EXPERIMENTO NUMÉRICO SOBRE DESEMPENHO TÉRMICO ESTRUTURAL DE UMA CASA POPULAR DO PROGRAMA MINHA CASA MINHA VIDA

Euley Johan da Silva Dantas[1], Jean Carlos de Almeida Nobre[2], David Lohan Pereira de Sousa[3], João Felipe Ferreira Teixeira[4], Larissa dos Santos Borges[5], Luiz Claudio Fialho Andrade[6].

[1]*Universidade Federal do Pará, Belém-PA, Brasil (euley.dantas@ananindeua.ufpa.br)*
[2] *Universidade Federal do Pará, Belém-PA, Brasil*
[3] *Universidade Federal do Pará, Belém-PA, Brasil*
[4] *Universidade Federal do Pará, Belém-PA, Brasil*
[5] *Universidade Federal do Pará, Belém-PA, Brasil*
[6] *Universidade Federal do Pará, Belém-PA, Brasil*
[7] *Universidade Federal do Pará, Belém-PA, Brasil*

Resumo: O experimento numérico é realizado no projeto padrão da casa popular sobre dados climáticos referentes à cidade de Belém-PA no ano de 2022, com foco na temperatura interna do ar e na umidade relativa interna do ar, comparando os resultados obtidos com a norma de conforto térmico NBR 16401. Os resultados obtidos para o conforto térmico no banheiro com os materiais originários da planta baixa ficaram em 510 horas do ano de 2022, com a troca de materiais o conforto térmico alcançou 1.260 horas. No quarto frontal com os materiais propostos pela planta baixa o conforto térmico ficou em 2.160 horas, com a troca de materiais o conforto térmico alcançou 3.160 horas. No quarto traseiro com os materiais da planta baixa o conforto térmico ficou em 2.340 horas, com a troca de materiais o conforto térmico alcançou 3.260 horas. Na sala e cozinha com os materiais da planta baixa o conforto térmico ficou em 3.010 horas, com a troca de materiais o conforto térmico alcançou 3.820 horas.

Palavras-chave: Desempenho térmico; conforto térmico; experimento numérico; Energyplus.

INTRODUÇÃO

O programa social Minha casa Minha vida é uma iniciativa do Governo Federal que tem como objetivo principal implementar políticas e programas que promovam o acesso à moradia digna para população de baixa renda, para a redução do déficit habitacional no Brasil. Fazem parte do programa instituições privadas do setor de habitação, agentes financeiros autorizados pelo Conselho Monetário Nacional, Caixa Econômica Federal, dentre outros. Através de programas como o Minha casa Minha Vida, a população de baixa renda têm acesso a habitações com parcelas que cabem no seu orçamento (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2021).

O programa federal Minha casa Minha vida é um conjunto de programas como o da CDHU (Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano), administrado pelos governos estaduais, e COHAB (Companhia de Habitação Popular), de responsabilidade dos governos municipais. Esse programa, essencialmente, consiste em construções habitacionais populares na forma de casas e apartamentos. Nas casas populares os moradores têm, em regra, mais autonomia para modificar materiais e o layout da casa; nos apartamentos essa liberdade é menor, já que essas habitações fazem parte de um prédio, que, deve seguir padrões mais difíceis de alterar, por questões relacionadas à integridade estrutural de todo o edifício.

A Figura 1 mostra uma fotografia de uma casa popular da COHAB em Benevides-PA (conjunto habitacional Juritis), que apresenta padrões estruturais semelhantes ao projeto padrão apresentado no Capítulo Metodologia (Figura 4).



Figura 1 - Casas populares no conjunto habitacional Juritis, Benevides-PA. Fonte: Google Maps, (2023).

O foco deste trabalho é utilizar o projeto padrão da Caixa Econômica Federal e demais órgãos responsáveis para simular e analisar numericamente o desempenho térmico da casa popular quanto à temperatura interna do ar e à umidade relativa interna do ar na casa popular em cada cômodo, variáveis de saída influenciadas por variáveis de entrada, internas (baseadas na condição estrutural da casa), e externas (baseadas na condição climática do local da casa). Os experimentos numéricos são realizados sobre dois conjuntos de materiais construtivos diferentes, para dados climáticos referentes à cidade de Belém-PA, no ano de 2022, para verificar se a casa popular obedece aos padrões de conforto térmico segundo a NBR 16401.

Os materiais construtivos possuem propriedades termofísicas como condutividade térmica, calor específico, densidade, entre outras, que respondem de forma diferente a determinada condição climática. Dessa forma, para determinar a resposta termoenergética da casa popular do programa Minha Casa Minha Vida estudada sob as condições climáticas de Belém-PA, o presente estudo foi realizado. Para isto, foram utilizadas três ferramentas computacionais: os *softwares Energyplus*, *Openstudio*, e *SketchUp*.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O conforto térmico é um estado mental que expressa a satisfação de uma pessoa com o ambiente térmico ao seu redor. A insatisfação com o ambiente térmico pode ser causada por desconforto devido ao calor ou frio, se o equilíbrio térmico não for estável, ou seja, se existem diferenças entre o calor produzido pelo corpo e o calor que sai do ambiente (ASHRAE, 2021).

Segundo Frota e Schiffer (2001) o corpo humano está em situação de conforto térmico quando, sem recorrer a nenhum mecanismo de termorregulação, perde para o ambiente o calor produzido pelo metabolismo proporcional à sua atividade.

De acordo com Parsons (2014) o conforto térmico é dado pela análise de seis parâmetros básicos. Energia metabólica gerada pela atividade humana, vestuário e os quatro fatores ambientais: temperatura do ar, radiação térmica, umidade e movimento do ar. O autor ressalta, porém, que a simples quantificação destes fatores não é suficiente para determinar o quão confortável alguém está em um ambiente, uma vez que o ser humano existe em um contexto social sob a influência de diversas interações e sentimentos.

A Neutralidade térmica é um estado físico, no qual todo o calor gerado pelo organismo através do metabolismo, seja trocado em igual proporção com o ambiente ao redor, não havendo nem acúmulo de calor, nem perda excessiva do mesmo, mantendo a temperatura corporal constante (ASHRAE, 2021).

A neutralidade térmica é uma condição necessária, mas não suficiente para que uma pessoa esteja em conforto térmico. Um indivíduo que estiver exposto a um campo assimétrico de radiação, pode muito bem-estar em neutralidade térmica, porém não estará em conforto térmico, logo as normas regulamentadoras nos dão uma base de neutralidade térmica.

Os pesquisadores Sousa, Nobre e Andrade (2021), estudaram por meio computacional as condições climáticas para o ano de 2021, da cidade de Belém-PA. O arquivo climático disponível no repositório do *software EnergyPlus* foi compilado no *software* para gerar resultados de temperaturas médias, que são comparadas com as temperaturas da base dados *CLIMATE-DATA.ORG*. Os resultados obtidos mostraram variações de temperaturas médias, mínima e máxima de 0,1 ºC até 1,7 ºC.

Brisola (2022), analisou onde foram analisados dados históricos meteorológicos do banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para avaliar mudanças climáticas ocorridas na cidade de Belém-PA no período de 2011 a 2021. O estudo mostra dados climáticos da cidade de Belém-PA resultantes da análise estatística. A radiação solar anual para o período de 2011 a 2021 variou de 1268,81 kJ/m² a 949,23 kJ/m². O comportamento da temperatura do ar de bulbo seco ao longo do período de 2011 a 2021 variou de 26,6 °C e 26,8 °C. Na umidade relativa do ar houve variação média de 80,1% a 84%, mínima de 77,7% a 80% e máxima de 82,4% a 86,9%. A rajada máxima do vento no período de 2011 a 2021 variou de 3,73 m/s a 3,55 m/s e a velocidade variando de 0,94 m/s a 0,7 m/s.

Silva (2022), realizou um estudo com duas bases de dados distintas para a realização de um tratamento estatístico sobre amostras da radiação solar e da temperatura do ar na cidade de Belém-PA comparando as bases e gerando perfis climáticos finais para cada arquivo climático. Os dados expressos no arquivo climático SWERA estão entre os anos de 1973 até 1997 e no arquivo climático IWEC os anos analisados foram de 1982 até 1995. Após o tratamento estatístico de 14 anos (1982 – 1995), gerou-se os perfis finais do arquivo climático do projeto IWEC para cada mês do ano na cidade de Belém-PA. A temperatura de bulbo seco anual apresentou média total de 26,53 ºC, uma mínima de 19,91 ºC e uma máxima de 35,5 ºC. A temperatura de bulbo úmido apresentou um perfil anual com uma média total de 24,36 ºC, uma mínima de 19,91 ºC e uma máxima de 27,76 ºC. A radiação solar difusa em W/m², apresentou um perfil anual com uma média total de 122,45 W/m², mínima de é 0 W/m² e uma máxima de 579,33 W/m². A radiação solar direta em

W/m², apresentou um perfil anual com uma média total de 116,464 W/m² e uma máxima de 897,25 W/m².

Borges (2022), realizou um estudo cujo objetivo foi fazer simulações numéricas das propriedades térmicas de edifícios para analisar a temperatura do ar interior de um edifício com materiais de construção alternativos. Foram incluídas propriedades construtivas, como peças estruturais e suas propriedades térmicas. O arquivo climático utilizado foi o da cidade de Belém-PA fornecido pelo projeto SWERA. As ferramentas utilizadas nesta simulação foram os *softwares SketchUp Make* 2017, *OpenStudio* e *EnergyPlus*. Com a simulação numérica foi possível analisar variáveis climáticas do próprio arquivo climático como bulbo seco e úmido e radiações solares, juntamente a resultados gerados pelo *EnergyPlus* mostrando a temperaturas internas na estrutura estudada como média, mínima, máxima e desvio padrão, em seguida, é feita as comparações do mês mais frio e o mês mais quente e a curva de duração anual da temperatura interna do ar que mostra a média da temperatura do ar na edificação em relação às horas totais do ano de 2021. A edificação apresenta anualmente uma temperatura interna do ar com uma máxima de 34,08 ºC, mínima de 24,43 ºC, média anual de 28,5 ºC, e um desvio padrão de 2 ºC.

Gomes (2022), realizou uma pesquisa que visa comparar diferentes materiais utilizados em construções habitacionais, as comparações feitas levam em consideração materiais tradicionais e alternativos. A fim de encontrar o material com um melhor isolamento térmico para o clima da cidade de Belém-PA é feita a análise comparativa. A análise comparativa entre os materiais tradicionais e alternativos se dá pela temperatura interna do ar em ºC com base nessa temperatura pode-se analisar o isolamento térmico de cada combinação de materiais. Os resultados mostraram que a média anual da temperatura do ar com materiais tradicionais é de 27 °C com uma curva de duração que vai de 23,4 °C a 30,9 °C durante 8.760 h do ano. Para os materiais alternativos apresentaram uma média anual de 25,9 °C com uma curva de duração entre 22,9 °C a 29,19 °C durante 8.760 h do ano. Os materiais alternativos apresentaram menores temperaturas do ar na estrutura analisada.

Nobre *et al*. (2021), realizaram uma simulação numérica em uma residência conjunta popularmente conhecida como *vila* ou *kitnet* no mês de março em Ananindeua-PA utilizando o *software EnergyPlus*, onde foram levadas em consideração variáveis climáticas e do próprio edifício. Com isso, gerou-se uma zona térmica com temperaturas de 21 ºC até 29 ºC no mês de março e com estes dados averiguou-se que os cômodos do edifício cumpriam os padrões da ISO 9241/2011 sobre bem-estar térmico. Os dias do mês de março dentro dos padrões térmicos de conforto foram os dias 05, 11 e 12 para a Unidade 1, 04 e 18 para a Unidade 2, 04 e 18 para a Unidade 3 e 04, 05, 12 e 18 para a Unidade 4.

Siqueira (2022), realizou um trabalho cujo objetivo é encontrar a temperatura interna do ar em uma edificação idealizada em Belém-PA e Florianópolis-SC no ano de 2021, verificando como uma estrutura com os mesmos materiais se comporta em situações climáticas diferentes. Os resultados mostram que a temperatura na cidade de Belém-PA no edifício vai de 22,8 ºC até 31,6 ºC; na cidade de Florianópolis-SC a temperatura interna do ar no edifício vai de 14,6 ºC a 31,2 ºC.

Nobre (2022), realizou uma monografia que tem por finalidade utilizar o *software* livre *EnergyPlus* para simular e analisar o nível de temperatura do ar no auditório do campus Ananindeua da Universidade Federal do Pará, localizado em Ananindeua-PA que está em fase de construção, com variáveis meteorológicas, estruturais e fisiológicas. A análise de desempenho térmico do auditório foi realizada no ano de 2021, para zonas térmicas de cada mês do ano, verificando e indicando a época do ano com maiores e menores temperaturas do ar no ambiente, utilizando como base de dados arquivos climáticos de Belém-PA. Os resultados obtidos para o desempenho térmico estrutural, no ano analisado, foram retirados de duas simulações com o *software*, a primeira simulação adotou-se somente variáveis meteorológicas e estruturais, na segunda adotou-se variáveis meteorológicas, estruturais e fisiológicas, verificando a variação da temperatura no auditório com a quantidade máxima de pessoas no local, e por fim realizou-se análises de bem-estar térmico do ambiente com a ISO 9241/2011.

Sousa (2022), realizou simulações computacionais para análise do desempenho térmico em um edifício institucional da Universidade Federal do Pará, localizado no município de Ananindeua-PA, planejando demonstrar a capacidade do método abordado, utilizando o *software Energyplus*. Em relação ao edifício foram determinadas diversas características, entre elas, elementos construtivos e suas propriedades térmicas, perfil de atividades, consumo por unidade dos equipamentos elétricos e sistema de iluminação. Para analisar o desempenho térmico estrutural, conforto térmico e o consumo energético do edifício. Os resultados obtidos para o desempenho térmico foram que os ambientes simulados pelo programa apresentaram temperaturas entre 23,7ºC e 33,3ºC, com estes dados foi possível verificar a quantidade de horas e representatividade (%) anual em que os ambientes estão dentro dos padrões estabelecidos pela ISO 9241/2011 e da NR 17.

A NBR 16401 (2008) é uma revisão que cancelou e substituiu a antiga NBR 6401 de 1980, focada no projeto de instalações de ar-condicionado (parte 1), nos parâmetros de conforto térmico em ambientes condicionados (parte 2) e na qualidade do ar interior (parte 3). A norma é bastante detalhada aos parâmetros de conforto térmico em espaços internos. A norma se baseia fundamentalmente no ASHRAE Handbook Fundamentals de 2005 (ASHRAE, 2005) e define temperaturas internas que variam de 22,5 °C a 25,5 °C (para umidade relativa de 65 %), e 23,0 °C a 26,0 °C (para umidade relativa de 35%).

Segundo o *Department of Energy U.S.* (2022), a base para a integração do sistema de zona e ar é formular balanços de energia e umidade para a zona de ar e assim resolve-se as equações diferenciais ordinárias resultantes usando um preditor-corretor de aproximação. A formulação do esquema de solução começa com um balanço de calor no ar da zona, como ilustra a Equação 1:

$$C_z \frac{dT_z}{dt} = \sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i + \sum_{i=1}^{N_{surfaces}} h_i A_i (T_{si} - T_z) + \sum_{i=1}^{N_{zones}} \dot{m}_i C_p (T_{zi} - T_z) + \dot{m}_{inf} C_p (T_\infty - T_z) + \dot{Q}_{sys} \quad (1)$$

onde:

$C_z \frac{dT_z}{dt}$ = energia armazenada na zona de ar em ocorrências similares;

$\sum_{i=1}^{N_{sl}} Q_i$ = soma das cargas internas convectivas;

$\sum_{i=1}^{N_{surfaces}} h_i A_i (T_{si} - T_z)$ = transferência de calor por convecção das superfícies para as zonas;

$\sum_{i=1}^{N_{zones}} m_i C_p (T_{zi} - T_z)$ = transferência de calor devido à mistura de ar entre zonas;

$m_{inf} C_p (T_\infty - T_z)$ = transferência de calor devido à infiltração de ar externo;

Q_{sys} = sistemas de saída de ar;

$Cz = \rho_{air} C_p C_T$;

ρ_{air} = densidade do ar na zona;

C_p= calor específico do ar na zona;

C_t = multiplicador de capacidade de calor sensível.

METODOLOGIA

O experimento numérico tem como base as plantas do projeto da casa popular fornecida pela Caixa Econômica Federal, e é realizado na cidade de Belém-PA, sobre arquivos climáticos, compilados no ano de 2022, do projeto *International Weather for Energy Calculations* (IWEC) criado pela ASHARE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*) é disponibilizado na página da internet do *EnergyPlus*. Serão realizadas duas simulações, uma seguindo rigorosamente os materiais e dimensões do projeto original, e a outra substituindo os materiais construtivos que tem maior condutividade térmica, o bloco de concreto das paredes (por tijolo cerâmico) e a janela de alumínio (por janelas de madeira), visando alcançar melhorias no conforto térmico.

Foram usados três *softwares* neste trabalho: O *EnergyPlus*, que resolve as equações de balanço térmico para a edificação simulada, e gera os resultados da temperatura interna do ar e umidade relativa do ar; o *SketchUp*, no qual o desenho arquitetônico do edifício é desenvolvido; e o *Openstudio*, que interliga o *SketchUp* ao *EnergyPlus*, e que oferece uma interface mais dinâmica para a entrada e saída de dados, otimizando o estudo.

A Caixa Econômica Federal apresenta este material a título de sugestão. Como cada edificação a ser construída a partir deste material atenderá a realidades distintas, quando a Administração Pública optar por utilizar esta planta baixa, a proposta deverá ser revisada e ajustada por um profissional habilitado que deverá revisar o sistema estrutural a ser utilizado e as partes complementares necessárias à implantação das edificações, como muros de arrimo e ou terraplanagem.

Abaixo encontra-se a planta baixa com suas dimensões métricas (Figura 2 e 3), a perspectiva da casa popular (Figura 4), os materiais e suas dimensões (Tabela 1), os dados térmicos dos materiais construtivos (Tabela 2) e algumas informações construtivas fornecidas pelo programa governamental e pela Caixa Econômica Federal.

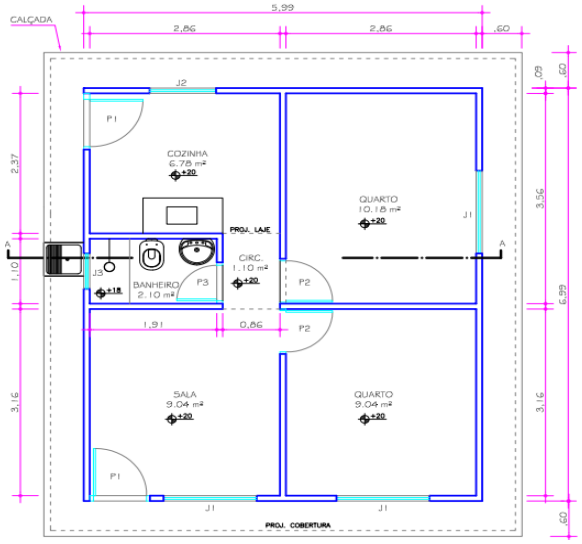

Figura 2 - Planta baixa da casa popular. Fonte: Caixa Econômica Federal, (2007).

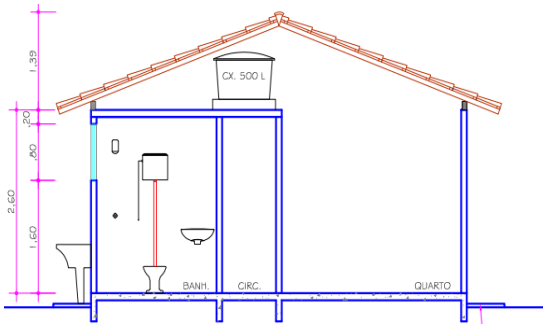

Figura 3 - Corte transversal da casa popular. Fonte: Caixa Econômica Federal, (2007).

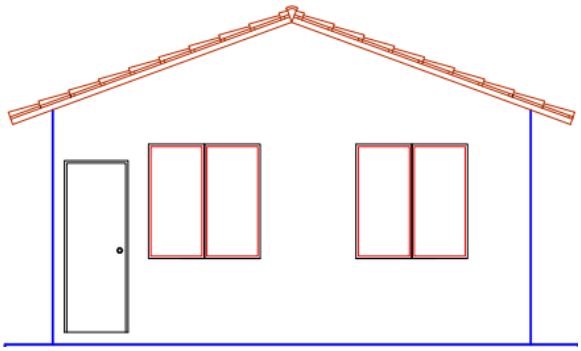

Figura 4 - Elevação frontal da casa popular. Fonte: Caixa Econômica Federal, (2007).

Tabela 1 – Materiais construtivos da casa popular. Fonte: Caixa Econômica Federal, (2007).

PISO

Lastro de Concreto – deverá ser executado lastro de concreto para contrapiso

FCK 10 Mpa, na espessura de 6cm;

Piso cimentado, com 2,5cm de espessura, executado em argamassa de cimento e areia.

Piso cerâmico esmaltado, linha popular 33x33cm PEI 3.

COBERTURA

Telhas cerâmicas tipo PLAN, sobre estrutura de madeira de lei.

ALVENARIA

Painéis de blocos de concreto (9x19x39cm), assentados com argamassa de cimento, cal e areia 1:0,5:8.

REVESTIMENTOS

Chapisco com argamassa de cimento e areia espessura de 0,5 cm e reboco tipo paulista com argamassa de cimento, cal e areia, espessura de 2,0 cm nas paredes internas, externas e no teto da laje do banheiro.

Pintura Látex PVA, 2 demãos, sobre uma camada de selador nas paredes internas e teto da laje do banheiro, pintura Látex acrílica em duas demãos sobre uma camada de selador para as paredes externas.

PORTAS E ESQUADRIAS

Portas de madeira de lei P1 (0,8 x 2,1 m), P2 (0,7 x 2,1 m) e P3 (0,6 x 2,1 m)

Janelas de alumínio, J1 (1,4 x 1,4 m), J2 (1 x 1,2 m) e J3 (0,6 x 0,8 m)

Vidro fantasia canelado 4mm.

Tabela 2 – Propriedades térmicas dos materiais. Fonte: Projeto 02:135.07-001/2. Desempenho térmico de edificações Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2003.

Material	Espessura (m)	Condutividade Térmica (W/mK)	Densidade Equivalente (Kg/m³)	Calor Específico (J/KgK)
Piso cerâmico	0,01	0,9	1600	920
Argamassa de assentamento	0,025	1,15	1600	1000
Reboco de argamassa	0,025	1,15	1800	1000
Laje de concreto	0,06	1,75	2200	1000
Telha cerâmica	0,02	0,7	1000	920
Textura acrílica	0,001	0,4	1300	1000
Madeira para cobertura	0,01	0,29	1000	1340
Porta de madeira	0,035	0,29	1000	1340
Bloco de concreto	0,09	1,75	2200	1000
Vidro Comum	0,004	1,0	2500	840
Janelas de Alumínio	0,02	230	2700	880
Tijolo cerâmico	0,09	0,9	1300	920
Janela de madeira	0,02	029	1000	1340

Abaixo é expresso o processo básico da simulação e as funcionalidades de cada aba no *Openstudio*.

A usabilidade da interface do *EnergyPlus* é difícil de ser manipulada, e por conta disso vincula-se a ele o *software OpenStudio*, para facilitar a operação de suas funcionalidades e para atuar como um gerenciador entre ele e o *SketchUp*.

Na aba *site* do *Openstudio* adiciona-se o arquivo climático no formato IWEC, onde estão contidas as informações climáticas da cidade. Na mesma aba definem-se as datas de análise, como ano, meses e dias. No caso, o ano definido foi o ano de 2022, com todos seus meses e dias.

Uma das principais abas do *Openstudio* é a aba *constructions*, onde adicionam-se dados referentes aos materiais construtivos da edificação, dados relacionados ao tipo de material, suas características térmicas e métricas, para então configurar itens específicos do edifício, como paredes, piso e telhado, e qual destes itens está em contato com determinado

espaço do ambiente, o que permite montar o padrão construtivo da edificação de acordo com suas características.

Na aba *geometry*, pode-se visualizar o desenho arquitetônico feito no *SketchUp*, que ilustra as zonas térmicas selecionadas em cada cômodo, assim como quais partes estão em contato com o solo, com radiações solares, com a ventilação do ambiente, além de ter uma visão ampla da estrutura.

A aba *facility* tem como principal função facilitar o entendimento do *Openstudio* em relação às características do ambiente como um todo, onde insere-se o padrão construtivo aplicado na aba *constructions*, entre outras funcionalidades.

Na aba *spaces* inserem-se os arquivos padrão de cada local criado e especificado. Nessa aba também é possível modificar áreas de contatos que podem estar incorretas, entre outras funcionalidades.

Na aba *Thermal* zones inserem-se padrões que podem estar presente na estrutura como infiltrações, aquecimento, resfriamento, entre outros, por meio de arquivos padronizados dentro do próprio *Openstudio* ou modelos criados no software.

Na aba *output variables*, selecionam-se as variáveis de saída, de um leque de opções onde estão pré-selecionadas variáveis sugeridas pelo próprio *software*. Neste trabalho, foram selecionadas variáveis de saída, a temperatura interna do ar (*zone air temperature*) e a umidade relativa interna do ar (*zone air relative humidity*) da edificação estudada.

Nas abas *run simulation* e *results summary* inicia-se a simulação e mostram-se os resultados que foram convertidos em tabelas e figuras.

Na Figura 5 mostra-se a casa popular desenhada no *SketchUp* conforme os parâmetros definidos pelo programa Minha Casa Minha Vida. Observa-se também na figura, botões adicionais (destacados em moldura na cor vermelha) referentes a um plugin externo, que vincula o *SketchUp* ao *Openstudio*, ao permitir a introdução de ferramentas iniciais do segundo, à interface do primeiro. Essas ferramentas permitem definir padrões iniciais para o edifício, como atributos, zonas térmicas adicionais, no caso de análises sobre cômodos separados, entre outras funcionalidades.

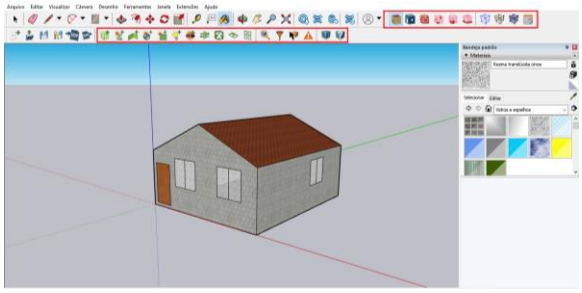

Figura 5 - Desenho da casa popular no *SketchUp*. Fonte: Autor, (2023).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos que são referentes a temperatura interna do ar e umidade relativa interna em cada cômodo com os materiais originários da planta baixa do programa governamental, com isso é gerado a curva de duração em horas onde é realizado a análise de conforto térmico com base na NBR 16401.

Nota-se na Tabela 3 uma temperatura interna do ar com uma média anual de 28,02 ºC, mínima de 23,43 ºC, máxima de 32,89 ºC e um desvio padrão de 1,6 ºC. O mês com a maior temperatura no banheiro foi o de maio e o mês com a menor temperatura foi o de janeiro.

O mês com a maior média da temperatura interna do ar no banheiro, que é o mês de dezembro apresentando uma temperatura mínima de 25,56 ºC, máxima de 32,06 ºC, uma média mensal de 28,65 ºC e um desvio padrão de 1,6 ºC.

O mês de março com a menor média da temperatura interna do ar no banheiro, resultando em uma temperatura mínima de 23,68 ºC, máxima de 29,83 ºC, uma média mensal de 26,88 ºC e um desvio padrão de 1,39 ºC.

Tabela 3 -Temperatura interna do ar no banheiro. Fonte: Autor, (2023).

Temperatura/Mês	Média °C	Mínima °C	Máxima °C	Desvio Padrão °C
Jan	27,2841	23,4350	30,9046	1,5864
Feb	27,1700	24,3824	30,1781	1,4065
Mar	26,8898	23,6851	29,8391	1,3981
Apr	27,5253	24,5853	30,9401	1,4012
May	28,3813	24,8445	32,8990	1,7317
Jun	28,1959	24,2921	31,6935	1,7485
Jul	28,5786	24,4194	32,2475	1,6776
Aug	28,6481	25,2127	32,2176	1,6970
Sep	27,8201	24,4904	31,0161	1,5542
Oct	28,5169	25,1488	31,6216	1,6642
Nov	28,6044	25,1122	31,6925	1,6332
Dec	28,6544	25,5601	32,0651	1,6005
Total	28,0291	23,4350	32,8990	1,6000

Na Tabela 4 tem-se a umidade relativa média anual de 79,71 %, mínima de 55,51 %, máxima de 99,37 % e um desvio padrão de 4,63 %. O mês com a maior umidade relativa interna do ar dentro do banheiro foi o de março e o mês com a menor umidade foi o de julho.

O mês com a maior média mensal de umidade relativa do ar dentro do banheiro, que é o mês de março, com uma umidade mínima de 75,30 %, máxima de 99,37 %, média de 86,65 % e um desvio padrão de 3,56 %.

O mês com a menor média mensal de umidade relativa do ar dentro do banheiro, que é o mês de

julho, com uma umidade mínima de 55,51 %, máxima de 85,76 %, média de 74,38 % e um desvio padrão de 5,33 %.

Tabela 4 - Umidade relativa interna do ar no banheiro. Fonte: Autor, (2023).

Umidade/Mês	Média %	Mínima %	Máxima %	Desvio Padrão %
Jan	84,5856	72,3631	96,2618	4,1003
Feb	84,0018	73,5575	94,0072	4,3071
Mar	86,6534	75,3043	99,3773	3,5645
Apr	84,3339	65,8329	95,7686	4,2822
May	79,7549	59,8821	91,6843	5,5067
Jun	77,9148	62,9425	92,5126	5,5999
Jul	74,3868	55,5155	85,7677	5,3330
Aug	74,7905	57,6600	87,5611	5,0444
Sep	79,4338	68,5988	89,9030	3,8691
Oct	76,7553	59,8063	90,6968	4,7552
Nov	76,9710	59,8117	87,8986	4,5541
Dec	77,4485	65,4482	87,1237	4,6439
Total	79,7183	55,5155	99,3773	4,6300

Nota-se na Tabela 5 uma temperatura média anual de 27,25 ºC, mínima de 22,69 ºC, máxima de 32,64 ºC e um desvio padrão de 1,99 ºC. O mês com a maior temperatura no quarto frontal foi o de maio e o mês com a menor temperatura foi o de janeiro.

O mês com a maior média da temperatura interna do ar no quarto frontal, que é o mês de agosto apresentando uma temperatura mínima de 24,25 ºC, máxima de 32,25 ºC, uma média mensal de 29,95 ºC e um desvio padrão de 2,07 ºC.

O mês de março com a menor média da temperatura interna do ar no quarto frontal, resultando em uma temperatura mínima de 22,93 ºC, máxima de 29,89 ºC, uma média mensal de 26,36 ºC e um desvio padrão de 1,73 ºC.

Tabela 5 - Temperatura interna do ar no quarto frontal. Fonte: Autor, (2023).

Temperatura/Mês	Média ºC	Mínima ºC	Máxima ºC	Desvio Padrão ºC
Jan	26,4993	22,6934	30,3406	1,8124
Feb	26,4532	23,4316	29,9455	1,7243
Mar	26,3653	22,9361	29,8953	1,7391
Apr	26,8366	23,7119	30,7996	1,7514
May	27,6023	23,8868	32,6417	2,1045
Jun	27,5101	23,4484	31,8877	2,1952
Jul	27,8234	23,5067	32,4282	2,1091
Aug	27,9571	24,2545	32,2500	2,0786
Sep	27,2076	23,5399	30,9604	1,8640
Oct	27,6597	24,2323	31,2583	1,9218
Nov	27,5241	23,8830	31,1116	1,8729
Dec	27,4900	24,3761	31,2911	1,8090
Total	27,2500	22,6934	32,6417	1,9970

Na Tabela 6 tem-se uma umidade relativa média anual de 85,49 %, mínima de 58,07 %, máxima de 99,99 % e um desvio padrão de 5,96 %. O mês com a maior umidade relativa dentro do quarto frontal foi o de abril e o mês com a menor umidade relativa foi o de julho.

O mês com a maior média mensal de umidade relativa do ar dentro do quarto frontal, que é o mês de março, com uma umidade mínima de 79,60 %, máxima de 99,53 %, média de 91,45 % e um desvio padrão de 3,31 %.

O mês com a menor média mensal de umidade relativa do ar dentro do quarto frontal, que é o mês de julho, com uma umidade mínima de 58,07 %, máxima de 90,78 %, média de 79,86 % e um desvio padrão de 5,55 %.

Tabela 6 - Umidade relativa interna do ar no quarto frontal. Fonte: Autor, (2023).

Umidade/Mês	Média %	Mínima %	Máxima %	Desvio Padrão %
Jan	90,5497	76,9626	99,3346	3,4089
Feb	89,7054	77,9883	99,7129	3,8983
Mar	91,4596	79,6032	99,5323	3,3158
Apr	89,8225	72,9988	99,9934	4,1322
May	85,6896	62,4993	97,8542	5,6605
Jun	83,3330	68,5301	97,3269	5,8724
Jul	79,8613	58,0784	90,7829	5,5578
Aug	80,0868	64,2778	92,6894	5,0462
Sep	84,3714	71,8902	94,7559	3,7977
Oct	82,6987	65,2068	95,9255	4,5993
Nov	83,9808	68,6602	93,5190	4,2452
Dec	84,7615	72,5982	94,8599	4,3616
Total	85,4937	58,0784	99,9934	5,9638

Nota-se na Tabela 7 uma temperatura média anual de 27,18 ºC, mínima de 22,67 ºC, máxima de 32,76 ºC e um desvio padrão de 2,03 ºC. O mês com a maior temperatura dentro do quarto traseiro foi o de dezembro e o mês com a menor temperatura foi o de janeiro.

O mês com a maior média da temperatura interna do ar no quarto traseiro, que é o mês de outubro apresentando uma temperatura mínima de 24,20 ºC, máxima de 32,53 ºC, uma média mensal de 27,74 ºC e um desvio padrão de 2,12 ºC.

O mês de março com a menor média da temperatura interna do ar no quarto traseiro, resultando em uma temperatura mínima de 22,90 ºC, máxima de 30,83 ºC, uma média mensal de 26,35 ºC e um desvio padrão de 1,80 ºC.

Tabela 7 -Temperatura interna do ar no quarto de trás. Fonte: Autor, (2023).

Temperatura/Mês	Média ºC	Mínima ºC	Máxima ºC	Desvio Padrão ºC
Jan	26,5797	22,6705	31,7047	1,9238
Feb	26,4860	23,4114	30,6621	1,7991
Mar	26,3540	22,9045	30,8335	1,8024
Apr	26,7450	23,6508	30,9182	1,7470
May	27,3300	23,8349	32,6043	2,0079
Jun	27,1641	23,4122	31,8980	2,0557
Jul	27,4606	23,3834	32,5445	2,0041
Aug	27,7404	24,1701	32,6602	2,1013
Sep	27,1935	23,4598	31,6844	2,0133
Oct	27,7426	24,2038	32,5331	2,1217
Nov	27,6688	23,9144	32,4316	2,0333
Dec	27,6483	24,4019	32,7622	1,9773
Total	27,1813	22,6705	32,7622	2,0309

Na Tabela 8 tem-se uma umidade relativa média anual de 85,85 %, mínima de 59 %, máxima de 100 % e um desvio padrão de 5,88 %. O mês com a maior umidade relativa dentro do quarto traseiro foi o de abril e o mês com a menor umidade relativa foi o de julho.

O mês com a maior média mensal de umidade relativa do ar dentro do quarto traseiro, que é o mês de março, com uma umidade mínima de 76,83 %, máxima de 99,85 %, média de 91,58 % e um desvio padrão de 3,44 %.

O mês com a menor média mensal de umidade relativa do ar dentro do quarto traseiro, que é o mês de agosto, com uma umidade mínima de 62,82 %, máxima de 93,15 %, média de 81,04 % e um desvio padrão de 5,11 %.

Tabela 8 - Umidade relativa interna do ar no quarto de trás. Fonte: Autor, (2023).

Umidade/Mês	Média %	Mínima %	Máxima %	Desvio Padrão %
Jan	90,2471	76,8941	99,4672	3,7000
Feb	89,6257	77,2325	99,8225	4,1360
Mar	91,5830	76,8379	99,8588	3,4471
Apr	90,3065	73,1726	100	4,1133
May	86,9330	63,1848	98,3888	5,2787
Jun	84,8447	69,6879	97,5852	5,4151
Jul	81,4090	59,0047	91,4643	5,3777
Aug	81,0490	62,8211	93,1584	5,1198
Sep	84,5196	71,6437	95,1943	4,0833
Oct	82,4617	61,8709	96,2225	5,2016
Nov	83,4454	67,5803	93,5210	4,6970
Dec	84,1573	70,3751	94,6258	4,8050
Total	85,8520	59,0047	100	5,8811

Nota-se na Tabela 9 uma temperatura média anual de 26,76 ºC, mínima de 22,41 ºC, máxima de 31,69 ºC e um desvio padrão de 1,96 ºC. O mês com a maior temperatura dentro da sala e cozinha foi o de maio e o mês com a menor temperatura foi o de janeiro.

O mês com a maior média da temperatura interna do ar na sala e cozinha, que é o mês de agosto apresentando uma temperatura mínima de 23,89 ºC, máxima de 31,40 ºC, uma média mensal de 27,32 ºC e um desvio padrão de 2 ºC.

O mês de março com a menor média da temperatura interna do ar na sala e cozinha, resultando em uma temperatura mínima de 22,67 ºC, máxima de 29,71 ºC, uma média mensal de 26,02 ºC e um desvio padrão de 1,76 ºC.

Tabela 9 -Temperatura interna do ar na sala e cozinha. Fonte: Autor, (2023).

Temperatura/Mês	Média ºC	Mínima ºC	Máxima ºC	Desvio Padrão ºC
Jan	26,1658	22,4118	30,2287	1,8868
Feb	26,0910	23,0996	29,6894	1,7758
Mar	26,0217	22,6739	29,7171	1,7682
Apr	26,3558	23,3442	30,2518	1,7384
May	26,9674	23,5454	31,6918	2,0188
Jun	26,8209	23,1580	30,9897	2,0727
Jul	27,0939	23,2110	31,4389	1,9957
Aug	27,3239	23,8959	31,4004	2,0081
Sep	26,7766	23,2248	30,5109	1,8649
Oct	27,2415	23,9329	30,9861	1,9579
Nov	27,1378	23,5456	30,9054	1,9279
Dec	27,0735	24,0385	31,0806	1,8916
Total	26,7609	22,4118	31,6918	1,9656

Na Tabela 10 tem-se uma umidade relativa média anual de 88,96 %, mínima de 62,49 %, máxima de 100 % e um desvio padrão de 5,46 %. Os meses com a maior umidade relativa dentro da sala e cozinha foram fevereiro, março, abril e maio e o mês com a menor umidade relativa foi o de julho.

O mês com a maior média mensal de umidade relativa do ar dentro da sala e cozinha, que é o mês de março, com uma umidade mínima de 82,93 %, máxima de 100 %, média de 94,32 % e um desvio padrão de 3,28 %.

O mês com a menor média mensal de umidade relativa do ar dentro da sala e cozinha, que é o mês de agosto, com uma umidade mínima de 69,66 %, máxima de 94,96 %, média de 84,06 % e um desvio padrão de 4,42 %.

Tabela 10 - Umidade relativa interna do ar na sala e cozinha. Fonte: Autor, (2023).

Umidade/Mês	Média %	Mínima %	Máxima %	Desvio Padrão %
Jan	93,4368	80,7582	99,9982	3,3357
Feb	92,7182	80,1035	100	3,6167
Mar	94,3244	82,9349	100	3,2804
Apr	93,3183	78,8337	100	3,6072
May	89,8884	67,0787	100	4,9792
Jun	87,6553	73,5613	99,5778	5,1254
Jul	84,2016	62,4931	92,7716	4,8412
Aug	84,0675	69,6645	94,9729	4,4212
Sep	87,5318	75..4742	96,6650	3,5675
Oct	85,7997	68,3527	97,6710	4,3483
Nov	87,0275	72,7726	97,0645	4,1589
Dec	87,9285	75,7263	97,5191	4,2783
Total	88,9617	62,4931	100	5,4631

Percebe-se na Figura 6 que a umidade (linha laranja) no banheiro vai de 55,51 % a 99,37 %, portanto, utiliza-se o parâmetro de conforto térmico entre 22,5 ºC a 25,5 ºC da NBR 16401. A temperatura interna

do banheiro (linha azul) vai de 23,43 ºC a 32,89 ºC, logo, o banheiro ficou dentro dos padrões de conforto térmico por 510 horas anuais de um total de 8.760 horas, representado com um traço na vertical e pontos vermelhos.

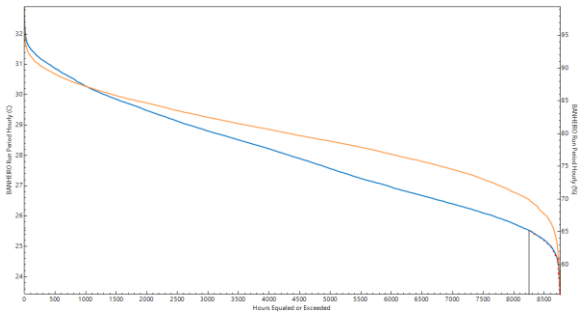

Figura 6 - Conforto térmico por horas totais do ano de 2022 no banheiro. Fonte: Autor, (2023).

Nota-se na Figura 7 a umidade relativa (linha laranja) no quarto frontal vai de 58,07 % a 99,99 %, portanto, utiliza-se o parâmetro de 22,5 ºC a 25,5 ºC. A temperatura interna do quarto frontal (linha azul) vai de 22,69 ºC a 32,64 ºC, logo, o quarto frontal ficou dentro dos padrões de conforto térmico por 2.160 horas anuais de um total de 8.760 horas, representado com um traço na vertical e pontos vermelhos.

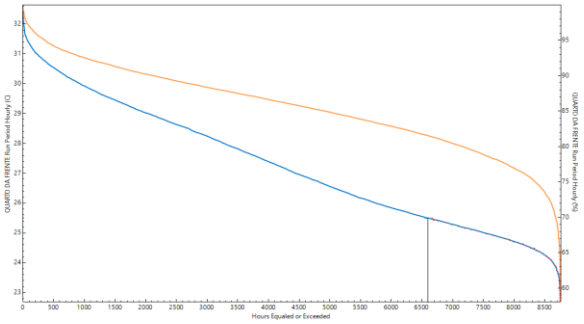

Figura 7 - Conforto térmico por horas totais do ano de 2022 no quarto frontal. Fonte: Autor, (2023).

Nota-se na Figura 8 a umidade relativa (linha laranja) no quarto traseiro vai de 59 % a 100 %, portanto, utiliza-se o parâmetro de 22,5 ºC a 25,5 ºC da NBR 16401. A temperatura interna do quarto traseiro (linha azul) vai de 22,67 ºC a 32,76 ºC, logo, o quarto traseiro ficou dentro dos padrões de conforto térmico por 2.340 horas anuais de um total de 8.760 horas, representado com um traço na vertical e pontos vermelhos.

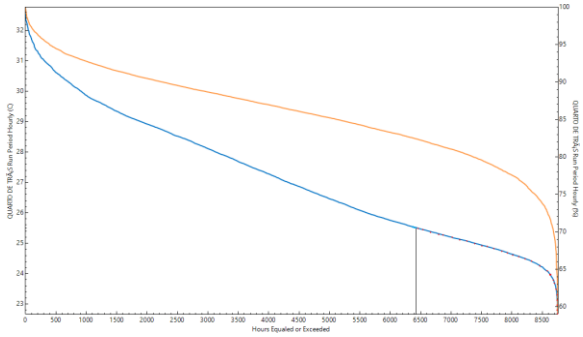

Figura 8 - Conforto térmico por horas totais do ano de 2022 no quarto traseiro. Fonte: Autor, (2023).

Nota-se na Figura 9 a umidade relativa (linha laranja) na cozinha e sala vai de 62,49 % a 100 %, portanto, utiliza-se o parâmetro de 22,5 ºC a 25,5 ºC da NBR 16401. A temperatura interna da sala e cozinha (linha azul) vai de 22,41 ºC a 31,69 ºC, logo, a sala e cozinha ficaram dentro dos padrões de conforto térmico por 3.010 horas anuais de um total de 8.760 h, representado com um traço na vertical e pontos vermelhos. Nota-se também que a temperatura mínima estipulada pela NBR 16401 é de 22,5 ºC e a temperatura mínima resultante na simulação na sala e cozinha é de 22,41 ºC, logo esses 0,09 ºC de diferença do parâmetro da NBR 16401 foi considerado como dentro dos padrões térmicos, devido as horas medidas para essa mínima serem até mesmo imperceptíveis na própria curva de duração.

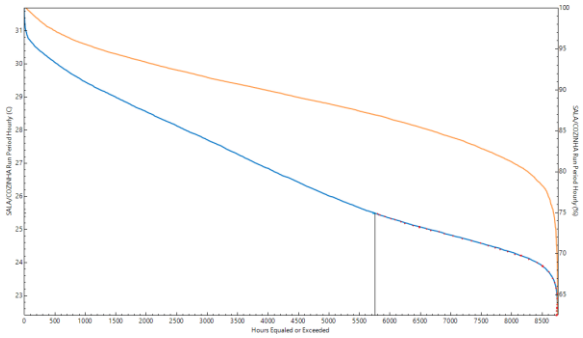

Figura 9 - Conforto térmico por horas totais do ano de 2022 na sala e cozinha. Fonte: Autor, (2023).

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos de simulações substituindo o bloco de concreto por tijolo cerâmico, e as janelas de alumínio por janelas de madeiras.

Na Tabela 11 mostra-se a temperatura interna do ar no banheiro com as substituições de materiais construtivos. Obteve-se uma temperatura média anual de 27.39 ºC, uma mínima de 23.03 ºC, uma máxima de 31.9 ºC e um desvio padrão de 1.66 ºC.

O mês que apresentou a maior média anual da temperatura interna do ar foi o de agosto, onde sua temperatura média foi de 27,94 ºC, mínima de 24,61

ºC, máxima de 31,3 ºC e um desvio padrão de 1,68 ºC.

O mês que apresentou a menor média anual da temperatura interna do ar foi o de março, onde sua temperatura média foi de 26,43 ºC, mínima de 23,24 ºC, máxima de 29,36 ºC e um desvio padrão de 1,41 ºC.

Tabela 11 -Temperatura interna do ar no banheiro com a troca de materiais. Fonte: Autor, (2023).

Temperatura/Mês	Média ºC	Mínima ºC	Máxima ºC	Desvio Padrão ºC
Jan	26,7538	23,0384	30,1990	1,5627
Feb	26,6080	23,9496	29,5632	1,4136
Mar	26,4353	23,2472	29,3630	1,4183
Apr	26,9392	24,2223	30,2156	1,3898
May	27,6825	24,3306	31,9086	1,6772
Jun	27,5295	23,8823	30,8535	1,6967
Jul	27,8320	23,8988	31,3025	1,6395
Aug	27,9436	24,6120	31,3075	1,6806
Sep	27,2751	23,9877	30,3395	1,5675
Oct	27,8700	24,6549	30,8453	1,6459
Nov	27,9060	24,6025	30,8777	1,5991
Dec	27,9189	24,9485	31,1402	1,5614
Total	27,3971	23,0384	31,9086	1,6664

Na Tabela 12 mostra-se a umidade relativa interna do ar no banheiro com as trocas de materiais (bloco de concreto e janela de alumínio), onde resultou-se em uma umidade média anual de 82,57 %, uma mínima de 57,66 %, máxima de 99,89 % e um desvio padrão de 6,04 %.

O mês que apresentou a maior média anual da umidade interna do ar foi o de março, onde sua umidade média foi de 88,91 %, mínima de 77,49 %, máxima de 99,89 % e um desvio padrão de 3,53 %.

O mês que apresentou a menor média anual da umidade interna do ar foi o de julho, onde sua umidade média foi de 77,53 %, mínima de 57,66 %, máxima de 88,48 % e um desvio padrão de 5,40 %.

Tabela 12 - Umidade interna do ar no banheiro com a troca de materiais. Fonte: Autor, (2023)

Umidade/Mês	Média %	Mínima %	Máxima %	Desvio Padrão %
Jan	87,1528	74,1985	98,0821	3,9874
Feb	86,7138	75,0503	96,6359	4,3885
Mar	88,9103	77,4951	99,8990	3,5371
Apr	87,1802	67,8791	97,9468	4,2735
May	82,9186	62,4090	94,9000	5,4951
Jun	80,8599	65,6977	94,8166	5,5864
Jul	77,5347	57,6603	88,4894	5,4041
Aug	77,7858	59,8788	90,7554	5,1914
Sep	81,8989	70,6790	92,6177	4,0469
Oct	79,5760	61,8436	93,7675	4,9838
Nov	80,0307	62,0524	90,7652	4,6149
Dec	80,6916	69,6323	90,6754	4,6747
Total	82,5717	57,6603	99,8990	6,0487

Na Tabela 13 mostra-se a temperatura interna do ar no quarto frontal com as trocas de materiais, onde resultou-se em uma temperatura média anual de 26,77 ºC, uma mínima de 22,33 ºC, máxima de 32,5 ºC e um desvio padrão de 2,1 ºC.

O mês que apresentou a maior média anual da temperatura interna do ar foi o de agosto, onde sua temperatura média foi de 27,45 ºC, mínima de 23,71 ºC, máxima de 32,09 ºC e um desvio padrão de 2,25 ºC.

O mês que apresentou a menor média anual da temperatura interna do ar foi o de março, onde sua temperatura média foi de 26 ºC, mínima de 22,54 ºC, máxima de 29,58 ºC e um desvio padrão de 1,84 ºC.

Tabela 13 -Temperatura do ar no quarto frontal com a troca de materiais. Fonte: Autor, (2023).

Temperatura/Mês	Média ºC	Mínima ºC	Máxima ºC	Desvio Padrão ºC
Jan	26,0818	22,3363	29,9150	1,8742
Feb	26,0230	23,0535	29,6793	1,8244
Mar	26,0047	22,5436	29,5855	1,8414
Apr	26,4100	23,2958	30,6256	1,8790
May	27,1659	23,4510	32,5192	2,2711
Jun	27,1493	23,0501	31,8814	2,4156
Jul	27,3827	23,0566	32,3855	2,3322
Aug	27,4523	23,7167	32,0944	2,2530
Sep	26,7139	23,0667	30,6200	1,9600
Oct	27,0666	23,7182	30,6836	1,9769
Nov	26,9381	23,4390	30,5735	1,9264
Dec	26,8907	23,8435	30,7422	1,8673
Total	26,7788	22,3363	32,5192	2,1079

Na Tabela 14 mostra-se a umidade relativa interna do ar no quarto frontal com as trocas de materiais, onde resultou-se em uma umidade média anual de 87,77 %, uma mínima de 58,39 %, máxima de 100 % e um desvio padrão de 6,41 %.

O mês que apresentou a maior média anual da umidade interna do ar foi o de março, onde sua umidade média foi de 93,29 %, mínima de 81,58 %, máxima de 100 % e um desvio padrão de 3,62 %.

O mês que apresentou a menor média anual da umidade interna do ar foi o de julho, onde sua umidade média foi de 81,92 %, mínima de 58,39 %, máxima de 93,39 % e um desvio padrão de 6,60 %.

Tabela 14 - Umidade relativa interna do ar no quarto frontal com a troca de materiais. Fonte: Autor, (2023)

Umidade/Mês	Média %	Mínima %	Máxima %	Desvio Padrão %
Jan	92,6895	78,0425	100	3,7487
Feb	91,8512	78,3997	100	4,3421
Mar	93,2923	81,5812	100	3,6237
Apr	91,9880	73,4977	100	4,6914
May	87,8633	62,7483	100	6,5357
Jun	85,1404	68,1220	99,7946	6,8866
Jul	81,9215	58,3930	93,3928	6,6062
Aug	82,4121	64,7568	95,7325	5,9411
Sep	86,7139	73,1114	97,6089	4,3615
Oct	85,4420	66,9382	99,0161	5,1490
Nov	86,7548	70,1037	96,7053	4,6108
Dec	87,6253	74,5561	98,3584	4,7419
Total	87,7762	58,3930	100	6,4187

Na Tabela 15 mostra-se a temperatura interna do ar no quarto traseiro com as trocas de materiais, onde resultou-se em uma temperatura média anual de 26,73 ºC, uma mínima de 22,31 ºC, máxima de 32,82 ºC e um desvio padrão de 2,15 ºC.

O mês que apresentou a maior média anual da temperatura interna do ar foi o de agosto, onde sua temperatura média foi de 27,26 ºC, mínima de 23,64 ºC, máxima de 32,72 ºC e um desvio padrão de 2,28 ºC.

O mês que apresentou a menor média anual da temperatura interna do ar foi o de março, onde sua temperatura média foi de 26,03 ºC, mínima de 22,51 ºC, máxima de 31,03 ºC e um desvio padrão de 1,94 ºC.

Tabela 15 -Temperatura do ar no quarto traseiro com a troca de materiais. Fonte, Autor, (2023).

Temperatura/Mês	Média ºC	Mínima ºC	Máxima ºC	Desvio Padrão ºC
Jan	26,1999	22,3193	31,8611	2,0296
Feb	26,0975	23,0341	30,7448	1,9332
Mar	26,0363	22,5185	31,0347	1,9413
Apr	26,3354	23,2329	30,8147	1,8741
May	26,8544	23,4064	32,5680	2,1247
Jun	26,7261	22,9539	31,9277	2,1936
Jul	26,9682	22,9569	32,6191	2,1611
Aug	27,2640	23,6467	32,7260	2,2808
Sep	26,8007	23,0001	31,8434	2,1869
Oct	27,2544	23,7037	32,6976	2,2727
Nov	27,1506	23,4584	32,4558	2,1581
Dec	27,1068	23,8618	32,8236	2,1004
Total	26,7376	22,3193	32,8236	2,1544

Na Tabela 16 mostra-se a umidade relativa interna do ar no quarto traseiro com as trocas de materiais, onde resultou-se em uma umidade média anual de 87,99 %, uma mínima de 59,39 %, máxima de 100 % e um desvio padrão de 6,32 %.

O mês que apresentou a maior média anual da umidade interna do ar foi o de março, onde sua umidade média foi de 93,19 %, mínima de 77,14 %, máxima de 100 % e um desvio padrão de 3,88 %.

O mês que apresentou a menor média anual da umidade interna do ar foi o de agosto, onde sua umidade média foi de 83,25 %, mínima de 62,40 %, máxima de 96,13 % e um desvio padrão de 5,97 %.

Tabela 16 - Umidade interna do ar no quarto traseiro com a troca de materiais. Fonte: Autor, (2023).

Umidade/Mês	Média %	Mínima %	Máxima %	Desvio Padrão %
Jan	92.2011	77,9176	100	4,2107
Feb	91,5610	77,1427	100	4,7185
Mar	93,1979	77,1479	100	3,8845
Apr	92,3717	73,6283	100	4,6555
May	89,2725	63,7236	100	5,8906
Jun	86,9672	70,0786	99,9598	6,0552
Jul	83,6818	59,3912	93,9840	6,1417
Aug	83,2516	62,4063	96,1356	5,9708
Sep	86,4095	71,9470	97,9744	4,8639
Oct	84,7486	61,9371	99,2395	6,0427
Nov	85,9093	68,6117	96,6135	5,3309
Dec	86,7489	70,0392	98,1285	5,4510
Total	87,9988	59,3912	100	6,3269

Na Tabela 17 mostra-se a temperatura interna do ar na sala e cozinha com as trocas de materiais, onde gerou-se uma temperatura média anual de 26,23 ºC, uma mínima de 22,08 ºC, máxima de 31,19 ºC e um desvio padrão de 2 ºC.

O mês que apresentou a maior média anual da temperatura interna do ar foi o de agosto, onde sua temperatura média foi de 26,72 ºC, mínima de 23,38 ºC, máxima de 30,9 ºC e desvio padrão de 2,08 ºC.

O mês que apresentou a menor média anual da temperatura interna do ar foi o de março, onde sua temperatura média foi de 25,61 ºC, mínima de 22,29 ºC, máxima de 29,26 ºC e desvio padrão de 1,83 ºC.

Tabela 17 -Temperatura do ar na sala e cozinha com a troca de materiais. Fonte: Autor, (2023).

Temperatura/Mês	Média ºC	Mínima ºC	Máxima ºC	Desvio Padrão ºC
Jan	25,7409	22,0811	29,8427	1,9434
Feb	25,6438	22,7311	29,2946	1,8495
Mar	25,6106	22,2965	29,2611	1,8313
Apr	25,8767	22,9239	29,8469	1,8089
May	26,4521	23,1185	31,1902	2,0882
Jun	26,3567	22,6628	30,6552	2,1739
Jul	26,5508	22,7835	31,0410	2,0986
Aug	26,7249	23,3862	30,9301	2,0823
Sep	26,2068	22,7435	29,9934	1,9034
Oct	26,6025	23,4278	30,3064	1,9761
Nov	26,5481	23,1070	30,3012	1,9705
Dec	26,4902	23,5248	30,4886	1,9490
Total	26,2381	22,0811	31,1902	2,0150

Na Tabela 18 mostra-se a umidade relativa interna do ar na sala e cozinha com as trocas de materiais, onde obteve-se uma umidade média anual de 91,42 %, uma mínima de 63,97 %, máxima de 100 % e um desvio padrão de 5,56 %.

O mês que apresentou a maior média anual da umidade interna do ar foi o de março, onde sua umidade média foi de 96,16 %, mínima de 85,62 %, máxima de 100 % e um desvio padrão de 3,18 %.

O mês que apresentou a menor média anual da umidade interna do ar foi o de julho, onde sua umidade média foi de 86,73 %, mínima de 63,97 %, máxima de 95,71 % e um desvio padrão de 5,45 %.

Tabela 18 - Umidade interna do ar na sala e cozinha com a troca de materiais. Fonte: Autor, (2023).

Umidade/Mês	Média %	Mínima %	Máxima %	Desvio Padrão %
Jan	95,4245	82,0166	100	3,4721
Feb	94,7586	82,0445	100	3,7975
Mar	96,1645	85,6255	100	3,1839
Apr	95,4789	80,1439	100	3,6562
May	92,3654	68,5854	100	5,3925
Jun	89,8848	74,5661	100	5,663
Jul	86,7354	63,9762	95,712	5,4512
Aug	86,8413	71,0088	97,6249	4,9654
Sep	90,2717	77,5938	99,6587	3,9681
Oct	88,7956	70,2578	99,9311	4,7943
Nov	89,8769	75,2517	99,7768	4,519
Dec	90,7734	77,8299	100	4,6991
Total	91,4209	63,9762	100	5,5617

Percebe-se na Figura 10 que a umidade (linha laranja) no banheiro vai de 57,66 % a 99,89 %, portanto, utiliza-se o parâmetro de conforto térmico entre 22,5 ºC a 25,5 ºC da NBR 16401. A temperatura interna do banheiro (linha azul) vai de 23,03 ºC a 31,9 ºC, logo, o banheiro ficou dentro dos padrões de conforto térmico por 1.260 horas anuais de um total de 8.760 horas, representado com um traço e pontos vermelhos.

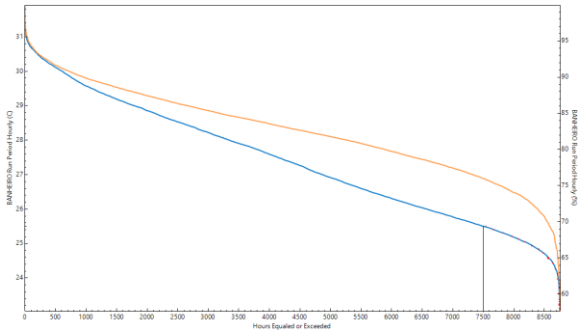

Figura 10 - Conforto térmico por horas no banheiro com a troca de materiais. Fonte: Autor, (2023).

Nota-se na Figura 11 a umidade relativa (linha laranja) no quarto frontal vai de 58,39 %, a 100 %, portanto, utiliza-se o parâmetro de 22,5 ºC a 25,5 ºC. A temperatura interna do quarto frontal (linha azul) vai de 22,33 ºC a 32,5 ºC. Percebe-se que a temperatura mínima estipulada pela NBR 16401 é de 22,5 ºC e a temperatura mínima resultante na simulação do quarto frontal é de 22,33 ºC, logo esses 0,17 ºC de diferença do parâmetro da NBR 16401 foi considerado como dentro dos padrões térmicos, devido as horas medidas para essa mínima serem imperceptíveis no próprio gráfico. Com isso, o quarto frontal ficou dentro dos padrões de conforto térmico por 3.160 horas anuais de um total de 8.760 horas, representado com um traço na vertical e pontos vermelhos.

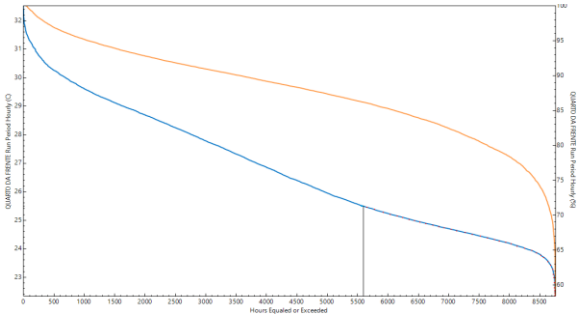

Figura 11 - Conforto térmico por horas quarto frontal com a troca de materiais. Fonte: Autor, (2023).

Na Figura 12 a umidade (linha laranja) no quarto traseiro vai de 59,39 % a 100 %, portanto, utiliza-se o parâmetro de 22,5 ºC a 25,5 ºC da NBR 16401. A temperatura interna do quarto traseiro (linha azul) vai de 22,31 ºC a 32,82 ºC. Os 0,19 ºC de diferença do parâmetro da NBR 16401 para a temperatura mínima foi considerado como dentro dos padrões térmicos. Com isso, o quarto traseiro ficou dentro dos padrões térmicos por 3.260 horas anuais. representado com um traço na vertical e pontos vermelhos.

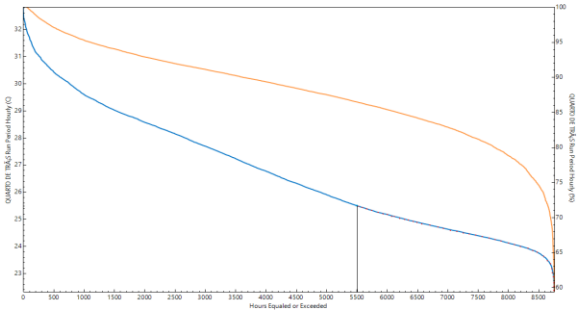

Figura 12 - Conforto térmico no quarto traseiro com a troca de materiais. Fonte: Autor, (2023).

Nota-se na Figura 13 a umidade relativa (linha laranja) na cozinha e sala vai de 63,97 % a 100 %, portanto, utiliza-se o parâmetro de 22,5 ºC a 25,5 ºC da NBR 16401. A temperatura interna da sala e cozinha (linha azul) vai de 22,08 ºC a 31,19 ºC, logo, a sala e cozinha ficaram dentro dos padrões de conforto térmico por 3.820 horas anuais de um total de 8.760 h, representado com um traço na vertical e horizontal e pontos vermelhos.

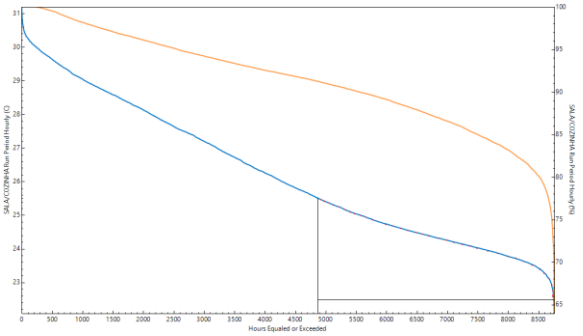

Figura 13 - Conforto térmico na sala e cozinha com a troca de materiais. Fonte: Autor, (2023).

A troca dos materiais propostos na própria planta baixa se dá com o objetivo de diminuir a temperatura interna do ar na casa popular e consequentemente aumentando o período em horas anuais de conforto térmico na casa.

No banheiro com os materiais originários da planta baixa o conforto térmico ficou em 510 horas do ano de 2022, com a troca de materiais o conforto térmico alcançou 1.260 horas.

No quarto frontal com os materiais propostos pela própria planta baixa o conforto térmico ficou em 2.160 horas do ano de 2022, com a troca de materiais o conforto térmico alcançou 3.160 horas.

No quarto traseiro com os materiais tradicionais da planta baixa o conforto térmico ficou em 2.340 horas do ano de 2022, com a troca de materiais o conforto térmico alcançou 3.260 horas.

Na sala e cozinha com os materiais da planta baixa o conforto térmico ficou em 3.010 horas do ano de 2022, com a troca de materiais o conforto térmico alcançou 3.820 horas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O experimento numérico apresentado neste trabalho simulou sob a perspectiva do desempenho térmico estrutural, uma moradia popular, destinada a famílias de baixa renda. Por se tratar de um projeto relativamente novo aprimoramentos devem ser constantes visando a melhoria de vida dos moradores. O estudo realizado mostra que uma única planta baixa e seus materiais construtivos não são viáveis para todas as regiões do Brasil, pois cada região possui características climatológicas específicas, onde os mesmos materiais utilizados no sul do Brasil podem causar um grande desconforto no Norte.

Na primeira simulação utilizou-se o padrão dimensional e construtivo da planta baixa resultando em uma temperatura interna do ar no banheiro com uma média anual de 28,02 ºC, mínima de 23,43 ºC, máxima de 32,89 ºC e um desvio padrão de 1,6 ºC. Uma temperatura média anual no quarto frontal de 27,25 ºC, mínima de 22,69 ºC, máxima de 32,64 ºC e um desvio padrão de 1,99 ºC. Uma temperatura média anual no quarto traseiro de 27,18 ºC, mínima de 22,67 ºC, máxima de 32,76 ºC e um desvio padrão de 2,03 ºC. Uma temperatura média anual na sala e cozinha de 26,76 ºC, mínima de 22,41 ºC, máxima de 31,69 ºC e um desvio padrão de 1,96 ºC.

Na segunda simulação onde ocorreu a troca do bloco de concreto e janelas de alumínio por tijolo cerâmico e janela de madeira, o banheiro apresentou uma temperatura média anual de 27,39 ºC, uma mínima de 23,03 ºC, máxima de 31,9 ºC e um desvio padrão de 1,66 ºC. O quarto frontal apresentou uma temperatura média anual de 26,77 ºC, uma mínima de 22,33 ºC, máxima de 32,51 ºC e um desvio padrão de 2,1 ºC. O quarto traseiro apresentou uma temperatura média anual de 26,73 ºC, uma mínima de 22,31 ºC, máxima de 32,82 ºC e um desvio padrão de 2,15 ºC. A sala e cozinha apresentam uma temperatura média anual de 26,23 ºC, uma mínima de 22,08 ºC, máxima de 31,19 ºC e um desvio padrão de 2,01 ºC.

Em ambas as simulações a sala e cozinha sempre apresentaram estar por mais horas dentro dos padrões de conforto térmico e o banheiro as menores horas em conforto térmico, os quartos tiveram temperaturas próximas umas das outras.

O levantamento financeiro com a troca de materiais não foi feito devido a planta não apresentar o quantitativo de blocos de concreto necessário em cada parede, mas estima-se uma redução de custos devido o bloco de concreto ser mais caro que o tijolo cerâmico de acordo com o catálogo de preços da C&C (casa e construção).

Com a substituição de materiais, o banheiro aumentou seu conforto térmico em 750 horas no ano de 2022. O quarto frontal aumentou seu conforto térmico em 1.000 horas. O quarto traseiro aumentou seu conforto térmico em 1.480 horas. A sala e cozinha aumentaram seu conforto térmico em 810 horas.

A escolha dos componentes construtivos de uma edificação é de fundamental importância, principalmente em locais caracterizados pelo clima quente e seco. Diante de tais características, o uso da inércia térmica se apresenta como uma das principais estratégias de condicionamento passivo durante o verão, uma vez que a capacidade térmica dos materiais pode ser usada para reduzir a produção de calor interno durante o dia. A ventilação seletiva também é uma estratégia recomendada. Através do uso dessa estratégia, o movimento do ar é reduzido nos períodos quentes do dia e os ventos são captados à noite, quando a temperatura do ar é menor, contribuindo para o resfriamento da estrutura (MACIEL, 2002).

Com o auxílio de ferramentas de simulação, torna-se possível verificar quais os períodos críticos de aquecimento e resfriamento da edificação, determinando-se o número de graus/horas correspondentes a esses períodos, orientando o projetista na escolha adequada dos elementos construtivos e das estratégias de ventilação. Consequentemente, facilita-se um desempenho energético eficiente das edificações, através da definição de estratégias bioclimáticas baseadas na investigação de seu desempenho térmico. Desse modo, o atendimento das exigências de conforto

pode ser desvinculado da utilização excessiva de equipamentos mecânicos de refrigeração e iluminação, nem sempre acessíveis financeiramente à maioria da população (SCHILLER et al, 1997).

O objetivo dessa pesquisa foi alcançado, pois foi possível expressar através do uso do *Energyplus*, *Openstudio* e *SketchUp* a viabilidade de simular e gerar resultados sobre o desempenho térmico de uma edificação, mostrando que a aplicação de elementos construtivos confeccionados com materiais alternativos na edificação resultou em melhores resultados de conforto térmico, em detrimento da aplicação de elementos construtivos tradicionais.

REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16401-1 - Instalações de ar-condicionado - sistema centrais e unitários. Rio de Janeiro, 2008.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16401-2 - Instalações de ar-condicionado - sistema centrais e unitários, parte 2: Parâmetros de conforto térmico. Rio de Janeiro, 2008.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto 02:135.07-001/2: Desempenho térmico de edificações Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações, set de 2003.

ARQUIVOS CLIMÁTICOS DA CIDADE DE BELÉM-PA, 2023. Weather Data by country. South America (WMO Region 3) – Brazil. Disponível em: https://energyplus.net/weather-region/south_america_wmo_region_3/BRA. Acesso em: 1 de novembro de 2022.

ASHRAE, Fundamentals Handbook. Atlanta. 2021.

BORGES, L. S. Simulação numérica da temperatura do ar em um edifício com materiais construtivos alternativos. Monografia (graduação) - Universidade Federal do Pará, Estado do Pará, 2022.

BRISOLA C. O. Análise dos dados meteorológicos da cidade de Belém-PA. Monografia (graduação) - Universidade Federal do Pará, Estado do Pará, 2022.

BRITO, A. C. SALES, E. M., CASTRO, G. M. AKUTSU. M. Análise da resposta do programa EnergyPlus para simulação do comportamento térmico de recinto com materiais de mudança de fase. Laboratório de Conforto Ambiental e Sustentabilidade, São Paulo, SP, 2015.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. Cadernos CAIXA Projeto padrão – casas populares 42m² GIDUR/VT. Vitória - ES. janeiro de 2007. Disponível em: <https://www.caixa.gov.br/Downloads/banco-projetos-projetos-HIS/casa_42m2.pdf/>. Acesso em: 29 de Dez de 2022.

C&C. Preços de tijolos cerâmicos e blocos de concreto. disponível em: <https://www.cec.com.br/material-de-construcao/blocos-e-tijolos/>. Acesso em: 16/01/2023.

DEPARTMENT OF ENERGY. U.S. Engineering Reference. Estados Unidos, 2022.

ENERGYPLUS. Versão 22.2.0. Disponível em: https://energyplus.net/. Acesso em: 29 Dez. 2022.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. Manual de Conforto Térmico. 5a edição. Studio Nobel. São Paulo ,2001.

GOMES, G. F. N. Análise sobre desempenho térmico estrutural. Monografia (graduação) - Universidade Federal do Pará, Estado do Pará, 2022.

GOOGLE MAPS. Casas do conjunto habitacional Juritis em Benevides-PA. Disponível em: <https://www.google.com/maps/place/Conjunto+Habitacional+Juritis/@-1.3474227,-48.242982,18.5z/data=!4m5!3m4!1s0x0:0x705e2fbc0cf52c20!8m2!3d-1.3466291!4d-48.24227/>. Acesso em: 14/12/23.

MACIEL, A. (2002). Projeto bioclimático em Brasília: Estudo de caso em edifício de escritórios. Dissertação. 138f. Mestrado em Engenharia Civil. Pós- graduação em Engenharia Civil, UFSC, Santa Catarina, Brasil.

NOBRE, J. C. A. Análise e Simulação Numérica sobre Desempenho Térmico Estrutural em um Auditório Utilizando o Software Energyplus. Monografia (graduação) - Universidade Federal do Pará, Estado do Pará, 2022.

NOBRE, J.C.A. ; SOUSA, D.L.P ; RIBEIRO, F.S. ; ANDRADE, L.C.F. "Simulação Computacional Sobre Desempenho Térmico em uma Residência Conjunta Localizada em Ananindeua-PA". The Journal of Engineering and Exact Sciences, Estado do Pará, v.8, n.5, (pg 1-14), Abril, 2022.

OPENSTUDIO v3.3.0. Disponível em: https://openstudio.net/. Acesso em: 22 de dezembro de 2022.

ONU. Organização das Nações Unidas. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/. Acesso em 4 de maio de 2023.

PARSONS K. 2014. Human thermal environments: the effects of hot, moderate, and cold environments on human health, comfort, and performance. 1 ed. CRC press. 545p.

SILVA, M. G. Geração de perfis climáticos sobre radiação solar e temperatura do ar em Belém do Pará. Monografia (graduação) - Universidade Federal do Pará, Estado do Pará, 2022.

SIQUEIRA, P. M. Análise sobre desempenho térmico em duas capitais brasileiras. Monografia (graduação) - Universidade Federal do Pará, Estado do Pará, 2022.

SOUSA, D. L. P. Análise do Desempenho Térmico de um Edifício utilizando o Software Energyplus. Monografia (graduação) - Universidade Federal do Pará, Estado do Pará, 2022.

SOUSA, D.L.P ; NOBRE, J.C.A. ; ANDRADE, L.C.F. "Análise Térmica de Bases de Dados Climáticos da Cidade de Belém-PA". The Journal of Engineering and Exact Sciences, Estado do Pará, v.8, n.3, (pg 1-12), Maio de 2022.

SCHILLER, S. de. et al (2002). Relevancia de 'proyectos demostrativos' de bajo impacto ambiental y eficiencia energética. Curso de Diseño y Urbanismo, Centro de Investigación Habitat e Energía, Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina.

SKETCHUP. Versão 19.0.685. Disponível em: https://www.sketchup.com/pt-BR. Acesso em: 20 dez de. 2022.

TAYLOR, R. D., C.O. PEDERSEN, L.K. LAWRIE. 1990. Simultaneous Simulation of Buildings and Mechanical Systems in Heat Balance Based Energy Analysis Programs, Proceedings of the 3rd International Conference on System Simulation in Buildings, Liege, Belgium, December 3-5, 1990.

TOLEDO, L. C.; VRCIBRADIC, P.; NATIVIDADE, V. Repensando as Habitações de Interesse Social. Rio de Janeiro: Letra Capital, 2014.