



ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE GALPÕES AGRÍCOLAS COM ÁTICOS VENTILADOS EM CLIMA TROPICAL SEMIÁRIDO

Miguel Ângelo de Oliveira Shaw, eng.miguel.shaw@gmail.com¹

Murilo Santos Freire, murilo.s.freire@gmail.com²

Anderson Breno Souza, anderson.souza@ufob.edu.br¹

André de Mendonça Santos, Andre.mendonca@ufrb.edu.br³

Filipi Marques de Souza, filipi.souza@ufob.edu.br¹

Iuri Benedito da Silva Santos, iuribeneditos@gmail.com¹

¹Universidade Federal do Oeste da Bahia, Av. Manoel Novais, 1064, Centro CEP: 476000-000 Bom Jesus da Lapa, Bahia. Telefone: (77) 3421-9700.

²Universidade Federal de Lavras, Av. Aqueça Sol 3037, Centro CEP: 37200-000 Lavras, Minas Gerais. Telefone: (35) 3829-1122.

³ Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Av. Centenário 697, Sim CEP: 44042-280 Feira de Santana, Bahia. Telefone: (75) 3622-9351.

Resumo. O ático, espaço acima do tirante da tesoura da cobertura e abaixo das telhas, é uma importante ferramenta para redução da carga térmica em recintos em função da ventilação. Este trabalho apresenta a simulação da carga térmica de galpões agrícolas com dois tipos de coberturas, Shed e Lanternim, instalados em Petrolina-PE, que utilizam ventilação natural para conforto térmico. Utilizou-se do software EnergyPlus™ e as extensões OpenStudio® e Sketchup para simulação da carga térmica, aplicando-se o dia típico de verão obtido pelo método do IPT, considerando a presença e a ausência do forro nos galpões e diferentes orientações da fachada em relação ao Sol. Para simular a condição isenta de forro, utilizou-se o air wall, propriedade adotada no software em que a parede criada é considerada uma zona de ar. As simulações indicaram que o forro de gesso reduziu a carga térmica do ambiente em 30% no Shed e em 7% no Lanternim. Verificou-se que a cobertura do tipo Shed foi a melhor estratégia para amenizar o ganho térmico. E, por fim, notou-se que o Shed, como extrator de ar, com a orientação leste – oeste, vento incidindo a 6° na fachada, foi o modelo com menor carga térmica.

Palavras chave: Carga térmica. Ventilação Natural. Conforto Térmico. Simulação.

1. INTRODUÇÃO

A carga térmica de edificações é influenciada pelos materiais construtivos da envoltória, com grande contribuição da cobertura. O tipo de telha, a cor, a inclinação do telhado, a presença de forro e a espessura da camada de ar são fatores que alteram o isolamento térmico das coberturas em relação ao ambiente externo (Carneiro *et al.*, 2015). Apesar disso, os materiais construtivos empregados nas coberturas de instalações agrícolas são, em geral, leves e pouco isolantes, o que compromete o desempenho térmico dessas edificações quando situadas em climas quentes (Yang *et al.*, 2011).

O ático ventilado é uma estratégia bioclimática que pode melhorar o desempenho térmico de coberturas (Lukiantchuki *et al.*, 2014). O Ático pode ser definido como o último pavimento de uma edificação ou, em outras palavras, o espaço acima do tirante da tesoura da cobertura e abaixo das telhas, ficando a camada de ar entre o ático e o forro (Yu e Moore, 2014).

Quando ventilado, o ático auxilia na redução da carga térmica da edificação por meio das trocas convectivas que ocorrem entre as telhas e o forro, expelindo o ar quente (Iffa e Tariku, 2015). Além disso, a ventilação do ático evita o envelhecimento precoce da madeira, prolonga a vida útil das telhas e ainda, sobretudo em climas quentes, elimina a umidade e renova o ar interno (Yu e Moore, 2014).

Apesar da importância dos áticos, pouco se discute na literatura sobre a eficiência da ventilação natural em coberturas, destacando-se os trabalhos de Iffa e Tariku (2015), Yu e Moore (2014) e Carneiro *et al.* (2015). Estudos concluem que a maior limitação à ventilação natural é sua dependência de fatores climáticos, e, dependendo das circunstâncias em que se impõem as edificações, podem decorrer em espaços internos inadequadamente ventilados (Meiss *et al.*, 2017; Elshafei *et al.*, 2017).

A ventilação do ático pode ocorrer mecanicamente, quando se utiliza de equipamentos como o ventilador, ou naturalmente, por meio de aberturas na cobertura, que propiciam o escoamento do ar. É comum também a ação combinada

de ambas situações, denominada de ventilação híbrida. Esta é uma opção eficiente para uma diminuição significativa na utilização de energia por resfriamento mecânico (Iffa e Tariku, 2015; Elshafei *et al.*, 2017).

Apesar da existência de modelos numéricos para a previsão da contribuição da ventilação natural na redução da carga térmica de edificações, existem lacunas quanto à eficácia de diferentes geometrias utilizadas em coberturas ventiladas.

Diante disso, o objetivo deste trabalho é comparar o desempenho térmico de galpões agrícolas com duas arquiteturas de coberturas ventiladas naturalmente, o Lanternim e o Shed, e em diferentes orientações, para o clima semiárido da cidade de Petrolina-PE, por meio de simulações computacionais no software EnergyPlus™.

2. METODOLOGIA

2.1 O software EnergyPlus™

O EnergyPlus™ foi desenvolvido por vários grupos de pesquisadores dos Estados Unidos a partir de dois outros programas: o BLAST (Building Loads Analysis and System Thermodynamics) e o DOE-2 (Department of Energy-2), utilizados para modelar o consumo de energia (aquecimento, resfriamento, ventilação, iluminação e outras cargas elétricas), baseando-se em um console que lê entrada de dados e grava a saída em arquivos de texto (ENERGY PLUS™, 2017). Além disso, o EnergyPlus™ utiliza três comandos: o IDF-Editor, para criar arquivos de entrada através de uma interface simples em uma planilha eletrônica; o EP-Launch, que gerencia arquivos de entrada, saída e a execução das simulações em lote; e, por fim, o EP-Compare, responsável pela análise gráfica dos resultados das simulações (Energy Plus, 2017; Barbosa *et al.*, 2013).

Para realizar o dimensionamento da carga térmica, o software utiliza os extremos térmicos das normas climatológicas do local estudado, baseando-se nesses dados, no número de iterações e nas propriedades dos materiais inseridos (Energy plus, 2017).

Os dados de entrada necessários para a simulação da carga térmica de edificações no EnergyPlus™ são:

1 - Arquivo climático, do tipo IWEC (International Weather for Energy Calculations). No Brasil, os arquivos climáticos se baseiam nas séries históricas de dados do INMET, disponibilizados para cerca de 400 municípios distribuídas no território nacional (INMET, 2017). Para a simulação, o modelo se baseia nos dados térmicos do período mais quente e mais frio da localidade (Anđelković *et al.*, 2016).

2 - Modelo tridimensional da edificação, com a definição dos materiais construtivos e devidas espessuras, e com a divisão das zonas térmicas, definidas como "um grupo de ambientes com mesmo regime de utilização e o mesmo perfil de carga térmica, permitindo que as condições requeridas possam ser mantidas com um único dispositivo de controle, ou atendidas por um único equipamento condicionador destinado somente àquela zona" (ABNT, NBR 16401-1, 2008, p.4). A modelagem pode ser feita em outros softwares que são lidos pelo EnergyPlus™, tal como o OpenStudio® SketchUp Plug-in, que foram utilizados no presente estudo.

Outros dados, que podem ser inseridos manualmente pelo projetista, são: equipamentos elétricos e sistemas de refrigeração artificial; Potência da instalação, número de ocupantes, Rotina de ocupação, dentre outros (Barbosa *et al.*, 2013; Energy Plus, 2017).

O modelo se baseia na transferência calor em regime permanente, assumindo-se as seguintes hipóteses: (a) a temperatura de superfície é uniforme, (ambas as radiações, onda longa e de onda curta uniformes), (b) as superfícies trocam calor através da radiação, (c) ocorre a condução no interior do elemento e (d) a zona térmica contém uma temperatura uniforme (Energy Plus, 2017).

2.2 O Objeto do estudo

Baseando-se no diagnóstico levantado por Dacanal *et al.* (2018) em packing houses de uvas nas regiões de Petrolina-PE, foi elaborado um projeto de galpão agrícola, de pequeno porte, com duas variações na arquitetura da cobertura, o lanternim e o shed, naturalmente ventiladas.

O projeto padrão foi modelado no OpenStudio® e no SketchUp Plug-in, extensão da ferramenta de modelagem SketchUp 3D da Trimble, que permite aos usuários criar rapidamente a geometria necessária para a simulação no EnergyPlus™.

As arquiteturas dos galpões, com variação na geometria da cobertura ventilada são apresentadas na Fig. 1. O modelo apresenta as seguintes dimensões: 12 m de largura x 25 m de comprimento x 4,55 m de altura. As aberturas com ventilação permanente (tipo cobogó) foram posicionadas nas laterais da edificação, com altura de 0,6 m, além das aberturas na própria cobertura. As características dos materiais construtivos e das paredes e coberturas são mostradas na Tab. 1. As simulações foram feitas nas condições com forro e sem forro.

Figura 1. Projeto e dimensões (m) do galpão agrícola de pequeno porte modelado no OpenStudio® SketchUp Plug-in.
A) Cobertura em shed; B) Cobertura com duas águas e lanternim.

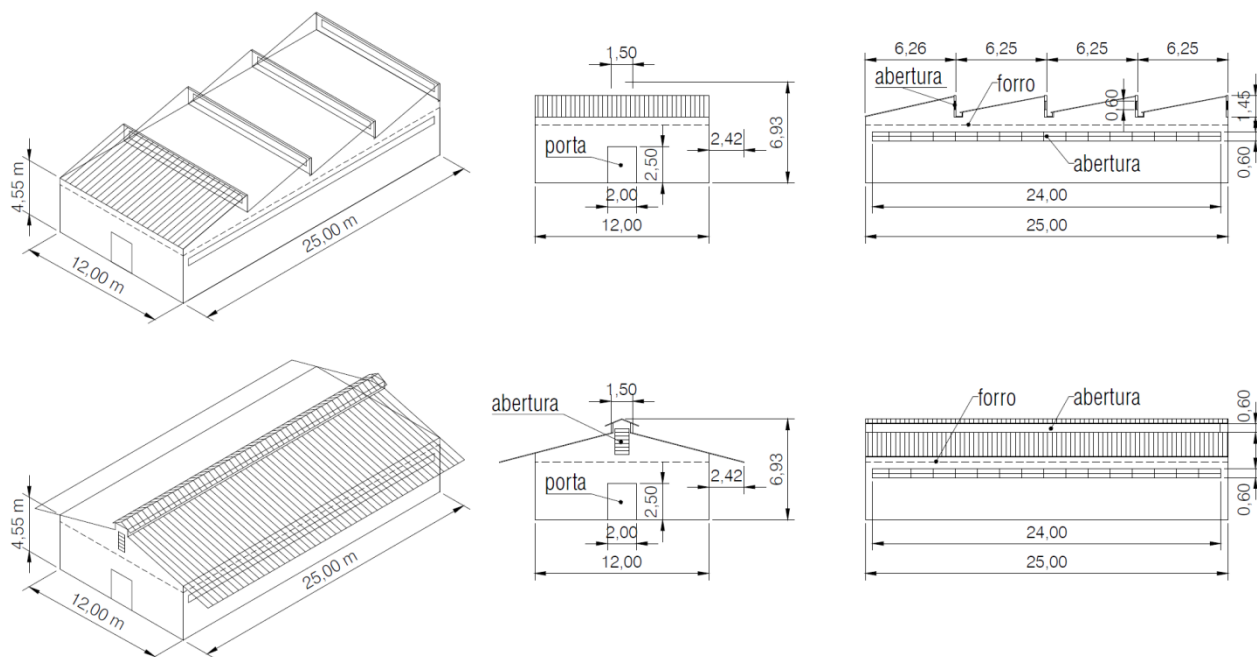
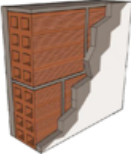




Tabela 1. Propriedades térmicas dos materiais de construção definidos no OpenStudio® SketchUp Plug-in.

Componente	Material	Massa Específica (ρ) [kg/m ³]	Condutividade térmica (λ) [W/m.K]	Calor específico (c) [J/kg.K]	Espessura (mm)
 Paredes	Tijolo Cerâmico Vazado	1800	1,15	0,92	90
	Argamassa Interna e externa	2000	1,15	1,00	25
 Cobertura	Chapa trapezoidal em Aço interna e externa	7800	55,0	460	1
	Poliestireno expandido moldado	20,00	0,04	1,42	35
 Forro	Gesso	784,9	0,16	0,83	12,7

2.3 Condições de Simulação

A simulação foi realizada utilizando dados do clima de Petrolina-PE, situada na latitude de $-9,39^\circ$ e longitude de $40,51^\circ$, a 370 m de altitude. Essa região está influenciada pelo Clima Tropical Semiárido, seco e muito quente, do tipo BSh (classificação climática de Köppen), com máxima precipitação em março e mínima em agosto, apresentando balanço hídrico negativo, alta radiação solar, bem como elevados valores de insolação e de radiação solar (Alvares *et al.*, 2014).

O arquivo climático, utilizado como dado de entrada para a simulação, foi elaborado aplicando-se a metodologia do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológica), pela qual determinou-se o dia típico de verão. Segundo Siqueira *et al.* (2005), este é definido como um dia real, com base em série histórica de, no mínimo, 10 anos, e é caracterizado pelo valor máximo da temperatura do ar e pela velocidade média do vento, ambos, tendo como referência os dados ao longo desta série.

A base de dados climatológicas utilizada foi a da Estação Meteorológica de Petrolina, situada no Campus de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Vale do São Francisco, e disponibilizada pelo Laboratório de Meteorologia desta mesma universidade. Considerou-se o período de 2008 – 2017. Após a aplicação da metodologia do IPT, obteve-se que o dia típico de verão seria 02 de Novembro de 2008. Enquanto que os demais dados inseridos para o cálculo da carga térmica foram:

- Temperatura de bulbo seco - 36,11 °C;
- Velocidade do ar - 4,37 m/s;
- Direção predominante dos ventos - 84°;
- Amplitude térmica diária - 13,2 °C.

Os galpões foram simulados em condições vazias, ou seja, sem equipamentos elétricos e sem ocupantes e para as diferentes orientações solares e ângulos de incidência dos ventos predominantes em relação à fachada indicadas por:

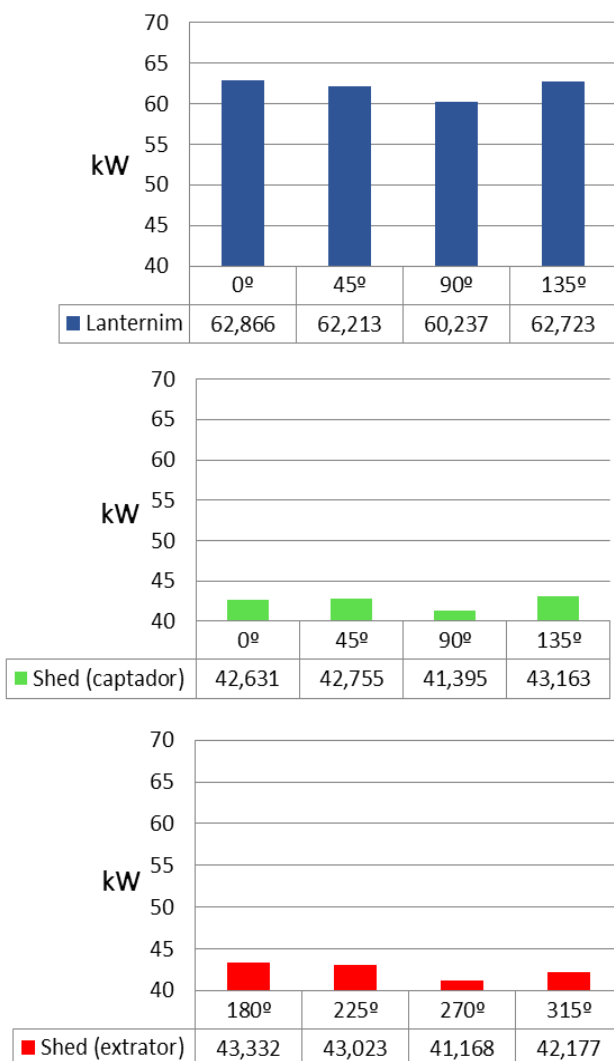
- Lanternim e Shed com aberturas funcionando como captador de ar (aberturas da cobertura voltadas para o vento incidente) - Norte a 0° (vento incidente a 84o), Norte 45° (vento incidente a 39o), Norte a 90° (vento incidente a 06°) e Norte 135° (vento incidente a 39°).
- Shed com aberturas funcionando como extrator de ar (aberturas da cobertura opostas ao vento incidente) - Norte a 180°, 225°, 270° e 315°.

3. RESULTADOS

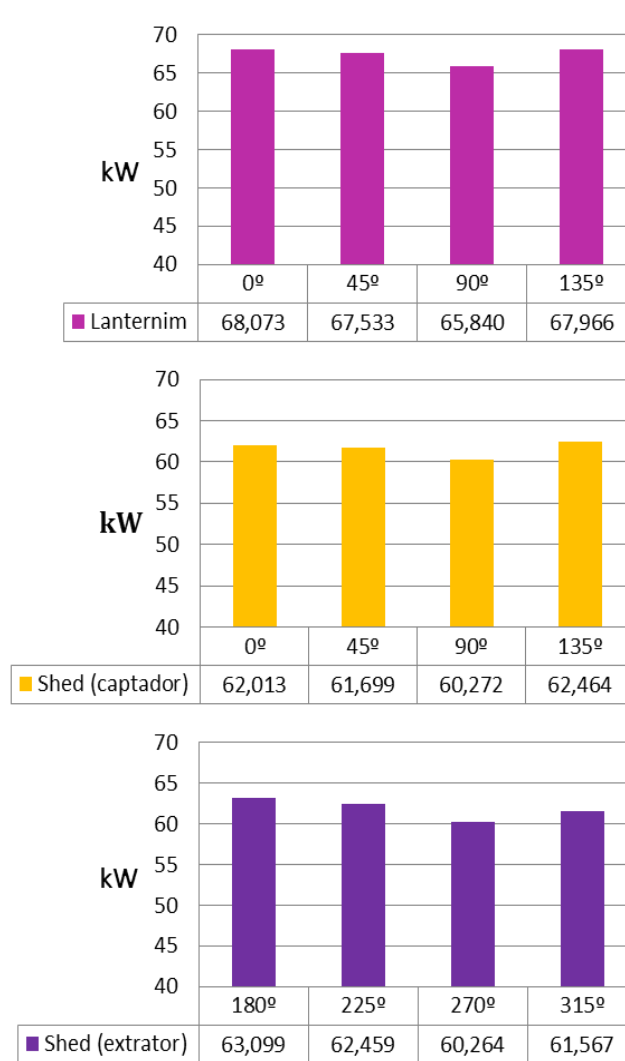
Os modelos tridimensionais tiveram suas cargas térmicas simuladas no *EnergyPlus*TM, e os resultados são apresentados na Fig. 2.

Figura 2. Carga Térmica [kW] do Shed e do Lanternim em diversas orientações: A) Com forro e B) Sem forro.

A) Com forro



B) Sem forro



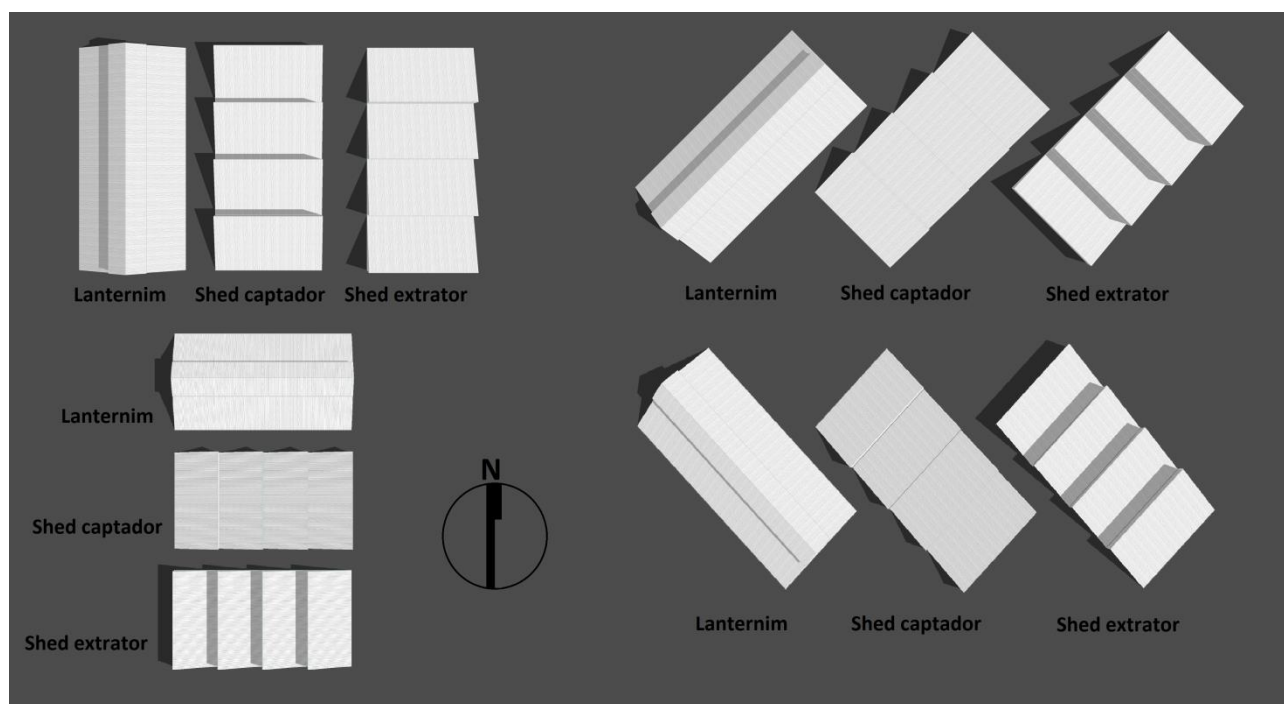
É notável que o desempenho térmico dos galpões melhorou com a inserção do forro de gesso, havendo a redução da carga térmica nas coberturas com os sistemas em "Lanternim" e em "Shed". A geometria do "Shed", na função de extrator ou de captador de ar, com forro de gesso, ocasionou na redução da carga térmica em cerca de 30%, quando comparado à condição sem forro. Já no "Lanternim", o uso do forro de gesso reduziu a carga térmica em 7%.

Estes resultados foram compatíveis aos obtidos por Cravo *et al.* (2015), ao analisarem o uso do forro em galpões aviários, concluindo que o forro é uma alternativa para amenizar o fluxo de calor para o interior dos galpões, reduzindo assim a carga térmica do ambiente.

Comparando-se apenas as geometrias na condição sem forro, à esquerda da Fig. 2, verificou-se que o "Shed como captador de ar" apresentou, em geral, as menores cargas térmicas, seguido pelo "Shed como extrator de ar" e pelo "Lanternim", provavelmente devido à perda de calor decorrente do efeito chaminé (trocas convectivas provocadas por diferenças térmicas).

A geometria da cobertura do Shed em "zigue-zague", pode ter criado uma área de sombreamento nas demais superfícies do telhado (Fig. 3), fazendo com que ocorresse uma maior amplitude térmica entre a saída de ar e o interior do galpão, aumentando assim a eficiência do efeito chaminé. Neves e Roriz (2012), afirmam que quanto mais elevada for a temperatura nas saídas de ar, mais eficiente será o efeito chaminé, consequentemente reduzindo a carga térmica da edificação.

Figura 3. Sombreamentos nas coberturas em Lanternim e em Shed nas diferentes orientações solares, a $9^{\circ}19'10''$ de latitude sul e $40^{\circ}33'39''$ de longitude oeste (Petrolina) no dia típico simulado, próximo ao nascer do Sol.



Comparando-se as cargas térmicas em função da orientação solar, observou-se um melhor desempenho das edificações orientadas no sentido longitudinal Leste-Oeste, ou seja, a 90° (Lanternim e Shed como captador de vento) ou 270° (Shed como extrator de vento), Fig. 3, e ventos predominantes a Leste. Este resultado corrobora com as recomendações feitas por Dacanal *et al.* (2018) relacionadas à orientação solar para packing houses em clima quente e seco.

O Shed como extrator de vento orientado a 270° apresentou os menores valores de carga térmica, na condição sem forro (60,264 kW) e com forro (41,168 kW), com valores ligeiramente superiores ao Shed como captador de vento, nesta mesma orientação.

Para explicar este fenômeno, sugere-se que, a circulação de ar interno no Shed como extrator de vento foi a mais eficiente por conter uma única entrada de ar na fachada, reduzindo a possibilidade de vórtices e consequentemente criando um escoamento de ar mais contínuo.

Neste sentido, Lukiantchuki *et al.* (2016) explicam que a extração de ar pelas aberturas do Shed propiciam um fluxo de ar interno contínuo e bem distribuído ao longo da edificação, quando a incidência de ar é perpendicular à fachada. Assim, o ar atravessa a abertura a barlavento, com altas velocidades, sofrendo uma redução após entrar no espaço, devido à expansão da corrente de ar. Já, quando o Shed atua como captador de ar, o fluxo incidente na cobertura com altas velocidades gera uma forte zona de separação com a formação de uma sombra de vento, ocasionando uma queda na

pressão das demais água. Isso pode explicar a menor carga térmica obtida nas simulações do Shed nas orientações de 0° e 45°, quando comparada as de 180° e 225°.

4. CONCLUSÕES

Com isso o estudo permitiu concluir que, houve um ganho de desempenho térmico dos galpões com a inserção do forro de gesso, diminuindo a carga térmica do ambiente. Essa eficiência acontece pois a extração de ar pelas aberturas do Shed provocam um fluxo de ar interno contínuo e bem distribuído, pois, quando o ambiente é atingido por altas velocidades, reduzindo logo após entrar no espaço, ocorre uma expansão da corrente de ar, que causa a distribuição contínua em todo o ambiente. Isso explica a redução da carga térmica nas orientações de 0° e 45°, quando comparada as de 180° e 225°, no sistema Shed.

5. REFERÊNCIAS

- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., de Moraes Gonçalves, J. L., Spavorek, G., 2013. "Koppen's climate classification map for Brazil". *Meteorologische Zeitschrift*, Vol. 22, n. 6, p. 711-728.
- Andelković *et al.*, 2016. "Experimental validation of a EnergyPlus model: Application of a multi-storey naturally ventilated double skin façade". *Energy and Buildings*, Vol.118, p. 27-36.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 2005. "NBR 15220/2: Desempenho térmico em edificações. Parte 2: Método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações". Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 2005. "NBR 16401/1: Instalações de Ar Condicionado - Sistemas Centrais e Unitários parte 1 - Projeto das Instalações". Rio de Janeiro.
- Barbosa, S. A *et al.*, 2013. "Método de utilização do programa Energyplus para verificação de desempenho térmico de ambientes com fachadas duplas". *Ambiente Construído*, Vol. 13, n. 4, p. 121-134.
- Carneiro, T. A. *et al.*, 2015. "Condicionamento térmico primário de instalações rurais por meio de diferentes tipos de cobertura". *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Vol. 19, n. 11, p. 1086-1092.
- Cravo, J. C. M., 2015. "Compósito À Base De Resíduos Agrícolas Para Aplicação Como Forro Em Aviários". *Brazilian Journal of Biosystems Engineering*, Vol. 9, n. 4, p. 358-367.
- Elshafei, G. *et al.*, 2017. "Numerical and Experimental Investigations of the Impacts of Window Parameters on Indoor Natural Ventilation in a Residential Building". *Energy and Building*, Vol. 141, p. 321-332.
- Energyplus™. Energyplus™ Website. Disponível em:< <https://energyplus.net/> >. Acesso em: 20 Mai. 2019.
- Iffa, E., Tariku F., 2015. "Attic baffle size and vent configuration impacts on attic ventilation". *Building and Environment journal*, Vol. 89, p. 28-37.
- Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Disponível em:< <https://www.inmet.gov.br>>. Acesso em: 20 Mai. 2019.
- Lukiantchuki M. A., 2014. "Natural Ventilation by Air Captors and Extractors Sheds in Hospitals. Wind Tunnel Measurements". *Journal of Civil Engineering and Architecture (Print)*, Vol. 8, p. 1293.
- Lukiantchuki M. A., 2016. "Sheds extratores e captadores de ar: influência da geometria e da dimensão das aberturas no desempenho da ventilação natural nas edificações". *Ambiente Construído*, Vol. 16, p. 83-104.
- Meiss A. *et al.*, 2017. "Methodology Applied to the Evaluation of Natural Ventilation in Residential Building Retrofits: A Case Study". *Energies*, Vol. 10, p. 456-475.
- Siqueira T. C. P. A. *et al.*, 2005. "Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações". *Revista Escola de Minas*, Vol. 58, n. 2, p. 133-138.
- Yang Y. *et al.*, 2015. "Evaluation of Different Thermal Models in EnergyPlus for Calculating Moisture Effects on Building Energy Consumption in Different Climate Conditions". *Procedia Engineering*, Vol. 121, p. 1635-1641.
- Yu O. -Y., Moore, S., 2015. "A case study for the effectiveness of solar-powered attic ventilation fans". *Energy Efficiency*, Vol. 8, n. 4, p. 691-698.

6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.