



Artigo Original

e-ISSN 2177-4560

DOI: 10.19180/2177-4560.v18n12024p70-88

Submetido em: 06 set. 2024

Aceito em: 03 nov. 2024

Eficiência energética de abrigos emergenciais: um estudo de estruturas WikiHouse na Zona Bioclimática 2

Energy efficiency of emergency shelters: a study of WikiHouse Structures in Bioclimatic Zone 2

Eficiencia energética de refugios de emergencia: un estudio de Estructuras WikiHouse en la Zona Bioclimática 2

Gustavo Fernandes  <https://orcid.org/0000-0002-5351-7156>

Universidade do Oeste de Santa Catarina.

E-mail: guto.fernandesdb@gmail.com

Lara Lima Felisberto  <https://orcid.org/0000-0003-3301-9712>

Universidade do Oeste de Santa Catarina.

Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo (PósARQ) da UFSC.

E-mail: laralimafelisberto@gmail.com

Juliana Aparecida Biasi  <https://orcid.org/0000-0002-1543-9919>

Universidade do Oeste de Santa Catarina.

Mestre em Engenharia Civil (PPGEC) pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Professor na Universidade do Oeste de Santa Catarina.

E-mail: juliana.biasi@unoesc.edu.br

Resumo: O aumento dos eventos climáticos está levando milhares de pessoas ao desabrigo. Esta pesquisa propõe a criação de protótipos de abrigos emergenciais baseados na eficiência energética da Zona Bioclimática 2 de Santa Catarina, devido à sua predominância no estado. Ao utilizar o sistema WikiHouse, os protótipos demonstraram uma eficiência satisfatória, destacando-se pelo emprego de condicionamento passivo. Tanto o resfriamento quanto o aquecimento das edificações apresentaram um bom desempenho, tornando viável o modelo proposto. Conclui-se que este protótipo de abrigo representa uma solução aplicável diante dos desafios climáticos na região, promovendo resiliência frente a tais eventos.

Palavras-chave: Abrigo Temporário. Prototipagem. Desastres Ambientais.

Abstract: The increase in climate events is leaving thousands of people homeless. This research proposes the creation of emergency shelters prototypes based on the energy efficiency of Bioclimatic Zone 2 in Santa Catarina, due to its predominance in the state. By using the WikiHouse system, the prototypes demonstrated satisfactory efficiency, particularly in their passive conditioning use. Both

the cooling and heating of the buildings performed well, making the proposed model feasible. It is concluded that this shelter represents an applicable solution to the climate challenges in the region, promoting resilience in the face of such events.

Keywords: Temporary Shelter. Prototyping. Environmental Disasters.

Resumen: El aumento de los eventos climáticos está dejando a miles de personas sin hogar. Esta investigación propone la creación de prototipos de refugios de emergencia basados en la eficiencia energética de la Zona Bioclimática 2 en Santa Catarina, debido a su predominancia en el estado. Utilizando el sistema WikiHouse, los prototipos demostraron una eficiencia satisfactoria, destacándose por el uso de acondicionamiento pasivo. Tanto el enfriamiento como la calefacción de las edificaciones mostraron un buen rendimiento, lo que hace viable el modelo propuesto. Se concluye que este refugio representa una solución aplicable frente a los desafíos climáticos en la región, promoviendo la resiliencia ante tales eventos.

Palabras clave: Refugio Temporal. Prototipado. Desastres Ambientales.

1 Introdução

O processo desalinhado e crescente de urbanização no Brasil tem levado ao surgimento de espaços caracterizados por desigualdade e segregação socioespacial nas cidades (Boareto, 2008; Silva et al., 2014). Essa dinâmica resulta na proliferação de vazios urbanos e áreas degradadas, tanto em termos físicos quanto econômicos, que podem contribuir para a ocorrência de diversos desastres naturais. Os impactos mais graves desses desastres tendem a afetar principalmente os grupos populacionais que residem em áreas geográficas mais vulneráveis (Freitas; Ximenes, 2012).

A urbanização desordenada e a falta de planejamento adequado ampliam a vulnerabilidade das áreas urbanas e dificultam a criação de espaços apropriados para abrigar a população afetada por desastres. Muitas cidades enfrentam a carência de áreas adequadas para receber pessoas deslocadas, frequentemente recorrendo a escolas e ginásios como abrigos temporários (Marchezini, 2010). No estado de Santa Catarina, é frequente a ocorrência de eventos atmosféricos severos, como chuvas intensas e inundações nos vales dos numerosos rios que cortam seu território. Esses eventos têm resultado em múltiplos casos de calamidade e deslocamento de pessoas (Herrmann, 2006).

Portanto, torna-se essencial compreender como a arquitetura e o urbanismo podem auxiliar nestes momentos, agindo de forma rápida e em consonância com os princípios da sustentabilidade para prover abrigo e assistência às comunidades afetadas. Ainda, este trabalho busca contribuir para a criação de soluções mais adequadas e sustentáveis, alinhadas ao inciso VIII do art. 8º da Lei Federal nº 12.608, de 10 de abril de 2012, que estabelece a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil. Ao proporcionar alternativas efetivas de moradia durante desastres, este projeto visa apoiar os municípios no cumprimento das diretrizes legais e na mitigação das desigualdades exacerbadas por eventos naturais.

A arquitetura Open Source surge como uma alternativa viável para lidar com tais situações. Esse conceito envolve o compartilhamento aberto de projetos habitacionais digitais, nos quais qualquer pessoa pode acessar, baixar e adaptar conforme necessário. O objetivo é agilizar a construção de moradias emergenciais, oferecendo uma abordagem rápida, acessível, gratuita e ambientalmente consciente (Secchi, 2019). Dentro desse contexto, o sistema construtivo WikiHouse se destaca como uma opção para a aplicação no estado de

Santa Catarina, por conta de sua praticidade, agilidade e eficiência na montagem.

Dessa forma, o objetivo desse trabalho é realizar uma análise da eficiência energética da Zona Bioclimática 2, predominante no estado de Santa Catarina, para a aplicação de protótipos de abrigos habitacionais criados com base no sistema construtivo WikiHouse, desenvolvido por Alastair Parvin e Nick Lerodiconou.

O trabalho foi dividido em três etapas distintas: a modelação de protótipos de habitações temporárias em diferentes tamanhos, visando atender às necessidades de diversos tipos de famílias; a realização do cálculo e a definição da envoltória com maior eficiência energética; o cálculo da eficiência energética de cada uma das fachadas dos módulos para definir a posição solar mais eficiente.

2 Desastres Naturais e Eficiência Energética

Eventos catastróficos, desencadeados principalmente pela crise ambiental global, têm ocorrido com maior frequência nas últimas décadas, afetando aproximadamente 102 milhões de pessoas por ano (Freitas; Ximenes, 2012). Entre essas, 37 milhões são afetadas por ciclones, furacões e tufões, enquanto 366 mil sofrem com deslizamentos de terra (Freitas et al., 2012). No mesmo contexto, houve um aumento expressivo na quantidade de desastres relacionados a enchentes e tempestades. Entre 1980 e 1999, foram registrados 1.389 e 1.457 desastres, respectivamente. Comparando com o período de 2000 a 2019, houve um aumento de 134,3% e 40,2%, resultando em 3.254 e 2.043 desastres notificados, respectivamente (United Nations For Disaster Risk Reduction, 2020).

Geralmente, as próprias estruturas urbanas, como edifícios, pontes e árvores, que desabam nessas ocasiões, representam uma ameaça direta à vida das pessoas. Como consequência, as perdas econômicas associadas a esses eventos são significativas, alcançando um gasto mundial aproximado de US\$ 2,97 trilhões entre 2000 e 2019, um aumento de 82,2% em relação ao período entre 1980 e 1999, quando os custos somaram US\$ 1,63 trilhão (United Nations For Disaster Risk Reduction, 2020).

Além disso, conforme relatórios da United Nations for Disaster Risk Reduction (2020), houve também um aumento nos registros de desastres, pessoas afetadas e mortes, sendo registrados 7.348 desastres, 4,03 bilhões de pessoas afetadas e 1,23 milhões de mortes entre 2000 e 2019, um aumento de 74,45%, 24% e 3%, respectivamente, em comparação com o período entre 1980 e 1999.

Esse cenário revela um problema de gestão na resposta governamental a esses eventos, especialmente devido à falta de articulação entre as políticas públicas de saúde, educação e habitação (Santos, 2012). A população de baixa renda, muitas vezes, é forçada a ocupar espaços urbanos que não apresentam características geomorfológicas ou localizações adequadas para a habitação e qualidade de vida. Esses grupos, que residem em áreas inadequadas, são as principais vítimas de desastres naturais (Carmo; Anazawa, 2014).

O problema das ocupações inadequadas está também relacionado à eficiência energética. Dados do Projeto Financiadora de Estudos e Projetos - FINEP indicam que o setor residencial é um dos maiores consumidores de energia no país, com a maior parte desse consumo vindo de edificações unifamiliares, seguido por apartamentos (Lamberts; Triana, 2007). Isso demonstra a necessidade de desenvolver habitações que reduzam o consumo de energia, exigindo uma análise sobre a eficiência energética dessas construções.

Regulamentos de eficiência energética de edifícios visam orientar o desenvolvimento de projetos que otimizem o uso de recursos e minimizem o impacto ambiental. Um exemplo disso é o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética (RTQ-R), desenvolvido pelo INMETRO em 2010. Ele estabelece critérios para conforto térmico e eficiência energética, servindo como guia para decisões de projeto e fornecendo uma base de critérios de desempenho que devem ser cumpridos (Bagnati, 2013).

O RTQ-R aplica-se a edificações residenciais e utiliza dois métodos de classificação: o método prescritivo, que é mais simplificado e utiliza equações específicas para cada zona bioclimática (e que é o foco deste trabalho); e o método de simulação, no qual o edifício é modelado em software de simulação termoenergética. O objetivo desse regulamento é proporcionar níveis mais elevados de eficiência energética, que podem ser continuamente melhorados com inovações tecnológicas ao longo do tempo (Brasil, 2012).

Com base no RTQ-R, existem cinco níveis de eficiência que podem ser alcançados, variando de A (mais eficiente) a E (menos eficiente), com pontuações correspondentes: A ($PT \geq 4,5$), B ($3,5 \leq PT < 4,5$), C ($2,5 \leq PT < 3,5$), D ($1,5 \leq PT < 2,5$) e E ($PT < 1,5$). A pontuação total da Unidade Habitacional (PT_{uh}) é determinada por uma equação que é comum a todas as zonas bioclimáticas estudadas.

A principal finalidade desta normativa é oferecer um conjunto de recomendações e estratégias de construção para habitações unifamiliares de interesse social de até três pavimentos, além de fornecer diretrizes para a adaptação climática dessas edificações (Associação Brasileira De Normas Técnicas, 2005).

A eficiência energética em edificações busca proporcionar conforto térmico, visual e acústico adequado aos usuários, minimizando o consumo de energia mecânica (Lamberts; Dutra; Pereira, 2014). O consumo excessivo de recursos naturais e o desenvolvimento insustentável das edificações têm levado a sérias consequências econômicas e ambientais, como a alteração dos ciclos de fauna e flora, secas, aumento da intensidade de furacões e tempestades tropicais, redução da camada de ozônio e aquecimento global, este último provocado pelo efeito estufa (Lamberts et al., 2008).

3 O Sistema Construtivo Wikihouse

O sistema construtivo Wikihouse faz parte da ferramenta de código aberto, onde qualquer pessoa tem acesso aos arquivos das casas fabricadas digitalmente e disponibilizadas na *web*, podendo baixar e cortar as peças em laboratórios de prototipagem e fabricação digitais. Devido à sua praticidade, esse sistema tem sido

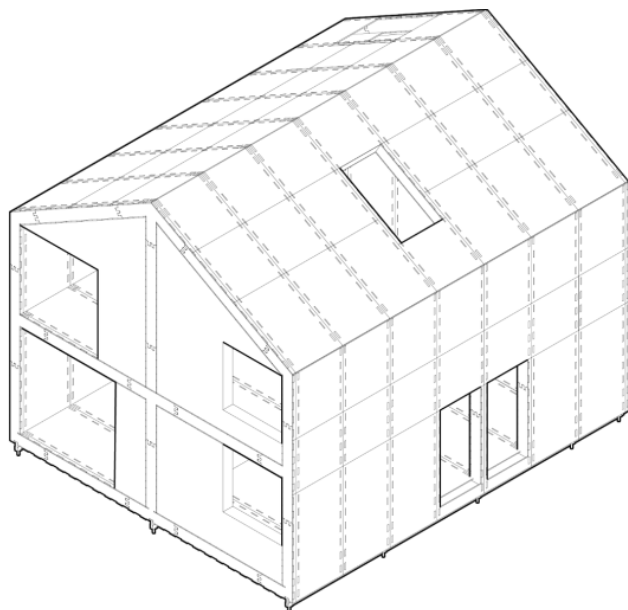
usado com frequência na habitação de interesse social, especialmente em casos de emergências (Passaro; Rohde, 2016).

O sistema WikiHouse, oriundo da arquitetura de código aberto, baseia-se em uma licença creative-commons desenvolvida em 2011, por Alastair Parvin e Nick Lerodiconou, onde pórticos são formados a partir de componentes encaixados, geralmente compensados navais, OSB ou MDF, posteriormente cortados em máquinas CNC com cortador a laser (Nardelli; Backheuser, 2016). Atualmente, o sistema já se espalhou para o mundo todo, com diversos protótipos em alguns países, bem como Small House desenvolvido na Mongólia e o HereEast Studios na Inglaterra.

O processo de construção do sistema, é conhecido como *Wren* (Figura 1) e atualmente se encontra na versão 4.3. Este sistema surgiu após colaborações entre Arquitetura 00, Arup Associates, Momentum Engineering, Space Craft Systems, entre outros. As organizações utilizam softwares BIM e conseqüentemente o projeto compreende um modelo virtual 3D a partir do qual desenhos de trabalho, instruções de montagem e construção informações podem ser extraídas (Edward, 2018).

Na tecnologia *Wren*, segundo Prest (online), os componentes do sistema são fabricados em um maquinário CNC usando painéis de madeira (normalmente, madeira laminada colada), posteriormente são encaixados conforme manual *Wren*, no qual outros componentes, bem como os revestimentos, as janelas e portas, são encaixados (Figura 1).

Figura 1: Estrutura do Sistema *Wren* utilizado por Parvin e Lerodiconou.



Fonte: Prest (online).

4 Procedimentos Metodológicos

Para realizar a análise da eficiência energética na Zona Bioclimática 2, foram delimitadas três etapas: a concepção de quatro protótipos de abrigos emergenciais, a avaliação da eficiência da envoltória mais eficaz

para esses abrigos e a determinação da eficiência energética de cada uma das fachadas. Todos os cálculos apresentados foram realizados com base no RTQ-R (Regulamento Técnico Da Qualidade Para O Nível De Eficiência Energética Edificações Residenciais) (Inmetro, 2012).

3.1 Customização das Plantas Baixas

Foram elaborados quatro protótipos de plantas baixas de abrigos emergenciais, utilizando de modulações adaptáveis conforme o número de usuários. Estas foram denominadas Hab II, Hab III, Hab IV e Hab V, conforme o número de moradores que cada uma comporta. O dimensionamento dos ambientes propostos foi realizado com base em estudos de caso de projetos desenvolvidos no sistema construtivo WikiHouse e que utilizam a mesma função de abrigo emergencial, como o Warrander Studio, na Nova Zelândia (Makers of Architecture, 2021) e o protótipo Casa Revista (Passaro; Rohde, 2016), realizado pelo LAMO3D da FAU-UFRJ. As análises foram baseadas nas plantas baixas desenvolvidas.

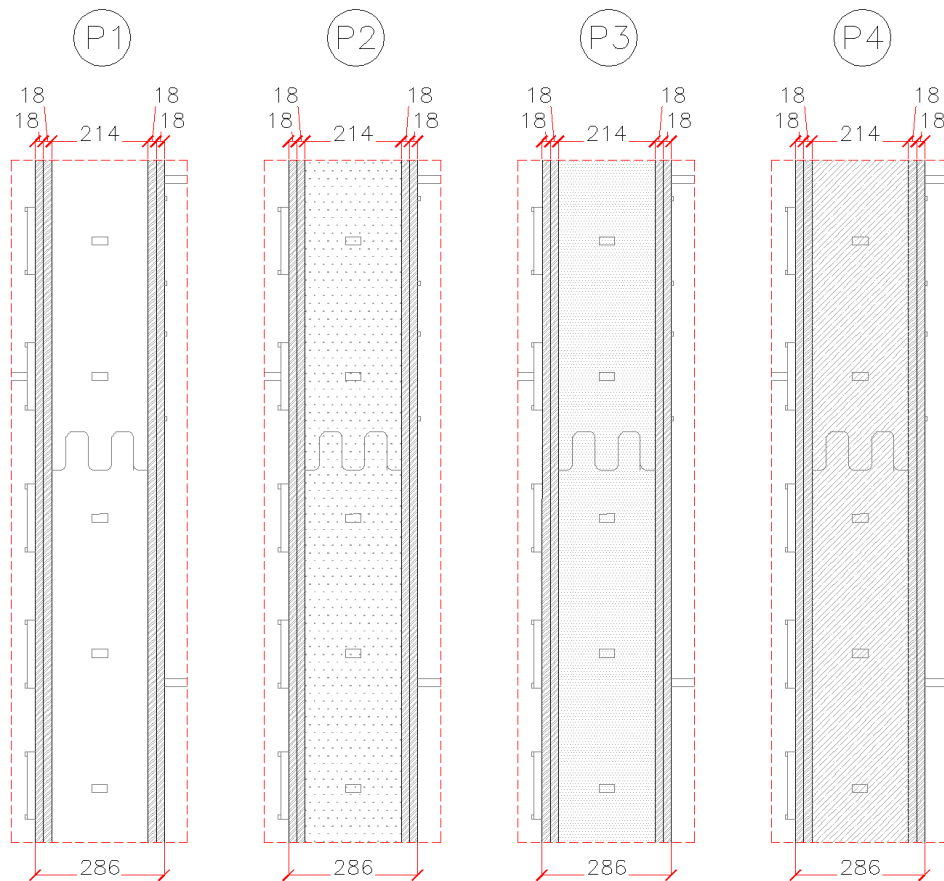
3.2 Definição e Avaliação da Envoltória

A definição da espessura dos painéis duplos de vedação para avaliação foi norteada a partir de dimensões disponíveis no mercado, buscando diminuir os recortes e o desperdício de material. Portanto, a chapa de madeira utilizada foi o compensado naval de MDF com dimensões de 250 x 160 x 1,8 cm. Além disso, na proposta inicial de Ierodionou e Parvin, foi verificado um padrão de repetição formal para a espessura das paredes, onde se repetia 28,6 cm para toda a edificação. Por este motivo, manteve-se a mesma dimensão, a fim de seguir o padrão proposto do sistema construtivo.

A partir desta definição, foi possível selecionar quatro composições de revestimento interno para acrescentar espessura e resistência térmica à edificação, de forma a compensar a baixa capacidade térmica do compensado. Foram realizados estudos com diferentes materiais, visando obter uma boa eficiência energética, com preocupação com o custo e a transmitância térmica do mesmo. Além disso, foi utilizado lona como revestimento externo.

Definidos como painéis P1, P2, P3 e P4, todos são compostos de fechamento em compensado naval de madeira de 18 mm. O painel P1 é composto por duas chapas de compensado (interno e externo) e uma câmara de ar de 214 mm, não ventilada. O painel P2 apresenta o acréscimo de lã de vidro preenchendo no lugar da câmara de ar, bem como o painel P3 e P4, onde a substituição se deu pela lã de rocha e EPS, respectivamente.

Figura 2: Composições dos painéis das paredes para avaliação



Fonte: Elaborado pelos autores.

A partir disso, realizaram-se os cálculos da eficiência energética para cada um dos materiais, com o objetivo de descobrir qual é o melhor para aplicar posteriormente nos abrigos emergenciais. Nessa etapa, foram analisados três elementos para compreender a eficiência dos materiais: a absorvância solar, a transmitância térmica e a capacidade térmica. Para isso, foram utilizados os pré-requisitos estabelecidos para a Zona Bioclimática 2 conforme o RTQ-R, como está ilustrado na Tabela 1 (Inmetro, 2012).

Tabela 1: Pré requisitos para de absorvância solar, transmitância térmica e capacidade térmica para a Zona Bioclimática 2

Zona Bioclimática	Componente	Absorvância Solar (adimensional)	Transmitância Térmica [W/(m ² /K)]	Capacidade térmica [kJ/(m ² /K)]
ZB2	Parede	Sem exigência	$U \leq 2,50$	CT ≥ 130
	Cobertura	Sem exigência	$U \leq 2,30$	Sem exigência

Fonte: Adaptado de Inmetro, 2012.

3.3 Determinação da Eficiência Energética dos Protótipos Habitacionais

Com os dados anteriores é possível calcular o equivalente numérico da envoltória da Unidade Habitacional Autônoma, neste caso, quando ventilada naturalmente. Para isso utilizou-se o método prescritivo

de cálculo da envoltória. Para chegar nesta etapa, ainda é necessário calcular o indicador de Graus-Hora para Resfriamento e o Consumo Relativo para Aquecimento de cada protótipo, cálculos que foram realizados. Após esse cálculo, haverá a equação para determinar o equivalente numérico da envoltória para a Zona Bioclimática 2, sendo esta:

$$EqNumEnv = 0,44 \times EqNumEnvResfr + 0,56 \times EqNumEnvA$$

ONDE:

EqNumEnv: equivalente numérico da envoltória da UH;

EqNumEnvResfr: equivalente numérico da envoltória da UH para resfriamento;

EqNumEnvA: equivalente numéricoda envoltória da UH para aquecimento.

3.3.1 Determinação do Sistema de Aquecimento de Água – EqNumAA

É necessário calcular o Sistema de Aquecimento de Água, e segundo a normativa NBR 15220-2, nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, não é aceitável a ausência de sistema de aquecimento de água instalado na UH. Portanto, como utilizou-se somente chuveiro elétrico para aquecer a água no processo de criação das habitações sociais, nestes casos é atribuído o menor nível possível (nível E). Como consequência disto, para todos os cálculos, utilizou-se 1 para a EqNumAA. A justificativa para tal utilização é o custo, pois a utilização de um aquecimento de água eleva as despesas, sendo o objetivo principal do trabalho, desenvolver habitações sociais pós-catástrofes principalmente para indivíduos de baixa renda.

3.3.2 Determinação das Bonificações

Outro fator importante é analisar as bonificações, que tem o objetivo de aumentar a eficiência da UH, podendo receber até um ponto e meio na classificação geral. A bonificação total alcançada é a somatória das bonificações obtidas em cada item, através da equação realizada.

$$\text{Bonificações} = b1 + b2 + b3 + b4 + b5 + b6 + b7 + b8$$

ONDE:

Bonificações: pontuação atribuída a iniciativas que aumentem a eficiência da edificação;

b1: bonificação referente à ventilação natural (item 3.3.1), cuja pontuação varia de zero a 0,40 pontos;

b2: bonificação referente à iluminação natural (item 3.3.2), cuja pontuação varia de zero a 0,30 pontos;

b3: bonificação referente ao uso racional de água (item 3.3.3), cuja pontuação varia de zero a 0,20 pontos;

b4: bonificação referente ao condicionamento artificial de ar (item 3.3.4), cuja pontuação varia de zero a 0,20 pontos;

b5: bonificação referente à iluminação artificial (item 3.3.5), cuja pontuação varia de zero a 0,10 pontos;

b6: bonificação referente a ventiladores de teto instalados na UH (item 3.3.6), cuja pontuação obtida é zero ou 0,10 pontos;

b7: bonificação referente a refrigeradores instalados na UH (item 3.3.7), cuja pontuação obtida é zero ou 0,10 pontos; e

b8: bonificação referente à medição individualizada (item 3.3.8), cuja pontuação obtida é zero ou 0,10 pontos.

Na Tabela 2, é possível identificar a pontuação máxima de cada uma das bonificações, bem como a pontuação obtida, resultando em uma bonificação de 1,08.

Tabela 2: Bonificações

	Eficiência	Pontuação	
		Máx.	Obt.
	As UH de até dois pavimentos devem comprovar a existência de porosidade mínima de 20% em pelo menos duas fachadas com orientações distintas, expressa pela relação entre a área efetiva de abertura para ventilação e a área da fachada.	0,12	0,12
B1	Item 2 - Utilização de dispositivos especiais (como venezianas móveis, peitoris ventilados, torres de vento e outros), que favoreçam o desempenho da ventilação natural mas permitam o controle da luz natural, da incidência de chuvas e dos raios solares e a manutenção da privacidade.	0,16	0,16
	Item 3 - Existência de aberturas externas (janelas, rasgos, peitoris ventilados, etc.) cujo vão livre tenham o centro geométrico localizado entre 0,40 e 0,70m medidos a partir do piso.	0,06	0,00
	Item 4 - Na ZB8, as aberturas intermediárias (portas, rasgos, etc.) devem apresentar permeabilidade em relação à circulação do ar, quer seja na própria folha da esquadria, quer na forma de bandeiras móveis ou rasgos verticais. A área livre desses componentes deve corresponder a, no mínimo, 30% da área da abertura intermediária quando a mesma estiver fechada e devem ser passíveis de fechamento.	0,06	0,00
	TOTAL	0,40	0,28
B2	Item 1 - Profundidade de ambientes com iluminação natural proveniente de aberturas laterais: ambientes de permanência prolongada, cozinha e área de serviço/lavanderia com iluminação natural lateral deve ter profundidade máxima calculada através da equação 13.1. Se existir aberturas em paredes dif em um mesmo amb, é considerada a menor prof.	0,20	0,20
	Item 2 - Refletância do teto: cada ambiente de permanência prolongada, cozinha e área de serviço/lavanderia deve ter refletância do teto acima de 60%.	0,10	,10
	TOTAL	0,30	0,30
B3	Item 1 - Combinação de sistemas de uso de água da chuva e equipamentos sanitários.	0,20	0,10
	TOTAL	0,20	0,10
B4	Item 1 – Condicionamento de ar artificial		
	TOTAL	0,20	0,10
B5	Item 1 - Para obter 0,05 as UHs devem possuir 50% das fontes de iluminação artificial com eficiência superior a 75lm/W ou com Selo Procel em todos os ambientes.	0,10	0,10
	Item 2 - Para obter 0,10 as UHS devem possuir 100% das fontes de iluminação artificial com eficiência superior a 75lm/W ou com Selo Procel em todos os ambientes.		
	TOTAL	0,10	0,10
B6	Item 1 - Utilização de ventiladores de teto em ambientes de longa permanência	0,10	0,10
	TOTAL	0,10	0,10

B7	Item 1 - Refrigeradores com ENCE nível A ou Selo Procel	0,10	0,10
	TOTAL	0,10	0,10
B8	Item 1 - Medição Individual	0,10	0,10
	TOTAL	0,10	0,10
	TOTAL DAS BONIFICAÇÕES	1,50	1,08

Fonte: Os autores, 2023.

3.3.3 Esquadrias

Dentro da criação dos protótipos, também foi necessário identificar as especificações das esquadrias utilizadas no projeto, para que pudessem ser classificadas para os cálculos, conforme Tabela 2.

Tabela 3: Parâmetros Específicos das Esquadrias

J1 - Janela basculante de PVC		J3 - Janela basculante de PVC	
Altura (m)	1,20	Altura (m)	1,20
Largura (m)	1,50	Largura (m)	1,60
Área (m²)	1,80	Área (m²)	1,92
Área de Ilum. (m²)*	1,44	Área de Ilum. (m²)*	1,536
Área de Vent. (m²)*	1,44	Área de Vent. (m²)*	1,536

*Utilizou-se 80% da área de cada esquadria para cálculo, por ser do tipo basculante.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

4 Resultados e Discussões

Com a seleção de quatro composições de revestimento interno foi calculado a absorvância solar, transmitância térmica e capacidade térmica (Tabela 3) para cada um dos quatro materiais, encontrando a composição entre compensado de madeira, lã de rocha e a lona (P3) com o melhor resultado, atingindo os pré-requisitos da Tabela 1 para a Zona Bioclimática 2.

Tabela 4: Absorvância solar, transmitância térmica e capacidade térmica das composições P1, P2, P3 e P4

Composição	Componente	Absorvância Solar (adimensional)	Transmitância Térmica [W/(m ² /K)]	Capacidade térmica [kJ/(m ² /K)]
P1	Parede	0,2	1,20	99,54
	Cobertura	0,2	1,15	99,62
P2	Parede	0,2	0,18	114,24
	Cobertura	0,2	0,18	114,32
P3	Parede	0,2	0,18	131,04
	Cobertura	0,2	0,18	131,12
P4	Parede	0,2	0,16	110,06
	Cobertura	0,2	0,16	110,19

Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

Conforme as etapas previamente abordadas, foram realizados cálculos de eficiência para cada protótipo de abrigo desenvolvido. Os protótipos foram denominados como Hab II, Hab III, Hab IV e Hab V, de acordo com o número de dormitórios em cada um, visando atender famílias de diferentes tamanhos. Após a escolha do material, foram realizados os cálculos para cada uma das fachadas dos quatro módulos desenvolvidos.

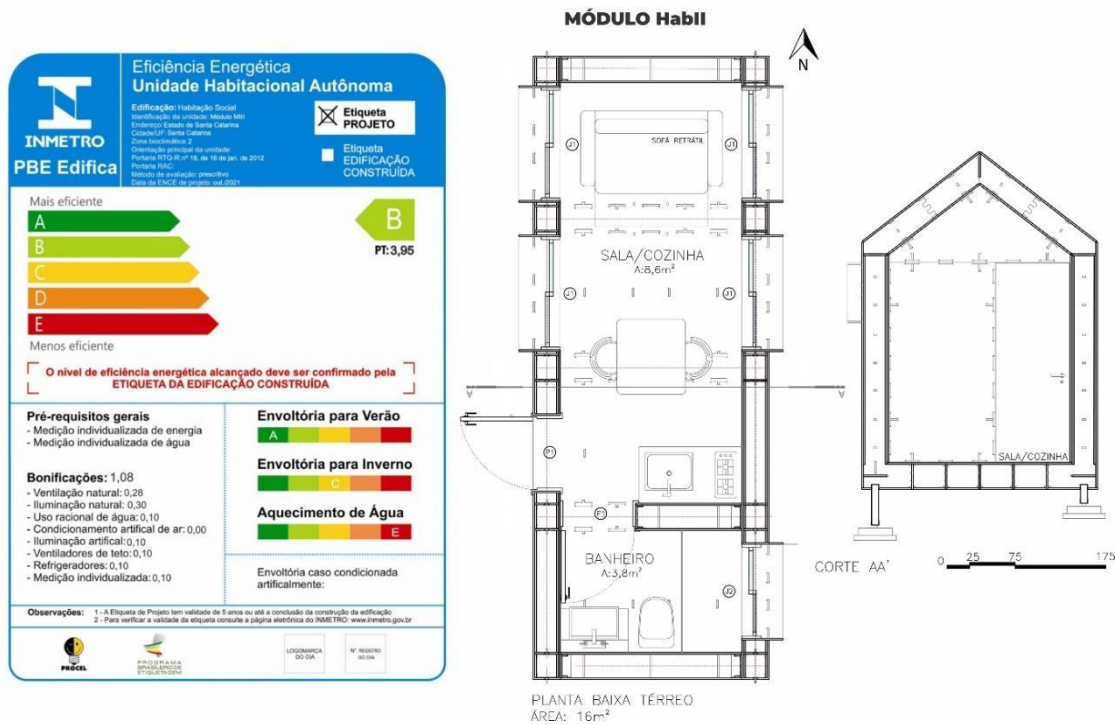
A planta baixa e os resultados do módulo Hab II estão expostos na Figura 3 e na Tabela 5. É possível observar que a melhor posição do norte para esse módulo é voltada para a fachada esquerda, especialmente durante o verão. O sistema de aquecimento de água demonstrou ser pouco eficiente em todos os módulos devido a escolha do chuveiro elétrico para e o índice adotado, justificado nos procedimentos metodológicos.

Tabela 5: Cálculos da Envoltória da UH (PTHuh) do Módulo HabII para a ZB2

FACHADA DOS FUNDOS	Indicador	Resultado	Nota
	Graus-Hora para Resfriamento (GHR)	1,00	E
	Consumo Relativo para Aquecimento (CA)	4,00	B
	EqNumEnv	2,68	C
	Sist. de Aquecimento D'Água	1,00	E
	Bonificações	1,08	-
	RESULTADO PTHuh	3,17	C
FACHADA ESQUERDA	Indicador	Resultado	Nota
	Graus-Hora para Resfriamento (GHR)	5,00	A
	Consumo Relativo para Aquecimento (CA)	3,00	C
	EqNumEnv	3,88	B
	Sist. de Aquecimento D'Água	1,00	E
	Bonificações	1,08	-
	RESULTADO PTHuh	3,95	B
FACHADA FRONTAL	Indicador	Resultado	Nota
	Graus-Hora para Resfriamento (GHR)	1,00	E
	Consumo Relativo para Aquecimento (CA)	4,00	B
	EqNumEnv	2,68	C
	Sist. de Aquecimento D'Água	1,00	E
	Bonificações	1,08	-
	RESULTADO PTHuh	3,17	C
FACHADA DIREITA	Indicador	Resultado	Nota
	Graus-Hora para Resfriamento (GHR)	1,00	E
	Consumo Relativo para Aquecimento (CA)	4,00	B
	EqNumEnv	2,68	C
	Sist. de Aquecimento D'Água	1,00	E
	Bonificações	1,08	-
	RESULTADO PTHuh	3,17	C

Fonte: Elaboração dos autores, 2024.

Figura 3: Resultados da eficiência energética do módulo Hab II



Fonte: Elaboração dos autores, 2024.

O módulo Hab III é ilustrado na Figura 4, com sua composição destinada a uma família de três membros, com os cálculos de eficiência energética, definiu-se que a melhor posição do norte é voltada para a fachada esquerda ou frontal, ambos com um PTHuh de 3,74, assim como exposto nos cálculos da Tabela 6. Esse módulo, diferente do anterior, apresenta-se mais eficiente durante o inverno.

Tabela 6: Cálculos da Envoltória da UH (PTHuh) do Módulo HabIII para a ZB2

FACHADA DOS FUNDOS	Indicador	Resultado	Nota
	Graus-Hora para Resfriamento (GHR)	1,00	E
	Consumo Relativo para Aquecimento (CA)	4,00	B
	EqNumEnv	2,68	C
	Sist. de Aquecimento D'Água	1,00	E
	Bonificações	1,08	-
	RESULTADO PTHuh	3,17	C

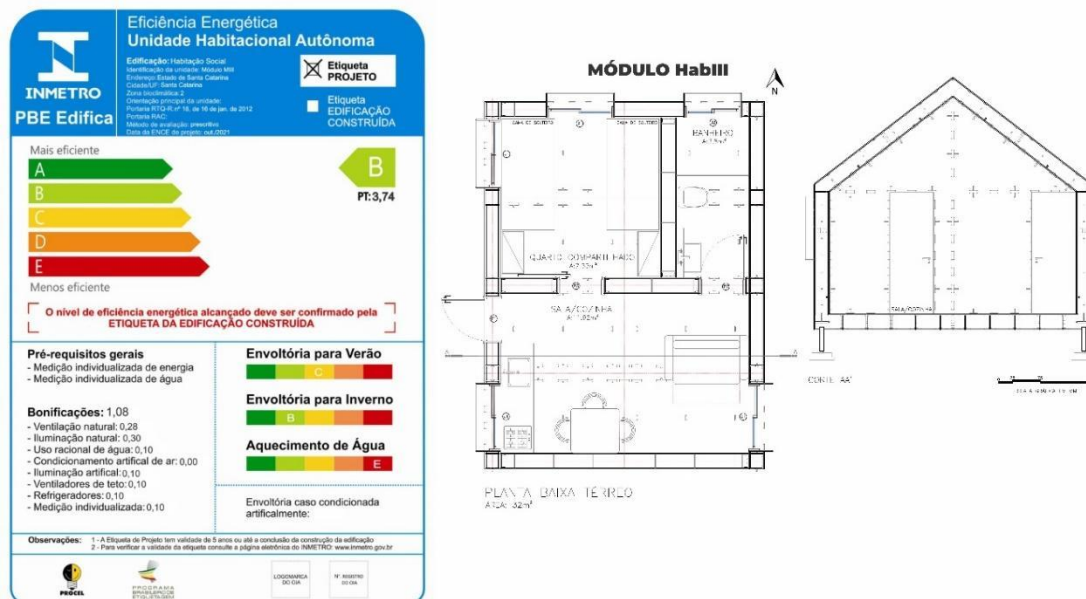
FACHADA ESQUERDA	Indicador	Resultado	Nota
	Graus-Hora para Resfriamento (GHR)	3,00	C
	Consumo Relativo para Aquecimento (CA)	4,00	B
	EqNumEnv	3,56	B
	Sist. de Aquecimento D'Água	1,00	E
	Bonificações	1,08	-
	RESULTADO PTHuh	3,74	B

FACHADA FRONTAL	Indicador	Resultado	Nota
	Graus-Hora para Resfriamento (GHR)	3,00	C
	Consumo Relativo para Aquecimento (CA)	4,00	B
	EqNumEnv	3,56	B
	Sist. de Aquecimento D'Água	1,00	E
	Bonificações	1,08	-
	RESULTADO PTHuh	3,74	B

FACHADA DIREITA	Indicador	Resultado	Nota
	Graus-Hora para Resfriamento (GHR)	2,50	C
	Consumo Relativo para Aquecimento (CA)	4,00	B
	EqNumEnv	3,34	C
	Sist. de Aquecimento D'Água	1,00	E
	Bonificações	1,08	-
	RESULTADO PTHuh	3,60	B

Fonte: Elaboração dos autores, 2024.

Figura 4: Resultados da eficiência energética do módulo Hab III



Fonte: Os autores, 2024.

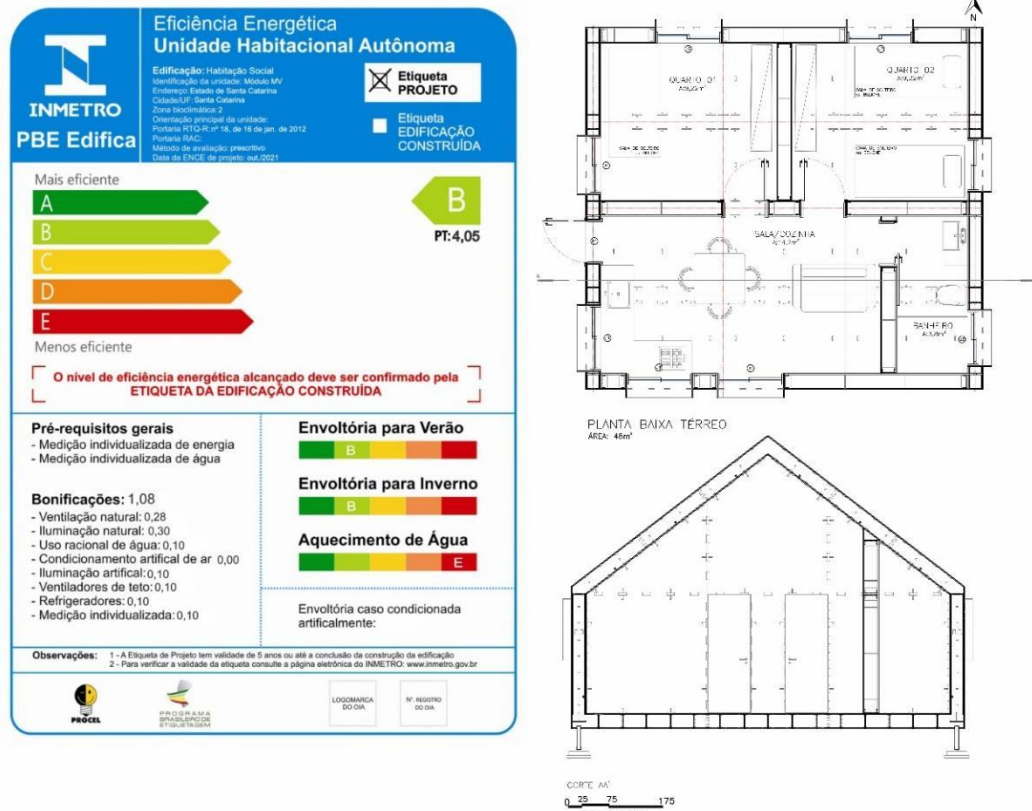
Já os módulos Hab IV e Hab V (Figuras 5 e 6), apresentaram resultados similares, com uma eficiência energética satisfatória tanto para o verão quanto para o inverno. Assim, definiu-se que a melhor posição do norte é voltada para a fachada direita, com um PTHuh de 4,05, como observado nos cálculos das Tabelas 7 e 8.

Tabela 7: Cálculos da Envoltória da UH (PTHuh) do Módulo HabIV para a ZB2

FACHADA DOS FUNDOS	Indicador	Resultado	Nota
	Graus-Hora para Resfriamento (GHR)	3,66	B
	Consumo Relativo para Aquecimento (CA)	4,00	B
	EqNumEnv	3,85	B
	Sist. de Aquecimento D'Água	1,00	E
	Bonificações	1,08	-
	RESULTADO PTHuh	3,93	B
FACHADA ESQUERDA	Indicador	Resultado	Nota
	Graus-Hora para Resfriamento (GHR)	2,33	D
	Consumo Relativo para Aquecimento (CA)	4,00	B
	EqNumEnv	3,26	C
	Sist. de Aquecimento D'Água	1,00	E
	Bonificações	1,08	-
	RESULTADO PTHuh	3,55	B
FACHADA FRONTAL	Indicador	Resultado	Nota
	Graus-Hora para Resfriamento (GHR)	2,33	D
	Consumo Relativo para Aquecimento (CA)	4,33	B
	EqNumEnv	3,45	C
	Sist. de Aquecimento D'Água	1,00	E
	Bonificações	1,08	-
	RESULTADO PTHuh	3,67	B
FACHADA DIREITA	Indicador	Resultado	Nota
	Graus-Hora para Resfriamento (GHR)	3,66	B
	Consumo Relativo para Aquecimento (CA)	4,33	B
	EqNumEnv	4,04	B
	Sist. de Aquecimento D'Água	1,00	E
	Bonificações	1,08	-
	RESULTADO PTHuh	4,05	B

Fonte: Elaboração dos autores, 2024.

Figura 5: Resultados da eficiência energética do módulo Hab IV.



Fonte: Os autores, 2024.

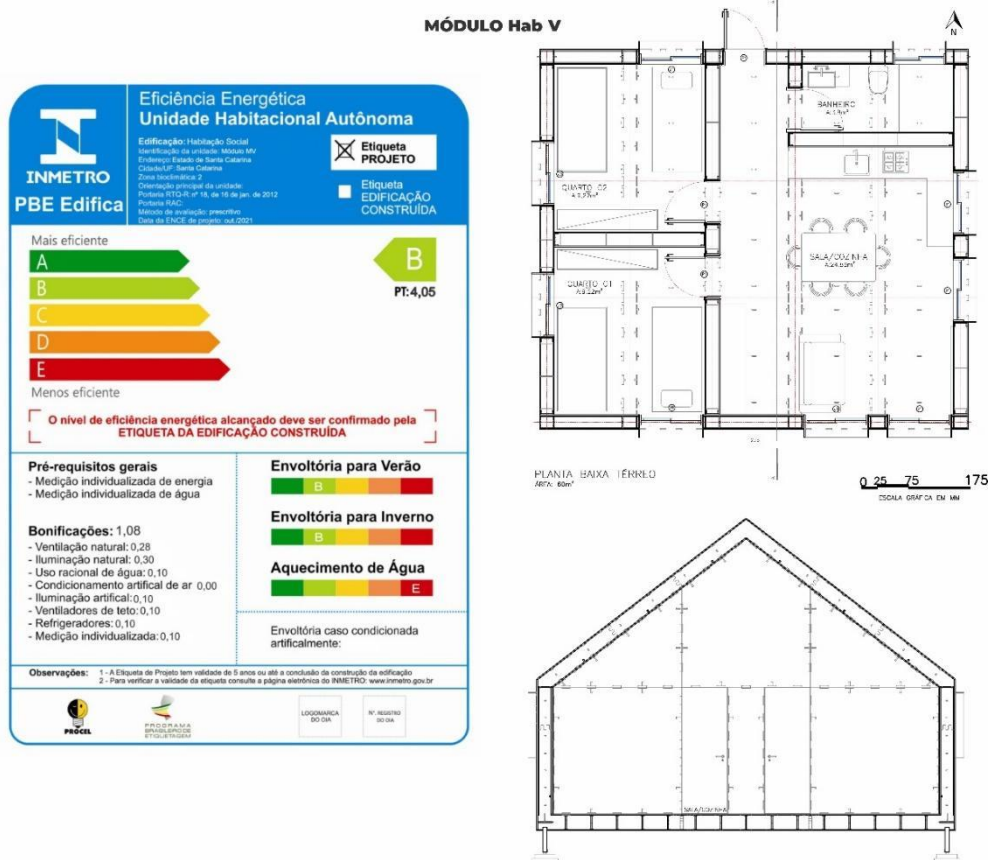
Tabela 8: Cálculos da Envolvória da UH (PTHuh) do Módulo HabIV para a ZB2

FACHADA DOS FUNDOS	Indicador	Resultado	Nota
	Graus-Hora para Resfriamento (GHR)	3,66	B
	Consumo Relativo para Aquecimento (CA)	4,00	B
	EqNumEnv	3,85	B
	Sist. de Aquecimento D'Água	1,00	E
	Bonificações	1,08	-
	RESULTADO PTHuh	3,93	B
FACHADA ESQUERDA	Indicador	Resultado	Nota
	Graus-Hora para Resfriamento (GHR)	2,33	D
	Consumo Relativo para Aquecimento (CA)	4,00	B
	EqNumEnv	3,26	C
	Sist. de Aquecimento D'Água	1,00	E
	Bonificações	1,08	-
	RESULTADO PTHuh	3,55	B
FACHADA FRONTAL	Indicador	Resultado	Nota
	Graus-Hora para Resfriamento (GHR)	2,33	D
	Consumo Relativo para Aquecimento (CA)	4,33	B
	EqNumEnv	3,45	C
	Sist. de Aquecimento D'Água	1,00	E
	Bonificações	1,08	-
	RESULTADO PTHuh	3,67	B
FACHADA DIREITA	Indicador	Resultado	Nota
	Graus-Hora para Resfriamento (GHR)	3,66	B
	Consumo Relativo para Aquecimento (CA)	4,33	B
	EqNumEnv	4,04	B

	Sist. de Aquecimento D'Água	1,00	E
	Bonificações	1,08	-
	RESULTADO PTHuh	4,05	B

Fonte: Elaboração dos autores, 2024.

Figura 6: Resultados da eficiência energética do módulo Hab V



Fonte: Os autores, 2024.

5 Considerações Finais

Este artigo apresentou os resultados e discussões acerca da avaliação da envoltória de protótipos, com base no sistema construtivo WikHouse, para a Zona Bioclimática 02, aplicando-se o método prescritivo do RTQ-R.

Esta primeira avaliação limitou-se a identificar qual, entre quatro materiais, apresentou melhor eficiência energética, sendo este a lã de rocha (P3), quando utilizada com as placas de compensado naval e lona, em comparação a utilização de câmara de ar (P1), lã de vidro (P2) e EPS (P4).

Outrora, foi necessário realizar cálculos nas quatro rotações solares, a fim de identificar o melhor posicionamento do mesmo, pois esta variação implica na variação do desempenho da envoltória, e consequentemente, da eficiência energética dos módulos. Além disso, foram utilizados somente meios de condicionamento passivos (ventilação natural, isolamento térmico, iluminação natural e ventilação cruzada).

Apesar disso, os módulos apresentaram bons resultados para resfriamento e aquecimento das edificações. Ainda, foi necessário utilizar ventilação cruzada, como previsto em normas, auxiliando na melhora do Indicador de Graus-Hora para Resfriamento, GHR.

Ainda, é necessário enfatizar que é indispensável a conceitualização do desenvolvimento sustentável em todos os níveis, especialmente às edificações, pois influenciam diretamente no consumo de recursos e no conforto e saúde de seus usuários. Até então poucos profissionais levavam em consideração os contextos urbano, geográfico e climático em seus projetos, tirando partido da iluminação e ventilação naturais e aproveitando as condições climáticas da região, a orientação solar, os ventos predominantes e as condições do entorno.

Referências

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-1**: Desempenho térmico de edificações, 2005. (Nota técnica).

BAGNATI, Mariana Moura. **Zoneamento Bioclimático Brasileiro e a Arquitetura Brasileira**: qualidade do ambiente construído. 2013. 133 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

CARMO, Roberto Luiz do; ANAZAWA, Tathiane Mayumi. Mortalidade por desastres no Brasil: o que mostram os dados. **Ciência & saúde coletiva**, v. 19, n. 9, p. 3669–3681, 2014. DOI: 10.1590/1413-81232014199.07432014

BRASIL. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais**: Portaria n.º 18, de 16 de janeiro de 2012. Brasília, 2012.

BOARETO, Renato. A política de mobilidade urbana e a construção de cidades sustentáveis. **Revista dos Transportes Públicos**, p. 143–160, 2008. Recuperado de <https://files.antp.org.br/2016/4/7/revista-completa-119.20.pdf>

EDWARD, David. Building Open-Source: To What Extent does WikiHouse Apply the Open-Source Model to Architecture? Dissertation: University of Kent, 2018.

FREITAS, Carlos Machado de; XIMENES, Elisa Francioli. Enchentes e saúde pública - uma questão na literatura científica recente das causas, consequências e respostas para prevenção e mitigação. **Ciência & Saúde coletiva**, v. 17, n. 6, p. 1601–1615, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1413-81232012000600023>

FREITAS, Carlos Machado de; . Vulnerabilidade socioambiental, redução de riscos de desastres e construção da resiliência: lições do terremoto no Haiti e das chuvas fortes na Região Serrana, Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 17, n. 6, p. 1577–1586, jun. 2012.

HERRMANN, Maria Lucia de Paula. **Atlas de desastres naturais do Estado de Santa Catarina**. 1ª ed. Florianópolis: [s.n.], 2006.

INMETRO, INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Regulamento Técnico Da Qualidade Para O Nível De Eficiência Energética Edificações Residenciais**. Rio de Janeiro, 2012, 138 p.

LAMBERTS, Roberto. et al. **Sustentabilidade nas edificações**: contexto internacional e algumas referências brasileiras na área. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), 2008.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. **Eficiência energética na arquitetura**. 3a ed. 2014.

LAMBERTS, Roberto; TRIANA, Maria Andrea. **Levantamento do Estado da Arte: Energia**. Relatório, Projeto Tecnologias Para a Construção Habitacional mais Sustentável. São Paulo, 2007. Disponível: https://labeec.ufsc.br/sites/default/files/documents/tecnologias-para-construcao-mais-sustentavel/HabitacaomaisSustentavel_D2.2_energia.pdf

MARCHEZINI, Victor. **Desafios de gestão de abrigos temporários: uma análise sociológica de insegurança e riscos no cotidiano de famílias abrigadas**. Dissertação de Mestrado. UFSCar, 2010.

MAKERS OF ARCHITECTURE. **Warrander Studio**. Recuperado de: <<http://www.makersofarchitecture.co.nz/project/warrander-studio>>.

NARDELLI, Eduardo Sampaio; BACKHEUSER, Luiz Alberto Fresi. **Sistema Wikihouse aplicado ao Programa Minha Casa Minha Vida**. SIGraDi 2016, XX Congreso de la Sociedad Ibero-americana de Gráfica Digital. Anais...Buenos Aires, Argentina: 2016. Recuperado de: https://papers.cumincad.org/data/works/att/sigradi2016_461.pdf

PASSARO, Andrés; ROHDE, Clarice. Casa Revista: arquitetura de fonte aberta. **Gestão e Tecnologia de Projetos**, v. 11, n. 2, p. 25–41, 2016. <https://doi.org/10.11606/gtp.v11i2.114437>

PREST, Cleyton. **WikiHouse Project**. Recuperado de: <https://github.com/wikihouseproject>. Acesso em 09 mar. 2024.

SANTOS, Rúbia dos. **Gestão de Desastres e Política de Assistência Social: estudo de caso de Blumenau/SC**. 2012. 336 f. Tese (Doutorado em Sociologia Política) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012b

SECCHI, Carla Cristina. **Arquitetura Open Souce: capacitação, criação e materialização com suporte de fabricação digital**. 2019. 172 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019b.

SILVA, José Adailton Barroso; BARROSO, Rita de Cássia Amorim; RODRIGUES, Auro Jesus; COSTA, Silvania Santana; FONTANA, Raphael Luiz Macêdo. A urbanização no mundo contemporâneo e os problemas ambientais. **Caderno De Graduação - Ciências Humanas E Sociais – UNI SERGIPE**, v. 2, n. 2, p. 197–207, 2014. Recuperado de <https://periodicos.set.edu.br/cadernohumanas/article/view/1723>

UNITED NATIONS FOR DISASTER RISK REDUCTION. **Human cost of disasters: an overview of the last 20 years**. 30 p., 2020.