CARGA DE VENTO SOBRE COLETORES SOLARES EM HABITAÇÕES TÉRREAS DE INTERESSE SOCIAL VIA SIMULAÇÃO CFD[1]

ARA, P., Escola Politécnica da Universidade de São Paulo e Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, email: paulo.ara@usp.br; SOWMY, D., Escola Politécnica da Universidade de São Paulo e Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, email: dss@usp.br; PRADO, R., Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, email: racine.prado@usp.br; KUROKAWA, F., Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, email: fernando.kurokawa@usp.br;

ABSTRACT

In the context of growing use of renewable energy sources, solar water heating has been a prominent alternative. In Brazil, solar thermal is increasingly being used for many purposes, as well as in social housing. In all cases, solar collector must meet requirements specified by national standards. One of them is the glass cover resistance to mechanical load. The national standard requires that the collector cover resist to compression load of 1 kPa, proved by laboratory tests. This work aims to analyze wind loads on solar collectors installed on social housing inclined roofs and compare them with the 1kPa normative requirement. For this, CFD simulations were performed to determine the pressure coefficients on roof integrated solar collector considering usual typologies of social housing in Brazil and thus to calculate the actual positive pressures upon the collectors. The results showed that, for the studied wind directions, there is predominance of suction at the collector surface instead of compression. The most critical situations of compression occur for roofs with high slope, with inclinations higher than 30°, approximately. The conclusion is that 1kPa Brazilian requirement represents, in worst situations, nearly 3 times the actual wind pressures upon the collectors for the applications studied.

***Keywords**: Solar collector. Mechanical load. Pressure coefficients. CFD.*

1 INTRODUÇÃO

As energias renováveis têm ganhado cada vez mais espaço na matriz energética global. Uma evidente transição para uma matriz energética renovável está em curso, com crescente capacidade instalada de fontes renováveis, a custos cada vez menores e com a perceptível dissociação entre crescimento econômico e emissões de gases efeito estufa (REN21, 2017). Neste contexto, o uso da energia solar para aquecimento de água tem se destacado. Segundo relatório da REN21 (2017), em 2016, a capacidade instalada de sistemas solares térmicos cresceu 5% em relação ao ano anterior, atingindo aproximadamente 456 GWth de capacidade instalada no mundo.

A tecnologia solar térmica tem se expandido em mercados mais novos tais como os dos países da América Latina, Índia e parte da África já que os mais consolidados como o Europeu e dos Estados Unidos, por exemplo, têm

[1] ARA, P. et al. Carga de vento sobre coletores solares em edificações térreas de interesse social por simulação CFD. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2018.

enfrentado estagnação e dificuldades competitivas (WEISS et al., 2017). Em 2015, no Brasil, a capacidade instalada solar térmica cresceu quase 1 GWth, contra cerca de 0,6 GWth e 0,7 GWth, de crescimento na Alemanha e Estados Unidos, respectivamente (ABRASOL, 2018).

Esse cenário pressiona cada vez mais fabricantes e projetistas de coletores solares a garantirem uma progressiva qualidade dos produtos. Além da busca por maiores taxas de conversão de radiação solar em calor (eficiência térmica), em meio a disputa de mercado, produtos mais confiáveis do ponto de vista de durabilidade durante sua vida útil tem maior aceitação pelo usuário. Em outras palavras, a expansão pretendida pelo setor solar térmico está estreitamente ligada à qualidade dos produtos, sua durabilidade, baixa ocorrência de falhas e maior eficiência de operação.

Atualmente no Brasil, é obrigatório que os coletores solares fabricados e comercializados no país atendam aos requisitos do Regulamento Técnico da Qualidade para Equipamentos de Aquecimento Solar de Água aprovado pela Portaria n° 301 de 2012 do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). Para tal, amostras de coletores solares de cada família de produtos devem ser submetidas aos testes da Norma ABNT NBR 15747-2:2009 – Sistemas solares térmicos e seus componentes - Coletores solares - Parte 2: Métodos de ensaio.

A fim de prevenir a quebra da cobertura de vidro do coletor solar por pressão de vento (ou outros fatores) sobre o coletor durante sua vida útil, o Regulamento do INMETRO prescreve que o produto seja submetido à uma carga mecânica uniforme em sua cobertura de acordo com o método da ABNT NBR 15747-2 e que deve resistir a uma pressão de 1 kPa sem danos no coletor ou quebra da cobertura de vidro. A Figura 1, mostra o aparato de teste.

Figura 1 – Ensaio de carga mecânica em coletor solar



Fonte: Fraunhofer ISE

Habitações de interesse social (HIS) de programas governamentais tais como do "Programa Minha Casa Minha Vida" do Governo Federal e da "Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano" do Estado de São Paulo, em geral, especificam como condições para aquisição de coletores solares em seus empreendimentos o atendimento aos mesmos requisitos do

INMETRO, que, com relação à resistência mecânica, corresponde à suportar a pressão de compressão de 1kPa aplicada uniformemente sobre a cobertura do coletor. A Figura 2, mostra exemplos dessa tipologia de edificação com aquecedores solares.

Figura 2 – HIS térreas com aquecedores solares



Fonte: CDHU e Portal BRASIL

2 OBJETIVO

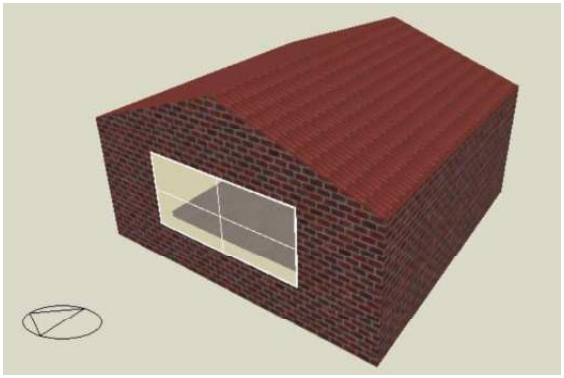
O objetivo desse trabalho é verificar se a carga de ensaio de compressão de 1kPa condiz com a pressão real que estarão submetidos os coletores durante sua vida útil, no caso de habitações de interesse social térreas com telhados inclinados, semelhantes aquelas da Figura 2.

3 MÉTODO

O método consistiu primeiramente em construir 4 modelos computacionais de tipologias comuns de HIS residencial com telhado inclinado de duas águas, cada uma com determinada inclinação de telhado (10°, 20°, 30° e 45°). O software utilizado foi o *Design Builder* versão V5.3.0.014. A tipologia modelada possui planta quadrada de 36 m^2 e pé-direito de 2,6 m, típico para edificações dessa categoria. A Figura 3 mostra o modelo geométrico da edificação com telhado de 20°.

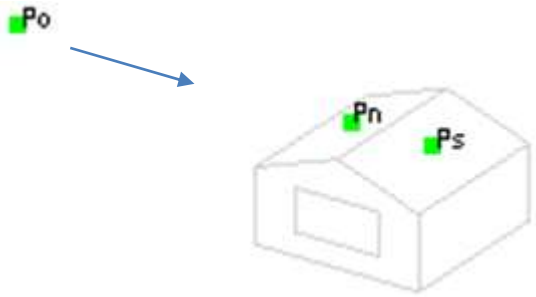
O coletor solar foi considerado instalado no centro geométrico do telhado norte. Foram posicionados 3 pontos de monitoramento para cada um dos 4 modelos e para cada modelo foram rodadas simulações considerando a incidência de vento Norte – Sul, Sul – Norte, Leste – Oeste e Oeste – Leste. As Figuras 4 e 5 ilustram duas situações para a casa com telhado de 20° nas quais podem ser observados os pontos de monitoramento P_n (telhado norte), P_s (telhado sul) e P_o (ponto não perturbado à barlavento).

Figura 3 – Modelo geométrico da HIS com telhado 20°



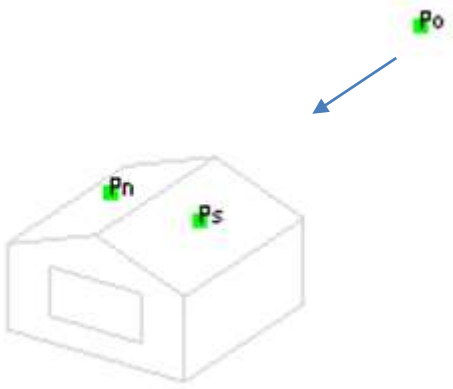
Fonte: Os autores

Figura 4 – Pontos de monitoramento para vento Norte-Sul (telhado 20°)



Fonte: Os autores

Figura 5 – Pontos de monitoramento para Leste-Oeste (telhado 20°)



Fonte: Os autores

Após a modelagem geométrica, o mesmo software *Design Builder* foi utilizado para a geração de malha em um domínio proporcional a 8 vezes a largura e comprimento da edificação e 3 vezes a altura da edificação. A malha foi composta de elementos cúbicos de 0,064 m^3 de volume, exceto na região do domínio entre o plano horizontal que passa pela laje e o plano horizontal que intercepta o topo do telhado. Nessa região, a malha foi refinada para elementos prismáticos de 0,032 m^3 de volume. Isso resultou em domínios que variaram de cerca de 295 mil a 688 mil elementos de malha, para os modelos de 10° e 45° respectivamente. As simulações rodaram em computador com 10,9 GB de memória disponível e o tempo das simulações

variaram de 12 a 24h, aproximadamente, dependendo da configuração geométrica e convergiram em média com 25 mil iterações. O modelo de turbulência utilizado foi o k-ε e o esquema de discretização upwind. O critério de convergência foi a obtenção de resíduos entre iterações inferior a 10^{-5} para as componentes x, y e z da velocidade, para a energia cinética turbulenta e para a dissipação turbulenta e 10^{-3} para a conservação de massa. Outras hipóteses consideradas foram terreno plano ou pouco ondulado e sem obstáculos próximos.

Com os resultados da simulação nos pontos P_n, P_s e P_o foi calculado o Coeficiente de Pressão (C_p) na superfície do coletor, de acordo com a Equação 1, para cada um dos cenários.

$$C_p=(P_n-P_o)/(0,5\rho V_0^2) \quad (1)$$

Em que P_n e P_o são as pressões monitoradas nas simulações, V_0 é a velocidade do vento no ponto P_o e ρ é a massa específica do ar. Como o coeficiente de pressão é uma característica da geometria do obstáculo (edificação) frente à incidência do vento, escolheu-se a velocidade de 5 m/s como condição de contorno para o vento que entra no domínio de simulação. O coeficiente de pressão independe da velocidade escolhida.

A carga mecânica em kPa atuante sobre o vidro do coletor instalado no telhado norte para cada um dos 16 modelos (quatro tipos de telhado e quadro direções de vento) foi obtida da seguinte forma:

- Cálculo dos Coeficientes de Pressão (C_p);
- Obtenção dos coeficientes S_1, S_2, S_3 para os modelos em questão conforme as Tabelas e Equações da norma ABNT NBR 6123:1998- Forças devidas ao vento em edificações;
- Obtenção da velocidade básica do vento (V_b)[2] do Brasil a partir do mapa de isopletas da norma ABNT NBR 6123. Foi escolhido V_b=50 m/s.
- Cálculo da velocidade característica do vento (V_k) por $V_k=V_b.S_1.S_2.S_3$;
- Cálculo da Pressão dinâmica do vento (q) por $q=0,613.V_k^2$;
- Cálculo da Pressão de compressão no vidro coletor por $q.C_p$;

As pressões de compressão foram comparados com a pressão de 1kPa à qual o coletor é submetido no teste laboratorial. Além disso, a fim de validar os resultados de C_p obtidos dos resultados das simulações em CFD, estes foram comparados com os valores sugeridos pela Tabela 5 da NBR 6123.

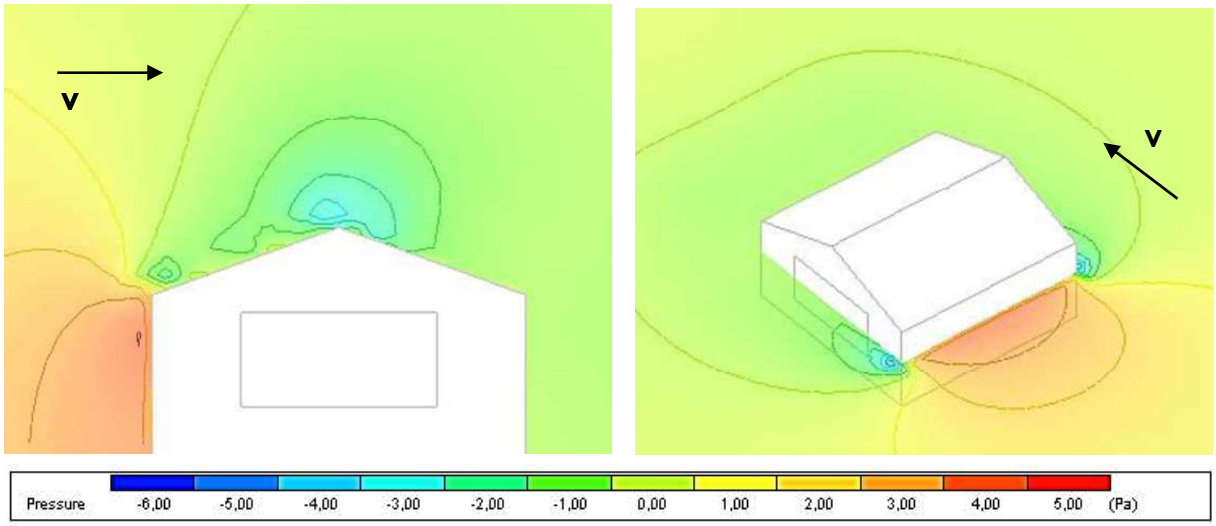
4 RESULTADOS

Do ponto de vista das pressões nas diferentes superfícies de uma mesma edificação, os resultados mostraram que pressões positivas são encontradas próximas às fachadas onde incide o vento e pressões negativas nas demais

[2] A velocidade básica do vento obtida das isopletas da NBR 6183 é normalmente designada por Vo. Porém, para evitar confusão com a Velocidade no Ponto Po, neste trabalho, será identificada por Vb.

superfícies (Figura 6). Considerando o plano vertical que corta a edificação na direção do vento (Figura 6, à esquerda) observa-se, pela escala de cores, a transição entre pressão positiva (na fachada onde incide o vento) e pressão negativa (próximo à cumeeira).

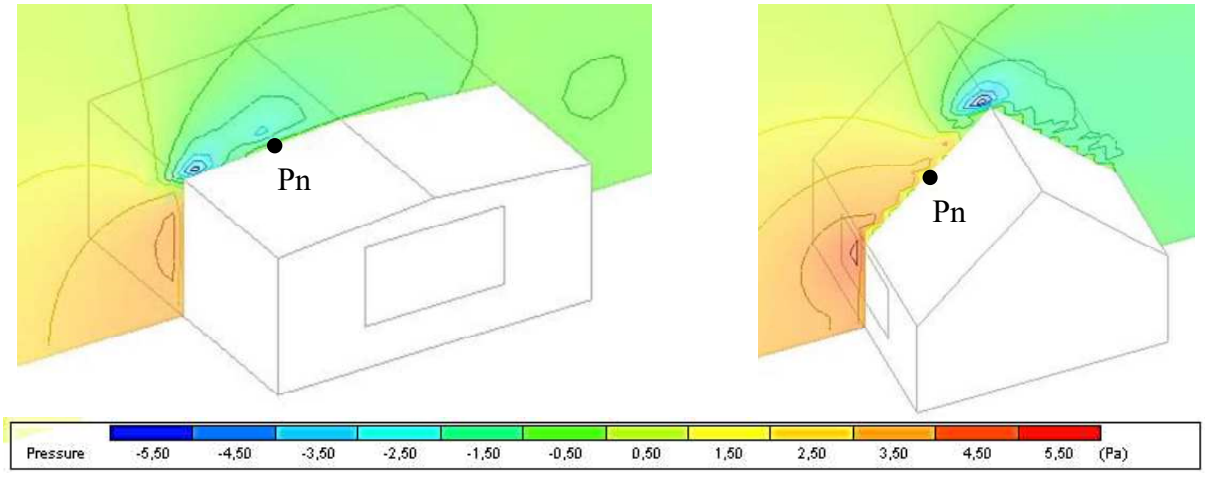
Figura 6 – Pressões (telhado 20°) em planos paralelos à direção do vento Norte-Sul, em plano vertical (à esquerda) e em plano horizontal (à direita)



Fonte: Os autores

Comparando edificações com inclinações diferentes de telhado (Figura 7), para o mesmo ponto P_n, onde se situa o coletor, observa-se, pela escala de cores, que a pressão positiva ocorre somente para maiores inclinações, como para 45°, sendo que para 10°, ocorre apenas sucção na região do coletor.

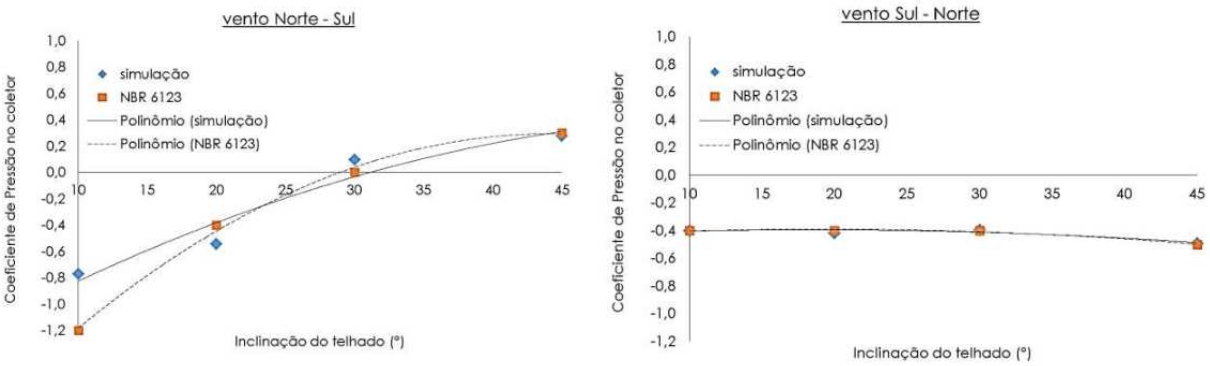
Figura 7 – Distribuição de pressão em plano vertical paralelo à direção do vento Norte - Sul para telhado de 10° (esquerda) e 45° (direita)



Fonte: Os autores

A Figura 8 ilustra os resultados de coeficiente de pressão obtidos a partir dos resultados das simulações:

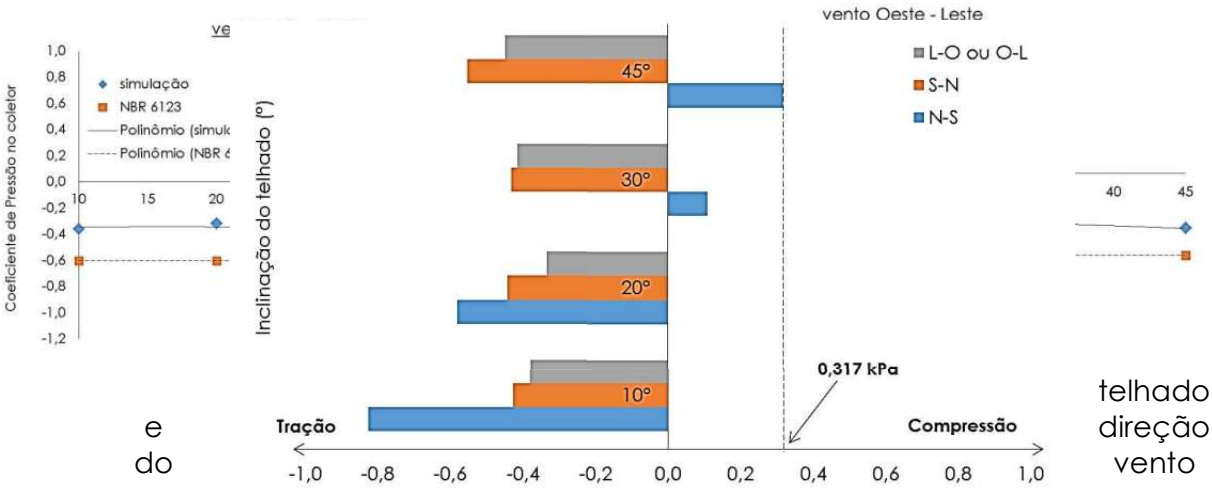
Figura 8 – Coeficientes de pressão para os cenários estudados



Fonte: Os autores

A Figura 8 mostra boa concordância entre norma NBR 6123 e simulação. A comparação com os valores da norma teve o intuito de validar os resultados da simulação. As simulações Leste-Oeste e Oeste-Leste resultaram iguais e menos exigentes do que os da norma, como se esperava. A simulação Norte-Sul também se mostrou menos rigorosa que a norma e a Sul-Norte resultou muito similar à norma.

Figura 9 – Pressão no vidro do coletor em kPa em função da inclinação do



e

do

telhado

direção

vento

Os resultados mostram que ocorre predomínio de sucção na superfície do coletor. A compressão ocorre para telhados de maior inclinação, acima de 30°, aproximadamente. Mesmo assim, para grandes inclinações como 45°, praticamente incomuns nesse tipo de edificação de interesse social, a compressão máxima foi inferior a 0,32 kPa. Reitera-se aqui que foi considerada para os cálculos praticamente a maior velocidade básica do vento pelas isopletas do Brasil, correspondente a 50 m/s, conforme seção 3 deste trabalho.

5 CONCLUSÃO

No presente trabalho foram conduzidas diversas simulações em CFD para determinação dos coeficientes de pressão e carga mecânica sobre um coletor solar instalado no telhado norte de uma típica habitação de interesse social térrea, resultantes da incidência do vento. Tanto as direções e velocidades de vento estudadas, quanto às características do entorno e à localização da edificação corresponderam aos cenários mais críticos para o Brasil. Os resultados mostraram que há predominância de sucção no vidro do coletor em detrimento de pressão de compressão. No pior caso, para telhado de 45°, a pressão positiva sobre o coletor atingiu pouco mais de 0,3 kPa, mostrando que o requisito apresentado pelas normas e regulamentos brasileiros de 1 kPa é, nos casos mais críticos (V_b=50 m/s), cerca de 3 vezes maior que a pressão real atuante no coletor para as aplicações estudadas.

REFERÊNCIAS

ABRASOL ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR TÉRMICA. **Informações de mercado**. Disponível em: < https://www.abrasol.org.br/2017/07/04/informacoes-de-mercado>. Acesso em: 26 jan. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15747**: Sistemas solares térmicos e seus componentes – Coletores solares. Rio de Janeiro, 2009.

CÓSTOLA, Daniel; ALUCCI, Marcia Peinado. Aplicação de CFD para cálculo de coeficientes de pressão externos nas aberturas de um edifício. **Ambiente Construído,** Porto Alegre, v.11, n.1, p.145-158, jan./mar. 2011.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. Portaria nº 301, de 14 de junho de 2012. Aprova o Regulamento Técnico da Qualidade para Equipamentos de Aquecimento Solar de Água. Disponível em: < http://www.inmetro.gov.br>. Acesso em: 23 mar. 2018.

RENEWABLE ENERGY POLICY NETWORK FOR THE 21st CENTURY. REN 21. **Renewables 2017:** Global Status Report. Paris, 2017, p.302.

WEISS, Werner *et al*. **Solar Heat Worldwide**. Global Market Development and Trends in 2016. Solar Heating and Cooling Programme. International Energy Agency. Gleisdorf, Austria: Steinhuber Infodesign, 2017. 86 p.