XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável
Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

Avaliação do desempenho térmico da envoltória de um módulo de habitação temporária em diferentes cidades brasileiras

Evaluation of thermal performance by temporary housing module envelope in different Brazilian cities

Gabriella De Souza Domingues
Universidade Presbiteriana Mackenzie | São Paulo | Brasil | gabrielladominguess@hotmail.com
Loyde Vieira de Abreu-Harbich
Universidade Presbiteriana Mackenzie | São Paulo | Brasil | loyde.harbich@mackenzie.br

Resumo

O objetivo desse trabalho é avaliar o desempenho térmico da envoltória de uma habitação temporária. Por meio de simulação computacional através do software DesignBuilder, obteve-se o Percentual de Horas Confortáveis para três cidades: Porto Alegre, São Paulo e Rio Branco. As principais adaptações analisadas para estratégia de melhoria do desempenho térmico foram: aumento ou diminuição do isolamento da envoltória e o controle da ventilação natural pelas janelas. Os resultados mostraram que em Rio Branco deve-se manter as janelas sempre abertas e com proteção contra o sol promovendo a ventilação natural e em São Paulo, controle das aberturas das janelas.

Palavras chaves: Simulações Termo energéticas, DesignBuilder software, Arquitetura Bioclimática

Abstract

An objective application module is one of these to evaluate the thermal performance of the work envelope. Through computer simulation using Design Builder software, it can e extract comfortable hours for three cities: Porto Alegre, São Paulo, and Rio Branco. The principal adaptation scenarios for improvements were insulation of enveloping and control of natural ventilation by windows. The results show that Rio Branco should keep the windows always open and with protection from the sun to promote natural ventilation and in São Paulo, control the flow of windows in São Paulo.

Keywords: *Thermal energetic simulation, DesignBuilder software, bioclimatic architecture.*

Como citar:
ABREU-HARBICH, L. V; DOMINGUES, G. S. Avaliação do desempenho térmico da envoltória de um módulo de habitação temporária em diferentes cidades brasileiras. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. XXX-XXX.

INTRODUÇÃO

Quando um evento climático extremo acontece nas cidades brasileiras, as pessoas que estão morando em áreas de risco estão mais vulneráveis ao risco de suas residências serem afetadas por deslizamentos de terra, enxurradas, enchentes e outros. As pessoas desalojadas e desabrigadas podem precisar de um lugar temporário para morar até que possam reestabelecer suas moradias.

Segundo o Glossário de Defesa Civil, Estudos de Riscos e Medicina de Desastres, as terminologias "desalojados" e "desabrigados" são diferentes. O termo "desalojados" refere-se a pessoas que foram obrigadas a abandonar suas casas em função de evacuações preventivas ou de destruição e não necessariamente carecem de um abrigo provido pelo sistema, podendo ser abrigadas em casas de conhecidos. Enquanto o termo "desabrigados" refere-se a pessoas que tiveram suas habitações afetadas e necessitam de abrigo provido pelo governo [1].

O "abrigo temporário de caráter emergencial" ou "habitação temporária" é objeto de estudo deste presente artigo e surge como resposta aos desastres, sejam eles naturais ou não. Esses eventos são acontecimentos determinantes para a idealização de um abrigo, tornando-o fundamental em situações desse tipo.

É importante entender as fases de um desastre e suas diferentes respostas necessárias em relação a moradia. Em um primeiro momento, assim que ocorre um desastre, a resposta deve ser imediata na tentativa de garantir a sobrevivência das vítimas, abrangendo do instante do impacto até aproximadamente 5 dias. Nessa etapa, é comum que as vítimas sejam realocadas em grandes edifícios públicos como ginásios escolares. No segundo momento, a resposta acontece a partir do quinto dia de impacto, quando são enviados ao local de necessidade abrigos temporários que atenderão às vítimas até que a reconstrução de seus lares seja feita.

Segundo o documento das Nações Unidas, *Shelter After Disaster* [2], o estágio do pós-desastre pode ser divido em três fases, conforme observado na Figura 1: auxílio imediato – do dia do impacto até aproximadamente cinco dias; reabilitação – geralmente do quinto até três meses após o desastre, sendo que em alguns casos este período pode se prolongar; reconstrução – abrangendo do terceiro mês em diante.

Figura 1: As habitações nas três fases do pós-desastre.



Fonte: DAVIS [2]

A construção de abrigos temporários poderá fornecer uma alternativa de habitação para a população afetada por desastres, mantendo-a em segurança. A arquitetura efêmera surge aqui então como uma possível solução, pois é importante que as pessoas desabrigadas estejam em um lugar seguro, adaptado ao clima local, com infraestrutura básica, preservando sua dignidade e mantendo o contato com a comunidade com as quais elas se relacionam. Assim, a necessidade por um abrigo torna-se fundamental em uma situação de emergência, sendo que este pode ser uma

das chaves para salvar vidas e prolongar a sobrevivência das pessoas, principalmente se eles forem adaptados às condições do clima local frente às mudanças climáticas.

OBJETIVO

O objetivo desse trabalho é avaliar o desempenho térmico da envoltória de um módulo de habitação temporária por meio de simulação computacional para três cidades brasileiras (Rio Branco, São Paulo e Porto Alegre).

MÓDULO DE ABRIGO TEMPORÁRIO

Segundo o manual de Administração de Abrigos Temporários [3], existem dois tipos de instalação desses abrigos, fixa ou móvel. A instalação fixa é quando as grandes edificações públicas são adaptadas para habitação temporária, como ginásios e escolas por exemplo, em alguns casos também é possível adaptar edifícios privados para tal como hotéis ou clubes. A instalação móvel, são barracas no padrão da ONU, feitas de material incombustível com 25m² cada e comportam até 5 pessoas.

No Brasil, os abrigos mais utilizados são as tipologias de barracas disponibilizadas pela Defesa Civil, como as utilizadas para famílias desabrigadas após o desastre ambiental da cheia histórica do Rio Madeira em Rondônia em 2014, (figura 2). Neste caso, cerca de 30 mil pessoas, onde 1.806 famílias ficaram desabrigadas e 4.226 famílias ficaram desalojadas, tendo que recorrer a casa de parentes ou amigos. Para auxiliar no suporte das famílias desabrigadas, o governo federal enviou cerca de 500 barracas para região mais afetada [4]. Salienta-se que essas barracas provocaram um grande desconforto térmico por calor e o governo do estado teve que adaptar a envoltória com a criação de uma proteção térmica extra e a distribuição de ventiladores para cada família alojada.

Figura 2: Abrigo Único montado em Porto Velho passa desabrigados da cheia do Rio Madeira



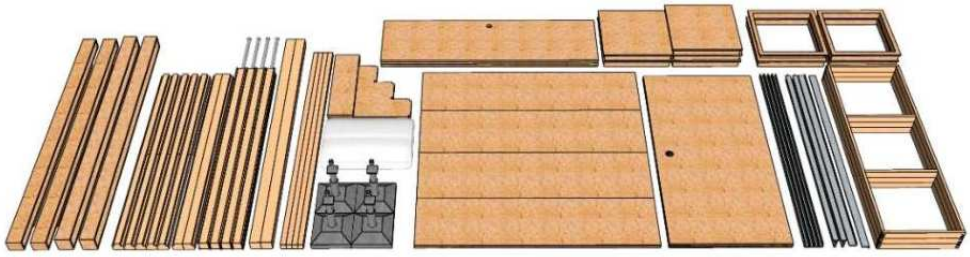
Fonte: RONDONIAGORA [4]

Nesta pesquisa, foi desenvolvido pelos autores um módulo de abrigo de fácil montagem e que promovem a interação entre as pessoas ao estimular a montagem em grupos. O sistema construtivo escolhido, conhecido como *flat-pack* (Figura 2),

envolve peças pré-fabricadas que são enviadas em kits para instalação no local conforme necessidade e, como qualquer sistema, possui vantagens e desvantagens.

A desvantagem desse sistema construtivo está relacionada ao tempo, já que essas moradias não têm a mesma rapidez de instalação que os abrigos que já chegam prontos. Por outro lado, esse sistema apresenta vantagens relevantes. Primordialmente, o transporte do abrigo é facilitado através das peças soltas em kits, diminuindo o volume dentro do transporte e possibilitando sua condução em maior quantidade ao local, contribuindo para adiantar o processo de implantação, além do que a acessibilidade em locais mais complexos se torna mais factível.

Figura 2: Peças do kit flat-pack.



Fonte: Autor

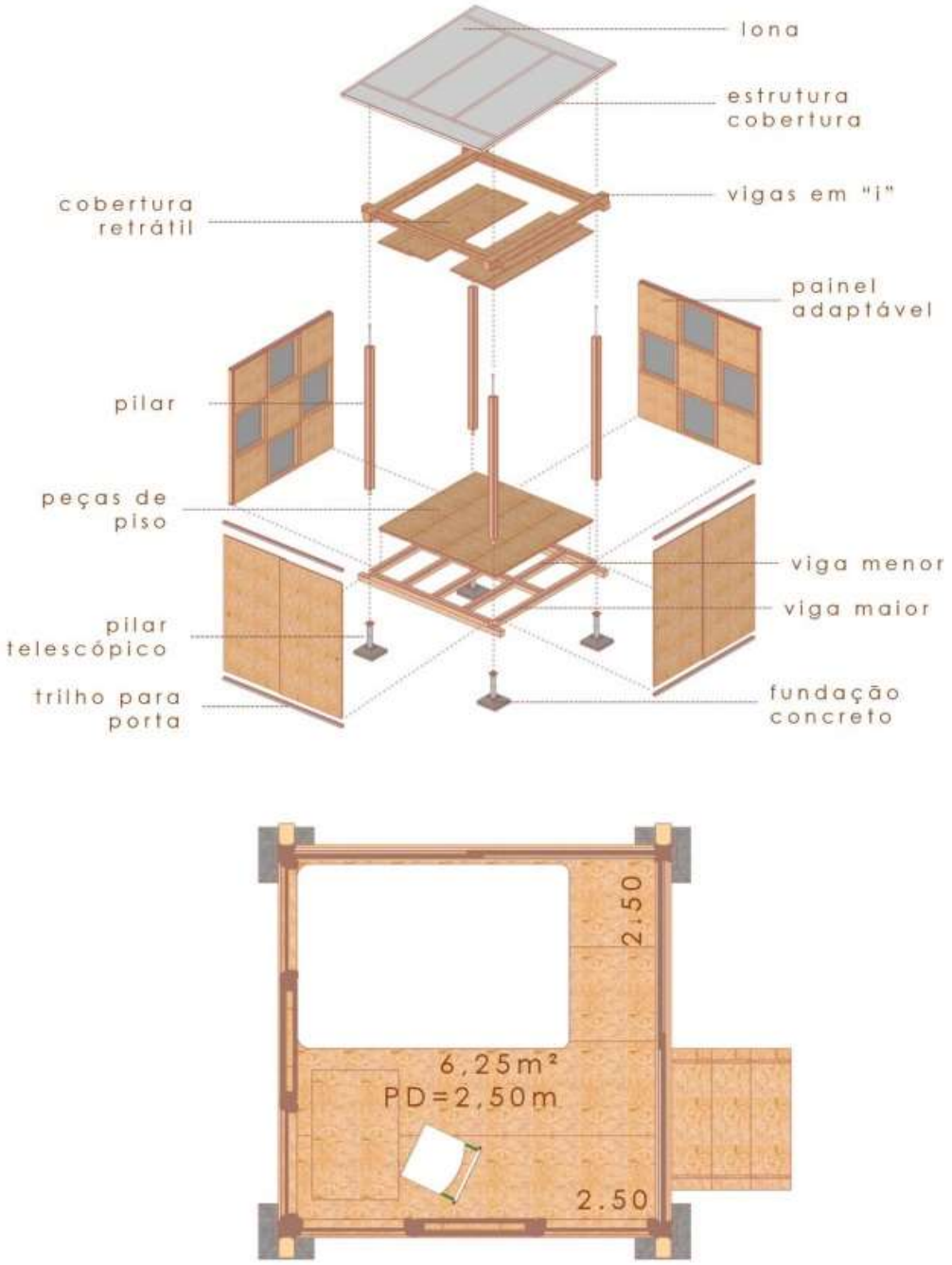
Outra vantagem relacionada ao sistema construtivo consiste no fato de que, por ser constituído por peças, caso ocorra algum dano em alguma delas, esta poderá ser facilmente substituída. Outra possibilidade permitida através do sistema construtivo é a adaptabilidade do abrigo, podendo ser pensada a construção com outros elementos para melhor adequação ao contexto.

Os materiais escolhidos no projeto foram pensados para favorecê-lo, devendo ser leves, de fácil acesso e, principalmente, possuírem baixo custo, com exceção de algumas peças metálicas e da fundação que exigem maiores tratamentos e, por isso, possuem um custo um pouco mais elevado do que as demais.

A figura 3 apresenta os materiais utilizados no módulo. O fechamento das paredes e estrutura do módulo é a madeira OSB (*Oriented Strand Board*) e MLC (Madeira Laminada Colada). A escolha das placas de OSB dá-se pelas características de resistência à umidade, boa resistência mecânica, baixo custo e bom desempenho térmico e acústico, além de ser fabricada com tiras de pinus de reflorestamento. Já a MLC foi escolhida por sua boa resistência à umidade e por sua leveza.

A cobertura elevada será em lona de laminada de PVC com tecido de poliéster e será amarrada com corda através de ilhós na estrutura em madeira. A lona é um material leve e de alta durabilidade, podendo ser reutilizado. A segunda cobertura, abaixo da cobertura elevada, é de placa de OSB e retrátil para permitir um controle de ventilação. A fundação será em concreto por ser a melhor e mais barata opção para ficar em contato com o solo sem ser danificada. Junto à fundação, um pilar em forma de telescópico de metal será responsável por vencer pequenos desníveis para a adaptação ao relevo. Abaixo da fundação, será colocada uma camada de brita para que a base fique mais firme ao terreno.

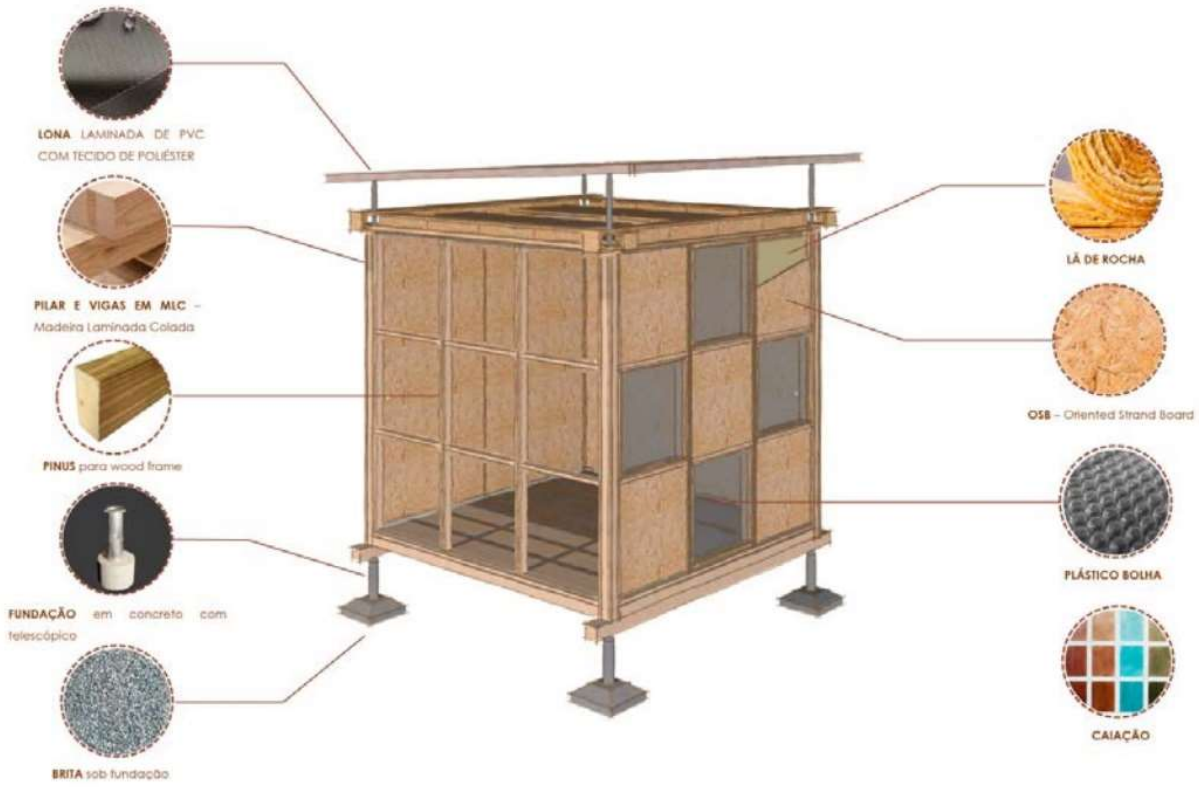
Figura 3: Perspectiva do módulo e planta baixa



Fonte: Autor

As janelas do abrigo serão de plástico bolha, sendo que a escolha se dá pelo fato de ser um material reutilizável e reciclável, com transparência de 75%, atuando como auxiliar no isolante térmico, além de ser inodoro e atóxico (figura 5). Esse material permite a entrada de luz no abrigo, ao mesmo tempo em que darão privacidade aos moradores. Ademais, o material tem custo muito baixo, facilitando a troca em caso de alguma danificação. A lã de rocha surge como opção para locais mais frios, por ser um bom isolante térmico e acústico, além de ser incombustível e resistente à água, possuindo um ótimo custo-benefício.

Figura 4: materiais aplicados na envoltória do edifício



Fonte: Autor

METODOLOGIA

Na intenção de compreender melhor o desempenho térmico dos materiais da envoltória e as possibilidades de adaptação do painel, realizou-se algumas simulações termo energéticas com cenários diversos através software *DesignBuilder*. Salienta-se que esses softwares possui uma interface de modelagem tridimensional amigável e calcula o desempenho utilizando a caixa preta do Energy Plus, software recomendado pelas principais normas brasileiras e internacionais.

Para definir quais as necessidades de adaptação da envoltória do módulo, foi selecionada em três cidades diferentes do território brasileiro, seguindo os seguintes os critérios:

- Diferentes regiões climáticas;
- Localidades onde o clima oferece vulnerabilidade para riscos perante as mudanças climáticas;
- Regiões muito afetadas pelas catástrofes ambientais.

Adotado os critérios as cidades escolhidas foram: Porto Alegre – RS, Rio Branco – AC e São Paulo - SP. O clima de Porto Alegre é o subtropical úmido, com média anual de 19,5°C, o verão tende a ser quente e abafado enquanto o inverno é ameno, a precipitação está presente o ano inteiro. O clima de Rio Branco é tropical, com média anual de 25,5°C, portanto o clima é quente durante o ano inteiro, raramente a temperatura fica abaixo de 15°C ou acima de 37°C. O clima predominante da cidade de São Paulo é o tropical atlântico, a temperatura média anual é de 20° a 22°, o verão

é morno e abafado, já o inverno é curto e ameno, a temperatura raramente é inferior a 10°C ou superior a 32°C [5].

A envoltória do módulo foi definida com os seguintes materiais:

- Nas paredes, foram colocadas 2 placas de OSB, uma de 1,8 mm e outra 1,5 mm, nas paredes com lã de rocha, transmitância 1,682 (W/m²-K)
- Nas janelas foram colocadas plástico bolha, Fator Solar 0,82 e transmitância 4,793 (W/m²-K)
- No teto, um painel de OSB e Lona de PVC, transmitância 2,778 (W/m²-K)

Os cenários simulados foram:

- Cenários 1: janelas fechadas com plástico bolhas e envoltória de OBS com lã de rocha entre as placas do painel;
- Cenários 2: janelas abertas com paredes e envoltória de OBS com lã de rocha entre as placas do painel;
- Cenários 3: janelas abertas com proteção solar (brise-soleil) e envoltória de OBS sem lã de rocha;

O modelo tridimensional foi construído no próprio programa, com base de características construtivas do módulo descrito acima e posicionado no pior cenário, onde as janelas foram orientadas para norte e oeste.

A configuração funcional do edifício foi a seguinte:

- O modelo era do módulo de habitação para desabrigados desenvolvido neste trabalho;
- A densidade de ocupação foi de 0,81 pessoas / m2, com 2 pessoas com atividade sedentária;
- A resistência da roupa foi de 0,44 clo no verão e 1,00 clo no inverno, de acordo com as medições de campo;
- Os fluxos de ar por pessoa e por unidade de área ocupada foram respectivamente 5 l/s e 0,6 l/s, de acordo com a NBR 16401-1 [6]

Para analisar o desempenho da envoltória do módulo considerou-se a Temperatura Operativa (To), que é um índice de conforto térmico. Salienta-se que os índices térmicos são utilizados para avaliar o conforto térmico às pessoas a partir de um cálculo que envolve temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar, e variáveis humanas, tais como vestimenta (Clo) e metabolismo (W). Os resultados das variáveis climáticas dentro de um ambiente dependem das características dos materiais aplicados na envoltória de um edifício.

Existem dois modelos importantes utilizados para quantificar o conforto térmico: Racional (RTC) [7] e Adaptativo (ATC) [8]. Neste estudo, foi utilizado apenas o modelo adaptativo definido pela Temperatura Operativa (To). Este índice foi escolhido pois é de melhor aplicabilidade para ambientes ventilados mediados por simulação computacional segundo Humphreys [9]

Para considerar o ambiente confortável, utilizou-se os critérios estabelecidos pela normas internacionais (ISO 7730 e ASHRAE 55) [11, 12] para atividades sedentárias (70 W / m2) durante o verão para classificar o conforto térmico de usuários, conforme mostrado na Tabela 1.

Os resultados da simulação termoenergética serão analisados segundo a NBR 15575 [13], considerando o limite mínimo de To, ou seja temperaturas entre 18º C a 30° C

foram consideradas confortáveis, conforme tabela 1. Salienta-se que as temperaturas abaixo de 18 °C durante o período noturno não foram consideradas desconfortáveis.

Tabela 1: Critérios estabelecidos pelas normas para atividade sedentária (70 W / m2) durante verão

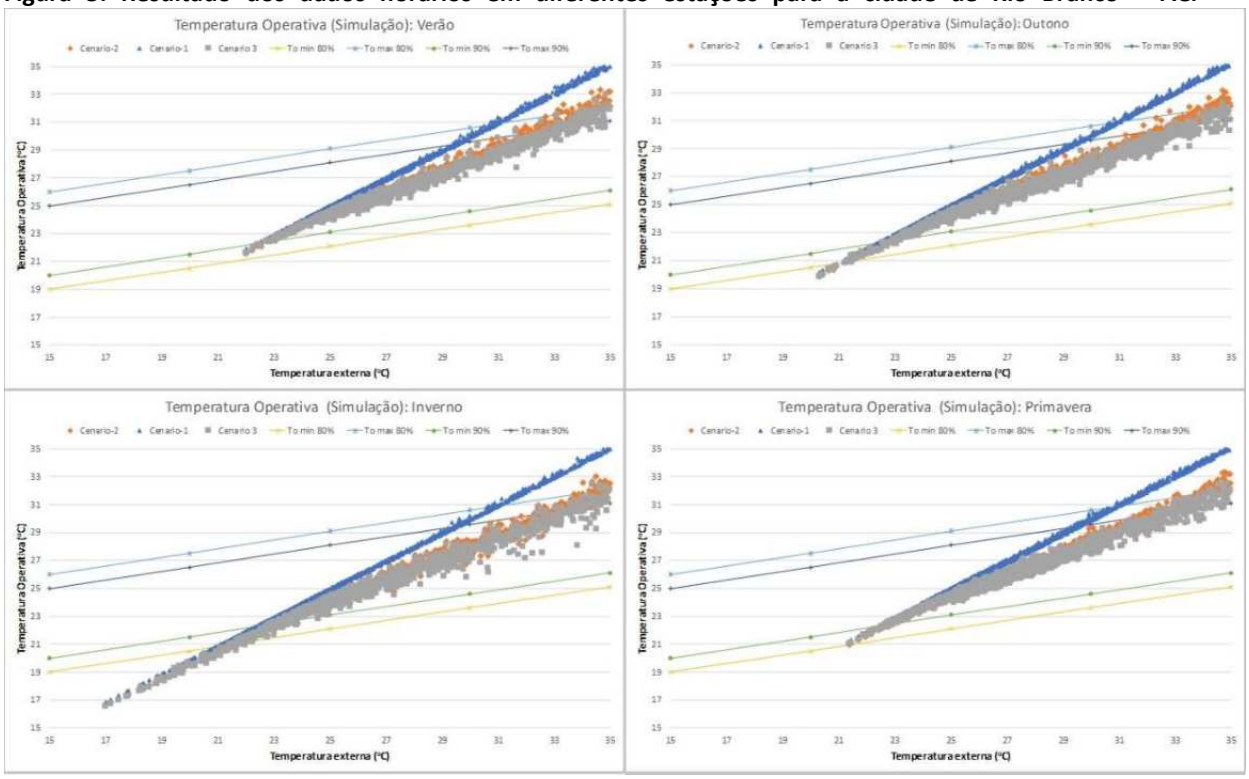
	Categoria do edifício	To (°C)	UR (%)	Var (m/s)
ISSO 7730, 2005 ASHRAE 55, 2004	A B C	24,5 ± 1,0 24,5 ± 1,5 24,5 ± 2,5	40-60	0,12 0,19 0,24
NBR 15575, 2021	S I M	18,0 a 26,0 16,0 a 28,0 28,0 a 30,0		

O nível do eficiencia da envoltória foi avaliado a patir das horas de conforto e classificado segundo o RTQ-R [14], onde: acima de 80 % das horas de conforto será considerado confortável, classificação nivel A; entre 70 a 80 %, classificação nível B; entre 60 a 70 %, classificação nível C; entre 50 a 60 %, classificação nível D; abaixo de 50%, classificação E.

RESULTADOS

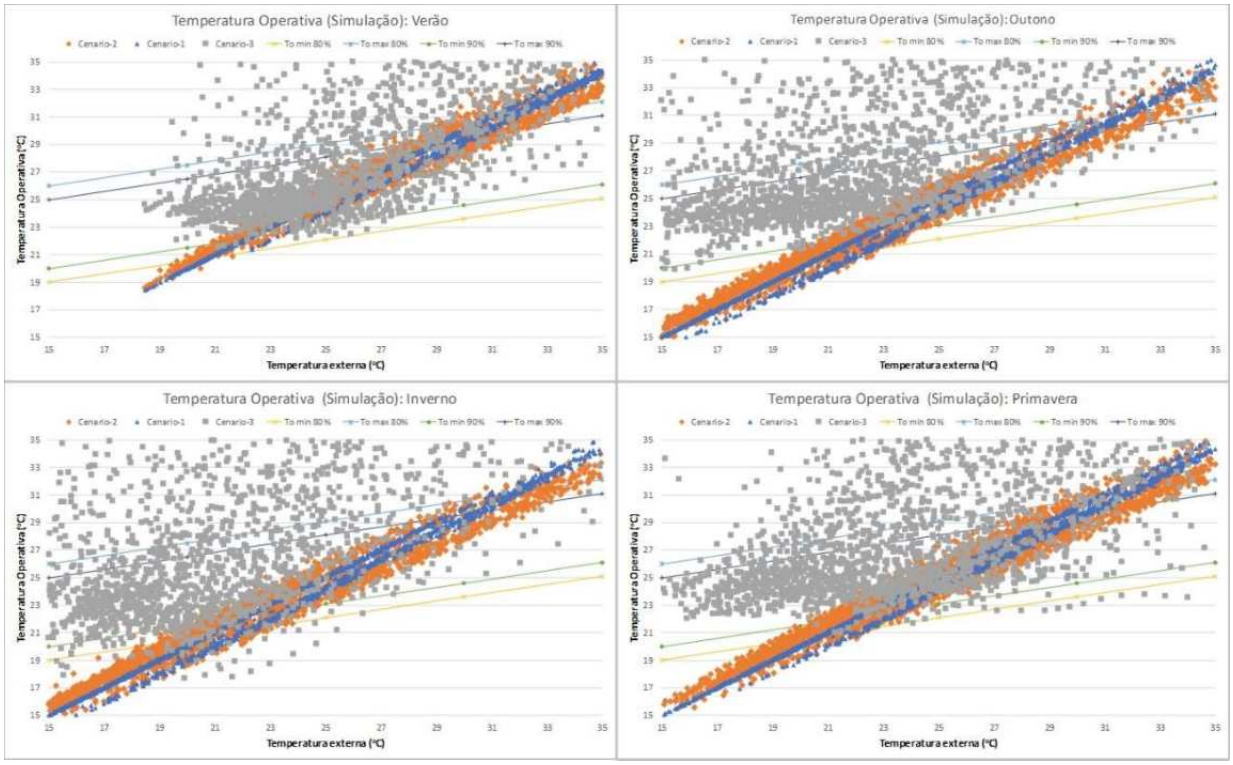
A Figura 5, 6 e 7 apresentam os resultados das simulações do módulo em diferentes estações do ano para a cidade de Rio Branco - AC -, São Paulo – SP- e Porto Alegre – RS. Inicialmente, fez uma avaliação anual para se obters um panorama geral do desempenho térmico do módulo, ou seja, considerou-se as 8769 horas simuladas. O intervalo do dado é horário.

Figura 5: Resultado dos dados horários em diferentes estações para a cidade de Rio Branco – AC.



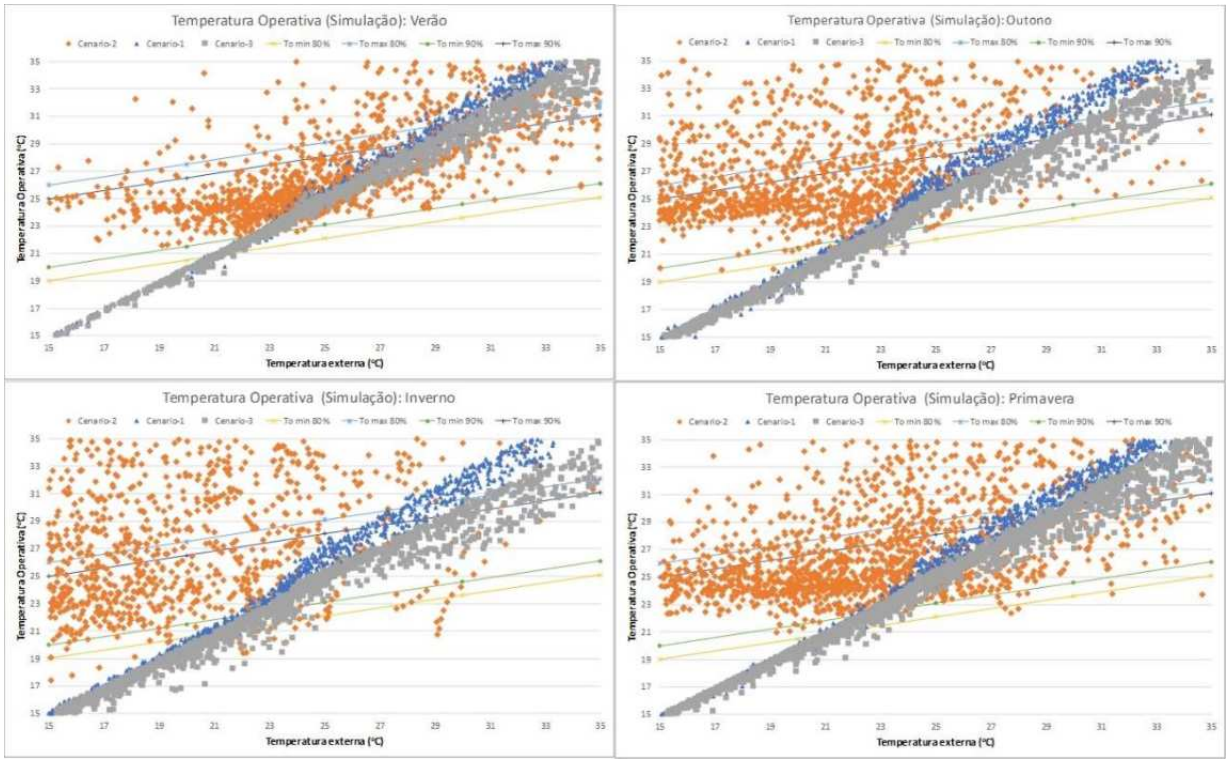
Fonte: Autor

Figura 6: Resultado dos dados horários em diferentes estações para a cidade de São Paulo



Fonte: Autor

Figura 7: Resultado dos dados horários em diferentes estações para a cidade de Porto Alegre – RS.



Fonte: Autor

Em Rio Branco, as temperaturas do ar são acima de 20° C. durante as estações verão, Outono e Primavera. Observou-se que o cenário 3 (ventilação natural e sombreamento das aberturas) tende a ficar dentro dos limites de Conforto Térmico, indicando que essa estratégia é a que melhor se adapta ao clima de Rio Branco.

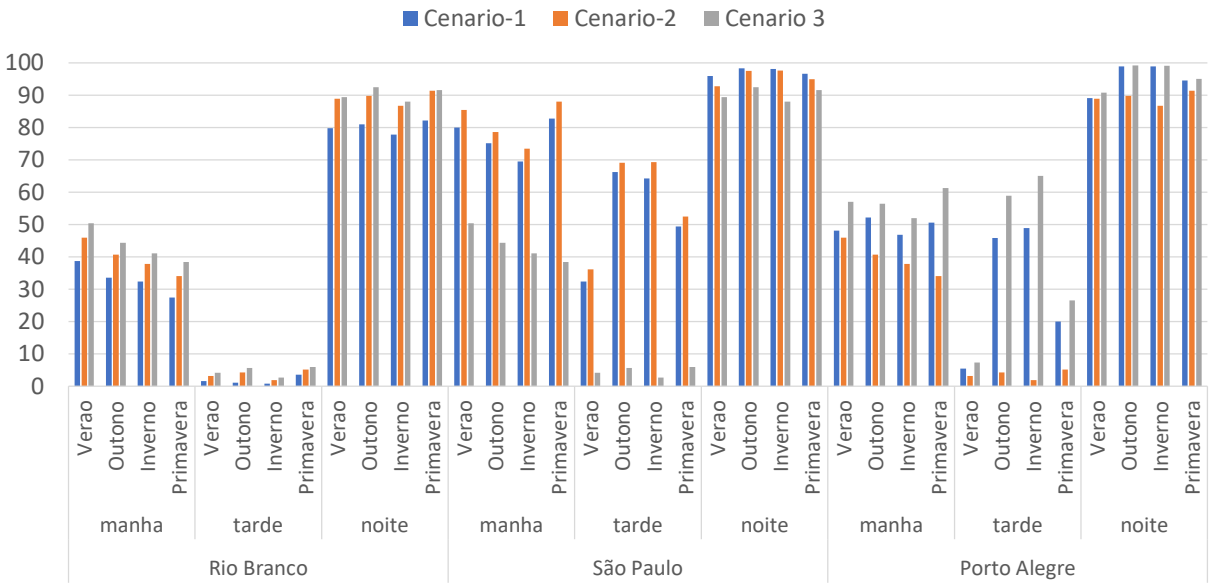
Em São Paulo, o resultado foi diferente. No inverno, as temperaturas são mais baixas. O cenário 3 (ventilação natural e sombreamento das aberturas), tende a trazer disconforto por calor e por frio no inverno. Observa-se que a possibilidade de combinar o Cenário 1 (Fechamento com plastico Bolha) e o Cenário 2 (Ventilação Natural) tendem a dar mais conforto térmico ao usuário.

Em Porto Alegre, o Cenário 3 (ventilação natural com sombreamento) parece ser um boa opção durtante o verão, primavera e outono, mantendo as condições de conforto. E durante o inverno, há uma necessidade de combinação entre os cenários 1 e 2 para dar maior conforto térmico.

A figura 8 apresenta a percentagem de horas confortáveis para as cidade de Rio Branco, São Paulo e Porto Alegre para cada estação. A figura 9 apresenta a média anual por perídos para cada cidade analisada. Nesta analise foi considerada como período da manha das 7h até as 13h, da tarde da 14h até as 20h e a noite das 20h até as 7h . Durante a manhã e tarde, o Cenário 3 proporcionou mais horas confortáveis para a cidade de Rio Branco e Porto Alegre. Já para São Paulo, cenários 2 foi o melhor.

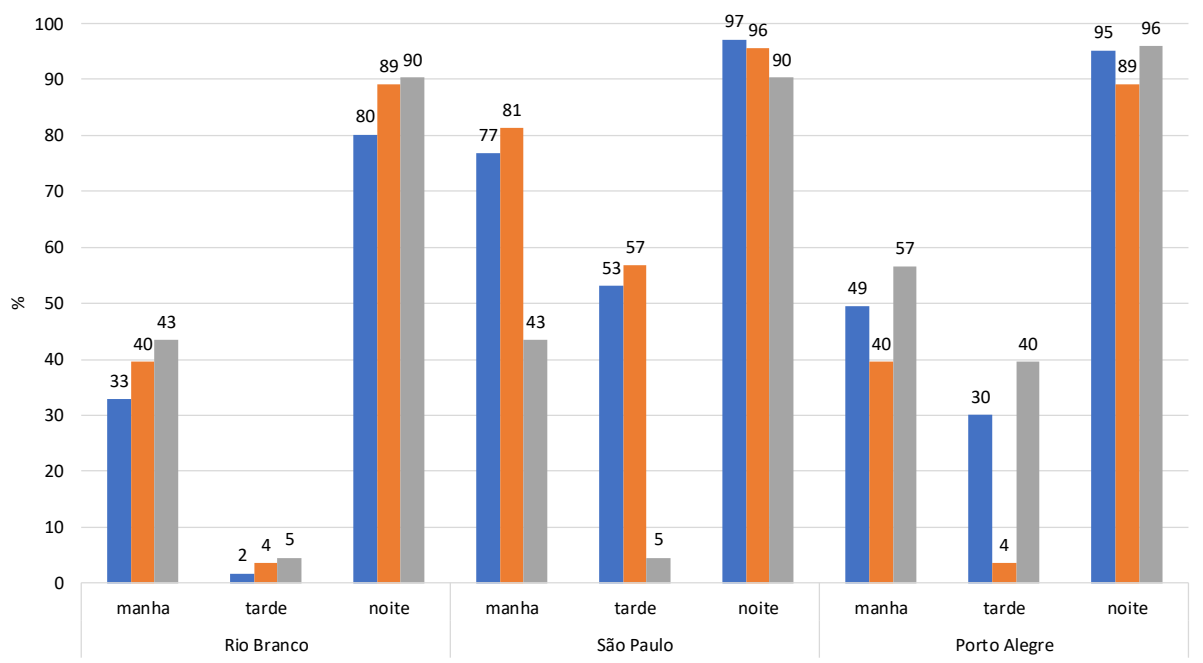
Com a ausencia de carga térmica solar, as horas noturnas se apresentam mais confortáveis em todos os cenários analisados. Observou-se que o cenário 3 para as cidades Rio Branco e Porto Alegre, com 90 % e 96% de horas confortáveis no período da noite. Já para São Paulo, o cenario 1 e 2 tiveram os melhores desempenho térmico, sugerindo a combinação das duas estrategias, janela aberta e fechada, e uma envolrótia pesada para ter inercia térmica.

Figura 8 – Porcentagem de horas de conforto para as cidades Rio Branco, São Paulo e Porto Alegre por estação



Fonte: Autor

Figura 9 – Porcentagem de horas de conforto para as cidades Rio Branco, São Paulo e Porto Alegre



Fonte: Autor

Sendo assim, considera-se como envoltória nível A o cenário 3 para as cidades Rio Branco e Porto Alegre, com 90 % e 96% de horas confortáveis no período da noite , das 20h até as 7h, pois é o período que os usuários ficaram mais dentro de casa.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho avaliou o desempenho térmico da envoltória de um módulo de habitação temporária através do software DesignBuilder. Para avaliar o desempenho utilizou-se do percentual de horas confortáveis (POC) para estabelecer o nível de desempenho do edifício em diferentes cenários e em diferentes cidades segundo os limites estabelecidos pelas normas brasileiras e internacionais.

No primeiro cenário analisado, janelas de plástico bolha fechadas e parede OBS com lã de rocha dentro do painel de fechamento, promoveu 97% de conforto no período noturno em São Paulo, seguido de Porto Alegre com 95%. Já em Rio Branco, o cenário 3, janelas de plástico bolha abertas e protegidas e parede OBS com lã de rocha entre as placas de fechamento foi a melhor situação durante a noite.

Esta pesquisa salienta a necessidade de adaptabilidade de abrigo temporários ao clima local frente às mudanças climáticas. Observou-se que não é possível obter-se conforto durante o dia ao longo do ano. Mas se considerarmos que a ocupação maior do abrigo temporário será no período da noite, o módulo atende a sua função.

Neste estudo, a simulação computacional foi fundamental para o desenvolvimento da envoltória adaptada para diferentes climas brasileiros, no entanto, a avaliação necessita de maior detalhamento e simulações em outras zonas bioclimáticas para avaliar qual a adaptação mais adequada para a cidade.

Esta pesquisa revelou a importância de desenvolver simulações computacionais durantes o processo de projeto para definição da envoltória adequada para o clima. Essa prática pode auxiliar arquitetos, urbanistas, engenheiros e outros profissionais que visam a qualidade no projeto de arquitetura, construção rápida e sem desperdício, utilizando materiais baratos na construção de abrigos temporários.

REFERÊNCIAS

[1] CASTRO, A. L. C. de. Glossário de Defesa Civil: estudos de riscos e medicina de desastres. 5 ed. Brasília, DF: Ministério da Integração Nacional, Secretaria Nacional de Defesa Civil, 2012. Disponível em: https://www.bombeiros.go.gov.br/wpcontent/uploads/2012/06/16-Glosssario-de-Defesa-Civil-Estudo-de-Risco-e-Medicinade-Desastres.pdf. Acesso em: 20 maio 2021.

[2] DAVIS, I.Shelter after disaster. 2. ed. Geneva: International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies, 2015.257 p.

[3] SECRETARIA DE ESTADO DA DEFESA CIVIL DO RIO DE JANEIRO. Administração de Abrigos Temporários. 1. ed. Rio de Janeiro: SEDEC, 2006.

[4] RONDONIAGORA https://www.rondonia.ro.gov.br. Acesso: 28 de maio de 2021

[5] INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. https://clima.inmet.gov.br Acesso: 15 de maio de 2021

[6] ABNT. NBR 16401. Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários. Rio de Janeiro, Brasil. 2017.

[7] FANGER, P. (1970). **Thermal comfort: analysis and application in engineering**. New York: McGraw Hill.

[8] INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Portaria 372, de 17 de setembro de 2010**. Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001462.pdf>. Acesso em: 01 out. 2010.

[9] HUMPHREYS, M. A. Field Studies of Thermal Comfort Compared and Applied. **Building Services Engineer**, v. 44, p. 5–27, 1976.

[10] ISO. **7730: Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort**. Genebra: International Organization for Standardization, 2005.

[11] ASHRAE. ***Heating ventilation, and Air-conditioning Application*** *SI edition*. S.l. 2013.

[12] ASHRAE 55.Thermal environmental conditions for human occupancy. **ANSI**, v. 2017, p. 42, 2017.

[13] ABNT. NBR 15575. **Norma de Desempenho termico das edificações.** Partes 1 a 6 - Edificações habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro, Brasil. 2021

[14] RTQ-C**. Requistos técnicos da qualidade para o nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos.** Rio de Janeiro: IMETRO. 2014.