

ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE JATOS DE AR PARA PROMOVER O ARRASTE DE PERTÍCULAS DE POEIRA DEPOSITADAS EM MÓDULO FOTOVOLTAICO POR MEIO DE UMA ANÁLISE CFD

¹ Pedro Freire de Carvalho Paes Cardoso (SENAI CIMATEC) – pedrocardoso06@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

O uso de geradores fotovoltaicos para geração de energia elétrica cresce consideravelmente em todo o mundo. Acompanhando este desenvolvimento, muitas pesquisas foram desenvolvidas com o objetivo de criar subterfúgios para aliviar as perdas de rendimento dos módulos devido a fatores ambientais. Pesquisas mostram que os módulos fotovoltaicos (FV) são consideravelmente afetados pela existência de poeira e sua deposição na superfície dos mesmos, levando à redução da eficiência do sistema. Este trabalho tem como objetivo desenvolver um estudo, utilizando dinâmica de fluidos computacional (CFD), sobre o uso de jatos de ar para promover o arraste de partículas de poeira depositadas em superfícies. A modelagem foi desenvolvida utilizando o software ANSYS CFX 17.1 por meio de uma análise Euleriana, baseada em parâmetros físicos. Um modelo já foi desenvolvido e simulado e os dados obtidos estão sendo utilizados para implementar o modelo e obter resultados mais próximo de uma condição real.

PALAVRAS-CHAVE: Poeira, fotovoltaico, CFD, ar.

1. INTRODUÇÃO

O uso de fontes de energia renováveis cresce significativamente em todo o mundo. A utilização de e desenvolvimento de sistemas fotovoltaicos de energia solar têm sido amplamente utilizados, devido à alta disponibilidade de recursos energéticos a serem utilizados para gerar eletricidade, assim como a facilidade de instalação, baixos custos de manutenção em comparação a outros tipos de geradores e por não acarretar danos significativos o planeta. Muitas pesquisas vêm sendo desenvolvidas para aumentar a eficiência de FVs e reduzir as perdas em operação devido a efeitos ambientais.

De acordo com A.M. SAID, Syed et al [1], os principais fatores ambientais que interferem negativa e positivamente no desempenho dos módulos fotovoltaicos são: temperatura ambiente, vento, umidade, poluição e poeira. Esses fatores interferem na eficiência do sistema tanto separadamente como também atuando em conjunto. Quanto aos efeitos da poeira, Said também expõe que ela interfere no desempenho dos módulos fotovoltaicos tanto pela sua presença no ar atmosférico, cujas partículas com dimensão maior que o comprimento de onda dos raios solares promovem a difração de uma porção dos raios, como também pela presença de partículas acumuladas nas superfícies dos módulos que impedem que partes dos raios solares entrem no seu interior e cheguem as células fotovoltaicas.

Em relação aos efeitos da poeira por deposição da superfície dos FVs, diversas pesquisas têm sido realizadas para estudar como os efeitos ambientais interferem na variação da quantidade de deposição de poeira, para então desenvolver funções para quantificar a deposição relacionando a outras variáveis. SAIDAN, Motasem et al. [2] e GHOLAMI, Aslan et al. [3] desenvolveram estudos onde a partir de experimentos foi possível relacionar o decaimento dos rendimentos fotovoltaicos com o tempo de exposição ao meio ambiente e a quantidade de poeira depositada. Em um estudo similar, S. BEATTIE, Neil et al. [4] também desenvolveu uma pesquisa cujo resultado permitiu a modelagem matemática da deposição de poeira e a comparação com dados experimentais.

Nos estudos de JIANG, Hai et al. [5] e NAHAR, N. M. et al. [6] foi possível concluir que a diminuição da eficiência dos módulos pelas partículas de poeira também está relacionada ao tipo de material utilizado neles, pois observou-se que em módulos com diferentes materiais e a mesma densidade de partículas apresentaram perdas de rendimento diferentes.

Segundo o que foi concluído por Said, A.M.S. et al. [1], muitas pesquisas foram desenvolvidas para entender e mensurar os fatores ambientais e como eles afetam as FVs, no entanto, ainda existem poucas pesquisas que são direcionadas a fornecer soluções para minimizar a atuação de fatores ambientais que resultam em efeitos negativos. A partir deste ponto a presente pesquisa tem como objetivo desenvolver um estudo para solucionar a perda de rendimento gerada pelo acúmulo de partículas de poeira na superfície dos módulos, utilizando jatos de ar para promover o arraste das mesmas.

O presente estudo tem como objetivo desenvolver, através de uma análise CFD, um modelo de simulação no qual possa ser determinada a velocidade do ar necessários para remover partículas de poeira da superfície

em diferentes situações e ambientes, através da alteração dos parâmetros baseados no meio e obtendo os resultados para eles. Outras análises em CFD para estudos em módulos fotovoltaicos já foram desenvolvidas por DÓREA, Thiago et al. [7], em que foram desenvolvidas simulações para verificar os efeitos do uso de carenagens na aceleração de massas de ar com a intenção de promover o aumento do arrefecimento dos FVs e assim reduzir sua perda de rendimento pelo aumento da temperatura.

Para realizar a simulação desejada, é necessário a caracterização da poeira local na cidade de Salvador, para que os dados sejam imputados na análise e o modelo possa ser validado a partir de experimentos. A caracterização da poeira local ainda está em desenvolvimento. Portanto, enquanto não há tais dados, a simulação foi desenvolvida a partir da poeira caracterizada nos trabalhos de A.M. SAID, Syed et al. [8], FUKUSHIMA, Satoshi et al. [9], e ADINOYI, J.M. et al. [10], onde foi possível encontrar o tamanho e número de partículas expostas nos resultados dos experimentos de cada local.

O objetivo final do estudo é desenvolver uma carenagem ou dispositivo que permita a limpeza de módulos fotovoltaicos utilizando jatos de ar. Desta forma, esperava-se que seja possível substituir o uso de água que é amplamente utilizado para a limpeza de centenas ou mesmo milhares de módulos em usinas solares.

2. METODOLOGIA

2.1. MODELAGEM MATEMÁTICA

Para descrever o comportamento do fluido, é necessária uma modelagem matemática. As equações da dinâmica dos fluidos que descrevem o comportamento do fluido são as equações de conservação de massa e momento (equações de Navier-Stokes) mostradas abaixo:

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

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

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

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

Nestas equações, p é pressão; t é tempo; x , y e z representam as três direções cartesianas; u , v e w são as velocidades nas direções x , y e z ; \vec{u} é o vetor de velocidade tridimensional; μ é a viscosidade do fluido; ρ é a massa específica; S_{M_x} , S_{M_y} e S_{M_z} são os termos dos momentos nas respectivas direções.

O fluxo de fluido com transportando partículas tem um comportamento turbulento, portanto, um modelo de turbulência é necessário para descrever corretamente o comportamento do fluxo. Para a escolha do modelo, considerou-se que a região de interesse a ser analisada, a região superior a uma superfície de uma FV, é uma região de camada limite e, portanto, necessita de um modelo que descreva bem o comportamento do fluido nesta região. Portanto, o modelo de turbulência adotado foi o modelo SST $k-\omega$, que por sua vez requer a resolução das equações de transporte de energia cinética turbulenta " k " e uma frequência turbulenta " ω ". Ambas as equações são mostradas abaixo:

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \text{div}(\rho k \vec{u}) = \text{div}(\Gamma \text{ grad } k) + S_k \quad (5)$$

$$\frac{\partial(\rho \omega)}{\partial t} + \text{div}(\rho \omega \vec{u}) = \text{div}(\Gamma \text{ grad } \omega) + S_\omega \quad (6)$$

Nessas equações, S_k e S_ω são os termos de origem de k e ω , respectivamente, e podem ter suas equações encontradas na literatura.

Para resolver as equações descritas acima, o método de volumes finitos foi adotado usando o software ANSYS CFX 17.1.

2.2. GEOMETRIA E MALHA

A geometria para a simulação foi construída imaginando-se um domínio fluido em torno de uma superfície de um módulo fotovoltaico, onde uma massa de ar pode fluir a uma determinada velocidade. Para reduzir o tempo de simulação, a geometria foi desenvolvida com espessura muito menor que as outras dimensões para se aproximar a um modelo de uma condição 2D. As dimensões dos módulos foram baseadas no módulo solar fotovoltaico modelo HP30P, com dimensões (CxLxA) de 610 x 350 x 25mm. A Figura 1 abaixo mostra todas as dimensões relevantes da geometria utilizada.

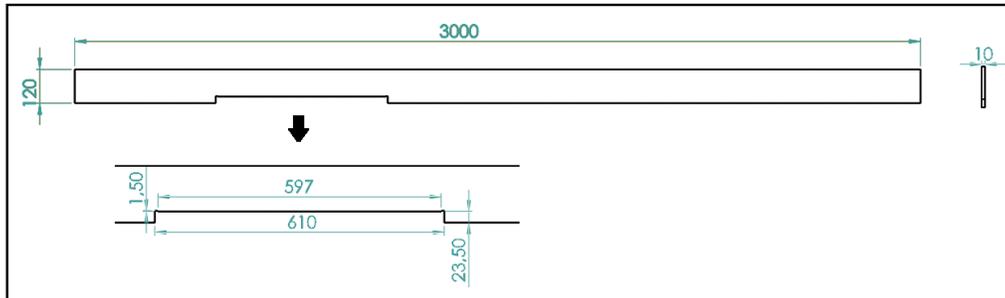


Figura 1. Geometria utilizada na simulação com cotas.

A malha foi construída utilizando elementos com dimensão de 1 mm, constando 680318 nós e 337039 elementos. A Figura 2 mostra a malha desenvolvida para a geometria.

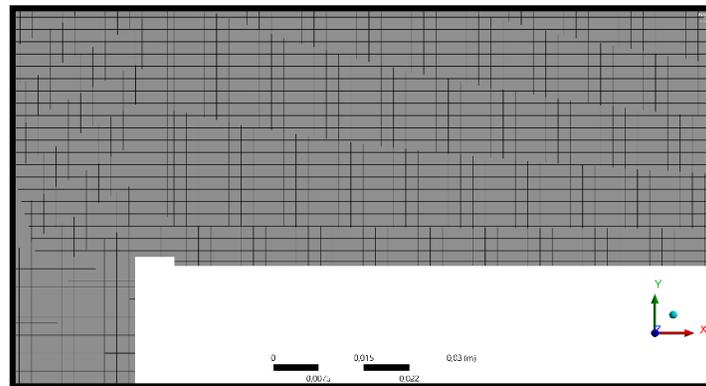


Figure 2. Malha desenvolvida.

2.3. CONDIÇÕES DE CONTORNO

Para permitir a visualização do comportamento do conjunto de partículas, a análise realizada foi a Euleriana, com regime transiente e quadros com intervalos de 0,2s até totalizar 6s. Uma camada de 1mm de partículas de poeira, com uma porcentagem de 70%, foi colocada na região acima da superfície dos módulos (os 30% restantes são ocupados pelo ar presente entre as partículas), o restante do domínio consiste de ar estagnado com pressão ambiente, 101,3 kPa.

A superfície do lado direito foi chamada de entrada, onde havia uma entrada de ar de 1m/s, as duas superfícies laterais foram determinadas como uma condição de simetria, as superfícies superior e inferior foram colocadas como paredes sem deslizamento e a extremidade lateral esquerda foi chamado de saída e a condição de abertura foi definida para ela. A Figura 3 mostra as condições de contorno no modelo.

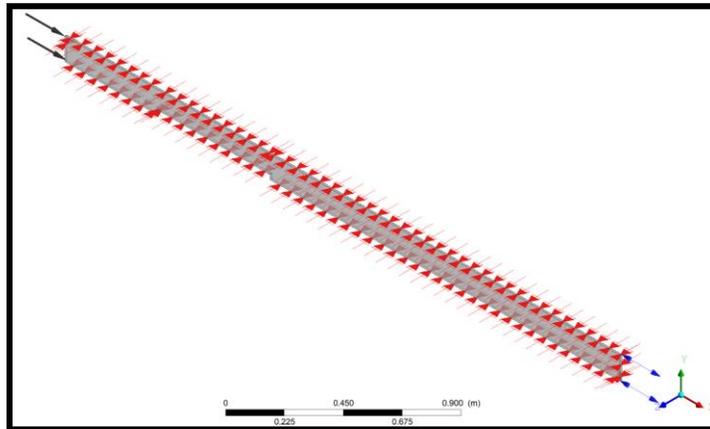


Figure 3. Condições de Contorno.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a realização da simulação, foi possível verificar o carregamento das partículas de poeira em função da ação do fluxo de ar para cada intervalo de tempo de 0,2 segundos. Os resultados foram satisfatórios e este modelo poderá servir de base para as próximas simulações com maior nível de detalhamento. A figura 4 mostra os resultados da simulação.

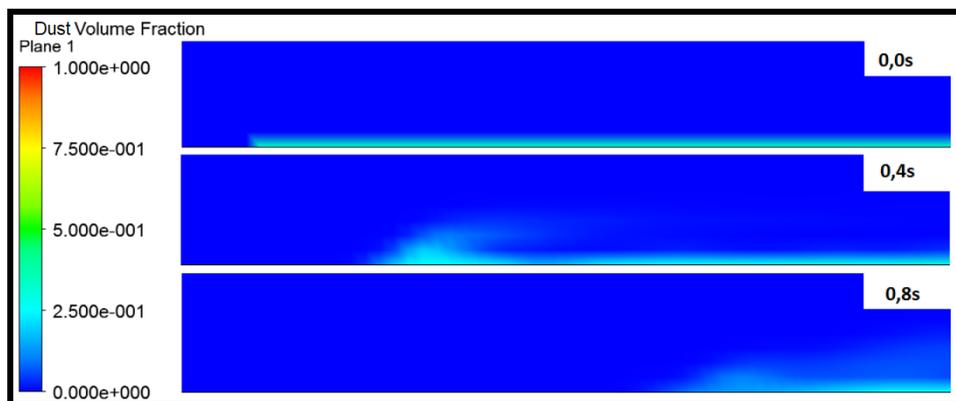


Figura 4. Fração do volume de poeira em função do tempo.

Os resultados obtidos mostraram que as partículas de poeira demonstraram mais liberdade de movimento do que é observado em um caso real, faltando então um fator de força de adesão entre as partículas e delas com a superfície. Com esta premissa, enquanto a coleta da amostra de poeira local está sendo colhida, está sendo desenvolvida uma pesquisa para encontrar um método para impor esta ação dessa força de adesão dentro da simulação.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os atuais resultados da presente simulação foram significantes pois os seus resultados e dados servirão como base para que o modelo seja implementado. A poeira de uma região do Centro Universitário SENAI CIMATEC, em Salvador, já foi colhida e uma amostra será separada para que uma análise microscópica possa informar as características dela, incluindo faixa de diâmetro das partículas, geometria e composição química.

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

- ¹ A.M. SAID, Syed et al. The effect of environmental factors and dust accumulation on photovoltaic modules and dust-accumulation mitigation strategies. ELSEVIER, 2018.
- ² SAIDAN, Motasem et al. Experimental study on the effect of dust deposition on solar photovoltaic panels in desert environment. ELSEVIER, 2016.
- ³ GHOLAMI, Aslan et al. Experimental study of factors affecting dust accumulation and their effects on the transmission coefficient of glass for solar applications. ELSEVIER, 2017.
- ⁴ S. BEATTIE, Neil et al. Understanding the effects of sand and dust accumulation on photovoltaic modules. ELSEVIER, 2012.
- ⁵ JIANG, Hai et al. Experimental investigation of the impact of airborne dust deposition on the performance of solar photovoltaic (PV) modules. ELSEVIER, 2011.
- ⁶ NAHAR, N. M. et al. Effect of dust on transmittance of glazing materials for solar collectors under arid zone conditions of India. ELSEVIER, 1990.
- ⁷ DÓREA, Thiago et al. ESTUDO DA INFLUÊNCIA DE CARENAGENS NA EFICIÊNCIA DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS – UMA ABORDAGEM ENERGÉTICA E FLUIDODINÂMICA. CIBEM, 2017.
- ⁸ A.M. SAID, Syed et al. Fundamental studies on dust fouling effects on PV module performance. ELSEVIER, 2014.
- ⁹ FUKUSHIMA, 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, 2015.
- ¹⁰ ADINOYI, J.M. et al. Effect of dust accumulation on the power outputs of solar photovoltaic modules. ELSEVIER, 2013.