to find the necessary air velocity to promote dragging. Through the computational support of ANSYS CFX 17.1 software, it was possible to develop simulations based on the assembled model and obtain significant data.

Keywords: Photovoltaic; Dust; CFD; Air.



1. INTRODUÇÃO

Estudos sobre fontes de energias renováveis são desenvolvidas em escala considerável em todo o mundo. A conversão de energia solar em energia elétrica através de módulos fotovoltaicos tem se tornado cada vez mais utilizada, por ser uma forma de produção de energia elétrica que não gera danos significativos para o meio ambiente e dispor de uma vasta quantidade recurso natural para ser utilizado sem degradar o planeta. Um dos focos nas pesquisas está no aumento do seu rendimento, que atualmente se encontra na faixa de 12 a 20%, ou em manter o rendimento próximo do projetado durante a sua operação, conhecendo os fatores ambientais que implicam em sua diminuição e desenvolvendo soluções para os mesmos.

Segundo Syed A.M. Said et al (2018) [1] muitos fatores ambientais interferem no rendimento dos módulos fotovoltaicos como: os efeitos do vento, humidade do ar, temperatura do ambiente, poluição e o depósito de poeira. Syed relata que o efeito negativo decorrente da existência de poeira no ambiente ocorre de duas maneiras. A primeira consiste na dispersão dos raios solares por partículas e poluentes elevados na atmosfera que possuem uma dimensão maior que o comprimento de onda dos raios, ocasionando a refração destes e diminuindo sua incidência sobre a placa. O segundo está relacionado ao acúmulo de poeira na superfície superior da placa que acabam absorvendo ou refletindo parte da incidência da luz, reduzindo a parcela de luz que adentra os módulos fotovoltaicos para ser absorvida e transformada em energia elétrica.

Muitas pesquisas vêm sendo desenvolvidas para compreender como os fatores ambientais relacionados interferem no aumento ou redução do acúmulo de poeira depositados em módulos e os efeitos da deposição com a queda do rendimento deles. Pesquisas desenvolvidas por [2-3] estudam as relações de decaimento da eficiência das FVs em função do tempo de exposição dos módulos aos ambientes externos locais e ao aumento da densidade da poeira depositada. Considerando esta relação na pesquisa [4], a acumulação de areia e poeira em módulos fotovoltaicos foi modelada matematicamente em módulos de vidro e comparando-a a dados experimentais.

Outras pesquisas como as de [5-6] chegaram a conclusões de que o acúmulo de poeira e a queda da eficiência dos módulos estão altamente associados ao material utilizado neles, pois a diminuição do rendimento sobre mesma densidade de partículas acumuladas varia consideravelmente para vários materiais de superfície diferentes.

De acordo com [1], muitas pesquisas são desenvolvidas para entender sobre os fatores que interferem no rendimento dos módulos fotovoltaicos, porém existem poucas que são desenvolvidas com o intuito de fornecer soluções para minimizar os efeitos negativos. Partindo desta conclusão o presente trabalho tem o objetivo de estudar uma solução para o efeito negativo formado pelo acúmulo de poeira em FVs, utilizando jatos contínuos de ar para retirar as partículas da superfície dos módulos.

Análises em CFD em módulos fotovoltaicos já foram desenvolvidos por [7] no estudo do uso de carenagens em aceleração de massas de ar visando o arrefecimento dos FVs, cujo rendimento também é significativamente reduzido com o aumento da temperatura.



Neste artigo é exposta uma análise preliminar, onde foi elaborado um primeiro modelo para simulação de carregamento de partículas enquanto estão sendo realizados experimentos para caracterizar a poeira na região do estado de Salvador. A caracterização da poeira está sendo desenvolvida utilizando métodos expostos por outros trabalhos como os de [8-10], para obter dados das dimensões e do número de partículas depositadas em amostras.

O modelo atual utiliza o arrasto de partículas, considerando ao invés da poeira o ar como componente particulado, para reduzir o tempo de simulação e o custo computacional na montagem de um primeiro modelo.

Este estudo tem o objetivo final de desenvolver uma carenagem ou um dispositivo que possibilite a limpeza de módulos fotovoltaicos utilizando ar, esperando dessa maneira substituir a utilização de água, pois ela é muitas vezes utilizada e o gasto de água é muito alto para a limpeza de usinas solares, que dispõem de centenas ou milhares de módulos fotovoltaicos.

2. METODOLOGIA

A pesquisa é desenvolvida no Laboratório de Energia do Centro Universitário SENAI CIMATEC, onde são realizados os estudos de artigos científicos e bibliografias necessárias para o aprendizado e execução do projeto, além da realização de todas as simulações computacionais utilizando a técnica de CFD, com o software ANSYS CFX 17.1.

Para a simulação é importante a montagem de um modelo que represente uma condição física do problema. Foi decidido que a princípio será desenvolvida uma análise multifásica Euleriana pois possibilita uma visão do comportamento geral de um conjunto de partículas de poeira depositadas, em cima de uma placa, sendo carregadas. Na modelagem do problema são necessários os dados de caracterização da poeira, a construção de uma geometria com parâmetros adequados e estabelecer condições de contorno que condicionem uma simulação com resultados próximos a um caso real.

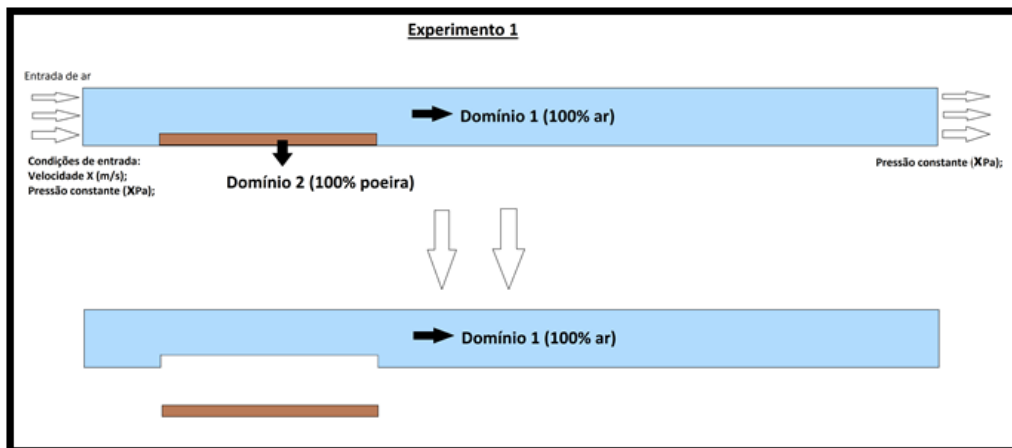
A caracterização da poeira nas regiões locais ainda está sendo desenvolvida por meio de experimentos, utilizando métodos e dados de pesquisas já desenvolvidas. Enquanto não há os dados necessários da poeira, um modelo inicial para simulação do carregamento de partículas foi desenvolvido utilizando ar particulado. Utilizando o ar é possível, com menor tempo computacional, visualizar o comportamento de partículas sendo carregadas, analisar as dimensões e as condições de contorno estabelecidas através dos resultados das simulações, bem como preparar a modelagem para a utilização da poeira posteriormente. A Figura 1 mostra um diagrama do primeiro modelo de simulação.

O modelo foi construído com uma espessura pequena, 2cm, comparada as outras dimensões, aproximando-se de uma análise em 2D para que a simulação se torne mais leve, com menos elementos de malha. Nele consta 2 domínios que representam o ambiente superior a um módulo fotovoltaico. O Domínio 2 corresponde a camada de poeira (ar particulado) sobrepondo a superfície do módulo, tendo 1,5m



de comprimento e 10cm de altura. O Domínio 1 é composto de ar atmosférico a temperatura ambiente, 25°C, possuindo dimensões de 6m de comprimento e 30cm de altura. Considerando que a pressão nos domínios, na entrada e na saída são equivalentes as condições ambientes locais ($P= 101,3 \text{ kPa}$), espera-se encontrar a velocidade de um jato contínuo de ar para que possa remover toda a camada e poeira.

Figura 1. Modelo para a primeira simulação Euleriana.



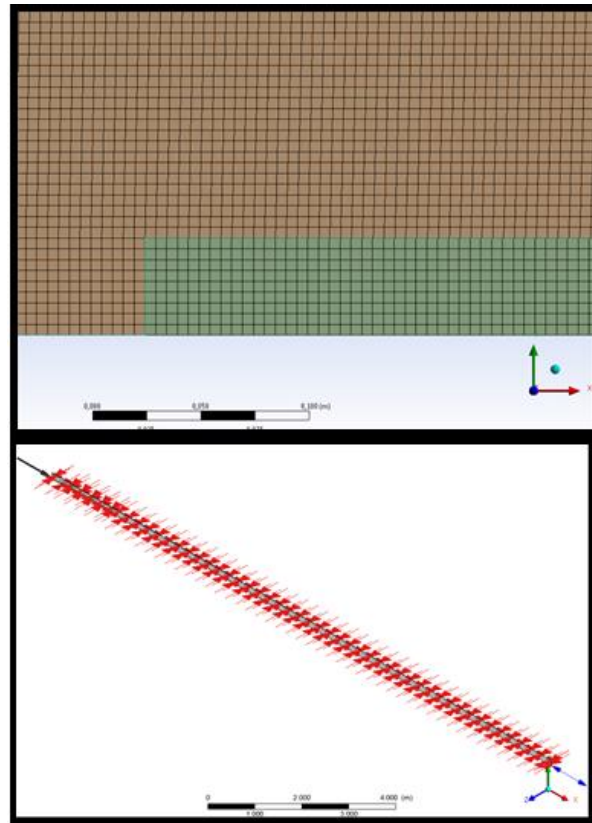
Fonte: Própria.

A Figura 2 mostra a malha desenvolvida para a simulação. A malha contém 86.679 elementos no Domínio 1, 2.700 elementos no Domínio 2, totalizando 89.379 elementos. A presente malha não é refinada o suficiente devido ao número baixo de elementos, porém ela foi adotada para o primeiro modelo desenvolvido. Ela foi adotada desta maneira, pois uma análise multifásica envolve um alto consumo de tempo computacional e no presente modelo o objetivo era apenas averiguar os parâmetros adotados e o comportamento geral do sistema simulado, preparando para quando for utilizada a poeira já caracterizada.

As condições de contorno adotadas no modelo foram baseadas nas condições do ambiente local:

- O Domínio 1 é composto 100% com ar fluido, com pressão de 101,3 kPa, com velocidade inicial de 1 m/s;
- O Domínio 2 é composto 100% por ar particulado, com pressão de 101,3 kPa e velocidade inicial nula;
- Na extremidade esquerda há entrada contínua de ar com velocidade de 1m/s e na extremidade direita foi adotada uma condição denominada “opening”, onde os componentes das duas fases (fluido-particulado) podem entrar e sair livremente;
- Na interface entre os dois domínios foi estipulado a passagem livre das duas fases;
- O regime adotado foi o transiente, com 2 segundos de simulação, divididos em steps de 0,2 segundos.

Figura 2. Malha e condições de contorno para o modelo da 1ª simulação.



Fonte: Própria.

2.1. Modelagem matemática

Para obtenção da solução das equações descritoras do escoamento estudado uma abordagem numérica foi adotada. O software ANSYS CFX foi utilizado para resolver, através do método dos volumes finitos, as equações de continuidade e de Navier-Stokes, descritas nas Equações. (1) - (4):

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \vec{u}) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \text{div}(\rho u \vec{u}) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \text{div}(\mu \text{ grad } u) + S_{M_x} \quad (2)$$

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \text{div}(\rho v \vec{u}) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \text{div}(\mu \text{ grad } v) + S_{M_y} \quad (3)$$

$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \text{div}(\rho w \vec{u}) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \text{div}(\mu \text{ grad } w) + S_{M_z} \quad (4)$$



Nas equações as incógnitas significam: t é o tempo; x , y e z são as três coordenadas cartesianas; u , v e w são, respectivamente, as velocidades nas direções x , y e z . O vetor tridimensional de velocidade é \vec{u} ; p é a pressão; ρ é a massa específica; μ é a viscosidade do fluido; S_{Mx} , S_{My} e S_{Mz} são os termos fontes de momento nas direções descritas em subscrito. O modelo de turbulência adotado no presente trabalho foi o K-epsilon.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

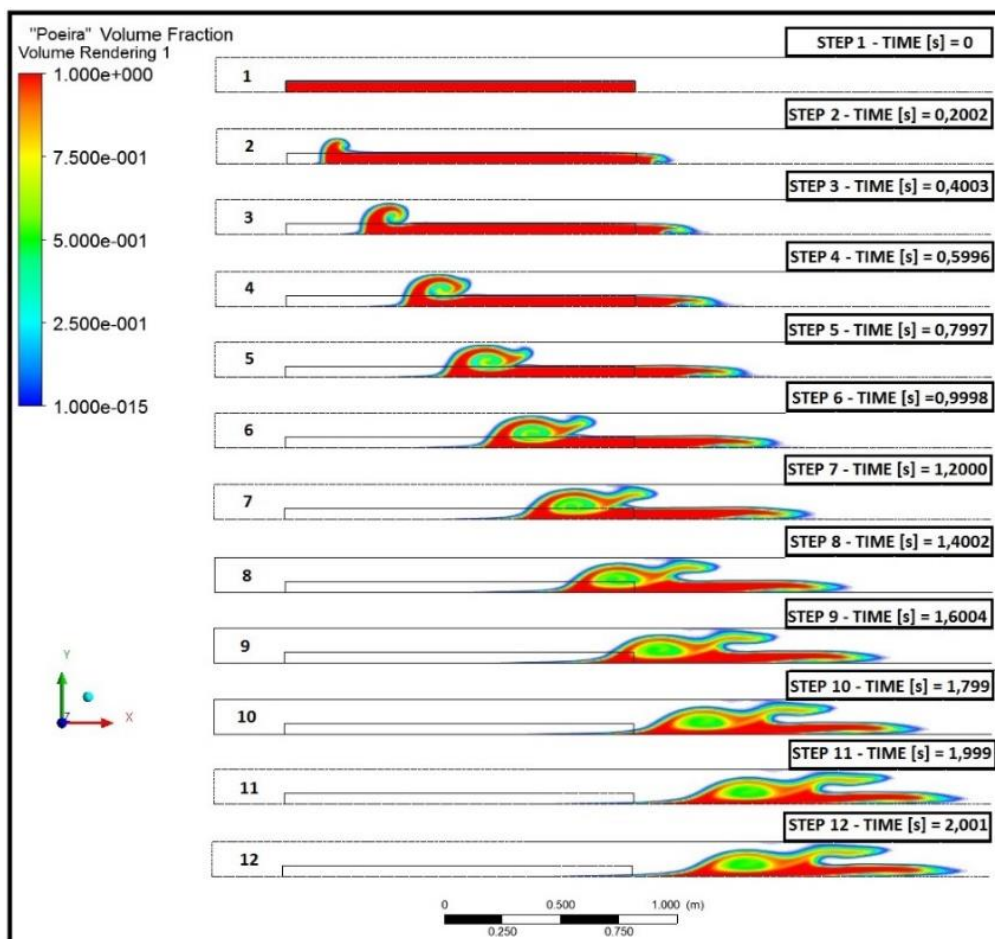
Na simulação foram obtidos os resultados em 12 quadros com um intervalo aproximado de 0,2 segundos entre os 11 primeiros quadros, variando o tempo de simulação de 0 a 2 segundos. Durante este período simulado, praticamente todo o ar particulado foi retirado da região superior de um módulo fotovoltaico (Domínio 2), apresentando um comportamento turbulento logo no início do arraste. A Figura 3 mostra os resultados obtidos nos 12 quadros, visualizando a fração volumétrica do particulado, denominado na imagem como “poeira”, nos dois domínios durante o arraste.

A partir desta simulação foi possível analisar que o tempo total da simulação foi suficiente para se observar o arrasto completo das partículas e o intervalo de 0,2 segundos entre os steps possibilitou uma visualização razoável da evolução do comportamento interativo entre partícula e fluido. A altura de 30cm do Domínio1 também se apresentou razoável. Estes parâmetros devem ser mantidos para as próximas simulações quando a caracterização da poeira estiver concluída para a plotagem deste material na biblioteca do software ASYS CFX 17.1.

Apesar da visualização geral do carregamento das partículas, a região bem próxima a superfície inferior do Domínio 2 que representa a superfície superior da placa, deve ter uma análise mais cuidadosa pois é uma região de camada limite do escoamento do fluido, podendo ocorrer o não deslizamento das partículas de poeira em quantidades significativas.



Figura 3. Resultados obtidos na simulação do arraste de partículas.



Fonte: Própria.

4. CONCLUSÃO

No presente estudo foi possível desenvolver uma primeira simulação do arraste de partículas carregadas, substituindo a poeira por ar, com baixo custo e tempo computacional, onde foi possível analisar parâmetros para serem mantidos ou refinados para as próximas simulações. As dimensões adotadas para o modelo foram razoáveis, permitindo a visualização completa do desenvolvimento do arraste das partículas de maneira física. O tempo total de simulação e os intervalos dos *steps* adotados no regime transiente permitiram um equilíbrio entre a visualização do processo completo do arraste na região de interesse, Domínio 1, e um custo computacional reduzido.

No entanto, para as próximas simulações se faz necessário um refinamento maior da malha principalmente próximo a camada limite do Domínio 2 e esperasse substituir as partículas de ar pelas de poeira, após a caracterização e aquisição de dados da poeira local, afim de obter resultados mais próximos do real e encontrar a



menor velocidade exigida para promover o arraste completos destas partículas da parte superior de módulos fotovoltaicos.

Agradecimentos

Agradeço ao Centro Universitário SENAI CIMATEC e aos profissionais do laboratório de Energia pela oportunidade dada a mim para desenvolver o presente trabalho e a FAPESB pelo apoio e incentivo a pesquisa.

5. REFERÊNCIAS

¹A.M. SAID, Syed et al. The effect of environmental factors and dust accumulation on photovoltaic modules and dust-accumulation mitigation strategies. **ELSEVIER, Renewable and Sustainable Energy Reviews** 82 (2018) pg. 743-760.

²SAIDAN, Motasem et al. Experimental study on the effect of dust deposition on solar photovoltaic panels in desert environment. **ELSEVIER, Renewable Energy** 92 (2016) pg. 499-505.

³GHOLAMI, Aslan et al. Experimental study of factors affecting dust accumulation and their effects on the transmission coefficient of glass for solar applications. **ELSEVIER, Renewable Energy** 112 (2017) pg. 466-473.

⁴S. BEATTIE, Neil et al. Understanding the effects of sand and dust accumulation on photovoltaic modules. **ELSEVIER, Renewable Energy** 48 (2012) pg. 448-452.

⁵JIANG, Hai et al. Experimental investigation of the impact of airborne dust deposition on the performance of solar photovoltaic (PV) modules. **ELSEVIER, Atmospheric Environment** 45 (2011) pg. 4299-4304.

⁶NAHAR, N. M. et al. Effect of dust on transmittance of glazing materials for solar collectors under arid zone conditions of India. **ELSEVIER, Solar e Wind Technology** 7 (1990) pg. 237-243

⁷DÓRIA, Thiago et al. ESTUDO DA INFLUÊNCIA DE CARENAGENS NA EFICIÊNCIA DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS – UMA ABORDAGEM ENERGÉTICA E FLUIDODINÂMICA. **CIBEM** 2017.

⁸A.M. SAID, Syed et al. Fundamental studies on dust fouling effects on PV module performance. **ELSEVIER, Solar Energy** 107 (2014) pg. 328-337.

⁹FUKUSHIMA, Satoshi et al. Comparison in size and elemental composition of dust particles deposited to the surface and suspended in the air on the southwest Japan coast. **ELSEVIER, Atmospheric Environment** 118 (2015) pg. 157-163.

¹⁰ADINOYI J., Muhammed et al. Effect of dust accumulation on the power outputs of solar photovoltaic modules. **ELSEVIER, Renewable Energy** 60 (2013) pg. 633-636.