



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS DE RUSSAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

DAISY DE SOUSA SIQUEIRA

**DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE CASA CONTÊINER PARA A ZONA
BIOCLIMÁTICA 07: EFICIÊNCIA TÉRMICA POR MEIO DA ORIENTAÇÃO
SOLAR, SELEÇÃO DE MATERIAIS E ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS.**

RUSSAS
2024

DAISY DE SOUSA SIQUEIRA

DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE CASA CONTÊINER PARA A ZONA
BIOCLIMÁTICA 07: EFICIÊNCIA TÉRMICA POR MEIO DA ORIENTAÇÃO SOLAR,
SELEÇÃO DE MATERIAIS E ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS.

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
do Campus Russas da Universidade
Federal do Ceará, como requisito parcial
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Helton
Magalhães Pinheiro

RUSSAS

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pela autora

S629d Siqueira, Daisy de Sousa.

Desenvolvimento de um modelo de casa contêiner para a zona bioclimática 07: eficiência térmica por meio da orientação solar, seleção de materiais e estratégias bioclimáticas. / Daisy de Sousa Siqueira. – 2024.

78 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Russas, Curso de Ciência da Computação, Russas, 2024.

Orientação: Prof. Dr. Pedro Helton Magalhães Pinheiro.

1. Desempenho térmico. 2. Casa contêiner. 3. Zona bioclimática 07. 4. Isolamento térmico. 5. Morada Nova - CE. I. Título.

CDD 005

DAISY DE SOUSA SIQUEIRA

DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE CASA CONTÊINER PARA A ZONA
BIOCLIMÁTICA 07: EFICIÊNCIA TÉRMICA POR MEIO DA ORIENTAÇÃO SOLAR,
SELEÇÃO DE MATERIAIS E ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS.

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
do Campus Russas da Universidade
Federal do Ceará, como requisito parcial
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Aprovada em: 20/ 09/ 2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Pedro Helton Magalhães Pinheiro (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Alexandre Araújo Bertini (Avaliador Interno)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Me. Maria Gisela Parente N. de Lima (Avaliador Externo)

A Deus, cuja sabedoria infinita orquestrou a escolha dos meus pais e harmoniosamente apresentou-me aqueles que moldaram minha trajetória até aqui. Agradeço por ter cercado-me de mentores e companheiros inspiradores em cada passo, guiando-me com graça até alcançar este momento.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, rendo meu mais profundo agradecimento a Deus, cuja sabedoria e amor têm sido a bússola que guia cada um dos meus passos, permitindo que eu chegasse até aqui.

Aos meus pais, Jean Lima Siqueira e Astrogilda Maria de Sousa, e ao meu irmão, David de Sousa Siqueira, dedico minha mais profunda estima. O anseio por alcançar o sucesso sempre nasceu do desejo de honrar a confiança que vocês continuamente têm em mim.

Aos professores, Anderson Feitoza Leitão Maia e Aliny Abreu de Sousa Monteiro e Cândido Lobo, meu sincero agradecimento. Vocês foram os responsáveis por me inspirar a seguir adiante, mesmo quando as dificuldades surgiram.

Ao meu orientador, Pedro Helton Magalhães Pinheiro, expresso minha elevada consideração. Sua orientação e seu compromisso com meu desenvolvimento foram cruciais para o êxito deste trabalho. Sua presença foi um norte seguro durante toda essa jornada.

Às professoras Daniela Lima Machado, Mylene Melo, Andriele Nascimento e M. Gisela Parente, meu reconhecimento por serem fontes inesgotáveis de inspiração.

Aos professores Esequiel Mesquita e Jerfson Lima, expresso meu apreço pela orientação firme, que me desafiou a superar limites e me preparou para enfrentar adversidades com resiliência.

Aos servidores e funcionários da manutenção, meu sincero agradecimento pela disposição e prontidão em prestar auxílio com cortesia.

A Carlos Humberto Costa, meu orientador na bolsa de iniciação científica, agradeço pela confiança e pelas oportunidades concedidas.

Aos queridos amigos e colegas Camila Barboza, Vanessa Sand, Eugênio Santos, Ikaro Pinheiro, Edgar Bruno Benício, Letícia Maurício e Marcus Vinícius, pelos quais guardo um carinho especial. Vocês me ajudaram a atravessar os desafios acadêmicos com apoio, paciência e amizade. Cada um de vocês teve um papel único, tornando os obstáculos mais suportáveis e os momentos compartilhados memoráveis.

Aos colegas Breno Moreira e Carlos Vinícius Castro, agradeço pelos momentos de descontração que trouxeram alívio ao cotidiano universitário.

A Pedro Igor Mendonça Rabelo, expresso meu mais profundo apreço. Sua crença em mim e o apoio constante me ajudaram a enxergar meu potencial, proporcionando-me força e confiança ao longo do caminho.

Por fim, agradeço ao professor Renan Cid Varela, cuja valiosa contribuição foi fundamental para a realização deste trabalho.

RESUMO

Este trabalho investiga a viabilidade da construção de casas contêineres em Morada Nova - CE, com ênfase no desempenho térmico e na eficácia de diferentes materiais de isolamento. O estudo baseou-se nas normas NBR 15575-1, NBR 15220-3 e no RTQ-R (2010), que orientam sobre o conforto térmico em edificações. Incluiu simulações computacionais e experimentos com materiais isolantes como espuma de poliuretano, lã de rocha e lã de vidro. Avaliaram-se as temperaturas internas durante os meses mais frio (junho) e quente (dezembro), considerando a influência da orientação das fachadas. Os testes indicam que a orientação das fachadas não teve influência significativa nas temperaturas internas, com variações mínimas entre as orientações norte e oeste. Entre os materiais testados, a espuma de poliuretano apresentou o melhor desempenho térmico, seguida pela lã de rocha e, por último, pela lã de vidro. Todas as configurações foram eficazes em manter temperaturas internas confortáveis, em diferentes épocas do ano, destacando-se a espuma de poliuretano pela melhor eficiência térmica. Os resultados confirmam que as estratégias adotadas para a construção da casa contêiner atendem aos padrões normativos de conforto térmico, evidenciando a viabilidade e eficácia do design proposto. Recomenda-se, para trabalhos futuros, explorar outras zonas bioclimáticas e testar novas tecnologias passivas e métodos construtivos, além de realizar validação de campo para fortalecer as conclusões obtidas.

Palavras-chave: desempenho térmico; casa contêiner; zona bioclimática 7; isolamento térmico; conforto térmico.

ABSTRACT

This study investigates the feasibility of building container homes in Morada Nova - CE, focusing on thermal performance and the effectiveness of different insulation materials. The study was based on the NBR 15575-1, NBR 15220-3 standards, and RTQ-R (2010), which provide guidelines on thermal comfort in buildings. It included computational simulations and experiments with insulating materials such as polyurethane foam, rock wool, and glass wool. Internal temperatures were assessed during the colder (June) and hotter (December) months, considering the influence of facade orientation. The results indicated that facade orientation had no significant effect on internal temperatures, with minimal variations between north and west orientations. Among the tested materials, polyurethane foam exhibited the best thermal performance, followed by rock wool, and lastly, glass wool. All configurations were effective in maintaining comfortable internal temperatures throughout the year, with polyurethane foam standing out for its superior thermal efficiency. The results confirm that the strategies adopted for the container home construction meet the normative standards for thermal comfort, demonstrating the feasibility and effectiveness of the proposed design. Future work is recommended to explore other bioclimatic zones and test new passive technologies and construction methods, as well as to conduct field validation to strengthen the obtained conclusions.

Keywords: thermal performance; container home; bioclimatic zone 07; thermal insulation; thermal comfort.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Objetivos	12
1.1.1	<i>Objetivo geral</i>	12
1.1.2	<i>Objetivos específicos</i>	12
1.2	Justificativa	13
1.2	Estrutura do Trabalho	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1	Eficiência Energética e sua Importância na Construção Civil	15
2.2	Desempenho Térmico e sua Relação com o Conforto Térmico	16
2.2.1	<i>Conforto térmico e desempenho térmico</i>	16
2.3	Classificação da Temperatura	17
2.3.1	<i>Temperatura do ar</i>	17
2.3.2	<i>Temperatura radiante</i>	18
2.3.3	<i>Temperatura de bulbo seco</i>	18
2.3.4	<i>Temperatura operativa</i>	18
2.3.5	<i>Critérios de avaliação de temperatura</i>	19
2.4	Zona Bioclimática 07	20
2.5	Condições Bioclimáticas de Morada Nova	22
2.5.1	<i>Dados climáticos</i>	22
2.6	Indicadores de avaliação do desempenho energético e térmico das edificações	23
2.7	Estratégias de Projeto para Eficiência Energética em Edificações	25
2.7.1	<i>Isolamento térmico</i>	25
2.8	Materiais e Técnicas Construtivas Eficientes	27
2.8.1	<i>Casas contêineres: vantagens, desafios e potencial para eficiência energética</i>	27

2.8.2	<i>Referências projetuais</i>	29
2.8.3	<i>Isolamento térmico em edificações contêineres</i>	33
2.8.4	<i>Materiais sustentáveis e de baixo impacto ambiental</i>	35
2.9	Procedimentos de Análise Computacional	35
2.10	Apresentação de Ferramentas DesignBuilder e Revit	36
2.10.1	<i>DesignBuilder</i>	36
2.10.2	<i>Autodesk Revit</i>	37
3	MÉTODOS	38
3.1	Revisão da Literatura	38
3.2	Desenvolvimento do Projeto Arquitetônico	39
3.3	Simulação Computacional	40
3.4	Preparação do Modelo	40
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
4.1	Desenvolvimento do Modelo Arquitetônico	51
4.2	Análise Térmica	54
4.2.1	<i>Faixa horária de análise</i>	55
4.2.2	<i>Variação das fachadas</i>	57
4.2.3	<i>Desempenho térmico dos ambientes</i>	60
4.2.4	<i>Desempenho das configurações de materiais</i>	61
4.3	Comparação de Desempenho Térmico ao Longo do Ano	65
4.4	Considerações	68
5	CONCLUSÃO	72
5.1	Sugestões para Trabalhos Futuros	72
	REFERÊNCIAS	74

1 INTRODUÇÃO

A crescente busca por soluções habitacionais sustentáveis tem levado ao interesse renovado nas casas construídas a partir de contêineres marítimos. Essas estruturas oferecem uma alternativa econômica e ecológica para a construção de habitações, além de apresentarem flexibilidade e durabilidade. No entanto, um desafio significativo enfrentado por essas casas é o controle do conforto térmico devido à natureza do material e ao design compacto.

O objeto de estudo deste trabalho é a edificação residencial construída com contêineres na Zona Bioclimática 07, com foco na avaliação do desempenho térmico dessa edificação, considerando fatores como materiais de construção, orientação solar e estratégias de projeto, por meio de simulação computacional. A pesquisa visa fornecer *insights* para o desenvolvimento de estratégias eficazes de projeto para melhorar o conforto térmico dessas habitações.

A relevância da pesquisa reside no fato de que as casas construídas com contêineres apresentam potencial para reduzir o impacto ambiental da construção, mas é fundamental garantir que essas estruturas sejam eficientes energeticamente e proporcionem conforto térmico aos seus ocupantes. Além disso, ao avaliar a viabilidade técnica e econômica das casas container, contribui-se para a sua aceitação e adoção no mercado imobiliário, promovendo inovação e avanço tecnológico na construção sustentável.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Desenvolver um modelo de casa contêiner para a zona Bioclimática 07, focando na eficiência térmica por meio da variação da orientação solar, da seleção de materiais de vedação e da implementação de estratégias bioclimáticas.

1.1.2 Objetivos específicos

- Desenvolver um modelo base do projeto arquitetônico da casa contêiner, aplicando estratégias bioclimáticas adequadas ao conforto térmico e à eficiência energética para a zona Bioclimática 07;

- Avaliar o desempenho térmico do projeto arquitetônico da casa contêiner utilizando simulação computacional;
- Estudar e comparar o impacto de três materiais diferentes (lã de vidro, lã de rocha e espuma de poliuretano) para as paredes na eficiência térmica do projeto;
- Avaliar a influência da orientação solar no desempenho térmico da edificação, com foco nas fachadas oeste e norte, considerando sua relevância no contexto do projeto;
- Comparar as temperaturas externas e internas da edificação conforme os critérios estabelecidos pela NBR 15575:2013 – Edificações Habitacionais – Desempenho;
- Definir a configuração ideal do modelo arquitetônico para maximizar a eficiência térmica da edificação.

1.2 Justificativa

Inicialmente, a cidade escolhida para o estudo foi Russas, Ceará, onde se localiza a Universidade Federal do Ceará, campus da autora. No entanto, devido à indisponibilidade de arquivos climáticos específicos para Russas, o estudo precisou ser realizado para a cidade de Morada Nova, Ceará. Essa decisão está em conformidade com a recomendação da NBR 15575-1:2021, que orienta que, na ausência de arquivos climáticos para a cidade de implantação da unidade habitacional (UH), deve-se utilizar os arquivos climáticos de uma cidade próxima com clima semelhante. Assim, Morada Nova foi selecionada por apresentar características climáticas similares e pertencer à mesma Zona Bioclimática 07 que Russas.

O uso de contêineres na construção civil tem se tornado cada vez mais comum em diversas aplicações, como escritórios temporários e lanchonetes. Contudo, em regiões de clima quente, como as da Zona Bioclimática 07, o desempenho térmico dessas estruturas é frequentemente inadequado. Este estudo busca, portanto, explorar materiais e estratégias que aprimorem o conforto térmico das residências em contêineres, adaptando-as às condições climáticas locais e avaliando sua viabilidade como solução habitacional.

Adicionalmente, a proximidade da região de Russas e Morada Nova com portos marítimos facilita a aquisição e o transporte de contêineres, tornando essa alternativa construtiva mais econômica e acessível. Assim, este trabalho propõe analisar e implementar estratégias que melhorem o desempenho térmico dos contêineres, proporcionando maior conforto ambiental, redução de custos e uma alternativa habitacional sustentável, adequada às condições climáticas da região.

1.2 Estrutura do Trabalho

O trabalho compõe-se do capítulo 1, dedicado à Introdução; capítulo 2, constando a Revisão Bibliográfica, em que são abordados aspectos como eficiência energética, relação desempenho e conforto térmico, a classificação das temperaturas, bem como critérios de avaliação de temperatura, características da Zona Bioclimática 07, condições bioclimáticas de Morada Nova, acrescentando-se, também, as metodologias de avaliação e certificação ambiental e os procedimentos de análise computacional utilizados para a obtenção dos resultados. Nessa mesma seção, são indicadas referências projetuais acerca de projetos utilizando contêineres.

O capítulo 3, denominado Métodos, contém a descrição da revisão da literatura e o desenvolvimento do projeto arquitetônico. No capítulo 4, apresentam-se os resultados obtidos com as simulações e as discussões pertinentes a eles. O capítulo 5 aborda a Conclusão da pesquisa. Por fim, constam as Referências bibliográficas e que embasaram o estudo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta revisão bibliográfica tem como propósito delinear e explorar detalhadamente os principais temas e conceitos abordados na literatura existente acerca do projeto de uma casa contêiner, focando nas estratégias bioclimáticas e no desempenho térmico. Esses temas são essenciais para embasar e enriquecer as análises desenvolvidas neste trabalho, que visa avaliar a eficiência energética e o conforto térmico da edificação na Zona Bioclimática 07.

O aporte teórico principal tem como base as normas NBR 15220-2:2005 – Desempenho Térmico de Edificações – Parte 2: Determinação do Comportamento Térmico de Edificações; ASHRAE Standard 55:2013 – Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy; ISO 7730:2005 – Ergonomics of the Thermal Environment – Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort; NBR 15.575 – Desempenho de edificações habitacionais – Parte 1: Requisitos gerais (2013); NBR 15.220-3:2005 – Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.

Além disso, são indicadas referências projetuais que utilizam o reaproveitamento de contêineres para a construção de residências e outros tipos de edificações. Como forma de ampliar o escopo da pesquisa, foram selecionados artigos, dissertações, publicações em revistas e periódicos pertinentes ao objeto de estudo proposto neste trabalho.

2.1 Eficiência Energética e sua Importância na Construção Civil

A eficiência energética é um requisito intrínseco às construções, por representar o seu potencial em possibilitar conforto térmico, visual e acústico aos usuários com o menor gasto de energia. Assim, uma edificação é energeticamente mais eficiente que outra quando proporciona as mesmas condições ambientais com menor consumo de energia (Lamberts, 2014).

Para obter essa eficiência, é necessário considerar a redução do consumo energético acrescida da adoção de medidas que possibilitem a economia de recursos e diminuição do desperdício, além da utilização de fontes de energia renováveis ou a sua produção de modo eficiente objetivando otimizar a sua (re) utilização (Raoli; Gonçalves, 2020).

2.2 Desempenho Térmico e sua Relação com o Conforto Térmico

A definição de desempenho térmico está relacionada à utilização de materiais que proporcionam melhor conforto ao usuário, priorizando-se aqueles que apresentem índice de transmitância térmica global mais eficaz. Os materiais devem atender aos parâmetros definidos pela norma NBR 15220-2:2005 – Desempenho Térmico de Edificações – Parte 2: Determinação do Comportamento Térmico de Edificações, considerando as principais propriedades térmicas de cada componente.

O desempenho térmico pode resultar no conforto ou desconforto do ambiente, pois depende da análise de diversos fatores, dentre eles as variáveis ambientais, físicas, pessoais e psicológicas. A análise combinada desses elementos possibilita a verificação das condições internas do ambiente, se estão atendendo aos critérios estabelecidos na legislação, proporcionando o conforto desejável (Souza; Amparo; Gomes, 2011).

Ao não proporcionar o conforto devido, as construções interferem diretamente na eficiência energética, provocando um aumento no consumo de energia, por exemplo, por meio da instalação de aparelhos de ar-condicionado para climatizar o ambiente conforme a necessidade dos residentes (D'ell Santo; Alvarez; Nico-Rodrigues, 2013).

2.2.1 Conforto térmico e desempenho térmico

De acordo com a definição dada pela ASHRAE Standard 55:2013 – Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, conforto térmico é entendido como o estado psicológico que reflete a satisfação com as condições ambientais relacionadas à temperatura em torno de uma pessoa. Esse estado é influenciado por uma variedade de fatores, tanto ambientais (como temperatura do ar, umidade relativa, temperatura média radiante e velocidade do ar) quanto humanos (como vestuário e atividade), que impactam as trocas térmicas entre o corpo humano e o ambiente, bem como as respostas fisiológicas e psicológicas associadas (Costa *et al.*, 2017).

As variáveis que influenciam o conforto térmico são diversas e podem, em diferentes combinações, resultar em sensações ou respostas similares. Isso motivou

os pesquisadores a criarem índices de conforto térmico, que agrupam condições que produzem respostas equivalentes (Frota; Schiffer, 2001).

A Temperatura Efetiva (TE), desenvolvida em 1923 por Yaglow e Houghten, é um dos índices de conforto mais reconhecidos. Este índice subjetivo leva em conta a temperatura de bulbo seco, a temperatura de bulbo úmido e a velocidade do ar, combinando esses fatores para expressar a sensação térmica (Pouey, 2011).

2.3 Classificação da Temperatura

Os fatores ambientais que afetam a sensação de conforto térmico estão diretamente ligados às condições climáticas locais e podem ser avaliados empiricamente. Esses fatores são geralmente quantificados através de instrumentos de medição, embora a temperatura radiante média seja calculada utilizando equações específicas.

De acordo com as diretrizes da ISO 7730:2005 – Ergonomics of the Thermal Environment – Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort, os principais fatores ambientais incluem a temperatura do ar, a temperatura radiante média, a umidade relativa e a velocidade do ar (Silva, 2023).

2.3.1 Temperatura do ar

A temperatura do ar desempenha um papel central no conforto térmico, influenciando diretamente a sensação de bem-estar das pessoas. Esse conforto é determinado pela capacidade do corpo humano de dissipar calor, que varia de acordo com a diferença de temperatura entre a pele e o ambiente circundante, além de outros mecanismos de regulação térmica. As perdas de calor do corpo são afetadas pela temperatura do ar, sendo menores em condições de calor e maiores em temperaturas mais baixas (Pereira, 2019).

A variação de temperatura entre diferentes pontos de um espaço pode induzir o movimento do ar, conhecido como convecção natural. Esse fenômeno é observado quando o ar quente se eleva e o ar mais frio desce, resultando em uma circulação que contribui para o resfriamento do ambiente.

A avaliação da temperatura do ar é essencial para determinar o conforto térmico dos ocupantes em ambientes construídos, sendo um aspecto chave na análise da temperatura operativa das edificações.

2.3.2 Temperatura radiante

A temperatura radiante média é determinada pela uniformidade térmica de um espaço hipotético, onde a troca de calor por radiação do corpo humano se equipara à troca de calor por radiação em um ambiente real não uniforme. Essa medida pode ser obtida utilizando um termômetro de globo (Pereira, 2019).

Importante conceito em termos de conforto térmico que está intimamente ligada à temperatura na superfície dos elementos presentes no ambiente circundante. Essa temperatura superficial não apenas afeta diretamente a sensação térmica das pessoas, mas também desempenha um papel crucial na regulação do ambiente interno. Por exemplo, em um dia ensolarado, superfícies expostas à luz solar podem atingir temperaturas significativamente mais altas do que a temperatura ambiente, gerando um desconforto térmico adicional (Gabriel *et al.*, 2020).

Além disso, a temperatura radiante influencia diretamente a troca de calor entre os corpos e o ambiente, afetando assim o consumo de energia em sistemas de aquecimento e resfriamento. Portanto, compreender e controlar a temperatura radiante são elementos essenciais para criar ambientes internos confortáveis e eficientes energeticamente (Gabriel *et al.*, 2020).

2.3.3 Temperatura de bulbo seco

É a temperatura indicada por um termômetro comum, não exposto a radiação. Essa medida é crucial para avaliar o conforto térmico em ambientes internos e externos, sendo fundamental para determinar a sensação térmica percebida pelas pessoas. É a verdadeira temperatura do ar, representando o calor ou o frio atmosférico sem considerar outros fatores como umidade ou radiação solar direta (Gabriel *et al.*, 2020).

2.3.4 Temperatura operativa

A norma técnica NBR 15.575 – Desempenho de edificações habitacionais – Parte 1: Requisitos gerais (2013) estabelece três parâmetros para a avaliação do desempenho térmico mínimo, incluindo:

a) a proporção de horas de ocupação mantidas dentro de uma faixa de temperatura operacional específica;

- b) a temperatura operacional máxima anual; e
- c) a temperatura operacional mínima anual.

Segundo a norma especificada, a temperatura operativa é definida como a média entre a temperatura do ar e a temperatura radiante média do ambiente (Piorezan, 2021).

Assim, a temperatura operativa é calculada considerando a troca de calor por radiação entre o corpo do indivíduo e o ambiente ao seu redor. A quantidade de radiação incidente sobre uma pessoa dentro de um espaço depende das propriedades dimensionais e térmicas desse espaço, bem como da posição do indivíduo no interior desse local (Piorezan, 2021).

Atender às diretrizes estabelecidas pelas normativas NBR 15.220-3:2005 – Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social — e NBR 15.575-1:2013 – Desempenho de edificações habitacionais - Parte 1: Requisitos gerais — é indispensável para garantir o conforto térmico nas edificações da Zona Bioclimática 07 do Brasil. O cumprimento dessas diretrizes visa não apenas proporcionar condições ideais de conforto, mas também promover a eficiência energética e a sustentabilidade das construções, reduzindo o consumo de energia para aquecimento e refrigeração.

Ao considerar esses elementos em conjunto, é possível projetar edificações que sejam resilientes às variações climáticas, proporcionando ambientes internos agradáveis e saudáveis ao longo de todo o ano, contribuindo assim para a qualidade de vida e o bem-estar dos usuários.

2.3.5 Critérios de avaliação de temperatura

A norma NBR 15.220-1:2005 - Desempenho térmico de edificações Parte 1: Definições, símbolos e unidades – fundamenta o sistema de classificação do desempenho térmico de edificações e oferece diversas diretrizes para sua avaliação. Entre essas diretrizes, estão recomendações para padronizar as simulações computacionais de edificações durante a fase de projeto estabelecendo definições, símbolos e unidades de termos relacionados ao desempenho térmico de edificações. (Pouey, 2011).

Conforme a referida norma, a avaliação global deve levar em conta os aspectos bioclimáticos da área onde a obra será realizada, conforme estabelecido na norma NBR 15.220-1 (ABNT, 2005). Além disso, deve-se verificar se os requisitos e critérios estabelecidos são atendidos, sendo que o nível mínimo aceitável é o "M" (Viana, 2018).

A avaliação deve ser realizada considerando um dia típico de verão e um dia típico de inverno. Os dados climáticos específicos da cidade onde a edificação será construída podem ser obtidos nas tabelas do documento. Se a cidade não estiver incluída na lista, devem-se utilizar os dados climáticos da cidade mais próxima dentro da mesma zona bioclimática e com altitude semelhante (Viana, 2018).

Para as condições de um dia típico de verão, a temperatura máxima diária do ar no interior de recintos de longa permanência (como dormitórios e salas) deve ser igual ou inferior à temperatura máxima diária do ar exterior. Na avaliação, as fontes internas de calor não devem ser consideradas (Pouey, 2011).

Tabela 1 - Nível de desempenho da temperatura.

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
M	$T_{i,máx.} \leq T_{e,máx.}$	$T_{i,máx.} \leq T_{e,máx.}$
I	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 2 \text{ °C})$	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 1 \text{ °C})$
S	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 4 \text{ °C})$	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 2 \text{ °C})$

Ti,máx. é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius.
Te,máx. é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius.
Ti,mín. é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius.
Te,mín. é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius.
NOTA Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.

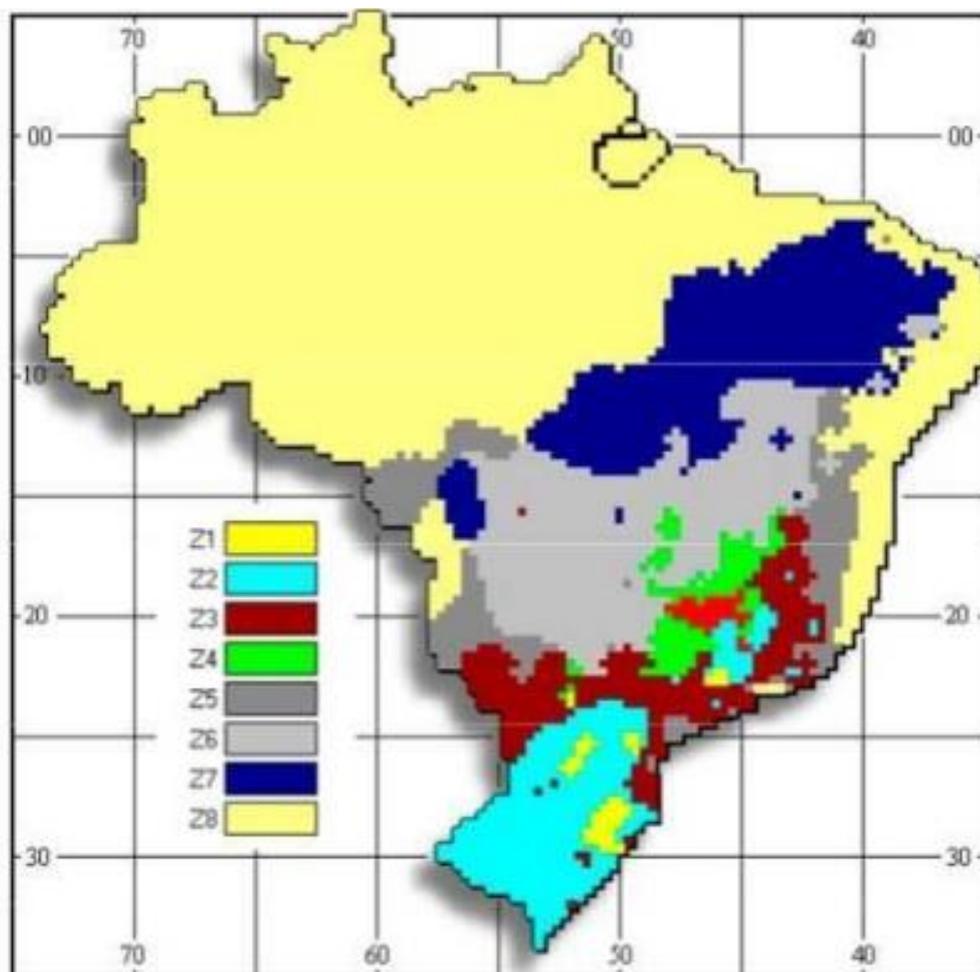
Fonte: NBR 15.575 (ABNT, 2013, p. 62).

2.4 Zona Bioclimática 07

O conceito de Zoneamento Bioclimático surge da interseção entre três elementos essenciais: as necessidades de conforto térmico humano, as características climáticas objetivas e as técnicas de planejamento e construção voltadas para alcançar esse conforto. No contexto brasileiro, são identificados oito tipos distintos de Zonas Bioclimáticas (Silva; Padovan, 2020).

Cada zona, que podem ser visualizadas na Figura 1, tem condições climáticas específicas que impactam diretamente o conforto térmico das pessoas. Projetar edifícios que respondam sob condições climáticas locais contribuem para um ambiente interno mais agradável, minimizando a necessidade de aquecimento ou resfriamento excessivo.

Figura 1 - Zonas bioclimáticas brasileiras.



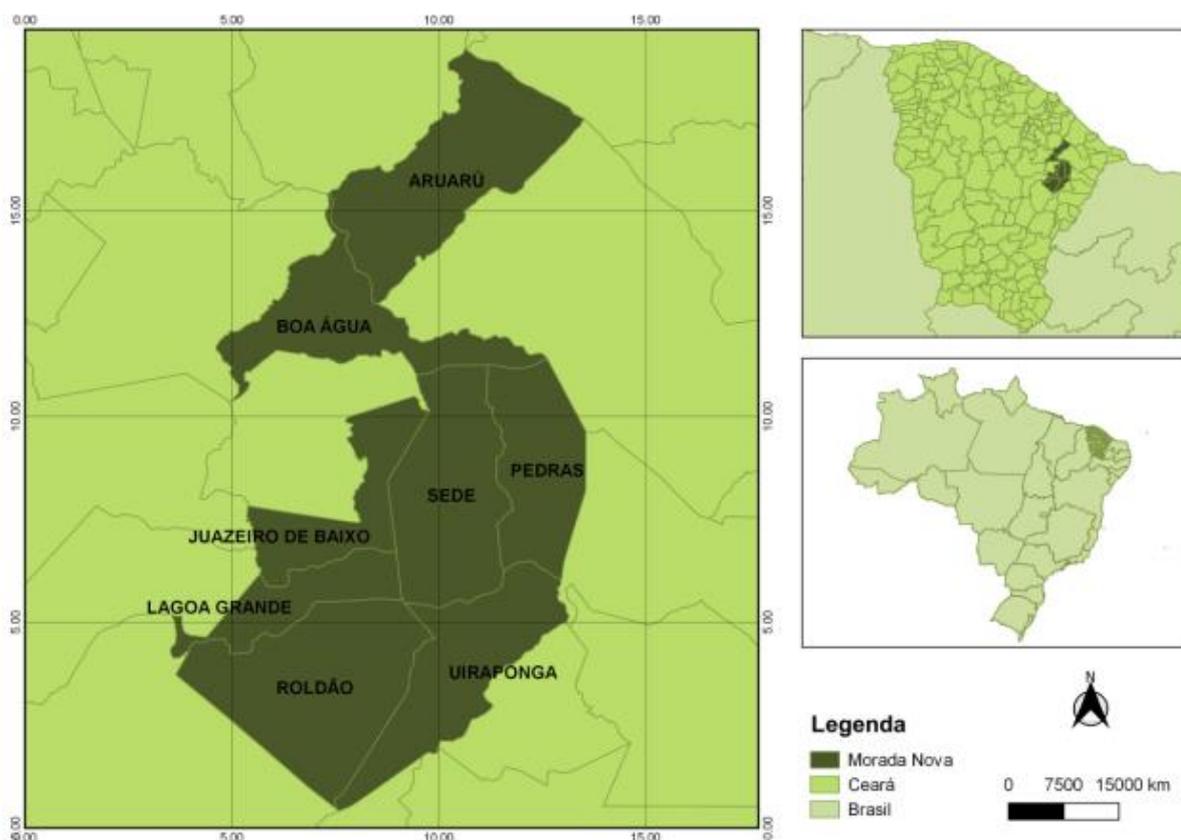
Fonte: Silva; Padovan (2020).

A Zona Bioclimática 07 caracteriza-se por um clima quente e úmido ao longo do ano, com temperaturas elevadas e baixa umidade relativa do ar. As características climáticas dessa região têm um impacto significativo no desempenho térmico de edifícios e no planejamento urbano, trazendo desafios específicos que precisam ser observados para garantir o conforto e a eficiência energética. Suas características climáticas compreendem temperaturas elevadas, muitas vezes excedendo os 30°C (Silva; Padovan, 2020).

Verifica-se que a Zona Bioclimática 07 apresenta características climáticas que trazem desafios específicos relacionados ao desempenho térmico de edifícios e espaços urbanos. Projetar de forma sensível a essas condições requer a implementação de estratégias que visem ao conforto térmico, à eficiência e à durabilidade dos materiais em um contexto de clima quente e úmido (Silva, 2023).

Focando especificamente nesta área, a quem pertence o projeto em análise, serão delineadas as orientações pertinentes a essa região, onde se localiza a cidade de Morada Nova – CE, Figura 2.

Figura 2 - Localização do município de Morada Nova – CE.



Fonte: Ferreira; Bastos (2018).

2.5 Condições Bioclimáticas de Morada Nova

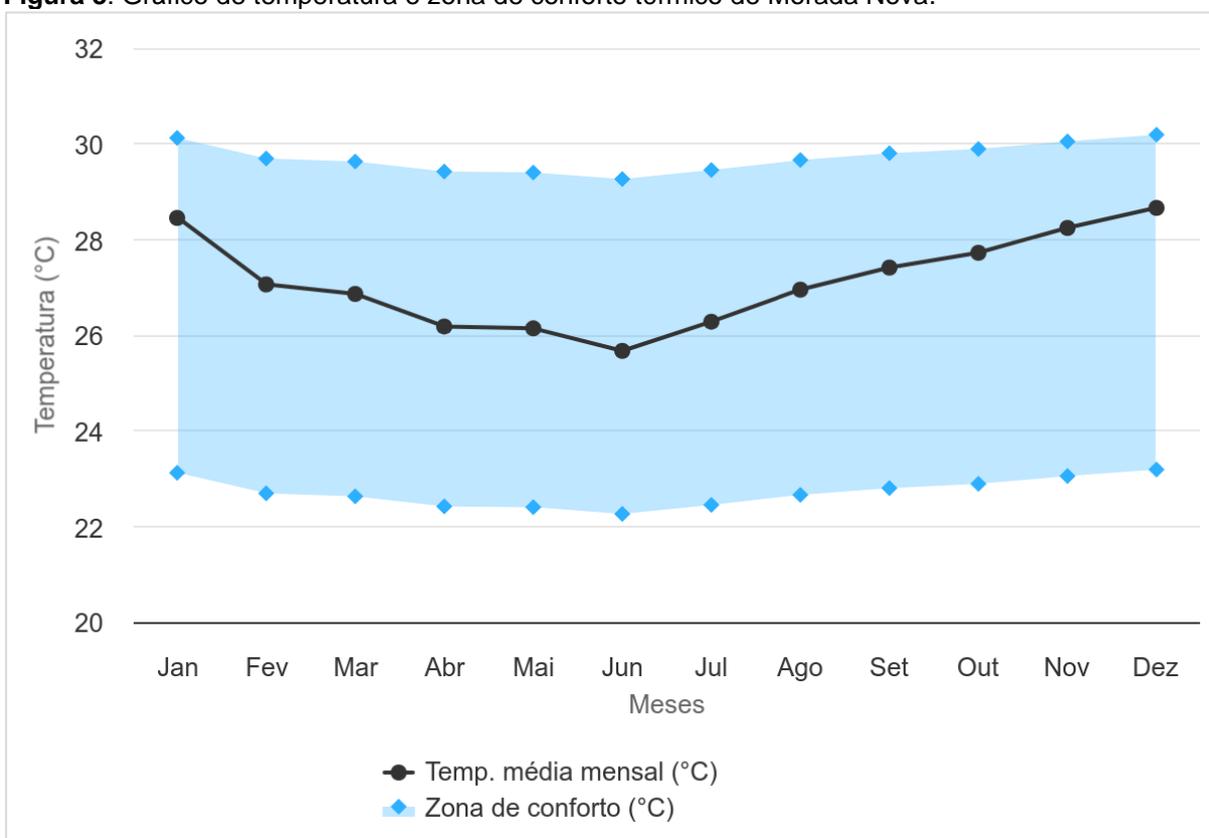
2.5.1 Dados climáticos

Morada Nova está situada na porção central leste, na região do Baixo Jaguaribe, com coordenadas geográficas de 5° 06' 24" de latitude e 38° 22' 21" de longitude, e uma elevação média de cerca de 52 metros acima do nível do mar. O clima da região é caracterizado como tropical quente semiárido, com temperaturas

médias anuais variando entre 26 e 28°C. O período de maior incidência de chuvas ocorre principalmente entre os meses de fevereiro e abril, conforme relatório do Ipece, de 2017.

A Figura 3 apresenta o gráfico da temperatura média mensal e a zona de conforto térmico de Morada Nova, com informações fornecidas pelo PROJETEE, uma plataforma do Ministério de Minas e Energia (MME). Este gráfico ilustra a variação das temperaturas médias mensais ao longo do ano e sua correspondência com a zona de conforto térmico.

Figura 3: Gráfico de temperatura e zona de conforto térmico de Morada Nova.



Fonte: PROJETEE. Ministério de Minas e Energia (MME).

2.6 Indicadores de avaliação do desempenho energético e térmico das edificações

A avaliação do desempenho térmico de edificações é essencial para garantir que os edifícios sejam eficientes em termos de consumo de energia e proporcionem comodidade aos seus ocupantes. Para realizar esta avaliação, são utilizados

diversos critérios e indicadores, que consideram aspectos relacionados à eficiência energética e ao conforto térmico.

Além destes, é considerado também o índice de eficiência térmica (ut) para avaliar o conforto térmico, sendo comum utilizar índices como o PMV (*Predicted Mean Vote*) e o PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*), que avaliam fatores como temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do ar e taxas metabólicas para determinar o nível de conforto térmico dos ocupantes (Vasconcellos, 2021).

O indicador carga térmica, por sua vez, é usado para analisar a quantidade de calor que precisa ser removida ou adicionada a um ambiente para mantê-lo em uma faixa de temperatura confortável. A análise da carga térmica ajuda a dimensionar corretamente os sistemas de climatização e a otimizar o uso de energia.

A qualidade do isolamento térmico do edifício é crucial para o desempenho térmico. O coeficiente U (ou valor U) é frequentemente usado para avaliar a capacidade do envelope térmico de retenção de calor no inverno e bloqueio de calor no verão.

Soma-se aos critérios citados, o uso de energias geradas por intermédio da incorporação de fontes de energia renovável, como painéis solares fotovoltaicos e sistemas de aquecimento solar de água, sendo este um foco importante para avaliar o desempenho energético positivo de uma edificação.

Atualmente, modelos computacionais e *softwares* de simulação energética são frequentemente utilizados para prever o desempenho térmico e energético de um edifício antes de sua construção. Isso permite ajustes no projeto para otimização.

No Brasil, existem certificações como o Procel Edifica, que regulariza edifícios com alto desempenho energético e térmico. Também há o Selo Leed – Leadership in Energy Environmental Design, encarregado de promover a construção de edificações que priorizem a sustentabilidade, respeitem o meio ambiente e utilizem de forma mais eficiente recursos energéticos como luz, água e vento, considerando 9 critérios de eficiência. Além desses, existe o Selo Casa Azul, gerido pela Caixa Econômica federal, que reconhece edificações sustentáveis, promovendo práticas que respeitam o meio ambiente e incentivam a eficiência energética e o uso racional de recursos naturais.

Acrescenta-se, ainda, o Selo AQUA-HQE, certificação internacional de sustentabilidade para edificações, promovida no Brasil pela Fundação Vanzolini. Ele avalia e reconhece construções que adotam práticas sustentáveis, priorizando

eficiência energética, gestão responsável de recursos e conforto ambiental. Essas certificações avaliam vários dos critérios e indicadores mencionados acima (Vasconcellos, 2021).

Em suma, a avaliação do desempenho energético e térmico das edificações envolve uma série de critérios e indicadores que consideram tanto a eficiência energética quanto o conforto térmico. Isso é crucial para promover a construção de edifícios mais sustentáveis, econômicos e confortáveis para os usuários, contribuindo para a redução do consumo de energia e das emissões de gases de efeito estufa.

2.7 Estratégias de Projeto para Eficiência Energética em Edificações

A busca por estratégias que promovam a eficiência energética em edificações tem se tornado uma prioridade no cenário atual de preocupação crescente com as mudanças climáticas e o consumo sustentável de recursos naturais. Neste contexto, esta seção se propõe a explorar e analisar as diversas abordagens e táticas disponíveis para o desenvolvimento de edifícios energeticamente eficientes.

2.7.1 Isolamento térmico

O isolamento térmico em edificações é um elemento na eficiência energética, no conforto dos ocupantes e na preservação do meio ambiente. Ele consiste em utilizar materiais específicos para reduzir a transferência de calor entre o interior e o exterior de uma construção. Isso é essencial para manter a temperatura interna confortável e minimizar a necessidade de aquecimento ou resfriamento excessivo, o que, por sua vez, reduz o consumo de energia e os custos operacionais (Vasconcellos, 2021).

Existem diversos tipos de isolantes térmicos disponíveis no mercado, cada um com suas características, vantagens e desvantagens, dentre eles:

a) **Lã de vidro** é um dos materiais isolantes mais populares, feito principalmente de sílica e sódio, e é comumente encontrado em forma de mantas, painéis ou como enchimento em paredes e telhados. A lã de vidro é eficaz na redução da transferência de calor, é resistente ao mofo e não é inflamável.

Esse tipo de fibra destaca-se como um isolante eficaz tanto térmica quanto acusticamente. Sua resistência à deterioração impede o crescimento de fungos e bactérias, enquanto sua eficiência isolante permanece inalterada ao longo do tempo. Além disso, é conhecida por sua propriedade de não propagar fogo (Pires, 2021).

b) **Lã de rocha** envolve, em sua fabricação, a combinação de rochas basálticas, resina e fibras minerais. Esta composição confere-lhe uma característica notável: a incombustibilidade. Em outras palavras, ela mantém sua integridade mesmo em situações de fogo, o que a torna uma escolha superior para o revestimento interno de contêineres (Pires, 2021).

Comumente utilizada para isolamento em paredes e divisórias feitas de *drywall*, chapas cimentícias e até mesmo alvenaria tradicional. Destaca-se por sua eficácia na absorção tanto acústica quanto térmica, o que reduz significativamente ruídos e a transferência de calor através dos forros. Além disso, é conhecida por sua durabilidade, facilidade de manuseio e instalação (Pires, 2021).

c) A **espuma de poliuretano** é um material versátil amplamente utilizado em diversas indústrias devido às suas propriedades únicas, como leveza, flexibilidade e capacidade de isolamento térmico e acústico. Produzida a partir da reação química entre isocianato e polioliol, essa espuma pode ser encontrada em diferentes densidades e formatos, sendo empregada em aplicações que variam desde a fabricação de colchões e estofados até o isolamento de edificações e componentes automotivos. Além disso, sua estrutura celular permite a absorção de impactos, tornando-a ideal para embalagens e proteção de produtos frágeis (Construindo-Decor, 2017).

Algumas das principais características da espuma expansiva incluem excelente aderência a uma variedade de materiais, impermeabilidade, resistência à compressão e cisalhamento, capacidade de isolamento acústico, alto rendimento e durabilidade, conforme assinala Iizuka (2001).

A escolha do tipo de isolamento térmico dependerá das necessidades específicas do projeto, do orçamento disponível e das condições climáticas locais. É importante considerar fatores como resistência à umidade, resistência ao fogo, densidade, espessura e capacidade de isolamento térmico ao tomar decisões sobre o isolamento em edificações.

2.8 Materiais e Técnicas Construtivas Eficientes

Os materiais de construção e as técnicas construtivas têm evoluído para atender às demandas por sustentabilidade, eficiência energética e durabilidade. Atualmente, há uma variedade de materiais, como concreto reciclado, bambu e tijolos ecológicos, os quais se destacam pela reduzida interferência no meio ambiente. Técnicas como a construção modular e o uso de isolamento térmico adequado são exemplos de métodos eficientes que promovem a economia de recursos e o conforto habitacional.

Escolher métodos de construção industrializados, como o sistema de contêineres, pode resultar em um impacto ambiental limitado, uma vez que requer menos produção de materiais de construção convencionais, que consomem quantidade específica de energia (Souza *et al.*, 2019).

2.8.1 Casas contêineres: vantagens, desafios e potencial para eficiência energética

As casas construídas com contêineres marítimos, conhecidas como casas contêiner, têm ganhado popularidade crescente nos últimos anos devido a uma série de vantagens e benefícios associados a esse método de construção. No entanto, também enfrentam desafios específicos, mesmo apresentando um grande potencial para melhorias na eficiência energética (Souza *et al.*, 2019).

Para Souza *et al.* (2019), essas edificações apresentam entre suas vantagens, a redução significativa da demanda por recursos naturais e a emissão de resíduos de construção, tornando-as uma opção mais sustentável.

Como os contêineres são estruturas pré-fabricadas, a construção tende a ser mais rápida do que a construção convencional, simplificando o tempo de projeto e economizando em custos de mão de obra. Também são resistentes às condições adversas e são altamente personalizáveis permitindo flexibilidade no design.

O sistema construtivo baseado em contêineres, fundamentado na ideia de modulação espacial, permite a combinação, conexão e empilhamento de módulos. Dessa forma, a flexibilidade e as vastas oportunidades construtivas ampliam a capacidade de criar e adaptar ambientes, resultando em espaços sonoros e multifuncionais (Carbonari, 2015).

De acordo com Carbonari (2015), as transformações realizadas nos contêineres podem ser categorizadas em três tipos diferentes:

a) Adaptação: Envolve ajustes menores na configuração original do contêiner, que geralmente incluem modificações em sua estrutura externa para torná-lo habitável.

b) Expansão: Representa uma extensão da ideia de adaptação, que inclui a incorporação de elementos externos aos contêineres, aumentando seu espaço e funcionalidade.

c) Organização Espacial: Nesse contexto, os contêineres são tratados como elementos de organização e definição do espaço, sendo projetados desde o início para servir como ambientes habitáveis, formando espaços que podem ser usados com esse propósito.

A Figura 4 ilustra o Projeto *Side Up*, desenvolvido por Mengfan Sha, Wang e Zhang, que se destacou na competição *Design Tomorrow* promovida pela CAPSA Containers. Este projeto transforma contêineres de transporte em um espaço parcialmente aberto que promove a produtividade e a colaboração. Organizando os contêineres como blocos de LEGO e integrando vários contêineres "virados para cima", o design cria um espaço flexível que pode ser utilizado para reuniões, trabalho, acampamentos, atividades, exposições ou eventos. Este design é ideal para futuras comunidades de trabalho sustentáveis, conectando os contêineres individuais em uma unidade coesa que permite livre circulação, ao mesmo tempo que oferece espaços menores para usos específicos.

Figura 4 - Projeto Side Up.



Fonte: Adaptado de INTELLIGENT LIVING (2020).

2.8.2 Referências projetuais

A utilização de contêineres em projetos que aproveitam a estrutura dos módulos de forma verticalizada ou em posições não convencionais, tem se destacado como uma solução inovadora e sustentável para a construção de residências. Alguns projetos realizados no Brasil, na América do Sul e em outros continentes validam esse procedimento, dentre eles:

a) Projeto no Brasil: Residência Container (São Paulo, SP): No Brasil, um projeto notável é a Residência Container, localizada em São Paulo. Desenvolvido pelo arquiteto Danilo Corbas, este projeto utiliza contêineres empilhados verticalmente, explorando a modularidade e a resistência do material. A residência foi concebida para maximizar o aproveitamento de espaço em um terreno urbano limitado, ao mesmo tempo em que garante conforto térmico e acústico por meio de isolamento adequado e ventilação cruzada. O projeto também se destaca pela rapidez na execução e pela sustentabilidade, uma vez que reutiliza materiais descartados da indústria naval (Mazzoneto, 2016).

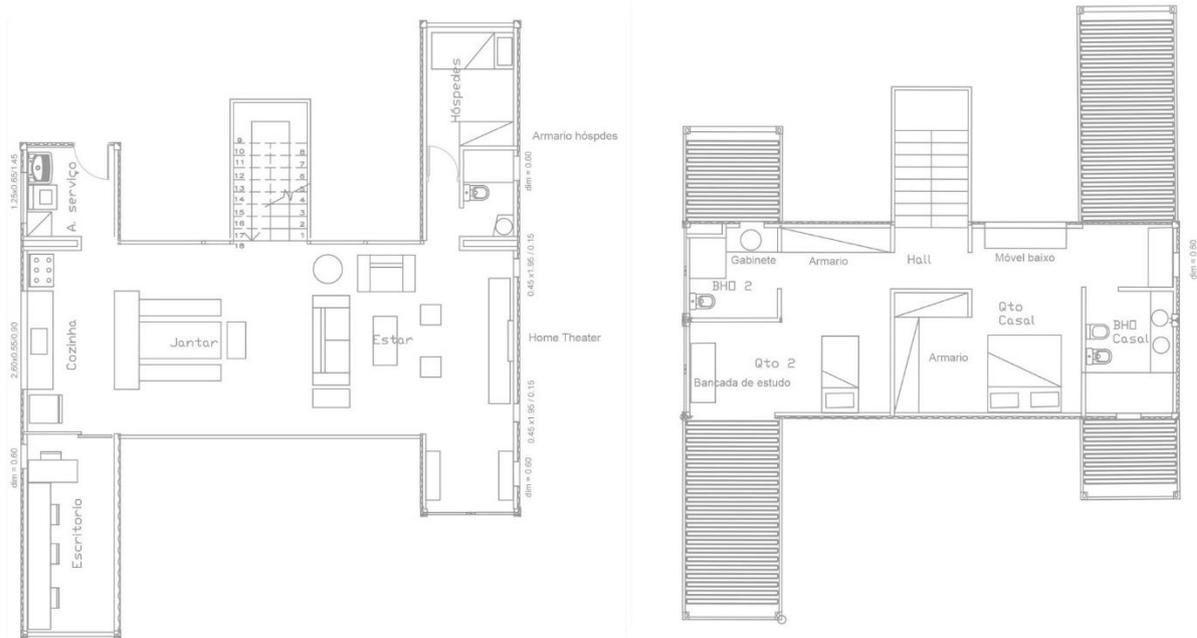
As Figuras 5 e 6 apresentam, respectivamente, a fachada da casa contêiner e as plantas baixas do projeto.

Figura 5 - Casa Container Granja Viana.



Fonte: ARCHDAILY (2024).

Figura 6 - Plantas baixas - Casa Container Granja Viana.



PLANTA BAIXA - TÉRREO

PLANTA BAIXA - PAVIMENTO SUPERIOR

Fonte - ARCHDAILY (2024).

b) Projeto na América do Sul: Casa Manifesto (Santiago, Chile): Na América do Sul, a Casa Manifesto, situada em Santiago, Chile, é um exemplo marcante de uso criativo de contêineres em projeto. Desenvolvida pelo escritório James & Mau Arquitectura, a residência foi projetada para um casal que buscava uma casa sustentável e econômica. O projeto faz uso de contêineres dispostos verticalmente, criando uma estrutura única que se integra ao entorno natural da região. A Casa Manifesto prioriza o conforto térmico e a eficiência energética, incorporando técnicas como o uso de painéis solares e isolamento com lã de rocha, ideais para as variações climáticas do Chile (Rangel, 2014).

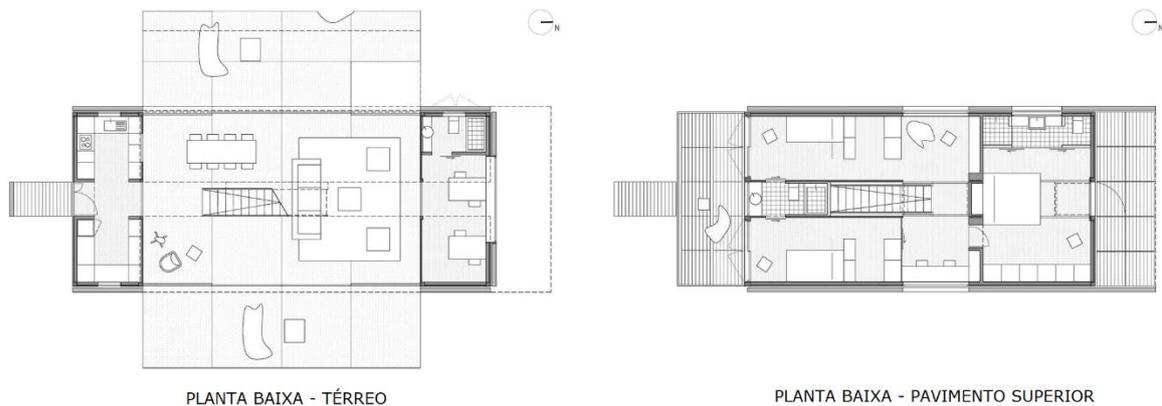
As Figuras 7 e 8 apresentam, respectivamente, uma fotografia da Casa Manifesto e as plantas baixas do pavimento térreo e do pavimento superior, proporcionando uma visão clara da estrutura externa e da organização interna dos espaços.

Figura 7 - Casa do Manifesto Infinski.



Fonte: James & Mau (2009).

Figura 8 - Plantas baixa - Casa do Manifesto Infinski.



Fonte: James & Mau (2009).

c) Projeto no continente europeu: Mach 1 (Escócia, Reino Unido): No Reino Unido, especificamente na Escócia, Mach 1 é um exemplo emblemático da utilização de contêineres na arquitetura, Figura 9. Desenvolvido pelo artista britânico David Mach, este edifício escultural é composto por mais de 30 contêineres de transporte empilhados, que servem tanto como residências quanto como espaços de trabalho para artistas em um parque cultural. A estrutura modular permite uma organização flexível dos espaços internos e uma rápida adaptação às necessidades dos moradores, enquanto o uso de contêineres possibilita fácil transporte e realocação, oferecendo uma solução de habitação temporária sustentável.

Figura 9 - Edifício de contêineres “Mach 1”.



Fonte: ARCHDAILY (2024).

Esses projetos demonstram a versatilidade dos contêineres na construção de residências adaptadas a diferentes contextos e necessidades, evidenciando as vantagens desse material tanto em termos de sustentabilidade quanto de eficiência construtiva.

2.8.3 Isolamento térmico em edificações contêineres

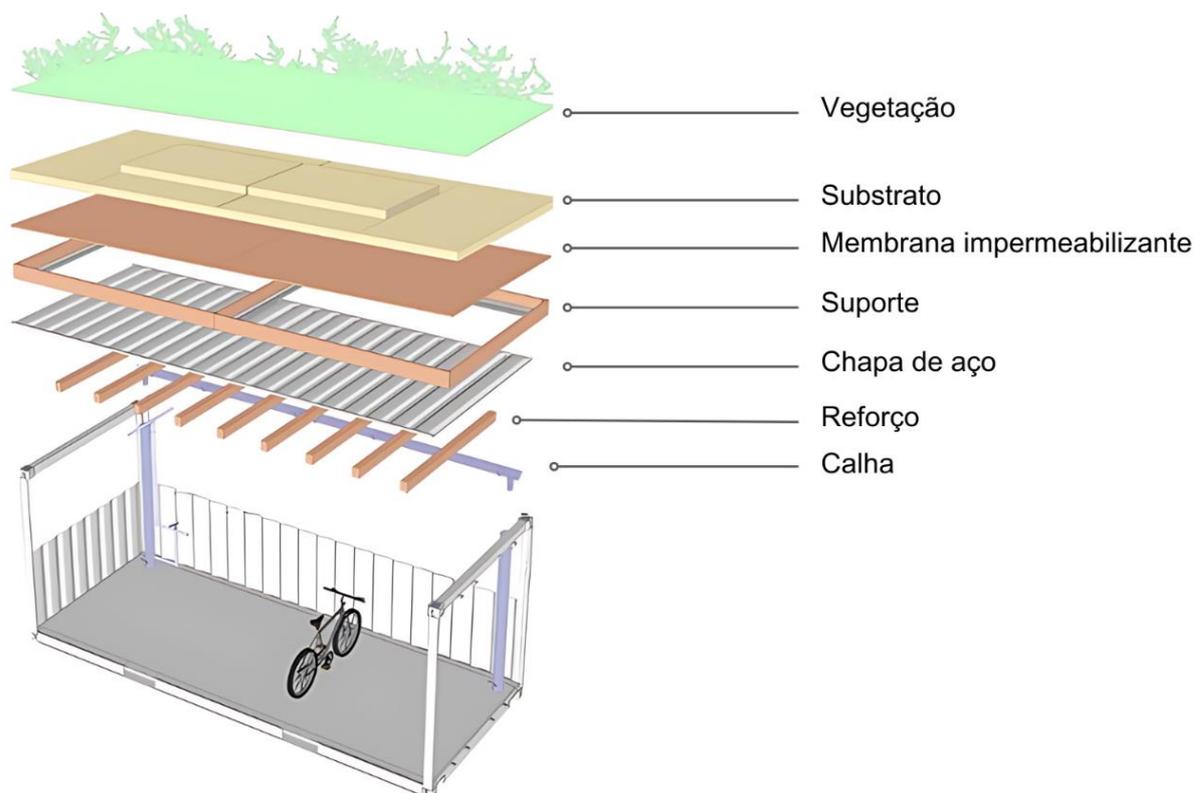
Em um estudo conduzido por Viana *et al.* (2019), foi realizada uma pesquisa nas zonas Bioclimáticas brasileiras 02, 03 e 08, considerando o isolamento térmico aplicado nos fechamentos verticais externos de uma edificação composta por dois módulos de contêiner de 20 pés. O estudo levou em conta as temperaturas internas máximas no verão e mínimas no inverno.

Durante a análise, foi observado que a câmara de ar no interior das paredes apresentou o melhor desempenho térmico para a sala estudada durante os períodos especificados. Vale ressaltar que foram comparados diferentes tipos de isolamento, como fibra cerâmica, isopor, lã de rocha e lã de vidro. Os isolamentos demonstraram desempenhos muito semelhantes, indicando que um isolamento externo pode ser eficaz, de fato (Souza *et al.*, 2019).

Outra estratégia eficaz envolve a instalação de um telhado verde sobre os módulos. Essa abordagem aumenta consideravelmente a capacidade de inércia térmica da envoltória, resultando na redução significativa da absorção de calor pelos contêineres e, conseqüentemente, em economia de energia quando se trata de resfriamento artificial. Estudos indicam que em climas quentes e úmidos, como na Arábia Saudita, a implementação de telhados verdes pode resultar em uma economia de energia entre 24% e 35%, comprovando a eficácia desta solução no melhoramento do desempenho térmico das edificações (Hassanain *et al.*, 2017).

A Figura 10 ilustra o telhado verde aplicado ao Projeto *Bike Box Living Roof Lab*, desenvolvido pela *Kent State University* e localizado em Cleveland, Ohio. Esse projeto exemplifica a aplicação prática de um telhado verde sobre um contêiner transformado em abrigo para bicicletas, localizado no bar *Happy Dog*. O telhado verde, com 13,84 metros quadrados, contribui para a recuperação de áreas urbanas e promove a eficiência energética, reduzindo a absorção de calor e auxiliando na conservação.

Figura 10 - Ilustração de telhado verde sobre contêiner.



Fonte: Adaptado do Laboratório móvel “Bike Box” (2017).

Além disso, esta técnica de *design* contribui para manter as temperaturas internas dos módulos mais amenas durante a noite, quando é comum ocorrer uma perda de calor para o ambiente externo devido às baixas temperaturas. Vale destacar que o simples ato de sombrear os módulos representa outra estratégia eficaz, conforme destacado por Costa (2015), pois evita o aumento da temperatura superficial dos contêineres ao reduzir – parcial ou completamente – a exposição direta à radiação solar.

Viana *et al.* (2019) enfatizam a necessidade de uma investigação mais abrangente sobre o comportamento dos contêineres diante das variações nas configurações climáticas em todas as zonas Bioclimáticas brasileiras. Isso ocorre devido à natureza predominantemente metálica dos contêineres, que os torna sensíveis às mudanças de temperatura e à exposição solar.

Através desses estudos, seria possível determinar em quais tipos de clima a utilização de contêineres como moradia no Brasil é mais viável, bem como identificar as adaptações permitidas nos módulos para torná-los funcionais como edificações.

2.8.4 Materiais sustentáveis e de baixo impacto ambiental

Esses materiais são valiosos para reduzir o consumo de recursos naturais, minimizar o impacto ambiental durante a fabricação e transporte, melhorar a qualidade do ar interno e ajudar a alcançar metas de eficiência energética.

Ao analisar a viabilidade de construções de casas contêineres, Pires (2021) defende que o isolamento térmico sustentável pode ser feito utilizando-se fibras de celulose, a partir de papel reciclado, opção oferece excelente desempenho térmico. Para o autor, a lã de PET apresenta benefícios notáveis, pois é naturalmente resistente ao fogo e possui propriedades antibacterianas. Além disso, sua maleabilidade e facilidade de manuseio tornam-na uma opção versátil encontrada em diversas aplicações, tanto em coberturas quanto em paredes.

Para Pires (2021), o uso de agregados de concreto reciclado reduz a necessidade de remoção de recursos naturais e diminui a quantidade de resíduos em aterros. Outra opção, conforme a autora é o aço reciclado que é frequentemente usado em estruturas e componentes, economizando energia e recursos na produção.

Vidros de baixa emissividade evitam a perda de calor no inverno e o ganho de calor no verão, ajudando a manter as temperaturas internas negativas e reduzindo a carga sobre sistemas de climatização. Para ela, pinturas e vernizes com baixo teor de compostos orgânicos voláteis (VOC) são produtos que emitem menos poluentes no ar interno, melhorando a qualidade do ar e reduzindo os impactos ambientais negativos (Pires, 2021).

2.9 Procedimentos de Análise Computacional

Programas de simulação de desempenho termoenergético são capazes de integrar modelos físicos diversos, permitindo a análise da interação entre os diferentes sistemas presentes no projeto de edificação. A simulação por computador oferece a capacidade de isolar e avaliar o impacto de cada fator de forma independente, uma oportunidade que nem sempre está disponível em situações do mundo real (Azevedo; Tavares, 2020).

A utilização de ferramentas computacionais pode ser aplicada tanto durante a fase de projeto quanto durante a construção de uma edificação, apresentando a vantagem de testar soluções mais eficazes sem a necessidade de instruções na

construção física. Além disso, facilitam a manipulação das variáveis associadas à edificação, juntamente com custos mais baixos e tempos de simulação reduzidos (Veiga, 2021).

2.10 Apresentação de Ferramentas *DesignBuilder* e *Revit*

2.10.1 *DesignBuilder*

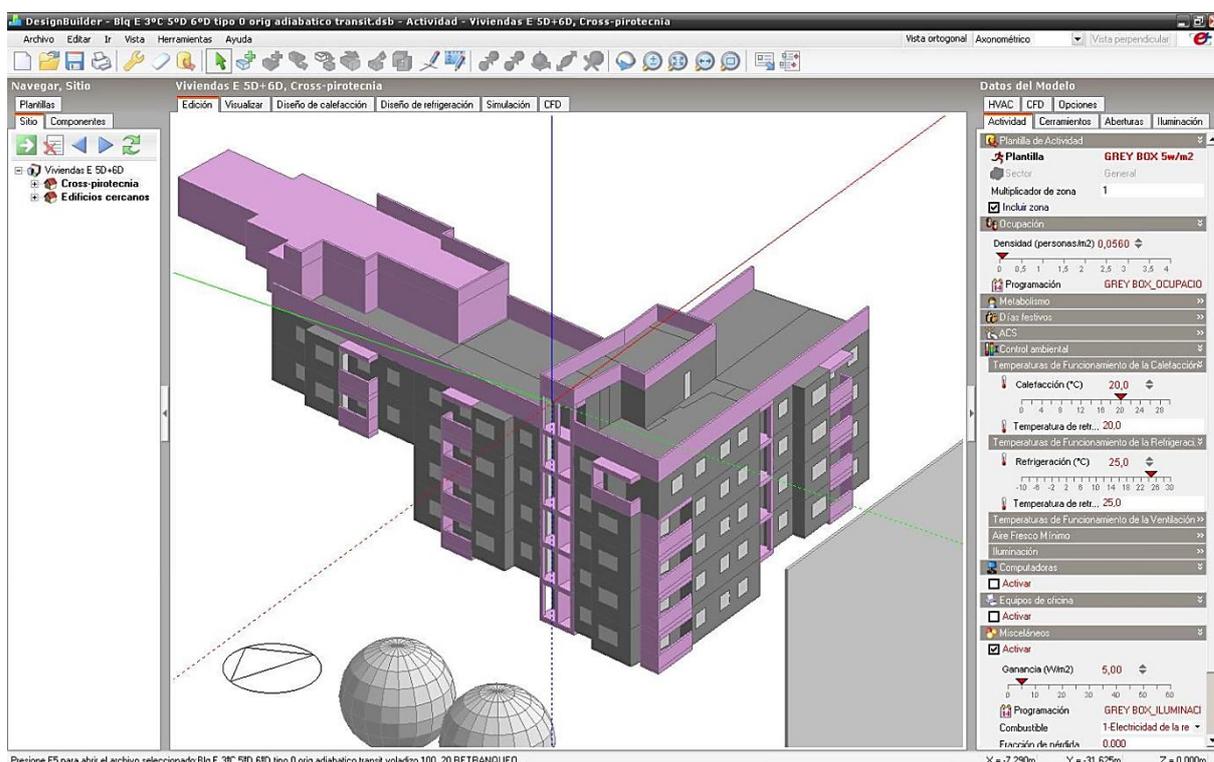
O *DesignBuilder* é um software de simulação termo-energética utilizado para analisar o consumo de energia em edifícios, validado pela norma ASHRAE Standard 140. Uma característica destacada do *DesignBuilder* é a interface gráfica intuitiva, que simplifica a parametrização do modelo, incluindo aspectos como geometria, envoltória, ocupação e iluminação (Silva, 2020). A Figura 11 mostra a interface do software *DesignBuilder*, destacando a facilidade de uso proporcionada por sua interface gráfica.

Ele utiliza o motor de simulação *EnergyPlus*, conhecido por sua baixa interatividade, mas facilita a criação de um arquivo de extensão ".idf" (Input Data File), compatível com o *EnergyPlus* e editável. Para realizar a simulação, os dados são inseridos através dos arquivos ".idf" e ".epw" (Energy Plus Weather File), que contêm informações climáticas (Silva, 2020).

Esse software, segundo Veiga (2021), permite criar modelos detalhados e tridimensionais de edificações. Isso inclui a representação precisa da geometria do edifício, sistemas de climatização, iluminação, sombreamento e outros elementos importantes que afetam o desempenho energético.

O software também permite uma análise de desempenho térmico e ambiental, incluindo uma avaliação do conforto térmico dos ocupantes, consumo de energia, emissões de carbono e custos operacionais ao longo do tempo. Uma característica valorizada é a interface gráfica intuitiva do *DesignBuilder*, que facilita a criação de modelos e a interpretação dos resultados da simulação (Silva, 2020).

Figura 11 - Interface do software DesignBuilder.



Fonte: GREEN BIM. *Renewable Energy Study*.

2.10.2 Autodesk Revit

O *Autodesk Revit* é um software de modelagem de informações de construção (BIM) amplamente utilizado na indústria de arquitetura, engenharia e construção. Lançado em 2000 pela Autodesk, o *Revit* tornou-se uma das principais ferramentas para projetar, analisar e documentar projetos de construção de maneira integrada (Luiz, 2019).

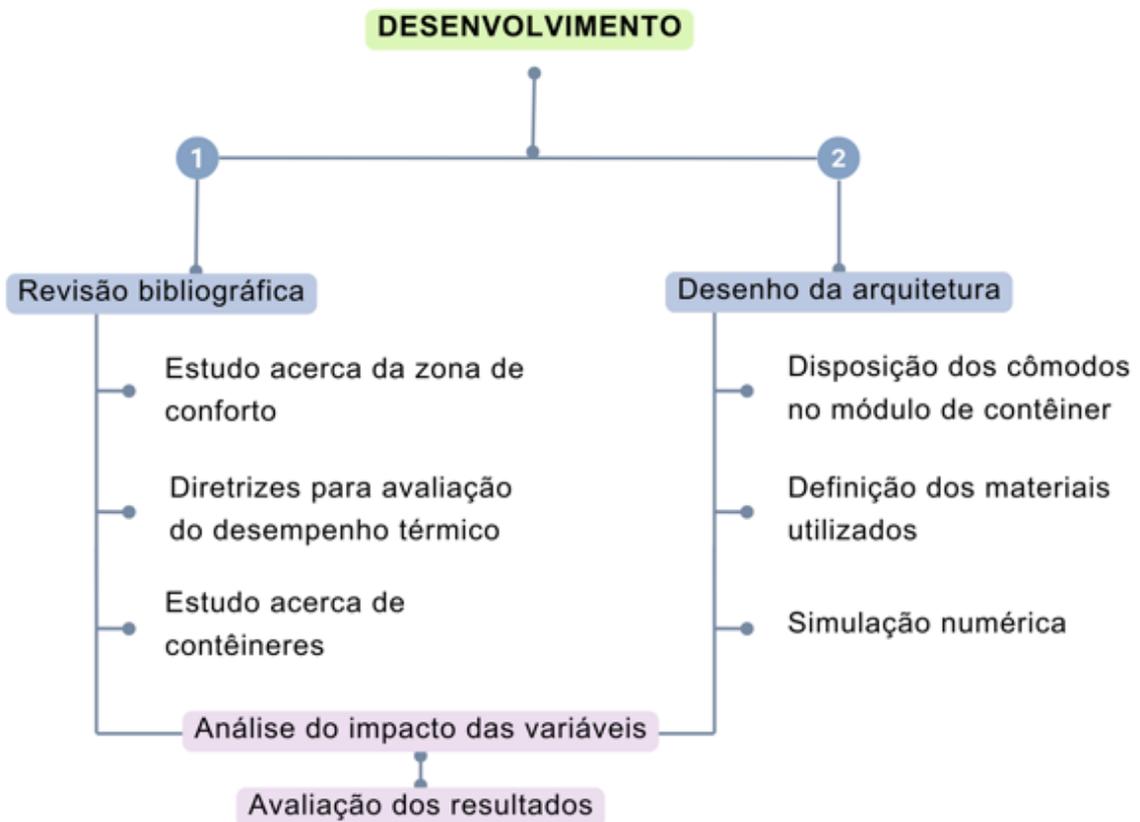
Permite criar modelos digitais detalhados e precisos de estruturas e infraestruturas. Esses modelos contêm informações sobre geometria, propriedades dos materiais, sistemas de construção, custos, cronogramas e muito mais (Luiz, 2019).

O *Revit* também possibilita gerar desenhos, plantas, cortes, elevações e detalhes a partir do modelo 3D, economizando tempo e eliminando erros. As atualizações no modelo são refletidas instantaneamente na documentação. Oferece, também, recursos avançados de visualização e renderização que permitem criar imagens realistas e apresentações visuais impressionantes para clientes e equipes de projeto (Queiróz, 2013).

3 MÉTODOS

Esta seção dedica-se ao detalhamento dos métodos utilizados para a elaboração deste trabalho. As etapas de realização foram divididas conforme descrito no fluxograma a seguir:

Figura 12 - Fluxograma dos métodos.



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

3.1 Revisão da Literatura

A primeira etapa consistiu na revisão da literatura, com ênfase nas normas brasileiras NBR 15575, NBR 15220 e RTQ-R (Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais). Esta revisão permitiu o embasamento teórico necessário para compreender os critérios de desempenho térmico e energético aplicáveis à construção civil no contexto brasileiro, especialmente para a Zona Bioclimática 07.

3.2 Desenvolvimento do Projeto Arquitetônico

O projeto arquitetônico foi desenvolvido utilizando o software Revit 2021. Para a criação da residência em 3D, foi importada uma família de contêiner em extensão “.rfa” para o Revit. O modelo escolhido, "Contêiner Uniteam (20’)", com as dimensões de largura 6050 mm, profundidade 2440 mm e altura 2590 mm, foi baixado do site BIMobject, representado na Figura 13.

A escolha do contêiner deve-se à sua construção em aço padronizado, adequado para diversos fins, incluindo o transporte intermodal de carga. Essas unidades são aprovadas pelo CSC (Convenção de Segurança de Contêineres) e testadas conforme a ISO 1496-1, garantindo sua resistência e versatilidade para uso como módulos habitacionais.

Figura 13 - Módulo contêiner utilizado nas simulações.



Fonte: www.bimobject.com

Seguindo as diretrizes do RTQ-R (2010), a unidade habitacional foi projetada para possuir ventilação cruzada, facilitada por um sistema de aberturas externas e internas, visando otimizar a circulação de ar e melhorar o conforto térmico e a eficiência energética da edificação. O modelo consistiu em uma residência composta por dois módulos de contêiner de 20 pés.

As paredes foram pintadas na cor Branco Gelo (Suvinil acrílica fosca, amostra de nº 51), com informações retiradas do trabalho de Dornelles (2008). Foram extraídos dados como RGB e absorvância, que foram integrados no DesignBuilder para definir as propriedades da cor escolhida

3.3 Simulação Computacional

A simulação computacional termoenergética (*building performance simulation*) é uma metodologia essencial para apoiar o processo de projeto, adaptando-o ao seu contexto climático (Augenbroe, 2011).

Com o projeto arquitetônico e a planta baixa definidos, procedeu-se à simulação computacional para avaliar o desempenho térmico e energético do caso base. A simulação foi realizada utilizando o software *DesignBuilder*, versão 7.0.2.006, que integra os algoritmos do *Energy Plus*, versão 9.4, para a modelagem e simulação termoenergética.

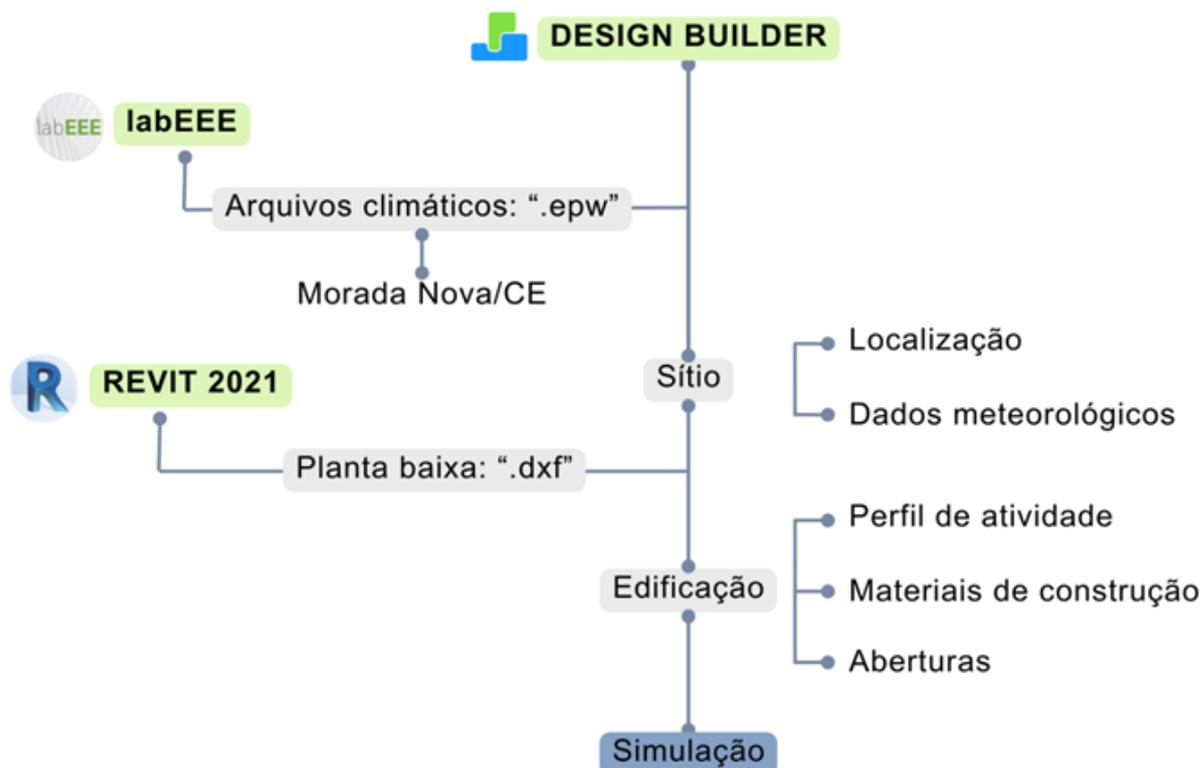
3.4 Preparação do Modelo

Todas as informações criadas no *DesignBuilder* foram compiladas num arquivo com extensão “.idf” (*Input Data File*), reconhecido pelo *Energy Plus* e passível de ser editado. Além disso, foram utilizados arquivos de dados climáticos com extensão “.epw” (*Energy Plus Weather File*) para representar as condições climáticas da cidade de Morada Nova, situada na Zona Bioclimática 07.

Os dados climáticos utilizados nas simulações foram fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2016) e retirados do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEEE).

O fluxograma a seguir apresenta as importações realizadas e as informações utilizadas para configurar as simulações no DesignBuilder.

Figura 14 - Simulação no DesignBuilder.



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

A configuração da simulação computacional seguiu um conjunto de etapas para garantir a relevância dos resultados, conformes descritas abaixo:

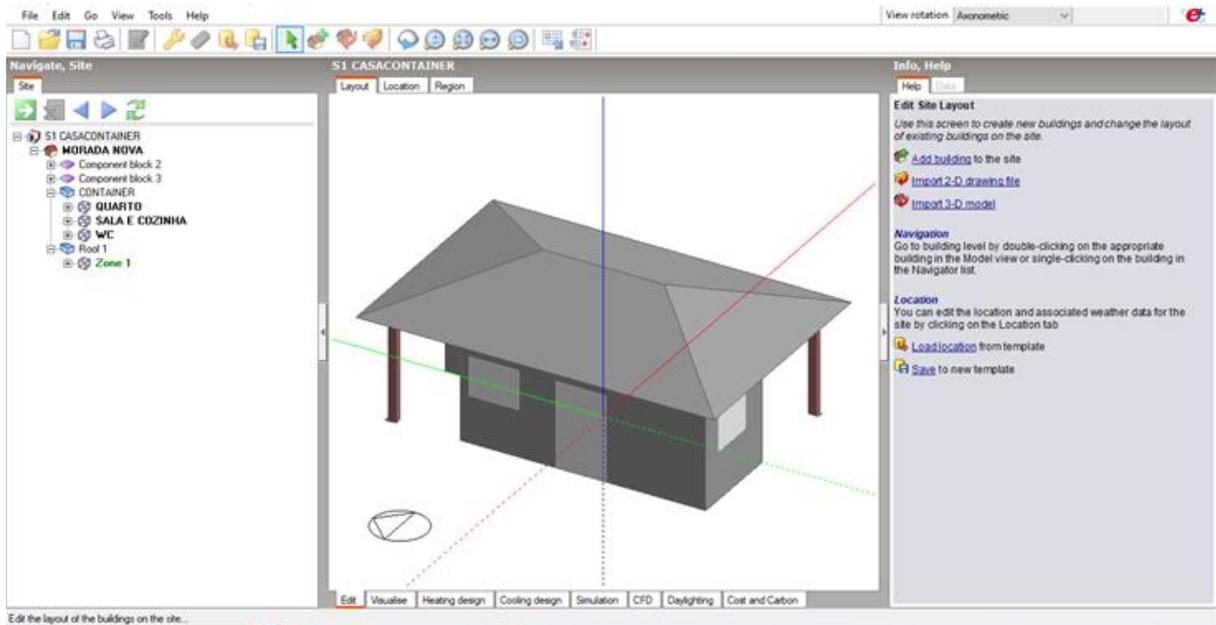
a) Sítio

Inicialmente, foi definido o local do sítio no *DesignBuilder*, inserindo a localização geográfica e os dados meteorológicos da cidade de Morada Nova, CE.

b) Layout

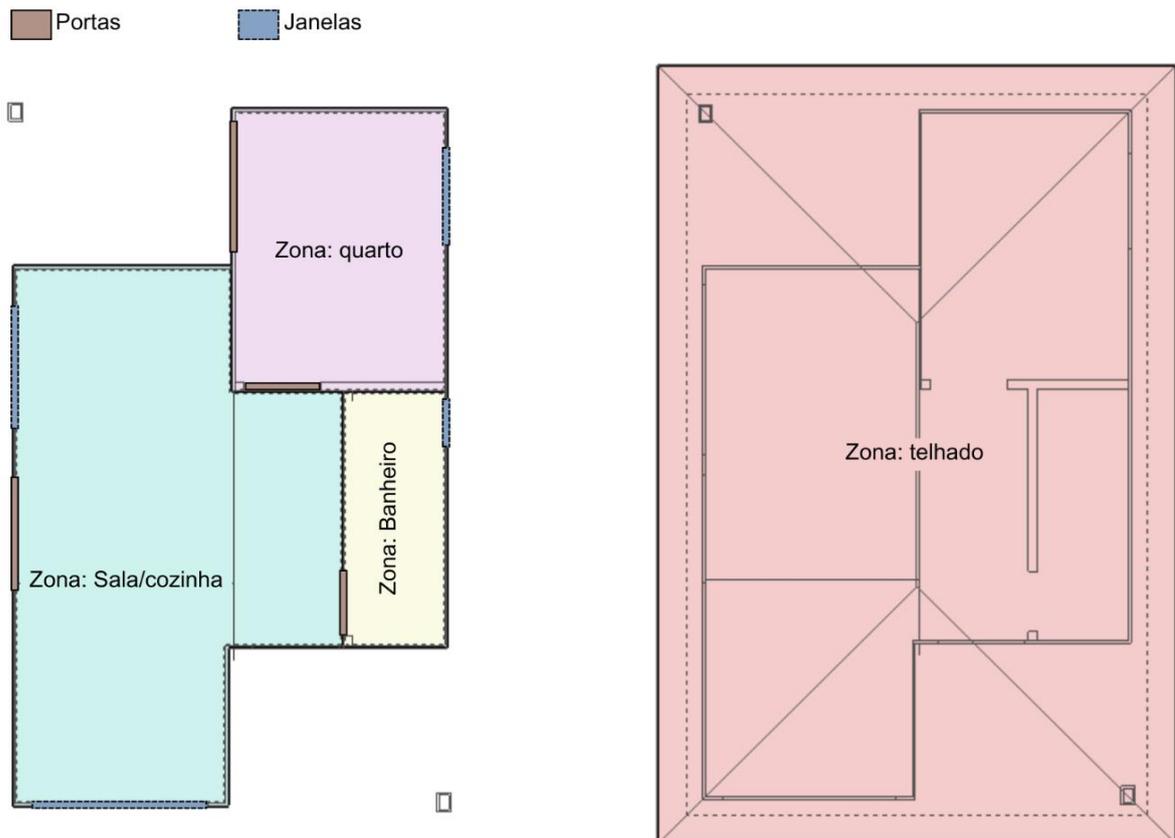
Com a planta baixa exportada do Revit no formato “.dxf” e importada no *DesignBuilder*, a edificação foi modelada. A modelagem resultou em quatro zonas térmicas distintas: quarto, banheiro, sala/cozinha, e telhado, sendo este último considerado uma zona térmica separada por se tratar de um telhado “não ocupado”, apresentadas nas Figuras 15 e 16.

Figura 15 - Modelagem da edificação no DesignBuilder.



Fonte: Elaborada pela autora (2024).

Figura 16 - Zonas térmicas.



Fonte: Elaborada pela autora (2024).

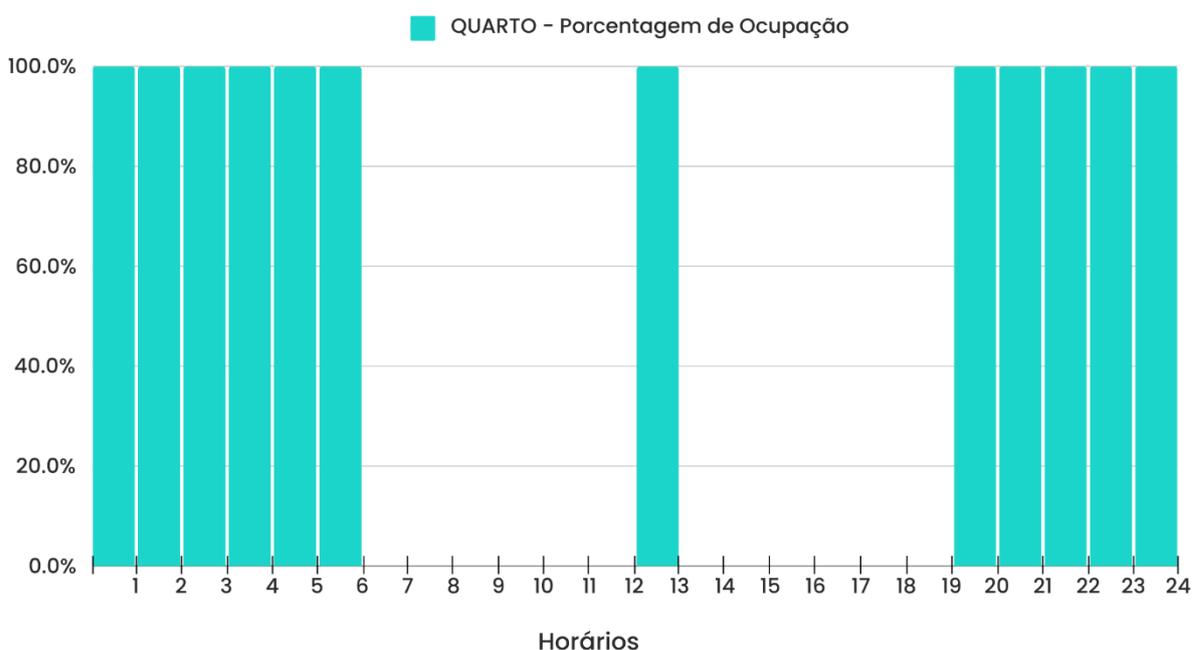
c) Atividade

De acordo com o RTQ-R (2010), deve-se modelar um padrão de ocupação dos ambientes para os dias de semana e outro para os finais de semana, considerando como padrão mínimo duas pessoas por dormitório e a sala sendo utilizada por todos os usuários dos dormitórios. No entanto, para este trabalho, foi adotado um padrão único personalizado para todos os dias da semana. A atividade de cada cômodo foi definida, criando-se uma rotina específica para cada ambiente, estabelecendo os padrões de uso e a densidade ocupacional de cada espaço (pessoas/m²), considerando a presença de duas pessoas por ambiente de permanência prolongada.

A definição dessa rotina foi baseada pela autora, levando em conta um perfil de ocupação onde as pessoas passam a maior parte do tempo fora de casa, com atividades concentradas principalmente nos períodos noturnos, como descanso e preparo de refeições. Esse padrão foi considerado mais adequado para representar a dinâmica de uso de uma residência, alinhado à realidade de moradores que possuem uma rotina de permanência mais breve durante o dia e mais prolongada à noite.

A Figura 17 apresenta a rotina do quarto, mostrando a porcentagem de ocupação ao longo do dia, de acordo com os horários estabelecidos.

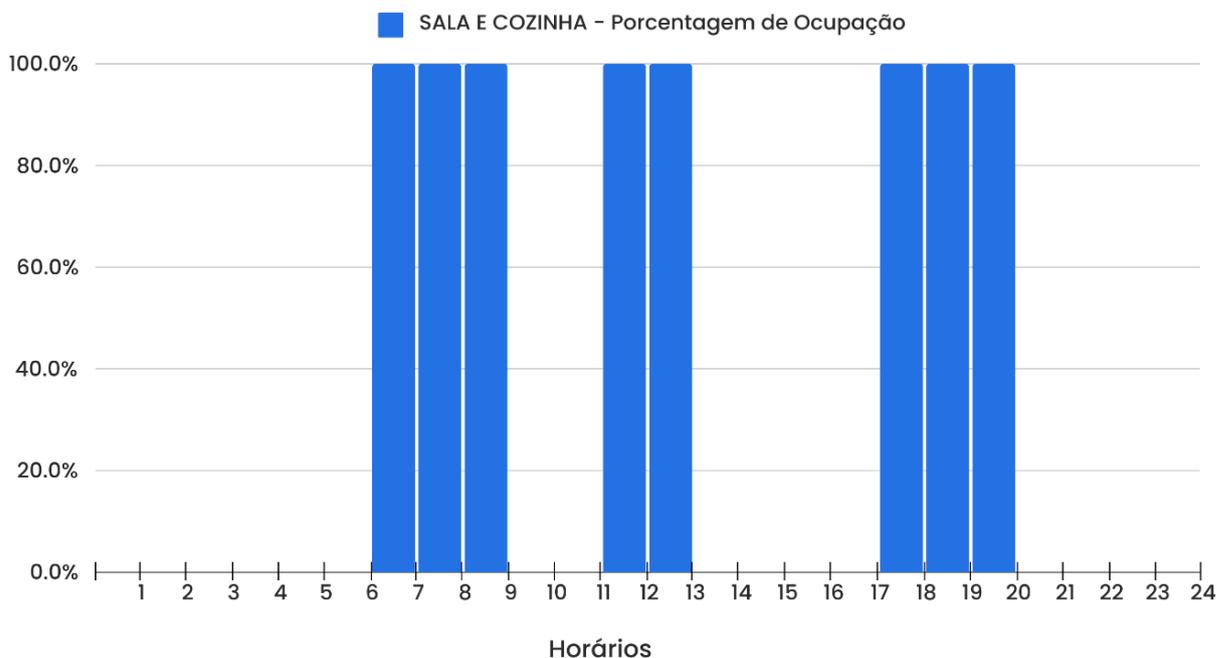
Figura 17 - Rotina do quarto.



Fonte: Elaborada pela autora (2024).

A Figura 18 mostra a rotina da sala e da cozinha, destacando a porcentagem de ocupação em cada ambiente por horário.

Figura 18 - Rotina sala e cozinha.



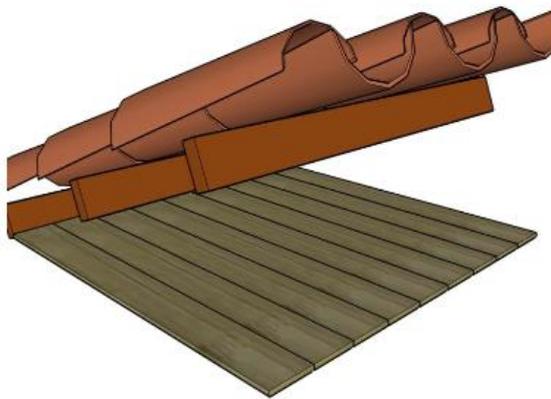
Fonte: Elaborada pela autora (2024).

d) Construção

Nesta etapa, foram especificados os materiais das paredes, forro (interno), piso e telhado. Foram escolhidos três diferentes materiais de isolamento térmico (lã de vidro, lã de rocha e espuma de poliuretano), cada um utilizado em uma configuração distinta. Esses materiais foram implementados tanto nas paredes quanto nos forros internos.

As informações sobre a cobertura foram retiradas do site PROJETEE, como ilustrado na Figura 19, que mostra os componentes construtivos da cobertura, incluindo um forro de madeira sobre o contêiner e telhas cerâmicas. O piso é composto por uma laje de concreto, argamassa e piso cerâmico. As demais características da construção foram baseadas nos padrões fornecidos pelo *Design Builder*.

Figura 19 - Componentes da cobertura.



Pisos e Coberturas

Forro madeira 1 cm | Câmara de ar (> 5,0 cm) | Telha cerâmica 1 cm

Resistência
0.50 m²K/W

Transmitância
2.02 W/m².K

Atraso Térmico
1.0 h

Capacidade Térmica
26 kJ/m².K

Fonte: PROJETEE. Ministério de Minas e Energia (MME).

Os materiais de isolamento térmico foram instalados entre a estrutura do contêiner e o revestimento final, atuando para retardar a transferência de calor devido à alta condutividade térmica das paredes metálicas do contêiner. As propriedades térmicas dos materiais usados nas paredes estão descritas na Tabela 2, retirados do *Design Builder*. Serão apresentados os dados de densidade de massa (ρ) em kg/m³, condutividade térmica (λ) em W/(m.K), calor específico (C) em kJ/(kg.K), e a referência de onde essas informações foram coletadas.

Tabela 2 - Especificação dos materiais de isolamento térmico.

Materiais	ρ	λ	C	Referência
Lã de vidro	50	0,045	0,7	ABNT
Lã de rocha	140	0,038	0,84	CIBSE 2006
Espuma de poliuretano	35	0,028	1,59	<i>Uralita Group</i>
Metal (contêiner)	7800	45	0,48	CIBSE 2006
<i>Drywall</i>	800	0,35	0,84	ABNT

Fonte: Elaborada pela autora (2024).

As camadas das paredes e forros estão organizadas na Figura 20, descritas da mais interna para a mais externa. Cada configuração incluía quatro camadas: *drywall*, material de isolamento térmico, aço do contêiner e pintura acrílica. Os

materiais de isolamento térmico variavam conforme a configuração: lã de vidro (1), lã de rocha (2), e espuma de poliuretano (3).

Figura 20 - Descrição das camadas de isolamento.



Fonte: Elaborada pela autora (2024).

Na Tabela 3, são apresentados os valores de transmitância térmica ($W/m^2.K$) de cada elemento construtivo da edificação, retirados do *Design Builder*. Esse parâmetro é essencial para determinar a capacidade de um elemento em conduzir calor, impactando diretamente o desempenho térmico geral da edificação.

Tabela 3 - Valores de transmitância térmica dos elementos.

Elemento	Transmitância ($W/m^2.K$)
Configuração 1	1,233
Configuração 2	1,004
Configuração 3	0,783
Piso	3,07
Telhado	2,02

Fonte: Elaborada pela autora (2024).

e) Aberturas

Durante esta fase, as janelas de correr foram selecionadas para a casa, exceto no banheiro, onde foi escolhida uma janela basculante. Todas as janelas foram configuradas para abrir até 50% de sua área total. A definição desses elementos foi realizada pela autora, com base na otimização da ventilação natural e na funcionalidade dos ambientes. Além disso, a autora estabeleceu uma rotina para que as janelas permanecessem abertas das 9h às 18h30, enquanto a janela do banheiro seria aberta apenas durante o uso do cômodo.

Seguindo as diretrizes da NBR 15220-3, foram adotadas aberturas pequenas, como recomendado para a Zona Bioclimática 07, conforme descrito na Tabela 19 da norma. A classificação das aberturas para ventilação do Anexo C da norma foi adaptada e apresentada na Tabela 4, abaixo.

Tabela 4 - Aberturas para ventilação.

Aberturas para ventilação	A (em % da área de piso)
Pequenas	$10\% < A < 15\%$
Médias	$15\% < A < 25\%$
Grandes	$A > 40\%$

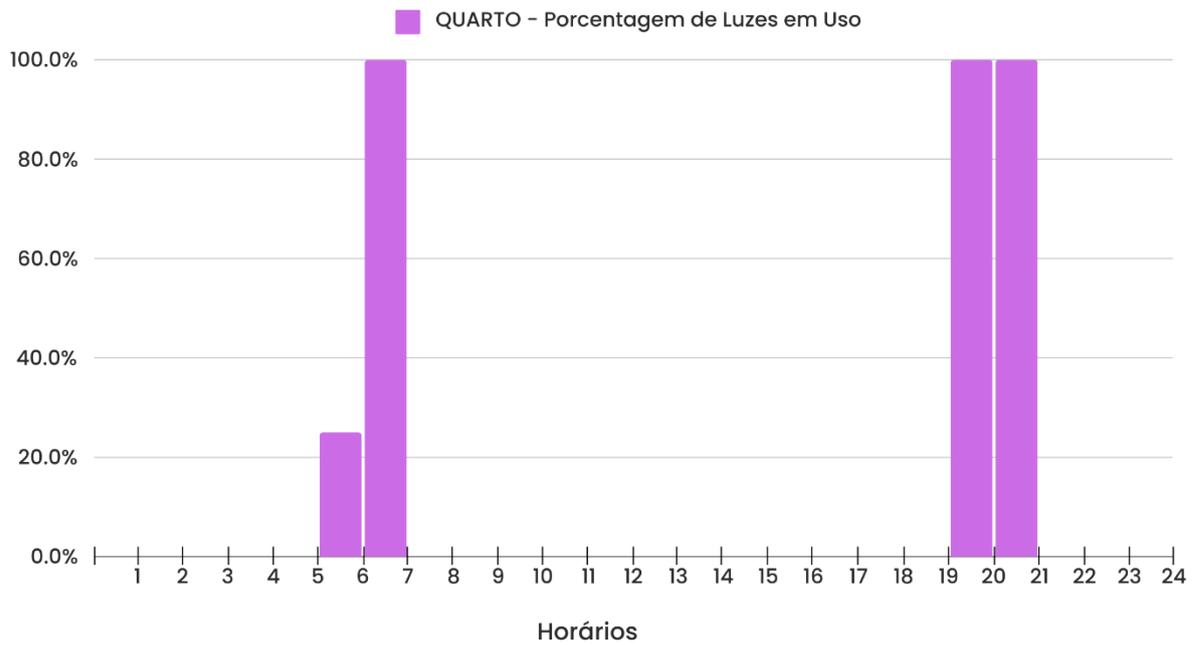
Fonte: Adaptado de ABNT NBR 15220-3, Anexo C (2005).

f) Iluminação

Utilizou-se um *template* de referência do *DesignBuilder* para definir a iluminação, estabelecendo uma rotina detalhada para os horários em que as luzes estariam acesas ou apagadas nos cômodos do quarto e da sala/cozinha. As luzes do banheiro foram configuradas para permanecer acesas apenas durante o uso.

A Figura 21 ilustra a rotina das luzes do quarto, mostrando os períodos em que as luzes estão acesas, com a porcentagem de tempo em que permanecem acesas ao longo do dia.

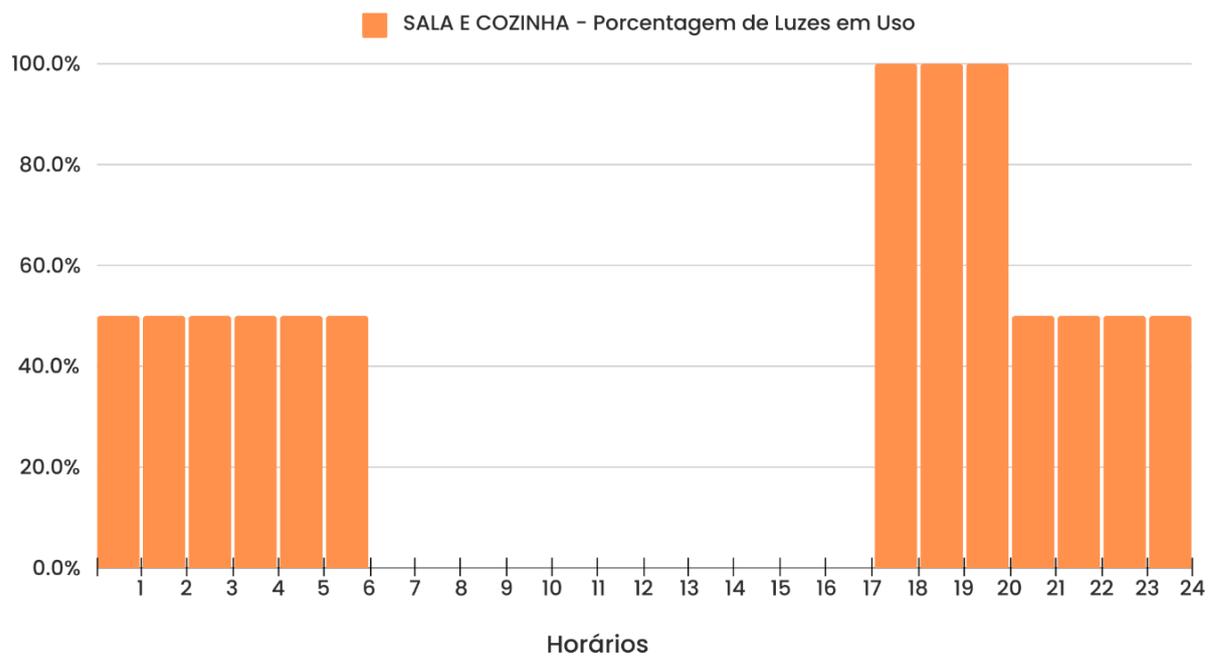
Figura 21 - Rotina das luzes do quarto



Fonte: Elaborada pela autora (2024).

A Figura 22 apresenta a rotina das luzes da sala e cozinha, detalhando os horários em que a iluminação é utilizada e a porcentagem de tempo em que as luzes ficam acesas nesses ambientes.

Figura 22 - Rotina das luzes da sala e cozinha.



Fonte: Elaborada pela autora (2024).

g) Climatização

Não foram utilizados equipamentos de resfriamento ou aquecimento artificial. A edificação foi projetada para operar apenas com ventilação natural, permitindo a análise do desempenho térmico baseado exclusivamente nas características passivas da construção.

h) Simulação e Extração dos Resultados para Análise

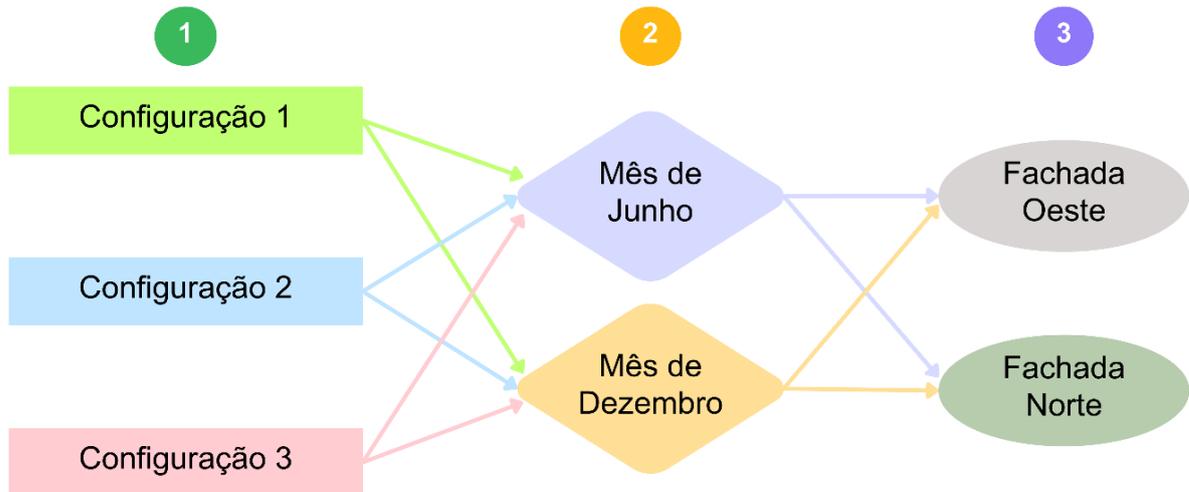
As simulações consideraram dois períodos distintos do ano: o mês mais quente (dezembro) e o mês mais frio (junho), baseando-se no gráfico de temperaturas da Zona de Conforto fornecido pelo site PROJETEE. Também foi examinado um estudo realizado por Silva (2023), em que os dados comprovam ser julho o mês com elevado índice de conforto térmico para Morada Nova, enquanto dezembro é o mês com pior resultado.

Cada simulação foi realizada variando a configuração (1, 2 ou 3), o mês e a orientação da fachada (Oeste ou Norte). Os resultados das simulações foram extraídos e preparados para análise, extraído do *Design Builder* os dados de temperatura por ambiente. Foram coletados dados para todas as horas de 30 dias em junho e dezembro (exceto o dia 31), incluindo os seguintes parâmetros:

- Temperatura do ar
- Temperatura radiante
- Temperatura operativa
- Temperatura do bulbo seco

No total, foram realizadas doze simulações. O fluxograma exposto na Figura 23 ilustra as combinações utilizadas nas simulações.

Figura 23: Fluxograma das combinações das simulações.



Fonte: Elaborada pela autora (2024).

Os resultados foram tabelados em Excel e transferidos para o *software Statistica* para serem analisados usando a função ANOVA (Análise de Variância) com o auxílio do *Analysis Wizard*. Esta função permitiu realizar uma análise detalhada das médias dos grupos de dados, facilitando a comparação das diferentes combinações e a verificação da significância estatística das diferenças observadas. O intuito foi identificar o arranjo mais eficiente em termos de conforto térmico, determinando qual configuração conseguiu reduzir mais eficazmente as temperaturas internas da residência.

Posteriormente, essas reduções de temperatura foram comparadas com os critérios estabelecidos pelas normas NBR 15575-1 e NBR 15220-3 para verificar se atendiam aos requisitos de desempenho térmico exigidos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados a seguir apresentam as diversas etapas de desenvolvimento e simulação realizadas para alcançar os objetivos propostos neste estudo. A análise inclui a criação do modelo arquitetônico da casa contêiner, a avaliação do desempenho térmico por meio de simulações computacionais e a comparação das diferentes configurações de materiais e orientações solares. Esses resultados são discutidos em detalhes para demonstrar como as estratégias Bioclimáticas aplicadas contribuem para a eficiência térmica da edificação na Zona Bioclimática 07.

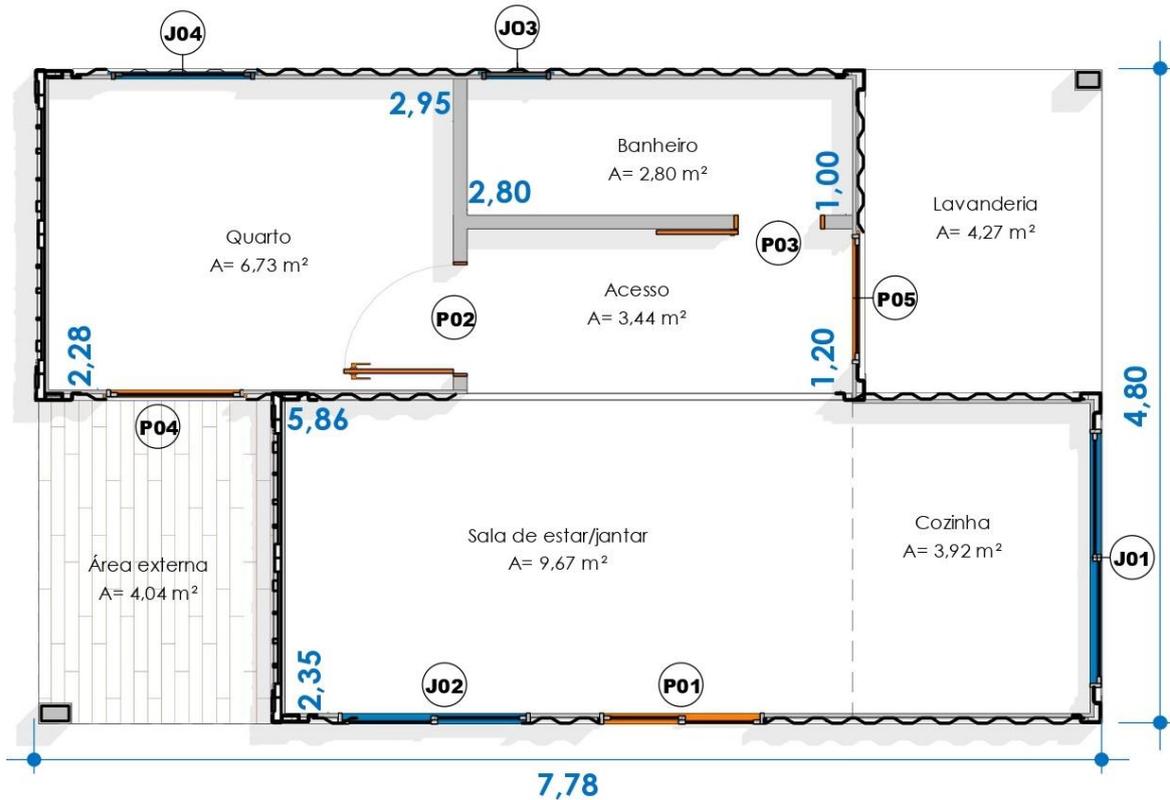
4.1 Desenvolvimento do Modelo Arquitetônico

Para fornecer uma visão clara da organização espacial e do layout da casa contêiner, a planta baixa resultante das recomendações da NBR 15575-1 e NBR 15220-3, além do RTQ-R (2010) para a zona Bioclimática 07, está apresentada na Figura 24. Esta ilustração destaca a disposição dos cômodos e suas respectivas funções. Seguindo as recomendações das normas, especialmente da NBR 15220, que orientam sobre o isolamento térmico, ventilação natural, dimensionamento e posicionamento das aberturas, e uso de proteções solares, a configuração arquitetônica final foi alcançada.

As normas recomendam uma planta baixa que facilite a ventilação cruzada e maximize o aproveitamento do sombreamento. Isso permite uma melhor circulação de ar entre os ambientes e ajuda a reduzir a temperatura interna, promovendo um ambiente mais confortável e eficiente em termos térmicos. Com isso, a planta inclui um quarto, banheiro, sala, cozinha, área de serviço e varanda, totalizando uma área coberta de 37,3 m², dispostos de maneira a otimizar essas condições climáticas e atender às exigências de conforto térmico da região.

De modo a facilitar a identificação das aberturas no projeto, as janelas e portas foram codificadas como "J" (janelas) e "P" (portas). A figura 17 mostra a localização dessas aberturas, além das cotas e áreas dos ambientes. As dimensões exatas das janelas e portas estão detalhadas na Tabela 5.

Figura 24 - Configuração do projeto da residência: planta baixa.



Fonte: Elaborada pela autora (2024).

Tabela 5 - Códigos e dimensões das aberturas em metros.

Janelas					Portas			
Código	Material	Altura	Largura	Peitoril	Código	Material	Altura	Largura
J1	Moldura: alumínio Face: vidro	1,1	1,9	1,15	P1	Moldura: alumínio Face: vidro	2,1	1,15
J2	Moldura: alumínio Face: vidro	1,1	1,4	1,15	P2	Compensado de madeira	2,1	0,8
J3	Moldura: alumínio Face: vidro	0,4	0,5	1,9	P3	Compensado de madeira	2,1	0,6
J4	Moldura: alumínio Face: vidro	1,1	1,05	1,15	P4	Moldura: alumínio Face: vidro	2,1	0,9
					P5	Moldura: alumínio Face: vidro	2,1	0,9

Fonte: Elaborada pela autora (2024).

A configuração tridimensional da casa contêiner, visível nas Figuras 25, 26 e 27, foi planejada com base em diversas estratégias para garantir a eficiência térmica da edificação. As principais estratégias adotadas incluíram:

- **Sombreamento:** A área externa e a lavanderia foram projetadas para oferecer sombreamento adicional, reduzindo o aquecimento solar direto e minimizando a carga térmica interna. Estudos demonstram que o

sombreamento adequado pode diminuir significativamente a temperatura interna, contribuindo para o conforto térmico dos ocupantes (Kumar *et al.*, 2019).

- **Telhado Cerâmico:** O telhado foi revestido com telha cerâmica, selecionada por sua eficácia comprovada em climas quentes. Telhas cerâmicas são conhecidas por suas propriedades de alta refletância e baixa emissividade térmica, o que ajuda a manter a edificação mais fresca. Pisello *et al.* (2014) observaram que esse tipo de telhas com propriedades "cool roof" podem reduzir a temperatura externa do telhado em mais de 10°C e a temperatura interna em mais de 3°C durante o verão.
- **Dimensionamento das Janelas:** As janelas foram projetadas com dimensões reduzidas para limitar a entrada de calor solar direto, promovendo um ambiente interno mais confortável, conforme as recomendações da NBR 15220. Estudos sobre o desempenho térmico de edificações em climas quentes indicam que a redução das aberturas pode diminuir a carga térmica interna e melhorar o conforto dos ocupantes (Saadatian *et al.*, 2013).
- **Pintura Externa:** A residência foi pintada de branco, contribuindo para a eficiência térmica da casa. Uemoto *et al.* (2010) destacaram que pinturas de cores claras podem reduzir a temperatura da superfície externa de uma edificação, contribuindo para a diminuição da temperatura interna.

Figura 25 - Vista isométrica da entrada da edificação, esquerda-direita.



Fonte: Elaborada pela autora (2024).

Figura 26 - Vista isométrica da entrada da edificação, direita-esquerda.



Fonte: Elaborada pela autora (2024).

Figura 27 - Vista isométrica da parte de trás da edificação.



Fonte: Elaborada pela autora (2024).

4.2 Análise Térmica

Esta subseção apresenta uma análise detalhada do desempenho térmico da casa contêiner, com foco na identificação das variações de temperatura ao longo do dia e a avaliação das estratégias adotadas para otimizar o conforto térmico interno. A análise térmica é fundamental para compreender como a edificação responde às condições climáticas específicas da Zona Bioclimática 07, especialmente em relação

à capacidade de manter temperaturas internas confortáveis sem a dependência excessiva de sistemas artificiais de climatização.

4.2.1 Faixa horária de análise

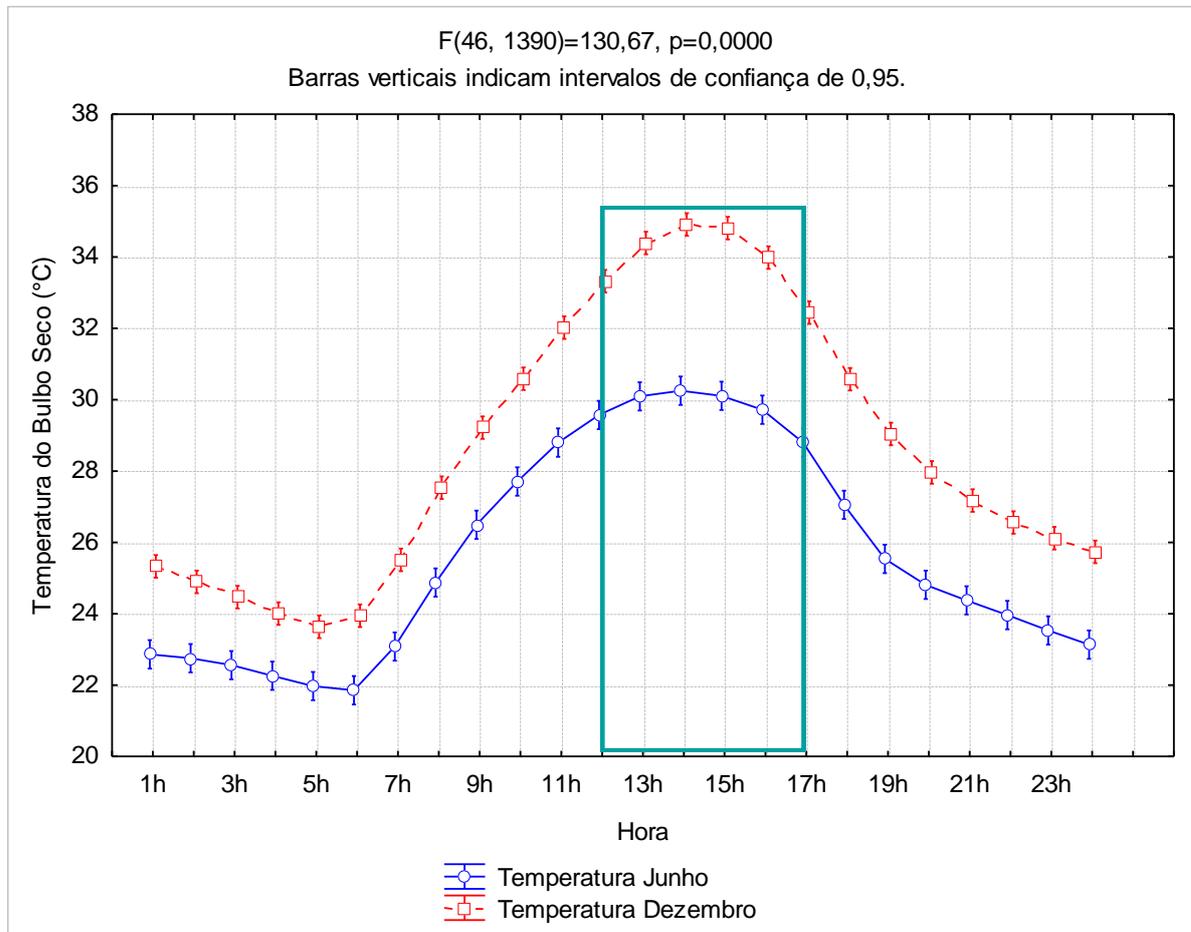
Para avaliar o comportamento térmico da edificação, foi escolhida a faixa horária entre 12h e 17h, conforme ilustrado no Gráfico 1. Esse período corresponde à parte do dia em que a incidência solar é mais intensa e, conseqüentemente, o ganho térmico da edificação tende a ser maior.

A escolha desse intervalo se justifica pela necessidade de analisar o desempenho térmico durante as horas mais críticas, quando a edificação enfrenta maiores desafios para manter um ambiente interno confortável frente ao calor externo.

A análise dessa faixa horária possibilitou verificar a eficácia das estratégias passivas adotadas, como sombreamento, isolamento e ventilação natural, na redução da carga térmica interna. O gráfico foi elaborado com base nos dados climáticos da cidade de Morada Nova, previamente discutidos, e ajudou a identificar a faixa horária com as temperaturas mais elevadas.

O Gráfico 1 apresenta as médias das temperaturas por horário, destacando a faixa horária selecionada para a análise.

Gráfico 1 - Médias das temperaturas por horário.

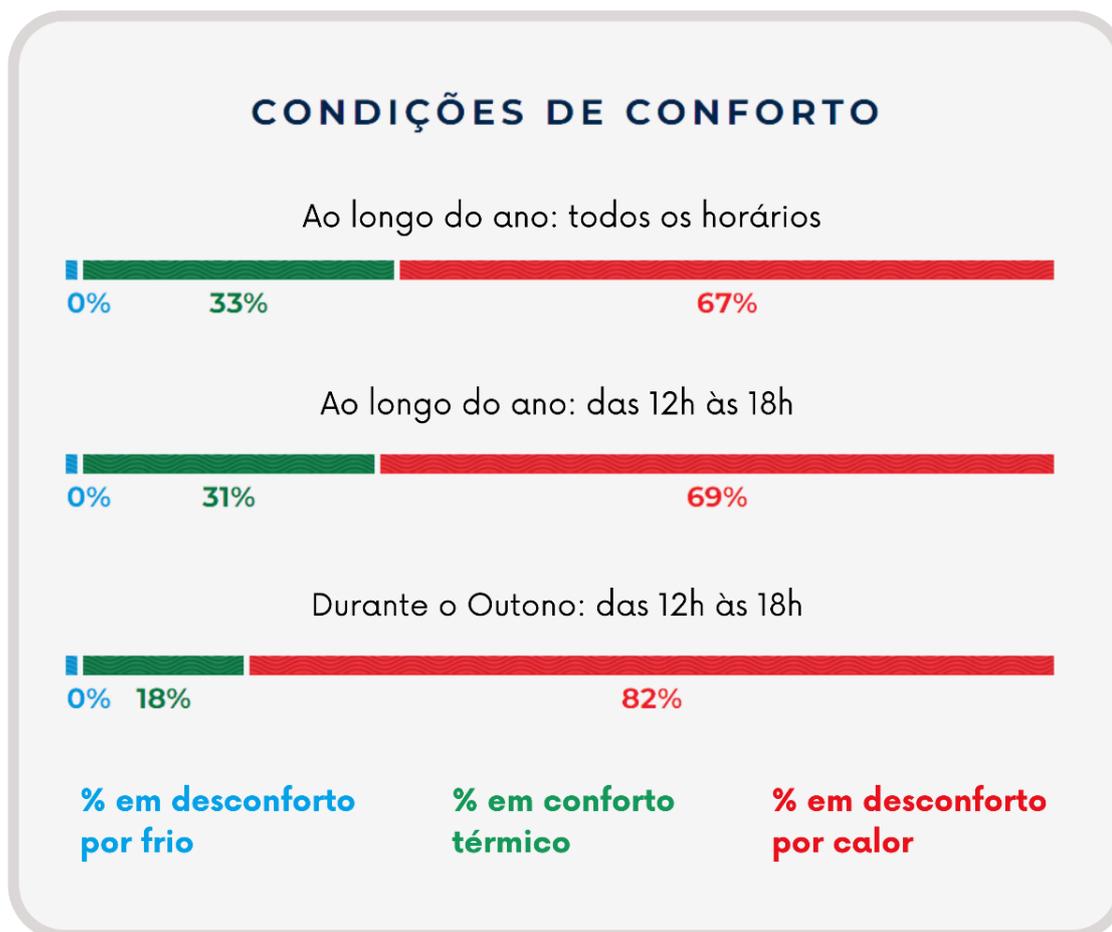


Fonte: Elaborada pela autora (2024).

A Figura 28, contendo informações extraídas do site PROJETEE, apresenta as condições de conforto térmico em Morada Nova – CE. Ela revela que, ao longo de todo o dia, e considerando todos os horários do ano, a cidade experimenta desconforto térmico em 67% do tempo. No entanto, ao focar especificamente na faixa horária das 12h às 18h, o desconforto térmico aumenta para 69%. Além disso, ao considerar apenas o outono nesse intervalo, o desconforto térmico se eleva ainda mais, alcançando 82%.

Esses dados justificam a escolha da faixa horária para a análise, pois evidenciam que esse período representa as condições mais críticas para o conforto térmico na edificação, tornando-o crucial para a geração de resultados precisos e relevantes.

Figura 28 - Condições de conforto de Morada Nova – CE

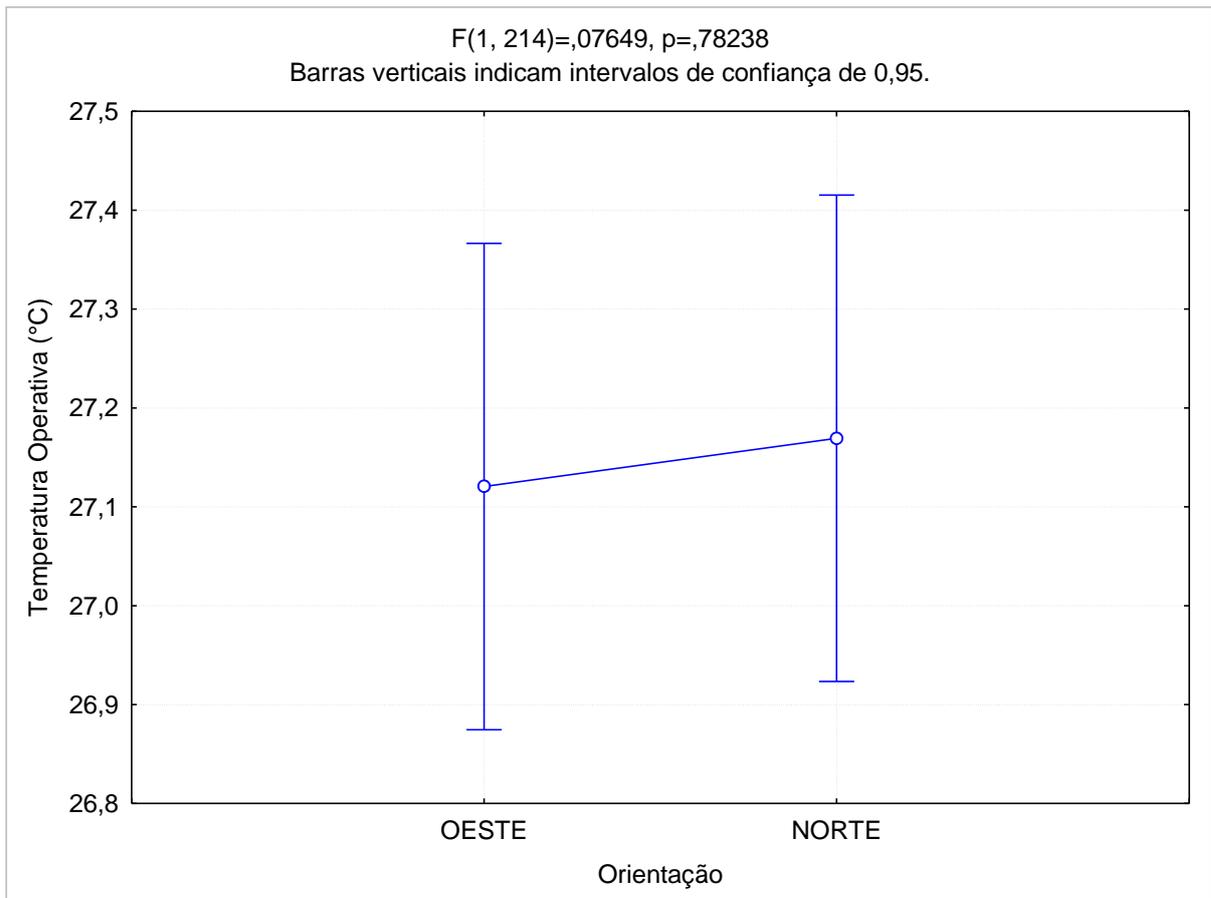


Fonte: Adaptado de PROJETEE. Ministério de Minas e Energia (MME).

4.2.2 Variação das fachadas

A análise dos dados do gráfico de variação da fachada indica que a orientação tem um impacto perceptível na temperatura interna. O Gráfico 2 ilustra como a temperatura interna da edificação varia ao longo do dia, comparando as orientações das fachadas voltadas para o oeste e para o norte. A faixa de temperaturas internas para a fachada voltada para o oeste varia de 26,87 °C a 27,36 °C, enquanto para a fachada voltada para o norte, varia de 26,92 °C a 27,42 °C.

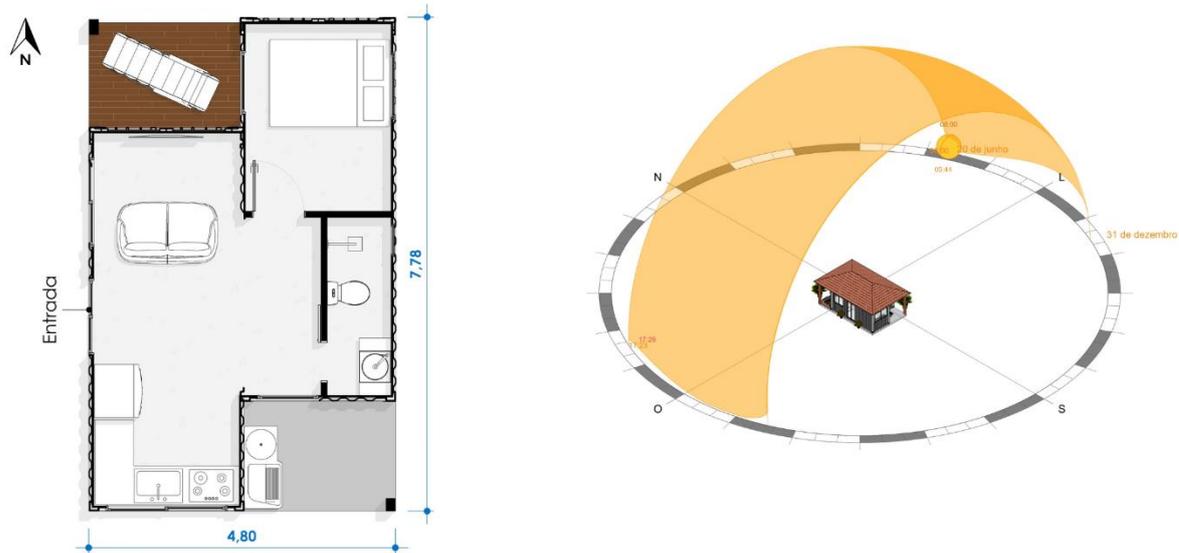
Gráfico 2 - Temperaturas internas em função da orientação solar.



Fonte: Elaborada pela autora (2024).

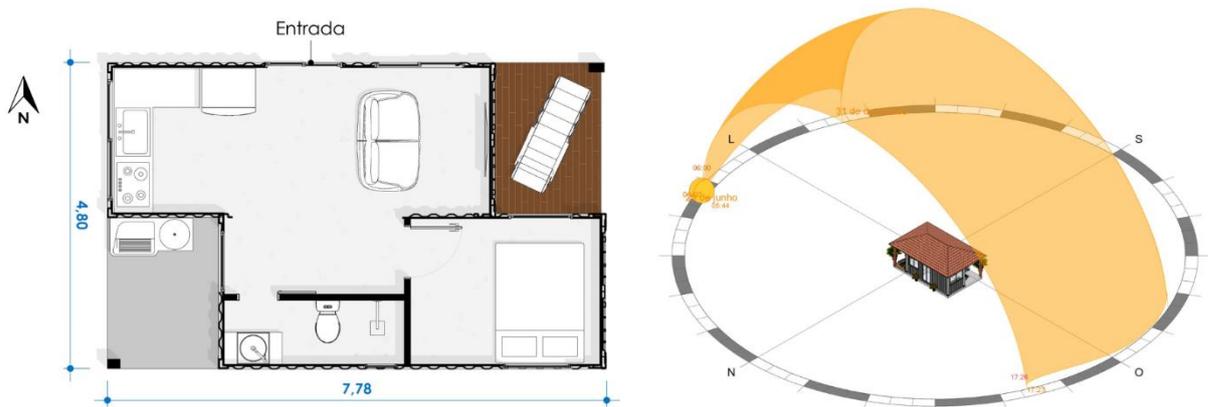
As Figuras 29 e 30 ilustram a incidência solar sobre a edificação para as fachadas voltadas para o oeste e para o norte, respectivamente, ao longo do dia e dos meses do ano. A fachada norte, no hemisfério sul, está mais exposta ao sol ao longo do dia, o que pode resultar em um pequeno aumento na temperatura interna devido ao maior ganho de calor solar direto. Em contraste, a fachada voltada para o oeste recebe sol principalmente durante a tarde, mas por um período mais curto e com menor intensidade direta.

Figura 29 - Incidência solar da fachada a oeste.



Fonte: Elaborada pela autora (2024).

Figura 30 - Incidência solar da fachada a norte.



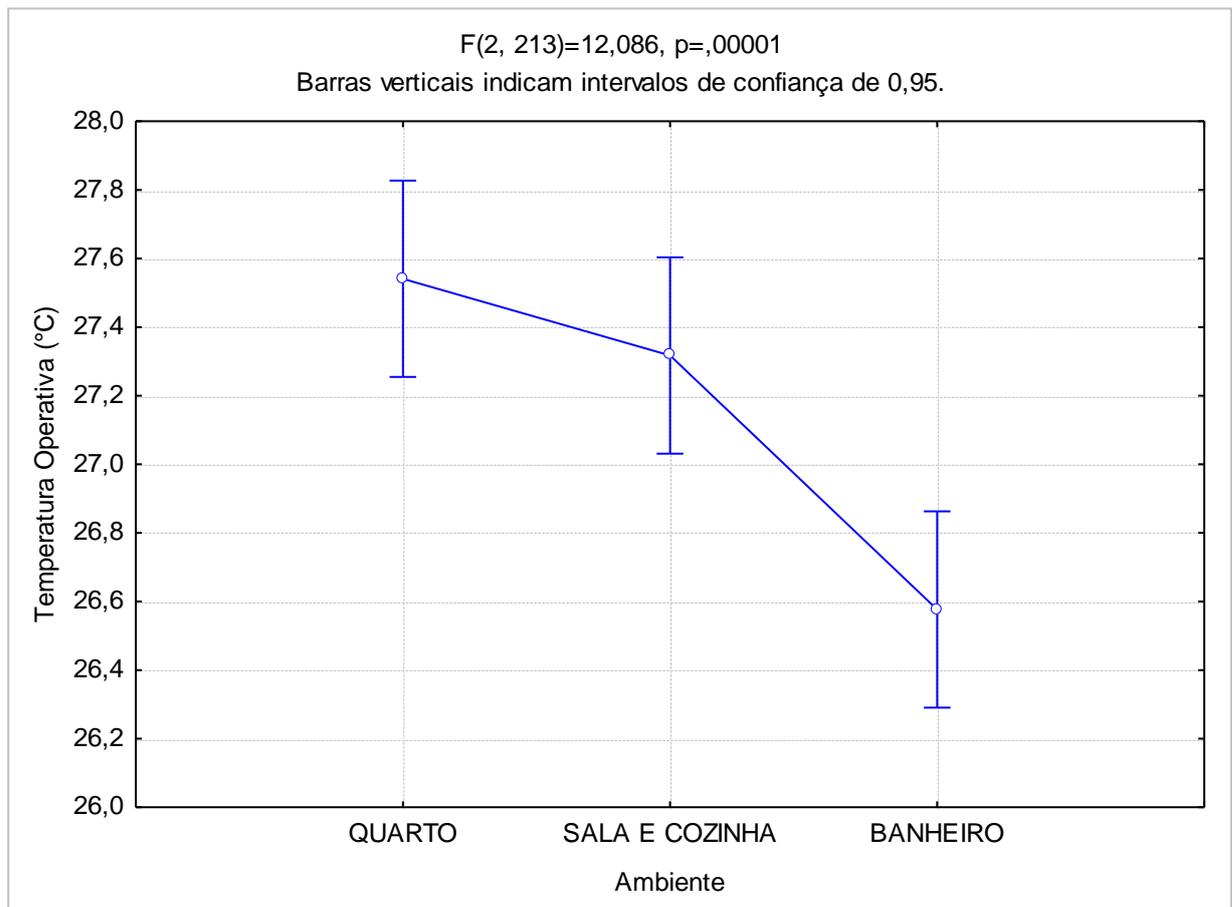
Fonte: Elaborada pela autora (2024).

Embora a fachada voltada para o norte tenha apresentado uma temperatura interna ligeiramente mais alta, essa diferença não é significativa. O valor $F(1, 214) = 0,07649$ e o valor- p de 0,782380 indicam que a variação nas temperaturas internas entre as fachadas voltadas para o norte e para o oeste não é substancial quando comparada à variabilidade natural das medições. Isso sugere que, apesar da tendência observada, a orientação da fachada não tem um impacto significativo sobre as temperaturas internas da edificação em termos estatísticos. Portanto, ambas as orientações resultam em temperaturas internas similares de maneira geral.

4.2.3 Desempenho térmico dos ambientes

O Gráfico 3 apresenta as temperaturas operativas internas por ambiente, evidenciando variações significativas nas diferentes áreas da casa. No quarto, as temperaturas oscilaram entre 27,23 °C e 27,82 °C, enquanto na sala e cozinha, as variações foram de 27,01 °C a 27,60 °C. O banheiro, por sua vez, apresentou as menores temperaturas, variando de 26,29 °C a 26,82 °C.

Gráfico 3 - Temperaturas internas em função do ambiente.



Fonte: Elaborada pela autora (2024).

Com base nos resultados da análise ANOVA ($F(2,213) = 12,086$, $p = 0,00001$) e do teste de Tukey HSD, é possível concluir que há diferenças estatisticamente significativas nas temperaturas operativas entre os diferentes ambientes da casa. O quarto apresenta uma temperatura ligeiramente mais alta em relação à sala/cozinha, e essa diferença foi considerada estatisticamente significativa pelo Teste de Tukey. Essa diferença pode ser atribuída ao maior tempo de ocupação do quarto, que é de 12 horas por dia, em comparação com as 8 horas

na sala e cozinha. Essas informações foram previamente estabelecidas no Capítulo 3, na seção 3.4 “Preparação do Modelo”, item c) “Atividade”, em que foram definidos os tempos de ocupação para cada ambiente.

A consideração dessas variáveis foi essencial para entender como a carga térmica interna afeta o desempenho térmico dos diferentes espaços da edificação. O banheiro, com um tempo de ocupação muito menor, apresentou temperaturas significativamente mais baixas, o que indica que a menor carga térmica acumulada durante o uso resulta em temperaturas internas mais frescas.

Estudos respaldam essas observações. Givoni (1998) discute como o tempo de ocupação e o uso dos ambientes afetam o conforto térmico, indicando que uma maior carga térmica interna é esperada em ambientes com maior tempo de ocupação. A menor carga térmica acumulada durante o uso reduz a temperatura interna, corroborando a observação de que ambientes com menor tempo de ocupação mantêm temperaturas mais baixas.

Tabela 6 - Teste de Tukey para os ambientes.

Teste de Tukey HSD				
Nº	Ambiente	Temperatura Operativa Média	1	2
3	Banheiro	26,57667		****
2	Sala e Cozinha	27,31736	****	
1	Quarto	27,54083	****	

Fonte: Elaborada pela autora (2024).

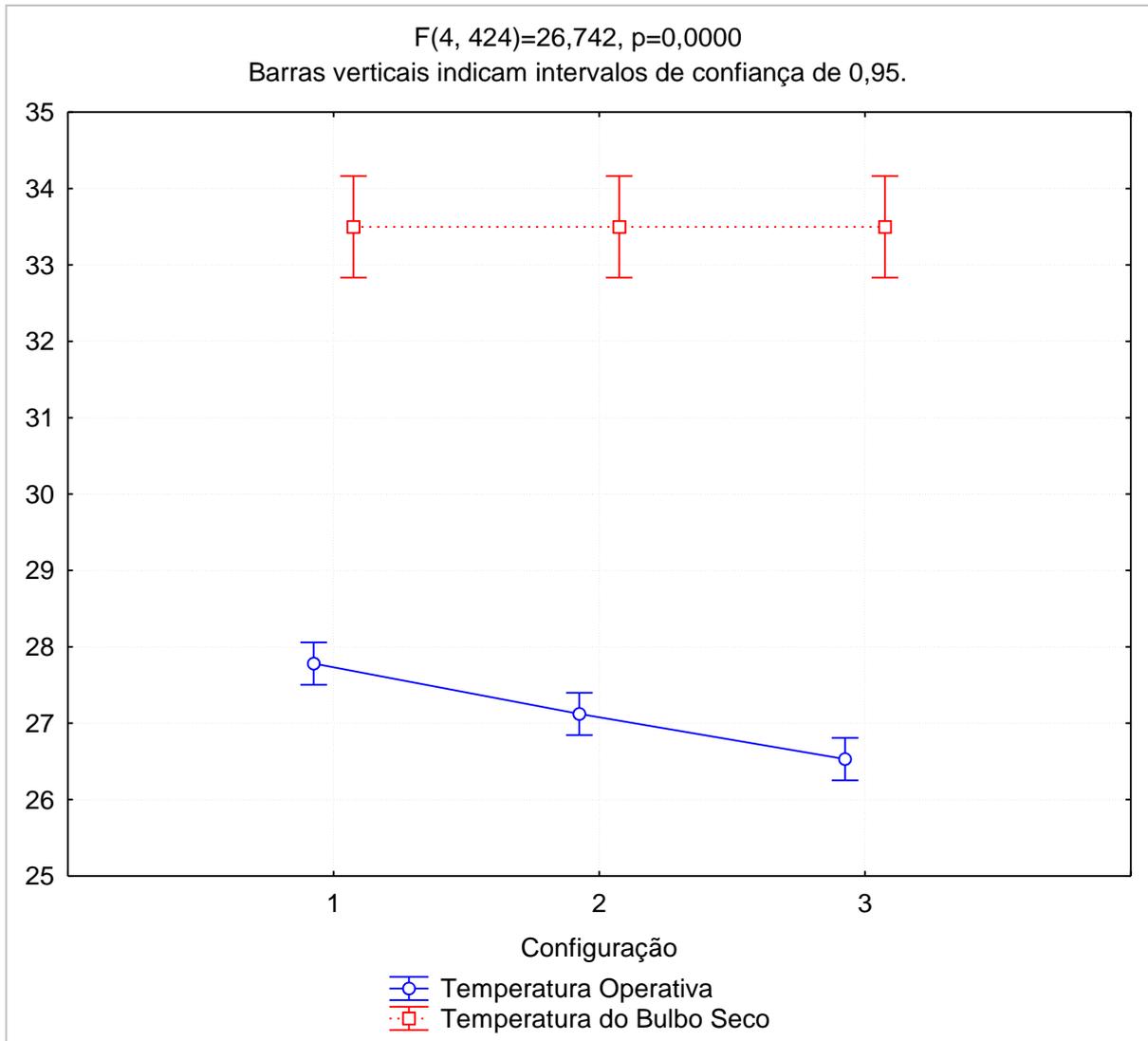
O Teste de Tukey, apresentado na Tabela 6, confirmou que as diferenças entre os ambientes são estatisticamente significativas, incluindo a variação entre o quarto e a sala/cozinha, que, apesar de terem temperaturas próximas, apresentam uma diferença relevante do ponto de vista estatístico.

4.2.4 Desempenho das configurações de materiais

O Gráfico 4 de Desempenho Térmico das Configurações apresenta as temperaturas operativas internas das edificações com base em três diferentes configurações de materiais para as paredes. No primeiro gráfico, que compara as

temperaturas do bulbo seco e as temperaturas operativas, observa-se que todas as três configurações contribuíram para a redução da temperatura interna, com a configuração 3 apresentando o melhor desempenho e a configuração 1, o menor.

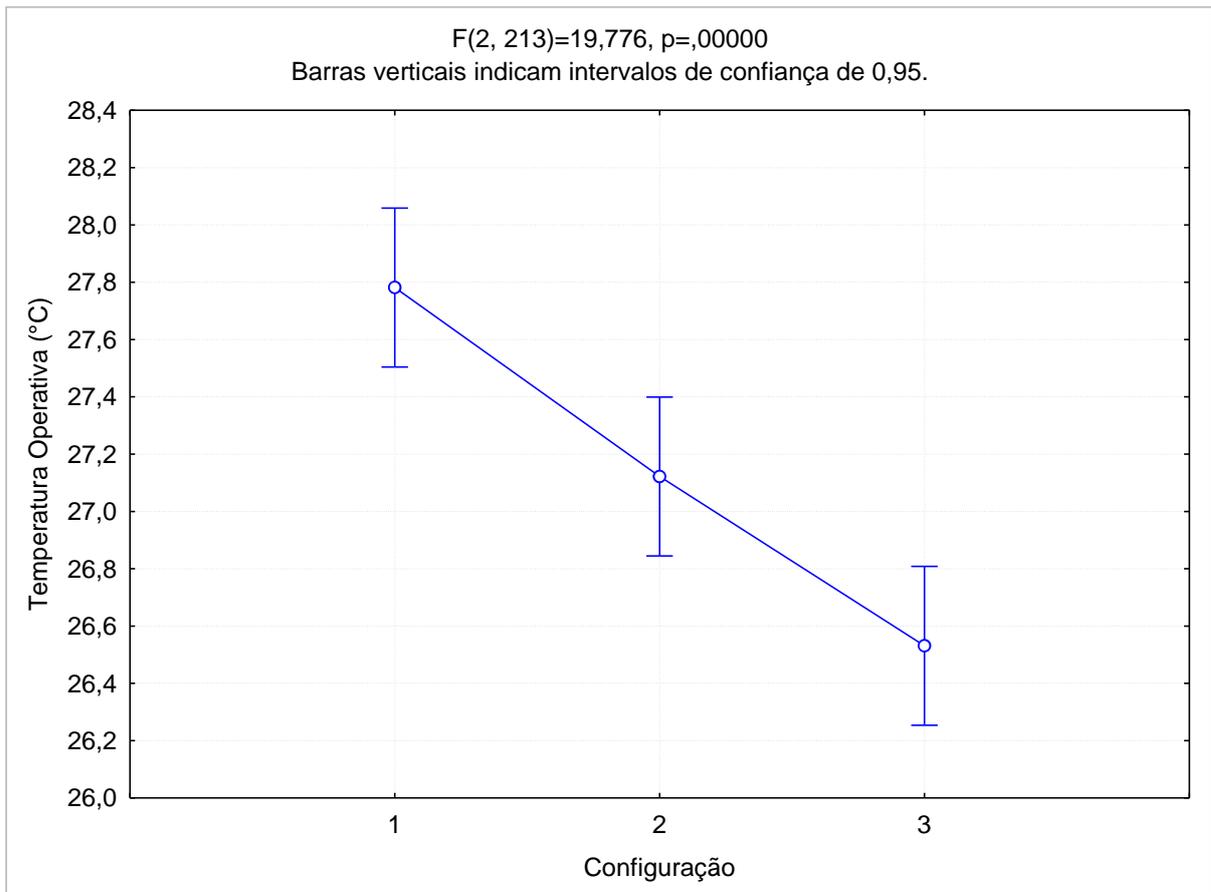
Gráfico 4 - Desempenho Térmico das Configurações.



Fonte: Elaborada pela autora (2024).

A faixa de temperatura operativa registrada para cada configuração pode ser vista no Gráfico 5: Faixa de temperatura operativa das configurações. A configuração 1 variou entre 27,5 °C e 28,06 °C; a configuração 2 oscilou entre 26,84 °C e 27,4 °C; e a configuração 3 apresentou as menores temperaturas, variando de 26,26 °C a 26,8 °C. Esses resultados foram confirmados com 95% de confiança por meio da análise ANOVA, e o teste de Tukey mostrou que as três configurações são estatisticamente diferentes entre si.

Gráfico 5 - Faixa de temperatura operativa das configurações.



Fonte: Elaborada pela autora (2024).

O teste de Tukey HSD, conforme apresentado na Tabela 7, evidencia que a Configuração 3 apresentou a menor temperatura operativa média (26,53 °C), indicando um desempenho térmico superior em relação às outras configurações. A Configuração 2, com uma média de 27,12 °C, se mostrou intermediária, enquanto a Configuração 1, com a maior média (27,78 °C), apresentou o pior desempenho térmico. As diferenças entre as médias das três configurações foram significativas, reforçando que cada arranjo testado impacta de forma distinta o conforto térmico da edificação.

Tabela 7 - Teste de Tukey para as configurações.

Teste de Tukey HSD					
Nº	Configuração	Temperatura Operativa Média	1	2	3
3	Configuração 3	26,53	****		
2	Configuração 2	27,12		****	
1	Configuração 1	27,78			****

Fonte: Elaborada pela autora (2024).

A diferença de desempenho entre as configurações pode ser explicada pelas propriedades térmicas específicas de cada material. A espuma de poliuretano apresentou o melhor desempenho, com menor condutividade térmica (aproximadamente 0,028 W/m·K) e um alto valor de R (5,5 a 6,5 por polegada), o que indica excelente resistência à transferência de calor. Esse material é capaz de oferecer um isolamento térmico superior, mesmo em menores espessuras, tornando-se ideal para aplicações que exigem alta eficiência energética (Roof Online, 2023).

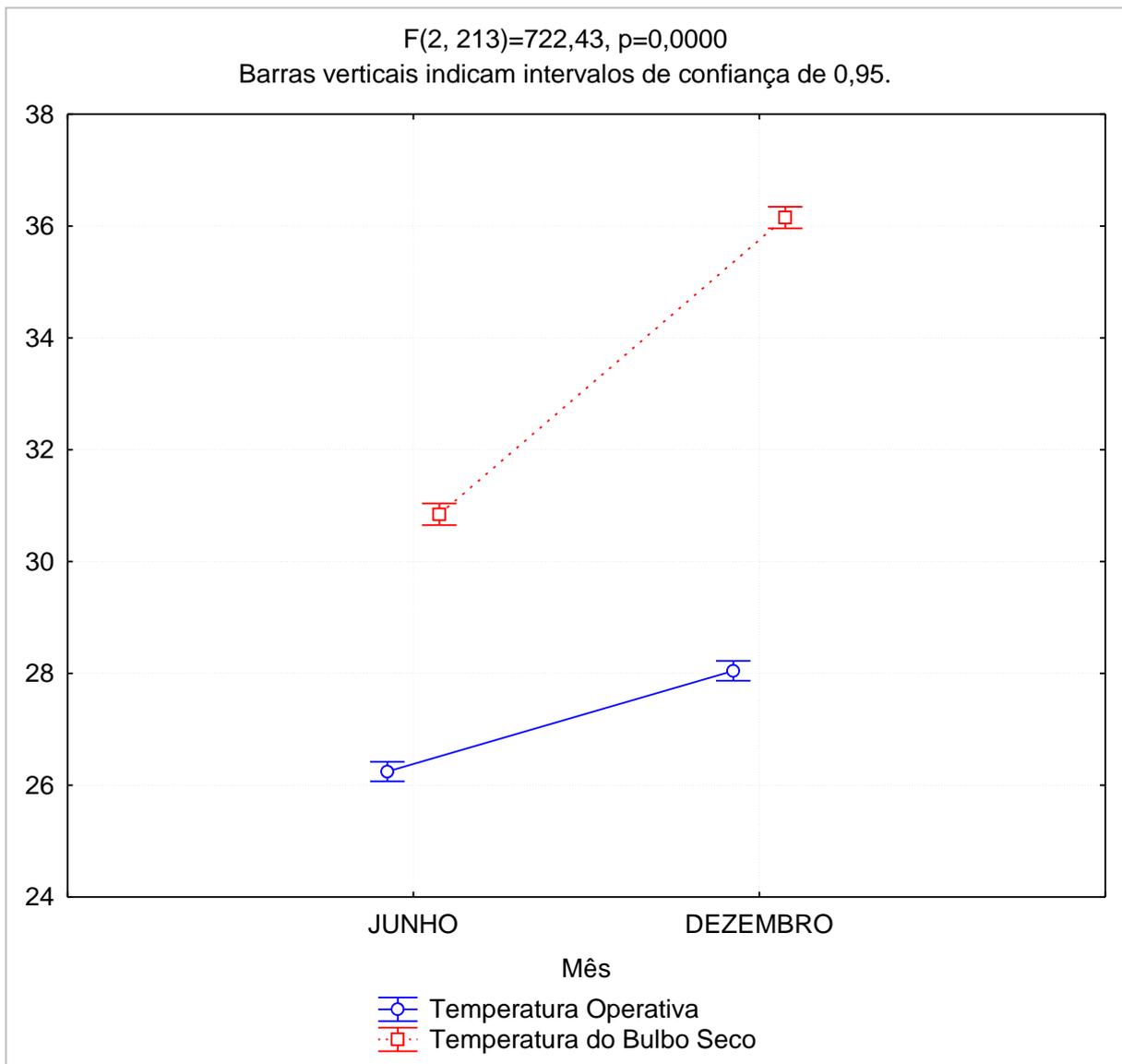
Por outro lado, a lã de rocha, com uma condutividade térmica moderada e um R-value de cerca de 3 a 3,3 por polegada, oferece um desempenho intermediário, mas, ainda superior à lã de vidro, devido à sua maior densidade e menor condutividade térmica (Insulation Advisor, 2023). Por sua vez, a lã de vidro, com maior condutividade térmica e o menor R-value (2,2 a 2,7 por polegada), teve o desempenho mais fraco entre as três, sendo menos eficiente em bloquear o calor (Insulation Superstore, 2023).

Essas diferenças nos valores de R e na condutividade térmica explicam porque a espuma de poliuretano foi a mais eficaz em reduzir a temperatura interna, seguida pela lã de rocha e, por fim, pela lã de vidro. Esses resultados são determinantes para a seleção de materiais de construção, especialmente em contextos em que a eficiência térmica é uma prioridade para melhorar o conforto ambiental e reduzir o consumo de energia.

4.3 Comparação de Desempenho Térmico ao Longo do Ano

O Gráfico 6 apresenta a Temperatura do Bulbo Seco (linha vermelha) e a Temperatura Operativa (linha azul) com relação ao mês, permitindo uma comparação direta entre as duas variáveis: ambiente interno e as condições externas. Em junho, considerado o mês mais frio do ano em Morada Nova, a temperatura operativa média dentro da residência é de aproximadamente 26,3°C, enquanto a temperatura do bulbo seco média externa é de 30,8°C. Em dezembro, mês mais quente, a temperatura operativa média sobe para cerca de 28,1°C; no mesmo período, a temperatura do bulbo seco média externa atinge 36,2°C.

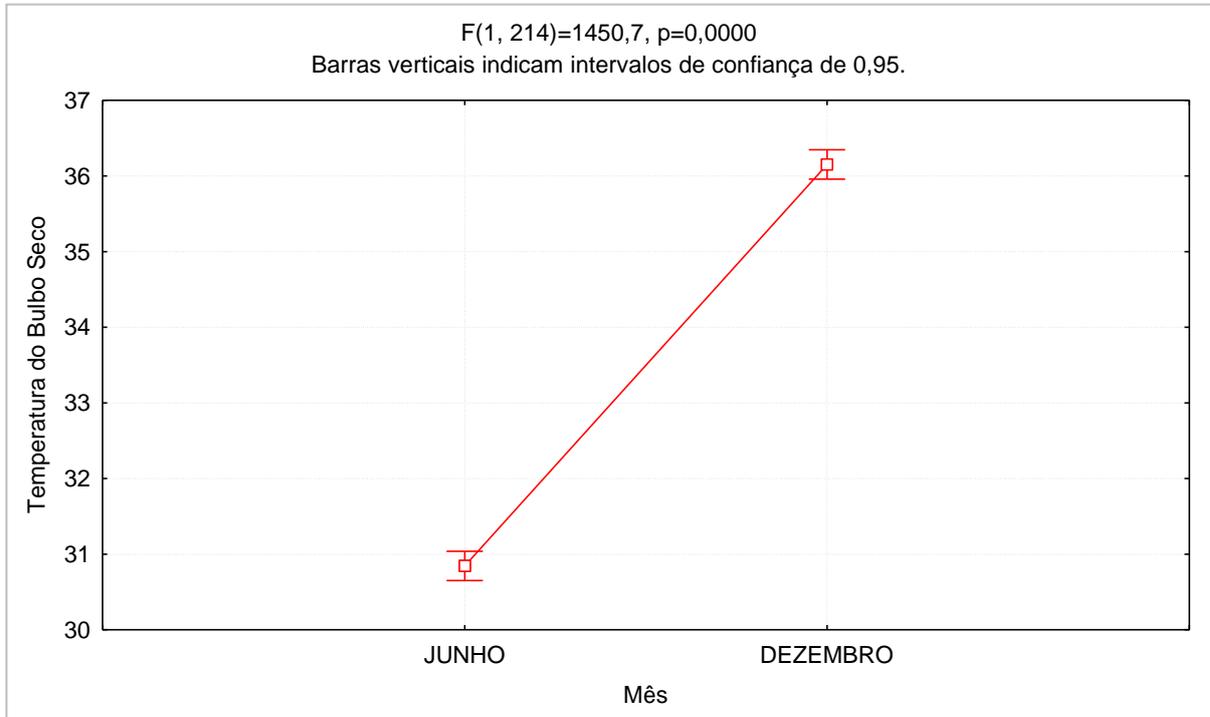
Gráfico 6 - Temperatura do Bulbo Seco e Temperatura Operativa com relação ao mês.



Fonte: Elaborada pela autora (2024).

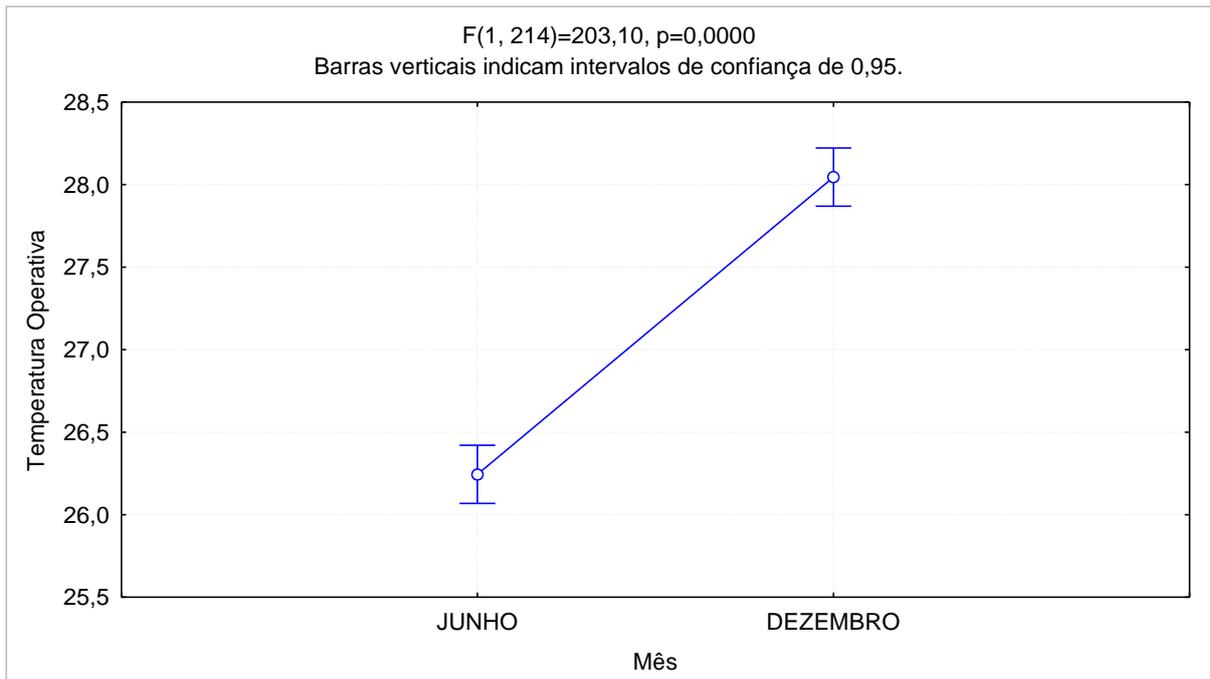
Para complementar essa análise, o Gráfico 7 apresenta a temperatura do bulbo seco de forma isolada, enquanto o Gráfico 8 exibe a temperatura operativa separadamente.

Gráfico 7 - Temperatura do Bulbo Seco com relação ao mês.



Fonte: Elaborada pela autora (2024).

Gráfico 8 - Temperatura Operativa com relação ao mês.



Fonte: Elaborada pela autora (2024).

Esses resultados indicam que, apesar do aumento significativo da temperatura externa em dezembro, a temperatura operativa interna não aumenta na mesma proporção. Isso sugere que as estratégias de isolamento térmico são eficazes em moderar o impacto do calor externo sobre as condições internas, proporcionando um ambiente mais confortável durante os períodos de calor intenso. Esta capacidade de manter uma temperatura operativa mais estável é crucial para o conforto térmico dos ocupantes e demonstra a eficiência das configurações de materiais testados.

Os valores médios observados para a temperatura do bulbo seco são consistentes com as características climáticas de Morada Nova, onde variações sazonais significativas são comuns. Estes dados são essenciais para validar as soluções de design e construção adotadas, assegurando que as normas de conforto térmico estabelecidas pelas NBR 15575-1 e NBR 15220-3 sejam atendidas.

A Tabela 8 resume as recomendações e adequações adotadas neste estudo, indicando a norma ou regulamento de origem, o ano de publicação e os tópicos relevantes. Ela organiza de forma clara as diretrizes seguidas ao longo do trabalho.

Tabela 8 - Recomendações das normas e regulamentos.

Norma	Ano	Tópico	Recomendação
RTQ-R	2010	3 - Unidades habitacionais autônomas.	- Fazer uso de ventilação natural; - Facilitar a iluminação natural; - Transmitância térmica: parede $\leq 3,7$, cobertura $\leq 2,3$.
NBR 15575	2021	Parte 1: Requisitos gerais.	- Parâmetros para a simulação computacional.
NBR 15220	2005	Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social .	- Diretrizes construtivas para a zona bioclimática 7; - Recomendações para adequação da edificação ao clima local.

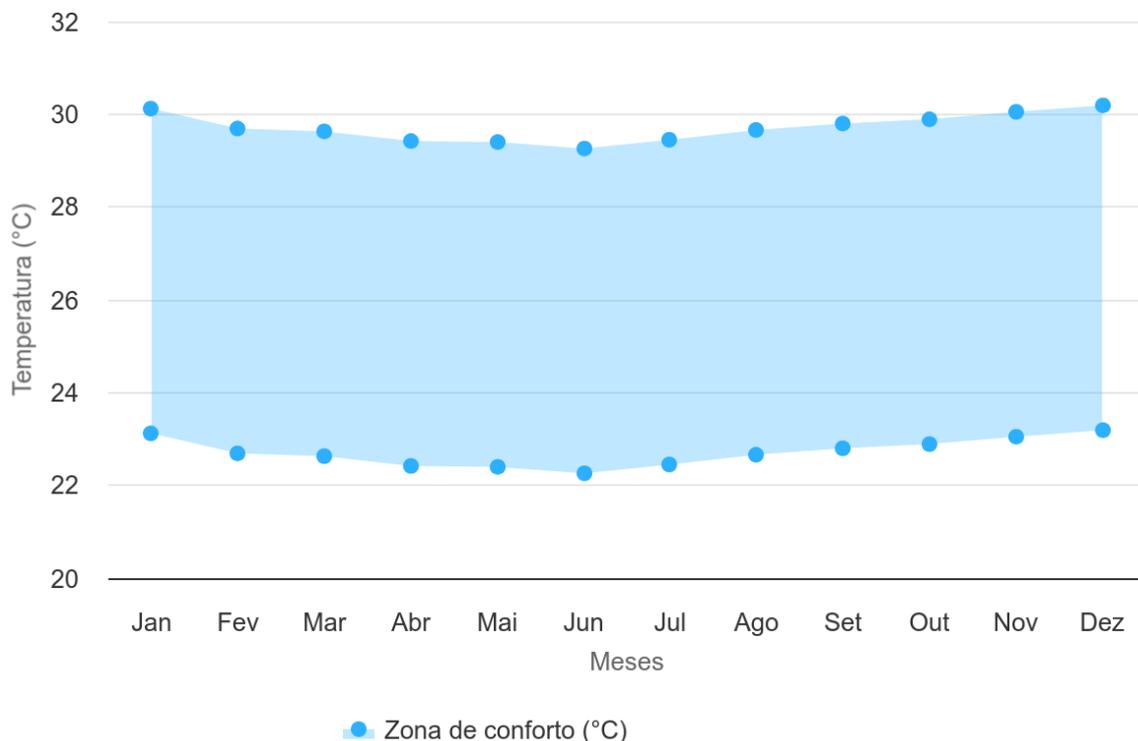
Fonte: Elaborada pela autora (2024).

4.4 Considerações

A planta baixa do projeto, elaborada em conformidade com as normas NBR 15220-3:2005, NBR 15575-1:2021 e as diretrizes do RTQ-R (2010), demonstrou ser eficaz no atendimento aos requisitos de conforto térmico para a zona Bioclimática 07. A escolha de materiais para as vedações externas, conforme indicado na Tabela 20 da NBR 15220-3:2005, segue as recomendações para a transmitância térmica, utilizando paredes do tipo pesada com valor igual ou inferior a $2,2 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Assim, as três configurações propostas na Tabela 3 estão em total conformidade com as diretrizes estabelecidas pela norma.

Adicionalmente, constatou-se que a orientação da fachada não exerceu influência significativa nas temperaturas internas, um resultado que pode ser atribuído à eficácia das estratégias de isolamento térmico adotadas. As variações de temperatura entre os ambientes foram mínimas, e a temperatura operativa manteve-se dentro da zona de conforto térmico estabelecida para Morada Nova. A Figura 31 ilustra a zona de conforto térmico, fornecendo um parâmetro visual que confirma que as temperaturas operativas obtidas situam-se dentro dessa faixa desejável.

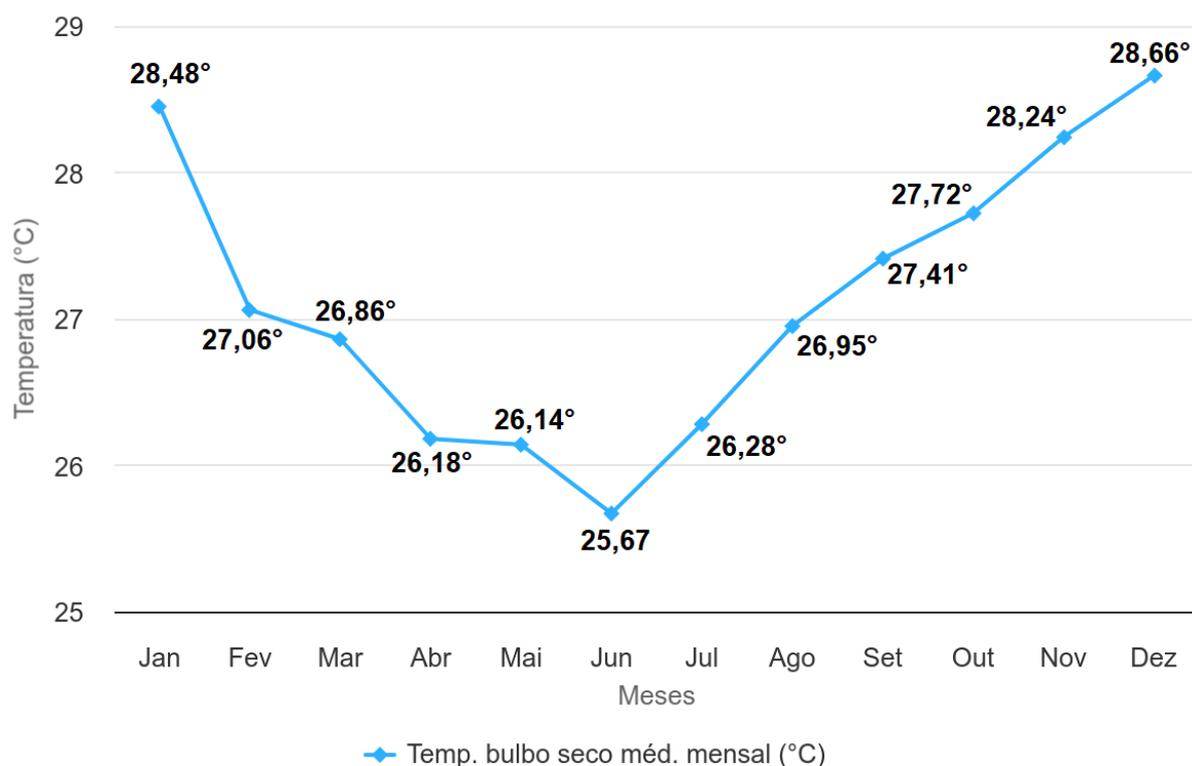
Figura 31 - Zona de Conforto Térmico de Morada Nova – CE.



Fonte: PROJETEE. Ministério de Minas e Energia (MME).

Para analisar as temperaturas operativas dos ambientes de permanência prolongada (TO_{app}), foi identificado o intervalo correspondente às temperaturas externas de bulbo seco da cidade de Morada Nova – CE, utilizando as temperaturas médias externas fornecidas pelo PROJETEEE. A Figura 32 apresenta as temperaturas médias mensais do bulbo seco, fornecendo um panorama das condições térmicas externas ao longo do ano.

Figura 32 - Temperatura do bulbo seco médio mensal de Morada Nova – CE.



Fonte: Adaptado de PROJETEE. Ministério de Minas e Energia (MME).

A Tabela 9 apresenta os valores das Temperaturas do Bulbo Seco Médio Mensal mostrados na Figura 32, além de incluir a média anual, permitindo a comparação com os intervalos estabelecidos na Tabela 10.

Tabela 9 - Temperaturas do Bulbo Seco de Morada Nova – CE.

Temperaturas do Bulbo Seco Médio Mensal de Morada Nova - CE (°C)												
JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA
28,45	27,06	26,86	26,18	26,14	25,67	26,28	26,95	27,41	27,72	28,24	28,66	27,135

Fonte - Adaptado de PROJETEE. Ministério de Minas e Energia (MME).

De acordo com a Tabela 2 da NBR 15575-1:2021, as temperaturas externas de Morada Nova – CE se enquadram no intervalo 2.

As Tabelas 10 e 11 apresentam, respectivamente, os intervalos de temperaturas externas de bulbo seco e Faixas de temperaturas operativas.

Tabela 10 - Intervalos de temperaturas externas de bulbo seco.

Intervalos de temperaturas externas	Média anual da temperatura externa de bulbo seco (TBS _m) °C
Intervalo 1	TBS _m < 25,0 °C
Intervalo 2	25,0 °C ≤ TBS _m < 27,0 °C
Intervalo 3	TBS _m ≥ 27,0 °C

Fonte: NBR 15.575 (ABNT, 2021, p. 22).

Tabela 11 - Faixas de temperaturas operativas.

Intervalos de temperaturas externas	Faixa de temperatura operativa a ser considerada
Intervalo 1	18,0 °C < T _{OAPP} ^a < 26,0 °C
Intervalo 2	T _{OAPP} < 28,0 °C
Intervalo 3	T _{OAPP} < 30,0 °C

^a T_{OAPP} é a temperatura operativa do APP, que atende aos limites estabelecidos nesta Tabela.

Fonte: NBR 15.575 (ABNT, 2021, p. 22).

A Tabela 12 resume as temperaturas do bulbo seco, as temperaturas operativas e a diferença entre elas para as três configurações estudadas.

Tabela 12 - Diferença entre temperatura do bulbo seco e temperatura operativa.

Configuração	Mês	Temperatura do Bulbo Seco (°C)	Temperatura Operativa (°C)	Diferença (°C)
Configuração 1	junho	30,8	26,3	4,5
	dezembro	36,2	28,1	8,1
Configuração 2	junho	30,8	26,82	3,98
	dezembro	36,2	27,4	8,8
Configuração 3	junho	30,8	26,25	4,55
	dezembro	36,2	26,8	9,4

Fonte: Elaborada pela autora (2024).

Ao analisar os resultados das TO_{app} , com foco no valor limite estabelecido pela Tabela 11 deste trabalho, constata-se que todas as configurações apresentaram um bom desempenho, especialmente durante o período mais quente.

No entanto, a Configuração 1, no mês de dezembro, ultrapassou o limite de 28°C estabelecido pela norma NBR 15575-1:2021. Em relação à zona de conforto térmico, todas as configurações demonstraram um desempenho satisfatório, apresentando valores dentro do intervalo da zona de conforto para a cidade de Morada Nova. Dentre elas, a terceira configuração, que utiliza espuma de poliuretano como isolante térmico, destacou-se como a mais eficiente. Além disso, observou-se que a fachada voltada para o oeste apresentou um desempenho relativamente melhor em comparação com a fachada para o norte, embora os valores obtidos não sejam estatisticamente significativos.

Esses resultados corroboram a relevância das estratégias implementadas para a eficiência térmica da casa contêiner na zona Bioclimática 07. A análise das temperaturas operativas evidencia que a solução proposta não apenas atende aos padrões normativos, como também assegura um ambiente confortável para os ocupantes durante todo o ano. A combinação eficaz de materiais e orientações adotadas, especialmente na terceira configuração com uso de espuma de poliuretano, demonstra que é possível otimizar o conforto térmico mesmo nas condições climáticas mais desafiadoras.

5 CONCLUSÃO

A pesquisa atendeu aos objetivos propostos, permitindo concluir que é viável a construção de casas contêiner em Morada Nova – CE. Todavia, em decorrência do seu contexto climático, essa prática exige estratégias específicas para garantir o conforto térmico nas edificações, como as casas contêineres. Por serem feitas de metal, os contêineres tendem a aquecer rapidamente quando expostos ao sol, tornando necessário o uso de materiais eficientes para o isolamento térmico, como a espuma de poliuretano. Considerando que Morada Nova e Russas pertencem à mesma Zona Bioclimática 07, pode-se afirmar que as estratégias de construção e isolamento que se mostram viáveis para Morada Nova também são aplicáveis a Russas – CE, ampliando as possibilidades de implementação dessa solução habitacional na região.

Para diminuir a incidência de calor, a projeção de casas contêineres necessita de aberturas estratégicas para permitir a ventilação cruzada ajuda de modo a remover o calor interno e a manter o ambiente mais confortável. O uso de janelas com proteção solar (como persianas) pode permitir a entrada de luz natural sem o excesso de calor.

O uso de materiais de baixa emissividade para os revestimentos externos, como películas refletivas, pode ajudar a diminuir a retenção de calor. Também pode ser usada madeira como isolante adicional no piso e paredes, criando uma camada de ar protetora entre o material da edificação e o revestimento.

Outro aspecto importante refere-se ao posicionamento e à orientação da construção, evitando exposição direta ao sol nas fachadas mais vulneráveis, o que pode ser feito utilizando-se vegetação ao redor da edificação criando um sombreamento natural e auxiliar na climatização do ambiente.

5.1 Sugestões para Trabalhos Futuros

Com base nos resultados obtidos, algumas sugestões para futuros trabalhos incluem a exploração de outras zonas bioclimáticas, a fim de verificar a viabilidade da construção de casas contêineres em diferentes contextos climáticos. Estudar zonas com características climáticas distintas permitirá uma avaliação mais

abrangente das adaptações necessárias para garantir o conforto térmico em diversas regiões.

Outra linha de pesquisa seria a investigação de novos materiais para vedação, buscando alternativas que possam melhorar ainda mais o desempenho térmico das casas contêineres, especialmente em climas quentes. Materiais com propriedades isolantes mais eficientes ou técnicas inovadoras de vedação poderiam ser analisados para otimizar o controle da temperatura interna.

Por fim, futuros estudos poderiam considerar o impacto do consumo energético nas construções de contêineres. Avaliar como as estratégias de isolamento e ventilação afetam o uso de energia para resfriamento ou aquecimento contribuiria para uma análise mais aprofundada da sustentabilidade dessas edificações, possibilitando uma avaliação custo-benefício das soluções adotadas.

REFERÊNCIAS

ARCHDAILY. Artista britânico projeta edifício escultórico com contêineres.

Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/919790/artista-britanico-projeta-edificio-escultorico-com-conteineres>>. Acesso em: 23 set. 2024.

ARCHDAILY. Casa Contêiner / Granja Viana Container Box. Disponível em:

<<https://www.archdaily.com.br/br/800283/casa-container-granja-viana-container-box>>. Acesso em: 23 set. 2024.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15.220-2: 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, 2005. 21 p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações unifamiliares de interesse social.** Rio de Janeiro, 2005.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15575: Edificações Habitacionais – Desempenho Parte 1: Requisitos Gerais.** Rio de Janeiro, 2021.

ASHRAE; (2013). **ANSI/ASHRAE Standard 55-2013: Thermal environmental conditions for human occupancy.** American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, EUA.

Azevedo, Nathalia Cardoso de; Tavares, Sérgio Fernando. Interoperabilidade entre as ferramentas *Revit* e *OpenStudio* para simulação termoenergética. **PARC - Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 11, p. e020011, 14 jul. 2020.

Bimobject. **Contentores de Armazenamento: UNITEAM.** Disponível em: <https://www.bimobject.com/en/cramo-service-ab/product/uniteam20storagecontainer>. Acesso em: 7 mai. 2024.

Carbonari, Luana Toralles; Barth, Fernando. Reutilização de contêineres padrão ISO na construção de edifícios comerciais no sul do Brasil. **PARC - Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 6, n. 4, p. 255-265, dez. 2015. ISSN 1980-6809. Disponível em: <http://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8641165>. Acesso em: 2 set. 2023.

Coffman, Reid; Fithian, Lee; Akins, Edwin. Deploying shipping containers for innovative living architecture design education. **Journal of Living Architecture**, v. 4, nº 2, p. 1-16.

Construindo-Decor. **Espuma expansiva – Preço, como usar, onde comprar.** 2017. Disponível em: <<http://construindodecor.com.br>>. Acesso em: 5 maio 2024.

Costa, Débora Cristina Rosa Faria da. **Contêineres metálicos para canteiros e obras: análise experimental de desempenho térmico e melhorias na transferência de calor pela envoltória**. 2015. 174 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Departamento de Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

Costa, Bárbara Cristiane Alcides da *et al.* Espuma expansiva de PU: principais características e aplicações na construção civil. **Ciências exatas e tecnológicas**. Aracaju - v. 4 - n. 2 - p. 55-64 / Out 2017 - periodicos.set.edu.

Crawley, D. B; Lawrie, L. K; Pedro, J. M; Winkelmann, F. C; Huang, Y. J; Curtis, O; Buhl, W. F. (2008). EnergyPlus: criação de um programa de simulação energética de edifícios de nova geração. **Energia e edifícios**, 40(3), 387-398.

D'ell Santo, Amabelli; Alvarez, Cristina Engel de; Nico-Rodrigues, Edna Aparecida. Conforto e desempenho térmico em contradição na NBR 15575. **Cadernos Proarq20** – 2013. Disponível em: <https://lpp.ufes.br/sites/lpp.ufes.br/files/field/anexo/Proarq_20-114.pdf>. Acesso em: 25 jun. 2023.

Dornelles, Kelen Almeida. **Absortância solar de superfícies opacas: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA**. Campinas, SP: [s.n.], 2008.

Ferreira, Thalyta Kelly Saraiva; Bastos, Juceline Batista dos Santos. Identificação da Infraestrutura Viária de Morada Nova por meio de Sistemas de Informações Geográficas (SIG). **16º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental**, 2018. Disponível em: https://www.schenautomacao.com.br/cbge/envio/files/trabalho_189.pdf. Acesso em: 9 set. 2024.

Frota, Anésia Barros; Schiffer, Sueli Ramos. **Manual de conforto térmico**. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

Gabriel, Elaise; Meller, Gabriela; Faccio, Natalia da Silva; Domingos, Renata Mansuelo Alves. Análise do desempenho termoenergético de diferentes tipologias de vidro em Habitação de Interesse Social Localizada em região de clima tropical. **E&S - Engineering and Science**. Volume 1, Edição 9. 2020.

Givoni, B. (1998). *Climate Considerations in Building and Urban Design*. Wiley.

GREEN BIM. *Renewable Energy Study*. **Green BIM**. Disponível em: <https://greenbim-eng.com/renewable-energy-study/>. Acesso em: 13 ago. 2024.

Green Roofs. **Bike Box Living Roof Lab**. 2017. Disponível em: <<https://greenroofs.org/aoe/2020/bike-box-living-roof-lab>>. Acesso em: 8 ago. 2024.

Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE). **Perfil Municipal Morada Nova**, 2017.

Insulation Advisor. (2023). *Glass wool vs mineral wool: which is best for insulation*. Disponível em: <https://insulationadvisor.co.uk/glass-wool-vs-mineral-wool-which-is-best-for-insulation/>. Acesso em: 05 de agosto de 2024.

Insulation Superstore. (2023). *Glass wool or mineral wool: which is best for insulation?* Disponível em: <https://www.insulationsuperstore.co.uk/help-and-advice/product-guides/insulation/glass-wool-or-mineral-wool-which-is-best-for-insulation/>. Acesso em: 05 de agosto de 2024.

Inteligente living. Projetos de contêineres de transporte ecológicos, vencedores de concursos e reaproveitados. 2020. Disponível em: <https://www.intelligentliving.co/winning-repurposed-shipping-container-designs/> Acesso em: 24 jul. 2024.

ISO. International Organization for Standardization. **Moderate thermal environments-determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for the thermal comfort.**: ISO 7730. Suíça, 2005.

JAMES & MAU. Projeto Infiniski Manifesto House. Disponível em: <https://jamesandmau.com/projects/infiniski-manifesto-house/>. Acesso em: 23 set. 2024.

Kumar, R., et al. (2019). Impact of passive strategies on thermal performance of buildings in hot climates. **Journal of Building Engineering**, 23, 100-110.

LABEEE. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/inmet2016>. Acesso em: 7 mai. 2024.

Lamberts, Roberto. *et al.* **Desempenho térmico de edificações**. Florianópolis: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, 2016.

Lamberts, Roberto; Dutra, Luciano; Pereira, Fernando. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3. ed. São Paulo: PW Editores, 2014.

Luiz, Ihago Pereira. **Análise da eficiência do software Autodesk Revit para simulação no âmbito de conforto lumínico**. Monografia (Graduação) – Instituto Federal do Espírito Santo. Colatina, 2019.

Mahmoud, Abubakar S.; ASIF, Muhammad; Hassanain, Mohammad A.; Babsail, Mohammad O; Sanni-Anibire, Muizz O. Energy and Economic Evaluation of Green Roofs for Residential Buildings in Hot-Humid Climates. *Buildings*, v. 7, n. 2, p. 30, 2017. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2075-5309/7/2/30>. Acesso em: 9 ago. 2024.

Material Properties. (2023). *Polyurethane insulation*. Disponível em: <https://material-properties.org/polyurethane-insulation/>. Acesso em: 05 de agosto de 2024.

Mazzoneto, Larissa. **Casa Container: um estudo de caso**. 2016. Disponível em: <https://www.posestacio.com.br/casa-container-um-estudo-de-caso/>. Acesso em: 9 set. 2024.

Pereira, Adriana Rodrigues. **Análise do conforto térmico para usuários de uma moradia universitária e do desempenho térmico de sua envoltória**. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Civil. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2019.

Pisello, A. L; Rossi, F; Cotana, F. (2014). Summer and winter effect of innovative cool roof tiles on the dynamic thermal behavior of buildings. **Energies**, 7(4), 2343-2361.

Pierozan, Eduardo. **Temperatura, temperatura operativa e temperatura radiante, qual é a diferença?** 2021. Disponível em: <https://pt.linkedin.com/pulse/temperatura-operativa-e-radiante-qual-%C3%A9-diferen%C3%A7a-eduardo-pierozan>. Acesso em: 30 abr. 2024.

Pires, Laura Rosar. **Containers na construção civil: uma alternativa viável e sustentável para habitações frente ao método convencional**. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Civil. Universidade do Sul de Santa Catarina. Palhoça, 2021.

Pouey, Juliana Al-Alam. **Projeto de Edificação Residencial Unifamiliar para a Zona Bioclimática 2 com Avaliação Termo Energética por Simulação Computacional**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2011. 137f.

Projeteee. Dados bioclimáticos. 2024. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/projeteee/dados-climaticos/>. Acesso em: 06 mai. 2024.

Queiróz, Gabriel Ramos de. **SOFTWARES PARA ANÁLISE DE AMBIENTES CONSTRUÍDOS VISANDO À SUSTENTABILIDADE: Estudo de Caso do Projeto Casa Eficiente com o Software Autodesk Revit 2014**. Trabalho de Conclusão de Curso - Pós-graduação Lato Sensu em Análise Ambiental e Desenvolvimento Sustentável. Centro Universitário de Brasília, 2013.

Rangel, Juliana. **Casa Manifesto – Contêineres + Materiais reciclados**. 2014. Disponível em: <https://sustentarqui.com.br/casa-manifesto-conteineres-materiais-reciclados/>. Acesso em: 9 set. 2024.

Raoli, Rui; Gonçalves, Grasiela Gaspar. **Eficiência Energética das Construções**. Programa Brasileiro de Etiquetagem. Disponível em: https://cbic.org.br/en_US/artigo-eficiencia-energetica-das-construcoes. 2020. Acesso em: 19 junho 2023.

Roof Online. (2023). *R-value table*. Disponível em: <https://roofonline.com/r-value-table/>. Acesso em: 05 de agosto de 2024.

Saadatian, O. *et al.* (2013). A review of energy aspects of green roofs. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 23, 155-168.

Silva, Caio. **Simulação Termoenergética com o Software DesignBuilder. REDEE - Rede de Aprendizagem em Eficiência Energética e Geração Distribuída em Edifícios Públicos**. 2020. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/redee/>. Acesso em: 2 set. 2023.

Silva, João Vitor de Araújo. Caracterização Bioclimática para região do Baixo Jaguaribe - CE, por meio da obtenção do ano climático de referência (try) dos municípios de Jaguaruana e Morada Nova. **Revista de Engenharia e Tecnologia**. v. 15, nº. 1, 2023.

Silva, L. M. B; Padovan, L. G. D. **Zonas Bioclimáticas brasileiras e estratégias projetuais**. 2020. Disponível em <http://www.cic.fio.edu.br/anaisCIC/anais2020/pdf/02.21.pdf>. Acesso em: 13 ago. 2023.

Souza, D. A. de.; Pinho, G. C. de S.; Andrade, R. G. M. de.; Araújo, G. S. Sistema construtivo contêiner para Habitação Social: desafios de implantação e possibilidades construtivas. **Braz. J. of Develop.**, Curitiba, v. 5, n. 11, p. 25836-25862 nov. 2019.

Uemoto, K. L., Sato, N. M. N., & John, V. M. (2010). Estimating thermal performance of cool colored paints. **Energy and Buildings**, 42(1), 17-22.

Vasconcellos, C. **TOP 10: Construções mais sustentáveis do mundo**. Disponível em: <https://engeduca.com.br/top-10-construcoes-mais-sustentaveis-do-mundo/>. Acesso em: 19 ago. 2023.

Veiga, R. K. S. **Metamodelo para estimar o desempenho térmico de edificações residenciais multifamiliares naturalmente ventiladas**. Dissertação (Mestrado). Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2021.

Viana, Françoise Santana; Souza, H. A. de; Gomes, A. P. Residência em contêiner: comparativo de estratégias para a melhoria do desempenho térmico. **PARC - Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 10, p. e019011, mar. 2019.

V3SHIPPING. **Ferramentas: Especificação de containers**. Disponível em: <https://v3shipping.com.br/containers.php>. Acesso em; 06 mai. 2024.