



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL



CAIO FILIPI PEREIRA SILVA

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE ISOLANTES TÉRMICOS, PARA
HABITAÇÕES EMERGENCIAIS EM MÓDULOS DE CONTÊINERES, POR MEIO
DA INTEGRAÇÃO BIM-BES**

UBERLÂNDIA – MG

2022



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL



CAIO FILIPI PEREIRA SILVA

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE ISOLANTES TÉRMICOS, PARA
HABITAÇÕES EMERGENCIAIS EM MÓDULOS DE CONTÊINERES, POR MEIO
DA INTEGRAÇÃO BIM-BES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Ana Carolina Fernandes Maciel.

UBERLÂNDIA - MG

2022

RESUMO

Um projeto arquitetônico deve contemplar as condições climáticas locais e aproveitá-las de maneira adequada, ainda, deve considerar o sistema de fechamento (interno e externo) da edificação, que está diretamente ligado ao seu desempenho térmico e a sua eficiência energética. Com base nesses aspectos, este trabalho visa analisar energeticamente uma habitação emergencial construída em módulos de contêineres e propor parâmetros e modificações, caso necessário. Tendo em vista que a vida útil do contêiner, no mercado náutico, é de aproximadamente quinze anos, há um grande volume de descarte desses, que, enquanto fora do mar, podem resistir a mais de cem anos com pouca ou nenhuma manutenção. A utilização de containers marítimos como residência emergencial é uma solução econômica, sustentável e ágil, pois seu método construtivo baseado em módulos acelera o processo construtivo e diminui o desperdício de material. No Brasil, o uso de containers marítimos como edificação residencial emergencial é algo novo, o que demonstra a necessidade deste estudo para entender os métodos de construção com containers marítimos e as adaptações necessárias para um uso eficiente. O desempenho térmico do contêiner será avaliado levando em consideração as condições climáticas em uma das zonas bioclimáticas brasileiras conforme especificado na norma de desempenho térmico ABNT NBR 15.220:2005, bem como os critérios da norma de desempenho de edificações habitacionais NBR 15.575:2021.

Palavras-chave: Contêiner; desempenho térmico; solução sustentável.

ABSTRACT

An architectural design must contemplate the local weather conditions and take advantage of the properly, yet, should consider the building's closing system (internal and external), directly connected to its thermal performance and energy efficiency. Based on these aspects, this work aims to analyze emergency housing built-in container modules end propose parameters and modifications, if necessary. Given that the container's lifespan in the nautical market is about fifteen years old, there is a large volume of disposal of these that, while out to sea, can withstand over a hundred years with little or no maintenance. Using maritime containers as an emergency residence is an economical, sustainable and agile solution because its constructive method based on modules speed up the construction process and reduces material waste. In Brazil, using marine containers as an emergency residential is a novelty, demonstrating the need for this study to understand shipping container construction methods and the adaptations needed for efficient use. The thermal performance of the container will be supervisor taking into account the climatic conditions in one of the Brazilian bioclimatic zones as specified in the thermal performance standard ABNT NBR 15.220:2005, as well as the criteria of the performance standard for residential buildings NBR 15.575:2021.

Keywords: Container; thermal performance; sustainable solution.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	5
1.1. OBJETIVO	6
1.2. JUSTIFICATIVA	6
2. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	7
2.1. HABITAÇÃO EMERGENCIAL EM MÓDULO DE CONTÊINER	7
2.2. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	8
2.3. ISOLANTES TÉRMICOS	10
2.4. <i>BUILDING INFORMATION MODELING</i> (BIM)	12
2.5. BUILDING ENERGY SIMULATION (BES).....	15
2.6. INTEROPERABILIDADE BIM/BES	16
3. METODOLOGIA	18
3.1. O PROJETO	19
3.2. MODELAGEM E MATERIAIS A SEREM AVALIADOS	20
3.3. TRANSFERÊNCIA DO BIM PARA BES	24
3.4. SIMULAÇÃO BIM-BES	25
3.5. CENÁRIOS ANALISADOS.....	26
3.6. VIABILIDADE ECONÔMICA	27
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	29
4.1. RESULTADOS UBERLÂNDIA	29
4.2. RESULTADOS MACAÉ	37
4.3. COMPARAÇÃO UBERLÂNDIA X MACAÉ	43
5. CONCLUSÃO	46
REFERÊNCIAS	48

1. INTRODUÇÃO

Situações emergenciais decorrentes de desastres naturais ocorrem, em geral, de forma repentina. Mesmo que às vezes seja possível identificar os sinais de que estão prestes a ocorrer, nem sempre é possível dimensionar a proporção dos danos que a situação causará. Algumas áreas apresentam maior risco à segurança do que outras e, ainda, existem questões sociais que impactam de maneira significativa.

Em 2011, os desastres naturais tiveram um impacto significativo na sociedade brasileira. Segundo dados do Ministério da Integração Nacional apontados no Anuário Brasileiro de Desastres Naturais de 2011, ocorreram 795 desastres naturais no Brasil, que resultaram em 1.094 mortes e afetaram 12.535.401 pessoas. 2.370 municípios foram atingidos, sendo os eventos hidrológicos responsáveis por 65,44% deles.

Ainda segundo o Ministério da Integração Nacional, em 2013, foram notificados oficialmente 493 desastres naturais, resultando em 183 mortes e afetando 18.557.233 pessoas. Em termos de municípios, 4.433 foram afetados, sendo 70,99% deles por seca/estiagem.

Os desastres naturais podem levar danos e perdas a uma comunidade ou região, tanto materiais quanto humanas. Em um estudo realizado pela Confederação Nacional dos Municípios (CNM), foi possível identificar que cerca de 8 milhões de brasileiros foram afetados diretamente por catástrofes ambientais nos três primeiros meses do ano de 2022.

Os dados levantados pela CNM apontam que as chuvas ocorridas na Bahia entre o final de 2021 e início de 2022 mataram ao menos 26 pessoas, desalojando quase 100 mil e afetando, no total, mais de 715 mil pessoas. No mesmo período, no estado de Minas Gerais, as tempestades causaram 25 mortes, deixando mais de 990 mil pessoas afetadas.

Proporcionar conforto às pessoas desabrigadas é uma tarefa difícil e requer um planejamento estruturado que possa responder rapidamente a uma variedade de situações. O clima local, a topografia e o transporte de materiais são os principais impedimentos para a construção de acomodações de qualidade para os afetados.

A proposta de habitação emergencial com utilização de contêineres leva em consideração a construção modular, que além de acelerar o processo construtivo e reduzir o tempo gasto nesse, possibilita a otimização das etapas construtivas e reduz

a necessidade de material e mão de obra especializada durante o processo construtivo.

Este trabalho propõe uma análise da eficiência energética de uma habitação emergencial com contêineres como solução sustentável e econômica, levando em consideração questões técnicas, funcionais e estéticas. A discussão a respeito do tema é pertinente, pois percebe-se nos últimos anos uma frequência cada vez maior dos desastres naturais no Brasil e no mundo. Além disso, essa discussão contribui de forma qualitativa e quantitativa para os modelos atuais e futuros de habitações emergenciais.

Para modelar o projeto do contêiner foi utilizado o programa BIM Autodesk Revit versão 2021. O software Autodesk Revit foi utilizado logo no início do projeto para modelar o projeto arquitetônico da edificação emergencial.

1.1. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é comparar três diferentes isolantes térmicos aplicados na envoltória de um contêiner marítimo com fins de utilização para edificação emergencial, a partir da eficiência energética obtida por meio da interoperabilidade *Building Energy Modeling-Building Energy Simulation* (BIM-BES).

1.2. JUSTIFICATIVA

Um container, composto de, principalmente, de aço, tem vida útil de quinze anos em alto mar, após este período é descartado, gerando resíduos nas cidades portuárias (MILANEZE et al. 2012). Por ser composto de aço, torna-se necessário a realização de análises para determinar a efetividade do seu uso como material construtivo e a necessidade de adaptações para que seja utilizado de maneira efetiva e sustentável energeticamente.

2. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

Neste capítulo serão apresentados alguns conceitos necessários para melhor compreensão da temática abordada: habitação emergencial em módulo de contêiner, *Building Information Modeling* (BIM), *Building Energy Simulation* (BES) e Interoperabilidade BIM/BES.

2.1. HABITAÇÃO EMERGENCIAL EM MÓDULO DE CONTÊINER

Define-se “emergência” como ocorrência de perigo, situação crítica; incidente, imprevisto (EMERGÊNCIA, 2022). Define-se “emergencial” como situação que tem caráter de urgência, que não pode ser adiada (EMERGENCIAL, 2022).

Baseando-se nestas definições, e na falta de uma definição universal comum do que se entende por “habitação de emergência”, podemos definir habitação emergencial como uma forma de dar uma resposta rápida em relação a infraestrutura básica numa situação inesperada, tipicamente causada por desastres naturais ou cenários de conflito.

Nos últimos anos, desastres naturais em suas diversas formas ocorreram nas áreas metropolitanas, resultando em consequências desastrosas para milhões de pessoas que perderam suas vidas, bens materiais e dignidade, tornando-se desabrigadas repentinamente e necessitando de abrigo imediato.

Para acolher as pessoas nas situações de emergência, atualmente os órgãos públicos e organizações sem fins lucrativos disponibilizam tendas emergenciais para abrigar estas pessoas.

As principais características de um abrigo de emergencial incluem requisitos básicos como entrega rápida de material, flexibilidade de adaptação ao terreno e facilidade de montagem/desmontagem que permita a participação da comunidade.

No entanto, há algumas coisas a ter em mente quando se trata de habitação emergência, é importante que a habitação ofereça as mínimas condições de repouso, segurança e higiene necessárias. Além disso, deve-se levar em consideração que a situação emergencial pode durar um período indefinido de tempo até que uma situação estável e permanente seja estabelecida.

Segundo Paz (2008), “o critério definidor da arquitetura efêmera não é a durabilidade potencial do objeto construído, mas sua durabilidade real”. Nesse sentido, o fator responsável por transformar um objeto em temporário é a capacidade de montá-lo e desmontá-lo. Portanto, planejamento, transportabilidade e flexibilidade são características fundamentais para este tipo de construção.

Sendo assim, o contêiner marítimo atende bem aos critérios e requisitos observados para habitações emergenciais. Por ser um produto modular, torna-se mais fácil seu transporte, é flexível quando a sua instalação no terreno e facilmente montado e desmontado. Por ser composto principalmente de aço, possui alta resistência e durabilidade, podendo ser reutilizado sempre que for necessário em situações de emergência.

Na indústria, existem disponíveis diversos modelos de contêineres que variam em dimensões e resistência. Os mais utilizados na construção civil são os modelos *Dry Box 20 pés* e *Dry Box 40 pés*. As dimensões externas do modelo *Dry 20 pés* são: 6,058 metros de comprimento; 2,438 metros de largura e 2,590 metros de altura com área de 14,77m². O modelo *Dry 40 pés* possui as mesmas dimensões de largura e altura do mencionado anteriormente, diferenciando-se apenas no comprimento, que é de 12,192 metros e área de 29,72m². (BUENO, 2022).

2.2. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

O uso da energia de maneira eficiente está em pauta desde a década de 70, quando descobriu-se que o recurso natural não é renovável. Logo, identificou-se que era possível obter o mesmo resultado (iluminação, aquecimento, força motriz, etc.) com menor gasto de energia. A partir disso, os equipamentos utilizados e os métodos empregados passaram a ser analisados sob o ponto de vista de sua eficiência energética, verificando-se que muitos desses eram economicamente viáveis, ou seja, que o custo de instalação era menor que o custo da energia economizada.

Para a ABESCO (2022), eficiência energética é a utilização racional de energia, que consiste em usá-la de modo eficiente para se obter um determinado resultado. Por definição, a eficiência energética consiste da relação entre a quantidade de energia empregada em uma atividade e aquela disponibilizada para sua realização.

Para as edificações, deve-se considerar a arquitetura como um elemento que precisa ser eficiente energeticamente, do ponto de vista do consumo de energia diante sua operação. Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014), um edifício é mais eficiente que outro quando proporciona as mesmas condições ambientais com menor consumo de energia.

A inadequação do projeto às características climáticas locais impacta diretamente no desempenho da edificação, podendo levar ao aumento da utilização de sistemas de refrigeração e iluminação artificial para garantir o conforto dos usuários, resultando no aumento do consumo de energia. Por outro lado, a geração e o consumo de energia são dois contribuintes significativos para as mudanças climáticas globais.

Atualmente no Brasil, o desempenho térmico das edificações é avaliado com base em duas normas principais, que são a Norma de Desempenho para Edifícios Habitacionais – ABNT NBR 15.575 e a Norma de Desempenho Técnico de Edificações – ABNT NBR 15.220. Na NBR 15.220, encontram-se propriedades térmicas importantes dos materiais, como densidade de massa aparente, calor específico, condutividade térmica, absorvância e emissividade de diferentes tipos de superfícies. Além disso, a ABNT NBR 15.220 contém o zoneamento bioclimático brasileiro onde estão inseridas todas as cidades e que traz recomendações específicas para cada zona bioclimática, buscando trazer mais conforto térmico e eficiência energética.

Segundo a Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (INI-R) 2022, para as edificações residenciais, a estimativa do consumo de energia pode ser realizada por meio dos métodos prescritivo, simplificado e de simulação. Nos métodos simplificado e de simulação, a classificação é realizada com base no percentual de redução do consumo de energia primária. A energia primária é uma forma de energia encontrada na natureza que não foi submetida a nenhum processo de conversão de engenharia humana. Assim, comparando-se o consumo da edificação no modelo real com a mesma edificação com características de referência (modelo de referência), equivalente à classe C. A classificação é realizada por meio do percentual de redução do consumo de energia primária das áreas de uso comum, comparando-se o consumo da área de uso comum na condição real com uma condição de referência.

2.3. ISOLANTES TÉRMICOS

Os isolantes mais utilizados para esse tipo de edificação em contêiner, e por isso avaliados neste trabalho, são apresentados na sequência:

- **Lã de rocha:** A de lã de rocha tem como principal composição uma rocha vulcânica chamada de diábase. O processo de fabricação inicia-se com a produção de fibras que são superaquecidas para transformá-las em filamentos que, aglomerados com soluções de resina, resultam em produtos que podem ser leves e flexíveis ou muito rígidos, dependendo do grau de compactação. O material possui versões com diferentes densidades.
- **Lã de pet:** Segundo Barboza et al. (2016), o PET é fabricado a partir de garrafas plásticas, sendo 100% poliéster, substância reciclada de garrafas PET, com seu desenvolvimento voltado especificamente para isolamento térmico e acústico em construções a seco. É uma substância que não absorve água ou umidade, sendo assim, não mofa. Os autores ainda mencionam que devido à tecnologia utilizada neste material, as características originais permanecem por muito tempo, com vida útil de até 100 anos. Por estes motivos, a lã de PET é uma excelente opção de isolante térmico, podendo ser utilizado em diversos ambientes da construção civil.
- **Lã de vidro:** *Electricité de France - EDF* (2012) define a lã de vidro como um composto de areia e vidro reciclado feito por fusão e fibragem, embalado em painéis ou rolos dependendo da aplicação. É um material leve e que retarda a propagação de chamas, além disso, sua instalação é simples devido à sua estrutura flexível e elástica. A durabilidade da lã de vidro é de cerca de 10 anos, com desempenho decrescente com o passar do tempo.

As propriedades térmicas analisadas foram as seguintes:

- **Condutividade Térmica λ (W/m. K)**

A condutividade térmica (λ) expressa a capacidade de um material de conduzir uma quantidade de calor por unidade de tempo e pode ser representada pela unidade W/m.K. (LAMBERTS, DUTRA, PEREIRA, 2014). INCROPERA (2008) diz que “Em geral, a condutividade térmica de um sólido é maior do que a de um líquido, que por sua vez, é maior do que a de um gás. Essa tendência se deve, em grande parte, à diferença no espaçamento intermolecular nos dois estados”. Isto revela a causa de

materiais pouco densos como o EPS e a lã de rocha terem baixa densidade e baixa condutividade térmica, se tornando bons isolantes.

De acordo com a NBR 15220-2, a resistência térmica total (R_t) de uma parede será a soma das resistências das camadas que a compõe e as resistências superficiais externa e interna.

- **Resistência Térmica R**

A resistência térmica de um material é sua capacidade de suportar o fluxo de calor. A resistência térmica do material será calculada em função de sua espessura e o inverso de sua condutividade térmica, de modo que quanto maior a espessura e menor a condutividade térmica, maior a resistência térmica do material e menor o fluxo térmico entre suas superfícies. A unidade de resistência térmica é expressa como $(m^2.K) / W$ e seu cálculo é realizado conforme Equação 1.

$$R_t = \frac{(T_q - T_f)}{Q} \quad \text{(Equação 1)}$$

Sendo:

R_t a resistência térmica;

T_q a temperatura quente;

T_f temperatura fria e Q o fluxo de calor.

- **Transmitância Térmica U**

De acordo com a NBR 15220-1 (2005), a transmitância térmica ou coeficiente global de transferência de calor (U) é o inverso da resistência térmica total. Ou seja, quanto maior a resistência térmica de uma parede, menor será sua transmitância. A unidade é dada em $W/m^2.K$.

A transmitância térmica é a variável mais importante para avaliação do desempenho de fechamentos opacos. Através desta variável se pode avaliar o comportamento de um fechamento opaco frente à transmissão de calor, tendo subsídios inclusive para comparar diversas opções de fechamentos. (LAMBERTS, DUTRA, PEREIRA, 2014, p. 215).

A transmitância térmica é, portanto, fundamental na determinação da eficiência de um isolante térmico, sendo desejável uma baixa transmitância nas paredes

externas de uma residência, evitando assim que as altas amplitudes do ambiente externo atinjam o ambiente interno.

2.4. BUILDING INFORMATION MODELING (BIM)

Nas últimas décadas, a indústria da construção civil vem passando por transformações tecnológicas que tangem metodologias para melhor eficácia na elaboração dos projetos. Eastman, C. et al (2014) aponta que isso envolve atividades humanas e não um objeto, tratando então estas transformações como novas abordagens para o projeto, para construção e para o gerenciamento de obras, chamado de Modelagem da Informação da Construção (BIM).

O BIM, segundo Ribeiro (2010), é uma tecnologia de modelagem de informações que é integrado em um único arquivo, e com este é possível a criação de associações entre concepção, análise e documentação, bem como a comunicação entre os diversos sistemas que compõem a edificação. Ademais, com o BIM é possível ter-se “um modelo virtual preciso de uma edificação construído de forma digital. Quando completo, o modelo gerado computacionalmente contém a geometria exata e os dados relevantes, necessários para dar suporte à construção, à fabricação e ao fornecimento de insumos necessários para a realização da construção” (EASTMAN, C. 2014, p. 01).

Pereira et al. (2021), afirma que com a modelagem paramétrica é possível simular e avaliar diferentes soluções de projeto, ainda durante a fase de concepção. Além disso, profissionais de diversas áreas podem participar efetivamente do processo de projeto gerando soluções que contribuam para a definição de escolhas assertivas e eficientes, situação que também pode beneficiar a eficiência energética da edificação.

Assim, pode-se compreender o BIM como uma metodologia de integração de projetos desde sua concepção e durante seu desenvolvimento, utilizando um ambiente tridimensional para corrigir incompatibilidades desde o início, e ainda, permite melhor visibilidade dos projetos, facilitando sua compreensão pelo usuário. Sendo assim, segundo os autores Eastman, C. et al (2014), o BIM é caracterizado da seguinte maneira:

- Deve ocorrer em softwares, sendo digital;
- Possuir visualização 3D;
- Facilitar a quantificação, dimensionamento e as consultas;
- Dispor de boa capacidade de integrar os projetos, desde o método construtivo, o sequenciamento da obra e que ao mesmo tempo envolva o setor financeiro;
- Encontrar-se facilmente disponível para toda a equipe, podendo ser operado em diferentes plataformas;
- Ser útil ao longo de todo tempo da edificação como um todo.

Todas essas características têm como objetivo gerar maior assertividade nos desenvolvimentos projetuais e suas respectivas compatibilizações, gerando também maior controle nos processos de execução da obra. O que contribui para o ganho em produtividade e qualidade construtiva.

De acordo com Gediel (2021), dentro do BIM há dimensões que mapeiam os dados das informações projetuais. Estas dimensões são definidas de acordo com os diferentes níveis de informação de um modelo, as quais são:

- **2D — Representação ou Documentação:** essa primeira dimensão diz respeito à representação ou documentação da obra e refere-se ao detalhamento da estrutura por meio de pranchas convencionais, ou, mais especificamente, engloba uma representação bidimensional do projeto semelhante ao CAD tradicional (Computer Aided Design, em português, projetos do Projeto Assistido por Computador).
- **3D — Modelo Paramétrico:** englobado em sistemas paramétricos, as coordenadas que definem os vetores não são constantes; em vez disso, eles estabelecem a forma como funções de uma ou mais variáveis. Em um projeto paramétrico, a arquitetura é definida por suas partes constituintes e como elas interagem entre si. Se o tamanho ou posicionamento dos objetos for alterado, uma geometria associada resultará dessa alteração. O uso de sistemas de planejamento paramétrico 3D permite priorizar tarefas levando em consideração os recursos disponíveis, facilitando a tomada de decisões e alocação de recursos. Ao se tratar de um sistema paramétrico, as modificações são planejadas desde o início do processo de projeto, o que diminui os custos associados a essas alterações;

- **4D — Tempo e Planejamento de Execução:** é possível visualizar o processo de construção em qualquer momento ou etapa da execução graças à conexão entre as atividades do programa de trabalho e o planejamento 4D. O resultado é uma simulação virtual do cronograma da construção permitindo a execução da obra estrategicamente entregue. Diferente do tradicionalmente realizado, onde o processo de planejamento é representado em diagramas de rede e de barras. Porém, estes não conseguem conectar diretamente as atividades ao modelo de construção.
- **5D — Orçamento:** estudo do custo do modelo tridimensional. Cada elemento do projeto passa a estar vinculado aos projetos em plantas, assim, projetado automaticamente para o orçamento da obra. Isto facilita a estimativa de custos, uma vez que no início do projeto obtém-se valores iniciais às áreas, volumes e perímetros associados; conforme o projeto tenha maiores especificações, obtém-se um refinamento do custo, sendo este mais próximo da realidade.
- **6D — Sustentabilidade (social, econômica e ambiental):** o desempenho energético dos edifícios é um dos objetivos da Agenda 21. Isso é feito por meio de mudanças nos procedimentos de gerenciamento de projetos e obras, adoção de novas normas do setor e valorização dos recursos naturais e renováveis. As informações referentes ao processo de projeto de uma edificação sustentável tornam-se mais complicadas com a adoção de metas de desempenho. Assim, projetos de construção sustentável exigirão uma estrutura organizacional diferenciada de profissionais e empresas que considerem a realização do projeto de forma integrada. Sabendo-se que um sistema de decisões deve ser estruturado para garantir que o projeto seja realizado de forma integrada, é necessária uma mudança de paradigma que elimine a tradicional abordagem linear que não atende mais aos requisitos do projeto de um edifício.
- **7D — Manutenção e Operação:** nesta está a fase de gestão da construção, que se distingue pelos processos de manutenção e operação. Embora uma parcela significativa das edificações brasileiras não possua um plano de manutenção, seu desenvolvimento e implantação são fundamentais para garantir segurança, qualidade de vida e produtividade. Considerando que os verbos e o tempo de manutenção normalmente não são antecipados, a

metodologia BIM preconiza sua integração no planejamento da construção e vida útil. Este gerencia o ciclo de vida de todos os bens incluídos, alimentando um sistema com informações para apoiar as atividades de manutenção e operação após a entrega da obra.

De acordo com a AUTODESK (2007), fabricante do *software* BIM Autodesk Revit, o mercado da construção civil no Brasil ainda está atrasado no que diz respeito ao desenvolvimento de projetos utilizando essa tecnologia. O uso de *softwares* de projetos 2D e 3D, como o AutoCad ainda é muito difundido em universidades e escritórios de gerenciamento de projetos, retardando a introdução do BIM no Brasil. Segundo Ribeiro (2010), o uso desse tipo de *software* continuará a correr em paralelo com o BIM por alguns anos, assim como os desenhos feitos à mão por muito tempo depois da invenção do CAD.

Neste presente trabalho, o foco está em estudar e analisar a edificação em sua eficiência energética. Para isso, o modelo será modelado no software Revit, tendo todas suas especificações construtivas e projetuais especificadas, para assim ser simulado no eQuest. Portanto, as dimensões trabalhadas aqui serão as 2D, 3D e 6D.

2.5. BUILDING ENERGY SIMULATION (BES)

De acordo com Haag (2022), o processo de simulação do uso de energia de um edifício usando tecnologias é conhecido como *Building Energy Simulation* (BES). Quando aplicada corretamente, a modelagem de energia pode ajudar a otimizar o processo de construção e permitir que a equipe de projeto dê prioridade aos métodos que terão maior impacto no consumo de energia do edifício.

O BES permite que os projetistas realizem análises necessárias nas várias fases de modelagem do edifício, com o intuito de entender qual será o real comportamento do edifício quando construído. Além disso, a simulação também oferece informações de carga térmica e consumos relativos aos tipos de equipamentos previstos. Isso possibilita que seja tomada a melhor solução projetual.

Na prática, após a modelagem em BIM estar definida, tem-se a confecção da base de dados o projeto é exportado para o software de simulação. Com ela tem-se a constatação se os materiais da envoltória estão em concordância para se ter uma

edificação eficiente. Sob este ponto de vista, se um vidro especificado possuir transmitância térmica alta, ele poderá ser alterado por outro que obtenha melhor performance. Os novos dados são gerados e darão resultado se isso melhorou ou não a eficiência energética da edificação. E isso é possível ser feito incluindo materialidade em que o projetista não quer que seja alterada. O objetivo é que a arquitetura seja modificada até que atinja um nível que não possa mais contribuir com o consumo energético. Assim, faz-se alterações nos equipamentos para que se atinja o melhor sistema e consecutivamente com os dispositivos de iluminação

2.6. INTEROPERABILIDADE BIM/BES

Segundo Macedo (2018), interoperabilidade é a capacidade de um sistema se comunicar com outro sistema de forma transparente e executar programas através de várias unidades funcionais, utilizando-se de linguagens e protocolos comuns.

A interoperabilidade entre as ferramentas BIM e BES é feita, geralmente, por meio de esquemas de troca de dados, como *Industry Foundation Classes* (IFC) e *Green Building Studio XML* (gbXML). As ferramentas BIM existentes como Revit e ArchiCAD, bem como programas BES como Green Building Studio, eQUEST e IES-VE, suportam o formato IFC e gbXML.

De acordo com Moon et al. (2011), a quantidade de compatibilidades entre os aplicativos BES existentes e o BIM variam, e modificações são inevitáveis ao extrair dados do BIM para o BES. Steel et al. (2012), identificaram quatro camadas de compatibilidade entre IFC e BIM: arquivo, sintática, visualização e semântica. O nível semântico tem mais problemas de troca de informações, como a questão das diferenças de representação entre os modelos de simulação de arquitetura e energia. Ainda de acordo com os autores, seis áreas de interoperabilidade entre BIM e BES foram identificadas em pesquisas anteriores: localização; geometria, construção e espaço; zonas térmicas; ocupação, equipamentos e cargas de iluminação; sistemas de climatização; e simulação de energia. Atualmente não existe uma definição ou padrão adequado para o grau de compatibilidade entre BIM e BES.

De acordo com Andrade e Ruschel (2009), a falta de um padrão entre os aplicativos para descrever e classificar as propriedades dos componentes da construção dificulta a interoperabilidade das propriedades.

Segundo um estudo feito por Côrtes e Maciel (2021), baseado em outro estudo de interoperabilidade, é possível afirmar que há uma grande necessidade de aprimoramento na transferência de dados entre *softwares* BIM-BES. Analisando estudos com aproximadamente 10 anos de diferença, é evidente que não houve evolução significativa da interoperabilidade.

3. METODOLOGIA

Este trabalho avaliou o consumo energético de três isolantes térmicos comparativamente a um modelo de referência, em um projeto habitacional emergencial em módulo de contêiner, por meio da integração das metodologias BIM-BES, no qual o modelo é elaborado em *software* BIM, exportado e simulado em *software* BES. Neste trabalho utilizou-se para modelagem o *software* Revit e para simulação o *software* e-Quest, seguindo as diretrizes da INI-R para avaliação de eficiência energética.

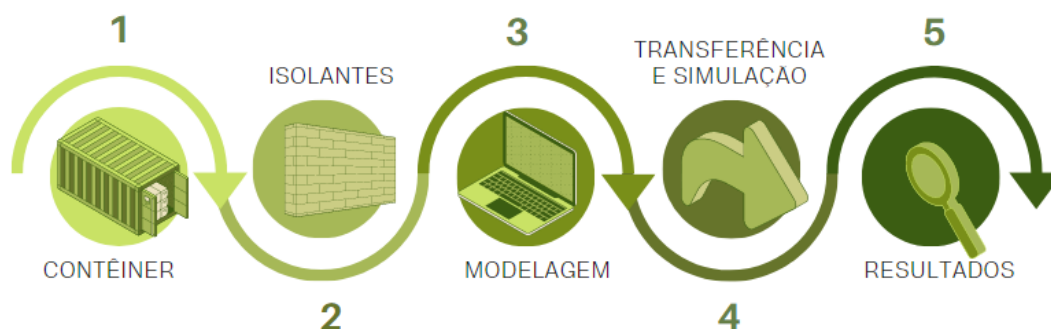
Foi definido o tipo de contêiner, os materiais de revestimento e isolamento térmico, a zona bioclimática e o modelo climático que correspondesse às características do local, além de inserir todos os elementos construtivos necessários no *software* Revit, e transferir os modelos para o *software* e-Quest, para simular os cenários. Na sequência os resultados foram avaliados e comparados, com base na INI-R.

Pode-se apontar as fases de desenvolvimento deste estudo nas etapas descritas:

1. Definição do módulo de contêiner e layout deste para uso de abrigo emergencial, com fins habitacionais;
2. Definição de três configurações distintas de materiais de revestimento e isolamento das alvenarias externas, internas e cobertura;
3. Desenvolver a modelagem dos três cenários em *software* BIM, Autodesk Revit®;
4. Transferência dos arquivos BIM para o *software* BES, e-Quest, e proceder com os ajustes necessários dos modelos no BES; Desenvolver as simulações dos modelos;
5. Analisar os resultados obtidos e, caso necessário, propor adaptações.

Na Figura 1 apresenta-se a sequência adotada para metodologia:

Figura 1 – Fluxograma Metodologia

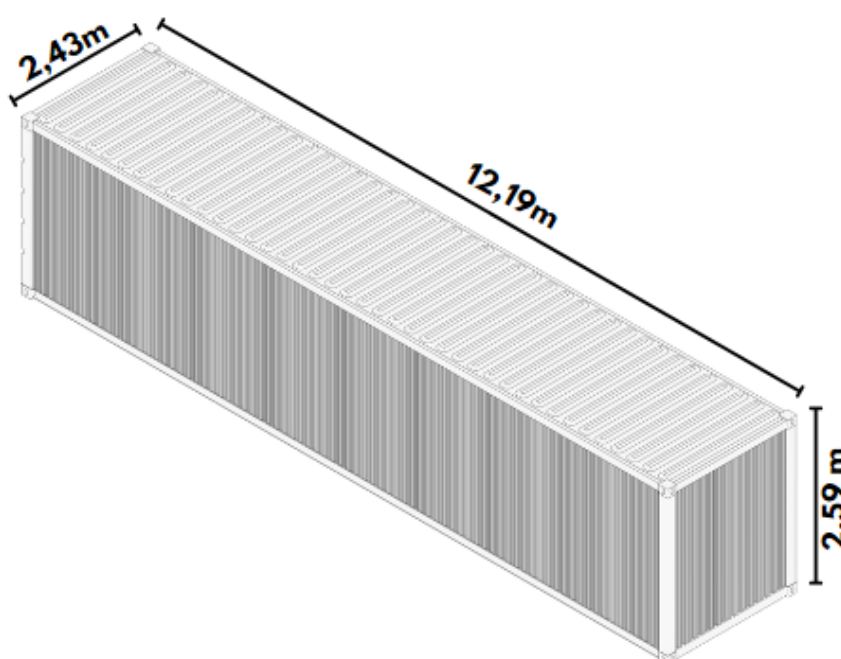


Fonte: Autor, 2023.

3.1. O PROJETO

O abrigo emergencial proposto e analisado neste trabalho, consiste em uma adaptação de um módulo de contêiner marítimo, fabricado pela empresa Fazcomex, do modelo *dry high-cube* 40 pés, com dimensões externas de 12,192 metros de comprimento; 2,438 metros de largura e 2,590 metros de altura, com área aproximada de 28,28m² e volume aproximado de 76,99m³. O contêiner é feito de aço, possui portas com dobradiças em uma extremidade e suas paredes são corrugadas (Figura 2).

Figura 2 – Modelo do contêiner utilizado como referência

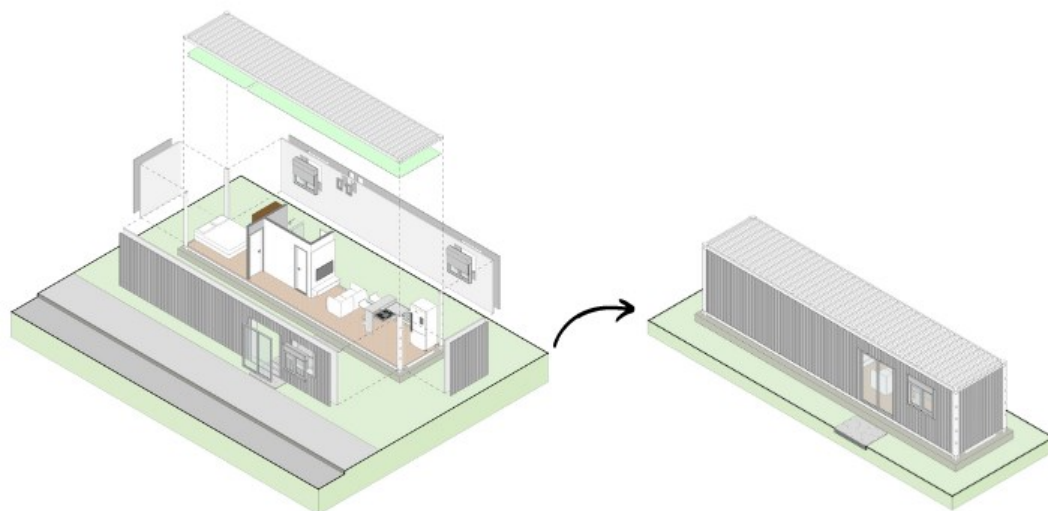


Fonte: Lotus containers, 2023.

Este modelo foi escolhido, pois, sua área permite maior flexibilidade de *layout* e melhor disposição espacial dos ambientes de acordo com as dimensões mínimas de ergonomia. Além disso, levou-se em consideração o conceito do Senso de Habitabilidade, de Alexander et al. (1977), que visa proporcionar um sentido de habitar, preenchendo as necessidades de refúgio, isolamento, convivência, ordem e variedade. Este conceito diz respeito às necessidades humanas em relação ao lugar convívio e proteção que estão contempladas pelos parâmetros projetuais selecionados pelos conceitos humanizadores do autor. Essa proposta representa as qualidades do ambiente construído que geram um senso de urbanidade e habitabilidade gerando melhor atendimento de necessidades psicossociais e ambientais de futuros usuários.

De acordo com as de dimensões do modelo de container *dry high-cube* 40 pés, iniciou-se a setorização do layout. Definiu-se uma cozinha de 6,98 m² integrada à sala de estar de 7,36 m², um banheiro social de 3,01 m² e um quarto de 7,74 m². Na Figura 3 apresenta-se a configuração final do *layout*.

Figura 3 – Proposta de *layout*



Fonte: Autor, 2023

3.2. MODELAGEM E MATERIAIS A SEREM AVALIADOS

O local definido para a implantação do projeto foram as cidade de Uberlândia-MG e Macaé-RJ. A cidade de Uberlândia foi escolhida por ser a cidade onde está

sendo desenvolvido este trabalho final de graduação, enquanto a cidade de Macaé foi escolhida por estar em um estado de muitos desastres naturais causados pelas fortes chuvas, e também por ser de uma zona bioclimática distinta. A cidade de Uberlândia encontra-se na Zona Bioclimática 4 que possui características do clima tropical de altitude, onde ocorre muita chuva durante o verão e seca no inverno. A cidade de Macaé encontra-se na Zona Bioclimática 5, de predominância climática tropical, onde o volume de chuva durante o verão é maior do que no inverno e mesmo no período do inverno, as temperaturas são elevadas.

Na sequência, pode-se verificar, nas Figuras 4 e 5, as temperaturas médias, mínimas e máximas mensais nas cidades de Uberlândia e Macaé.

Figura 4 – Temperaturas médias, mínimas e máximas mensais em Uberlândia

Média	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Alta	28 °C	28 °C	28 °C	28 °C	26 °C	25 °C	26 °C	27 °C	29 °C	29 °C	29 °C	28 °C
Temp.	23 °C	24 °C	23 °C	23 °C	21 °C	19 °C	20 °C	21 °C	23 °C	24 °C	23 °C	23 °C
Baixa	20 °C	20 °C	20 °C	18 °C	16 °C	15 °C	15 °C	16 °C	18 °C	19 °C	20 °C	20 °C

Fonte: Weather Spark (2023)

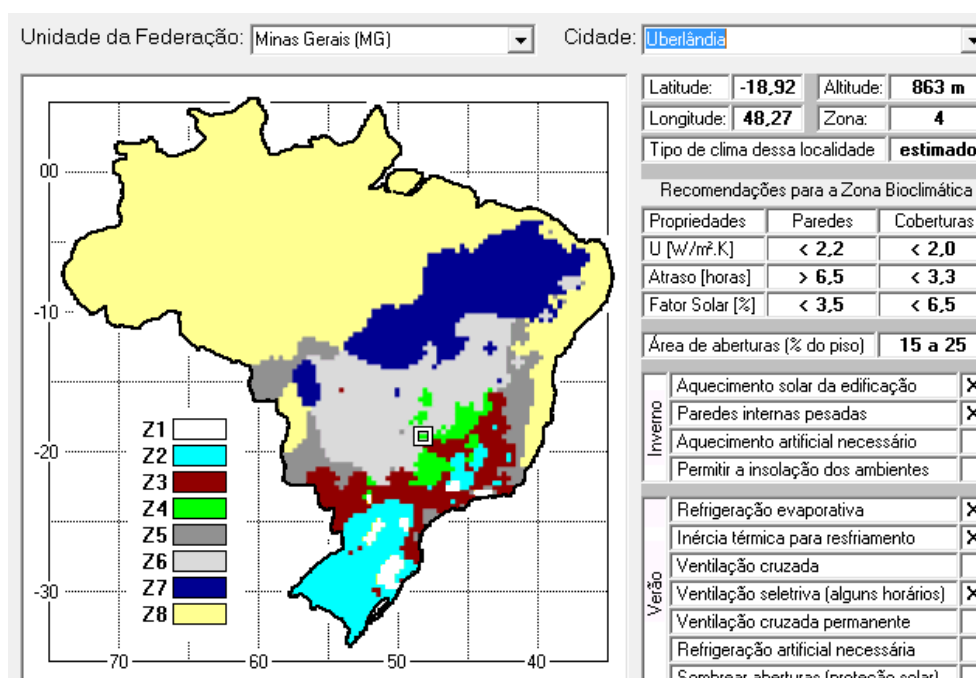
Figura 5 – Temperaturas médias, mínimas e máximas mensais em Macaé

Média	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Alta	31 °C	32 °C	31 °C	30 °C	28 °C	27 °C	27 °C	27 °C	28 °C	28 °C	29 °C	31 °C
Temp.	27 °C	27 °C	26 °C	25 °C	23 °C	22 °C	22 °C	22 °C	23 °C	24 °C	25 °C	26 °C
Baixa	23 °C	23 °C	23 °C	21 °C	19 °C	18 °C	18 °C	18 °C	19 °C	20 °C	22 °C	23 °C

Fonte: Weather Spark, 2023

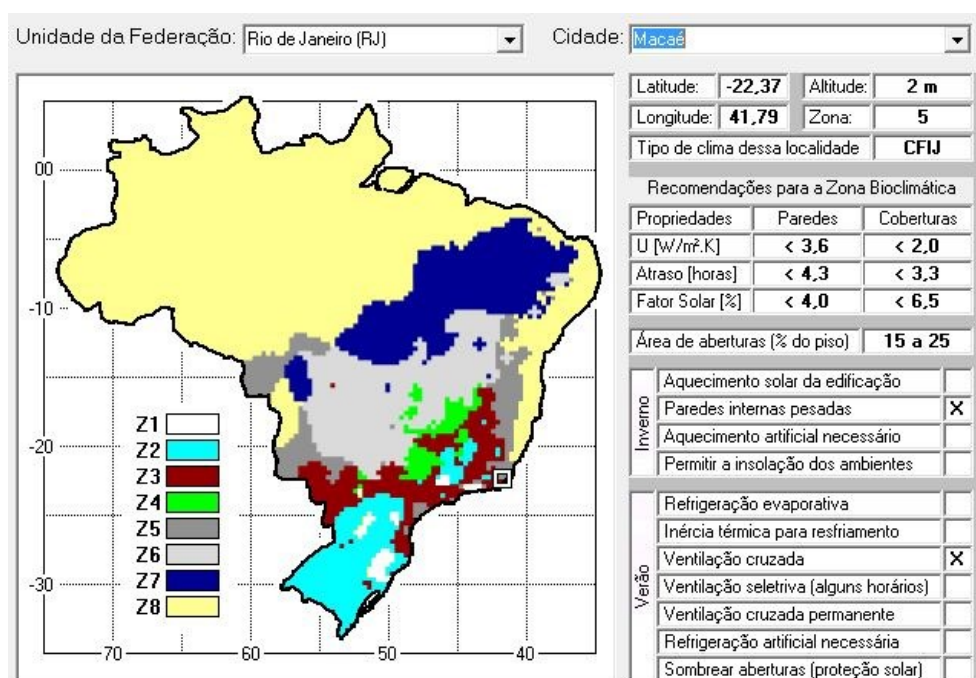
Nas Figuras 6 e 7 apresenta-se a classificação bioclimática dos municípios de Uberlândia e Macaé, respectivamente.

Figura 6 – Classificação bioclimática do município de Uberlândia-MG



Fonte: Software Zonas Bioclimáticas Brasileiras UFSCAR, 2023.

Figura 7 – Classificação bioclimática do município de Macaé-RJ



Fonte: Software Zonas Bioclimáticas Brasileiras UFSCAR, 2023.

Para a modelagem, foi inserida uma família não parametrizada contendo a estrutura do contêiner, sem as paredes. Nela está representada a verga da porta, as vigas superiores laterais e de extremidade, colunas de canto, conectores de canto,

vigas inferiores laterais e de extremidade e as travessas. Assim, as paredes antes modeladas, foram ajustadas à estrutura do contêiner, tendo suas dimensões minimamente reduzidas para encaixar face a face com a vigas de aço.

Cada tipologia de parede teve sua característica térmica configurada, englobando as propriedades de condutividade térmica, calor específico e densidade.

Os pisos, foram alterados somente para piso de madeira e cerâmico (para áreas molhadas), melhor comportando-se sobre o assoalho existente do contêiner, gerando assim mais agilidade no processo construtivo e economia.

Para auxiliar na padronização do levantamento dos dados, foram definidos fornecedores para os isolantes térmicos, sendo eles o fabricante ISAR, Saint-Gobain e Ecofiber.

Foi utilizado como referência para este estudo a lã de rocha do fabricante ISAR, o produto é o THERMAX® PSL – 32 de 50 milímetros, tendo como características, além da resistência térmica e isolamento acústico, a inércia química, resistência a água, incombustibilidade e resiliência. A resistência térmica da lã de rocha THERMAX® é de $1,61\text{m}^2\text{ }^\circ\text{C}/\text{W}$, a condutividade térmica é dada por $0,031\text{W}/\text{m}^\circ\text{C}$ e a transmitância térmica é de $0,62\text{ W}/\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}$.

Para a lã de vidro, foi escolhido o material da fabricante Isover, do grupo Saint-Gobain, o produto em questão é o Wallfelt POP4+ de 50 milímetros, tendo como características a fácil aplicação, incombustibilidade, atendimento as normas e sustentabilidade, utilizando 65% de material reciclado na sua composição. Seus dados técnicos importantes para esta pesquisa são a resistência térmica, dada por $1,19\text{m}^2\text{ }^\circ\text{C}/\text{W}$, condutividade térmica de $0,042\text{ W}/\text{m}^\circ\text{C}$ e transmitância de $0,84\text{ W}/\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}$

A lã de PET utilizada foi a manta de poliéster Wall 50mm, da fabricante Ecofiber. Este isolante é produzido em material totalmente reciclável, sendo autoextinguível, ou seja, não propaga chamas, é um material leve em comparação a outros isolantes e tem como características técnicas a resistência térmica de $1,2\text{m}^2\text{ }^\circ\text{C}/\text{W}$, condutividade térmica resultando em $0,0414\text{ W}/\text{m}^\circ\text{C}$ e transmitância de $0,83\text{ W}/\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}$.

Na Tabela 1 apresentam-se as propriedades dos materiais propostos como isolantes térmicos.

Tabela 1 – Propriedades térmicas dos materiais isolantes

Material	Espessura (mm)	Condutividade Térmica (W/m.K)	Resistência Térmica (m ² .K)/W	Densidade (Kg/m ³)	Transmitância Térmica (W/m ² .°C)
Lã de Rocha	50	0,031	1,61	32	0,62
Lã de Vidro	50	0,042	1,19	10	0,84
Lã de PET	50	0,041	1,20	30	0,83

Fonte: Autor, 2023.

3.3. TRANSFERÊNCIA DO BIM PARA BES

Como mecanismo de intercâmbio *BIM-BES*, foi utilizado o *Green Building Studios*, que é utilizado pelo Autodesk Revit. Após processado, o modelo analítico é compactado em um arquivo de formato gbXML, formato este criado como projeto de código aberto para facilitar a transferência de dados entre arquivos BIM e softwares de análise de energia de edifícios (BES).

Para produzir um arquivo gbXML do Autodesk Revit, utiliza-se a ferramenta Energy Analysis, que constrói um modelo de simulação de energia, que pode ser carregado no Autodesk Green Building Studio (GBS). Depois disso, é possível exportar o arquivo gbXML do serviço de nuvem GBS e importá-lo para um *software* BES que suporte gbXML. Os benefícios deste método de análise de energia estão na extração precisa de dados não geométricos, como ocupação, equipamento, iluminação e termostato, dados climáticos diários e informações do ar externo.

O software BES escolhido para as análises foi o eQuest (*Quick Energy Simulation Tool*) desenvolvido pela DOE.com. O *software* é gratuito e é possível calcular o consumo de energia de uma edificação durante o ano todo utilizando dados climáticos provenientes de arquivos climáticos da região onde a edificação está inserida.

Durante o processo de transferência, ocorreram problemas de interoperabilidade com os arquivos referentes ao material lã de vidro, por este motivo, os resultados obtidos e analisados foram apenas dos cenários que utilizaram os materiais lã de PET e lã de rocha.

3.4. SIMULAÇÃO BIM-BES

O procedimento de simulação começou com a elaboração de um modelo virtual da edificação no *software* Revit, com os detalhes e especificações do imóvel. O primeiro modelo desenvolvido foi o modelo básico, incluindo a estrutura e os equipamentos existentes na edificação, porém sem nenhum material isolante. Os outros três modelos elaborados contaram com outras alterações na estrutura, que foram desenvolvidas com o intuito de melhorar a eficiência energética da edificação.

No Revit foram ajustados os dados de ocupação, localização e todos os parâmetros dos materiais utilizados. Os ambientes foram estabelecidos por massas, totalizando cinco (Quarto, Banheiro, Corredor, Sala e Cozinha) e o piso de referência foi considerado no térreo. Assim, o modelo analítico de energia foi gerado, no modo de utilizar massas conceituais e modelos de construção.

Após as configurações e ajustes necessários, os modelos foram exportados no formato gbXML para o *Autodesk Green Building Studio (GBS)*, onde foram analisados e verificados quanto a presença de erros, inconsistências ou falhas na exportação.

Após as verificações no *Green Building Studio*, os arquivos foram convertidos para o formato DOE2 e foram analisados no *software* eQuest. Para simulação foi considerada ocupação de 2 pessoas, seguindo o padrão mínimo de simulação recomendado pelo PBE-Edifica, devendo a sala ser utilizada por toda a população do) dormitório.

Exceto no banheiro, que não foi condicionado, foi considerado a utilização de um aparelho de ar condicionado por ambiente. O equipamento escolhido no Revit foi o “gás de sistema dividido/compacto residencial 14 SEER / 0.9 AFUE < 5,5 ton.”, pois este modelo é próprio para residências e é o mais utilizado no Brasil.

Para a ativação dos sistema HVAC (aquecimento, ventilação e ar condicionado), foi adotada a recomendação da norma ISO 1777201:2017, que disponibiliza sugestões para a agenda de ocupação de habitações residenciais unifamiliares. Na Tabela 2 apresentam-se os dados da agenda de ocupação.

Tabela 2 – Dados da agenda de ocupação

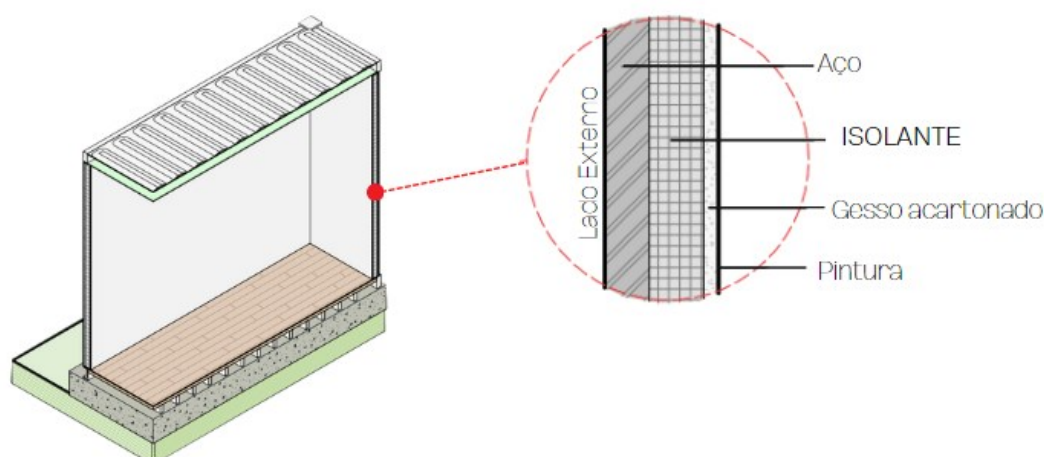
Hora	Utilização dos Aparelhos	Iluminação
1	50	0
2	50	0
3	50	0
4	50	0
5	50	0
6	50	0
7	50	15
8	70	15
9	70	15
10	50	15
11	50	5
12	60	5
13	60	5
14	60	5
15	60	5
16	50	5
17	50	20
18	70	20
19	70	20
20	80	20
21	80	20
22	80	20
23	60	15
24	60	15

Fonte: INTERNATIONAL STANDARD. ISO 17772I, 2017.

3.5. CENÁRIOS ANALISADOS

Foram escolhidos quatro cenários para análise (Tabela 3), sendo o primeiro deles o modelo de referência sem isolante térmico possuindo apenas o revestimento interno em gesso acartonado e os outros três variando apenas o componente isolante da parede (Figura 8). Em todos os cenários os demais materiais foram considerados iguais, sendo o revestimento externo de pintura e internamente gesso acartonado.

Figura 8 – Perfil do contêiner analisado



Fonte: Autor, 2023.

Tabela 3 – Cenários analisados

Cenários Analisados	Espessura Isolante (cm)	Material Isolante
1	0	Sem isolante
2	5	Lã de PET
3	5	Lã de Rocha

Fonte: Autor, 2023.

3.6. VIABILIDADE ECONÔMICA

Para análise de viabilidade econômica primeiro levantou-se o custo de instalação de cada isolante proposto para o modelo de referência. Na sequência foi verificado o consumo energético de cada modelo (referência, lã de rocha e lã de PET) e multiplicado pelo custo do kWh em cada cidade analisada.

Para a primeira parte, que é o investimento nos isolantes, por meio do Revit, gerou-se o quantitativo de área de parede e forro, onde esses serão aplicados, que foi de 114,60m². Depois realizou-se uma pesquisa de mercado para descobrir o valor de cada isolante instalado, por m² (Equação 2). Pode-se verificar na Tabela 4, a aplicação da Equação 2.

Quantitativo de parede e forro do contêiner x Custo do m² do isolante instalado
(Equação 2)

Tabela 4 - Aplicação da Equação 2 nos diferentes isolantes

Material	Custo de implantação
Lã de PET	R\$ 1671,98
Lã de Rocha	R\$ 2690,06

Fonte: Autor, 2023.

Para o custo de economia gerado com cada isolante, foram verificados os resultados de consumo energético (CE) de cada modelo simulado. A partir desses dados fez-se a diferença entre modelo referência e modelo com isolante e multiplicou-se pelo custo de kWh, obtido nos sites das companhias de energia de cada cidade analisada, sendo Cemig de Uberlândia e Light de Macaé, conforme Equação 3. Esse cálculo foi feito mensalmente e depois somado para obter o consumo anual.

$$(CE \text{ modelo de referência} - CE \text{ modelo isolante}) \times \text{Custo do kWh} \quad (\text{Equação 3})$$

Na sequência dividiu-se o investimento inicial de cada sistema de isolante pela economia anual proporcionada por cada um, conforme Equação 4, para descobrir o tempo de retorno de cada sistema.

$$\text{Tempo de retorno de investimento} = \frac{\text{Investimento inicial}}{\text{Economia anual}}$$

(Equação 4)

Com o tempo de retorno determinado, verificou-se a partir de qual ano o sistema de investimento passaria a ser rentável, ou seja, qual deles tem o melhor custo-benefício a longo prazo. Para isso reduziu-se do investimento inicial (II) a economia anual (EA) em um período de 20 anos, conforme Tabela 5.

Tabela 5 – Investimento inicial menos economia inicial (em equações)

Ano	Lã de PET	Lã de Rocha
1	$II - EA$	$II - EA$
2	$II - (EA1 + EA2)$	$II - (EA1 + EA2)$
(...)	(...)	(...)

Fonte: Autor (2023)

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados e discussões deste estudo, primeiramente no quesito consumo energético e na sequência de viabilidade econômica, na cidade de Uberlândia-MG, depois na cidade de Macaé-RJ, e por fim uma comparação desses resultados entre as cidades analisadas.

4.1. RESULTADOS UBERLÂNDIA

As análises foram realizadas dentro do período de um ano, definido no próprio e-Quest. Para este período, foram analisados os resultados de consumo energético mensal e anual, em kWh, de energia elétrica para resfriamento no modelo referência e nos modelos com isolantes térmicos.

É possível observar na Tabela 6 e Gráfico 1, que, durante os meses de maio, junho, julho e agosto, o consumo energético dos sistemas que utilizaram a Lã de PET e Lã de Rocha são praticamente iguais, isso porque, durante esses meses as temperaturas médias são menores, sendo assim, a demanda por resfriamento no ambiente reduz, e conseqüentemente o consumo energético. Ainda, é possível afirmar que qualquer um dos isolantes produziu melhores resultados do que nenhum (referência).

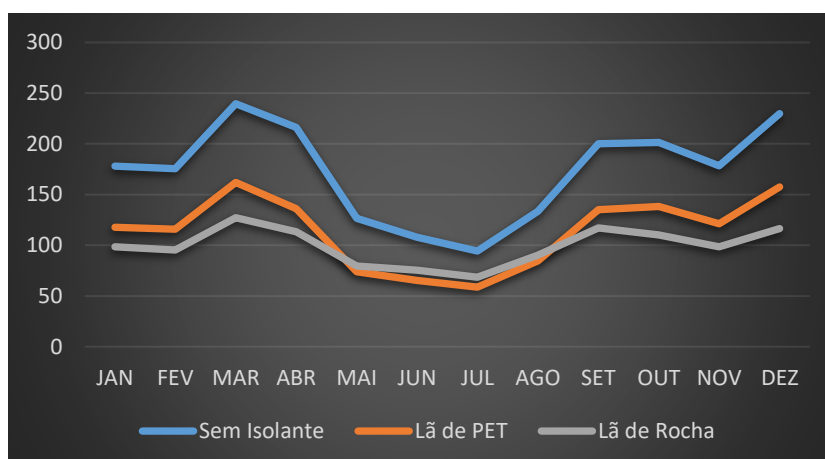
Considerando que o modelo referência gerou consumo de 2.081,60 kWh no modelo referência; 1.436,70 kWh no modelo com lã de PET e 1.190,60 kWh no modelo de lã de rocha, verifica-se que a lã de rocha teve o menor consumo dentre os analisados, significando uma economia de 12,85% em relação a lã de PET por ano.

Tabela 6 – Resultados do consumo anual de energia elétrica em cada modelo simulado

Sem Isolante		Lã de PET		Lã de Rocha	
MÊS	Consumo (kWh)	MÊS	Consumo (kWh)	MÊS	Consumo (kWh)
JAN	178,2	JAN	119,6	JAN	98,5
FEV	175,5	FEV	119,9	FEV	95,3
MAR	239,6	MAR	172,9	MAR	127,2
ABR	216,4	ABR	145,8	ABR	113,4
MAI	126,6	MAI	79,6	MAI	79,6
JUN	107,9	JUN	70,1	JUN	75,6
JUL	94,3	JUL	62,5	JUL	68,5
AGO	133,6	AGO	88,2	AGO	90,3
SET	200	SET	142,2	SET	117,1
OUT	201,4	OUT	146,7	OUT	110,1
NOV	178,4	NOV	127,3	NOV	98,6
DEZ	229,7	DEZ	161,9	DEZ	116,4
Consumo Anual	2081,6	Consumo Anual	1436,7	Consumo Anual	1190,6

Fonte: autor (2023)

Gráfico 1 – Consumo elétrico mensal de cada cenário na cidade de Uberlândia



Fonte: autor (2023)

Conforme explanado no Item 3.6, é necessário calcular o percentual de redução do consumo de energia primária (RedCEP) da unidade habitacional na condição real em comparação à mesma unidade habitacional em sua condição de referência. Aplicando a Equação 4 nos cenários com a Lã de PET e Lã de Rocha obtemos os seguintes resultados:

- Para a Lã de PET

$$CEP_{ref} = 2081,6; CEP_{real} = 1366,1; Fce = 1,6$$

$$RedCEP = \frac{(2.081,6 * 1,6) - (1.436,7 * 1,6)}{(2.081,6 * 1,6)} * 100$$

RedCEP Lã de PET = 30,98%

- Para a Lã de Rocha:

$$CEP,ref = 2081,6; CEP,real = 1190,1; Fce = 1,6$$

$$RedCEP = \frac{(2.081,6 * 1,6) - (1.190,1 * 1,6)}{(2.081,6 * 1,6)} * 100$$

RedCEP Lã de PET = 42,83%

Onde:

- *RedCEP* é o percentual de redução do consumo de energia primária da UH no modelo real em relação à UH no modelo de referência;
- *CEP, ref* é o consumo anual de energia primária da UH no modelo de referência (kWh/ano);
- *CEP, real* é o consumo anual de energia primária da UH no modelo real (kWh/ano).
- *Fce* é o fator de conversão de energia

Após os fatores de conversão, foi verificada a redução de 30,98% no consumo energético com a Lã de PET e 42,83% de redução com a Lã de Rocha, quando comparados ao modelo de referência sem isolantes.

Para análise de viabilidade econômica, primeiro foi calculado o gasto anual em energia elétrica de cada sistema e em seguida o custo de implantação de cada sistema. Com esses dados em mãos obteve-se o tempo de retorno do investimento feito para a instalação de cada sistema.

Para o cálculo do custo do kWh foi utilizada a Tarifa B1 Residencial Normal, da Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG),

Para a cidade de Uberlândia o valor do kWh residencial normal, no período de elaboração do estudo, foi de R\$ 0,65313. Na cidade de Macaé-RJ, o valor do kWh residencial normal, no mesmo período, foi de R\$ 0,75411 (Tabela 7).

Tabela 7 - Valores do kWh em reais

Uberlândia-MG	0,65313 R\$/kWh
Macaé-RJ	0,75411 R\$/kWh

Fonte: autor (2023)

Assim, foi verificado que o gasto anual, em reais, do sistema sem isolantes foi de R\$ 1.359,56; do sistema com lã de PET R\$ 938,35 e do sistema com Lã de Rocha de R\$ 777,62. O custo mensal médio da fatura do sistema sem isolante foi de R\$ 113,30; no sistema com Lã de PET foi de R\$ 78,20 e no sistema com Lã de Rocha foi

de R\$ 64,80. Na Tabela 8 pode-se verificar o valor de cada fatura mensal, anual e média mensal.

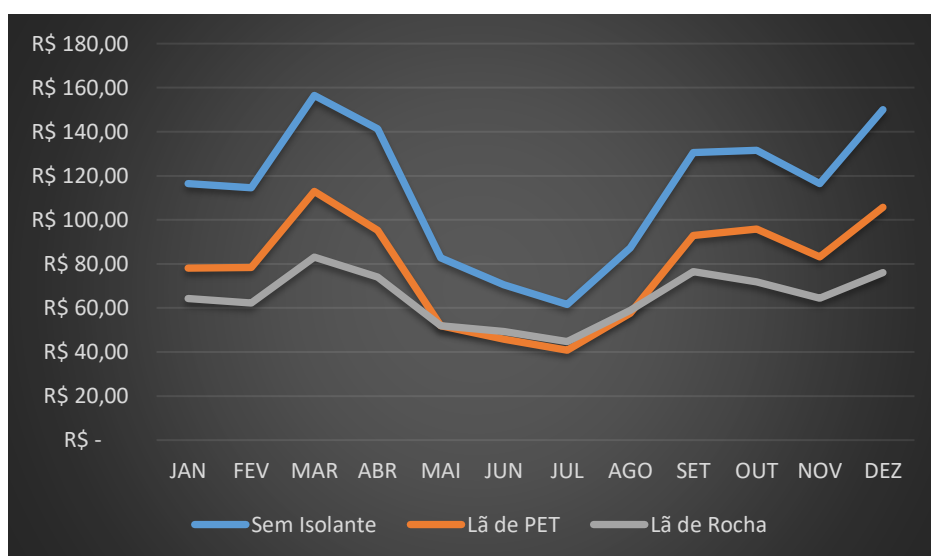
Tabela 8 – Valor mensal e anual em reais do consumo de energia elétrica

Mês/Cenário	Sem Isolante	Lã de PET	Lã de Rocha
JAN	R\$ 116,39	R\$ 78,11	R\$ 64,33
FEV	R\$ 114,62	R\$ 78,31	R\$ 62,24
MAR	R\$ 156,49	R\$ 112,93	R\$ 83,08
ABR	R\$ 141,34	R\$ 95,23	R\$ 74,06
MAI	R\$ 82,69	R\$ 51,99	R\$ 51,99
JUN	R\$ 70,47	R\$ 45,78	R\$ 49,38
JUL	R\$ 61,59	R\$ 40,82	R\$ 44,74
AGO	R\$ 87,26	R\$ 57,61	R\$ 58,98
SET	R\$ 130,63	R\$ 92,88	R\$ 76,48
OUT	R\$ 131,54	R\$ 95,81	R\$ 71,91
NOV	R\$ 116,52	R\$ 83,14	R\$ 64,40
DEZ	R\$ 150,02	R\$ 105,74	R\$ 76,02
Total Anual	R\$ 1.359,56	R\$ 938,35	R\$ 777,62
Média Mensal	R\$ 113,30	R\$ 78,20	R\$ 64,80

Fonte: Autor, 2023.

No Gráfico 2 apresenta-se o valor mensal gasto em reais durante o ano de análise.

Gráfico 2 - Gasto mensal em reais com energia elétrica



Fonte: Autor, 2023.

Com base nos dados da Tabela 9, verificamos que para o período analisado de um ano, o sistema com a Lã de PET gerou economia de R\$ 421,20 em relação ao sistema sem isolante, e o sistema com Lã de Rocha gerou economia de R\$ 581,94, resultando numa diferença entre os dois materiais isolantes de R\$ 160,74.

Na Tabela 9 encontra-se o percentual de economia que cada cenário obteve em relação ao cenário sem isolante e a comparação mensal entre os cenários que utilizaram a lã de PET e lã de rocha. No Gráfico 3 é possível observar que a Lã de PET obteve melhores resultados nos meses de junho, julho e agosto que são os meses onde são registradas as menores temperaturas médias. Isso ocorre pois a resistência térmica da Lã de PET é menor, por este motivo ela “retém” menos a temperatura externa.

Tabela 9 – Redução percentual no gasto com energia elétrica

Mês	Lã de PET x Sem Isolante	Lã de Rocha x Sem Isolante	Lã de Rocha x Lã de PET
Janeiro	32,88%	44,73%	11,84%
Fevereiro	31,68%	45,70%	14,02%
Março	27,84%	46,91%	19,07%
Abril	32,62%	47,60%	14,97%
Maio	37,12%	37,12%	0,00%
Junho	35,03%	29,94%	5,10%
Julho	33,72%	27,36%	6,36%
Agosto	33,98%	32,41%	1,57%
Setembro	28,90%	41,45%	12,55%
Outubro	27,16%	45,33%	18,17%
Novembro	28,64%	44,73%	16,09%
Dezembro	29,52%	49,33%	19,81%

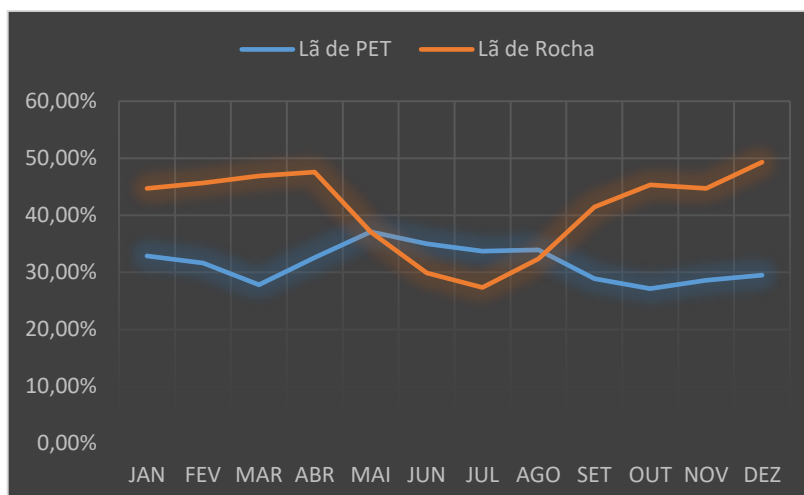
Não houve diferença entre os cenários

Valor em percentual que a lã de rocha obteve de redução no valor gasto com energia elétrica em relação à Lã de PET

Valor em percentual que a Lã de PET obteve de redução no valor gasto com energia elétrica em relação à Lã de Rocha

Fonte: Autor, 2023.

Gráfico 3 – Economia mensal (%) de cada sistema comparado com o sistema referência



Fonte: Autor, 2023.

Para o cálculo da viabilidade financeira e do tempo de retorno do investimento, foi realizada uma pesquisa de mercado e nela foram obtidos os seguintes valores/m² para cada isolante térmico por m² (Tabela 10).

Tabela 10 – Valor/m² de cada isolante (apenas material)

	Lã de PET	Lã de Rocha
Valor/m²	R\$ 14,59	R\$ 25,83

Fonte: Autor (2023)

Com a área das paredes e forro a serem aplicados os isolantes, obtida no Item 3.5, multiplicamos pelo valor de cada material isolante e assim foi obtido o valor do investimento em material, desconsiderando preço de mão de obra, para a instalação de cada sistema. Nas equações 5 e 6 observa-se os valores de investimento para instalação de cada sistema

$$\text{Instalação Sistema Lã de PET} = 14,59 \times 114,6$$

$$\text{Instalação Sistema Lã de PET} = \text{R\$ } 1.671,98$$

(Equação 5)

$$\text{Instalação Sistema Lã de Rocha} = 25,83 \times 114,6$$

$$\text{Instalação Sistema Lã de Rocha} = \text{R\$ } 2.690,06$$

(Equação 6)

Com base nos resultados das equações 5 e 6, definiu-se que para a instalação do sistema com Lã de PET será necessário um investimento em material de R\$ 1.671,98 e para a instalação do sistema com Lã de Rocha será necessário investir R\$ 2.960,12.

Na sequência, foi dividido o valor de cada investimento pela economia gerada anualmente por cada sistema, obtida na Tabela 11. Os resultados estão descritos nas equações 7 e 8.

$$\textit{Tempo de retorno Lã de PET} = \frac{1.671,98}{421,20}$$

$$\textit{Tempo de retorno Lã de PET} = 3,97 \text{ anos}$$

(Equação 7)

$$\textit{Tempo de retorno Lã de Rocha} = \frac{2.960,12}{581,94}$$

$$\textit{Tempo de retorno Lã de Rocha} = 5,08 \text{ anos}$$

(Equação 8)

O tempo de retorno do investimento calculado para o cenário que utilizou a Lã de PET será de aproximadamente 4 anos, enquanto no cenário da Lã de Rocha será de aproximadamente 5 anos e 1 mês.

Na Tabela 11 e Gráfico 4 é possível verificar que até o oitavo ano de instalação, a lã de PET possui o melhor custo benefício, porém, a partir do oitavo ano em diante a lã de rocha ultrapassa a lã de PET em relação ao custo-benefício, isso porque a lã de rocha, comparada a lã de PET, no período de um ano gera R\$ 160,74 a mais de economia, ou seja, 17,13% ao ano.

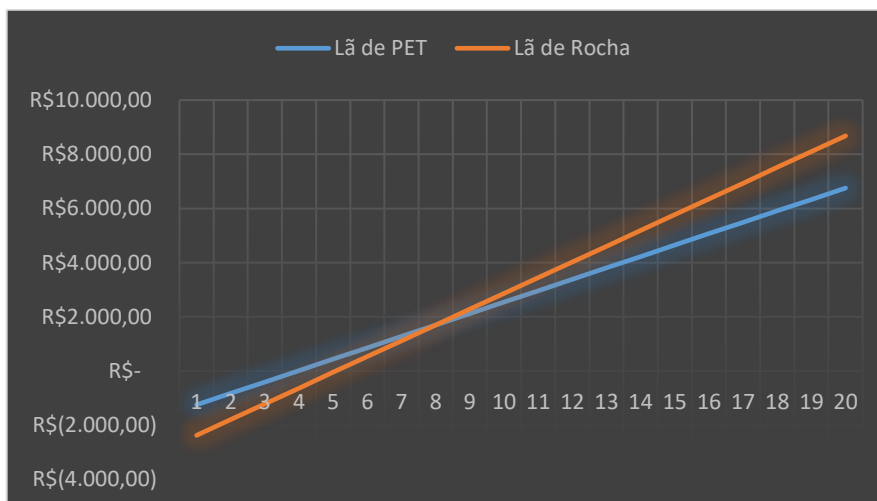
Tabela 11 - Economia anual gerada em cada cenário na cidade de Uberlândia

Ano	Lã de PET	Lã de Rocha
1	-R\$ 1.250,78	-R\$ 2.378,12
2	-R\$ 829,57	-R\$ 1.796,18
3	-R\$ 408,37	-R\$ 1.214,24
4	R\$ 12,84	-R\$ 632,30
5	R\$ 434,04	-R\$ 50,36
6	R\$ 855,24	R\$ 531,58
7	R\$ 1.276,45	R\$ 1.113,52
8	R\$ 1.697,65	R\$ 1.695,45
9	R\$ 2.118,85	R\$ 2.277,39
10	R\$ 2.540,06	R\$ 2.859,33
11	R\$ 2.961,26	R\$ 3.441,27
12	R\$ 3.382,46	R\$ 4.023,21
13	R\$ 3.803,67	R\$ 4.605,15
14	R\$ 4.224,87	R\$ 5.187,09
15	R\$ 4.646,07	R\$ 5.769,03
16	R\$ 5.067,28	R\$ 6.350,97
17	R\$ 5.488,48	R\$ 6.932,90
18	R\$ 5.909,68	R\$ 7.514,84
19	R\$ 6.330,89	R\$ 8.096,78
20	R\$ 6.752,09	R\$ 8.678,72

Fonte: Autor, 2023.

Podemos destacar que independente do tempo de retorno do investimento da lã de rocha ser 1 ano e 1 mês maior em relação à lã de PET, quando analisamos o retorno a longo prazo observamos que o sistema que utilizou a lã de rocha possui o melhor custo-benefício. No Gráfico 4 é possível notar que com o passar dos anos o sistema que utilizou a Lã de Rocha mostra-se mais econômico.

Gráfico 4 - Retorno sobre o investimento inicial x Ano



Fonte: Autor, 2023.

4.2. RESULTADOS MACAÉ

Para a cidade de Macaé, repetiu-se o formato em que foram feitas as análises na cidade de Uberlândia. Na Tabela 12 e Gráfico 5, é possível observar que durante os meses de maio, junho, julho e agosto o consumo de energia elétrica dos sistemas que utilizaram a Lã de PET e Lã de Rocha são praticamente iguais, isso porque, durante esses meses as temperaturas médias são menores, sendo assim, a demanda por resfriamento no ambiente reduz, e por consequência o consumo energético.

Assim como na análise feita para a cidade de Uberlândia, é possível afirmar que qualquer um dos isolantes produziu resultados melhores do que o cenário de referência.

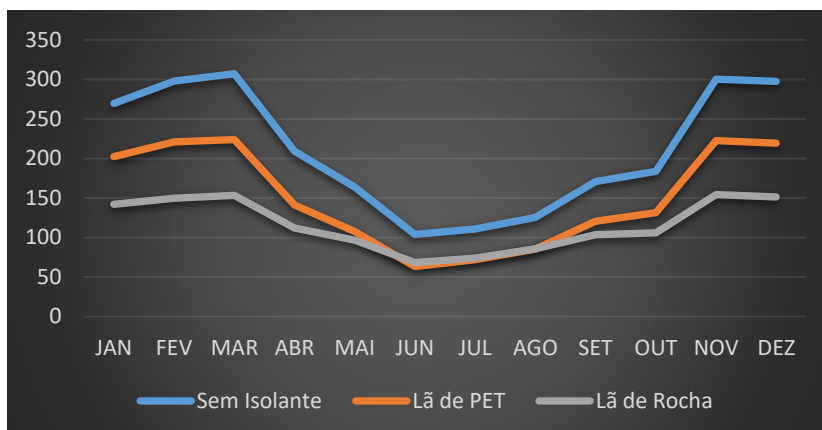
Considerando que o modelo referência gerou consumo de 2.539,3 kWh no modelo referência; 1.810,7 kWh no modelo com lã de PET e 1.396,8 kWh no modelo de lã de rocha, verifica-se que a lã de rocha teve o menor consumo dentre os analisados, significando uma economia de 22,86% em relação a lã de PET por ano.

Tabela 12 – Resultados do consumo anual de energia elétrica em cada modelo simulado

Sem Isolante		Lã de PET		Lã de Rocha	
MÊS	Consumo (kWh)	MÊS	Consumo (kWh)	MÊS	Consumo (kWh)
JAN	269,6	JAN	202,5	JAN	142
FEV	298	FEV	221,1	FEV	149,6
MAR	307,2	MAR	223,9	MAR	153,3
ABR	209,1	ABR	141,3	ABR	112
MAI	163,8	MAI	107,7	MAI	96,5
JUN	103,9	JUN	63,3	JUN	68,4
JUL	110,7	JUL	71,8	JUL	74,1
AGO	125,3	AGO	85,4	AGO	85,7
SET	170,6	SET	120,6	SET	103,6
OUT	183,6	OUT	131,3	OUT	106
NOV	300,2	NOV	222,5	NOV	154,3
DEZ	297,3	DEZ	219,3	DEZ	151,3
Consumo Anual	2539,3	Consumo Anual	1810,7	Consumo Anual	1396,8

Fonte: Autor, 2023.

Gráfico 5 – Resultados do consumo anual de energia elétrica (kWh) em cada modelo



Fonte: Autor, 2023.

Conforme explanado no Item 3.6, é necessário calcular o percentual de redução do consumo de energia primária (RedCEP) da unidade habitacional na condição real em comparação à mesma unidade habitacional em sua condição de referência. Aplicando a Equação 01 nos cenários com a Lã de PET e Lã de Rocha obtemos os seguintes resultados:

- Para a Lã de PET

$$CEP,ref = 2539,3; CEP,real = 1810,7; Fce = 1,6$$

$$RedCEP = \frac{(2.539,3 * 1,6) - (1.810,7 * 1,6)}{(2.539,3 * 1,6)} * 100$$

$$RedCEP \text{ Lã de PET} = 28,69\%$$

(Equação 9)

- Para a Lã de Rocha:

$$CEP,ref = 2.539,3; CEP,real = 1.396,8; Fce = 1,6$$

$$RedCEP = \frac{(2.539,3 * 1,6) - (1.396,8 * 1,6)}{(2.539,3 * 1,6)} * 100$$

$$RedCEP \text{ Lã de Rocha} = 44,99\%$$

(Equação 10)

Onde:

- *RedCEP* é o percentual de redução do consumo de energia primária da UH no modelo real em relação à UH no modelo de referência;
- *CEP, ref* é o consumo anual de energia primária da UH no modelo de referência (kWh/ano);
- *CEP, real* é o consumo anual de energia primária da UH no modelo real (kWh/ano).
- *Fce* é o fator de conversão de energia

Após aplicados os fatores de conversão, foi verificada a redução de 28,69% no consumo energético com a Lã de PET e 44,99% de redução com a Lã de Rocha, quando comparados ao modelo de referência sem isolantes.

Para análise de viabilidade econômica foi utilizado o mesmo processo aplicado à cidade de Uberlândia. Assim, foi calculado o gasto anual em energia elétrica de cada sistema e em seguida o custo de implantação de cada sistema. Em seguida, obteve-se o tempo de retorno do investimento feito para a instalação de cada sistema.

Para o cálculo do custo do kWh foi utilizada a tarifa Residencial Normal bandeira verde da Light, a qual define o consumo em 0,75411 R\$/kWh. Assim, foi verificado que o gasto anual, em reais, do sistema sem isolantes foi de R\$ 1.941,91; do sistema com lã de PET R\$ 1365,47 e do sistema com Lã de Rocha de R\$ 1053,34. O custo mensal médio da fatura do sistema sem isolante foi de R\$ 159,58; no sistema com Lã de PET foi de R\$ 113,79 e no sistema com Lã de Rocha foi de R\$ 87,78. Na Tabela 13 observa-se os custos com energia elétrica que cada cenário obteve.

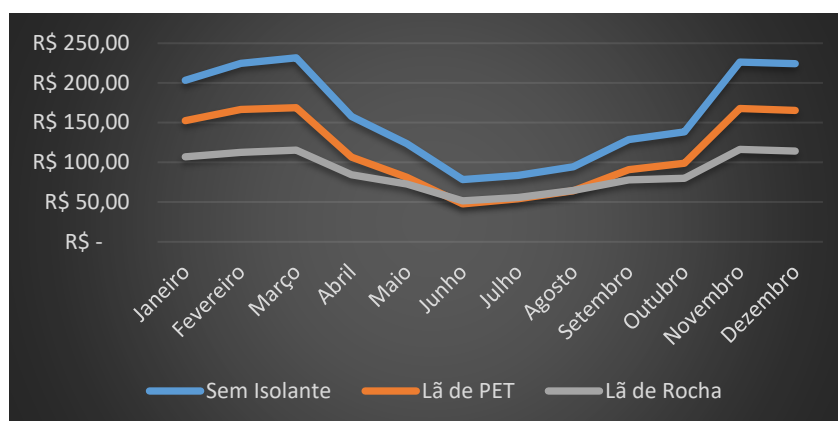
Tabela 13 – Custo mensal, total e médio em cada cenário analisado

Mês/Cenário	Sem Isolante	Lã de PET	Lã de Rocha
Janeiro	R\$ 203,31	R\$ 152,71	R\$ 107,08
Fevereiro	R\$ 224,72	R\$ 166,73	R\$ 112,81
Março	R\$ 231,66	R\$ 168,85	R\$ 115,61
Abril	R\$ 157,68	R\$ 106,56	R\$ 84,46
Maio	R\$ 123,52	R\$ 81,22	R\$ 72,77
Junho	R\$ 78,35	R\$ 47,74	R\$ 51,58
Julho	R\$ 83,48	R\$ 54,15	R\$ 55,88
Agosto	R\$ 94,49	R\$ 64,40	R\$ 64,63
Setembro	R\$ 128,65	R\$ 90,95	R\$ 78,13
Outubro	R\$ 138,45	R\$ 99,01	R\$ 79,94
Novembro	R\$ 226,38	R\$ 167,79	R\$ 116,36
Dezembro	R\$ 224,20	R\$ 165,38	R\$ 114,10
Total Anual	R\$ 1.914,91	R\$ 1.365,47	R\$ 1.053,34
Média Mensal	R\$ 159,58	R\$ 113,79	R\$ 87,78

Fonte: Autor, 2023.

No Gráfico 6 apresenta-se o custo mensal em reais durante o ano de análise na cidade de Macaé-RJ.

Gráfico 6 - Gasto mensal com energia elétrica em reais



Fonte: Autor, 2023.

É possível observar que para o período analisado de um ano, o sistema com a Lã de PET gerou economia de R\$ 549,44 em relação ao sistema sem isolante, e o sistema com Lã de Rocha gerou economia de R\$ 861,57.

Na Tabela 14 encontra-se o percentual de economia que cada cenário obteve em relação ao cenário sem isolante e a comparação mensal entre os cenários que utilizaram a lã de PET e Lã de rocha. No Gráfico 7 é possível observar que a Lã de PET obteve melhores resultados nos meses de junho, julho e agosto que são os meses onde são registradas as menores temperaturas médias. Isso ocorre pois a resistência térmica da Lã de PET é menor, por este motivo ela “retém” menos a temperatura externa.

Tabela 14 – Economia mensal de cada cenário analisado comparado ao cenário referência

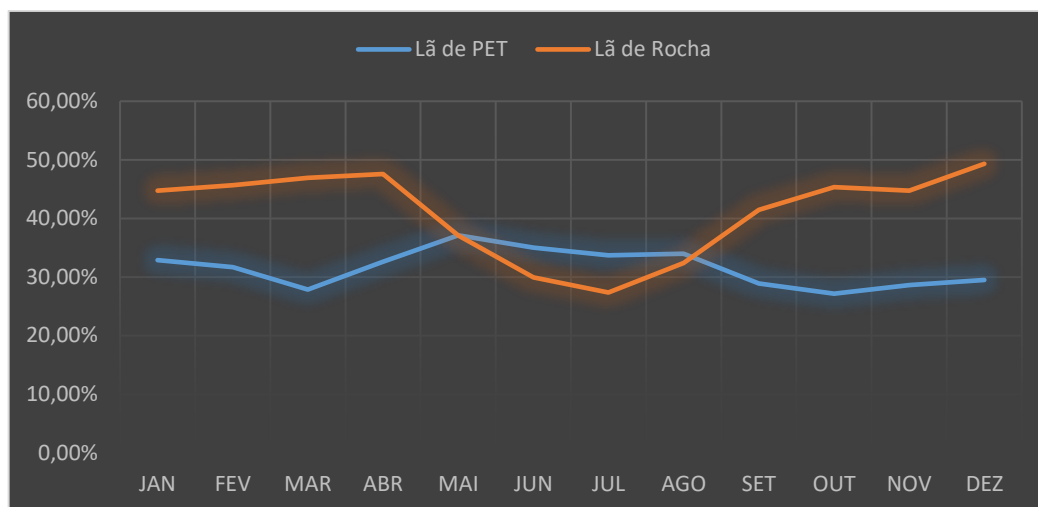
Mês	Lã de PET x	Lã de Rocha x	Lã de Rocha x
Janeiro	24,89%	47,33%	22,44%
Fevereiro	25,81%	49,80%	23,99%
Março	27,12%	50,10%	22,98%
Abril	32,42%	46,44%	14,01%
Maio	34,25%	41,09%	6,84%
Junho	39,08%	34,17%	4,91%
Julho	35,14%	33,06%	2,08%
Agosto	31,84%	31,60%	0,24%
Setembro	29,31%	39,27%	9,96%
Outubro	28,49%	42,27%	13,78%
Novembro	25,88%	48,60%	22,72%
Dezembro	26,24%	49,11%	22,87%

Valor em percentual que a lã de rocha obteve de redução no valor gasto com energia elétrica em relação à Lã de PET

Valor em percentual que a Lã de PET obteve de redução no valor gasto com energia elétrica em relação à Lã de Rocha

Fonte: Autor, 2023.

Gráfico 7 – Economia mensal em porcentagem comparado com os sistemas de referência



Fonte: Autor, 2023.

Para o cálculo da viabilidade financeira e do tempo de retorno do investimento, foram utilizados os mesmos valores obtidos para a cidade de Uberlândia, pois o projeto é o mesmo.

Portanto, definiu-se que para a instalação do sistema com Lã de PET será necessário um investimento em material de R\$ 1.671,98 e para a instalação do sistema com Lã de Rocha será necessário investir R\$ 2.960,12.

Na sequência, foi dividido o valor de cada investimento pela economia gerada anualmente por cada sistema, obtida na Tabela 15. Os resultados estão descritos nas equações 11 e 12.

$$\text{Tempo de retorno Lã de PET} = \frac{1.671,98}{549,44}$$

$$\text{Tempo de retorno Lã de PET} = 3,04 \text{ anos}$$

(Equação 11)

$$\text{Tempo de retorno Lã de Rocha} = \frac{2.960,12}{861,57}$$

$$\text{Tempo de retorno Lã de Rocha} = 3,44 \text{ anos}$$

(Equação 12)

Sendo assim, tempo de retorno do investimento calculado para o cenário da Lã de PET foi de aproximadamente 3 anos, enquanto no cenário da Lã de Rocha foi de aproximadamente 3 anos e 5 meses.

Quando comparadas as duas opções de sistemas, verifica-se que a Lã de Rocha obteve economia anual de R\$ 312,12 em relação ao sistema que utilizou a Lã de PET, ou seja, 36,23% menor. Na Tabela 15 e Gráfico 8 é possível verificar que até o quarto ano de instalação, a lã de PET possui o melhor custo benefício, porém, a partir do quarto ano em diante a lã de rocha ultrapassa a lã de PET em relação ao custo-benefício.

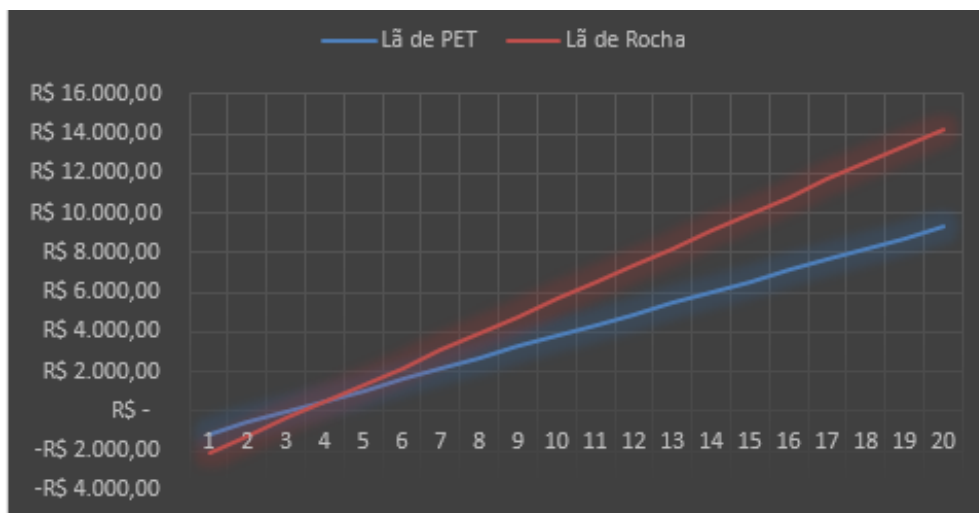
Tabela 15 – Economia anual gerada em cada cenário na cidade de Macaé

Ano	Lã de PET	Lã de Rocha
1	-R\$ 1.122,54	-R\$ 2.098,49
2	-R\$ 573,10	-R\$ 1.236,92
3	-R\$ 23,66	-R\$ 375,35
4	R\$ 525,78	R\$ 486,22
5	R\$ 1.075,22	R\$ 1.347,79
6	R\$ 1.624,66	R\$ 2.209,36
7	R\$ 2.174,10	R\$ 3.070,93
8	R\$ 2.723,54	R\$ 3.932,50
9	R\$ 3.272,98	R\$ 4.794,07
10	R\$ 3.822,42	R\$ 5.655,64
11	R\$ 4.371,86	R\$ 6.517,21
12	R\$ 4.921,30	R\$ 7.378,78
13	R\$ 5.470,74	R\$ 8.240,35
14	R\$ 6.020,18	R\$ 9.101,92
15	R\$ 6.569,62	R\$ 9.963,49
16	R\$ 7.119,06	R\$ 10.825,06
17	R\$ 7.668,50	R\$ 11.686,63
18	R\$ 8.217,94	R\$ 12.548,20
19	R\$ 8.767,38	R\$ 13.409,77
20	R\$ 9.316,82	R\$ 14.271,34

Fonte: Autor, 2023.

Podemos destacar que independente do tempo de retorno do investimento da lã de rocha ser 5 meses maior em relação à lã de PET, quando analisamos o retorno a longo prazo observamos que o sistema que utilizou a lã de rocha possui o melhor custo-benefício. No Gráfico 8 é possível notar que com o passar dos anos o sistema que utilizou a Lã de Rocha mostra-se mais econômico.

Gráfico 8 – Retorno sobre o investimento a cada ano



Fonte: Autor, 2023.

4.3. COMPARAÇÃO UBERLÂNDIA X MACAÉ

Comparando os resultados de consumo energético de cada modelo nas cidades de Uberlândia e Macaé, fica evidente que, na cidade de Macaé, onde a maioria das temperaturas médias mensais são mais elevadas, o uso do isolante térmico se faz mais necessário, proporcionando maior economia tanto a curto, quanto a longo prazo. Na Tabela 16 pode-se observar a diferença no consumo energético nas duas cidades em todos os cenários analisados.

Tabela 16 - Diferença no consumo elétrico em kWh entre as cidades de Uberlândia e Macaé

	Uberlândia	Macaé	Diferença no consumo (kWh)	Diferença no consumo (%)
Sem Isolante	2081,6	2539,3	457,7	18,02%
Lã de PET	1436,7	1810,7	374	20,65%
Lã de Rocha	1190,6	1396,8	206,2	14,76%

Fonte: Autor, 2023

A diferença no consumo entre Uberlândia e Macaé no cenário de referência foi de 18,02%, enquanto no cenário que utilizou a Lã de PET foi 20,65% e no cenário que utilizou a Lã de Rocha 14,76%.

Na Tabela 17 pode-se visualizar a comparação do tempo de retorno de investimento nos cenários em ambas as cidades. Percebe-se que em Macaé o tempo de retorno do investimento é inferior em relação à cidade de Uberlândia, pois a economia anual de energia elétrica é maior, conseqüentemente a economia financeira.

Tabela 17 - Tempo de retorno do investimento de cada sistema em cada cidade

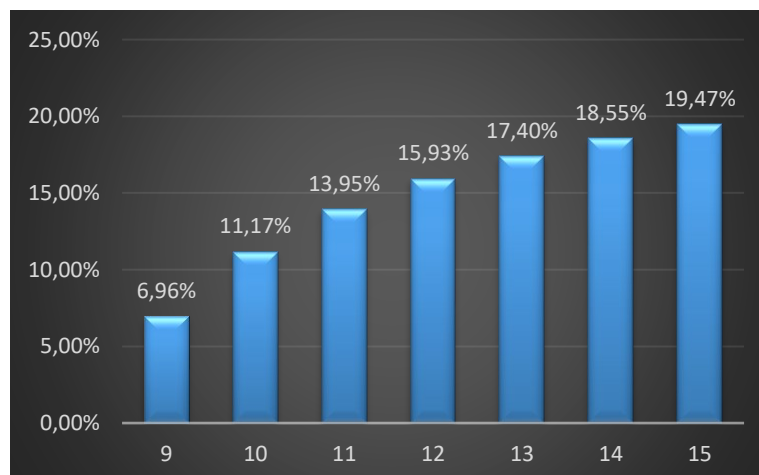
	Uberlândia	Macaé
Lã de PET	4 anos	3 anos
Lã de Rocha	5 anos e 1 mês	3 anos e 5 meses

Fonte: Autor, 2023

Em relação ao custo benefício de cada sistema, verifica-se que em Uberlândia, até 8 anos, o sistema de Lã de PET leva vantagem em relação ao sistema de Lã de Rocha, porém, após o oitavo ano o sistema com Lã de Rocha se sobressai. Portanto, a curto prazo, o sistema com a Lã de PET possui melhor custo benefício na cidade de Uberlândia, o que não é verdadeiro a longo prazo.

No Gráfico 9, apresentam-se os dados do benefício econômico gerado na conta de energia após o retorno do investimento, ou seja, a partir do 9º ano de instalação para o sistema com Lã de Rocha. Observa-se que no 9º ano o sistema obtém 6,96% de benefício financeiro e energético, no 10º ano 11,17%, no 11º ano 13,95%, no 12º ano 15,93%, no 13º ano 17,40%, no 14º ano 18,55% e no 15º ano 19,47% comparativamente ao sistema que utilizou a Lã de PET.

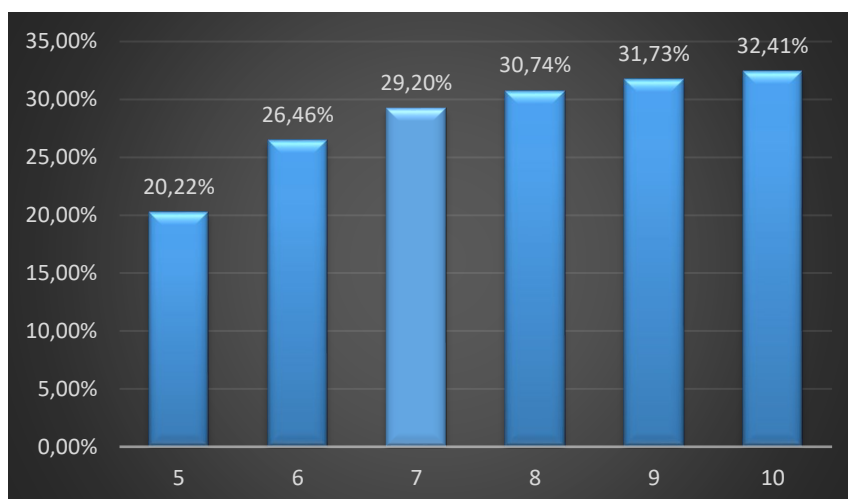
Gráfico 9 – Benefício gerado pela Lã de Rocha X Lã de PET, a partir do nono ano, em Uberlândia-MG



Fonte: Autor, 2023

Em Macaé, para o período de 5 anos, o sistema com Lã de PET leva vantagem em relação ao sistema com Lã de Rocha, porém, a partir do quinto ano de instalação, o sistema com a Lã de Rocha obtém retorno econômico maior em relação ao sistema com Lã de PET. No Gráfico 10, observa-se que no quinto ano de instalação o sistema com Lã de Rocha obtém 20,22% de benefício econômico e financeiro.

Gráfico 10 – Benefício gerado pela Lã de Rocha X Lã de PET, a partir do quinto ano, em Macaé-RJ



Fonte: Autor, 2023

É importante frisar essa grande economia gerada em Macaé ocorre não somente pela maior economia energética, mas também pelo fato de que o custo do kWh é maior em Macaé do que em Uberlândia, cerca de 13,4% maior. Na Tabela 18 é possível comparar os resultados obtidos para cada cenário em cada cidade analisada.

Tabela 18 – Comparação dos resultados obtidos em cada cidade

	Uberlândia	Macaé	Diferença no consumo (kWh)
Sem Isolante	2081,6 kWh	2539,3 kWh	457,7
Lã de PET	1436,7 kWh	1810,7 kWh	374
Lã de Rocha	1190,6 kWh	1396,8 kWh	206,2

Fonte: Autor, 2023

5. CONCLUSÃO

O principal objetivo deste trabalho foi analisar alternativas de isolantes térmicos aplicados na parte interna da envoltória de um contêiner marítimo com fins de utilização para edificação habitacional emergencial. É perceptível que nos últimos anos a frequência e a intensidade dos desastres naturais vêm aumentando, e provavelmente continuará dessa forma devido à falta de planejamento urbano, crescimento desordenado das cidades e mudanças climáticas. Por este motivo, é importante que mais estudos como este sejam realizados tanto para mitigar os prejuízos causados pelos desastres, quanto para evitar que estes se repitam com frequência ao longo dos anos.

Por meio dos resultados foi perceptível que a Lã de Rocha obteve vantagem na redução do consumo de energia elétrica para resfriamento da unidade habitacional. Para a cidade de Uberlândia, o sistema com Lã de PET reduziu 30,98% o consumo de energia elétrica enquanto o sistema com Lã de Rocha obteve redução anual no consumo de 42,80%. Já na cidade de Macaé, a redução no consumo de energia elétrica com Lã de PET foi de 28,69%, e o sistema com Lã de Rocha economizou, no ano de estudo, 44,99%.

Quando analisado em cenários com temperaturas médias mensais menores, podemos concluir, também, que a Lã de PET obtém resultados melhores quando comparada com a Lã de Rocha.

Quanto à vida útil dos materiais, tanto a lã de PET, quanto a lã de rocha, não sofrem deformação e deterioração com o passar dos anos, portanto, os isolantes não possuem uma estimativa de vida útil. Sendo assim, este critério não elimina o uso de nenhum material, seguindo a vida útil da edificação.

Em relação ao custo de instalação ficou evidente que a lã de rocha é a opção de isolamento mais onerosa, sendo 45,52% mais cara em relação à lã de PET. Todavia, a longo prazo, o sistema com lã de rocha apresenta custo-benefício superior, em ambas cidades, em relação à lã de PET.

Verificou-se que na cidade de Uberlândia a Lã de PET possui o tempo de retorno de investimento de aproximadamente 4 anos enquanto a lã de rocha 5 anos e 1 mês, e na cidade de Macaé o sistema com Lã de PET teve o tempo de retorno de investimento de 3 anos e a Lã de Rocha 3 anos e 5 meses.

Em Uberlândia, o sistema com a Lã de Rocha obteve melhor custo-benefício a partir do 9º ano de instalação, enquanto que em Macaé, a partir do 5º ano. Com isso, em termos de eficiência energética, a Lã de Rocha se sobressai comparada a Lã de PET em ambas cidades, porém, em termos financeiros, o sistema com a Lã de PET mostrou-se mais eficiente durante os primeiros 8 anos de instalação na cidade de Uberlândia e 5 primeiros anos na cidade de Macaé.

REFERÊNCIAS

- ALEXANDER, C; ISHIKAWA, S; SILVERSTEIN, M; JACOBSON, M; FIKSDAHL-KING, I; ANGEL, S. **A pattern language: Towns, Buildings, Construction**. Oxford University Press, USA, 1977.
- ANDRADE, M. L. V. X.; RUSCHEL, R. C. **Interoperabilidade de aplicativos BIM usados em arquitetura por meio do formato IFC**. *Gestão & Tecnologia de Projetos*. v.4, p76-111. 2009.
- BARBOZA, D.R.; TOSCAN, F.; UBEL, M.; COMUNELLO, M.; MARCHIORO, T.: **Isolamento térmico**. IMED 5º Seminário Internacional de Construções Sustentáveis. Passo Fundo – RS, 2016.
- BRASIL. **Anuário brasileiro de desastres naturais: 2013** / Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres. – Brasília: CENAD, 2014.
- BRASIL. INMETRO. RECORTE DA PORTARIA Nº 309, DE 6 DE SETEMBRO DE 2022, INI-R. **Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (INI-R)**. Disponível em: <<https://www.pbeedifica.com.br/inir>>. Acesso em 08 de novembro 2022.
- BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil. Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres. **Anuário brasileiro de desastres naturais: 2011** / Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres. - Brasília: CENAD, 2012.
- BUENO, Sinara. **Conheça os tipos de Container**. FAZCOMEX. Disponível em: <<https://www.fazcomex.com.br/blog/conheca-os-tipos-de-container/>> Acesso em: 04 de maio de 2022.
- CHEN S., Jin R., and Alam, M. (2018). **Investigation of Interoperability between Building Information Modelling (BIM) and Building Energy Simulation (BES)**. *International Review of Applied Sciences and Engineering*. 9(2), 137-144.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS MUNICÍPIOS**, Notícias, 2022. Disponível em: <<https://www.cnm.org.br/comunicacao/noticias/prejuizo-com-chuvas-na-bahia-sobe-para-r-1-6-bi-segundo-dados-coletados-pela-cnm>>. Acesso em: 08/10/2022.
- CONTAINER MARÍTIMO: CONHEÇA AS VANTAGENS NO SEU PROJETO**. Lafaete, 2022. Disponível em: <<https://www.lafaetelocacao.com.br/artigos/tipo-de-container-maritimo/>>. Acesso em 28 de março de 2022.
- EDF, (*Électricité de France*): **Le guide des matériaux pour l'isolation thermique**, França, 2012.
- EMERGÊNCIA**. In: DICIO, Dicionário Online de Português. Porto: 7Graus, 2022. Disponível em: <<https://www.dicio.com.br/emergencia/>>. Acesso em: 30/01/2023.
- EMERGENCIAL**. In: DICIO, Dicionário Online de Português. Porto: 7Graus, 2022. Disponível em: <<https://www.dicio.com.br/emergencial/>>. Acesso em: 07/06/2022.
- GEDIEL, da Silva et al. **Eficiência Das Dimensões Dos Processos Building Information Modeling No Ciclo De Vida Das Edificações**. *Revista de Ciencia, Tecnología e Innovación*, Vol.3 N° 1 (2021), 9-18.

GOMES, G. C. F.; SOUZA, L. M. **ELABORAÇÃO DE ORIENTAÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS ABORDANDO O BIM E SUAS DIMENSÕES 3D, 4D E 5D**. Curitiba, 2021 – UNICURITIBA.

HAAG, L. **Green BIM: Building Energy Simulation**. Disponível em:

<<http://www.greenbim-eng.com/services/building-energy-simulation/>>. Acesso em 22 de junho de 2022.

INTERNATIONAL STANDARD. ISO 17772-1. **Energy performance of buildings – Indoor environmental quality – Part 1: Indoor environmental input parameters for the design and assessment of energy performance of buildings**. ISO copyright office. Geneva, Switzerland, 2017.

KRONENBURG, R. **Portable architecture: Design & technology**. 4. ed. Basel (Switzerland): Kirkhauser, 2008.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. Casa eficiente: **Bioclimatologia e desempenho térmico**. Florianópolis: UFSC/LabEEE; 2010.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência energética na arquitetura**. [3.ed.] Rio de Janeiro, 2014.

MACÊDO, O que é interoperabilidade? Disponível em:<<https://www.diegomacedo.com.br/o-que-e-interoperabilidade/>>; Acessado: 13 de junho de 2022.

MILANEZE, G. L. S.; BIELSHOWSKY, B. B.; BITTENCOURT, L. F.; SILVA, R.; MACHADO, L. T. **A utilização de containers como alternativa de habitação social no município de Criciúma/SC**. 1º Simpósio de Integração Científica e Tecnológica do Sul Catarinense, IFSC, Santa Catarina, 2012.

MOON, H.J., Choi, M.S., Kim, S.K. and Ryu, S.H., 2011, November. **Case studies for the evaluation of interoperability between a BIM based architectural model and building performance analysis programs**. In Proceedings of 12th Conference of International Building Performance Simulation Association (Vol. 2011).

PASSOS, Priscilla Nogueira Calmon de. **A conferência de Estocolmo como ponto de partida para a proteção internacional do meio ambiente**. Revista Direitos Fundamentais e Democracia. Volume 6. Unibrasil. Curitiba/PR, 2009.

PAZ, Daniel. **Arquitetura efêmera ou transitória**. Disponível em: Acesso em: 10 de maio de 2017.

PEREIRA, E. D. L.; ANDRADE, M. L. V. X. de. **O uso BIM para a avaliação da eficiência energética de projetos de edifícios públicos com a aplicação da INI-C**.

RIBEIRO, Tollendal G. R. **Modelagem de informações de edificações aplicadas no processo de projetos de aeroportos**. 2010. 132f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de Brasília, Brasília: 2010.

STEEL, J., Drogemuller, R. and Toth, B., 2012. **Model interoperability in building information modelling**. Software & Systems Modelling, 11(1), pp.99-109.

VIANA, Françoise Santana. **Análise de desempenho térmico em módulo de contêiner marítimo**. 2018. 95 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018.