



## **ANÁLISE ESTRUTURAL DOS ESFORÇOS SOFRIDOS POR UM MÓDULO FOTOVOLTAICO SUBMETIDO À VELOCIDADE MÉDIA REAL DO VENTO EM BELO HORIZONTE USANDO O MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS**

**Erika da Rocha Andrade Kux**

**Daniel Sena Braga**

erika.kux@gmail.com

danielsenabraga@gmail.com

**Vitor Hugo Coura Rodrigues**

vitorcoura@hotmail.com

**Antônia Sônia Alves Cardoso Diniz**

asacd2012@gmail.com

**Pedro Américo Almeida Magalhães Júnior**

paamjr@gmail.com

**Resumo.** *O objetivo do presente trabalho é apresentar uma análise estrutural virtual de um módulo fotovoltaico instalado no topo de prédios com, em média, 30 metros de altura (em torno de 10 andares), na cidade de Belo Horizonte/MG/Brasil, com a finalidade de avaliar a distribuição do stress e das deformações sobre o componente, quando submetido à velocidade média real do vento local, que representa as condições de trabalho do mesmo. Para este estudo, foi gerado um modelo do módulo fotovoltaico em CAD que, posteriormente, foi importado para o software ANSYS 16.2, no qual foi submetido à força dos ventos conforme norma NBR-6123. Por fim, foi realizada a análise dos resultados referentes ao comportamento deste módulo quando sujeito a estas condições.*

**Palavras-chave:** *Análise estrutural. Esforços em módulo fotovoltaico. Análise por elementos finitos. Métodos computacionais.*

## **1 INTRODUÇÃO**

À medida que o espaço para construção nas grandes cidades se torna cada vez mais limitante, "as forças exercidas pelo vento têm uma significância cada vez maior no dimensionamento da estrutura, não apenas do prédio em si, mas também dos revestimentos utilizados" (Arrais et al,2011).

Paralelamente, têm-se um cenário no qual as micro e minigerações solares distribuídas, sendo as microgerações uma "central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75kW e que utilize [...] fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição (ANEEL, 2015) e as minigerações uma central geradora "com potência instalada superior a 75kW e menor ou igual a 3MW para fontes hídricas ou menor ou igual a 5MW para cogeração qualificada [...] ou para as demais fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição" (ANEEL, 2015), dentro das grandes cidades estão cada vez mais presentes e acessíveis, tornando-se uma opção de investimento a longo prazo.

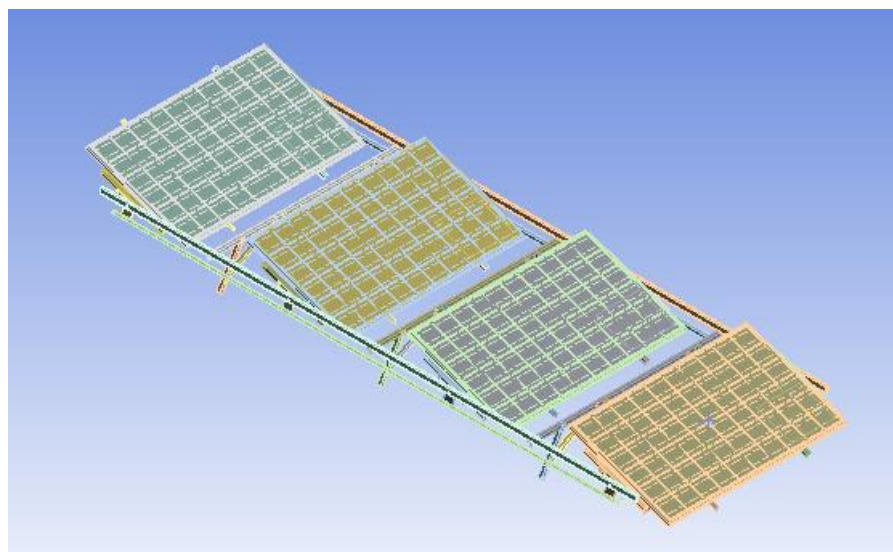
Dessa forma, é importante que o sistema de montagem dos módulos solares, bem como os próprios módulos sejam capazes de suportar as condições ambientais nas quais estão inseridos.

Assim sendo, o presente trabalho objetiva estudar as deformações do módulo fotovoltaico quando, instalado na cidade de Belo Horizonte a uma altura de 30 metros do solo, é submetido à força do vento.

## **2 METODOLOGIA**

### **2.1 Criação do modelo**

Para a análise estrutural do módulo fotovoltaico foi necessária, primeiramente, a geração do modelo e da geometria do módulo. O modelo foi gerado através do software SolidWorks, possuindo características como as visualizadas na Fig. 1.



**Figura 1. Modelo de gerador fotovoltaico.**

Suas dimensões são 5,5094m de comprimento, 1,1224m de altura e 1,7896m de largura, divididos em 4 módulos distintos, compondo a estrutura. Sua estrutura foi toda elaborada em aço do tipo A360.

Além disso, na Fig. 2 é possível visualizar os apoios do módulo bem como a localização dos mesmos.

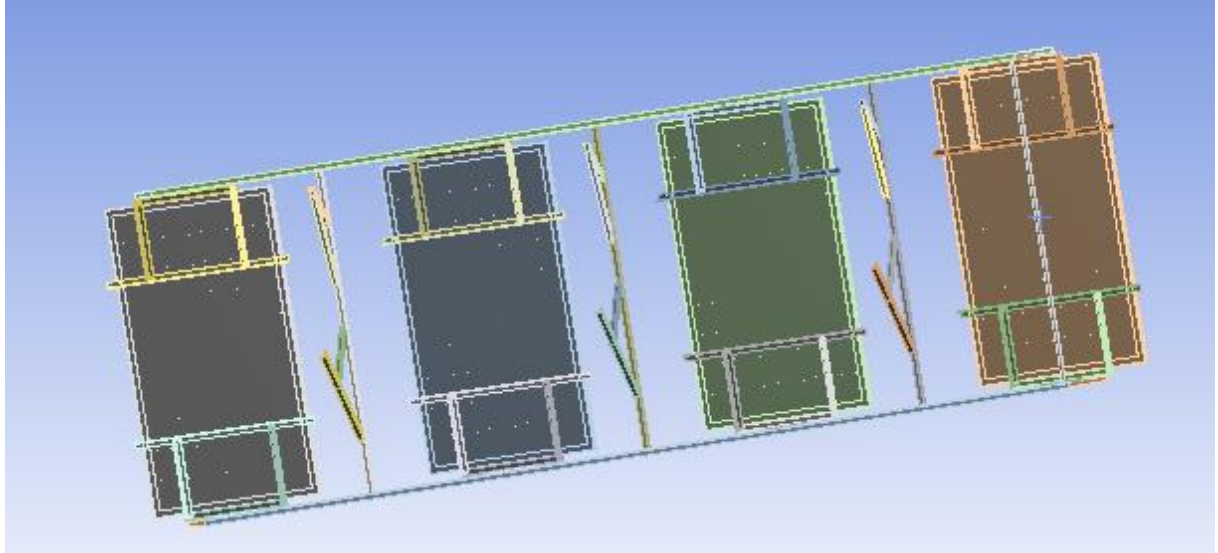


Figura 2. Apoio dos módulos fotovoltaicos.

## 2.2 Cálculo da força média do vento em Belo Horizonte

Para cálculo da força média do vento, no ponto de instalação do módulo, foi utilizado o método descrito na norma "NBR-6123/1988 Forças devidas ao vento em edificações".

A velocidade média do vento em Belo Horizonte foi obtida a partir do gráfico Isopleta da velocidade básica  $V_0$  (m/s), de modo que  $V_0 = 32$  m/s. Este gráfico representa a velocidade do vento em todo o país.

Conforme metodologia descrita na norma (ABNT, 1988), é necessária a especificação dos fatores  $S_1$ ,  $S_2$  e  $S_3$ . Enquanto o fator  $S_1$  leva em consideração as variações locais da superfície do terreno, o fator  $S_2$  considera a rugosidade do terreno, a variação da velocidade do vento com altura acima do terreno e as dimensões da estrutura, ao passo que  $S_3$  representa o nível de probabilidade de 63% do evento ser excedido uma vez a cada 50 anos.

Para fator topográfico  $S_1$  foi utilizado 1,0, que representa terrenos planos ou fracamente acidentados.

O fator  $S_2$  se dá a partir da determinação da categoria e classe. Foi utilizada a categoria V, que representa os terrenos cobertos por obstáculos numerosos altos e pouco espaçados, típico de centro de grandes cidades. Além disso, foi considerada a classe A, pois esta classe é a que conduz maior velocidade de vento.

A partir destes valores, foi utilizada a tabela de fatores  $S_2$ , e obtido o respectivo fator para uma altura de 30m, Categoria V e classe A. Sendo assim,  $S_2 = 0,87$ .

Para o fator S3 foi utilizado o valor 1,0, que refere-se a edifícios para hotéis e residências, comércio, indústria e alto fator de ocupação.

Resumindo:

$$S1 = 1,0; S2 = 0,87; S3 = 1,0.$$

Assim, a velocidade característica do vento é dada por:

$$V_k = S1 \times S2 \times S3 \times V_0$$

$$V_k = 27,84\text{m/s.}$$

Calculou-se, finalmente, a carga atuante, que é dada por:

$$q = 0,613 \times V_k^2$$

$$q = 0,613 \times 17,84^2$$

$$q = 475,116 \text{ N/m}^2$$

Dessa forma, como carga atuante no módulo, adotou-se  $q = 500 \text{ N/m}^2$ .

### 2.3 Condições de contorno

Para a simulação, todos os apoios fixos da estrutura que sustenta os módulos foram definidos como FIXED SUPORT e cada módulo foi submetido à pressão de 500Pa, conforme cálculo da força média do vento.

Na Fig. 3 é possível visualizar os apoios e a pressão aplicada.

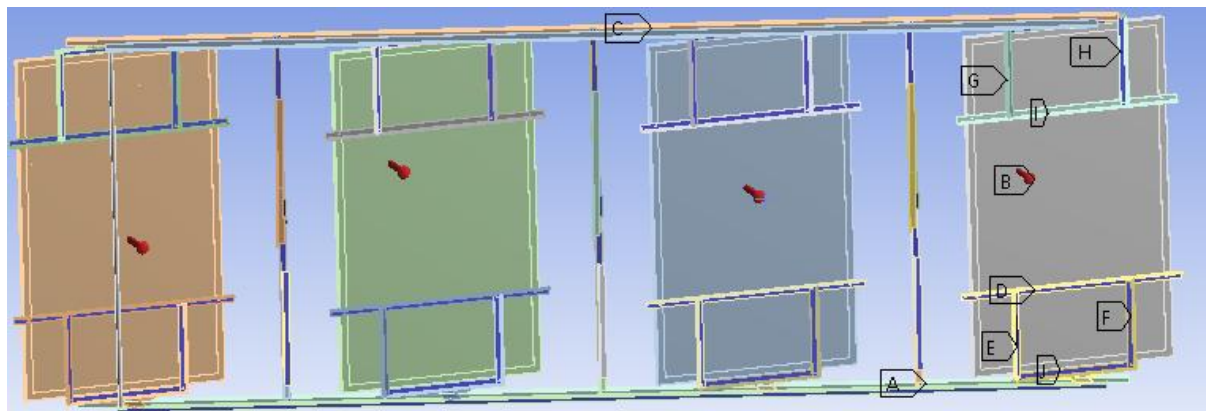


Figura 3. Apoios fixos e força aplicada no software ANSYS.

## 3 RESULTADOS

Conforme a metodologia descrita, foram obtidos os seguintes resultados para a análise da deformação realizada.

A Fig. 4 mostra a deformação direcional do módulo. Nota-se que a deformação sofrida é praticamente desprezível do ponto de vista mecânico, estando a maior deformação concentrada nos pontos de junção dos apoios fixos, enquanto a menor deformação é encontrada no centro do módulo, nos pontos mais distantes destes apoios.



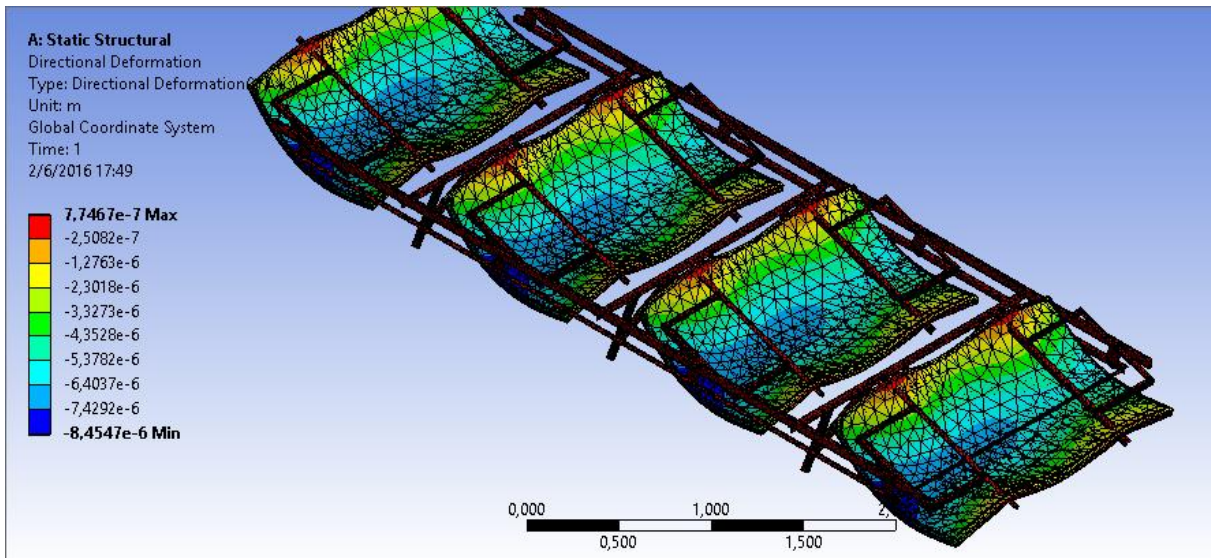


Figura 4. Deformação direcional.

Na Fig. 5 é possível observar que a tensão normal nos módulos possui o mesmo valor em toda a estrutura analisada.

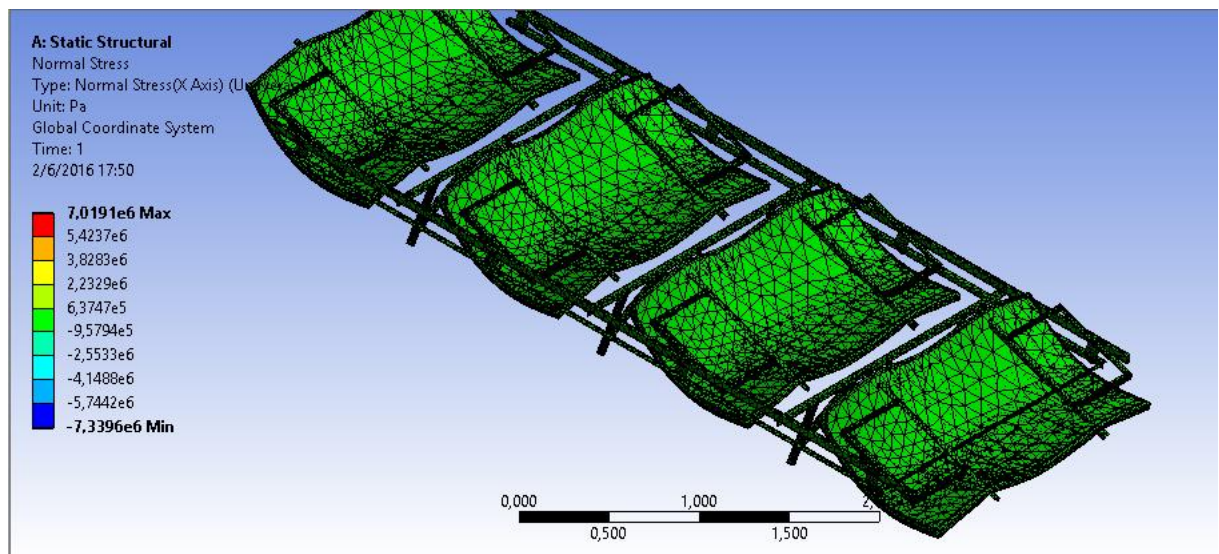
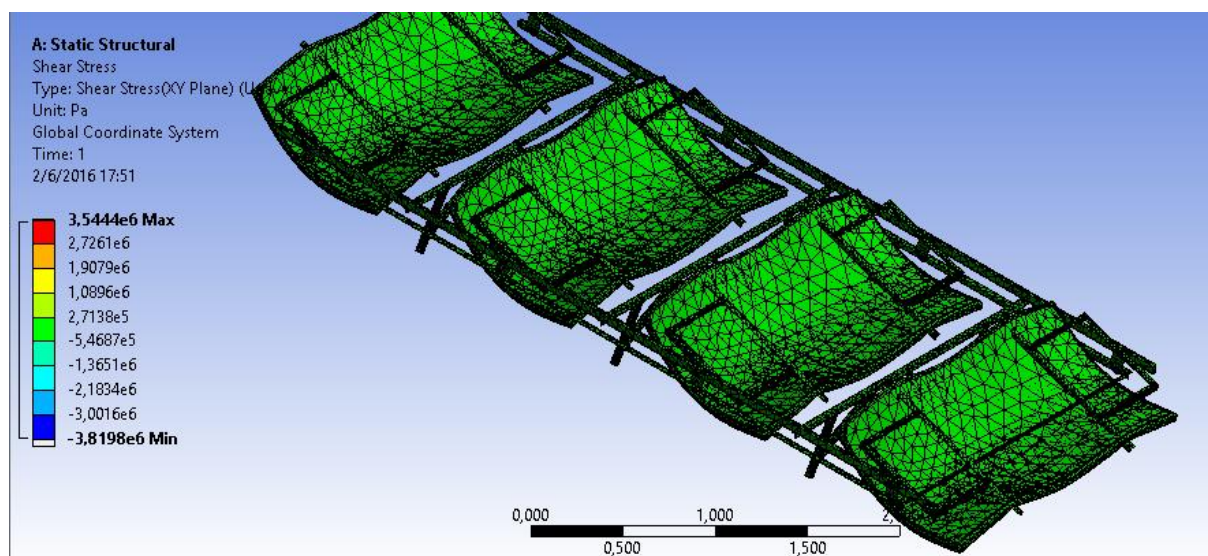


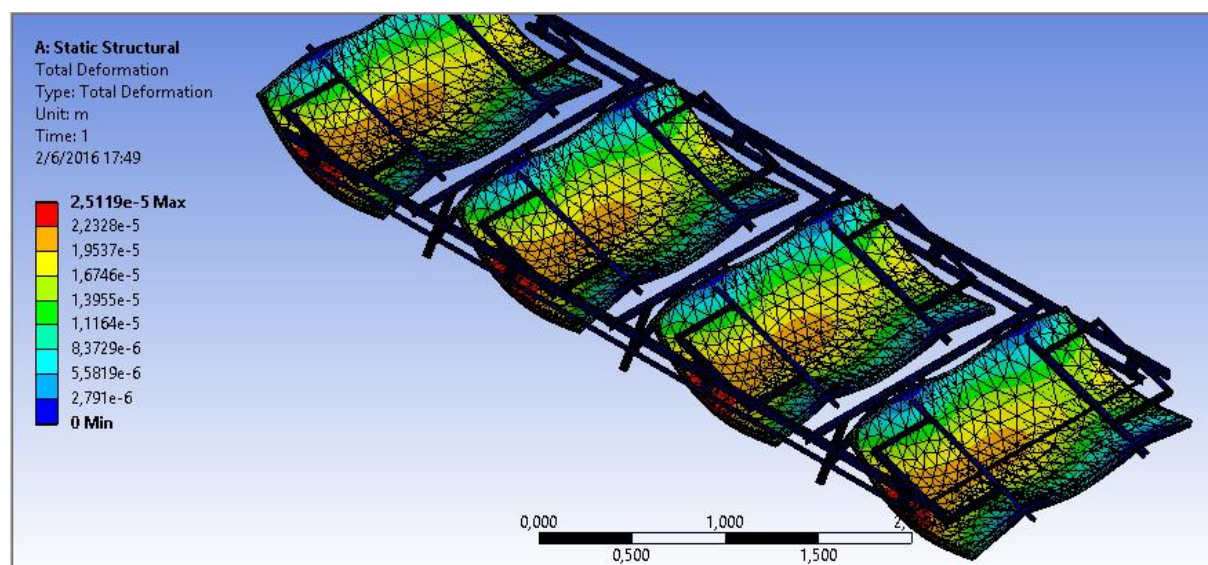
Figura 5. Stress normal.

Na Fig. 6, nota-se a tensão de cisalhamento no módulo. A tensão de cisalhamento é "a intensidade da força, ou força por unidade de área que atua tangente a área A, (HIBBELER, 2004)". O cisalhamento é provocado pela ação direta da carga aplicada, de modo que ocorre em diversos tipos de acoplamento. A tensão de cisalhamento se desenvolve nos planos longitudinais, de modo a impedir que o módulo deslize.



**Figura 6. Tensão de Cisalhamento.**

Por fim, é possível notar a deformação total sofrida pelo módulo que, embora pequena, da ordem de  $10^{-5}$ , ocorre de modo diferente ao longo da estrutura, possuindo maior deformação quanto mais próximo estiver dos suportes das extremidades, conforme evidencia a Fig. 7.



**Figura 7. Deformação Total.**

## 4 CONCLUSÃO

Com o presente trabalho foi possível concluir que a estrutura especificada suporta a ação sofrida pela força exercida pelo vento, não sofrendo grandes deformações em sua estrutura, o que torna a mesma apta para utilização nas condições descritas.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores generosamente agradecem o apoio da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais – PUCMINAS e a Fundação de Amparo a Pesquisa de Minas Gerais – FAPEMIG.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL, 2015. *Resolução Normativa N° 687, de 24 de Novembro de 2015.*

ANSYS, 2013. *Ansys Mechanical User's Guide.*

Arrais, G., 2011. *Pressões exercidas pelo vento em fachadas de edifícios altos: estudo comparativo dos valores obtidos através de ensaios em túnel de vento e especificações normativas.*

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Forças devidas ao vento em edificações.* Rio de Janeiro: ABNT, 1988.

HIBBELER, R. C., 2004. *Resistência dos Materiais.*

MAKOWSKI, D., 2004. *Ação do vento em coberturas isoladas.*