



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE CARAÚBAS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

ANA CLAUDIA CÂNDIDA DA SILVA

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UMA EDIFICAÇÃO DE
INTERESSE SOCIAL EM *WOOD FRAME* NO SEMIÁRIDO POTIGUAR**

CARAÚBAS - RN

2024

ANA CLAUDIA CÂNDIDA DA SILVA

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UMA EDIFICAÇÃO DE
INTERESSE SOCIAL EM *WOOD FRAME* NO SEMIÁRIDO POTIGUAR**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Leonete Cristina de Araújo Ferreira Medeiros Silva

CARAÚBAS - RN

2024

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

SS586 Silva, Ana Claudia Cândida da.
a Análise da eficiência energética de uma
edificação de interesse social em wood frame no
semiárido potiguar / Ana Claudia Cândida da Silva.
- 2024.
52 f. : il.

Orientador: Leonete Cristina de Araújo
Ferreira Medeiros Silva.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2024.

1. Wood Frame. 2. Eficiência Energética. 3.
Simulação. 4. Energy Plus. I. de Araújo Ferreira
Medeiros Silva, Leonete Cristina , orient. II.
Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Caraúbas
Bibliotecária: Dalvanira Brito Rodrigues
CRB: 15/700

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

ANA CLAUDIA CÂNDIDA DA SILVA

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UMA EDIFICAÇÃO DE
INTERESSE SOCIAL EM *WOOD FRAME* NO SEMIÁRIDO POTIGUAR**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Defendida em: 03/04/2024.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **LEONETE CRISTINA DE ARAUJO FERREIRA MEDI**
Data: 24/04/2024 23:36:12-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Leonete Cristina de Araújo Ferreira Medeiros Silva, Prof.^a Dr.^a (UFERSA)
Presidente

Documento assinado digitalmente
 **ADLA KELLEN DIONISIO SOUSA**
Data: 25/04/2024 15:04:14-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Adla Kellen Dionisio Sousa, Prof.^a Dr.^a (UFERSA)
Membro Examinador

Documento assinado digitalmente
 **IANNA MIRELLY DANTAS DA COSTA**
Data: 26/04/2024 10:24:47-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Ianna Mirelly Dantas Da Costa, Prof.^a (UFERSA)
Membro Examinador

Dedico este trabalho à minha família, meus pais Wilson e Jaudima; minhas irmãs Ana Carolina e Ana Gabriela por sempre estarem ao meu lado. Dedico também a aquele que nunca me deixou desistir dos meus sonhos, mesmo quando tudo parecia tão difícil e cansativo, sou imensamente grata a você, meu amor, Max Walney.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus por me permitir chegar até aqui, acredito que se consegui percorrer este caminho até o fim é porque o Senhor tem planos lindos para a minha vida;

Agradeço à minha família que me deram força para continuar;

Ao meu marido, Max Walney, por todo incentivo, apoio e principalmente pelo seu amor;

À minha Orientadora Prof. Dr. Leonete Cristina por toda confiança, dedicação, ensinamentos e conversas, és uma pessoa muito especial;

Agradeço também a Banca Examinadora por aceitarem o convite e contribuírem com a minha formação.

A todos vocês, muito obrigada!

Não é a força, mas a constância dos bons resultados que conduz os homens à felicidade.

Friedrich Nietzsche.

RESUMO

A madeira é um dos materiais mais antigos utilizados na construção civil. Nos EUA e em outros países o sistema construtivo *wood frame (WF)* é utilizado há anos para execução de edificações com satisfatória eficiência energética.. Entretanto, no Brasil, a aplicação desse material não é tão explorada como ao redor do mundo. Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo analisar a eficiência energética de uma edificação no sistema *WF* com proposta de construção no semiárido potiguar. O método escolhido para avaliação foi a simulação computacional estabelecida pelo Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RQT-R). Foi utilizado o *software Energy Plus* para realizar a simulação e, de acordo com os resultados apresentados, foi calculado o indicador graus-hora de resfriamento para os meses de junho e dezembro e, por fim, feita a classificação do nível de eficiência energética da Habitação de Interesse Social (HIS) por meio da tabela do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), para a cidade de Umarizal -RN, situada na Zona Bioclimática 8 (ZB 8). A classificação mostrou uma pequena diferença no desempenho do *wood frame* para os dois meses do ano, comprovando que o sistema construtivo não é recomendado para a região. Entretanto, os resultados dão possibilidade para pesquisas futuras, nas quais podem ser empregados novos parâmetros com o arquivo climático de outra localidade, temperatura do solo, novos materiais para compor a estrutura da edificação, levando em consideração que o *Energy Plus* é um *software* completo e pode mostrar uma variedade de resultados de acordo com a sua parametrização.

Palavras-chave: *Wood Frame*. Eficiência Energética. Simulação. *Energy Plus*.

ABSTRACT

Wood is one of the oldest materials used in civil construction, however in Brazil the application of this material is not as explored as around the world. In the USA and other countries, the wood frame construction system has been used for years to create energy-efficient buildings. The present work aims to analyze the energy efficiency of a building built using the WF system in the semi-arid region of Rio Grande do Norte, being evaluated using the computer simulation method provided for by the Technical Quality Regulation for the Energy Efficiency Level of Residential Buildings (RQT-R). The Energy Plus software was used to conduct the simulation, according to the results presented, the cooling degree-hour indicator was calculated for the months of June and December and finally, the level of energy efficiency of the housing was classified. Social Interest (HIS) through the table of the National Electric Energy Conservation Program (PROCEL), for the city of Umarizal - RN, located in Bioclimatic Zone 8 (ZB 8). The classification evaluated a small difference in the performance of the wood frame for the two months of the year, proving that the construction system is not recommended for the region. However, the results provide possibilities for future research, where new parameters can be used such as the climate file of another location, soil temperature, new materials to compose the building structure, taking into account that Energy Plus is a complete software and can show a variety of results according to your parameterization.

Keywords: *Wood Frame*. Energy Efficiency. Simulation. *Energy Plus*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Templo Horyu-ji, Japão. Inaugurado em 607.....	18
Figura 2	– Igreja de Staves em Urnes, Noruega	18
Figura 3	– Casa de madeira sendo transportada nos EUA	19
Figura 4	– Residencial Vancouver, Paraná	20
Figura 5	– Construção em WF, São Paulo.....	20
Figura 6	– Zoneamento bioclimático brasileiro	24
Figura 7	– Planta baixa da HIS	28
Figura 8	– Modelo em 3D	29
Figura 9	– Localização da HIS	29
Figura 10	– Zonas climáticas	31
Figura 11	– IDF do arquivo climático	31
Figura 12	– Parametrização do IDF	32
Figura 13	– Descrição do local	32
Figura 14	– <i>Timestep</i>	33
Figura 15	– Período da simulação	33
Figura 16	– Temperatura do solo	34
Figura 17	– Padrão de ocupação, iluminação e taxa metabólica	34
Figura 18	– Pessoas	35
Figura 19	– Material das paredes internas e externas	35
Figura 20	– Material da cobertura e do piso	36
Figura 21	– Camadas	36
Figura 22	– Detalhes das superfícies	37
Figura 23	– Variáveis de saída	37
Figura 24	– EP-Launch	38
Figura 25	– Variáveis de saída para temperatura da superficial	38
Figura 26	– Temperatura superficial mês de junho	44
Figura 27	– Temperatura superficial mês de dezembro	45

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	–	Temperatura interna do Quarto 1	39
Gráfico 2	–	Temperatura interna do Quarto 2	40
Gráfico 3	–	Temperatura interna do Banheiro	41
Gráfico 4	–	Temperatura interna da Sala/Cozinha	41
Gráfico 5	–	Temperatura interna da Cobertura	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Classificação de eficiência energética da HIS para dezembro	43
Tabela 2	–	Classificação de eficiência energética da HIS para junho	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Velocidade do vento
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BNH	Banco Nacional de Habitações
C	Celsius
CEF	Caixa Econômica Federal
CO ₂	Dióxido de Carbono
CONPET	Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural
DF	Distrito Federal
EUA	Estados Unidos da América
FCP	Fundação da Casa Popular
GH _R	Graus-Hora de Resfriamento
HIS	Habitação de Interesse Social
PEE	Programa de Eficiência Energética
PMCMV	Programa Minha Casa Minha Vida
PNE	Plano Nacional de Energia no Brasil
PNH	Plano Nacional de Habitações
PR	PR
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
RN	Rio Grande do Norte
RJ	Rio de Janeiro
RTQ – R	Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais
SERFAU	Serviço Federal de Habitações
T _a	Temperatura do ar
T _o	Temperatura Operativa Horária
T _r	Temperatura média radiante
WF	<i>Wood Frame</i>
ZB	Zona Bioclimática

LISTA DE SÍMBOLOS

°	Graus
%	Porcentagem
=	Igualdade
+	Adição
-	Subtração
.	Multiplicação
Σ	Somatório

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Objetivos	17
1.1.1 Objetivo geral	17
1.1.2 Objetivos específicos.....	17
2 REFERENCIAL TEORICO	18
2.1 Construções em <i>wood frame</i> (WF).....	18
2.2 Habitação de Interesse Social (HIS).....	21
2.3 Eficiência Energética das Edificações.....	23
2.3.1 Eficiência Energética na Zona Bioclimática 08	24
2.3.2 Eficiência energética de <i>wood frame</i> (WF)	25
3 METODOLOGIA	28
3.1 Caracterização edificação de estudo.....	28
3.2 Método de análise de eficiência energética aplicada.....	30
3.3 Uso do software <i>Energy Plus</i>	30
4 RESULTADOS.....	38
4.1 Análise da temperatura interna da edificação.....	39
4.2 Nível de eficiência energética da HIS	42
4.3 Temperatura superficial.....	44
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
REFERÊNCIAS	47

1 INTRODUÇÃO

O sistema *wood frame* (WF) é um sistema construtivo industrializado e durável, estruturado por perfis de madeira e formando painéis de pisos, paredes e telhados, que combinados com outros materiais de revestimento protegem das intempéries e incêndio, além de proporcionar conforto térmico e acústico (BOLSONI, 2020). Segundo Calil Júnior e Molina (2010), nos EUA a tecnologia WF é utilizada em 95% das construções.

A madeira é um dos materiais mais antigos utilizados na construção civil, entretanto no Brasil a aplicação desse material não é tão explorada como em outros países. Acredita-se que o uso da madeira para construção de moradias no Brasil seria uma alternativa viável, uma vez que a indústria de reflorestamento nacional é uma das mais competitivas do mundo (SILVA, 2016 apud OLIVEIRA, 2019).

As estruturas de madeira têm sido utilizadas há muito tempo para criar edifícios energeticamente eficientes (THINK WOOD, 2015). A eficiência energética pode ser definida como abordagens e tecnologias que demandam menos energia para a realizar a mesma quantidade de serviços (CABRAL; BLANCHET, 2021).

A maioria das medidas em eficiência energética adotadas em nível mundial é de caráter voluntário. Vêm sendo aplicadas desde a década de setenta, motivadas pelas crises do petróleo. Surgiram assim, desde então, iniciativas que conscientizam os consumidores sobre o uso racional e eficiente da energia, como incentivos fiscais e descontos tarifários para a aquisição de equipamentos mais eficientes (Souza *et al.*, 2009).

De acordo com Predabon (2016), a análise de indicadores do uso de energia elétrica aponta para aumento da demanda do setor residencial no Brasil. Este aumento está relacionado a diversos fatores, entre os quais: crescimento do setor da construção civil voltado a habitações, crescimento econômico e oferta de crédito, o acesso a bens de consumo como aparelhos eletrodomésticos e de refrigeração doméstica experimentados pela população brasileira na última década. Aliado ao aumento do consumo, existem também uma preocupação com a escassez dos recursos naturais que proporcionam à população suprir suas necessidades básicas como alimentação, água potável, ambiente sem poluição, entre outras necessidades de subsistência relacionadas aos recursos renováveis e não renováveis.

O Plano Nacional de Energia no Brasil - PNE 2030 (BRASIL, MME e EPE, 2007) mostra uma tendência de crescimento na participação da demanda de energia elétrica do setor residencial até 2030, estimado entre 24,3% e 28% da demanda total de energia elétrica. As políticas do governo no país indicam que a conservação da energia se tem tornado um item

muito relevante e, no cenário atual e futuro, as habitações de interesse social apresentam-se como uma parcela importante no setor da construção. Isto, devido a sua necessidade urgente de expansão, que está concentrada nas famílias de menor renda e nas regiões Sudeste e Nordeste.

Ainda segundo Souza *et al.* (2009), no caso brasileiro, o governo optou em utilizar suas empresas estatais – Eletrobrás e Petrobras – para executar os dois programas nacionais de conservação de energia e a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) para supervisionar o Programa de Eficiência Energética (PEE), executado pelas concessionárias distribuidoras de eletricidade no País. A etiquetagem de equipamentos constitui-se em outro vigoroso instrumento de que o Brasil faz uso para a promoção da eficiência energética, complementados pela distinção promovida pelos Selos PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica) e CONPET (Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural).

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Determinar a eficiência energética de edificações de *WF* no semiárido Potiguar.

1.1.2 Objetivos específicos

- Modelar uma habitação de interesse social unifamiliar através do *SketchUp* ou *Revit*;
- Parametrizar a edificação nos padrões climáticos da região;
- Simular as cargas térmicas e fazer uma análise energética por meio do *software Energy Plus*;
- Classificar o nível de eficiência energética de uma edificação de *WF* no semiárido Potiguar.

2 REFERENCIAL TEORICO

2.1 Construções em *wood frame* (WF)

Desde o surgimento do homem, a habilidade de trabalhar com madeira tem evoluído, iniciando num processo manual e primitivo, até chegar ao nível alcançado pela indústria atualmente. A madeira sempre esteve ao seu alcance e foi um dos primeiros materiais a ser utilizado para defesa, aquecimento, preparação de alimentos, formas de habitação e embarcações (LOURENÇO; BRANCO, 2013).

Exemplos de edifícios de madeira que existem há séculos, estão presentes em todo o mundo, incluindo o templo Horyu-ji, localizado em Ikaruga, Japão (Figura 1), construído no século VIII e as igrejas de madeira na Noruega, incluindo uma em Urnes (Figura 2), construída em 1150 e muitas outras (THINK WOOD, 2015).

Figura 1: Templo Horyu-ji, Japão. Inaugurado em 607 d.c.



Fonte: Coisas do Japão (2021).

Figura 2: Igreja de Staves em Urnes, Noruega.



Fonte: European Heritage Tribune (2019).

O *WF* é o sistema construtivo predominante nos Estados Unidos, na construção de casas, apartamentos, edifícios comerciais e industriais, que podem alcançar até cinco andares. As residências em *wood frame* são econômicas, com ótimo isolamento térmico, o que proporciona o máximo de conforto. Este método construtivo permite também a criação de estilos arquitetônicos dos mais variados e tradicionais, até à arquitetura futurística (VASQUES, 2014).

Por ser um país com características climáticas bastante variante, com altas e baixas temperaturas, os Estados Unidos aderiram ao sistema *WF* como sistema construtivo mais adequado para enfrentar as condições especiais e diferentes do clima local. Como a madeira é um excelente isolante térmico, o material se mostra ideal para o clima frio em boa parte do ano, é um material flexível e leve que pode ser mais seguro e econômico em casos de terremoto e tornados, e concluindo, em caso de enchentes as casas podem ser transportadas para outros locais mais seguros, como mostra a figura 3.

Figura 3: Casa de madeira sendo transportada nos EUA.



Fonte: Isobloco, 2023.

No Brasil, o método construtivo mais empregado atualmente continua sendo a alvenaria convencional, porém este cenário vem aos poucos alterando-se, visto que novas tecnologias e métodos ganham mais espaço nas construções. Cada vez mais as empresas estão buscando fugir do convencional, trazendo a inovação na Engenharia Civil através de métodos inéditos ou já conhecidos e utilizados em outros países, mas ainda pouco conhecidos e compreendidos por aqui (FERREIRA, 2014 apud OLIVEIRA, 2019).

Em meados de 2010, algumas empresas disseminaram de forma mais intensa este sistema leve em madeira com construções para diferentes demandas sociais. Em 2012, mediante o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) em parceria com a Caixa

Econômica Federal (CEF), foi executado o primeiro conjunto habitacional em *wood frame* no Brasil – o residencial Haragano, localizado na cidade de Pelotas Rio Grande do Sul. (ESPINDOLA e INO, 2014).

Mais um exemplo de construção em *WF* no Brasil, é o primeiro prédio construído com tecnologia sustentável industrializada. Em agosto de 2016, foi finalizada a construção do Residencial Vancouver que possui três pavimentos e a sua construção durou 64 horas, ele está localizado em Araucária, no Paraná (figura 4).

Figura 4: Residencial Vancouver, Paraná.



Fonte: TECVERDE, 2016.

Outra aplicação recente deste sistema construtivo feita no país, foi a medida emergencial que o governo de São Paulo tomou após os casos de deslizamentos de terra no início de 2023, onde pode ser visto o grande potencial do *wood frame*. Foram construídos 30 prédios, com 16 apartamentos e 38 casas, totalizando 518 unidades habitacionais (Figura 5), dando destaque a velocidade impressionante com que as habitações foram erguidas (TECVERDE, 2023).

Figura 5: Construção em WF, São Paulo.



Fonte: TECVERDE, 2023

Segundo Molina e Calil Junior (2010), o *wood frame* é vantajoso pois atende requisitos de flexibilidade, por exemplo, pode ser usado tanto para residências, edificações comerciais, públicas e industriais, possui alta velocidade de execução, atende as necessidades térmicas e acústicas, além de apresentar preço competitivo, também atende aos principais requisitos de uma edificação construída de forma sustentável, pois os materiais empregados favorecem o conforto térmico e acústico, há a racionalização dos materiais e a geração de resíduos é menor se comparada a construção em alvenaria, além da eficiência energética e da utilização de tecnologias e produtos que não degradam o meio ambiente.

Comparado a outros sistemas, a construção em *WF* possui poucas desvantagens, mas que são facilmente isoladas e tratadas, sendo que podemos citar: a necessidade de mão de obra qualificada, falta de profissionais e ferramentas especializadas no Brasil, resistência do mercado imobiliário a mudanças e a limitação de altura das edificações que é no máximo cinco pavimentos. É possível mudar o cenário nacional de habitação, através da divulgação e conscientização da população e do poder público, no que diz respeito ao uso de novas técnicas e materiais (VASQUES, 2014).

Campos e Dias (2016 apud Giribola (2013), afirma que no que se refere a sustentabilidade em relação a alvenaria, o sistema construtivo reduz as emissões de dióxido de carbono (CO₂) em 80%. E segundo Muniz (2015), comparado com as edificações construídas no sistema convencional, o *WF* apresenta uma redução de 90% no consumo de água e 85% na produção de resíduos, durante o processo de construção.

2.2 Habitação de Interesse Social (HIS)

A falta de habitações destinadas à população de baixa renda começou nas cidades da Inglaterra, ocorrendo posteriormente no restante da Europa. Na metade do século XIX, como consequência da Revolução Industrial, as cidades britânicas já haviam recebido grande quantidade de pessoas provenientes do meio rural, que tendiam a se alojar em habitações alugadas ou mesmo em habitações invadidas, muitas densamente ocupadas e em condições precárias em termos de salubridade e tamanho (RYKWERT, 2004).

No Brasil, a habitação social surge como consequência da demanda de um grande número de habitações em decorrência de migrações acentuadas do meio rural para as cidades a partir de 1950, em função, fundamentalmente, da industrialização acelerada, assim como do próprio crescimento significativo da população brasileira (REIS, 1992).

O planejamento urbano no Brasil é recente. De acordo com Bolaffi (1990) e D'Ottaviano (2014) não havia nenhuma política nacional de planejamento urbano antes do Golpe Militar em 1964, embora houvesse poucos exemplos de planejamento urbano espalhados pelo Brasil.

A primeira experiência nacional visava o fornecimento de abrigo para pessoas de baixa renda, chamada Fundação da Casa Popular (FCP), no estado de Minas Gerais, criado em 1946 por um decreto federal (D'Ottaviano 2014). Porém, em abril de 1964, a FCP foi extinta, sendo substituída pelo Plano Nacional de Habitações (PNH), estabelecido pelo Banco Nacional de Habitações (BNH) e Serviço Federal de Habitações (SERFAU) (Csillag e Lamberts, 2015)..

O BNH nunca realizou seu objetivo inicial de seis milhões de unidades até 1970. Foi extinto em 1986 após ser o símbolo mais proeminente do regime militar e ter entregado somente 4-5 milhões de unidades em 22 anos. Desde então, o banco Caixa Econômica Federal assumiu este papel (Csillag e Lamberts, 2015).

Em 2003, no primeiro ano do governo de Luiz Inácio (Lula) da Silva, foi sancionada a lei que oficializa o Ministério das Cidades, com o objetivo de tratar da política de desenvolvimento urbano, considerando a carência de marcos institucionais voltados para as políticas setoriais urbanas - habitação, saneamento e transporte. O Ministério das Cidades é considerado, também, uma resposta a antigas reivindicações dos movimentos sociais de luta pela reforma urbana (CRONOLOGIA DO PENSAMENTO URBANÍSTICO, 2010).

O Ministério das Cidades, desde o seu início, estava em um processo para criação de políticas urbanas e de habitação social. Em 2005, ele propôs o Plano Nacional de Habitação (PlanHab), que articulou um intercâmbio entre diferentes níveis governamentais (cidade, estado e federação), recebeu a sustentação financeira de diversas fontes, incluindo o Fundo Nacional de Habitação de Interesse Social - FNHI e o Programa de Subsídio à Habitação de Interesse Social – PSH (Csillag e Lamberts, 2015).

Porém, ainda segundo os autores, para enfrentar a crise econômica em 2008, o governo teve que encontrar uma solução rápida e aceitar a proposta da indústria de construção e focar no potencial econômico da produção maciça de moradias. Foi assim que juntamente com o Ministério da Fazenda, a Casa Civil e o setor de construção emitiram o decreto MP459 criando o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), em 2009, que tem como objetivo subsidiar a aquisição da casa ou apartamento próprio para pessoas com baixa renda.

Portanto, a Habitação de Interesse Social (HIS) foi criada com o propósito de diminuir o déficit habitacional, garantindo o direito à moradia para a população e se tornando um

elemento muito importante para o desenvolvimento do setor da construção civil ao mesmo tempo que promove a ocupação urbana planejada, reduzindo a desigualdade social no Brasil (DIRECIONAL, 2023).

2.3 Eficiência Energética das Edificações

Podemos definir eficiência energética como abordagens e tecnologias que demandam menos energia para a realizar a mesma quantidade de serviços (CABRAL; BLANCHET, 2021). O tema se tornou uma preocupação crescente em todo o mundo, e seu impacto pode ser sentido de forma significativa no setor habitacional. Neste contexto, a busca por soluções que reduzam o consumo de energia e promovam práticas mais sustentáveis é essencial.

Os fatores que aumentam o consumo de energia nas edificações estão ligados a como o homem consegue adaptar-se a qualquer ambiente por meio de sistemas de uso artificiais de iluminação e climatização do ambiente, que consequentemente aumentam a demanda de energia consumida. Porém, se os componentes usados nos projetos adequassem ao meio climático da região, de forma a suprir as necessidades ou diminuir o uso de energia, geraria bons resultados na eficiência energética (Diniz *et al.*, 2022).

É sabido que as principais fontes de perda de energia em edificações são as portas, janelas e infiltração de ar, a especificação de esquadrias de alta eficiência, por exemplo, com altos níveis de isolamento e vedação são pontos cruciais para o bom desempenho térmico e durabilidade das construções (Guimarães *et al.*, 2023).

Independente do material, a durabilidade a longo prazo começa com um bom design, incluindo detalhamento adequado, seleção de produtos e controle de qualidade (THINK WOOD, 2015). Atualmente, grande parte das edificações já estão sendo projetadas de forma sustentável, para manter o ambiente agradável, mesmo se houver mudanças de estações e do clima de cada região, segundo Diniz *et al.*, 2022.

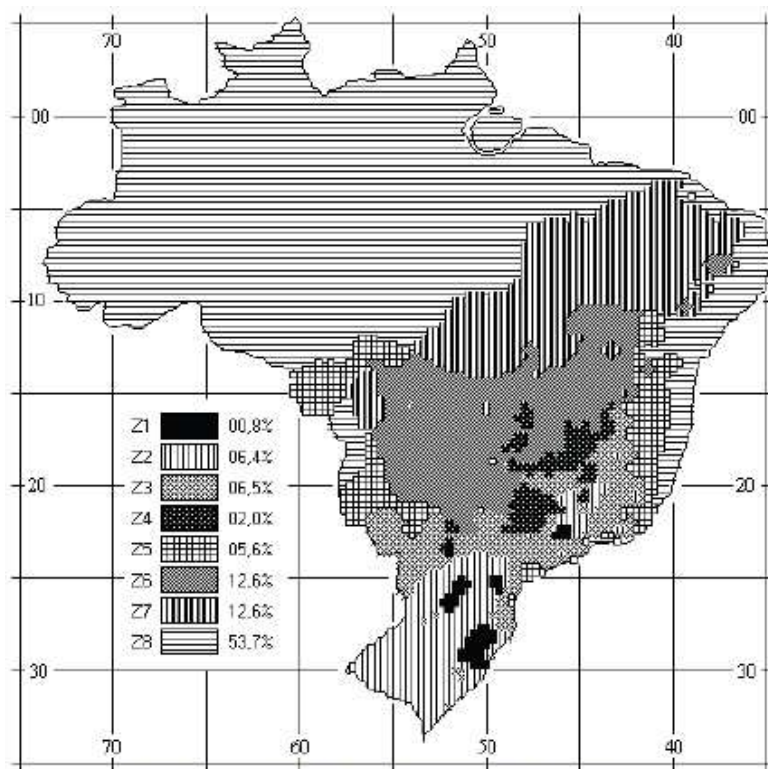
Portanto, podemos afirmar que a utilização de recursos projetuais que proporcionem as edificações melhores condições de insolação e sombreamento; proteções para paredes, portas e janelas através de beirais, saliências e varandas; dentre outras soluções, são estratégias importantes para obter a eficiência energética da edificação. (Guimarães *et al.*, 2023).

2.3.1 Eficiência Energética na Zona Bioclimática 08

Para colaborar com os estudos e aprimorar os resultados sobre a eficiência energética das edificações, foram criadas as Normas 15.220 (2005) de Desempenho Térmico nas edificações e a NBR 15.575 (2010) de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho, revisada em 2013, onde houve a mudança de nomenclatura para Edifícios Habitacionais – Desempenho.

De acordo com a parte 3 da NBR 15.220:2005 (Desempenho Térmico de Edificações: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social), o território brasileiro é composto por oito zonas bioclimáticas diferentes definidas de acordo com seus dados climáticos (temperatura e umidade), como mostra a figura a seguir (figura 6):

Figura 6: Zoneamento bioclimático brasileiro



Fonte: ABNT, 2005

O Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) apresenta os requisitos necessários para a classificação da eficiência energética das edificações. Segundo o RTQ-R a zona bioclimática (ZB) tem por

objetivo determinar as estratégias que uma edificação deve seguir para obter o conforto térmico dos seus ocupantes. Desta forma, uma ZB é o resultado geográfico do cruzamento de três tipos diferentes de dados: zonas de conforto térmico humano, dados objetivos climáticos e estratégias de projeto e construção para atingir o conforto térmico.

Cada uma das zonas bioclimáticas estabelece diretrizes específicas para a construção de habitações unifamiliares de interesse social, como este trabalho tem como local de estudo a cidade de Umarizal/RN, situada na região Nordeste do país, que possui um clima tropical com estação seca e faz parte da Zona Bioclimática 8 (ZB 8), ocupante de 57,7% do território nacional, será apresentado a seguir as suas diretrizes:

- Aberturas para ventilação: grandes;
- Sombreamento das aberturas; sombrear aberturas;
- Ventilações externas paredes: leve refletora;
- Cobertura: leve refletora;
- Estratégia de condicionamento térmico passivo: ventilação cruzada.

2.3.2 Eficiência energética de *wood frame* (WF)

Em um estudo sobre a durabilidade e eficiência energética de construções em madeira, Guimarães *et al.*, 2023, menciona Svajlenkaay; Koslovska, 2019, afirmando que muitos edifícios recém-construídos já são projetados como edifícios passivos ou de baixa energia. Os sistemas construtivos à base de madeira são frequentemente avaliados para esses padrões energéticos, pois apresentam propriedades termotécnicas muito positivas. O tempo de execução das construções em madeira é muito curto, com uma pegada ecológica baixa – por vezes até negativa. A utilização de madeira e de elementos estruturais à base de madeira poupam recursos não renováveis, o que também é altamente desejável na perspectiva de uma filosofia de sustentabilidade.

Ainda de acordo com os autores, foi concluído que a madeira é um material de fontes renováveis com muitas vantagens em sua utilização, tanto em termos de aprisionamento do carbono, quanto no baixo consumo de energia. Afirmando que nesse contexto, temos um material de grande valor ambiental e que pode ser empregado de forma planejada para a longevidade das construções, aliando tecnologias, maior desempenho e inovação.

Bortone *et al.*, 2019, realizou uma pesquisa sobre desempenho termoenergético de edificações multifamiliares nas cidades de São Paulo e Belém, pertencentes às ZB 3 e ZB 8, respectivamente. Os resultados dessa pesquisa mostraram que a orientação solar e o contato da edificação com o solo são fatores cruciais para um bom nível de eficiência da edificação, sobretudo quando executada em sistema leve. De maneira geral, para as zonas bioclimáticas ZB 3 e ZB 8, os melhores resultados foram obtidos quando o objeto de estudo estava em contato com o solo e nas orientações norte e sul.

Os resultados da pesquisa ainda mostram que em São Paulo, o *WF* apresentou baixa transmitância térmica, quando em contato com solo geravam um bom desempenho da edificação, tornando-o mais eficiente que o sistema construtivo convencional. Por outro lado, em Belém, por mais que os resultados da comparação tenham sido semelhantes, o sistema *WF* se mostrou menos eficiente, pode-se analisar a cobertura com telhado escuro e claro, onde telhado de cor clara teve um melhor desempenho, sendo assim recomendado o seu uso para amenizar o ganho de calor pela cobertura.

Outra análise do nível de eficiência energética de habitação em *wood frame* foi realizada por Zara (2018), onde foi adotado uma edificação residencial unifamiliar construída em *WF*, o estudo foi feito de acordo com 5 casos comparando os níveis de eficiência energética de cada caso pelos métodos prescritivos e de simulação do RTQ-R para a ZB 3, onde o caso 1 apresenta uma tipologia de painel desenvolvida para HIS, nos casos 2, 3 e 4 foram incrementados isolantes térmicos, sendo nos casos 3 e 4 apresentada uma cobertura de cor clara, onde foi possível avaliar os benefícios do isolante térmico em conjunto com a baixa absorção solar da cobertura. E para a comparação com os resultados do *wood frame* foi adicionado o caso 5 composto por alvenaria convencional, método mais utilizado no Brasil.

Como resultado do estudo, foi mostrado que de modo geral, os casos em *wood frame* com isolantes apresentaram desempenho similar à alvenaria, indicando que não há necessidade em limitar o nível de eficiência energética em função do parâmetro capacidade térmica. Por outro lado, ao comparar o desempenho dos casos analisados, percebe-se que o método por simulação é mais expressivo, apresentando maior influência dos valores de capacidade térmica e transmitância térmica nas variáveis de saída. O método prescritivo não se mostrou eficiente pois, as equações não conseguem representar a influência dos parâmetros.

Oliveira e Silva (2019), analisaram as construções em madeira no semiárido, onde foi realizado um levantamento teórico sobre o emprego da madeira como material de construção e suas respectivas normas de desempenho. Obtendo como resultado um desempenho térmico

satisfatório da estrutura de madeira, entretanto, no que diz respeito a eficiência energética a madeira se apresentou menos eficiente que os blocos cerâmicos. Mostrando que somente a utilização da madeira como estrutura não há torna mais eficiente que os outros materiais de construção, tornando-se importante a análise de outros fatores a longo prazo.

De acordo com os trabalhos citados anteriormente, pode-se perceber que o sistema construtivo em madeira apesar de se mostrar eficiente como material de construção, ainda apresenta inferioridade ao ser comparado com o método convencional de alvenaria. Contudo, todos os trabalhos dão margem para trabalhos futuros, mais aprofundados, permitindo aperfeiçoamento da tecnologia *wood frame*.

3 METODOLOGIA

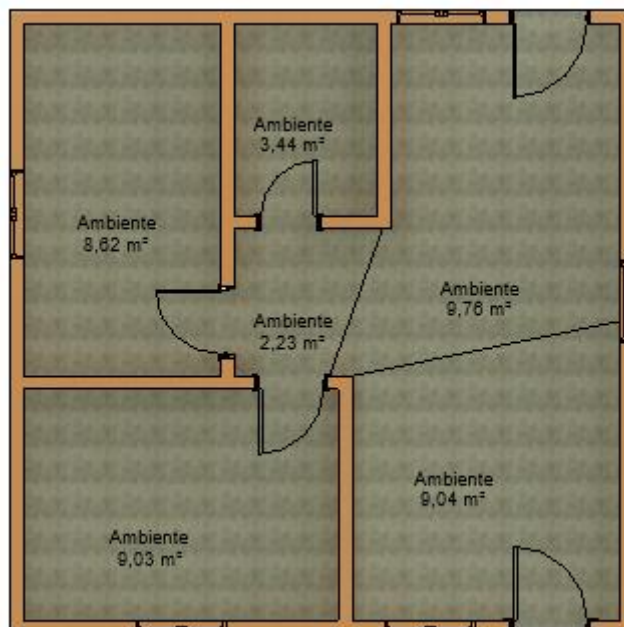
3.1 Caracterização edificação de estudo

Para o presente trabalho primeiramente, foi escolhida a planta de uma edificação para podermos realizar as análises necessárias. A planta escolhida foi retirada da pesquisa de Espíndola (2010), onde a autora projetou uma habitação de interesse social (HIS) em *wood frame* adequando às especificações da coordenação modular e que atendesse os conceitos de conectividade.

A HIS foi proposta para uma família com 4 pessoas, é composta por dois quartos, um banheiro e sala e cozinha conjugadas, totalizando aproximadamente 46,50 m² (ESPÍNDOLA, 2010).

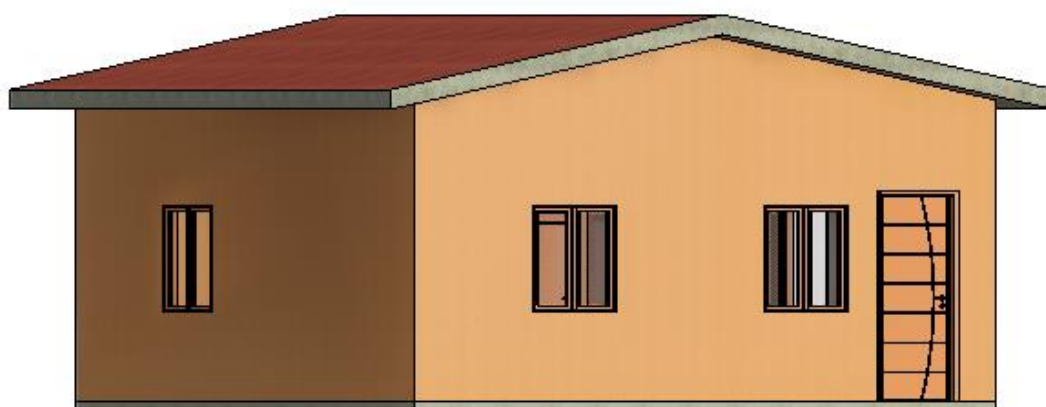
Em seguida, a planta e a modelagem em 3D foram desenhadas com auxílio do software Revit 2023 para que fosse possível fazer todas as modificações necessárias para a realização do estudo, como mostram as Figura 7 e 8.:

Figura 7: Planta baixa da HIS



Fonte: Autor (a), 2024.

Figura 8: Modelo em 3D



Fonte: Autor (a), 2024.

Em seguida, foi determinado a localização da edificação, de onde foi tirado todos os fatores bioclimáticos da região que terão influência direta no resultado da pesquisa. A HIS foi estabelecida na cidade de Umarizal – RN, na Avenida Nilson Praxedes Sales, como mostra a figura 9. De acordo com a NBR 15220-3 (ABNT, 2005), a localização pertence a Zona Bioclimática 8.

Figura 9: Localização da HIS



Fonte: Google Maps, 2024.

3.2 Método de análise de eficiência energética aplicada

A análise da eficiência energética da HIS foi realizada através do método de simulação computacional descrito no Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RQT-R) que classifica o desempenho termoenergético da edificação em níveis de A à E, sendo o nível A o mais eficiente e o nível E menos eficiente.

Para a simulação foi utilizado o *software Energy Plus*, versão 9.6, com o auxílio do *plug-in Euclid* inserido no *SketchUp*.

Ainda segundo as instruções do RQT-R, foi obtido todos os dados necessários para realizar a simulação de uma edificação naturalmente ventilada, avaliando os indicadores de graus-hora de resfriamento (GHR) dos ambientes de permanência prolongada. Para fazer a análise os indicadores devem apresentar valores menores ou iguais aos níveis de eficiência das tabelas do PROCEL.

As condições para calcular o indicador graus-hora de resfriamento é calcular a temperatura operativa horária (T_o) por meio do programa computacional, e em seguida o GHR através da temperatura de referência de 26°C , como mostram as equações a seguir:

$$T_o = A * T_a + (1 - A) * t_r \quad (\text{Equação 1})$$

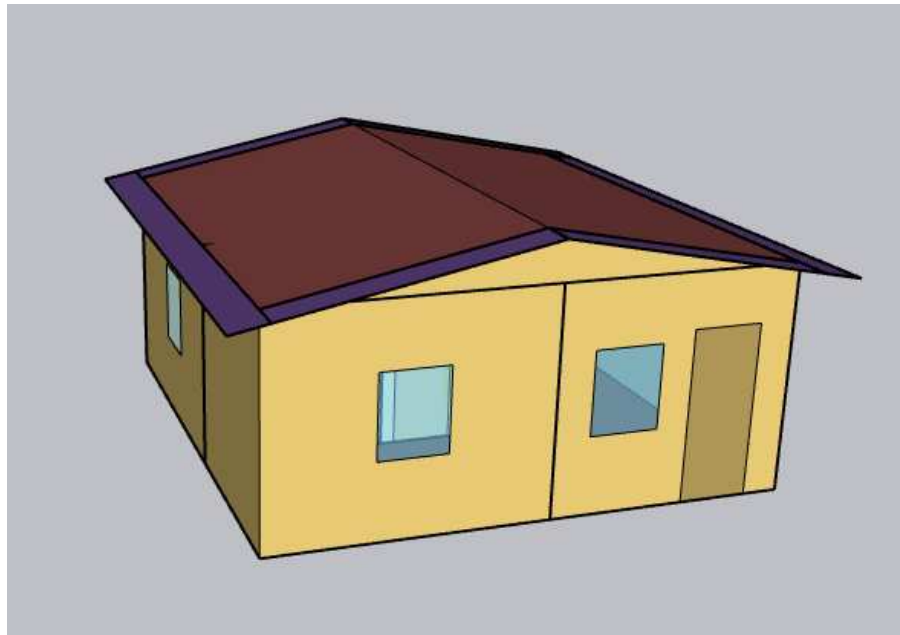
$$GHR = \sum (T_o - 26^{\circ}\text{C}) \quad (\text{Equação 2})$$

Após realizar os cálculos comparamos

3.3 Uso do software *Energy Plus*

Para utilizar o *software Energy Plus* a planta foi importada para o *software SketchUp* 2023, onde foram desenhadas 5 zonas climáticas, correspondentes a cada cômodo da HIS, com o auxílio do *plug-in Euclid* (Figura 10).

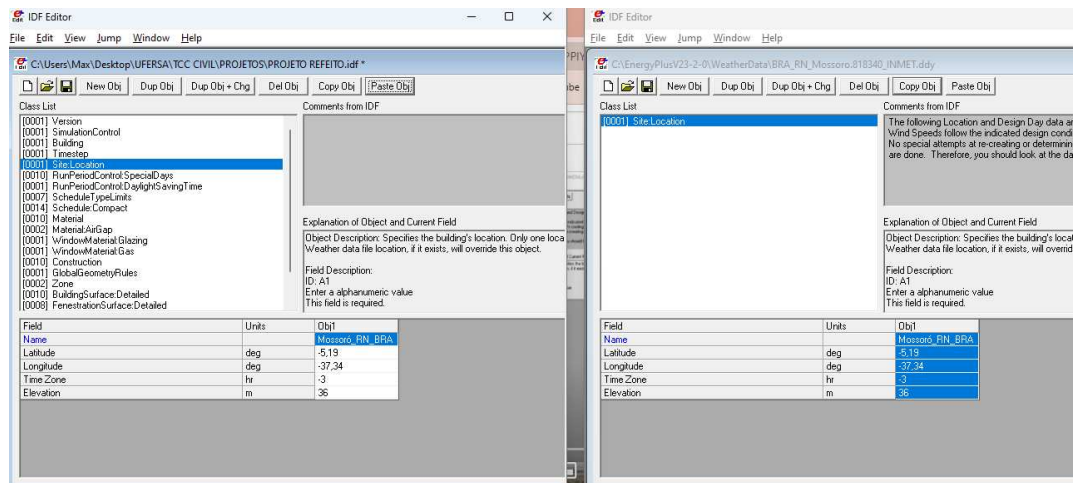
Figura 10: Zonas climáticas



Fonte: Autor(a), 2024.

Com o modelo pronto, iniciou-se a simulação de eficiência energética no *Energy Plus* 9.6. O primeiro passo dado foi abrir o *EP – Launch* do arquivo IDF da HIS, onde foram adicionadas as características climáticas da cidade de Mossoró - RN, pois é cidade mais próxima de Umarizal/RN que possui *Weather Data* no site do *Energy Plus* (Figura 11):

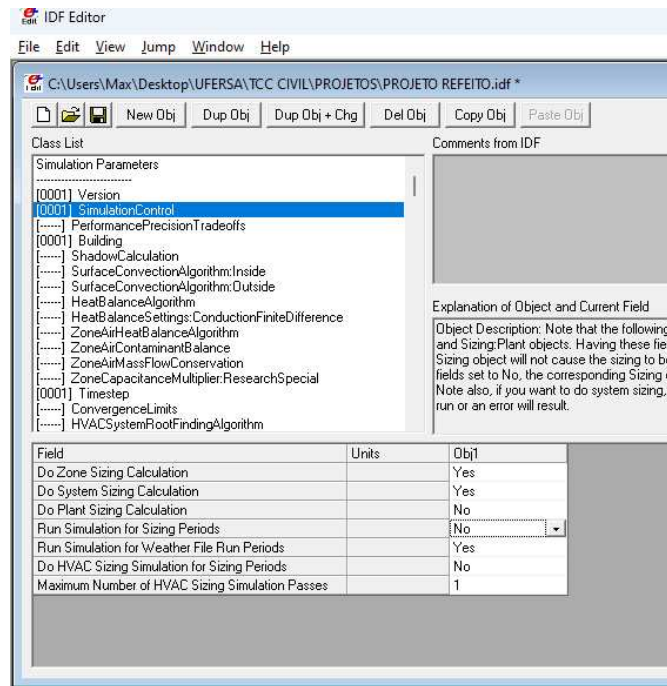
Figura 11: IDF do arquivo climático.



Fonte: Autor(a), 2024.

Em seguida, foi feita a parametrização do sistema, definindo o que deve ser calculado na simulação (Figura 12):

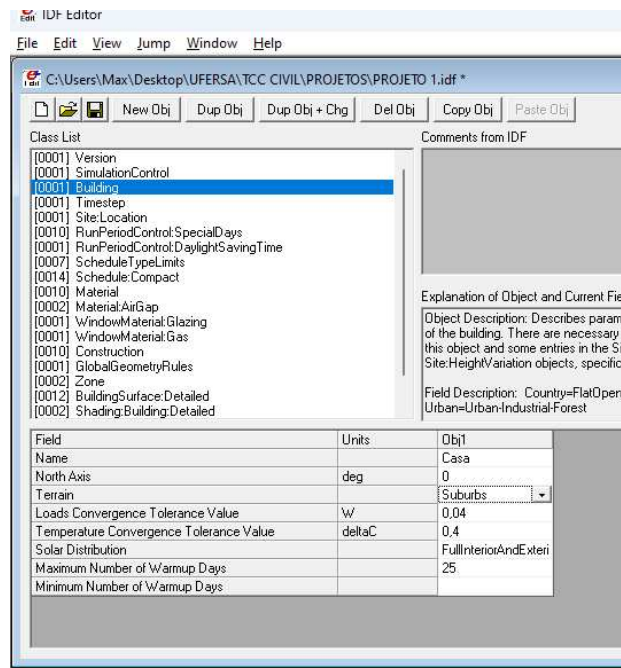
Figura 12: Parametrização do IDF



Fonte: Autor(a), 2024.

Determinando as descrições da construção de acordo com a localização, na cidade com prédios ao redor, no subúrbio sem muitas construções próxima, foi adotada como localização da HIS o subúrbio. Também foi necessário considerar a distribuição solar e dias máximos e mínimos de aquecimento, como mostra a Figura 13.

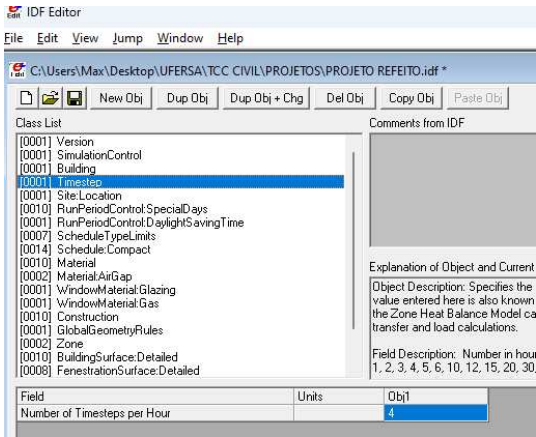
Figura 13: Descrição do local.



Fonte: Autor(a), 2024.

No item o *timestep*, foi determinado a quantidade de vezes que seria feito a simulação por hora, foi adotado um *timestep* de 4 vezes, ou seja, nos resultados será apresentado dados a cada 15 minutos (Figura 14):

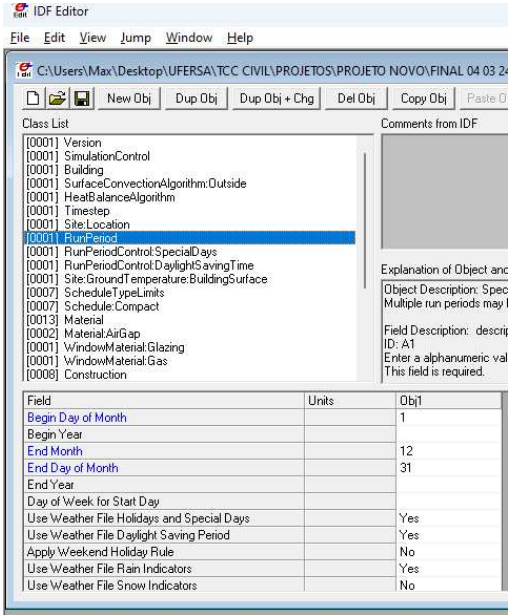
Figura 14: *Timestep*



Fonte: Autor(a), 2024.

O próximo passo foi adicionar o período em que iria ocorrer a simulação, o período escolhido foi de 1 ano, início no dia 01 de janeiro e fim 31 de dezembro, permitindo o uso do arquivo meteorológicos com dados de precipitação, feriados e dias especiais para o período da simulação (Figura 15).

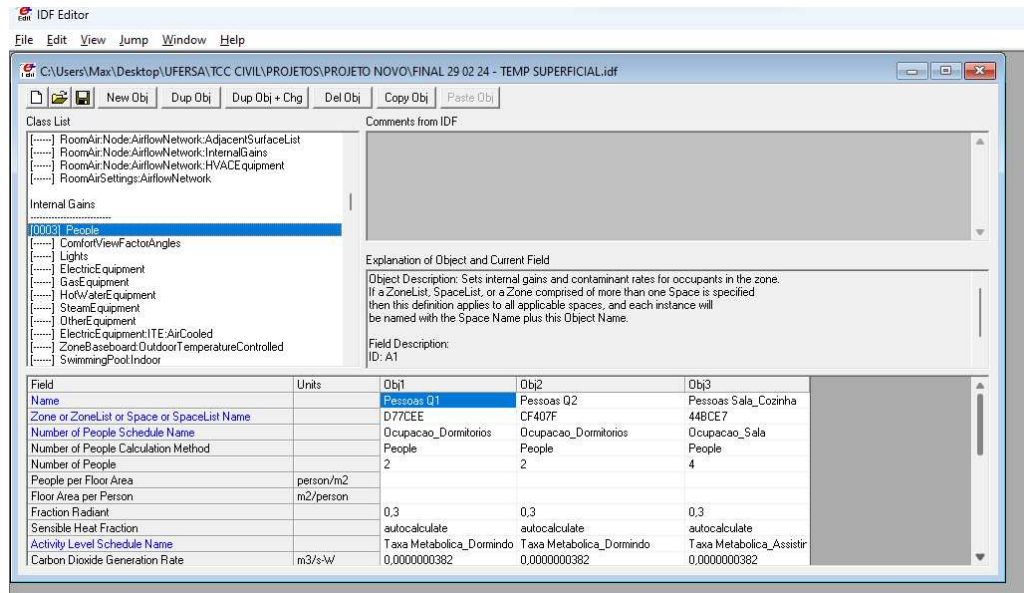
Figura 15: Período da simulação



Fonte: Autor(a), 2024.

Acrescentando as pessoas da residência, como adotamos uma família com 4 pessoas e de acordo com o RQT- R, distribuímos 2 pessoas por ambiente com exceção da sala/cozinha que deve conter todas os habitantes da casa (Figura 18):

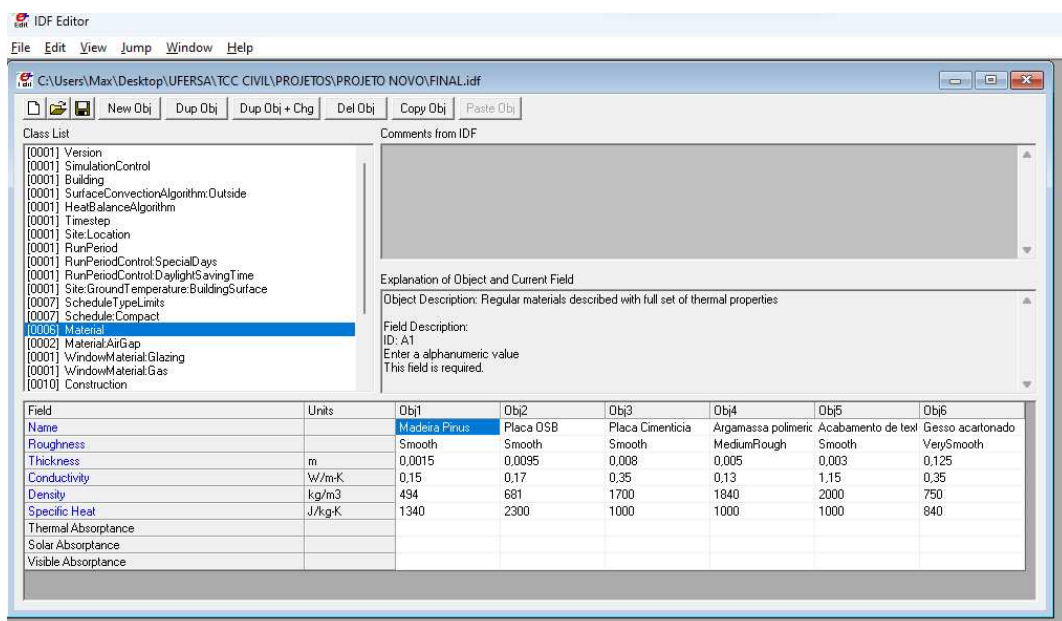
Figura 18: Pessoas



Fonte: Autor(a), 2024.

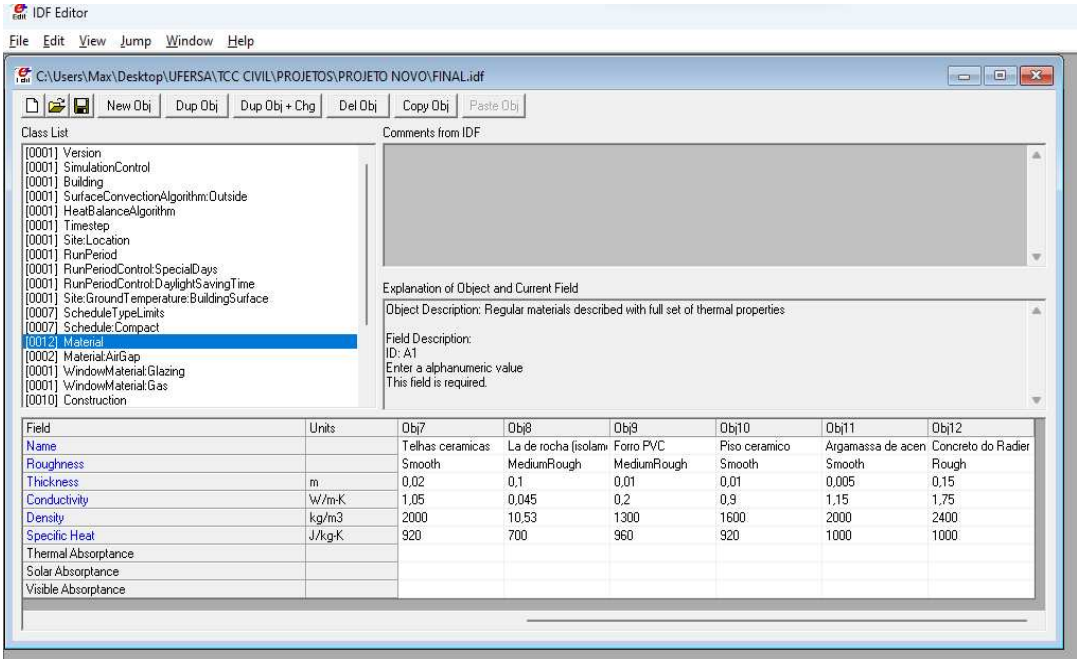
Posteriormente, foram inseridas as características dos materiais que compõem as paredes externas e internas, cobertura e piso, como mostram as figuras abaixo, de acordo com Nunes *et al.*, (2019). Conforme observado nas Figuras 19 e 20.

Figura 19: Material das paredes internas e externas



Fonte: Autor(a), 2024.

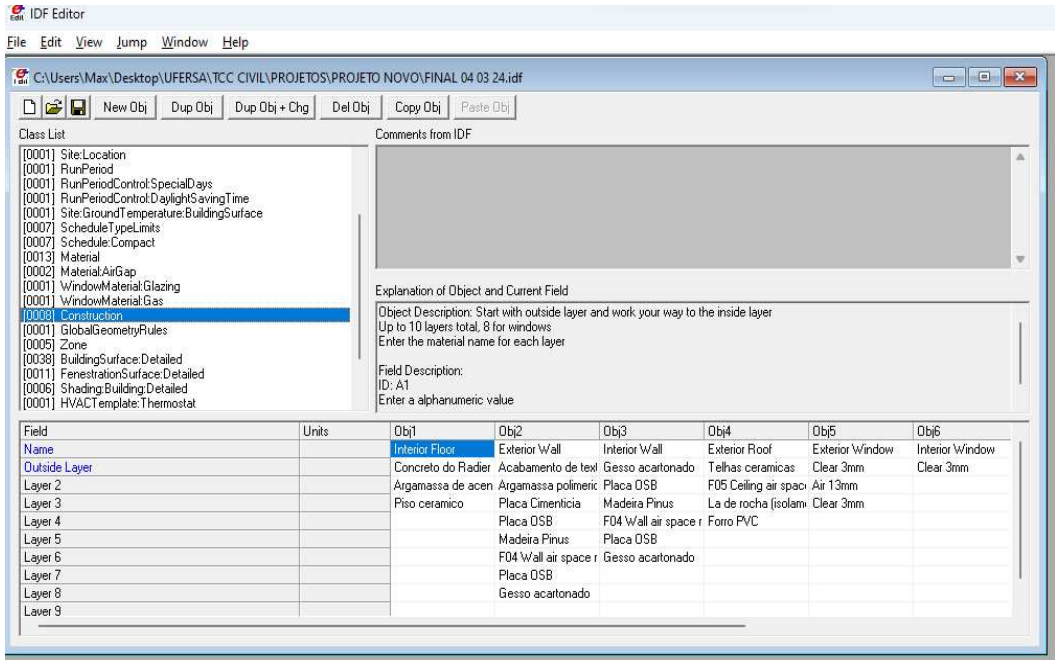
Figura 20: Material da cobertura e do piso.



Fonte: Autor(a), 2024.

Em seguida, no item *Construction*, acrescentamos as informações das camadas das paredes interiores e exteriores, telhado, piso, portas e janelas (Figura 21).

Figura 21: Camadas

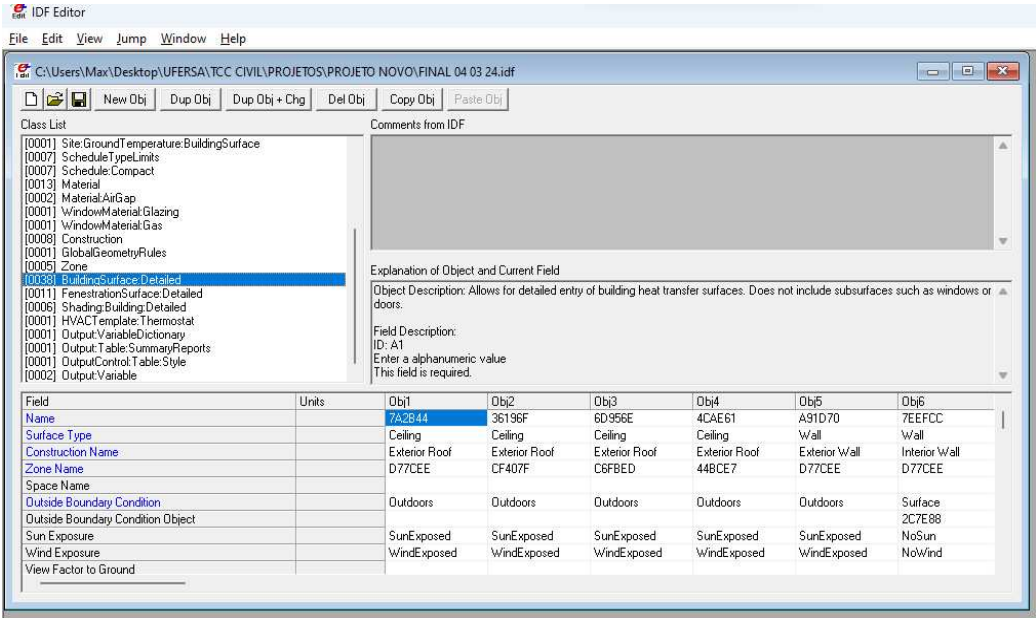


Fonte: Autor(a), 2024.

Os detalhes de cada superfície da construção (Figura 22) são automaticamente detalhados pelo *software*, esses detalhes como tipo de superfície, qual zona ela pertence,

exposição ao sol e ao vento, dentre outras condições de transferência de calor, são gerados na hora da criação das zonas no *SketchUp*.

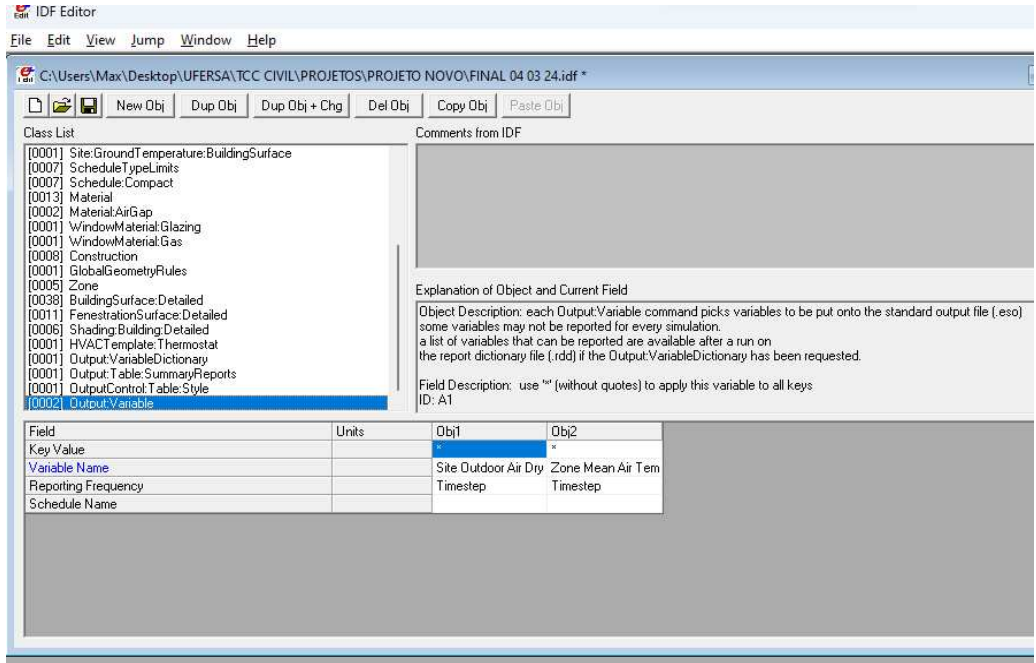
Figura 22: Detalhes das superfícies



Fonte: Autor(a), 2024.

E por último, foi acrescentado as variáveis de saída para a verificação das temperaturas do ar externo e internas em cada zona (Figura 23).

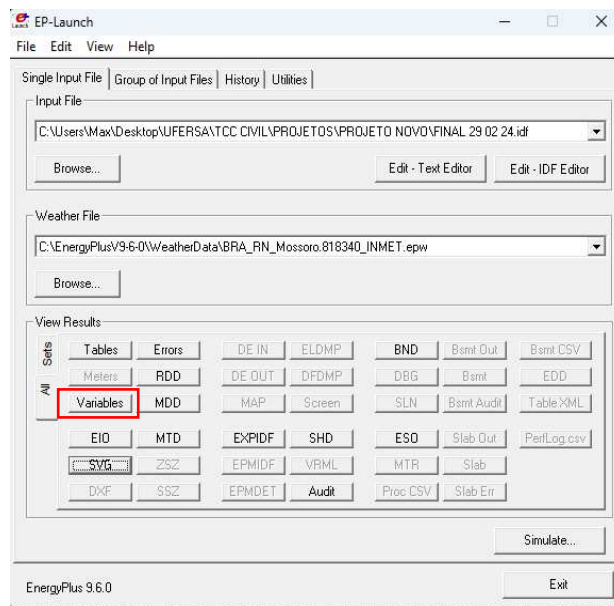
Figura 23: Variáveis de saída



Fonte: Autor(a), 2024.

Após fazer toda essa parametrização do arquivo IDF, retornou-se ao *EP - Launch* do programa e realizar a simulação clicando na opção *simulate*. Depois de alguns segundos, se o programa não apresentar nenhum erro pode-se clicar na opção *variables* e verificar os resultados da simulação, como mostra a Figura 24 abaixo:

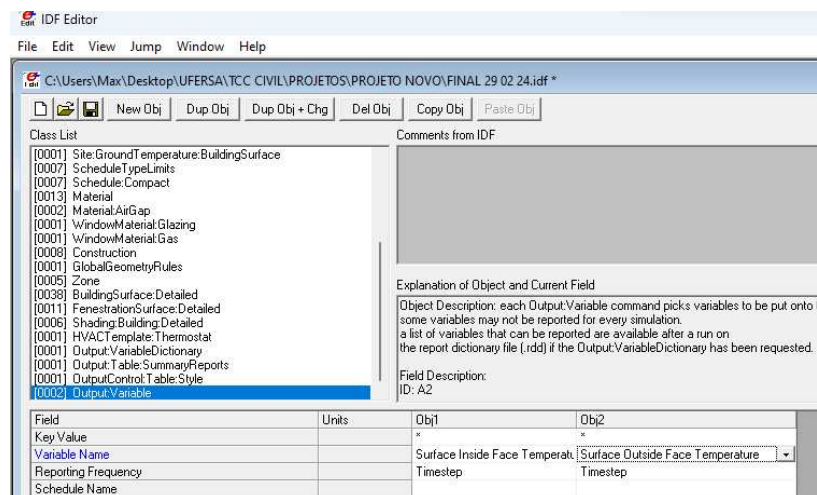
Figura 24: EP-Launch



Fonte: Autor(a), 2024.

Com a simulação para a temperaturas internas da edificação finalizada, foi realizada uma segunda simulação onde foram inseridas novas variáveis de saída na parametrização do arquivo IDF no *software*, como mostra a figura abaixo, as novas variáveis de saídas nos fornecerão as temperaturas das superfícies externas da HIS (Figura 25).

Figura 25: Variáveis de saída para temperatura da superficial



Fonte: Autor(a), 2024.

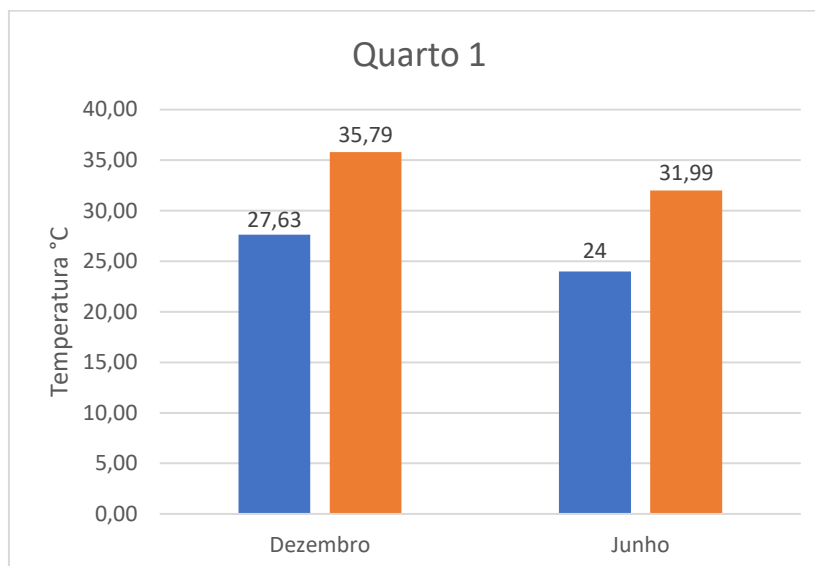
4 RESULTADOS

4.1 Análise da temperatura interna da edificação

Os dados obtidos nesta pesquisa serão apresentados a seguir. Primeiramente, analisou-se o comportamento da edificação construída em *WF* quando exposta as temperaturas elevadas da região estudada, situada na Zona Bioclimática 8.

A simulação foi realizada em um período de um ano, porém para esta pesquisa o foco foi nos resultados encontrados para os meses de junho e dezembro, pois são os meses mais frio e mais quente da localidade onde se encontra a HIS, respectivamente. As medições das temperaturas internas dos ambientes foram feitas a cada 15 minutos. Nos gráficos a seguir veremos a comparação do comportamento dos ambientes nos meses citados anteriormente.

Gráfico 1: Temperatura do Quarto 1



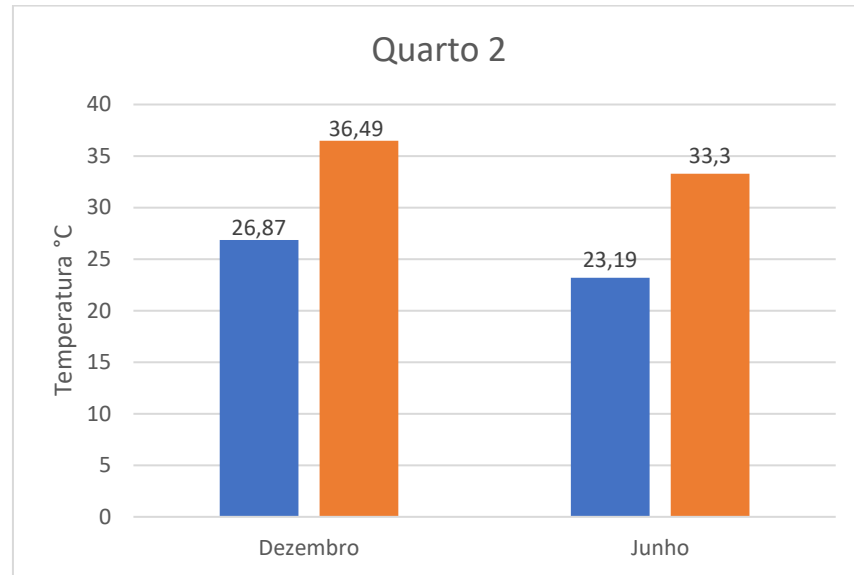
Fonte: Autor(a), 2024.

No gráfico acima pode-se notar que o ambiente se comporta melhor durante o mês de junho onde as temperaturas não são altas, o ambiente apresenta uma temperatura média de 28,49°C, a menor temperatura registrada é de 24 °C no dia 01 de junho às 06:15 da manhã e a temperatura mais alta é de 31,99 °C, no dia 24 de junho às 17:45 da tarde. Para o mês quente observamos que a maior temperatura registrada foi de 35,79 °C às 15:45 horas do dia 28 de dezembro e a menor foi 27,63 no dia 12 de dezembro às 06:30 da manhã.

O gráfico a seguir mostrar os resultados do quarto 2. No qual percebe-se que no mês de junho as temperaturas internas do ambiente são menores que no mês de dezembro, com uma temperatura média de 28,62 °C, enquanto o mês mais quente tem uma média de 32,14°C.

Os dias com temperatura elevadas foram 36,49 °C no dia 19 de dezembro às 16:15 horas e 33,30 °C na tarde do dia 24 de junho e os dias com menores índices de temperatura foram 26,87 °C e 23,19 °C, no mês mais quente e mais frio respectivamente.

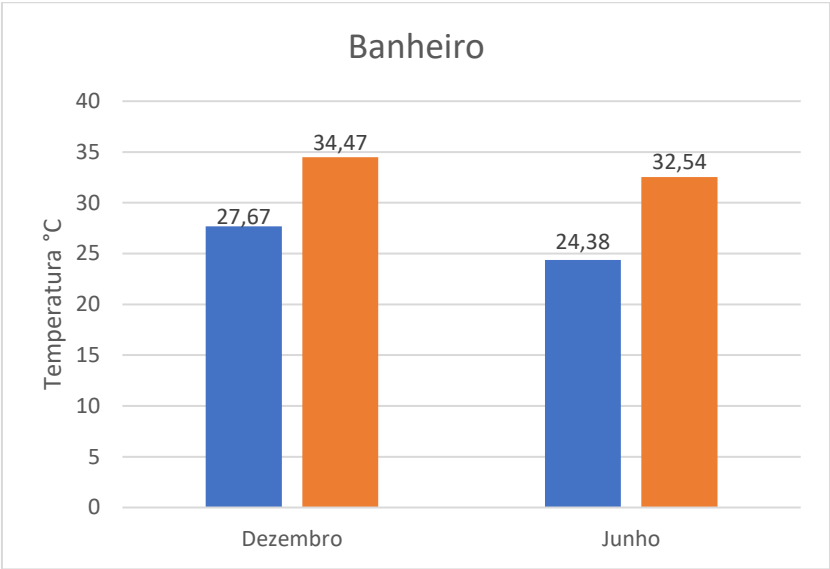
Gráfico 2: Temperatura interna do Quarto 2



Fonte: Autor(a), 2024.

A seguir serão ilustrados os resultados da simulação para o cômodo do banheiro (Gráfico 3). Para o banheiro os resultados mostrados pelo programa foram semelhantes aos anteriores, o mês de junho exibiu uma média de 28,86 °C, tendo seus dias de temperaturas máximas e mínimas no primeiro dia do mês às 07:45 da manhã e no dia 24 às 18:30 da noite, medindo 32,54 °C e 24,38 °C, respectivamente. No período quente do ano, os dias que registraram as maiores temperaturas foram 04 de dezembro, 27,67 °C às sete e quarenta e cinco da manhã e 34,47 °C no dia 19 às 18:00 horas. A média do mês foi de 31,68 °C.

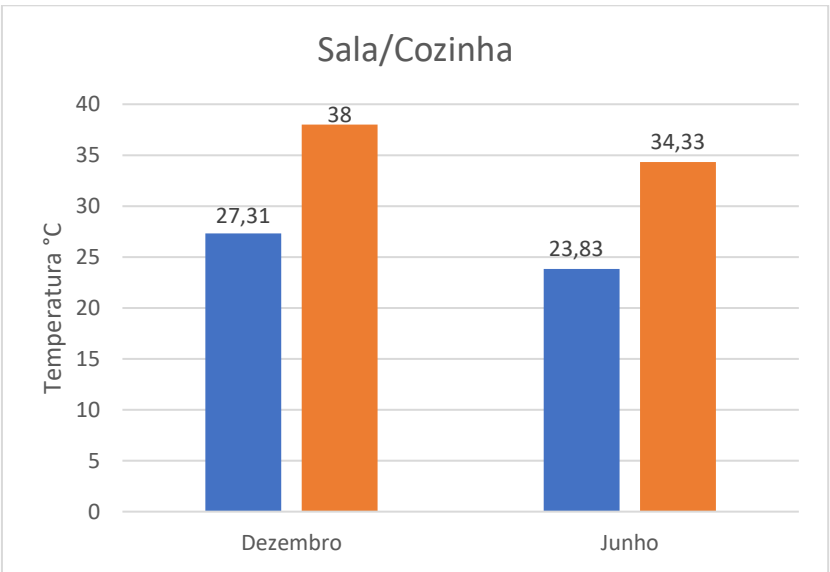
Gráfico 3: Temperatura interna do Banheiro



Fonte: Autor(a), 2024.

O gráfico 4 exibe as temperaturas registradas para a sala e cozinha, cômodos conjugados, variando entre 23,83 °C à 34,33 °C no período frio, com uma temperatura média de 29,42 °C durante o mês. No que diz respeito ao período de temperaturas mais elevadas os ambientes chegaram a aproximadamente 38 °C, no seu dia mais quente e 27,31 °C no dia mais frio, nos dias 04 às 06:00 horas da manhã e 27 de dezembro às 15 horas e 15 minutos.

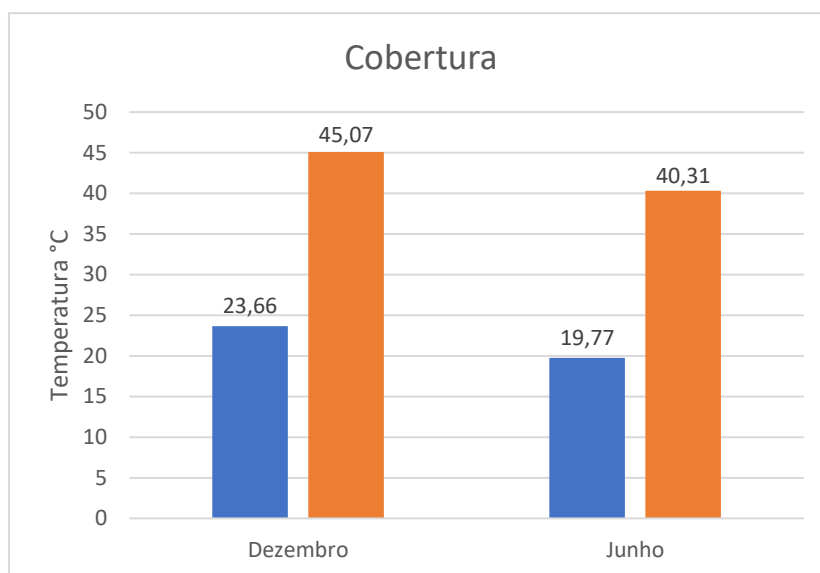
Gráfico 4: Temperatura interna da Sala/Cozinha



Fonte: Autor(a), 2024.

Como pode ser observado no gráfico 5, a zona térmica da cobertura apresentou resultados de máxima de 45,07°C e 40,31°C em dezembro e junho, respectivamente. Já como temperaturas mínimas obteve-se dados de 19,77 °C em junho e 23,66 °C em dezembro. Como resultados de índices médios de temperaturas 34,64 °C no mês quente e 30,21 °C no mês frio.

Gráfico 5: Temperatura da Cobertura



Fonte: Autor(a), 2024.

Como pôde ser observado nos gráficos acima, no mês de junho (mais frio), o *Wood Frame* teve um desempenho melhor do que no mês de dezembro (mais quente), observamos que de acordo com o horário a sensação de conforto térmico pode ser bastante afetada em uma edificação que não possui aparelho de ar-condicionado, principalmente no período mais quente do ano que normalmente para a região estudada permanece de meados de setembro à dezembro.

Já para o período mais frio, que pode ter duração de aproximadamente 4 meses, entre os meses de março até junho, as temperaturas não se mostram tão elevadas, o que resulta em uma sensação de conforto térmico mais aceitável nos ambientes da HIS, levando em conta que a edificação é naturalmente ventilada.

4.2 Nível de eficiência energética da HIS

Após a análise dos resultados extraídos do *Energy Plus*, realizou-se conforme o RQTR (Brasil, 2012) os cálculos necessários para determinar a classificação do nível de eficiência energética da edificação, como ilustra as tabelas abaixo:

Tabela 1: Classificação de eficiência energética da HIS para dezembro

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE ACORDO COM A TAB PROCEL				
Q1	Q2	WC	SALA/COZINHA	COBERTURA
D	D	D	E	E

Fonte: Autor(a), 2024.

Tabela 2: Classificação de eficiência energética da HIS para junho

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE ACORDO COM A TAB PROCEL				
Q1	Q2	WC	SALA/COZINHA	COBERTURA
C	C	C	C	C

Fonte: Autor(a), 2024.

De acordo com níveis de eficiência mostrados nas tabelas, observa-se que o sistema construtivo em *wood frame* não obteve um bom desempenho termoenergético, tendo classificações D e E no período quente do ano e tendo uma leve melhora na sua classificação (nível C) no mês de junho, os resultados nos mostram o quanto o sistema construtivo não é recomendado para a região semiárida potiguar devido as temperaturas elevadas e à sua baixa eficiência térmica.

Bortone *et al.*, 2019, em sua pesquisa analisou o desempenho termoenergético de edificações multifamiliares para a cidade de São Paulo, na ZB 3, e como resultado alcançou uma boa classificação do nível de eficiência energética, onde a edificação projetada em *WF* mostrou um desempenho superior (nível A e B) quando a edificação está em contato direto com o solo, níveis B e D para o pavimento intermediário e classificação D e C no pavimento da cobertura.

Cruz *et al.*, 2024, estudou as cidades de Curitiba - PR, Brasília - DF e Rio de Janeiro - RJ, todas situadas em zonas bioclimáticas distintas, ZB 1, ZB 4 e ZB 8, respectivamente. A pesquisa mostrou que o sistema construtivo em *wood frame* registrou o melhor desempenho energético em todas as cidades avaliadas. Apesar da cidade do Rio de Janeiro pertencer a mesma zona bioclimática da região estudada neste trabalho, vale ressaltar que as condições climáticas da região Nordeste são diferentes e isso tem grande influência nos resultados da simulação.

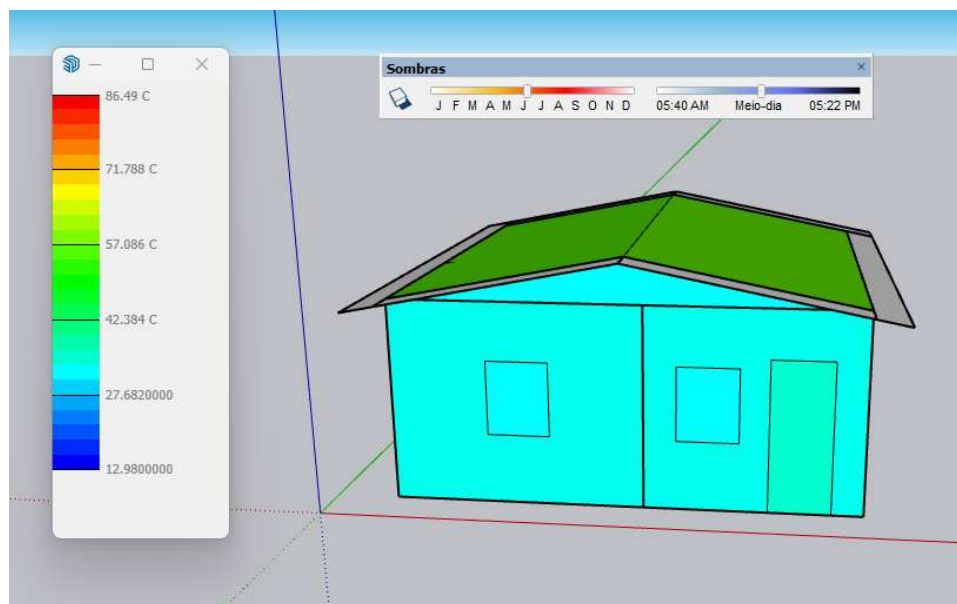
Trazendo as comparações para uma localidade semelhante a estudada nesta pesquisa, Oliveira, 2019, pesquisou sobre o desempenho térmico e eficiência energética do *WF* no

semiárido do Rio Grande do Norte (RN), mais precisamente na cidade de Caraúbas – RN, ZB 8, a autora obteve como resultados de classificação energética da residência a categoria E, mesmo que na simulação tenha sido considerado um sistema de refrigeração, concluindo que como a madeira é um material com baixa eficiência térmica seria necessário fazer uso de mais energia elétrica para manter o conforto térmico da residência.

4.3 Temperatura superficial

Outro resultado importante que a simulação apresentou foram as temperaturas das superfícies externas. Os dados foram obtidos quando houve a mudança das variáveis de saída no *software* para que ele gerasse as temperaturas na superfície das paredes externas e cobertura, como mostra a Figura 26.:

Figura 26: Temperatura superficial mês de junho

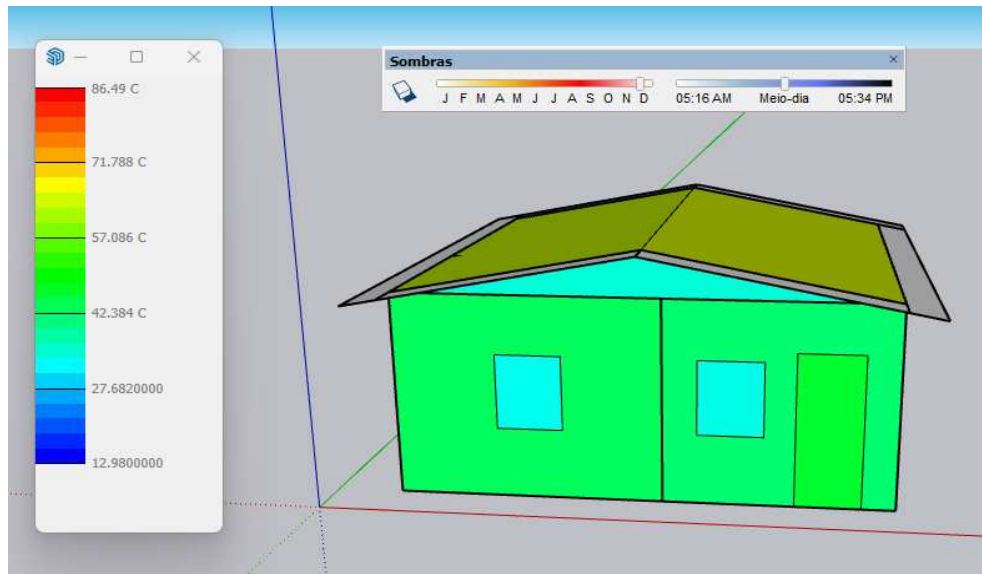


Fonte: Autoral, 2024

A imagem acima ilustra a temperatura das superfícies externas da HIS, nota-se que no mês de junho, ao meio meio-dia a variação das temperaturas das paredes e cobertura estão entre 25°C e 57 °C.

A seguir será mostrado o resultado obtido para o mês de dezembro (Figura 27).

Figura 27: Temperatura superficial mês de dezembro



Fonte: Autoral, 2024

De acordo com a figura 25, já é possível perceber uma mudança radical na escala das temperaturas, pode-se ver que as paredes exibem uma coloração mais esverdeada em comparação com o mês de junho, o que significa que a sua temperatura ultrapassa a medida de 42 °C mostrada na escala. Já o telhado excede a marca dos 57 °C, de acordo com a escala de cores ilustrada na figura 25.

Existem resultados de temperatura superficial para todo o período da simulação, porém foram escolhidos os dois meses citados anteriormente por serem os meses utilizados para realizar a classificação dos níveis de eficiência energética.

5 CONCLUSÕES

A pesquisa teve como objetivo classificar o nível de eficiência energética de uma habitação de interesse social através do método da simulação computacional mostrado no RQT-R, de acordo com os resultados obtidos por meio do *software Energy Plus* observou-se que ao analisarmos períodos distintos do ano o desempenho do *WF* é diferente, as temperaturas internas dos ambientes podem variar bastante, prejudicando a sensação de conforto térmico na HIS. Destacando-se como cômodo mais quente, a sala/cozinha que chegou a atingir 38 °C em dezembro e como mais frio, o quarto 2 que obteve a temperatura de 23,19 °C em junho.

No que diz respeito a eficiência energética, ao analisar os indicadores de graus-hora de resfriamento a HIS não demonstra uma classificação satisfatória para a zona bioclimática 8, tanto no mês com temperaturas menos elevadas quanto no mês mais quente, comprovando mais uma vez que o sistema construtivo em *WF*, não é recomendado para esta região.

Logo, conclui-se que os resultados apresentados neste estudo dão a possibilidade de realização de novos estudos onde podem ser utilizados novos arquivos climáticos, temperaturas de solos, materiais que compõem a estrutura das paredes e cobertura. O *Energy Plus* é um *software* completo e pode nos mostrar uma ampla variedade de resultados de acordo com a parametrização de cada simulação.

REFERÊNCIAS

AECWEB. **Painel OSB produzido com madeira de reflorestamento permite até oito usos.** Disponível em: <<https://www.aecweb.com.br/empresa/lp-brasil/16148/conteudo/painel-osb-produzido-com-madeira-de-reflorestamento-permite-ate-oito-usos/4200>>. Acesso em: 29 de fevereiro de 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3:** Desempenho térmico de edificações parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. 1ª Edição. Rio de Janeiro, 2005. 36 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1:** Edificações Habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: Copyright ©, 2013. 60 p.

BOLAFFI, G. "Urban Planning in Brazil: past experience, current trends." Habitat International - Special Issue Urban Development Over three decades: Practitioners' Perspectives on Policy, Planning and Management 16 (1990): 99- 110.

BOLSONI, Fernando. **Introdução ao sistema wood frame.** 1ª edição. Florianópolis, SC: Editora Escrita Criativa, 2020.

BORTONE, H.; NUNES, G. H.; GIGLIO, T. G. F. **Desempenho termoenergético de edificações multifamiliares em wood frame.** ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, v. 15, p. 1815-1824, 2019.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia-INMETRO. Portaria nº18, de 16 de janeiro de 2012. **Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais (RTQ-R).** Brasília, 2012.

BRUBACHER, L.; FERNANDES, V.; PACHLA, E.; SALUM, P. **Análise do desempenho térmico de vedações verticais em steel frame e wood frame segundo a ABNT NBR 15575:2013.** In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020. *Anais [...]*. Porto Alegre: ANTAC, 2020. p. 1–8. DOI: 10.46421/entac.v18i.1003. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/1003> . Acesso em: 17 fev. 2024.

CABRAL, M. R.; BLANCHET, P. **Um estado da arte da eficiência energética geral da madeira.** Edifícios – Uma visão geral e possibilidades futuras. Materiais 2021, n.14, 1848.

CAMPOS, L. A.; DIAS, R. R. **Vantagens e desvantagens do sistema construtivo wood frame e a comparação de custos com a alvenaria.** 2016.

CSILLAG, D.; LAMBERTS, R. **O Mercado de Construção de Interesse Social, Aspectos Energéticos e as Instituições Parceiras no Brasil.** 2015.

COISAS DO JAPÃO. Imperdível no Japão: templo Horyu-ji é a construção de madeira mais antiga do mundo. Disponível em: < <https://coisasdojapao.com/2021/01/horyu-ji/> > 19 de abril de 2024.

CRONOLOGIA DO PENSAMENTO URBANÍSTICO. Disponível em: <https://cronologiadourbanismo.ufba.br/apresentacao.php?idVerbete=1395#:~:text=No%20dia%201%C2%BA%20de%20janeiro,setoriais%20urbanas%20%2D%20habita%C3%A7%C3%A3o%2C%20saneamento%20e> . Acesso em: 15 de março de 2024.

CRUZ, A. S.; CARDÃO, A. B. L. J. .; FREITAS, C. V.; URRUCHUA, M. V.; CALDAS, L. R. **Avaliação do sistema de "wood frame" para habitação de interesse social considerando o desempenho térmico, energético, e emissão de carbono via otimização multiobjetivo.** In: ENCONTRO LATINO-AMERICANO E EUROPEU SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 5., 2023. *Anais [...]. [S. l.], 2023.* Disponível em: <<https://eventos.antac.org.br/index.php/euroelecs/article/view/3263>> . Acesso em: 18 mar. 2024

DINIZ, Poliana Luana Abreu et al. **Eficiência energética de edificações: estudo de caso no restaurante universitário da UFERSA Campus Caraúbas.** 2022.

DIRECIONAL. Habitação de Interesse Social: conheça o que é e suas características. Disponível em: <https://www.direcional.com.br/blog/meu-apartamento/habitacao-de-interesse-social/#Afinal_o_que_e_habitacao_de_interesse_social>. Acesso em: 07 de fevereiro de 2024.

D'OTTAVIANO, C. "Política Habitacional no Brasil e Programa de Locação Social Paulistano." may/august 2014: 255-266.

EUROPEAN HERITAGE TRIBUNE. As históricas igrejas de madeira da Noruega são ainda mais antigas d que se pensava. Disponível em: <

<https://heritagetribune.eu/pt/norway/norways-historic-stave-churches-are-even-older-than-previously-thought/> >. Acesso em: 19 de abril de 2024

ESPÍNDOLA, L. da R. **Habitação de interesse social em madeira conforme os princípios de coordenação modular e conectividade**. 2010. 172 f. 2010. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado)-Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

ESPÍNDOLA, L. R.; APRILANTI, M. D.; EL GHOUZ, H. B. C.; INO, A. Simulação de eficiência energética em projeto para habitação social em madeira. **XV EBRAMEM - Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira**, 09-11 mai. 2015. Curitiba, PR, Brasil.

ESPÍNDOLA, L. R.; INO, A. Inserção e financiamento do sistema Wood Frame no programa habitacional Minha Casa Minha Vida. **XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, [s.l.], p.1578-1587, 11 nov. 2014. Marketing Aumentado. <http://dx.doi.org/10.17012/entac2014.566>

FÉLIX DA SILVA, T. T.; SOBRINHO, J. E.; SOARES DE OLIVEIRA, A. K.; DA SILVA FREITAS, I. A.; BEZERRA DA SILVA, J. L.; TAVARES FERNANDES, G. S. Estimativa da temperatura do solo e comparação de variáveis meteorológicas em anos extremos de pluviosidade em Mossoró-RN. **Brazilian Journal of Agroecology and Sustainability**, [S. l.], v. 1, n. 2, 2020. DOI: 10.52719/bjas.v1i2.2886. Disponível em: <<https://www.journals.ufrpe.br/index.php/BJAS/article/view/2886>>. Acesso em: 7 mar. 2024

GUIMARÃES, A.; GÓES, M.; CARRASCO, E. **Edifícios de madeira duráveis e com eficiência energética**. IMPACT projects, v. 2, n. 1, p. 211-220, 26 jul. 2023.

ISOBLOCO. **A diferença entre a construção nos Estados Unidos e no Brasil**. Disponível em: <https://www.isobloco.com.br/2023/01/a-diferenca-entre-a-construcao-nos-estados-unidos-e-no-brasil/>. Acesso em: 07 de fevereiro de 2024.

LOURENÇO, Paulo B.; BRANCO, Jorge M.. Dos abrigos da pré-história aos edifícios de madeira do século XXI. In: MELO, Arnaldo Sousa; RIBEIRO, Maria do Carmo. **História da construção, arquitetura e técnicas construtivas**. Braga: CITCEM, 2013. p. 199-213.

MADEIRA. **Tablero OSB para uso estructural com espesor de 18 a 25 mm. Com classe técnica OSB/4 (CS2, CU2)**. Disponível em: <https://www.maderia.es/buscador->

[inteligente/producto/tablero-osb-para-uso-estructural-con-espesor-de-18-25-mm-clase-1.](#)

Acesso em 29 de fevereiro de 2024.

MALTA, N. S.; RABBI, I. M.; RODRIGUES, E. A. N. Conforto térmico, eficiência energética e viabilidade econômica em HIS. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 13, n. 00, p. e022020, 2022. DOI: 10.20396/parc. v13i00.8665076. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8665076> . Acesso em: 31 jan. 2024.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. Programa Minha Casa Minha Vida. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br>. Acesso em: 17 de fevereiro de 2024.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA & EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – BRASIL. Plano Nacional de Energia 2030. Brasília: MME: EPE, 2007.

MOLINA, Júlio Cesar ; Calil Junior, Carlito.**Sistema construtivo em wood frame para casas de madeira.** Seminário de Ciências Exatas e Tecnológicas (Online), v. 31, p. 143-156, 2010.

MUNIZ, L. Casa no Paraná faz bom uso do wood frame: a madeira dura até um século. 2015. Disponível em: < <https://casa.abril.com.br/casas-apartamentos/casa-no-parana-faz-bom-uso-do-wood-frame-a-madeira-dura-ate-um-seculo/> > . Acesso em: 17 de fevereiro de 2024.

NUNES, Gustavo Henrique et al. **Análise de métodos de cálculo para determinação da temperatura do solo em simulações computacionais.** ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, v. 15, p. 2169-2178, 2019.

OLIVEIRA, G. M. A. de. **Desempenho térmico e eficiência energética de construções em wood frame no semiárido do RN.** 2019. 57 f. Monografia (Graduação) – Curso de Bacharelado em Engenharia Civil, Universidade Federal Rural do Semi – Árido, Caraúbas, Brasil, 2019.

OLIVEIRA, G. M. A. de; SILVA, L. C. DE A. F. M. **Desempenho térmico e eficiência energética de habitação residencial em wood frame no semiárido do RN.** In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia. Palmas, 2019, p. 2-6.

OLIVEIRA, L. K. S.; RÊGO, R.M.; FRUTUOSO, M. N. M. A.; RODRIGUES, S. S. F. B. **Simulação computacional da eficiência energética para uma arquitetura sustentável**, Holos, vol. 4, 2016, pp. 217-230

PFEIL, M. S.; PFEIL, W. **Estruturas de Madeira**. 6. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2003. v. 1. 224p.

PREDABON, C. S. **Análise comparativa entre habitações de interesse social pelo método de cálculo RTQ-R**.

REIS, Antônio Tarcísio da Luz; LAY, Maria Cristina Dias. **O projeto da habitação de interesse social e a sustentabilidade social**. Ambiente Construído, v. 10, p. 99-119, 2010.

REIS, A. **Mass Housing Design, User Participation and Satisfaction** 1992. 361 f. Tese (Doutorado em Arquitetura) - Post-graduate Research School, School of Architecture, Oxford Brookes University, Oxford, 1992.

ROCHA, M. G. F.; JANNUZZI, G. D. S. A.; DE OLIVEIRA, C. B.; RODRIGUES JUNIOR, A. S. Sistema construtivo wood frame no Brasil: Wood frame construction system in Brazil. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, [S. l.], v. 5, n. 4, p. 3564–3574, 2022. DOI: 10.34188/bjaerv5n4-009. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJAER/article/view/53288>. Acesso em: 18 fev. 2024.

RYKWERT, Joseph. **A Sedução do Lugar: a história e o futuro da cidade**. São Paulo: Martins Fontes, 2004.

SOUZA, H. M. de; LEONELLI, P. A.; PIRES, C. A. P.; JÚNIOR, V. B. S.; PEREIRA, R. W. L. **Reflexões sobre os principais programas em eficiência energética existentes no Brasil**. Revista Brasileira de Energia, Vol.15, nº1, 1º Sem. 2009, pp. 7-26.

SOUZA, L. G. **Análise comparativa do custo de uma casa unifamiliar nos sistemas construtivos de alvenaria, madeira de lei e Wood Frame**. Florianópolis, 2012. Instituto de Pós-Graduação IPOG.

TECVERDE. **Construção Civil Sustentável: Tendências e práticas para um futuro responsável**. Disponível em: <<https://www.tecverde.com.br/2023/12/30/construcao-sustentavel/>>. Acesso em: 07 de fevereiro de 2024.

THINK WOOD. **Desinging for Durability**. Think Wood. [S.I], p. 1. 2015.

THINK WOOD. **Energy Efficient Wood Buildings**. Think Wood. [S.I], p. 1. 2015.

TRIANA, M. A.; BRACHT, M. K.; GERALD, M.; BAVARESCO, M.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. **Definição de estratégias de eficiência energética para uma edificação multifamiliar de HIS considerando análise de custo-benefício**. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2023. **Anais [...]**. [S. l.], 2023. p. 1–10. DOI: 10.46421/encac. v17i1.4067. Disponível em:< <https://eventos.antac.org.br/index.php/encac/article/view/4067> >. Acesso em: 31 jan. 2024.

VASQUES, C. C. P. C. F.; PIZZO, L. M. B. F. **Comparativo de sistemas construtivos, convencional e wood frame em residências unifamiliares**. 2014. 17 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Pós-graduação em Engenharia de Estruturas, Centro Universitário de Lins, Lins, 2014.

ZARA, R. B.; SANTOS, V. C.; GIGLIO, T. G. F. **Análise do nível de eficiência energética de uma habitação em wood frame pelos métodos prescritivo e simulação do RTQ-R**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2018. p. 457–466. Disponível em: <<https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/1373>>. Acesso em: 17 fev. 2024.