

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE

CAMPUS ARACAJU

DIREÇÃO DE ENSINO

COORDENADORIA DE ENGENHARIA CIVIL

CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

FRANCO FELIX CALDAS SILVA

**SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL E ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE
UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR DE INTERESSE SOCIAL NA CIDADE DE
ARACAJU-SE**

MONOGRAFIA

ARACAJU

2021

FRANCO FELIX CALDAS SILVA

**SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL E ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE
UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR DE INTERESSE SOCIAL NA CIDADE DE
ARACAJU-SE**

Monografia apresentada como requisito parcial
à obtenção do título de Bacharel, da
Coordenação do Curso de Engenharia Civil, do
Instituto Federal de Sergipe – Campus Aracaju.

Orientador: Prof^a. Dr.^a Carla Cristina
Nascimento Santos Pereira

ARACAJU

2021

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária Geocelly Oliveira Gambardella / CRB-5 1815,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Silva, Franco Felix Caldas

S586s Simulação Computacional e Análise do Desempenho Térmico de uma
residência unifamiliar de interesse social na cidade de Aracaju-SE. /
Franco Felix Caldas Silva. - Aracaju, 2021.

74 f. : il.

Orientadora: Prof^a Dr^a Carla Cristina Nascimento Santos Pereira.
Monografia (Graduação - Bacharelado em Engenharia Civil.) - Instituto
Federal de Sergipe, 2021.

1. Conforto térmico. 2. Simulação térmica. 3. Norma de
desempenho. 4. Jardim vertical. 5. Programa EnergyPlus. I. Pereira,
Carla Cristina Nascimento Santos. II. Título.

CDU 62(81)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE
Av. Jorge Amado, 1551 Loteamento Garcia, Bairro Jardins - CEP 49025-330 Aracaju/SE
Fone: (79) 3711 1400 E-mail: reitoria@ifs.edu.br

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE
CAMPUS ARACAJU
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia N° 194

**SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL E ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE
UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR DE INTERESSE SOCIAL NA CIDADE DE
ARACAJU-SE**

FRANCO FELIX CALDAS SILVA

Esta monografia foi apresentada às 8:30 horas do dia 15 de abril de 2021 como requisito parcial para a obtenção do título de BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.

O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof(a). M.ª Andrea Santana Teixeira
Lins

(IFS-Campus Aracaju)

Prof(a). Dr.ª Carla Cristina Nascimento
Santos Pereira

(IFS-Campus Aracaju)

Orientador(a)

Prof. MSc. Emiliana de Souza Rezende Guedes
(IFS – Campus Aracaju)
Orientadora

Prof. Dr. Pablo Gleydson de Sousa
(IFS – Campus Aracaju)
Coordenador da COEC

AGRADECIMENTOS

Gratidão ao Universo.

Sou grato pelo convívio com os colegas de graduação.

Sou grato pelo aprendizado com os docentes do IFS-SE - Campus Aracaju, em especial Prof.^a Dr.^a Gisela Azevedo Menezes Brasileiro, Prof.^a Dr.^a Carla Cristina Nascimento Santos Pereira e Prof.^a M^a. Andrea Santana Teixeira Lins.

Sou grato por ter pessoas maravilhosas ao meu redor, em especial Tate (minha grande avó), Samantha (minha grande mãe), Amadeu (meu grande pai), Dani (minha amada imortal), Florentina (minha grande avó) e Dilene (minha grande tia). Vocês são fundamentais.

Amar e mudar as coisas me interessa mais.
(BELCHIOR, 1976)

RESUMO

SILVA, Franco. **Simulação Computacional e Análise do Desempenho Térmico de Uma Residência Unifamiliar de Interesse Social na Cidade de Aracaju-SE**. 74 folhas. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – Campus Aracaju. 2021.

O desconforto térmico residencial é uma problemática comum no Brasil, principalmente na região Nordeste. Os centros urbanos com altos índices de construção e poucas áreas verdes favorecem a ocorrência de fenômenos como as Ilhas de Calor Urbano, atrapalhando a troca térmica entre ambientes e elevando as temperaturas. Nesse sentido a ABNT NBR 15.220:2003 e a ABNT NBR 15.575:2013 apresentam parâmetros a serem cumpridos pelas edificações no intuito de resguardar o conforto térmico do usuário. Assim, o presente estudo simulou e analisou termicamente uma residência de interesse social na cidade de Aracaju - SE. Foram estudados 3 sistemas de alvenaria: Alvenaria em bloco cerâmico; Alvenaria em bloco de concreto; Alvenaria em bloco cerâmico com utilização de jardim vertical. Assim, foi possível analisar os dois sistemas de alvenaria mais utilizados no Brasil e estudar uma solução sustentável para o arrefecimento da temperatura do imóvel. Para análises com maior embasamento foi efetuado o orçamento de 1 metro quadrado de cada um dos modelos. Os resultados das simulações e dos custos mostraram que os 3 sistemas avaliados atendem às exigências normativas e que a adoção do jardim vertical ao passo que aumenta o custo final do empreendimento é capaz de promover significativa melhora no desempenho térmico do cômodo mais aquecido. Os resultados encontrados evidenciam que é possível atender às determinações térmicas normativas com as técnicas construtivas utilizadas cotidianamente e que a adoção de uma solução sustentável como o jardim vertical acarreta em benefício estético e térmico para a edificação.

Palavras-chave: Conforto térmico. Simulação térmica. Norma de desempenho. Jardim vertical. Programa EnergyPlus.

ABSTRACT

SILVA, Franco. **Computer Simulation and Analysis of the Thermal Performance of a Single Family Residence of Social Interest in the City of Aracaju-SE.** 74 sheets. Monograph (Bachelor of Civil Engineering) - Federal Institute of Education, Science and Technology of Sergipe - Campus Aracaju. 2021.

Residential thermal discomfort is a common problem in Brazil, especially in the Northeast region. Urban centers with high construction rates and few green areas favor the occurrence of phenomena such as the Urban Heat Islands, hindering the thermal exchange between environments and raising temperatures. In this sense, ABNT NBR 15.220: 2003 and ABNT NBR 15.575: 2013 present parameters to be fulfilled by buildings in order to safeguard the thermal comfort of the user. In this way, the present study simulated and thermally analyzed a residence of social interest in the city of Aracaju - SE. Three masonry systems were studied: Masonry in ceramic block; Concrete block masonry; Ceramic block masonry with use of vertical garden. Thus it was possible to analyze the two masonry systems most used in Brazil and to study a sustainable solution for cooling the temperature of the house. For analyzes with a better basis, a budget of 1 square meter was made for each of the models. The results of the simulations and costs showed that the 3 systems evaluated meet the normative requirements and that the adoption of the vertical garden while increasing the final cost of the project is able to promote a significant improvement in the thermal performance of the most heated room. The results found show that it is possible to meet the normative thermal determinations with the constructive techniques used daily and that the adoption of a sustainable solution such as the vertical garden has an aesthetic and thermal benefit for the building.

Keywords: Thermal comfort. Thermal simulation. Performance standard. Vertical garden. EnergyPlus Software.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Zoneamento Bioclimático brasileiro.....	20
Figura 2– Trocas térmicas entre exterior e interior da edificação.....	29
Figura 3– Interface do <i>EnergyPlus</i>	35
Figura 4– Interface do <i>OpenStudio</i>	35
Figura 5– Esquema de bloco com espessura equivalente	36
Figura 6– Representação esquemática de paredes verdes	39
Figura 7- Etapas da simulação computacional.....	40
Figura 8– Planta baixa da residência	44
Figura 9– Corte A-A	44
Figura 10– Corte B-B	45
Figura 11– Planta de cobertura	45
Figura 12– Detalhe da cobertura.....	46
Figura 13– Detalhe esquemático da fundação	46
Figura 14– Detalhe construtivo da fachada.....	47
Figura 15– Planta baixa com rosa dos ventos.....	48
Figura 16– Habitação modelada através do SketchUp	48
Figura 17– Incidência solar na residência ao longo do dia.....	53
Figura 18– Esquema de ventilação cruzada na residência	57
Figura 19– Superfícies da Sala	58
Figura 20– Superfícies do Dormitório 1.....	59
Figura 21– Superfícies do Dormitório 2	60

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1– TBS e TBU ao longo do dia	53
Gráfico 2– Temperaturas para a Sala	54
Gráfico 3– Temperaturas para o Dormitório 1	55
Gráfico 4– Temperaturas para o Dormitório 2	56
Gráfico 5– Relação entre custo e melhoria	63

LISTA DE QUADROS

Quadro 1– Partes da ABNT NBR 15.220	19
Quadro 2– Partes da ABNT NBR 15.575	22
Quadro 3– Estratégias de condicionamento térmico.....	26
Quadro 4– Detalhamento de estratégias de condicionamento térmico	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1– Limites térmicos para elementos construtivos	20
Tabela 2– Relação entre área de piso e abertura para ventilação	21
Tabela 3- Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão ..	23
Tabela 4- Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno	24
Tabela 5– Transmitância térmica de paredes externas.....	24
Tabela 6– Transmitância térmica de coberturas	24
Tabela 7– Capacidade térmica para paredes externas.....	24
Tabela 8– Abertura para ventilação em relação à área de piso	25
Tabela 9– Dados climáticos de Aracaju para o dia típico	25
Tabela 10– Materiais utilizados e suas propriedades térmicas	41
Tabela 11– Padrão de ocupação para dias de semana e final de semana.....	42
Tabela 12– Designação das zonas térmicas.....	42
Tabela 13– Abertura para ventilação com relação à área de piso	51
Tabela 14– Propriedades térmicas dos elementos	52
Tabela 15– TBS e TBU	54
Tabela 16– Temperaturas internas máximas para a Sala.....	54
Tabela 17– Temperatura interna máxima para o Dormitório 1	55
Tabela 18– Temperatura interna máxima para o Dormitório 2	56
Tabela 19– Temperaturas máximas das superfícies da Sala.....	58
Tabela 20– Temperaturas máximas das superfícies do Dormitório 1	59
Tabela 21– Temperaturas máximas das superfícies do Dormitório 2	60
Tabela 22– Custo de 1 m ² de RR.....	61
Tabela 23– Custo de 1 m ² de RC.....	61
Tabela 24– Custo de 1 m ² de RV.....	62
Tabela 25– Custo total para cada método	62
Tabela 26– Comparação entre custo e melhoria no desempenho térmico	63

LISTA DE ABREVIATURAS

Un – Unidade
TBU – Temperatura de bulbo úmido
TBS – Temperatura de bulbo seco
Rt – Resistência térmica total
R – Resistência térmica
Coef. - Coeficiente
FT – Fator de correção
FS – Fator solar
e – Espessura
Ct – Capacidade térmica
ren/h – Renovações por hora
U – Transmitância térmica
°C – Graus Celsius

LISTA DE SIGLAS

RTQ-R – Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais
ZB – Zona Bioclimática
OMM – Organização Meteorológica Mundial
NBR – Norma brasileira
MCMV – Minha Casa Minha Vida
ICU – Índice de Calor Urbano
epw – *EnergyPlus* Weather Format
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

LISTA DE ACRÔNIMOS

ANVISA – Agência de Vigilância Sanitária

CEHOP – Companhia Estadual de Habitação e Obras Públicas de Sergipe

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

ISO – Organização Internacional de Normalização

LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações

ORSE – Sistema de Orçamento de Obras de Sergipe

SEINFRA - Secretaria da Infraestrutura do Ceará

LISTA DE SÍMBOLOS

ϕ	Atraso térmico
α	Absortância térmica
λ	Condutividade térmica
c	Calor específico
ρ	Densidade de massa aparente

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	OBJETIVO GERAL	18
2.1	OBJETIVO ESPECÍFICO	18
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
3.1	ABNT NBR 15.220 - DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES.....	19
3.2	ABNT NBR 15.575 - EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS – DESEMPENHO	21
3.3	DIRETRIZES CONSTRUTIVAS PARA A ZB 8 EM FACE DA ABNT NBR 15.220 E DA ABNT NBR 15.575	25
3.4	CONFORTO TÉRMICO	26
3.4.1	Definição.....	26
3.4.2	Temperatura do Corpo Humano e Interação Com o Ambiente.....	27
3.4.3	Ventilação Cruzada	27
3.4.4	Trocas Térmicas	28
3.4.5	Temperatura de Bulbo Seco (TBS) e Temperatura de Bulbo Úmido (TBU) ...	28
3.4.6	Propriedades Termofísicas dos Elementos	29
3.4.6.1	Seção do elemento.....	30
3.4.6.2	Condutividade térmica	30
3.4.6.3	Absortância, refletância, emissividade e densidade de massa aparente ...	30
3.4.6.4	Capacidade térmica e calor específico	31
3.4.6.5	Resistência térmica	31
3.4.6.6	Transmitância térmica	32
3.4.6.7	Atraso térmico	33
3.4.6.8	Fator solar	33
3.4.7	Energyplus.....	33
3.4.8	Bloco Equivalente	36
3.4.9	Padrão de Ocupação	37
3.4.10	Bloco Cerâmico	37
3.4.11	Bloco de Concreto	38
3.4.12	Parede Verde.....	38
4	METODOLOGIA DE TRABALHO	39
4.1	PARAMETRIZAÇÃO.....	40
4.1.1	Dados de Entrada.....	40
4.1.2	Dados de Saída	43

4.2	CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO	43
4.2.1	Dados Gerais.....	43
4.2.2	Planta Baixa, Cortes e Cobertura	43
4.2.3	Estrutura	46
4.3	MODELAGEM.....	47
4.4	MODELOS PROPOSTOS	49
4.4.1	Bloco de Concreto	49
4.4.2	Parede Verde.....	49
4.5	CUSTO DA ALVENARIA POR METRO QUADRADO	50
4.6	COMPARAÇÃO COM TRABALHOS CORRELATOS	50
5	RESULTADOS E DISCUSSões	51
5.1	ABERTURA PARA VENTILAÇÃO	51
5.2	PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS ELEMENTOS	51
5.3	TEMPERATURAS NOS AMBIENTES	52
5.4	TEMPERATURAS DAS ALVENARIAS.....	58
5.5	CUSTO DA ALVENARIA POR METRO QUADRADO	61
5.6	COMPARAÇÃO COM ESTUDOS CORRELATOS.....	64
6	CONCLUSÃO	67
	REFERÊNCIAS.....	69

1 INTRODUÇÃO

Os parâmetros que definem os critérios mínimos para a satisfação do usuário de um imóvel são componentes que norteiam as técnicas e métodos construtivos empregados nas edificações. O desenvolvimento técnico-científico da engenharia civil possibilitou o aprofundamento no conhecimento do comportamento dos materiais utilizados, bem como a elaboração de componentes mais eficientes visando o atendimento de requisitos específicos.

Quando se fala em conforto do usuário o bem-estar térmico é um fator de relevância que demorou em receber a atenção devida na engenharia. É possível afirmar que no Brasil a preocupação com conforto térmico é algo recente. Apenas no ano de 2003 entrou em vigor a ABNT NBR 15.220 - Desempenho Térmico de Edificações (ABNT NBR 15.220, 2003), seguida no ano de 2013 pela ABNT NBR 15.575 - Edificações Habitacionais - Desempenho (ABNT NBR 15.575, 2013). Essa última apresentando dois métodos para proceder com a avaliação térmica.

Na Europa a situação não foi muito diferente do Brasil segundo afirma Loureiro (2017). O autor relata que até a década de 90 as áreas de conforto térmico e eficiência energética não eram reguladas, o que representava altos custos no funcionamento das edificações relativo a aquecimento ou arrefecimento de suas temperaturas internas.

O desempenho térmico de uma edificação está intimamente relacionado com a temática da sustentabilidade. É sabido que em edificações que por si só não são capazes de promover o adequado conforto aos seus usuários será necessária a utilização de aparelhos reguladores de temperatura, gerando um custo que poderia ser evitado se a edificação conseguisse promover uma troca térmica satisfatória entre ambiente interno e externo.

Estima-se que entre 2005 e 2017 o consumo de energia elétrica mais que triplicou devido à utilização de aparelhos que promovem a climatização artificial (EPE, 2018). Consequentemente tal aumento no consumo energético exige que as fontes que suprem essa demanda sejam mais requisitadas, ao mesmo tempo em que é lançada maior quantidade de gases poluentes na atmosfera. Davis e Gertler (2015) obtiveram projeções que indicam que 70% dos lares terão refrigeradores de

ar até o final do século, representando um aumento anual de 23 milhões de toneladas em emissões de gases poluentes.

É importante ressaltar também o fenômeno das Ilhas de Calor Urbano (ICU) provocado pelo crescimento desordenado das áreas urbanas, concentração de alta densidade de edifícios, falta de área verde, impermeabilização do solo em larga escala e emissão de gases poluentes em quantidades expressivas. Esses fatores atrapalham a circulação dos ventos e a dispersão dos poluentes, ao mesmo tempo em que reduzem o processo de evaporação natural do solo (BIAS, BAPTISTA e LOMBARDO, 2003). Em relatório o IPCC (2007) projetou maior frequência de ondas de calor em áreas urbanas, com acréscimo na intensidade e duração. O relatório ainda estimou que até 2030 pode ocorrer aumento de 3,2°C nas temperaturas globais. Os resultados encontrados mostram que as situações mais críticas para o Brasil serão para a Amazônia e para o Nordeste, que podem ter aumento no aquecimento médio na ordem de 5°C até 2100.

Tais aspectos demonstram que a preocupação com o conforto térmico é um campo que tende a ser cada vez mais requisitado com o passar dos anos. Sua recente normatização ratifica a importância de destinar atenção para o desempenho térmico das edificações.

Com tais perspectivas a atenção ao cumprimento dos requisitos térmicos torna-se imprescindível para adequar a edificação aos padrões normativos e para que as construções proporcionem o conforto necessário aos seus usuários.

Dessa forma, o presente trabalho tem por finalidade a simulação e análise térmica de uma edificação unifamiliar nos padrões Minha Casa Minha Vida (MCMV) localizada na cidade de Aracaju, Sergipe através do programa *EnergyPlus*.

2 OBJETIVO GERAL

Realizar simulação térmica de uma residência unifamiliar localizada na cidade de Aracaju, Sergipe, projetada nos padrões MCMV para fins de análise térmica em 3 diferentes sistemas de situações de vedação, utilizando o programa EnergyPlus.

2.1 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Modelar no Software SketchUp uma residência unifamiliar;
- Propor possibilidades de melhoria térmica na alvenaria;
- Levantar o custo do metro quadrado dos modelos analisados;
- Comparar os resultados obtidos com as recomendações normativas;
- Comparar os resultados obtidos com os resultados de trabalhos correlatos.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão abordados os conceitos necessários para o entendimento do trabalho aqui exposto.

Será descrita a normatização relacionada e os conceitos referentes às análises térmicas. Também será apresentado o programa de simulação térmica e as propriedades dos materiais construtivos estudados.

3.1 ABNT NBR 15.220 - DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES

Ao tratar de desempenho térmico de edificações a principal referência brasileira é a ABNT NBR 15.220 - Desempenho Térmico de Edificações (ABNT NBR 15.220, 2003). A norma apresenta parâmetros mínimos de desempenho das edificações, bem como aborda recomendações construtivas e fornece características térmicas dos materiais construtivos mais usuais na engenharia. A norma é dividida em 5 partes, as quais estão relacionadas no Quadro 1.

Quadro 1– Partes da ABNT NBR 15.220

NBR 15220 (2005): Desempenho térmico de edificações	
Parte 1	Definições, símbolos e unidades
Parte 2	Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar
Parte 3	Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social
Parte 4	Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida
Parte 5	Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico

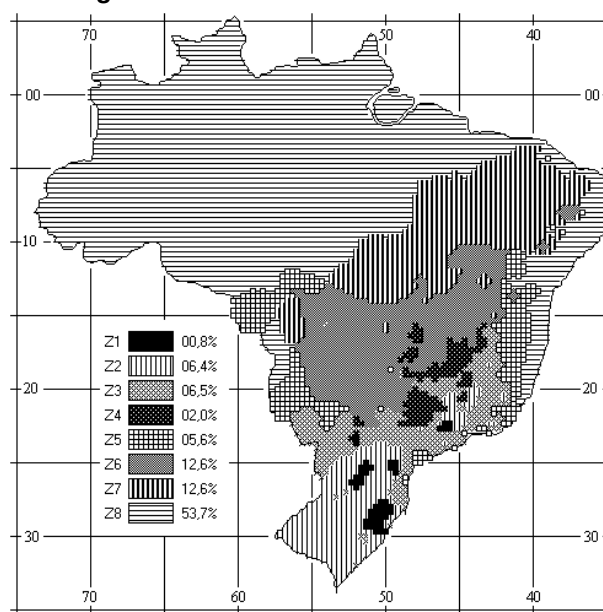
Fonte: O autor (2021)

Na Parte 1 da referida norma são expostos os símbolos, definições e unidades que serão necessárias em suas partes seguintes.

A Parte 2 apresenta os métodos necessários para o cálculo de propriedades térmicas dos componentes que compõem a edificação. As propriedades abordadas são: resistência, transmitância e capacidade térmica, atraso térmico e fator de calor solar. Juntamente com os valores característicos para os componentes construtivos mais usuais a norma apresenta exemplos de cálculo.

Em sua Parte 3 é estabelecido o Zoneamento Bioclimático do território brasileiro, trazendo recomendações e estratégias construtivas para habitações unifamiliares de interesse social para cada uma das 8 zonas do país. O zoneamento brasileiro pode ser observado na Figura 1.

Figura 1– Zoneamento Bioclimático brasileiro



Fonte: ABNT NBR 15220-3 (2003)

Também são determinados os valores limites para a transmitância térmica, atraso térmico e fator solar para os elementos construtivos conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1– Limites térmicos para elementos construtivos

Vedação externa	Trasmitância térmica - U (W/m ² k)	Atraso térmico - ϕ (horas)	Fator Solar - FS (%)
Parede leve	$U \leq 3,00$	$\phi \leq 4,30$	$FS \leq 5,00$
Parede leve refletora	$U \leq 3,60$	$\phi \leq 4,30$	$FS \leq 4,00$
Parede pesada	$U \leq 2,20$	$\phi \geq 6,50$	$FS \leq 3,50$
Cobertura leve isolada	$U \leq 2,00$	$\phi \leq 3,30$	$FS \leq 6,50$
Cobertura leve refletora	$U \leq 2,30 \text{ FT}$	$\phi \leq 3,30$	$FS \leq 6,50$
Cobertura pesada	$U \leq 2,00$	$\phi \geq 6,50$	$FS \leq 6,50$

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 15220-3 (2003)

O fator de correção da transmitância aceitável “FT” para coberturas da zona 8 é dado pela Equação 1, sendo “h” a altura de abertura em dois beirais opostos dada em centímetros. A observação que a norma faz é que para coberturas sem forro ou com áticos não ventilados tem-se $FT = 1$.

$$FT = 1,17 - 1,07 * h^{-1,04} \quad (01)$$

Na Tabela 2 a norma especifica o percentual de área de piso com relação à abertura para ventilação.

Tabela 2– Relação entre área de piso e abertura para ventilação

Abertura para ventilação	A (em % da area do piso)
Pequenas	10% < A < 15%
Médias	15% < A < 25%
Grandes e sombreadas	A > 40%
Fonte: Adaptado da ABNT NBR 15220-3 (2003)	

Ainda na Parte 3 a norma diz que a avaliação do desempenho térmico da edificação pode ser realizada na fase de projeto ou mesmo após a construção finalizada. Após a construção finalizada a medição de variáveis representativas deve ser realizada *in loco* e para a avaliação na fase de projeto a recomendação é a simulação computacional ou verificação do cumprimento de diretrizes construtivas. A ABNT NBR 15.575 (2013) apresenta a metodologia para o desenvolvimento dos procedimentos de avaliação através de simulação computacional.

Encerrando a norma em questão, a Parte 4 e a Parte 5 são referentes aos procedimentos de ensaio em campo para medição da resistência dos materiais respectivamente pelo Método da Placa Quente Protegida e pelo Método Fluximétrico.

3.2 ABNT NBR 15.575 - EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS – DESEMPENHO

Como forma de determinar critérios indispensáveis ao desempenho de edificações habitacionais foi elaborada a ABNT NBR 15.575 - Edificações Habitacionais – Desempenho (ABNT NBR 15.575, 2013). Sua função é prezar pela acessibilidade, vida útil da edificação, conforto, estabilidade, segurança estrutural e contra incêndios. Suas diretrizes são focadas na habitabilidade e na permanência da qualidade da edificação. Dessa forma as devidas responsabilidades são atribuídas à construtores, fornecedores, projetistas, incorporadoras e usuários.

A norma em questão é dividida em 6 partes, sendo elas expressas no Quadro 2.

Quadro 2– Partes da ABNT NBR 15.575

NBR 15575 (2013): Edificações Habitacionais - Desempenho	
Parte 1	Requisitos gerais
Parte 2	Requisitos para os sistemas estruturais
Parte 3	Requisitos para os sistemas de pisos
Parte 4	Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas
Parte 5	Requisitos para os sistemas de coberturas
Parte 6	Requisitos para os sistemas hidrossanitários

Fonte: O autor (2021)

As exigências referentes à habitabilidade são componentes que visam manter a satisfação do usuário ao utilizar a edificação. Tais exigências são expressas como funcionalidade e acessibilidade, estanqueidade, conforto tátil e antropodinâmico, desempenho térmico, desempenho acústico, saúde, higiene e qualidade do ar e desempenho lumínico.

Destacando as recomendações com ênfase no conforto térmico presentes em sua Parte 1, a norma diz que a edificação deve apresentar características condizentes com sua respectiva Zona Bioclimática (ZB), as quais encontram-se especificadas na ABNT NBR 15.220-3 (2003). A norma descreve dois procedimentos para avaliação das características térmicas da edificação:

a) Procedimento 1 – Simplificado (normativo): atendimento aos requisitos e critérios para os sistemas de vedação e coberturas, conforme ABNT NBR 15575-4 e ABNT NBR 15575-5. Para os casos em que a avaliação de transmitância térmica e capacidade térmica, conforme os critérios e métodos estabelecidos nas ABNT NBR 15575-4 e ABNT NBR 15575-5, resultem em desempenho térmico insatisfatório, o projetista deve avaliar o desempenho térmico da edificação como um todo pelo método da simulação computacional conforme 11.2.

b) Procedimento 2 – Medição (informativo, Anexo A): verificação do atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos nesta Norma, por meio da realização de medições em edificações ou protótipos construídos. Este método é de caráter meramente informativo e não se sobrepõe aos procedimentos descritos no item a), conforme disposto na Diretiva 2 da ABNT. (ABNT NBR 15.575, 2013).

Em seguida a norma estabelece alguns parâmetros para efetuar a análise computacional. É dito que na composição de materiais devem ser usados dados das propriedades termofísicas dos materiais e/ou componentes de construção. A avaliação deve ser tomada para um dia típico de verão e de inverno, com a utilização de dados climáticos referentes à região de implantação da edificação. A habitação deve ser considerada como um todo, sendo atribuída uma zona térmica para cada um dos ambientes. Quando se trabalha com edifícios habitacionais ou

multiuso é necessário que sejam tomadas para análise unidades representativas que apresentem as condições menos favoráveis. Cada recinto deve ser simulado com a consideração das trocas térmicas entre os ambientes, sendo avaliados os resultados dos recintos que apresentam maior permanência (sala e dormitórios). A orientação geográfica da construção deve estar condizente com a implantação da edificação ou na condição mais crítica do ponto de vista térmico. Essa condição mais crítica se dá pela exposição de ao menos uma janela da sala ou dormitório voltada para o oeste no verão e no inverno para o sul. Deve ser considerado que as paredes e janelas externas se encontram desobstruídas de outras edificações ou vegetação que modifiquem a incidência do sol e/ou vento. A taxa de ventilação adotada para o ambiente deve ser de 1 ren/h. A absorptância à radiação solar das superfícies expostas é definida de acordo com a cor prevista em projeto, sendo recomendado: $\alpha = 0,3$ para cor clara; $\alpha = 0,5$ para cor média; $\alpha = 0,7$ para cor escura. Para o edifício que não cumprir os requisitos estabelecidos para o verão devem ser efetuadas modificações no projeto seja aumentando o sombreamento das janelas e/ou taxa de ventilação dos ambientes para 5 ren/h.

A norma apresenta 3 níveis de temperatura: Mínimo (M), Intermediário (I), Superior (S). Na Tabela 3 são elencados os limites de temperatura para as condições de verão.

Tabela 3- Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão

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

$T_{i,m\acute{a}x.}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius.

$T_{e,m\acute{a}x.}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius.

$T_{i,m\acute{i}n.}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius.

$T_{e,m\acute{i}n.}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius.

NOTA Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 15575-1 (2013)

Na Tabela 4 são especificados os limites de temperatura para as condições de inverno.

Tabela 4- Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 5	Zona 6 a 8
M	$T_{i,mín.} \geq (T_{e,mín.} + 3\text{ }^{\circ}\text{C})$	Nestas zonas, este critério não precisa ser verificado
I	$T_{i,mín.} \geq (T_{e,mín.} + 5\text{ }^{\circ}\text{C})$	
S	$T_{i,mín.} \geq (T_{e,mín.} + 7\text{ }^{\circ}\text{C})$	

$T_{i,mín.}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius.

$T_{e,mín.}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius.

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 15575-1 (2013)

Quanto a valores máximos admissíveis para transmitância térmica de paredes externas e coberturas a norma apresenta os requisitos que constam na Tabela 5 e na Tabela 6 respectivamente. Para a capacidade térmica os valores mínimos são apresentados na Tabela 7.

Tabela 5– Transmitância térmica de paredes externas

Transmitância térmica de paredes externas $U\text{ W/m}^2\text{K}$		
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
$U \leq 2,5$	$\alpha \leq 0,6$	$\alpha > 0,6$
	$U \leq 3,7$	$U \leq 2,5$

α é absorptância à radiação solar da superfície externa da parede.

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 15575-4 (2013)

Tabela 6– Transmitância térmica de coberturas

Transmitância térmica de coberturas $U\text{ W/m}^2\text{K}$				
Zonas 1 e 2	Zonas 3 a 6		Zonas 7 e 8	
$U \leq 2,3$	$\alpha \leq 0,6$	$\alpha > 0,6$	$\alpha \leq 0,4$	$\alpha > 0,4$
	$U \leq 2,3$	$U \leq 1,5$	$U \leq 2,3\text{FT}$	$U \leq 1,5\text{FT}$

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 15575-5 (2013)

Tabela 7– Capacidade térmica para paredes externas

Capacidade térmica (CT) $\text{KJ/m}^2\text{K}$	
Zonas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7	Zona 8
$\geq 130\text{ KJ/m}^2\text{K}$	Sem requisito

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 15575-4 (2013)

Com relação à área de abertura para ventilação em locais de permanência prolongada a norma apresenta os requisitos listados na Tabela 8.

Tabela 8– Abertura para ventilação em relação à área de piso

Nível de desempenho	Aberturas para ventilação (A)	
	Zonas 1 a 7 Aberturas médias	Zona 8 Aberturas grandes
Mínimo	$A \geq 7\%$ da área de piso	$A \geq 12\%$ da área de piso – região norte do Brasil $A \geq 8\%$ da área de piso – região nordeste e sudeste do Brasil
NOTA Nas zonas de 1 a 6, as áreas de ventilação devem ser passíveis de serem vedadas durante o período de frio.		
Fonte: Adaptado da ABNT NBR 15575-4 (2013)		

3.3 DIRETRIZES CONSTRUTIVAS PARA A ZB 8 EM FACE DA ABNT NBR 15.220 E DA ABNT NBR 15.575

Aracaju é capital do estado de Sergipe, localizada no Nordeste brasileiro. A cidade está a 3 m acima do nível do mar e conta com um verão seco e um inverno chuvoso. Possui alto índice de umidade, vento na direção Leste e elevadas temperaturas (COSTA, 2009).

O município encontra-se na ZB 8, que corresponde a 53,7% do território nacional, sendo a Zona mais representativa no que diz respeito a dimensões.

Para habitações na ZB 8 a ABNT NBR 15.220-3 (2003) recomenda aberturas para ventilação grandes e sombreadas. Quanto às vedações externas a norma recomenda tanto parede quanto coberturas leves e refletoras.

A ABNT NBR 15.575-1 (2013) apresenta alguns dados climáticos específicos para a cidade de Aracaju, como é observado na Tabela 9.

Tabela 9– Dados climáticos de Aracaju para o dia típico

Cidade	Período	Temperatura mínima diária °C	Temperatura máxima diária °C	Amplitude diária de temperatura °C	Temperatura de bulbo úmido °C
Aracaju	Inverno	18,70	-	5,10	21,50
	Verão	-	30,90	5,40	24,90

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 15575-1 (2013)

Tratando da ABNT NBR 15.220 (2003), ela estabelece em sua Parte 3 estratégias de condicionamento térmico. No que diz respeito a Aracaju as estratégias apontadas pela norma em questão estão expressas no Quadro 3.

Quadro 3– Estratégias de condicionamento térmico

UF	Cidade	Estratégia	Zona
SE	Aracaju	FIJ	8

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 15220-3 (2003)

As estratégias em destaque estão detalhadas na norma citada, como mostra o Quadro 4.

Quadro 4– Detalhamento de estratégias de condicionamento térmico

Estratégia	Detalhamento
F	As sensações térmicas são melhoradas através da desumidificação dos ambientes. Esta estratégia pode ser obtida através da renovação do ar interno por ar externo através da ventilação dos ambientes.
H e I	Temperaturas internas mais agradáveis também podem ser obtidas através do uso de paredes (externas e internas) e coberturas com maior massa térmica, de forma que o calor armazenado em seu interior durante o dia seja devolvido ao exterior durante a noite, quando as temperaturas externas diminuem.
I e J	A ventilação cruzada é obtida através da circulação de ar pelos ambientes da edificação. Isto significa que se o ambiente tem janelas em apenas uma fachada, a porta deveria ser mantida aberta para permitir a ventilação cruzada. Também deve-se atentar para os ventos predominantes da região e para o entorno, pois o entorno pode alterar significativamente a direção dos ventos.

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 15220-3 (2003)

3.4 CONFORTO TÉRMICO

Neste tópico serão abordados conceitos e definições que embasam os estudos de conforto térmico do usuário e parâmetros que caracterizam o ambiente e os materiais que o compõem.

3.4.1 Definição

Segundo a ISO 7730/05 (2005) o desconforto térmico pode ser definido como um estado mental de insatisfação e desconforto com o ambiente que circunda determinada pessoa. Esse conceito pode ser subjetivo em certa instância uma vez que depende de fatores pessoais e ambientais. Ainda de acordo com a mesma referência, quanto ao ambiente o conforto térmico ocorre quando as condições do

local permitem a manutenção da temperatura sem a necessidade de utilização de mecanismos reguladores. Para Viana (2018) um ambiente termicamente confortável é a união entre um sistema de fechamento da construção com um eficiente sistema de ventilação, seja promovendo o aquecimento ou o resfriamento de maneira a manter o usuário confortável no ambiente.

3.4.2 Temperatura do Corpo Humano e Interação Com o Ambiente

O corpo humano é um sistema homeotérmico, ou seja, ele trabalha para a autorregulação e equilíbrio da temperatura própria (GUYTON e HALL, 2006). Esse sistema produz calor e interage com o meio externo em busca do equilíbrio térmico.

Conforme observa Alves (2011), o organismo do ser humano mantém-se em temperaturas com baixa oscilação, sendo ela por volta de 37°C com limite superior de 42°C e limite inferior de 32°C. Para que seja mantida essa temperatura interna, quando o ambiente externo tem oscilações significantes de temperatura o corpo humano ativa mecanismos termorreguladores, reduzindo ou aumentando as perdas de calor do organismo. Assim, a medição do conforto térmico pessoal é algo que pode variar, uma vez que a vestimenta, atividade realizada e o metabolismo do indivíduo interferem em sua sensação.

A ANVISA (2003) relata que a temperatura ideal de ambientes fechados para que o usuário não sinta frio nem calor deve variar entre 23°C e 26°C.

Guyton e Hall (2006) observam que a temperatura dos tecidos mais profundos do corpo humano sofre pouca variação em condições normais de saúde, porém na camada superficial do corpo o ambiente influencia de forma direta em sua temperatura.

Assim, o conforto térmico de um ser humano pode ser entendido como a condição neutra, quando a quantidade de calor que é cedida para o ambiente é igual a quantidade de calor recebida do ambiente.

3.4.3 Ventilação Cruzada

Scherer e Masutti (2019) afirmam que a ventilação cruzada é um artifício arquitetônico natural que pode ser adotada com intuito de favorecer o conforto

térmico do usuário sem que seja necessária a utilização de sistemas mecânicos. As autoras ainda afirmam que para que o máximo desempenho do sistema seja obtido é necessário o correto planejamento das esquadrias, tanto em suas dimensões quanto em sua localização.

Seu funcionamento se dá com a localização de aberturas em faces opostas do ambiente em alturas similares, o que faz com que o ar quente seja carregado para fora do ambiente e fique na parte interna o ar fresco (POSSEBOM, 2016).

3.4.4 Trocas Térmicas

No que diz respeito às trocas térmicas envolvendo mudança de temperatura elas podem ocorrer de três formas distintas: por condução, por convecção, por radiação.

Quando ocorre por condução a troca se dá entre um corpo sólido e um corpo fluido (líquido ou gás). Já as trocas por convecção são aquelas que ocorrem entre corpos com temperaturas diferentes quando entram em contato. As trocas por radiação são de natureza eletromagnética e ocorrem entre corpos que estão a determinada distância um do outro (FROTA e SCHIFFER, 1988).

3.4.5 Temperatura de Bulbo Seco (TBS) e Temperatura de Bulbo Úmido (TBU)

A Temperatura de Bulbo Seco (TBS) é caracterizada por ser a temperatura medida por um termômetro com dispositivo de proteção contra a influência de radiação térmica. O termo “temperatura” dito cotidianamente designa a Temperatura de Bulbo Seco (WALLAUER, 2003).

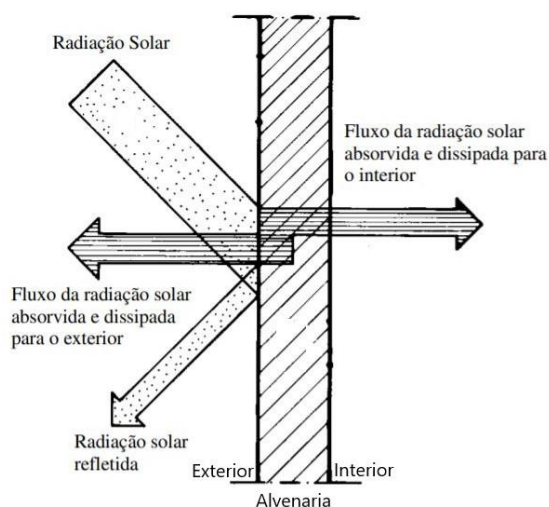
A Temperatura de Bulbo Úmido (TBU) é aquela na qual a evaporação de água conduzirá uma massa de ar úmido, podendo ser medida por termômetro com bulbo embutido em uma mecha embebida em água destilada, sobre o qual atua um exaustor de ar (LAMBERTS et al., 2016). Em outras palavras, a Temperatura de Bulbo Úmido leva em conta a umidade do ambiente.

3.4.6 Propriedades Termofísicas dos Elementos

Para compreender o comportamento térmico de uma edificação é necessário analisar os elementos que a constitui, assim como a interação desses elementos com o ambiente no qual a construção está inserida. As cargas térmicas podem ser oriundas do exterior, como no caso das condições térmicas do ambiente no qual a construção está localizada, ou ainda essas cargas podem ser oriundas do interior da edificação, sendo produzidas pela presença de pessoas e equipamentos elétricos (LAMBERTS et al., 2010).

A alvenaria, seja ela com função estrutural ou de vedação deve servir como elemento isolante entre o meio interno e o meio externo. Na Figura 2 é possível observar a forma que a alvenaria se comporta promovendo a interação entre ambiente interno e externo.

Figura 2– Trocas térmicas entre exterior e interior da edificação



Fonte: Adaptado de Frota e Schiffer (1988)

Dessa forma, nota-se que a transferência de calor relaciona o fluxo de calor que atravessa determinado corpo com a diferença de temperatura da sua face interna e externa.

3.4.6.1 Seção do elemento

É de suma importância o conhecimento da seção do elemento que está sendo analisado, uma vez que o fluxo de calor o atravessará no momento em que ambiente interno e externo tentarem promover o equilíbrio da temperatura por meio da troca de calor. A ABNT NBR 15.575 (2013) diz que a seção é uma parte de um componente tomada em toda a sua espessura possuindo apenas resistências térmicas em série, ou seja, a soma das resistências tem como resultado a resistência equivalente.

3.4.6.2 Condutividade térmica

Segundo a ABNT NBR 15.220 (2003) a condutividade térmica tem como definição ser a propriedade física de um material homogêneo e isotrópico onde verifica-se um fluxo de calor constante, tendo densidade de uma unidade de condutividade térmica aplicado a um gradiente de temperatura com valor de 1 Kelvin por metro.

Akatsu e Sato (1988) afirmam que a condutividade térmica dos materiais está na razão inversa da quantidade de ar presente no material e na razão direta da massa específica aparente. A condutividade aumenta em função do teor de umidade contida nos materiais, uma vez que a água tem capacidade de isolamento inferior ao do ar e substitui parte do volume gasoso contido nos poros.

Os valores de condutividade térmica segundo a ABNT NBR 15.220 (2003) podem ser obtidos pelo método absoluto para determinação em processo permanente da resistência térmica e também da condutividade térmica de materiais sólidos, usando-se a aparelhagem denominada como Placa Quente Protegida.

3.4.6.3 Absortância, refletância, emissividade e densidade de massa aparente

A absortância pode ser entendida como a quantidade de radiação solar que é absorvida por determinada superfície e a quantidade de radiação não absorvida (refletida) é chamada de refletância. A emissividade diz respeito à capacidade do

material de transferir calor do ambiente de maior temperatura para o ambiente de menor temperatura. Já a densidade de massa aparente entende-se como o quociente da massa pelo volume aparente de um corpo (ABNT NBR 15.575, 2013).

3.4.6.4 Capacidade térmica e calor específico

Entende-se capacidade térmica como a quantidade de calor necessária para que se varie em uma unidade a temperatura de um sistema. Sua fórmula está expressa na Equação 1. Quanto ao calor específico, essa grandeza é o quociente da capacidade térmica pela massa do material em análise (ABNT NBR 15.575, 2013). Por tanto, quanto maior o valor do calor específico de um elemento, maior quantidade de calor ele irá absorver para um dado aumento de temperatura.

$$C_t = \sum_{i=1}^n \lambda_i * R_i * c_i * \rho_i \quad (2)$$

Onde:

C_t : Capacidade térmica;

λ_i : Condutividade térmica do material na camada i ;

R_i : Resistência térmica do material na camada i ;

c_i : Calor específico do material na camada i ;

ρ_i : Densidade de massa aparente do material da camada i .

3.4.6.5 Resistência térmica

É uma propriedade referente à capacidade do corpo de resistir à passagem de calor (ABNT NBR 15.220, 2003). A relação entre condutividade e resistência térmica é expressa pela Equação 2.

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (3)$$

Onde:

R : Resistência térmica;

e : Espessura da camada;

λ : Condutividade térmica.

Quando se deseja conhecer a resistência entre superfícies a ABNT NBR 15.220 (2003) sugere a utilização da Equação 3.

$$R_t = \frac{Aa + Ab + \dots + An}{\frac{Aa}{Ra} + \frac{Ab}{Rb} + \dots + \frac{An}{Rn}} \quad (4)$$

Onde:

$Ra, Rb, \dots, Rn$: Resistências referentes a cada superfície;

$Aa, Ab, \dots, An$: Áreas referentes a cada superfície.

E a resistência entre ambientes é expressa pela Equação 4.

$$RT = Rse + Rt + Rsi \quad (5)$$

Onde:

RT : Resistência térmica de superfície a superfície.

Rse : Resistência da superfície externa;

Rsi : Resistência da superfície interna;

3.4.6.6 Transmitância térmica

É inversamente proporcional à resistência térmica, expressando o coeficiente global de transferência de calor em função dos materiais que compõem o elemento. Sua fórmula é descrita na Equação 5.

$$U = \frac{1}{RT} \quad (6)$$

Onde:

U: Transmitância térmica;

RT: Resistência térmica entre ambientes.

3.4.6.7 Atraso térmico

Por definição da ABNT NBR 15.220 (2003), pode-se entender atraso térmico como o tempo transcorrido entre uma variação térmica em um meio e sua manifestação na superfície oposta de um componente construtivo em um regime periódico de transmissão de calor.

3.4.6.8 Fator solar

Para elementos opacos o fator solar é a relação da taxa de radiação solar transmitida através de um componente opaco e a taxa de radiação solar total incidente sobre a superfície externa desse elemento. Enquanto que para elementos transparentes ou translúcidos o fator solar diz respeito à relação entre a taxa de radiação solar diretamente transmitida através de um componente transparente ou translúcido, considerando determinado ângulo de incidência acrescido da parcela absorvida e posteriormente transmitida para o interior e a taxa de radiação solar total incidente sobre a superfície externa do mesmo (ABNT NBR 15.220-1,2003).

3.4.7 Energyplus

EnergyPlus é um programa computacional desenvolvido a partir dos programas BLAST e DOE-2 sendo distribuído pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos e utilizado para efetuar simulações energéticas e de cargas térmicas de edificações e seus sistemas. O programa é recomendado pela ABNT NBR 15.575 (2013) para desenvolvimento de análises térmicas, sendo o mais utilizado no meio acadêmico e profissional.

A utilização do *EnergyPlus* possibilita realizar avaliações globais do desempenho do ambiente construído a partir do lançamento de variáveis e características construtivas.

É possível obter dados em intervalos de tempo predeterminados, seja para análise de horas, meses ou anos.

O sistema reconhece arquivos de dados climáticos no formato “epw”, possibilitando a utilização de dados meteorológicos de regiões específicas em diversas localidades do mundo. Esses arquivos com informações meteorológicas ficam disponíveis no próprio site do *EnergyPlus*. Esses dados são organizados pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), organização da qual o Brasil é um dos países membros e tem seus dados tabulados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

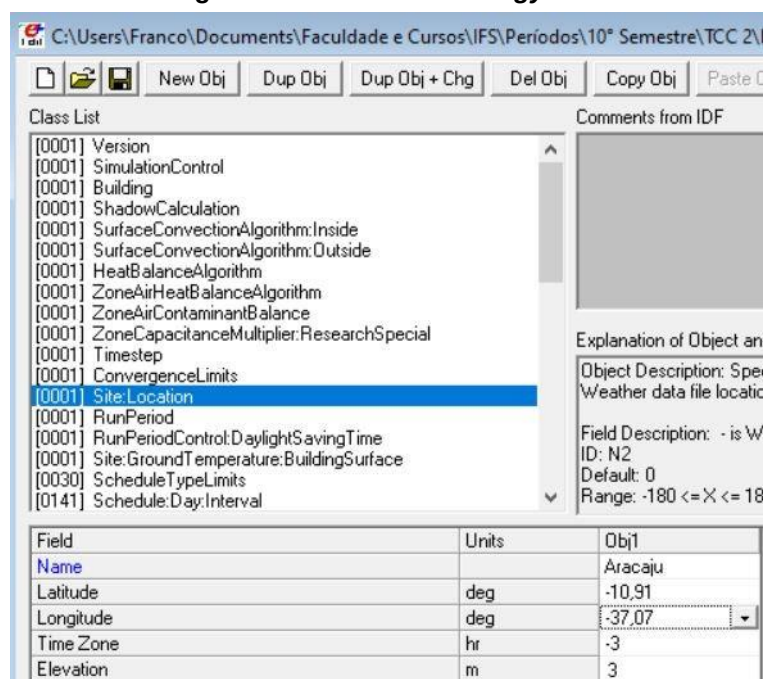
Os procedimentos para a simulação aqui abordada foram embasados nos materiais disponibilizados pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Universidade Federal de Santa Catarina (LabEEE).

A interface pouco intuitiva do *EnergyPlus* leva a utilização de plataformas que tornem a modelagem mais eficiente. Dessa forma, comumente se utiliza o programa *SketchUp* para realizar o desenho da edificação e posteriormente dados da construção são inseridos no *plugin OpenStudio*. No referido *plugin* são especificados os materiais que compõem a construção e são lançadas as propriedades que influenciam no cálculo térmico como espessura da camada, calor específico, absorvância, condutividade térmica, emissividade e densidade de massa aparente do elemento. Também são especificados o padrão de ocupação e as zonas térmicas que compõem a edificação e quais as variáveis de saída se deseja obter.

No presente trabalho foi utilizado o programa *EnergyPlus* versão 9.3.0 e o *plugin OpenStudio* versão 1.0.0. Também foram necessários os dados meteorológicos da cidade de Aracaju. Pelo fato de o programa ainda não dispor de zonas térmicas brasileiras, a recomendação da ABNT NBR 15.575 (2013) é tomar uma zona térmica estadunidense de clima semelhante ao da região que está sendo analisada. No caso a zona que mais se assemelha ao comportamento climático de Aracaju é a ZC3, que apresenta temperaturas entre 25°C e 35°C com clima quente e úmido.

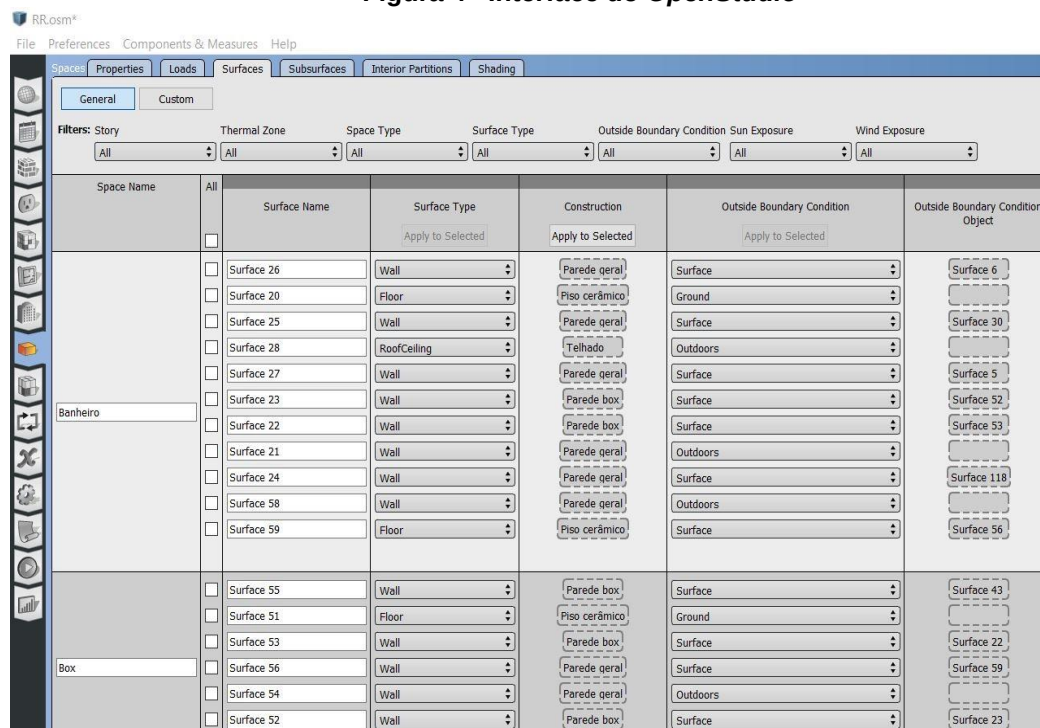
Foi utilizado o arquivo climático elaborado estatisticamente para o ano de 2018 com dados registrados pelo INMET para a cidade de Aracaju.

A interface do *EnergyPlus* pode ser observada a Figura 3.

Figura 3– Interface do *EnergyPlus*

Fonte: O autor (2021)

Na Figura 4 é mostrada a configuração das superfícies da construção no *OpenStudio*.

Figura 4– Interface do *OpenStudio*

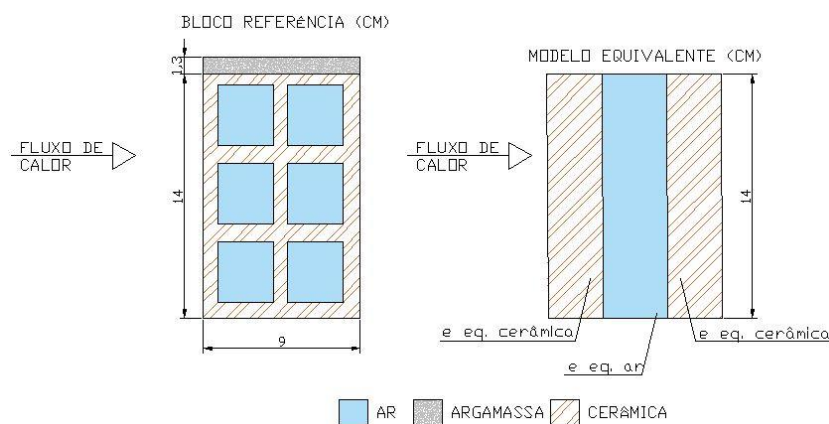
Fonte: O autor (2021)

Com relação às propriedades térmicas dos materiais constituintes da residência os valores referentes à rugosidade, condutividade térmica, massa específica e calor específico foram extraídos da NBR 15.220 (2003) sendo as propriedades referentes à vegetação extraídas de Sousa (2020).

3.4.8 Bloco Equivalente

Como os programas utilizados na modelagem reconhecem apenas camadas homogêneas dispostas transversalmente ao sentido do fluxo de calor, não reconhecendo blocos devido à sua geometria vazada, foi necessário calcular a espessura equivalente conforme é descrito por Weber (2018). É importante ressaltar que as propriedades térmicas do conjunto continuam as mesmas, sofrendo alteração apenas a disposição dos materiais para adequado lançamento no programa. A Figura 5 ilustra o raciocínio da espessura equivalente.

Figura 5– Esquema de bloco com espessura equivalente



Fonte: O autor (2021)

Antes de calcular a espessura equivalente é necessário determinar a resistência e a capacidade térmica total do sistema. Com base na capacidade térmica total, determina-se a nova espessura das camadas de cerâmica e da camada de ar para o modelo equivalente.

Para a cobertura, conforme Weber (2018) relata, há necessidade de repetir cálculo similar ao cálculo do bloco equivalente apenas quando a cobertura for constituída por câmara de ar no interior do elemento, como em lajes pré-moldadas de lajota cerâmica e lajes protendidas alveolares. Para elementos constituídos

apenas de concreto armado, ático e telha de fibrocimento basta conhecer a altura equivalente da camada de ar, que corresponde à metade da altura da laje até a cumeeira. Essa configuração promove uma resistência térmica constante ao longo do elemento.

3.4.9 Padrão de Ocupação

De acordo com o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais (RTQ-R, 2012) o padrão de ocupação diz respeito ao número de horas em que determinado ambiente é ocupado, levando em consideração a dinâmica do imóvel para dias de semana e finais de semana. A correta configuração desse item no *EnergyPlus* é de extrema importância e interfere diretamente nas cargas térmicas oriundas de pessoas, iluminação e equipamentos elétricos.

3.4.10 Bloco Cerâmico

Os requisitos dimensionais, físicos e mecânicos exigíveis para os blocos cerâmicos são especificados pela ABNT NBR 15.270-1 (2017).

Os componentes cerâmicos tem sua condutividade seriamente influenciada pela porosidade desses componentes. O que ocorre com o aumento no volume de poros, via de regra, é a redução na condutividade térmica (MORA, 2010).

Roman et al. (1999) diz que tanto a qualidade da argila empregada na fabricação do bloco quanto o processo de fabricação influenciam nas propriedades desenvolvidas pelo produto final.

Conforme Poyastro (2008) explica, os blocos cerâmicos podem ser até 40% mais leves do que os blocos em concreto, podendo alcançar melhor desempenho térmico, porém não alcançando melhores propriedades mecânicas.

3.4.11 Bloco de Concreto

A ABNT NBR 6.136 (2016) estabelece os critérios para produção e aceitação de blocos vazados de concreto simples destinados à execução de alvenaria com ou sem função estrutural. Conforme relata Buttler (2007) a resistência do bloco de concreto é proporcional à energia de compactação utilizada na vibração.

O bloco de concreto é produzido normalmente por uma mistura homogênea com ideal dosagem. Sua composição com cimento Portland, agregado miúdo e grúdo, água e aditivos confere ao bloco alta densidade, o que favorece as trocas térmicas entre os ambientes.

3.4.12 Parede Verde

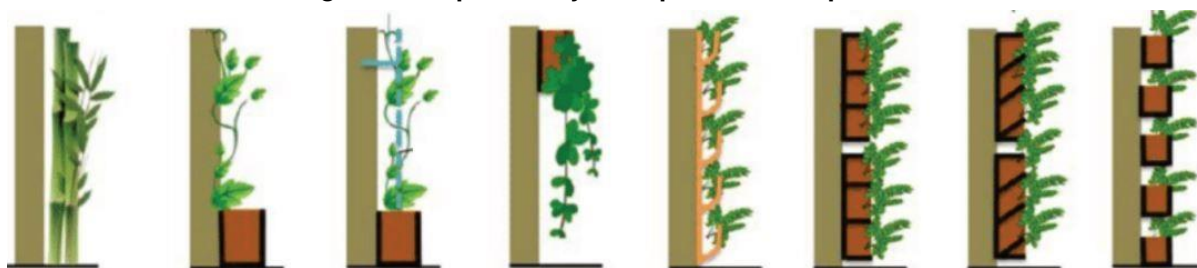
O termo “Parede verde” refere-se ao revestimento de elementos construtivos com uma camada de vegetação, seja com auxílio de suportes ou diretamente em sua superfície. O sistema também é conhecido como jardim vertical e pode ser aplicado no interior ou no exterior dos ambientes.

Morelli (2016) afirma que a utilização de espécies escaladoras que possuem crescimento de baixo para cima é a opção mais comum. Sua ramificação é leve e flexível e essas espécies são encontradas com facilidade na natureza.

Scherer (2014) relata a utilização crescente desse artifício nas construções como forma de condicionamento passivo, componente arquitetônico e controle solar. A utilização das paredes verdes torna-se uma opção viável por promover de forma dinâmica a troca térmica, evitando que a alvenaria receba diretamente o fluxo de calor além de promover embelezamento da construção. A autora citada ainda elucida que as paredes verdes são elementos que estão atrelados aos novos paradigmas da arquitetura sustentável.

Na Figura 6 é possível observar algumas formas de promover a interação entre a alvenaria e a vegetação de modo a criar a parede verde.

Figura 6– Representação esquemática de paredes verdes



Fonte: Adaptado de Ottele (2011)

Espécies escaladoras são autoaderentes à superfície. Suas raízes penetram entre as reentrâncias da alvenaria e a aplicação dessa vegetação é de extrema simplicidade segundo relata Dunnnett e Kingsbury (2004).

Ainda há a opção da instalação de paletes de madeira na alvenaria, formando suportes espaçados ao longo da altura da parede para recebimento de vasos de planta amarrados com arame à estrutura de madeira. Essa opção é uma alternativa de baixo custo e de fácil manutenção.

4 METODOLOGIA DE TRABALHO

A metodologia se desenvolveu a partir da simulação térmica da residência original, aqui denominada RR (Residência Referência). Posteriormente foram levantadas duas possibilidades de melhoria visando o conforto térmico.

A primeira modificação foi substituir os blocos cerâmicos por blocos de concreto, opção que foi denominada RC (Residência Concreto). A segunda modificação foi trabalhar com paredes verdes na fachada com maior carga térmica. Esse último modelo foi denominado RV (Residência Verde).

As simulações foram realizadas através do programa *EnergyPlus* e executadas considerando as trocas térmicas entre todos os ambientes. A avaliação foi feita para os cômodos Sala, Dormitório 1 e Dormitório 2 no dia típico de verão. Foram calculados para os blocos e a telha as propriedades transmitância térmica, atraso térmico e fatos solar. Também foram calculadas as relações entre área de abertura e área de piso dos ambientes.

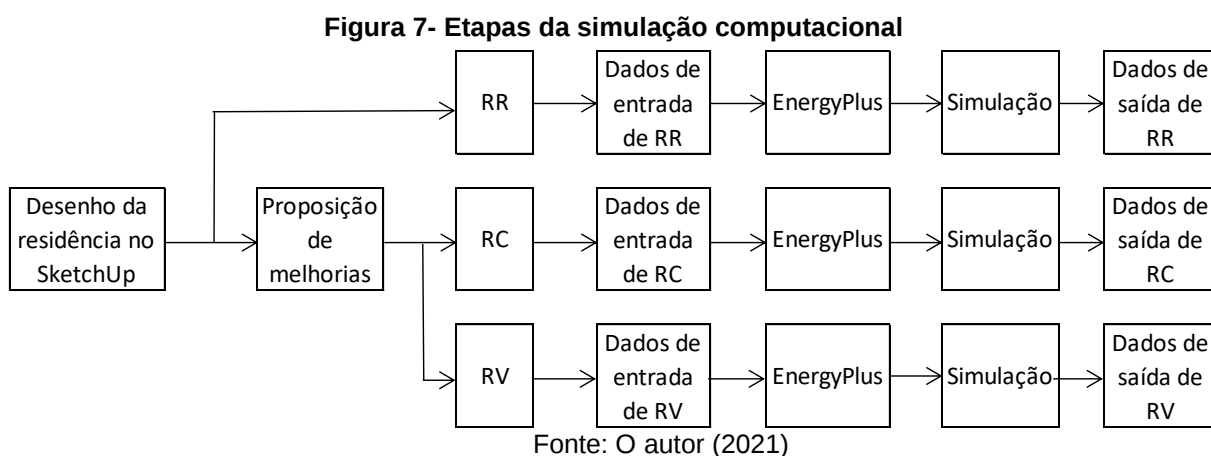
Em seguida foi realizado o orçamento simplificado para 1 m² de alvenaria para cada um dos modelos estudados.

A etapa final consistiu na comparação e análise dos resultados obtidos no presente trabalho com os resultados de estudos similares.

4.1 PARAMETRIZAÇÃO

A seguir são listados os dados utilizados como informações de entrada no programa *EnergyPlus* e aqueles que foram gerados como resultado mediante execução da simulação.

Os dados de entrada foram atribuídos à construção previamente desenhada no *SketchUp*, fazendo com que o desenho passasse a ter propriedades físicas e térmicas. Na Figura 7 é possível observar as atividades realizadas desde a etapa inicial até a etapa final da simulação.



4.1.1 Dados de Entrada

Foi efetuado o lançamento dos dados necessários à análise térmica. Os dados de entrada do programa para cada material constituinte da residência foram: Densidade de massa aparente (ρ); Condutividade térmica (λ); Calor específico (c); Rugosidade. Para as superfícies externas ainda foi especificado o valor da absorvância (α) das mesmas. Os materiais lançados bem como seus respectivos dados podem ser vistos na Tabela 10.

Tabela 10– Materiais utilizados e suas propriedades térmicas

Material	Rugosidade	Condutividade Térmica (W/mK)	Densidade (Kg/m³)	Calor específico (J/KgK)
Argamassa	Média rugosidade	1,15	2.100	1.000
Revestimento cerâmico	Liso	1,05	2.000	920
Bloco cerâmico (9x14x19)	Média rugosidade	1,05	2.000	920
Bloco de concreto (9x19x39)	Média rugosidade	1,75	2.400	1.000
Concreto	Média rugosidade	1,75	2.400	1.000
Impermeabilizante	Média rugosidade	0,17	1.000	1.460
Madeira	Média rugosidade	0,29	1.000	1.340
Fibrocimento	Média rugosidade	0,65	1.800	840
Vidro	Liso	1,00	2.500	840
Vegetação	Média rugosidade	0,002	0	2.800

Fonte: O autor (2021)

Também como dado de entrada foi especificado o padrão de ocupação do imóvel conforme descrito na Tabela 11. Utilizando dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2018) a residência objeto de estudo é habitada por 3 pessoas e sua forma de ocupação foi especificada como recomendado pelo RTQ-R (2012).

Tabela 11– Padrão de ocupação para dias de semana e final de semana

Hora	Dormitórios		Sala	
	Dias de semana (%)	Final de semana (%)	Dias de semana (%)	Final de semana (%)
1h	100	100	0	0
2h	100	100	0	0
3h	100	100	0	0
4h	100	100	0	0
5h	100	100	0	0
6h	100	100	0	0
7h	100	100	0	0
8h	0	100	0	0
9h	0	100	0	0
10h	0	50	0	0
11h	0	0	0	25
12h	0	0	0	75
13h	0	0	25	0
14h	0	0	25	75
15h	0	0	25	50
16h	0	0	25	50
17h	0	0	25	50
18h	0	0	25	25
19h	0	0	100	25
20h	0	0	50	50
21h	50	50	50	50
22h	100	100	0	0
23h	100	100	0	0
24h	100	100	0	0

Fonte: Adaptado do RTQ-R (2012)

Para cada um dos cômodos foi atribuída uma zona térmica e uma tipologia.

A Tabela 12 faz a descrição dos ambientes e da tipologia empregada. As tipologias são disponibilizadas pelo programa *EnergyPlus* e são referentes ao tipo de utilização de cada um dos ambientes.

Tabela 12– Designação das zonas térmicas

Cômodo	Área (m²)	Tipologia empregada
Banheiro	3,84	Restroom
Circulação	1,51	Corridor
Cozinha	4,69	Storage
Dormitório 1	8,38	Breakroom
Dormitório 2	7,82	Breakroom
Sala de Estar-Jantar	9,54	Lobby

Fonte: O autor (2021)

No programa foi carregado o arquivo climático de Aracaju. A simulação foi realizada para o dia típico de verão, sendo ele 21 de fevereiro.

4.1.2 Dados de Saída

Como resultado da modelagem o *EnergyPlus* expressa os seguintes resultados: TBS do ambiente externo da residência; TBU do ambiente externo da residência; TBS de cada ambiente; temperatura interna de cada superfície da residência; temperatura externa de cada superfície da residência.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

Nos tópicos seguintes serão abordados os parâmetros construtivos e a localização da residência analisada.

4.2.1 Dados Gerais

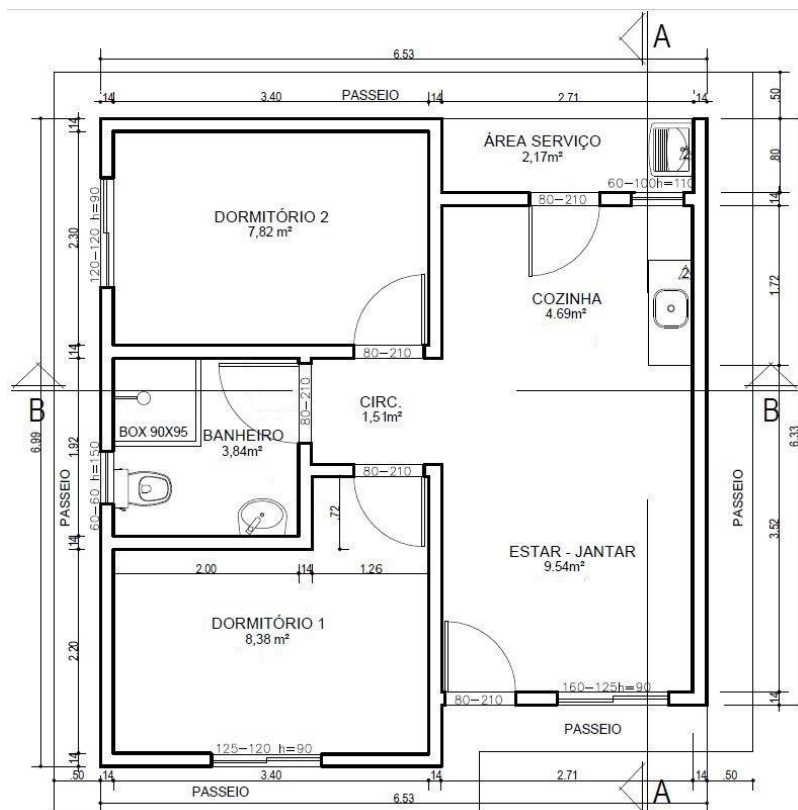
O estudo em questão é baseado no projeto residencial unifamiliar de interesse social nos moldes MCMV denominado aqui Residência Referência (RR), elaborado para o município de Aracaju, Sergipe, localizada no Nordeste brasileiro. A empresa responsável pelo desenvolvimento do empreendimento é uma construtora de médio porte aqui intitulada Empresa A.

Os projetos foram elaborados em janeiro de 2018 e a habitação conta com 2 dormitórios, 1 banheiro, 1 sala, 1 cozinha e a área de serviço, totalizando uma área útil de 37,95 m² e área construída de 43,76 m². A edificação foi projetada segundo o Código de Obras e o Plano Diretor de Aracaju – SE.

4.2.2 Planta Baixa, Cortes e Cobertura

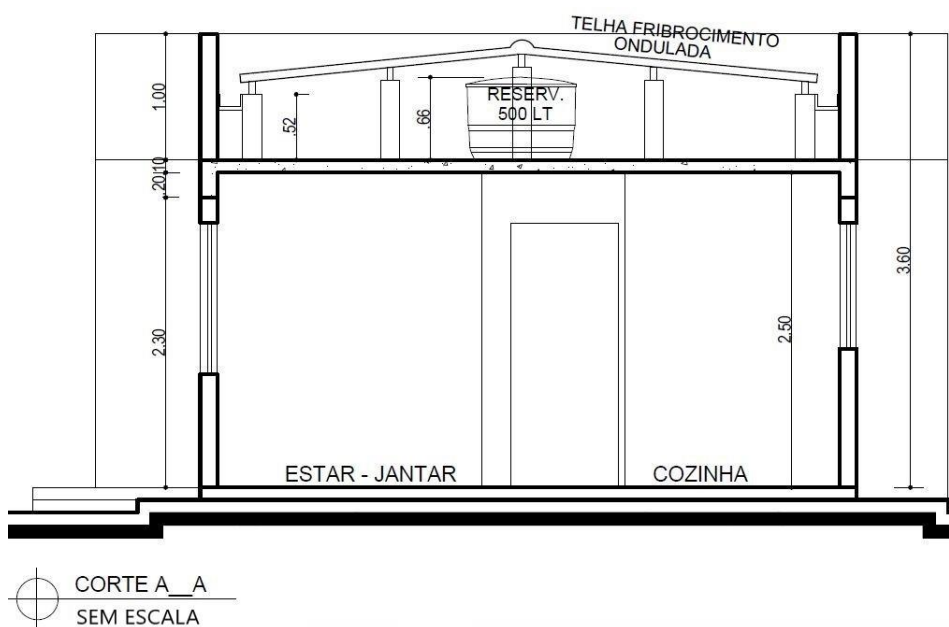
A planta baixa da habitação pode ser vista na Figura 7 e seus respectivos cortes esquemáticos na Figura 8 e na Figura 9. Como o programa de simulação térmica considera apenas ambientes vedados, a área de serviço não foi considerada para fins de simulação uma vez que representa ambiente aberto.

Figura 8– Planta baixa da residência



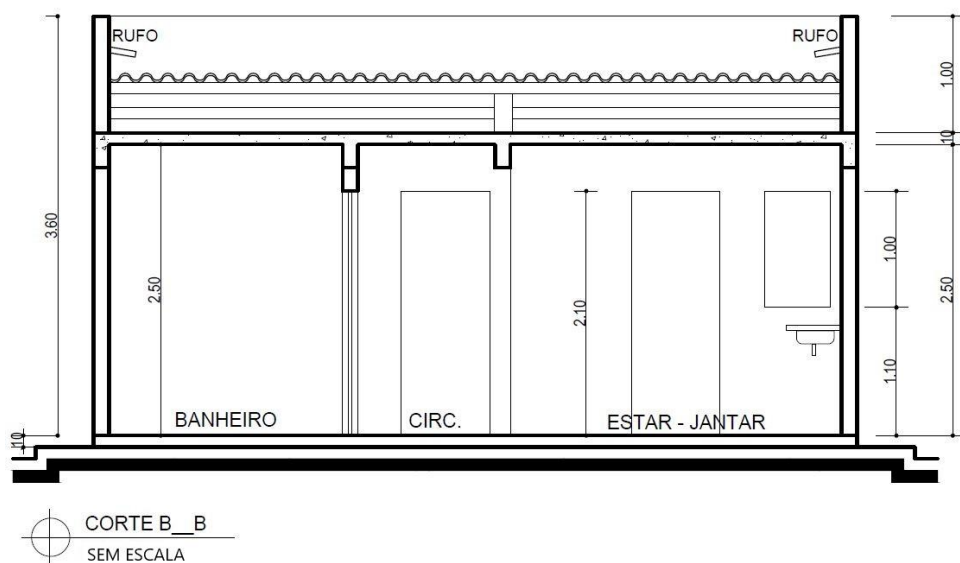
Fonte: O autor (2021)

Figura 9– Corte A-A



Fonte: O autor (2021)

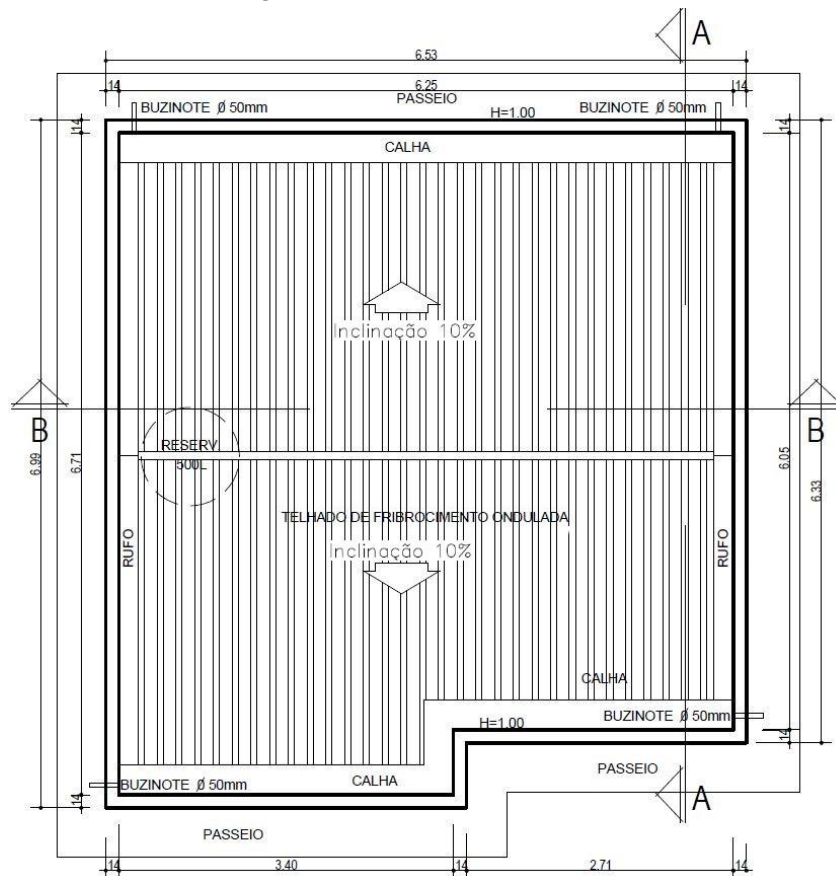
Figura 10– Corte B-B



Fonte: O autor (2021)

Na Figura 10 é mostrada a planta de cobertura da habitação e na Figura 11 seu respectivo detalhe.

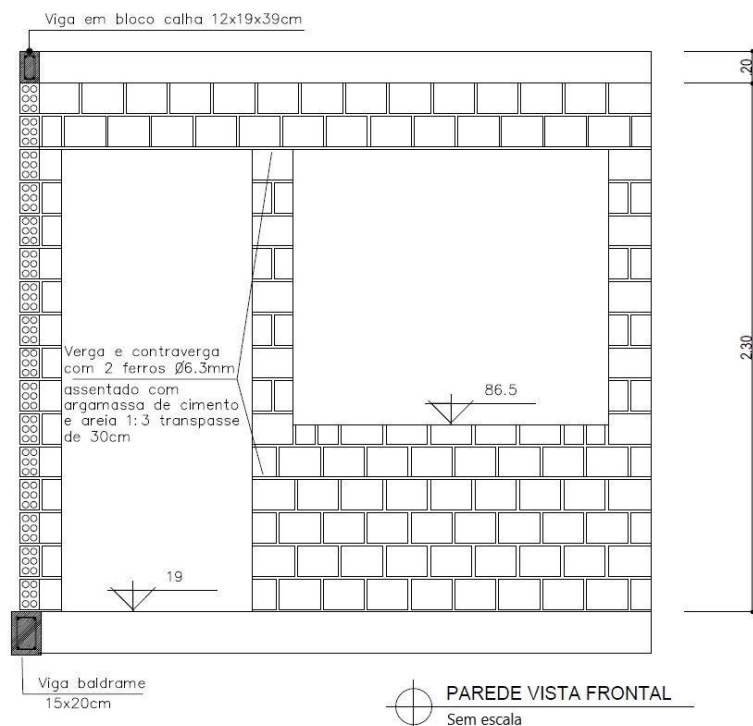
Figura 11– Planta de cobertura



Fonte: O autor (2021)

cerâmicos com dimensões 9 x 14 x 19 cm apoiados na viga baldrame. Pode-se observar a fachada frontal na Figura 13.

Figura 14– Detalhe construtivo da fachada



Fonte: O autor (2021)

Toda a área de piso é revestida com cerâmica esmaltada 30 x 30 cm PEI-4. O box do banheiro é o único ambiente revestido com azulejo, sendo revestido até a altura de 1,50 m.

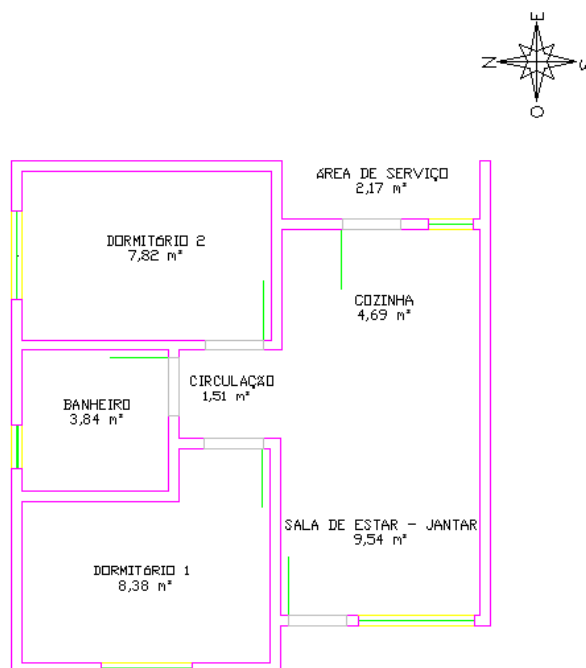
Os blocos são assentados em 1,30 cm de argamassa e o reboco possui 2,50 cm, tanto internamente quanto externamente. A pintura é feita sobre o reboco sendo externamente e no banheiro do tipo acrílica. Nos demais cômodos em sua parte interna e teto a pintura é do tipo PVA.

4.3 MODELAGEM

A modelagem foi pautada nos projetos disponibilizados pela Empresa A, os quais foram: planta baixa; cortes; planta de situação; fachadas; projeto de fundação, projeto estrutural; planta de cobertura; detalhes construtivos; memorial descritivo do empreendimento.

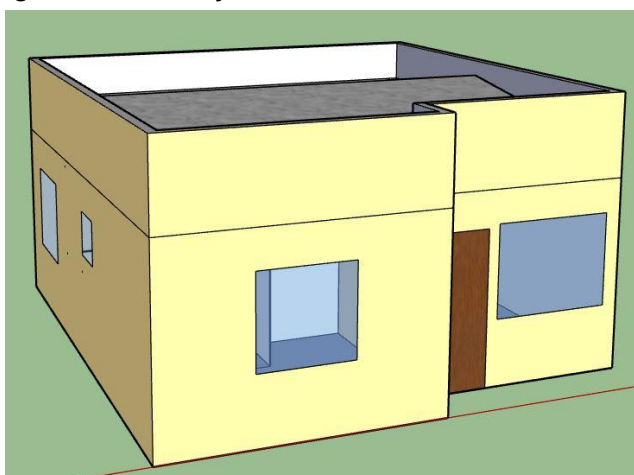
A modelagem do projeto foi feita no software *SketchUp* versão 2020. A orientação geográfica da residência foi adotada para sua condição crítica, tendo sua janela da Sala voltada para o Oeste e uma das paredes do Dormitório 1 e do Dormitório 2 voltadas para o Norte conforme mostra a Figura 14. A Figura 15 ilustra a modelagem finalizada.

Figura 15– Planta baixa com rosa dos ventos



Fonte: O autor (2021)

Figura 16– Habitação modelada através do SketchUp



Fonte: O autor (2021)

Foi utilizada como pintura externa uma tinta branca com absorvância de 0,2.

4.4 MODELOS PROPOSTOS

Nessa etapa foi realizada pesquisa de métodos para obter melhor desempenho térmico de edificações. A pesquisa teve como delimitação sistemas exequíveis para os padrões MCMV e que houvessem sido utilizados e estudados em território brasileiro.

Os métodos encontrados dentro das limitações estabelecidas foram a adoção da alvenaria em bloco de concreto e a utilização da parede verde. Visando comparações fidedignas, apenas dados referentes à alvenaria foram alterados, permanecendo os demais dados exatamente iguais nos 3 modelos estudados.

Em seguida as propriedades térmicas referentes aos sistemas passaram pelo mesmo processo de inserção no programa *EnergyPlus* e posterior análise dos resultados que RR foi submetida.

4.4.1 Bloco de Concreto

Nesta opção os blocos de concreto substituíram os blocos cerâmicos utilizados na RR. Conservou-se a espessura do bloco em 9 cm utilizando o bloco de dimensões 9 x 19 x 39 cm.

Esse modelo foi denominado RC (Residência Concreto).

4.4.2 Parede Verde

No Dormitório 2 o recurso da parede verde foi adotado por ser o cômodo que recebe maior carga térmica, como foi observado após execução da simulação. O fato da residência em análise ser de pequeno porte e dotada apenas de pavimento térreo tornou a opção exequível. A camada de vegetação foi posicionada na superfície externa do ambiente em sua face voltada para o Leste.

Esse modelo foi denominado RV (Residência Verde).

4.5 CUSTO DA ALVENARIA POR METRO QUADRADO

Os custos foram levantados para a execução de 1 m² de alvenaria para cada um dos 3 modelos em estudo, sendo eles: Alvenaria em bloco cerâmico (RR); Alvenaria em bloco de concreto (RC); Alvenaria em bloco cerâmico com parede verde (RV).

A análise foi desenvolvida de forma simplificada com único intuito de estabelecer base comparativa entre os métodos e atrelar o fator custo ao fator comportamento térmico do sistema. Dessa forma adotou-se 1 m² apenas de alvenaria, admitindo que essa área não continha blocos especiais, vãos e nem cantos.

As fontes de consulta foram as composições do ORSE - Sistema de Orçamento de Obras de Sergipe e da SEINFRA - Secretaria da Infraestrutura do Ceará. Os valores foram coletados na primeira semana do mês de março de 2021.

Alguns insumos referentes à parede verde não constavam nos registros ORSE nem SEINFRA, então foi realizada cotação com 3 fornecedores de cada um destes.

A espécie de planta escolhida para compor a parede verde foi a Jibóia (*Epipremnum pinnatum*) que é uma trepadeira tropical que cresce ocupando grandes áreas e possui baixo custo de aquisição.

4.6 COMPARAÇÃO COM TRABALHOS CORRELATOS

A última etapa da metodologia consistiu na análise de trabalhos técnicos-científicos com a finalidade de reunir análises similares ao trabalho aqui desenvolvido. Os estudos foram separados por ordem de similaridade nas condições construtivas e climáticas. Dessa forma o ponto de partida foi a seleção de trabalhos com habitações de interesse social analisados na ZB 8 com simulação executada através do *EnergyPlus*.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste item serão apresentados os resultados obtidos com as simulações computacionais, bem como serão realizadas as discussões pertinentes.

5.1 ABERTURA PARA VENTILAÇÃO

No que diz respeito à abertura para ventilação com relação à área de piso segundo especificações da ABNT NBR 15.575 (2013) para o Nordeste brasileiro, os três cômodos analisados atenderam ao valor mínimo de 8%. Já para a ABNT NBR 15.220 (2003) os dois dormitórios tem taxa abaixo do valor mínimo e apenas a Sala possui relação satisfatória conforme é possível observar na Tabela 13.

Tabela 13– Abertura para ventilação com relação à área de piso

Cômodo	A (%)	NBR 15.220	NBR 15.575
Sala	28,09	Entre Média e Grande e sombreada	Mínimo
Dormitório 1	8,95	Abaixo do mínimo	Mínimo
Dormitório 2	9,21	Abaixo do mínimo	Mínimo

Fonte: O autor (2021)

A ventilação cruzada recomendada na ABNT NBR 15.220 (2003) para ZB 8 acontece de forma direta entre as aberturas da Sala e da Cozinha, sendo este último cômodo responsável por levar para o interior da residência o vento predominante da região.

5.2 PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS ELEMENTOS

As propriedades térmicas dos dois tipos de blocos utilizados estão expressas na Tabela 14 confrontadas com os parâmetros normativos, estando na cor vermelha os resultados que não atenderam às exigências estabelecidas e em verde os resultados que atenderam.

Tabela 14– Propriedades térmicas dos elementos

Componentes	NBR 15.220			NBR 15.575
	Transmitância W/(m²K)	Atraso térmico (horas)	Fator solar (%)	Transmitância W/(m²K)
Alvenaria	U≤3,60	φ≤4,30	FS≤4,00	α>0,6 U≤2,5 α≤0,6 U≤3,7
Bloco cerâmico com reboco e pintura	2,65	2,81	2,12	2,65
Bloco de concreto com reboco e pintura	2,74	1,89	2,74	2,74
Cobertura	U≤2,30FT	φ≤3,30	FS≤6,50	α>0,4 U≤1,5FT α≤0,4 U≤2,3FT
Firbocimento com pintura	2,31	0,40	1,85	2,31

Fonte: O autor (2021)

É fácil notar que ambos os blocos responderam bem aos parâmetros normativos. Deve ser pontuado que a pintura utilizada foi de cor branca, ou seja, a cor que possui menor índice de absorvência, o que consequentemente favorece a devolução para o meio externo de quantidade expressiva da carga térmica que entra em contato com a superfície externa.

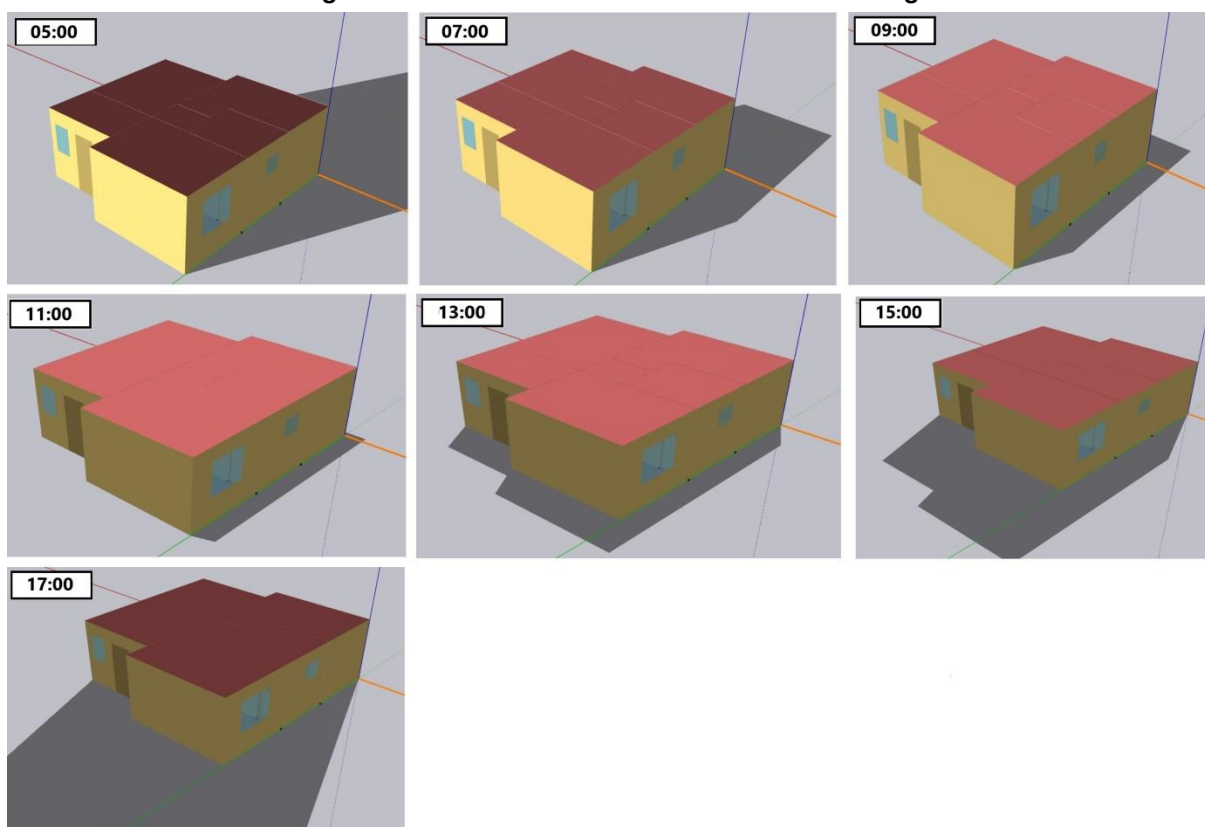
Para os parâmetros da ABNT NBR 15.220 (2003) o bloco cerâmico demonstrou no critério transmitância um desempenho 35,83% melhor do que o mínimo exigido, enquanto o bloco de concreto é melhor que o mínimo 31,51%. Já para atraso térmico o bloco cerâmico ficou 1,49 horas abaixo do limite máximo enquanto o de concreto ficou 2,41 horas abaixo desse limite. Para o fator solar o bloco cerâmico e o bloco de concreto mostraram respectivamente desempenho 88,65% e 46,12% melhor que o mínimo.

Já para a cobertura, a mesma não atendeu apenas ao critério transmitância por 0,01 watt por metro quadrado kelvin. Para atraso térmico e fator solar a cobertura de fibrocimento com pintura branca atendeu aos requisitos mínimos.

5.3 TEMPERATURAS NOS AMBIENTES

Na Figura 16 é mostrada a incidência solar sobre a residência a cada 2 horas a partir das 5 horas até as 17 horas, sendo vistas as fachadas voltadas para o Leste e para o Norte.

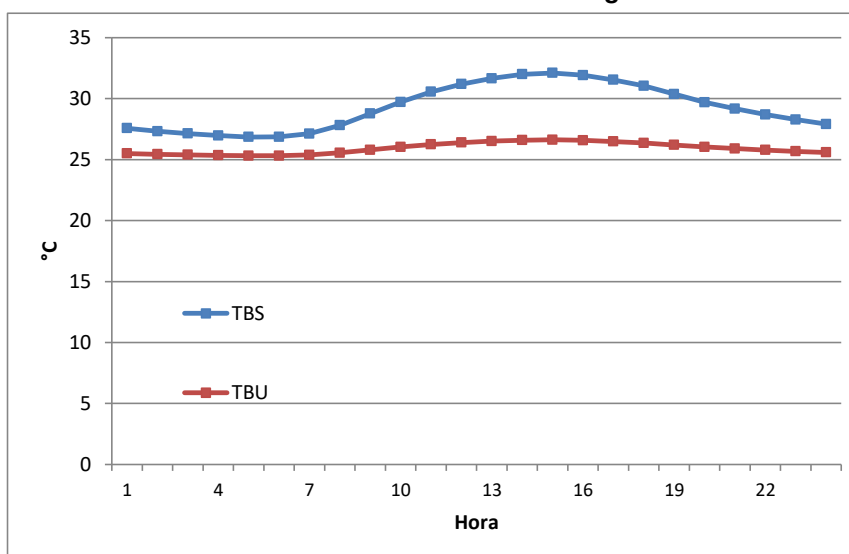
Figura 17– Incidência solar na residência ao longo do dia



Fonte: O autor (2021)

O Gráfico 1 mostra o comportamento da TBS e da TBU ao longo do dia, registrando a máxima temperatura de 32,10°C para TBS que ocorre às 15 horas

Gráfico 1– TBS e TBU ao longo do dia



Fonte: O autor (2021)

A TBS e TBU do ambiente externo encontram-se expressas na Tabela 15 para o verão, com seus valores máximos, mínimos e médios.

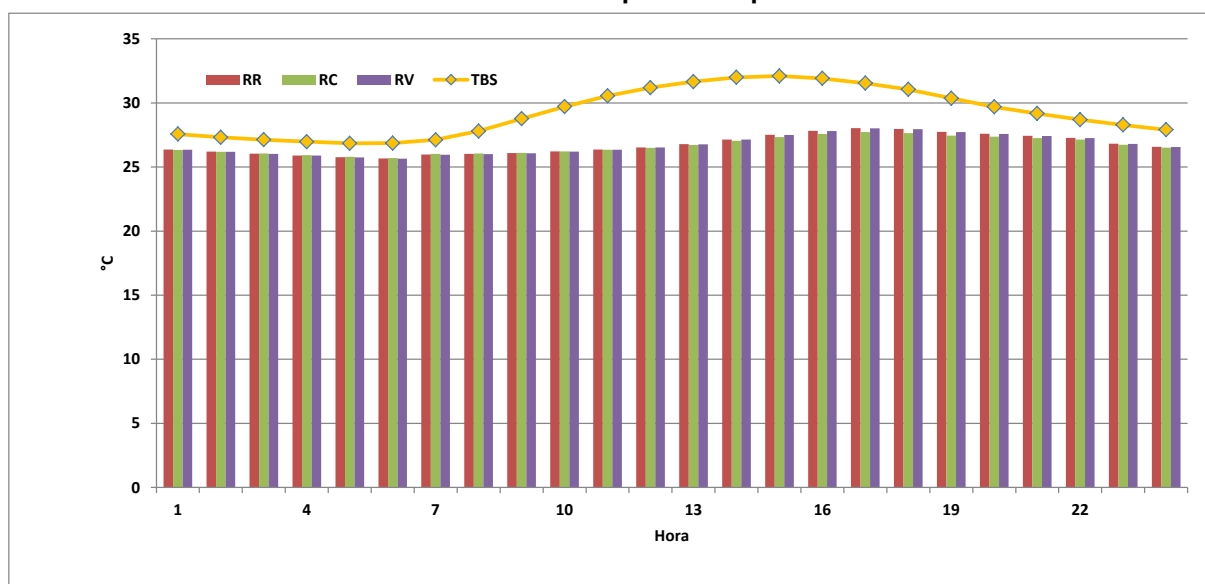
Tabela 15– TBS e TBU

Temperatura	TBS (°C)	TBU (°C)
Média	29,26	25,92
Máxima	32,10	26,62
Mínima	26,84	25,31

Fonte: O autor (2021)

No Gráfico 2 são mostradas as temperaturas dos 3 tipos de residência para o cômodo Sala juntamente com a TBS máxima seguida dos valores de temperatura interna máxima (Ti, máx.) na Tabela 16.

Gráfico 2– Temperaturas para a Sala



Fonte: O autor (2021)

Tabela 16– Temperaturas internas máximas para a Sala

Residência	Ti,máx. (°C)	TBS (°C)	Nível
RR	28,03	32,10	S
RC	27,72		S
RV	28,01		S

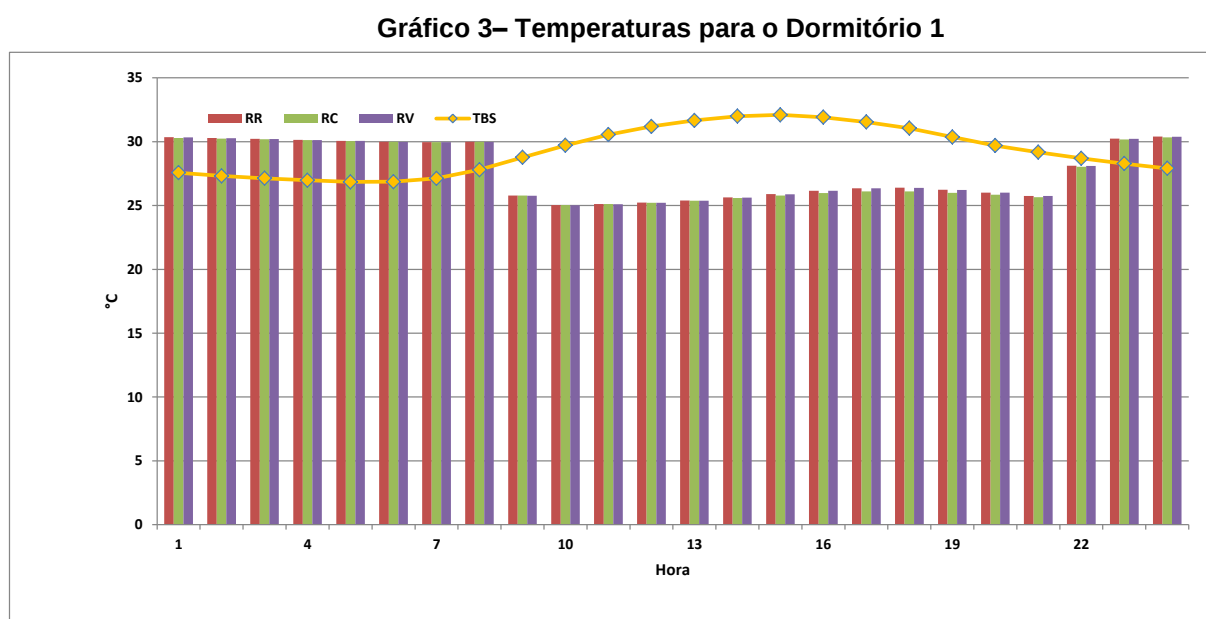
Fonte: O autor (2021)

Para as 3 opções a Sala apresentou desempenho Superior, sendo o ambiente com melhor comportamento térmico dentre os analisados. O cômodo é amplo e possui ventilação cruzada com as aberturas da cozinha, o que propicia eficiente troca térmica entre ambiente interno e externo. É interessante ressaltar que

durante todo o dia a temperatura interna mantém-se inferior à temperatura externa para os 3 sistemas.

RR, RC e RV apresentaram respectivamente 14,54%, 15,81% e 14,59% de melhoria em comparação com o mínimo exigido.

Para o cômodo Dormitório 1, no Gráfico 3 são mostradas as temperaturas dos 3 tipos de residência e a TBS seguida dos valores de temperatura interna máxima (Ti, máx.) na Tabela 17.



Fonte: O autor (2021).

Tabela 17– Temperatura interna máxima para o Dormitório 1

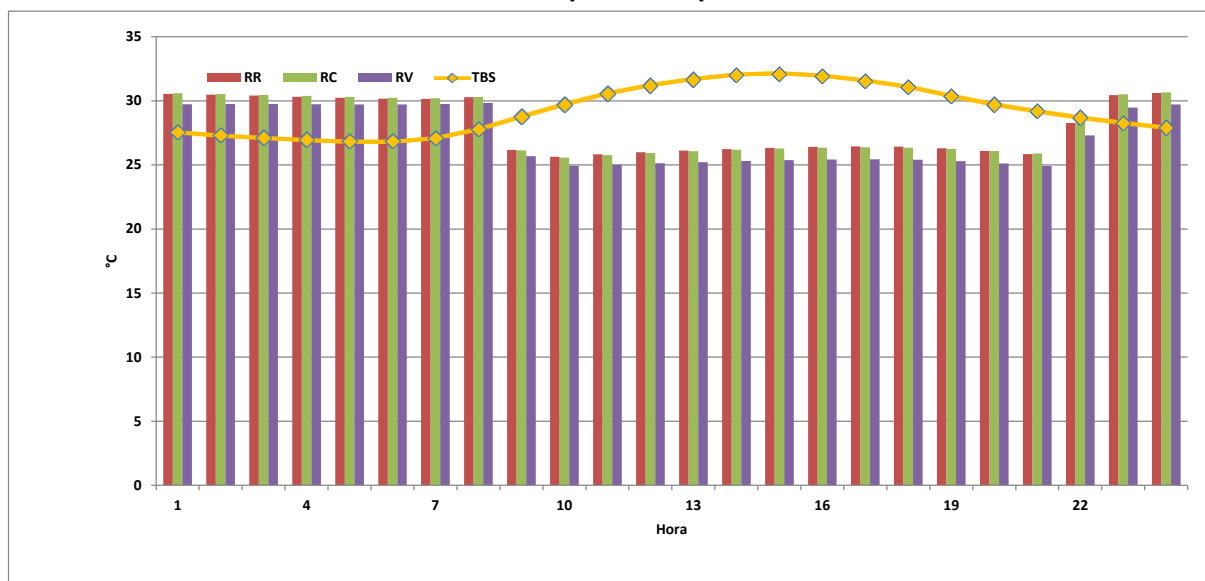
Residência	Ti,máx. (°C)	TBS (°C)	Nível
RR	30,39	32,10	I
RC	30,33		I
RV	30,38		I

Fonte: O autor (2021)

RR, RC e RV apresentaram respectivamente 5,61%, 5,82% e 5,66% de melhoria em comparação com o mínimo exigido, sendo as 3 soluções caracterizadas como nível Intermediário.

Para o cômodo Dormitório 2, no Gráfico 4 são mostradas as temperaturas dos 3 tipos de residência e a TBS seguida dos valores de temperatura interna máxima (Ti, máx.) na Tabela 18.

Gráfico 4– Temperaturas para o Dormitório 2



Fonte: O autor (2021).

Tabela 18– Temperatura interna máxima para o Dormitório 2

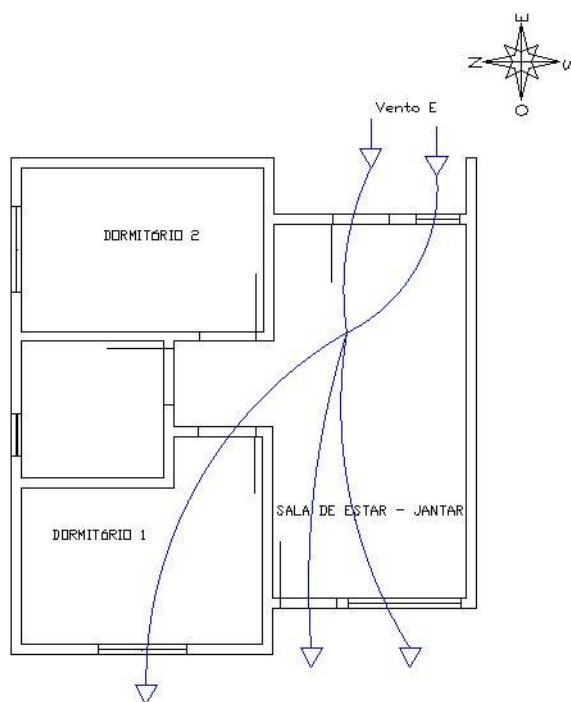
Residência	Ti,máx. (°C)	TBS (°C)	Nível
RR	30,60	32,10	I
RC	30,66		I
RV	29,83		S

Fonte: O autor (2021)

RR e RC atingiram nível Intermediário com respectivamente 4,89% e 4,70% de melhoria em relação ao mínimo. Já RV atingiu nível Superior com 7,60% de melhoria.

Comparando os gráficos das temperaturas dos ambientes é possível observar o impacto que os padrões de ocupação associados a fatores como ventilação, dimensões do ambiente e localização geográfica exercem na temperatura interna dos cômodos. A Sala que conta com ocupação predominante pela tarde apresenta leve aumento de temperatura nesse turno, encontrando-se em níveis mais baixos tanto pela manhã quando pela noite. A Figura 17 mostra como o vento Leste favorece a Sala e com menor intensidade o Dormitório 1.

Figura 18– Esquema de ventilação cruzada na residência



Fonte: O autor (2021)

É importante ressaltar que o Dormitório 2 seria beneficiado termicamente se contasse com sua abertura posicionada na face voltada para o Leste, recebendo assim o vento vindo dessa direção que é predominante em Aracaju.

Kruger e Lamberts (2000) elucidam que no que diz respeito às residências de caráter popular no Brasil, comumente é realizada a implantação de projetos sem que se dê a devida atenção às especificidades da região na qual a obra será executada, deixando assim de se considerar critérios referentes à zona climática.

Já em comparação dos dormitórios, ambos apresentaram comportamento térmico similar, sofrendo uma queda brusca à partir das 9 horas que se mantem com pequena oscilação até 21 horas quando novamente aumenta bruscamente. Os dormitórios possuem padrão de ocupação predominante pela manhã e após 21 horas e o Dormitório 2 em específico apresenta deficiente sistema de ventilação, tanto em dimensão da abertura quanto em posicionamento da esquadria.

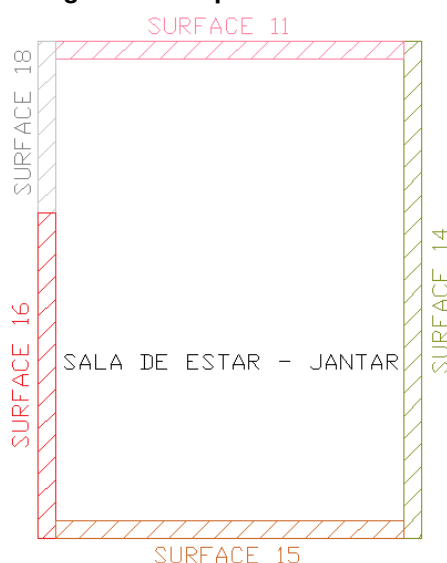
Para a Sala e o Dormitório 1, o melhor desempenho foi de RC seguido por RV. Já para o Dormitório 2, cômodo menos confortável termicamente, o melhor desempenho foi de RV seguido por RC.

5.4 TEMPERATURAS DAS ALVENARIAS

A seguir são mostrados os resultados obtidos para a máxima temperatura em cada uma das superfícies dos 3 cômodos analisados em sua face interna e externa.

Na Figura 18 vê-se a disposição das superfícies do cômodo Sala e na Tabela 19 os resultados obtidos.

Figura 19– Superfícies da Sala



Fonte: O autor (2021)

Tabela 19– Temperaturas máximas das superfícies da Sala

Superfície	RR (°C)		RC (°C)		RV (°C)	
	Interna	Externa	Interna	Externa	Interna	Externa
SURFACE 11	26,15	25,70	25,66	25,45	26,12	25,63
SURFACE 14	28,00	31,32	27,49	31,12	27,99	31,32
SURFACE 15	29,50	37,26	28,85	36,72	29,50	37,26
SURFACE 16	26,13	26,06	25,66	25,93	26,12	26,05
SURFACE 18	25,80	24,68	25,35	24,51	25,75	24,55

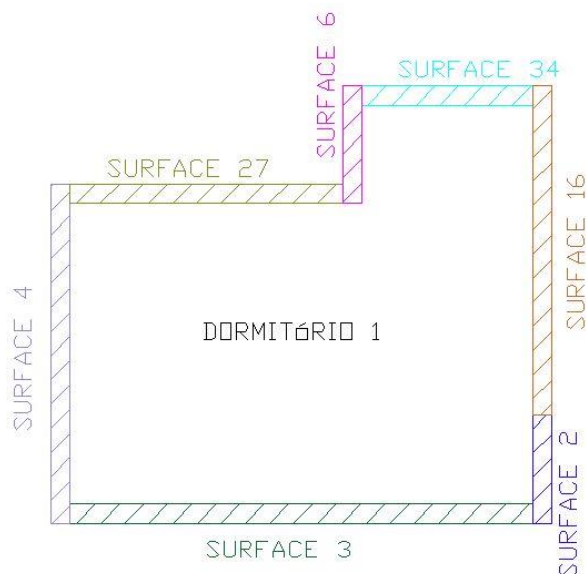
Fonte: O autor (2021)

O melhor desempenho foi registrado para RC na SURFACE 15 com a face interna 7,87°C a menos em relação à face externa. Já a SURFACE 18 apresentou a pior situação, com a face interna 1,20°C superior à face externa para RV.

A menor temperatura interna foi 25,35°C registrada na SURFACE 18 para RC e a maior ficou por conta de RR e RV na SURFACE 15 com 29,50°C.

Para o cômodo Dormitório 1 a Figura 19 mostra a disposição das superfícies e a Tabela 20 os resultados obtidos.

Figura 20– Superfícies do Dormitório 1



Fonte: O autor (2021)

Tabela 20– Temperaturas máximas das superfícies do Dormitório 1

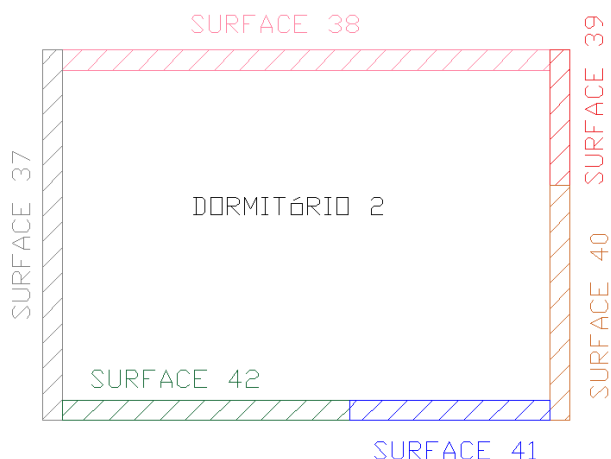
Superfície	RR (°C)		RC (°C)		RV (°C)	
	Interna	Externa	Interna	Externa	Interna	Externa
SURFACE 2	28,02	31,61	27,58	31,44	28,01	31,61
SURFACE 3	29,18	37,21	28,59	36,70	29,17	37,21
SURFACE 4	27,65	30,74	27,24	30,56	27,64	30,74
SURFACE 27	25,91	25,11	25,82	24,99	25,89	25,07
SURFACE 6	25,88	25,10	25,78	24,99	25,86	25,06
SURFACE 34	25,78	24,69	25,67	24,60	25,73	24,55
SURFACE 16	26,06	26,13	25,93	25,66	26,05	26,12

Fonte: O autor (2021)

O interior da SURFACE 34 para RV desenvolveu 1,18°C a mais que a face externa, tendo o pior desempenho. O melhor desempenho ficou por conta da SURFACE 3 para RC com 8,11°C a menos na face interna. A menor temperatura interna ficou por conta de RC com 25,67°C na SURFACE 34 e a maior temperatura foi registrada para a SURFACE 3 em RR com 29,18°C.

Para cômodo Dormitório 2 é possível ver na Figura 20 a disposição das superfícies e na Tabela 21 os resultados obtidos.

Figura 21– Superfícies do Dormitório 2



Fonte: O autor (2021)

Tabela 21– Temperaturas máximas das superfícies do Dormitório 2

Superfície	RR (°C)		RC (°C)		RV (°C)	
	Interna	Externa	Interna	Externa	Interna	Externa
SURFACE 37	27,39	30,79	27,27	30,62	25,67	32,00
SURFACE 38	27,84	33,94	27,70	33,55	25,65	35,95
SURFACE 39	27,66	31,28	27,56	31,13	26,85	31,16
SURFACE 40	26,11	25,61	26,10	25,48	25,50	25,27
SURFACE 41	25,82	24,70	25,78	24,64	25,29	24,35
SURFACE 42	27,56	31,10	27,40	30,84	26,86	30,84

Fonte: O autor (2021)

O Dormitório 2 na SURFACE 38 apresentou 10,30°C a menos em sua superfície interior, tendo obtido o melhor desempenho para RV. Por outro lado o pior desempenho ficou por conta de RC com 1,14°C a mais na superfície interna da SURFACE 41. Essa mesma superfície obteve internamente a menor temperatura, sendo ela 25,29°C para RV. A maior temperatura interna foi de 27,84°C em RR para a SURFACE 38.

A superfície externa com máxima temperatura na Sala foi a SURFACE 15 com 37,26°C para RR e RV e os mesmos sistemas para o Dormitório 1 obtiveram na SURFACE 3 o valor máximo externo para o cômodo de 37,21°C. No Dormitório 2 a superfície externa com maior temperatura foi a SURFACE 38 em RV com 35,95°C.

Em análise dos 3 ambientes fica evidente a agressividade térmica nas superfícies voltadas para o Oeste, sendo elas: SURFACE 15 (Sala); SURFACE 3 (Dormitório 1); SURFACE 2 (Dormitório 1). Percebe-se semelhança entre as temperaturas das superfícies voltadas para o Norte, sendo elas: SURFACE 4 (Dormitório 1); SURFACE 37 (Dormitório 2).

Nota-se a superioridade dos sistemas RC e RV em comparação com o sistema RR, principalmente quando comparados os resultados obtidos no Dormitório 2 com vantagem expressiva para o sistema RV.

5.5 CUSTO DA ALVENARIA POR METRO QUADRADO

Aqui serão expostos os resultados e discussões referentes aos custos da execução de 1 m² de cada um dos 3 modelos seguindo as delimitações já discutidas no decorrer deste estudo.

Na Tabela 22 vê-se o custo referente à implantação de 1 m² de RR.

Tabela 22– Custo de 1 m² de RR

Serviço					
Código	Descrição	Un			
SEINFRA-CE-C0047	ALVENARIA DE BLOCO CERÂMICO FURADO (9x19x39)cm C/ARGAMASSA MISTA DE CAL HIDRATADA, ESP=9 cm	M ²			
Composição de preço					
Código	Descrição	Un	Coef.	Preço (R\$)	Total (R\$)
Mão de obra					
SEINFRA-CE-I2543	SERVENTE	H	0,40	17,14	6,86
SEINFRA-CE-I2391	PEDREIRO	H	0,32	23,17	7,41
Materiais					
SEINFRA-CE-I0229	BLOCO CERAMICO FURADO VEDAÇÃO - 9X19X39 CM	UN	13,00	1,57	20,41
SEINFRA-CE-I0805	CIMENTO PORTLAND	Kg	1,47	0,56	0,82
SEINFRA-CE-I0109	AREIA MÉDIA	M ³	0,01	67,50	0,66
SEINFRA-CE-I0441	CAL HIDRATADA	KG	1,47	1,10	1,62
				Total	37,78

Fonte: O autor (2021)

A seguir pode ser visto na Tabela 23 o custo para 1 m² de RC.

Tabela 23– Custo de 1 m² de RC

Serviço					
Código	Descrição	Un			
SEINFRA-CE-C3743	ALVENARIA DE BLOCO DE CONCRETO (9x19x39)cm C/ARGAMASSA MISTA DE CAL HIDRATADA ESP=9 cm	M ²			
Composição de preço					
Código	Descrição	Un	Coef.	Preço (R\$)	Total (R\$)
Mão de obra					
SEINFRA-CE-I2543	SERVENTE	H	0,73	17,14	12,51
SEINFRA-CE-I2391	PEDREIRO	H	0,66	23,17	15,29
Materiais					
SEINFRA-CE-I0229	BLOCO DE CONCRETO 9x19x39cm - VEDAÇÃO	UN	13,13	1,98	26,00
SEINFRA-CE-I0805	CIMENTO PORTLAND	Kg	1,25	0,56	0,70
SEINFRA-CE-I0109	AREIA MÉDIA	M ³	0,008	67,50	0,56
SEINFRA-CE-I0441	CAL HIDRATADA	KG	0,32	1,10	0,35
				Total	55,41

Fonte: O autor (2021)

E para RV os custos de 1 m² encontram-se expostos na Tabela 24.

Tabela 24– Custo de 1 m² de RV

Serviço					
Código	Descrição	Un			
SEINFRA-CE-C0047	ALVENARIA DE BLOCO CERÂMICO FURADO (9x19x39)cm C/ARGAMASSA MISTA DE CAL HIDRATADA, ESP=9 cm	M ²			
Composição de preço					
Código	Descrição	Un	Coef.	Preço (R\$)	Total (R\$)
Mão de obra					
SEINFRA-CE-I2543	SERVENTE	H	0,40	17,14	6,86
SEINFRA-CE-I2391	PEDREIRO	H	0,32	23,17	7,41
Materiais					
SEINFRA-CE-I0229	BLOCO CERAMICO FURADO VEDAÇÃO - 9X19X39 CM	UN	13,00	1,57	20,41
SEINFRA-CE-I0805	CIMENTO PORTLAND	Kg	1,47	0,56	0,82
SEINFRA-CE-I0109	AREIA MÉDIA	M ³	0,01	67,50	0,66
SEINFRA-CE-I0441	CAL HIDRATADA	KG	1,47	1,10	1,62
Serviço					
Código	Descrição	Un			
	JARDIM VERTICAL	M ²			
Composição de preço					
Código	Descrição	Un	Coef.	Preço (R\$)	Total (R\$)
Mão de obra					
Cotação	SERVENTE	H	0,70	5,00	3,50
Mão de obra					
07425/ORSE	Planta - Jibóia (Epipremnum pinnatum)	UN	1,00	3,86	3,86
Cotação	Kit Com 4 Treliza Jardim Vertical Madeira Reciclada 50x50 Cm- Inclusos parafusos, buchas ou ganchos	M	0,25	92,00	23,00
10475/SINAPI	Verniz sintetico brilhante para madeira tipo copal, uso interno	L	0,12	26,56	3,19
04478/ORSE	Arame de cobre nº 14	M	1,00	2,72	2,72
Cotação	Vaso meia cuia	UN	1,00	4,69	4,69
Total					78,74

Fonte: O autor (2021)

A seguir, na Tabela 25, pode ser observado o custo total de forma resumida para a execução de cada um dos métodos.

Tabela 25– Custo total para cada método

Método	Material (R\$)	Mão-de-obra (R\$)	Custo total (R\$)
RR	23,51	14,27	37,78
RC	27,61	27,80	55,41
RV	60,97	17,77	78,74

Fonte: O autor (2021)

Em análise das tabelas apresentadas é possível notar que RR possui menor custo com material e com mão-de-obra do que RC. No valor final RR fica 46,67% menos onerosa do que RC.

RV fica 108,40% mais onerosa em seu valor final em comparação com RR, sendo a residência referência 159,31% menos onerosa nos materiais do que o método com parede verde.

Na Tabela 26 são reunidos os dados anteriormente expostos quanto à melhoria no desempenho térmico proporcionado por cada método em cada um dos ambientes e comparados com o custo calculado para 1 m² do sistema de alvenaria.

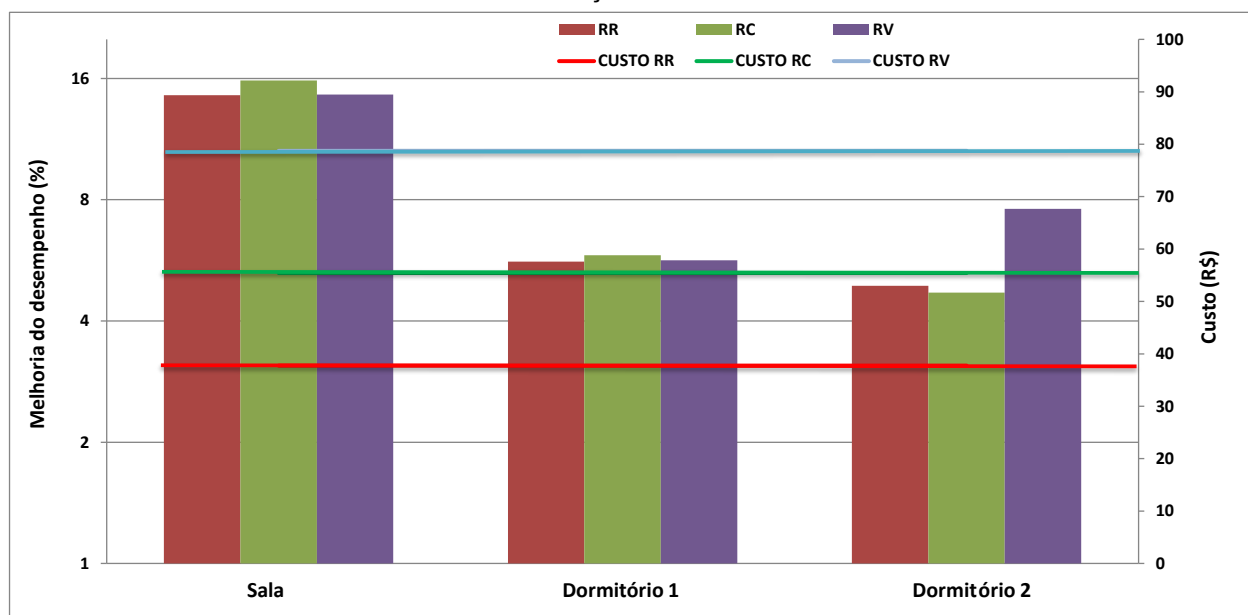
Tabela 26– Comparação entre custo e melhoria no desempenho térmico

Método	Custo total (R\$)	Melhoria no desempenho térmico (%)		
		Sala	Dormitório 1	Dormitório 2
RR	37,78	14,54	5,61	4,89
RC	55,41	15,81	5,82	4,70
RV	78,74	14,59	5,66	7,60

Fonte: O autor (2021)

No Gráfico 5 os valores referentes ao custo, expresso em linhas horizontais, e a porcentagem de melhoria, expressa em colunas verticais, estão expostos.

Gráfico 5– Relação entre custo e melhoria



Fonte: O autor (2021)

Comparando RV com RR o aumento de 108,40% no custo total gerou melhoria de 0,38% para a Sala, 0,80% para o Dormitório 1 e 55,36% para o Dormitório 2. Deve ser pontuado que para que a vegetação cubra toda a alvenaria o valor do metro quadrado não será multiplicado pela totalidade da metragem quadrada da superfície da parede, uma vez que a espécie de planta adotada tem crescimento em sentido vertical descendente, o que faz com que cada planta ocupe maior espaço a medida que se desenvolve.

Para RC em comparação com RR o bloco de concreto obteve desempenho inferior apenas para o Dormitório 2. RC tem custo 46,67% superior ao de RR e desempenho da Sala 8,76% superior, do Dormitório 1 com 3,72% superior e o Dormitório 2 com 3,92% inferior ao modelo com bloco de cerâmico.

A ANVISA (2003) relata que a temperatura ideal para ambientes fechados deve estar entre 23°C e 26°C, o que não foi registrado em nenhum dos ambientes neste trabalho. A discussão abordada no trabalho de Santos, Porto e Silva (2020) mostra que de fato as recomendações normativas não implicam necessariamente na sensação de conforto térmico por parte dos usuários. Nesse sentido Santo, Alvarez e Nico-Rodrigues (2013) encontraram resultados que mostram que a NBR 15.575 (2013) trabalha com simplificações na análise e ausência de parâmetros de conforto térmico de modo que torna sua metodologia proposta susceptível a equívocos. As autoras ainda chamam atenção para o fato de que a avaliação apenas para dias típicos, a consideração apenas de valores máximos diários de temperatura e a não consideração de rotinas de ocupação podem conduzir a conclusões imprecisas. Dessa forma, a discussão com relação à parâmetros normativos mais rigorosos mostra sua pertinência.

5.6 COMPARAÇÃO COM ESTUDOS CORRELATOS

Neste tópico serão expostos trabalhos que abordaram o desempenho térmico de edificações para em seguida serem comparados com os resultados obtidos no presente estudo.

Neri (2019) simulou através do *EnergyPlus* um cômodo de 24 m² para a cidade de Aracaju - SE. Foram adicionadas três aberturas no ambiente, sendo duas de 2,00 x 1,00 m e uma de 0,80 x 2,10 m. O cômodo foi analisado como um escritório e não contou com divisórias. Foram executadas simulações para vedação em bloco de concreto, outra para vedação em bloco cerâmico e por fim para vedação em bloco de concreto com expurgo cerâmico, contando com reboco de 2,50 cm. Quanto às propriedades dos blocos cerâmicos e de concreto a autora encontrou, assim como no presente trabalho, transmitância e atraso térmico favoráveis ao bloco cerâmico. Foi encontrada uma temperatura máxima no ambiente externo de 29,45°C e para os blocos com expurgo foi encontrada uma temperatura interna máxima de

27,21°C, uma diferença benéfica de 2,24°C que caracterizou o sistema como nível Superior. Como a autora ressalta, a diferença de temperatura do bloco cerâmico para o bloco de concreto com expurgo cerâmico foi de apenas 0,03°C, sendo considerada uma diferença irrisória para fins térmicos. Comparando com o presente trabalho a Sala obteve para os 3 sistemas desempenho superior ao encontrado por Neri (2019), com o menor valor dado por RR com 4,07°C a menos na superfície interna. Já nos demais cômodos o único resultado superior ao da autora foi no Dormitório 2 para RV com 2,27°C a menos na superfície interna. Pode-se dizer que os resultados entre blocos cerâmicos nos dois trabalhos desenvolveram comportamentos semelhantes.

Em estudo de Dunel (2020) foram analisadas as propriedades térmicas de tijolos ecológicos para a cidade de Aracaju - SE. Foi utilizado reboco com espessura de 2,50 cm e pintura em cor branca para a simulação que foi realizada no *EnergyPlus*. A edificação analisada foi uma residência nos padrões MCMV de 48 m². O ambiente com maior temperatura interna foi a Sala com 32,94°C com temperatura externa máxima de 30,90°C. O cômodo com maior temperatura interna no trabalho aqui desenvolvido foi o Dormitório 2 com 30,66°C em RC, com TBS máximo de 32,10°C. Para fins normativos o estudo de Dunel (2020) não atendeu ao padrão Mínimo de temperatura para os cômodos.

Tanto Neri (2019) quanto Dunel (2020) recomendam a prática aqui adotada de trabalhar com reboco e com pintura de cor clara nas alvenarias em construções localizadas na ZB 8.

Sousa (2020) realizou simulação através do *EnergyPlus* de uma residência para cada uma das oito Zonas Bioclimáticas brasileiras. Aqui serão analisados os dados referentes à ZB 8. A autora modelou um edifício padrão de interesse social nos moldes MCMV com a utilização da parede verde, observando que a utilização promoveu redução de até 2,80°C na temperatura interna no verão. O estudo comparou o modelo original, sendo ele em vedação com bloco cerâmico e o modelo modificado, com a adição da vegetação em uma das fachadas. A autora observou que a opção com parede verde produz no turno da manhã temperaturas maiores do que a opção sem vegetação e ambas as opções alcançam valores muito superiores à temperatura externa nesse período. Porém ao longo do dia a parede verde registra desempenho superior à parede sem vegetação, mais especificamente a partir das 12 horas até as 23 horas. A máxima temperatura externa foi de 34,90°C e para a

parede sem vegetação registrou-se para os ambientes internos a máxima de 35,70°C enquanto que para a parede verde a máxima foi de 35,10°C. Sousa (2020) considera a solução com parede verde uma opção sustentável e de baixo custo, recomendando seu uso para fins de conforto térmico em edificações.

Mendes (2019) modelou uma residência no Ceará nos moldes MCMV utilizando o *EnergyPlus*. A alvenaria foi em bloco cerâmico de 12 cm de espessura e revestimento de argamassa com espessura de 1,50 cm em cada lado. Assim como no presente trabalho, Mendes (2019) verificou que a relação entre área de abertura e área do cômodo atendeu aos valores mínimos recomendados pela ABNT NBR 15.575 (2013). A localidade estudada apresentou TBS máxima de 33,60°C. Na simulação inicial nenhum dos cômodos apresentou comportamento satisfatório, ficando a Sala com 1,02°C, e o Quarto de Casal com 1,56°C fora da condição mínima estabelecida de igualdade com a temperatura máxima do ambiente externo. Devido ao não atendimento o autor efetuou nova simulação adicionando sombreamento e alterando as dimensões das janelas dos cômodos analisados. Na nova simulação a edificação atendeu aos parâmetros mínimos, com a Sala 0,57°C a menos internamente do que a temperatura externa. No Quarto de Casal foi registrado internamente 0,1°C e no Quarto de Solteiro 0,27°C a menos com relação à temperatura externa. O autor registra a importância do desenvolvimento de habitações que mantenham condições térmicas confortáveis principalmente para as famílias com baixa renda, uma vez que os aparelhos mecânicos de arrefecimento térmico representam um alto custo para aquisição, uso e manutenção.

6 CONCLUSÃO

Diante do exposto e analisado mostra-se indiscutível a necessidade do cumprimento dos requisitos prescritos nas normas ABNT NBR 15.220 (2003) e ABNT NBR 15.575 (2013), norteadoras deste trabalho. Suas diretrizes construtivas e determinação de propriedades térmicas dos materiais e componentes construtivos tornam possíveis a elaboração de simulações e análises térmicas em todo o território brasileiro.

Os assuntos conforto térmico e desenvolvimento sustentável estão intimamente relacionados e a integração entre a engenharia e as práticas sustentáveis apresenta-se como um caminho para que as cidades possam continuar se desenvolvendo ao mesmo tempo em que reduzem a agressão ao meio ambiente.

Assim, a adoção da parede verde neste trabalho possibilitou aliar o estudo de um sistema construtivo altamente difundido no Brasil que é a alvenaria cerâmica a um método sustentável que é o jardim vertical.

Tanto o bloco de concreto quanto o bloco cerâmico demonstraram significativa eficiência junto aos parâmetros normativos de transmitância, atraso térmico e fator solar, evidenciando clara aptidão para serem utilizados na ZB 8. A utilização da telha de fibrocimento mostrou-se viável quando pintada com tinta branca.

A ZB 8, especificamente a cidade de Aracaju, tem altas temperaturas durante todo o ano, o que traz à tona debates acerca dos requisitos normativos para conforto do usuário uma vez que a temperatura interna estar igual a temperatura externa, que é a condição mínima de aceitação normativa (ABNT NBR 15.575-1, 2013), não necessariamente significa que o usuário está se sentindo confortável com a temperatura do ambiente.

A arquitetura do imóvel em estudo favoreceu os ambientes Sala e Dormitório 1 como foi evidenciado nos resultados, o que demonstra a importância da atenção aos parâmetros de conforto do usuário desde a concepção do projeto. Outros dois pontos que merecem destaque são a utilização de camada de reboco de 2,50 cm na alvenaria tanto internamente quanto externamente e a adoção de tintas de cor clara. Tais fatores mostram-se de caráter imperioso para o atendimento dos requisitos normativos na ZB 8.

Tanto blocos de concreto quanto cerâmicos demonstraram bom desempenho, atingindo inclusive nível Superior na Sala. RV apresenta comportamento similar a RR para a Sala e o Dormitório 1, porém para o Dormitório 2, ambiente no qual a parede verde foi adotada, ocorre melhora significativa no desempenho. As propriedades térmicas encontradas para os blocos estão condizentes, uma vez que apresentam o bloco cerâmico promovendo menor troca térmica quando comparado com o bloco de concreto. Merece destaque o fato de que a adoção do jardim vertical em um cômodo refletiu sutilmente de forma benéfica na temperatura dos demais ambientes.

A análise das superfícies de cada cômodo separadamente permitiu observar a forma com que ocorre a troca de calor entre ambiente externo e interno e como os sistemas de vedação se comportam de acordo com seu posicionamento geográfico.

A análise dos custos tornou possível a comparação entre os métodos com maior assertividade. Assim, torna-se claro que a adoção da parede verde impacta diretamente no custo final do empreendimento, ao passo que foi demonstrado que sua utilização promoveu um conforto térmico que nem RR e nem RC atingiram para o Dormitório 2.

Um ponto que também merece menção é o espaço que a pauta ambiental tem nos trabalhos aqui analisados. Neri (2019) deu um fim nobre para a cerâmica descartada, acrescentando-a nos blocos de concreto. Dunel (2020) abordou a análise térmica de tijolos ecológicos e Sousa (2020) abordou a influência térmica da adoção das paredes verdes.

Dessa forma, o presente trabalho atingiu os objetivos a que se propôs, avaliando e analisando termicamente uma residência nos moldes MCMV localizada na cidade de Aracaju – SE, utilizando também o custo de cada método como parâmetro comparativo. Também foi constatado como a utilização do jardim vertical em fachadas pode contribuir para o arrefecimento das temperaturas internas da edificação, representando uma alternativa sustentável para melhorar o conforto térmico do usuário.

REFERÊNCIAS

AKATSU, A.; SATO, N. M. N. **Propriedades termofísicas de materiais e componentes de construção**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Tecnologia de Edificações. São Paulo, IPT / PINI, 1988.

ALVES, Rogério Rozolen. **Métodos de avaliação do conforto térmico humano**. Monografia (Graduação) - Universidade de São Paulo Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas Departamento de Geografia. São Paulo, 2011. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/274698601_Metodos_de_avaliacao_do_Conforto_Termico_Humano/link/5525763a0cf295bf160ea85e/download>. Acessado em: Março de 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6136**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Requisitos. ABNT 6136. Rio de Janeiro. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. ABNT NBR15220-1. Rio de Janeiro. 2003.

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. ABNT NBR15220-1. Rio de Janeiro. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270-1**: Componentes cerâmicos – Parte 1: Componentes cerâmicos: Blocos e tijolos para alvenaria – Requisitos . ABNT NBR 15270-1: Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações Habitacionais — Desempenho. ABNT NBR 15575. Rio de Janeiro. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. ABNT NBR 15575. Rio de Janeiro. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4**: Edificações habitacionais — Desempenho Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas — SVVIE. ABNT NBR 15575. Rio de Janeiro. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-5: Edificações habitacionais — Desempenho Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas.** ABNT NBR 15575. Rio de Janeiro. 2013.

BIAS, E. de S.; BAPTISTA, G. M. de M. e LOMBARDO, M. A. Análise do fenômeno de ilhas de calor urbanas, por meio da combinação de dados Landsat e Ikonos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11, 2003, Belo Horizonte. **Anais.** Belo Horizonte: INPE, 2003. p. 1744 - 1748. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/43653035_Analise_do_fenomeno_de_ilhas_de_calor_urbanas_por_meio_da_combinacao_de_dados_Landsat_e_Ikonos>. Acessado em: Março de 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA. **Resolução n. 9 de 16 de janeiro de 2003.** Brasília: ANVISA, 2003. Disponível em: <https://www.saude.mg.gov.br/images/documentos/RES_RE_09.pdf>. Acessado em: Março de 2021.

BUTTLE, A. M. **Uso de Agregados Reciclados de Concreto em Blocos de Alvenaria Estrutural.** Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2007. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-16102007-111106/pt-br.php>>. Acessado em: Março de 2021.

COSTA, L. C. do N. **Aproveitamento da Ventilação Natural nas Habitações: um estudo de caso na cidade de Aracaju – SE.** Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-16032010-112227/en.php>>. Acessado em: Janeiro de 2021.

DUNEL, Maria Paula. **Avaliação do desempenho térmico de tijolos ecológicos em aracaju/se por meio de simulação computacional.** Dissertação (Pós-Graduação) - Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2020.

DAVIS, L. W.; GERTLER, Paul J.. **Contribution of air conditioning adoption to future energy use under global warming.** 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/276462017_Contribution_of_air_conditioning_adoption_to_future_energy_use_under_global_warming>. Acessado em: Fevereiro de 2021.

DUNNETT, N.; KINGSBURY, N.. **Planting green roofs and living walls.** 1º Edição. Estados Unidos: Timber, 2004. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/publication/250107612_Planting_Green_Roofs_and_Living_Walls>. Acessado em: Fevereiro de 2021.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. Nota técnica EPE 030/2018. **Uso de ar condicionado no setor residencial Brasileiro**: Perspectivas e contribuições para o avanço em eficiência energética. Brasília. 2018. Disponível em: <http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao341/NT%20EPE%20030_2018_18Dez2018.pdf>. Acessado em: Dezembro de 2020.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual do Conforto Térmico**. 5ª Edição. Brasil: Studio Nobel, 1988. Disponível em: <<http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/18350/material/ManualConfortoTERMICO.pdf>>. Acessado em: Dezembro de 2020.

GUYTON, A. C.; HALL, J. E. **Tratado de fisiologia médica**. 11ª Edição. Brasil: Guanabara Koogan, 2006.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL – INMETRO. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Residências (RTQ-R)**. Portaria INMETRO nº 018, 2012. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001788.pdf>>. Acessado em: Março de 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua - PNAD Contínua**. Rio de Janeiro: IBGE, 2018. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/habitacao/17270-pnad-continua.html?=&t=downloads>>. Acessado em: Dezembro de 2020.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - **ISO 7730 (2005)**. Ergonomics of the thermal environment: Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Genebra. 2005.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **Climate change 2007: The physical science basis: summary for policymakers**. Geneva: IPCC, 2007. Volume 1. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/ar4_wg1_full_report-1.pdf>. Acessado em: Dezembro de 2020.

KRUGER, E. L.; LAMBERTS, R.. **Avaliação de Desempenho Térmico de Casas Populares**. ENTAC 2000, VIII Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído, Salvador, 2000. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/320647718_Analise_do_Desempenho_Termico_em_Habitacoes_Populares_Atraves_da_Simulacao_das_Caracteristicas_dos_Materiais_Constituintes_de_sua_Envoltoria>. Acessado em: Janeiro de 2021.

LAMBERTS, Roberto; GHISI, Enedir; PEREIRA, Cláudia Donald; BATISTA, Juliana Oliveira. Casa eficiente: Bioclimatologia e desempenho térmico. Florianópolis, LABEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina, 2010, 130 páginas, **Apostila**. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/livros/CasaEficiente_vol_I_WEB.pdf>. Acessado em: Março de 2021.

LAMBERTS, Roberto; GHISI, Enedir; PEREIRA, Cláudia Donald; BATISTA, Juliana Oliveira; MARINOSKI, Devis Luis; NARANJO, Alejandro; DUARTE, Vanessa C. P.. Desempenho térmico de edificações. Florianópolis, LABEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina, 2016, 239 páginas, **Apostila**. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ApostilaECV5161_v2016.pdf>. Acessado em: Março de 2021.

LOUREIRO, Filipe Miguel Gomes. **Análise de Conforto Térmico dos Gabinetes do Edifício de Engenharia Civil da FCT/UNL**. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil. Lisboa. 2017. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10362/30794>>. Acessado em: Março de 2021.

MENDES, Mateus Veras. **Desempenho térmico de habitações de interesse social: estudo no semiárido nordestino**. Monografia (Graduação) - Universidade Federal do Ceará, Curso de Engenharia Civil. Crateús. 2019. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/48540>>. Acessado em: Janeiro de 2021.

MORA, Nora Diaz. Apostila de materiais elétricos. Foz do Iguaçu, LAMAT - Laboratório de Materiais da Universidade Estadual do Oeste do Paraná campus de Foz do Iguaçu, 2010, 14 páginas, **Apostila**. Disponível em: <<http://www.foz.unioeste.br/~lamat/downmateriais.html>>. Acessado em: Março de 2021.

MORELLI, D. D. de O. **Desempenho de paredes verdes como estratégia bioclimática**. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, UNICAMP. Campinas. 2016. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/321174/1/Morelli_DeniseDamasdeOliveira_D.pdf>. Acessado em: Dezembro de 2020.

NERI, Daniela Alves. **Desempenho térmico de alvenaria utilizando blocos de concreto com resíduos cerâmicos de expurgo**. Monografia (Graduação). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe, Campus Aracaju, Curso de Engenharia Civil, Aracaju, 2019.

OTTELE, M.. **The Green Building envelope: Vertical Greening**. 1º Edição. Holanda: TU Delft, 2011. Disponível em: <<https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A1e38e393-ca5c-45af-a4fe-31496195b88d>>. Acessado em: Fevereiro de 2021.

POSSEBOM, Alessandro et al. Ventilação cruzada. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS, 5., 2016, Passo Fundo. **Anais**. Passo Fundo: Imed, 2016. Volume. 1, p. 1 - 4. Disponível em: <[https://home.unicruz.edu.br/seminario/anais/anais-2018/XXIII%20SEMINARIO%20INTERINSTITUCIONAL/Ciencias%20Sociais%20e%20Humanidades/Mostra%20de%20Iniciacao%20Cientifica%20-%20RESUMO%20EXPANDIDO/A%20EFICIENCIA%20DA%20VENTILACAO%20Cruzada%20na%20Arquitetura%20\(7316\).pdf](https://home.unicruz.edu.br/seminario/anais/anais-2018/XXIII%20SEMINARIO%20INTERINSTITUCIONAL/Ciencias%20Sociais%20e%20Humanidades/Mostra%20de%20Iniciacao%20Cientifica%20-%20RESUMO%20EXPANDIDO/A%20EFICIENCIA%20DA%20VENTILACAO%20Cruzada%20na%20Arquitetura%20(7316).pdf)>. Acessado em: Novembro de 2020.

POYASTRO, Patricia Carone. **Comparação entre blocos cerâmicos e em concreto, quanto a custo e produtividade quando utilizados em alvenaria estrutural**. Monografia (Graduação) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia, Curso de Engenharia Civil. Porto Alegre. 2008. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/28539#:~:text=Dois%20dos%20principais%20fatores%20que,comparado%20ao%20bloco%20em%20concreto>>. Acessado em: Novembro de 2020.

ROMAN, H.R.; MUTTI, C.C.; ARAÚJO, H.N. **Construindo em alvenaria estrutural**. 1º Edição. Brasil: Editora da UFSC, 1999.

SANTO, A. D.; ALVAREZ, C. E.; NICO-RODRIGUES, E. A. **Conforto e desempenho térmico em contradição na NBR 15575**. Cadernos PROARQ. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, v. 20, p. 116-136, julho 2013. Disponível em: <https://lpp.ufes.br/sites/lpp.ufes.br/files/field/anexo/Proarq_20-114.pdf>. Acessado em: Março de 2021.

SANTOS, Tássio Luiz dos; PORTO, Fernando Henrique Fiirst dos Santos; SILVA, Arthur Santos. **Análise da correlação entre conforto e desempenho térmico em habitações de interesse social por simulação computacional**. Revista Ambiente Construído. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, v. 20, n. 2, p. 211-229, junho 2020. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212020000200211&lng=en&nrm=iso>. Acessado em: Outubro de 2020.

SCHERER, M. J. **Cortinas Verdes na arquitetura: desempenho no controle solar e na eficiência energética de edificações**. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2014. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/109023>>. Acessado em: Novembro de 2020.

SCHERER, Paula; MASUTTI, Mariela Camargo. **A eficiência da ventilação cruzada na arquitetura. A produção do conhecimento nas ciências sociais aplicadas 5**, Ponta Grossa, Paraná, v. 5, p. 1-4, maio, 2019. Livro digital: 413 páginas. Disponível em: <<https://www.atenaeditora.com.br/post-ebook/2298>>. Acessado em: Fevereiro de 2021.

SOUSA, Luana Resende de. **Análise do desempenho térmico de habitações multifamiliares de interesse social com paredes verdes**. Dissertação (Pós-Graduação) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil-PROPEC, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2020. Disponível em: <<https://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/12368>>. Acessado em: Março de 2021.

VIANA, F. S. **Análise de desempenho térmico em módulo de contêiner marítimo**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018. Disponível em: <<https://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/11691>>. Acessado em: Março de 2021.

WALLAUER, Maurício Ditter. **Utilização do programa EnergyPlus para a simulação do conforto térmico em edificações populares em quatro capitais brasileiras**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2003.

WEBER, Fernando da Silva. **Desenvolvimento de um modelo equivalente de avaliação de propriedades térmicas para a elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa Energyplus**. Monografia (Graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina Centro Tecnológico Departamento de Engenharia Civil, Santa Catarina, 2018. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/187903>>. Acessado em: Novembro de 2020.