XVIII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
XIV ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
AMBIENTE CONSTRUÍDO E USUÁRIO: PERSPECTIVAS LATINO-AMERICANAS

Efeitos do sombreamento no desempenho térmico de tendas emergenciais empregadas em respostas a crises humanitárias

Análisis del desempeño térmico de tiendas de campaña de emergencia empleadas en respuestas a crisis humanitárias

Analysis of the thermal performance of emergency tents employed in humanitarian crisis responses

Desempenho térmico do ambiente construído / *Desempeño térmico del entorno construído / Thermal performance of the built environment*

Marques, Arthur Peixoto
Engenheiro de Fortificação e Construção, Estudante de Mestrado da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, arthurpmarques@usp.br

Sowmy, Daniel Setrak
Engenheiro Civil, Doutor, Professor da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo / Pesquisador do Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, Brasil, dss@usp.br

Resumo

Este artigo trata do tema da eficiência térmica de edificações, particularmente de uma tenda utilizada em operações humanitárias. O objetivo foi avaliar os efeitos do sombreamento sobre a temperatura operativa interna de uma tenda através de simulações computacionais utilizando o programa EnergyPlus. Foram simulados quatro casos: tenda aberta e fechada, sombreada e exposta à radiação solar direta. Os resultados mostraram que tanto o sombreamento quanto a abertura das portas e janelas para a passagem de ar reduzem a temperatura operativa interna, embora o maior efeito seja provocado pela primeira estratégia, com redução na temperatura operativa de até 12°C quando os vãos estão fechados e 5°C quando abertos. Os resultados mostram que soluções simples podem reduzir substancialmente a temperatura interna da tenda, ofertando um ambiente mais agradável aos seus ocupantes, já estressados devido à sua situação de afetado.

Palavras-chave: Eficiência térmica. Tenda humanitária. Simulação computacional.

Resumen

Este artículo trata sobre la eficiencia térmica de edificaciones, particularmente de una tienda utilizada en operaciones humanitarias. El objetivo fue evaluar los efectos del sombreado sobre la temperatura operativa interna de una tienda mediante simulaciones computacionales utilizando el programa EnergyPlus. Se simularon cuatro casos: tienda abierta y cerrada, sombreada y expuesta a la radiación solar directa. Los resultados mostraron que tanto el sombreado como la apertura de puertas y ventanas para la circulación del aire reducen la temperatura operativa interna. Sin embargo, el mayor efecto es provocado por la primera estrategia, con una reducción de la temperatura operativa de hasta 12°C cuando los vanos están cerrados y de 5°C cuando están abiertos. Los resultados indican que soluciones simples pueden reducir sustancialmente la temperatura interna de la tienda, proporcionando un ambiente más confortable para sus ocupantes, quienes ya están estresados debido a su situación de afectados.

Palabras clave: Eficiencia térmica. Tienda humanitaria. Simulación computacional.

Abstract

This article addresses the topic of thermal efficiency in buildings, particularly a tent used in humanitarian operations. The objective was to evaluate the effects of shading on the internal operative temperature of a tent through computational simulations using the EnergyPlus program. Four cases were simulated: tent open and closed, shaded and exposed to direct solar radiation. The results showed that both shading and the opening of doors and windows for air circulation reduce the internal operative temperature. However, the greatest effect is caused by the first strategy, with a reduction of the operative temperature up to 12°C when the openings are closed and 5°C when they are open. The findings indicate that simple solutions can substantially reduce the tent's internal temperature, providing a more comfortable environment for its occupants, who are already stressed due to their affected situation.

Keywords: Thermal efficiency. Humanitarian tent. Computational simulation.

Introdução

Os desastres, sejam eles naturais ou políticos, que envolvem grandes deslocamentos de seres humanos das suas residências, como terremotos, enchentes, guerras, crises alimentares, dentre outros, exigem rápida oferta de abrigamento aos deslocados. Para tanto, as agências humanitárias lançam mão de diversas estratégias, como a distribuição dos afetados em ginásios, hotéis, escolas, e até mesmo a construção de campos de refugiados. Nestes, é comum encontrar o uso de tendas, visto que são de rápida montagem, possuem facilidade logística e são de baixo custo, se comparados à uma solução definitiva como a construção de casas, por exemplo.

No Haiti, devido ao terremoto de 2010, foram utilizados 1,6 milhões de abrigos temporários (MURRAY, 2015). Na China, após o terremoto ocorrido na província de Wenchuan em 2008, foram utilizadas aproximadamente 1,5 milhões de tendas até que soluções permanentes fossem criadas (ZHANG et al., 2017a). No Brasil é possível citar o uso de estruturas temporárias de abrigamento na Operação Acolhida, situada em Roraima, a qual recebe refugiados venezuelanos.

Outro uso bastante adequado para tendas ocorreu durante o enfrentamento à pandemia de COVID-19, nos anos de 2020 e 2021. Devido ao grande número de acometidos pela doença, os leitos existentes nos hospitais foram completamente ocupados. Então, dada a urgente necessidade, não só no Brasil, mas em diversas partes do mundo, foram montados hospitais de campanha, tipicamente utilizados em guerras, dada sua rapidez de montagem e baixo custo. No Brasil foram montados 214 hospitais de campanha desde o início da crise até setembro de 2020 (SANTOS, ALETHELE DE OLIVEIRA, 2021).

Ocorre, entretanto, que nas facilidades do uso de tendas encontram-se também alguns inconvenientes, como menor robustez, espaço reduzido e desconforto térmico, seja ele no inverno, seja no verão. Portanto, o tema do desempenho térmico das mesmas é de grande relevância para o campo humanitário em um primeiro momento, e também para a eficiência energética de ambientes refrigerados, em um segundo tipo de utilização, como em hospitais de campanha, compostos por um conjunto d tendas justapostas, em que o sistema de climatização é responsável por quase 70% do consumo de energia elétrica (OLIVEIRA DA SILVA; SETRAK SOWMY, 2023). Embora o estudo do tema seja importante, são poucas as pesquisas relacionadas às tendas (POSCHL, 2016), (CORNARO et al., 2015).

Ainda que seja adequado estudar o desempenho das tendas em situações complexas, isto é, em que diversos fatores de risco estejam presentes (altas ou baixas temperaturas, ventos, neve etc), como defendem Cao et al. (2023), a análise do desempenho térmico ajudará na criação de soluções para reduzir ao menos um fator de estresse ambiental que atua no ser humano abrigado, o qual já se encontra em situação de desconforto emocional.

Como é esperado e também comprovado pela experiência dos usuários, registrada por diversos autores, as tendas, dada sua baixa capacidade térmica, ou esquentam ou esfriam rapidamente, podendo trazer desconforto térmico ao usuário. Portanto, para minimizar o ganho de calor, Zhang et al.(2017b) estudaram o uso de materiais refletivos na envoltória, o que provou ser eficaz. Também, Liu et al. (2016) testaram o efeito da sombra com diferentes tipos de telas de sombreamento, das utilizadas em hortas e viveiros, e verificaram que entre um percentual de sombra de 75% e 96%, a diferença de temperatura de bulbo seco a 2,0 m de altura no interior da tenda pode chegar a aproximadamente 4°C.

Portanto, este artigo aborda o tema da eficiência térmica de um modelo de tenda utilizado em operações humanitárias, e tem por objetivo verificar, por meio de simulações computacionais, se a estratégia de a sombrear de fato irá trazer benefícios aos usuários em um dia típico de verão.

Materiais e Metodologia

Objeto

O objeto analisado foi uma tenda de lona pesada de material PVC, na cor verde-oliva. A mesma possui dimensões de 5,0 m por 6,24 m, e 2,84 m até a cumeeira. Nas faces anterior e posterior há uma porta e duas janelas em cada, bem como em cada lateral, três janelas, conforme Figura 1.

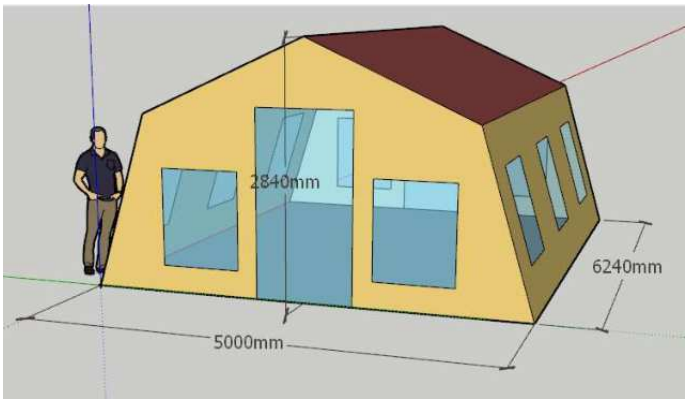
Figura 1 - Uso real da tenda em contexto de operação militar.



Fonte: O autor (2025).

Para as simulações, a tenda foi modelada no programa SketchUp com a utilização do aplicativo OpenStudio, conforme a Figura 2. Neste modelo, algumas simplificações foram realizadas, como a desconsideração de excessos de material, infiltração nula de ar pela superfície da lona, não modelagem dos tubos de aço e suas conexões, consideração de isotropia dos materiais e desconsideração de fontes de calor internas à tenda.

Figura 2 - Dimensões da tenda analisada.



Fonte: O autor (2025).

Clima

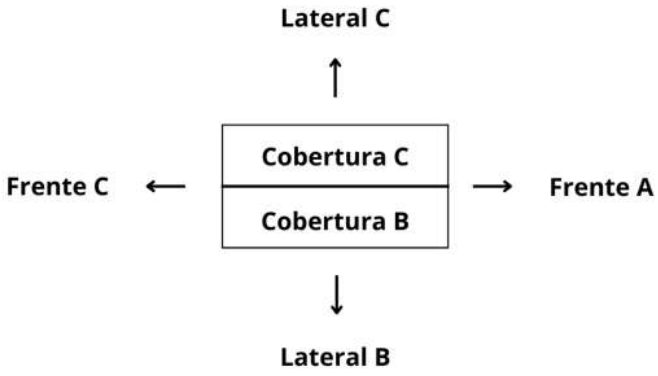
As simulações foram realizadas para a cidade de São Paulo-SP, com o arquivo climático correspondente do tipo TMY (*Typical Metereological Year*) dos anos 2009 a 2023, obtido no site climate.onebuilding.org, o qual indica que o dia típico de verão desse período foi 21 de fevereiro de 2009. O clima é categorizado como subtropical-húmido (Cfa) pela classificação de Köppen-Geigger, o qual possui estações bem definidas, com verão quente e úmido, no qual as temperaturas máximas em determinados dias podem ultrapassar os 32°C.

Simulações

As simulações foram feitas utilizando os programas *SketchUp 2017, OpenStudio2.9.1 e EnergyPlus 9.2.0,* sendo este o verdadeiro simulador, e aqueles, aplicativos de apoio para a montagem do modelo, resultando em gráficos de temperaturas operativas internas para cada caso, a fim de permitirem a comparação entre as situações analisadas.

Como as propriedades da lona não são de fácil aquisição dos fabricantes, foi utilizada a resistência térmica de uma tenda americana similar, na cor verde oliva, de 0,0263 m²K/W (MALCOLM e PILSWORTH, 1978), absortância térmica de 90%, absortância solar total e visível de 70%, e uma superfície rugosa (POSCHL, 2016). No EnergyPlus a lona da tenda foi considerada sem massa, devido à sua baixa espessura, de 0,45 mm. Antes de simular os efeitos do sombreamento, foi simulada qual a melhor orientação da tenda em relação ao norte geográfico, considerando que as temperaturas ao longo do ano são mais quentes que frias, isto é, buscou-se qual a orientação que menos absorve radiação solar ao longo de um ano inteiro, considerando a tenda totalmente fechada. A nomeação das superfícies encontra-se na Figura 1. Conforme observado na Tabela 1, a orientação Leste-Oeste proporciona menor absorção de radiação solar total ao longo de um ano, portanto, tal será a orientação escolhida para verificar os efeitos do sombreamento sobre a temperatura operativa interna da tenda.

Figura 1- Superfícies da tenda estudada. Vista de topo.



Fonte: O autor (2025).

Tabela 1 - Absorção de radiação solar nas faces da tenda simulada ao longo de um ano, com menor valor para a orientação L-O.

Orientação do maior eixo da tenda	Frente A	Frente C	Lateral B	Lateral D	Cobertura B	Cobertura D	Total Anual Radiação Absorvida (kWH)
L-O	10.5%	11.6%	8.0%	21.8%	19.9%	28.2%	53.942,3
N-S	5.1%	13.1%	17.5%	16.1%	24.5%	23.7%	54.435,0

Fonte: O autor (2025).

Escolhida a direção L-O, para as simulações dos efeitos do sombreamento, não foram consideradas a ocupação de pessoas e nem a contribuição de energia térmica oriunda de equipamentos elétricos, pois os ganhos térmicos solares estão em ordem de grandeza bastante acima dessas contribuições humanas nos dias ensolarados, além de não serem permitidas, geralmente, instalações elétricas nas tendas dos refugiados. Foram consideradas janelas e portas abertas (permeabilidade total ao movimento do ar externo - vento) e totalmente fechadas, bem

como sombreamento feito por elemento de sombra modelado do próprio EnergyPlus no campo *Shading: Building: Detailed,* e também a situação de exposição total ao sol, resultando nos cenários apresentados na Tabela 2.

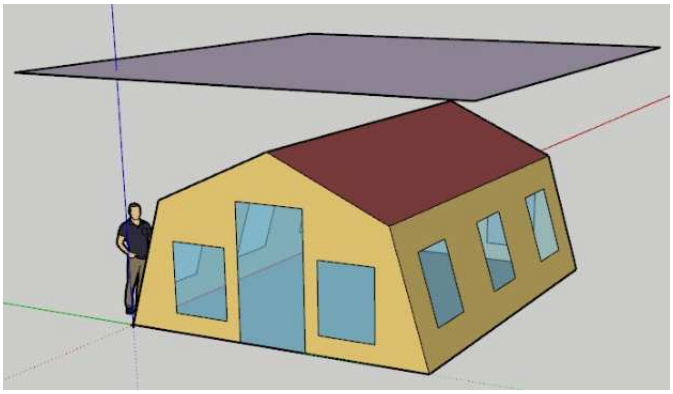
Tabela 2: Cenários simulados.

Cenário	Portas e Janelas	Sombreamento
A	Fechadas	Não
B	Fechadas	Sim
C	Abertas	Não
D	Abertas	Sim

Fonte: O autor (2025).

A Figura 2 mostra a disposição do elemento de sombra em relação à tenda, tendo sido colocado a 1,0 m acima da cumeeira, com dimensões que excedem em 1,0 m a largura e comprimento do objeto.

Figura 2 - Representação da tenda com sombreamento.



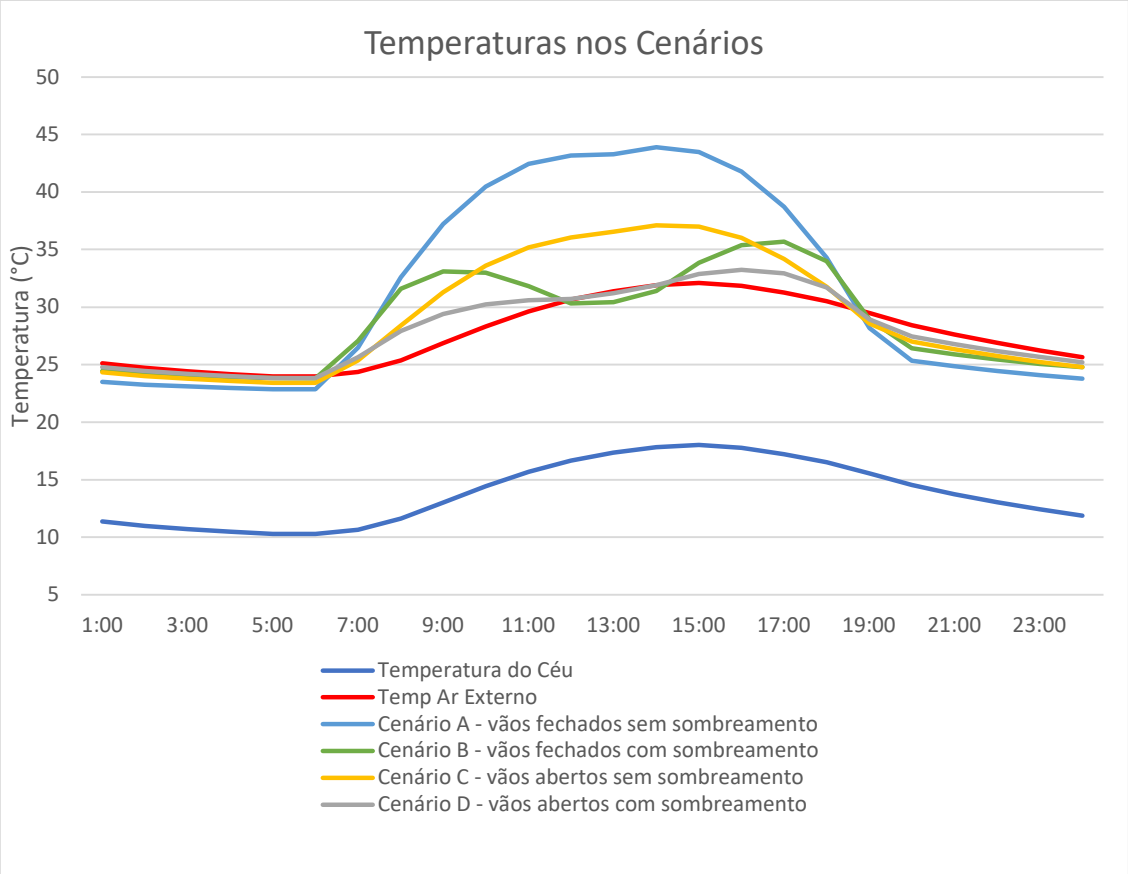
Fonte: O autor (2025).

A temperatura do céu foi calculada através do algoritmo do próprio EnergyPlus, o qual considera fatores como a radiação infravermelha horizontal do céu, o cobrimento de nuvens e a temperatura do ar. Quanto mais nublado, maior a temperatura do céu. Por outro lado, a temperatura do solo utilizada, a 20,0 cm de profundidade, segundo (FUNARI e PEREIRAFILHO, 2017), é de 26,0°C para o mês de fevereiro na região metropolitana de São Paulo.

Resultados

As simulações mostram que o problema de fato é importante, e merece ser analisado com profundidade em se tratando de operações humanitárias, visto que, nos casos mais extremos, em que a tenda está totalmente fechada e sem sombreamento, a temperatura operativa interna atinge quase 44°C às 14:00, como observado no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Temperatura operativa horária no interior da tenda nos diferentes cenários analisados.



Fonte: O autor (2025).

O Gráfico 1 mostra as temperaturas operativas nos quatro cenários propostos, a cada hora do dia, bem como a temperatura do ar externo e a temperatura do céu. Dele é possível extrair diversos resultados, como o de que o sombreamento reduz consideravelmente a temperatura

operativa interior tanto em relação ao cenário A quanto ao C, favorecendo o conforto térmico. Observa-se também que o elemento de sombra dificulta o resfriamento após a meia noite, visto que ambos os cenários descobertos perdem calor com maior rapidez no período noturno.

O sombreamento reduz a temperatura operativa em aproximadamente 12°C quando os vãos estão fechados, e em aproximadamente 5°C quando abertos, às 14:00 do dia.

Do Gráfico 1 também é possível observar mais claramente no cenário B a incidência solar na tenda. Assim que o sol nasce, há a incidência de radiação na face voltada para leste, promovendo rápido aumento de temperatura interna. Porém, quando o sol está mais alto, incidindo diretamente sobre a cobertura de lona, resta apenas a radiação difusa a incidir na tenda, a qual chega a ter temperatura levemente menor que a do ar externo devido à perda de energia para o solo, a 26°C. Portanto, uma outra possibilidade seria o sombreamento também das faces voltadas para oeste e leste. A mesma conclusão pode ser feita para o cenário D, com os vãos abertos e sombreados.

Uma segunda análise, agora feita para o período entre meia noite e 06:00, mostra que a temperatura interna cai mais para os casos sem sombreamento. Tal situação ocorre porque a tenda está exposta diretamente ao céu, que está em temperatura mais baixa, enquanto que no caso da cobertura extra, a mesma funciona como elemento refletor de radiação térmica, devolvendo para a tenda parte das emissões. Portanto, idealmente, o melhor procedimento seria retirar a cobertura extra durante a noite, para promover um resfriamento mais veloz da superfície.

Observa-se que durante o dia as temperaturas operativas são maiores que 24°C, o que pelo ASHRAE Handbook Fundamentals (ASHRAE, 2005), para a umidade diurna média de 74%, traz desconforto térmico ao usuário. Ou seja, o sombreamento reduz os picos de temperatura operativa interna, mas não oferece uma solução definitiva para o problema neste dia de verão, embora, em uma análise anual, possa aumentar as horas de conforto térmico totais.

Do gráfico também é possível verificar que a abertura dos vãos reduz a temperatura operativa em aproximadamente 6°C às 14:00 para a situação exposta ao sol e em 2°C para o cenário sombreado, às 17:00.

Conclusões

Com base nos resultados obtidos, este estudo reforça a compreensão sobre o desempenho térmico das tendas utilizadas nas operações humanitárias, destacando que a falta de isolamento térmico produz um ambiente desconfortável nos dias de verão, e que o sombreamento da tenda reduz sensivelmente as temperaturas internas, em até 12°C para o cenário de portas e janelas fechadas e 5°C quando abertas.

A análise realizada evidencia a importância da pesquisa de melhorias na eficiência térmica das habitações voltadas para o bem estar dos afetados, contribuindo para o avanço do conhecimento no desempenho térmico do ambiente construído e fornecendo subsídios para futuras pesquisas e aplicações práticas.

Os resultados mostram que tanto o sombreamento quanto a abertura das portas e janelas reduzem a temperatura interna da tenda para o cenário simulado, embora o sombreamento seja mais eficiente nesse intento, indicando aos gestores de campos de abrigados que busquem atuar também neste tipo de solução.

Outra conclusão para esta tenda é que a orientação que reduz a absorção anual total de radiação na cidade de São Paulo-SP é aquela em que o eixo maior está na direção leste-oeste, estando ou não com as janelas abertas.

Outras pesquisas podem ser realizadas para resolver o problema da eficiência térmica, como o uso de outras geometrias, novos materiais no envelope como mantas refletoras, mantas isolantes, telas de sombreamento, dentre outros. Também é importante a condução de testes de campo com o objeto em questão, bem como testes laboratoriais para a definição das propriedades térmicas das lonas atualmente utilizadas.

Portanto, este estudo concluiu que o sombreamento reduz sensivelmente o ganho térmico por radiação solar pelas tendas e que, embora não resolva em definitivo o problema dos picos de temperatura, certamente aumentam o número de horas com temperaturas mais agradáveis ao usuário durante a ocupação.

Referências

ASHRAE. ASHRAE Handbook: Fundamentals. **American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning**, 2005.

CAO, K. et al. The thermal environment and thermal comfort of disaster relief tents in high-temperature composite environment. **Case Studies in Thermal Engineering**, v. 50, n. September, p. 103453, 2023.

CORNARO, C. et al. Thermal performance analysis of an emergency shelter using dynamic building simulation. **Energy and Buildings**, v. 88, p. 122–134, 2015.

FUNARI, F. L.; PEREIRAFILHO, A. J. ESTIMATIVA DO FLUXO DE CALOR NO SOLO A PARTIR DA TEMPERATURA DO SOLO EM SÃO PAULO, SP. **Revista do Instituto Geológico**, v. 38, n. 1, p. 49–57, 2017.

LIU, J. et al. Experiment research on shading to improve the thermal environment of tents. **MATEC Web of Conferences**, v. 61, p. 5–8, 2016.

MALCOLM, N.; PILSWORTH, JR. The Calculation of Heat Loss from Tents. p. 24, 1978.

MURRAY, L. Sheltering from disaster. **Engineering and Technology**, v. 10, n. 1, p. 58–61, 2015.

OLIVEIRA DA SILVA, H.; SETRAK SOWMY, D. **APLICAÇÃO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS FLEXÍVEIS PARA O ATENDIMENTO DE HOSPITAIS DE CAMPANHA DO EXÉRCITO BRASILEIRO**. 14 out. 2023. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/sispred/article/view/2955>

POSCHL, R. A. **Modelling the thermal comfort performance of tents used in humanitarian relief**. [s.l: s.n.].

SANTOS, ALETHELE DE OLIVEIRA, L. T. L. **Acesso e Cuidados Especializados**. Brasília-DF: [s.n.]. v. 5

ZHANG, L. et al. Experimental study on indoor air thermal equilibrium model of the tent. **International Journal of Low-Carbon Technologies**, v. 12, n. 1, p. 36–42, 2017a.

ZHANG, L. et al. Effect of retro-reflective materials on temperature environment in tents. **Case Studies in Thermal Engineering**, v. 9, n. 288, p. 122–127, 2017b.