

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**HIGOR LEONEL ALVES BALBINOT  
HIGOR MORAES SILVA**

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO NO  
DESEMPENHO TÉRMICO DE UMA EDIFICAÇÃO UNIFAMILIAR EM PATO  
BRANCO - PR**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PATO BRANCO  
2020**

**HIGOR LEONEL ALVES BALBINOT**

**HIGOR MORAES SILVA**

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO NO  
DESEMPENHO TÉRMICO DE UMA EDIFICAÇÃO UNIFAMILIAR EM PATO  
BRANCO - PR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco.

Orientador: Prof. Dr Mario Arlindo Paz Irrigaray

**PATO BRANCO**

**2020**

# TERMO DE APROVAÇÃO



Ministério da Educação  
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEP. ACADEMICO DE CONSTR. CIVIL DACOC-PB

## TERMO DE APROVAÇÃO

### TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO - TCC

#### AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO NO DESEMPENHO TÉRMICO DE UMA EDIFICAÇÃO UNIFAMILIAR EM PATO BRANCO - PR

Por

HIGOR LEONEL ALVES BALBINOT E HIGOR MORAES SILVA

Monografia apresentada às 16 horas do dia 24 de NOVEMBRO de 2020 como requisito parcial, para conclusão do Curso de ENGENHARIA CIVIL da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação e conferidas, bem como achadas conforme, as alterações indicadas pela Banca Examinadora, o trabalho de conclusão de curso foi considerado APROVADO.

Banca examinadora:

Prof. Dr. ANTONIO AUGUSTO PAULA XAVIER	Membro
Prof. Msc. OSMAR JOÃO CONSOLI	Membro
Prof. Dr. MÁRIO ARLINDO PAZ IRRIGARAY	Orientador
Profª. Drª. ELIZÂNGELA MARCELO SILIPRANDI	Professor(a) responsável TCCII



Documento assinado eletronicamente por (Document electronically signed by) **MARIO ARLINDO PAZ IRRIGARAY, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em (at) 24/11/2020, às 18:18, conforme horário oficial de Brasília (according to official Brasilia-Brazil time), com fundamento no (with legal based on) art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por (Document electronically signed by) **OSMAR JOAO CONSOLI, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em (at) 24/11/2020, às 18:48, conforme horário oficial de Brasília (according to official Brasilia-Brazil time), com fundamento no (with legal based on) art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por (Document electronically signed by) **ANTONIO AUGUSTO DE PAULA XAVIER, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em (at) 02/12/2020, às 11:50, conforme horário oficial de Brasília (according to official Brasilia-Brazil time), com fundamento no (with legal based on) art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site (The authenticity of this document can be checked on the website) [https://sei.utfpr.edu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.utfpr.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador (informing the verification code) **1752567** e o código CRC (and the CRC code) **4B4B1AA6**.

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaríamos de agradecer ao professor Mário Arlindo Paz Irrigaray por todo conhecimento que nos proporcionou durante a graduação, além é claro que acreditar e apoiar este presente trabalho. Também agradecemos aos membros da banca, os professores Antonio Augusto de Paula Xavier e Osmar Joao Consoli por todas as contribuições para a melhoria deste trabalho. Queremos ainda agradecer também aos professores que nos ajudaram a construir o conhecimento que adquirimos durante a graduação, com certeza vocês nos ensinaram e inspiraram a sermos engenheiros melhores.

“Agradeço primeiro a Deus por ter me guiado até este momento. Agradeço também meus pais, Clovis José Balbinot e Margarete Simone Alves da Silva Balbinot, sem o apoio, os conselhos e a criação que me deram eu não estaria alçando voos tão altos.

Também deixo meus agradecimentos a minha avó Marivoni Dambros Balbinot, o apoio e auxílio que me deu ao longo desses anos foram de suma importância para a realização deste sonho, além de todos os familiares que colaboram de alguma forma para minha formação.

Agradeço também aos amigos que fiz ao longo desta jornada, cada um destes sabe a importância e o significado que representam para mim. Por fim deixo meus agradecimentos ao Higor Moraes, pelo companheirismo e pela dedicação desempenhada na realização deste trabalho que nos desafiou desde o início.”

Higor L. Alves Balbinot.

“Gostaria primeiramente de agradecer a Deus. Em seguida quero agradecer aos meus pais Paulo Cardoso Silva e Denilza de Moraes Silva por tudo que me deram na jornada até aqui, sem vocês eu não conseguiria, além é claro do apoio dos meus familiares que sempre estiveram ao meu lado. Também quero agradecer às pessoas queridas que possibilitaram a realização do sonho de estudar em uma universidade pública, Maria, Matheus e família. Também fica um abraço especial a todos os amigos encontrei no caminho, desde a escola até o ensino superior, com vocês a vida se tornou muito mais alegre e enriquecedora. Quero agradecer também a Natália Alves que me acompanhou e esteve comigo durante todo este trajeto.

Por último quero agradecer ao Higor Balbinot por todos os trabalhos realizados até aqui e pela parceria construída ao longo dos anos.”

Higor Moraes Silva.

## RESUMO

BALBINOT, Higor L. Alves; SILVA, Higor Moraes. **Avaliação da influência dos materiais de construção no desempenho térmico de uma edificação unifamiliar em Pato Branco - PR.** 2020, 87 pgs. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil - Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR. Pato Branco, 2020.

Um bom desempenho térmico faz parte das premissas exigidas para uma residência. Inclusive a NBR 15575 estabelece critérios para análise e classificação visando melhorar o desempenho térmico para as edificações habitacionais através de estratégias passivas. Por isso entender a influência da escolha dos materiais auxilia a tomada de decisão nas diversas fases executivas de sua construção. Este documento tem por objetivo estudar os efeitos da modificação ou alteração dos materiais empregados em relação ao desempenho térmico, sem que seja necessário alterar a arquitetura ou a estrutura da residência. O objeto de estudo é uma edificação habitacional unifamiliar localizada na cidade de Pato Branco, no estado do Paraná. Realizaram-se inicialmente simulações de desempenho térmico através do *energyplus* utilizando dados da edificação conforme construída, e classificando-a conforme critérios da NBR 15575. Posteriormente realizou-se a adição de material isolante, lã de vidro, e simulou-se novamente. Em uma terceira análise substituiu-se o vidro utilizado nas esquadrias por outro com características melhoradas para o favorecimento do desempenho térmico durante o verão. Por último uniu-se todas as modificações e realizou-se um comparativo entre todas as temperaturas internas obtidas para os ambientes. Observou-se que o uso da lã de vidro gerou resultados mais impactantes para a maioria dos ambientes. A substituição do vidro contribuiu pouco para a diminuição de temperatura da zona térmica. De modo geral a utilização de todas as modificações em conjunto gera resultados satisfatórios, elevando a classificação dos ambientes mais críticos.

**Palavras-chave:** Desempenho térmico, conforto térmico, simulação computacional, classificação do desempenho térmico.

## ABSTRACT

BALBINOT, Higor L. Alves; SILVA, Higor Moraes. **Evaluation influence of construction materials in thermal performance for a single Family building in Pato Branco - PR.** 2020, 87 pgs. Course Conclusion Work (Civil Engineering Degree) – Academic Department of Civil Construction, Federal Technological University of Paraná - UTFPR. Pato Branco, 2014.

A good thermal performance is a required premise for a residence. Moreover, the NBR 15575 establish standard for the analyses and classification aiming to improve the thermal performance of the housing building through passive strategies. Therefore, understanding the material choice assist the decision making in the many executive phases of the building. This document aims to study the effects of the modification or substitution of the material used regarding thermal performance, without being necessary the change in the architectural project or the structure of the residence. The study object is a single-family housing building located in Pato Branco city, in the state of Paraná. Initially took place thermal performance simulation by energyplus using data of the house as built, and classifying it according the standards of NBR 15575. Posteriorly it took place the addition of insulating material, glass wool, and simulated again. In a third analysis, the glass was replaced in the windows for another with better features for the favoring thermal performance during summer. Lastly all the modification was merged and a comparative was made for all internal temperatures obtained. It was observed that the use of glass wool generated more impactful results for most environment. The substitution of the glass contributed little to the decrease of the temperature in the thermal zone. Generally, the use of all modifications together generates satisfactory results, elevating the rating of the most critical environment.

**Key words:** thermal performance, thermal comfort, computational simulation, thermal performance rating.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo de Carta Psicrométrica.....	20
Figura 2 - Iglu e chalé das montanhas .....	21
Figura 3 - Carta bioclimática adaptada.....	26
Figura 4 - Zonas da carta bioclimática adaptada.....	27
Figura 5 - Zoneamento bioclimático brasileiro.....	28
Figura 6 - Localização do município de Pato Branco .....	38
Figura 7 - Planta baixa do primeiro pavimento .....	40
Figura 8 - Planta baixa do segundo pavimento .....	41
Figura 9 - Vista modelagem 3D.....	43
Figura 10 - Vista modelagem 3D.....	44
Figura 11 - Tipo de superfícies na modelagem 3D.....	44
Figura 12 - Fluxograma da metodologia empregada.....	48
Figura 13 - Fluxograma esquemático das simulações conforme o emprego dos materiais.....	52
Figura 14 - Escala de cor para classificação dos ambientes.....	54
Figura 15 - Gráfico de temperatura para o dia crítico de inverno da cozinha.....	73
Figura 16 - Gráfico de temperatura para o dia crítico de verão da cozinha.....	74
Figura 17 - Modelo 3D da edificação construída para o dia crítico de projeto de inverno .....	75
Figura 18 - Modelo 3D da edificação com todas as modificações para o dia crítico de projeto de inverno.....	76
Figura 19 - Modelagem 3D da edificação construída para o dia crítico de projeto de verão .....	77
Figura 20 - Modelo 3D da edificação com todas as modificações para o dia crítico de projeto de verão .....	77



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Critérios para classificação bioclimática.....	27
Tabela 2 - Classificação bioclimática de algumas cidades paranaenses .....	28
Tabela 3 - Transmitância térmica de paredes externas .....	32
Tabela 4 - Capacidade térmica de paredes externas.....	32
Tabela 5 - Critérios e níveis de desempenho de coberturas quanto a transmitância térmica .....	33
Tabela 6 - Métodos de medição de propriedades térmicas de materiais e elementos construtivos .....	34
Tabela 7 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão .	34
Tabela 8 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno .....	35
Tabela 9 - Tipo de vedação externa para a zona bioclimática 2 .....	49
Tabela 10 - Estratégias de condicionamento térmico passivo para a zona bioclimática 2 .....	50
Tabela 11 - Temperatura da área de serviço para o dia crítico de projeto de inverno .....	55
Tabela 12 - Diferença entre a temperatura interna e externa no inverno - Área de serviço.....	55
Tabela 13 - Temperatura da área de serviço para o dia crítico de projeto de verão .	56
Tabela 14 - Diferença entre a temperatura interna e externa no verão - Área de serviço .....	56
Tabela 15 - Temperatura do lavabo para o dia crítico de projeto de inverno .....	57
Tabela 16 - Diferença entre a temperatura interna e externa no inverno - Lavabo ...	57
Tabela 17 - Temperatura do lavabo para o dia crítico de projeto de verão .....	58
Tabela 18 - Diferença entre a temperatura interna e externa no verão - Lavabo .....	59
Tabela 19 - Temperatura da garagem para o dia crítico de projeto de inverno.....	59
Tabela 20 - Diferença entre a temperatura interna e externa no inverno - Garagem	60
Tabela 21 - Temperatura da garagem para o dia crítico de projeto de verão .....	61
Tabela 22 - Diferença entre a temperatura interna e externa no verão - Garagem...	61
Tabela 23 - Temperatura do banheiro para o dia crítico de projeto de inverno.....	62
Tabela 24 - Diferença entre a temperatura interna e externa no inverno - Banheiro.	62
Tabela 25 - Temperatura do banheiro para o dia crítico de projeto de verão.....	63

Tabela 26 - Diferença entre a temperatura interna e externa no verão - Banheiro ...	63
Tabela 27 - Temperatura do quarto 2 para o dia crítico de projeto de inverno.....	64
Tabela 28 - Diferença entre a temperatura interna e externa no inverno - Quarto 2.	65
Tabela 29 - Temperatura do quarto 2 para o dia crítico de projeto de verão .....	66
Tabela 30 - Diferença entre a temperatura interna e externa no verão - Quarto 2....	66
Tabela 31 - Temperatura interna do quarto 1 para o dia crítico de projeto de inverno .....	67
Tabela 32 - Diferença entre a temperatura interna e externa no inverno - Quarto 1.	67
Tabela 33 - Temperatura interna do quarto 1 para o dia crítico de projeto de verão.	68
Tabela 34 - Diferença entre a temperatura interna e externa no verão - Quarto 1....	69
Tabela 35 - Temperatura interna da cozinha para o dia crítico de projeto de inverno .....	70
Tabela 36 - Diferença entre a temperatura interna e externa no inverno - Cozinha..	70
Tabela 37 - Temperatura interna da cozinha para o dia crítico de projeto de verão .	71
Tabela 38 - Diferença entre a temperatura interna e externa no verão - Cozinha.....	72
Tabela 39 - Resistência térmica superficial interna e externa .....	84
Tabela 40 - Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas, com largura muito maior que a espessura.....	85

## LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira De Normas Técnicas
ACM	Aluminium Composite Material
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers
INMET	Instituto Nacional de Metereologia
ISO	International Organization for Standardization
LBNL	Laurence Berkeley National Laboratory
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
PMV	Predicted Mean Vote
REN/H	Renovação de ar por hora

## LISTA DE SÍMBOLOS

a	Camada a
$A_n$	Área da camada n
b	Camada b
$C_T$	Capacidade térmica
e	Espessura
I	Intermediário
i	Componente i
J	Joule
M	Mínimo
n	Camada n
Q	Fluxo de calor ou taxa de fluxo de calor
q	Densidade de fluxo de calor
R	Resistência térmica
$R_{AR}$	Resistência térmica do ar
$R_{se}$	Resistência térmica da superfície externa
$R_{si}$	Resistência térmica da superfície interna
$R_T$	Resistência térmica total, ambiente a ambiente
$R_t$	Resistência térmica total, superfície a superfície
S	Superior
U	Transmitância térmica de um componente
$\alpha$	Absortância a radiação solar de uma superfície externa
$\lambda$	Condutividade térmica
$\rho$	Densidade
$\rho_i$	Reflectância
$\varphi$	Atraso térmico

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
1.1	OBJETIVOS .....	15
1.1.1	Objetivo geral .....	15
1.1.2	Objetivos Específicos .....	15
1.2	JUSTIFICATIVA .....	16
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>18</b>
2.1	CONFORTO TÉRMICO .....	18
2.1.1	Equipamentos para medição de variáveis ambientais.....	19
2.2	DESEMPENHO TÉRMICO .....	21
2.3	NORMAS .....	23
2.3.1	Propriedades dos materiais relevantes para o desempenho térmico .....	23
2.3.2	ABNT NBR 15220-3 desempenho térmico e zoneamento bioclimático.....	25
2.3.3	ABNT NBR 15575 Edificações habitacionais - Desempenho.....	28
2.3.4	Método informativo (Medição) .....	29
2.3.5	Método simplificado (Normativo) .....	30
2.3.6	Simulação computacional.....	33
2.4	CLIMA DE PATO BRANCO .....	37
<b>3</b>	<b>MÉTODO .....</b>	<b>39</b>
3.1	OBJETO DE ESTUDO .....	39
3.2	SIMULAÇÃO .....	45
3.3	<i>SOFTWARES</i> UTILIZADOS .....	46
3.3.1	EnergyPlus .....	46
3.3.2	Euclid e SketchUp .....	47
3.3.3	Dados Climáticos.....	47
3.4	PRIMEIRA SIMULAÇÃO.....	47

3.5	MODIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DE VEDAÇÃO VERTICAL E DE COBERTURA.....	49
3.6	COMPARAÇÃO DE SIMULAÇÕES.....	52
<b>4</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>53</b>
4.1	AMBIENTES DE CURTA PERMANÊNCIA.....	54
4.1.1	Área de serviço.....	54
4.1.2	Lavabo.....	57
4.1.3	Garagem.....	59
4.1.4	Banheiro.....	62
4.2	AMBIENTES DE LONGA PERMANÊNCIA.....	64
4.2.1	Quarto 2.....	64
4.2.2	Quarto 1.....	66
4.2.3	Cozinha.....	69
4.3	ANÁLISE GRÁFICA.....	72
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>78</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>81</b>
	<b>ANEXO A.....</b>	<b>84</b>
	<b>ANEXO B.....</b>	<b>85</b>
	<b>APÊNDICE A – PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS.....</b>	<b>86</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O conforto térmico é uma das variáveis do conforto ambiental, conforme Lamberts, Dutra e Pereira (2014). Os autores evidenciam que este conceito é subjetivo, pois diversos fatores ambientais e pessoais influenciam. De forma simplificada define-se que o conforto térmico é o estado mental que permite ao indivíduo o bem-estar no ambiente em que se encontra.

A busca por conforto térmico habitacional por meio da arquitetura tem ocorrido desde povos antigos. Lamberts, Dutra e Pereira (2014) destacam alguns destes que obtiveram sucesso. Os romanos foram um dos primeiros povos a utilizar o aquecimento artificial das residências para suportar climas mais rigorosos. Este sistema se tornou custoso, pela grande necessidade de energia para aquecimento, e estes se viram obrigados a utilizar métodos mais sustentáveis de construção. Descobriu-se a época um sistema chamado *heliocaminus*, que permitia iluminação e aquecimento através da radiação solar, utilizando a técnica conhecida atualmente como inércia térmica.

No período descrito pelos autores Lamberts Dutra e Pereira (2014) como entre guerras, surgiu o Estilo Internacional, que renovou o conceito de arquitetura e concepção de edificações pelo mundo, e com ele grandes nomes da arquitetura, como Le Corbusier, que integra, por meio da proporção, o espaço e as pessoas. Paralelamente, a partir deste período houve grandes avanços de diversas áreas de construções e arquitetura, mas o conforto térmico não seguiu o mesmo ritmo. Um exemplo são as construções de grandes edifícios envidraçados, símbolo das metrópoles, que se difundiu pelo mundo sem sofrer as readaptações necessárias para os diversos climas em que se inseriu, sendo necessário maior consumo de energia para que haja o equilíbrio térmico.

A situação energética atual do Brasil, conforme descrita por Lamberts, Dutra e Pereira (2014), traz dados de 2012 em que 46,7% do consumo se dá pelas edificações, sendo 23,3% residenciais. Na região Norte do país, por exemplo, o consumo de eletricidade para uso de ar condicionado atinge níveis médios de 40% do total de uma residência. Tal fato explicita a necessidade de edificações mais

sustentáveis em relação ao desempenho térmico, que busque minimizar o consumo energético para que não haja colapso no sistema de fornecimento de energia.

Feita tal análise, Lamberts, Dutra e Pereira (2014) descrevem o esforço mundial em buscar normatização para as edificações, fato decorrente do aumento populacional e conseqüente aumento na demanda de residências. Em outros locais, como a Europa em 2006, criaram-se normativas em relação ao desempenho energético de edificações. No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas desenvolveu a NBR 15220:2005 Desempenho térmico de edificações e a NBR 15575:2013 Desempenho de Edificações Habitacionais para que as construções possam se adequar aos padrões climáticos do país e propiciar conforto térmico aos indivíduos.

Tais fatos demonstram a importância do conhecimento dos profissionais envolvidos na concepção e construção das edificações, em relação aos materiais empregados e como estes influenciam no desempenho térmico. Dito isso, este trabalho busca entender a interferência no desempenho térmico produzida pela mudança dos materiais empregados nos sistemas de vedação vertical e de cobertura. Não obstante, realiza-se estudos sobre conforto térmico, desempenho térmico, normas brasileiras e o clima da cidade de Pato Branco.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

Avaliar a influência da alteração dos materiais empregados nos sistemas de vedação vertical e de cobertura no desempenho térmico de uma edificação unifamiliar no município de Pato Branco, por meio de simulação computacional, e analisar a conformidade em relação aos critérios da NBR 15575:2013.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Avaliar o desempenho térmico de uma edificação já construída, utilizando o projeto arquitetônico e os materiais empregados na construção, por meio de



simulação computacional, com base nos procedimentos e critérios da NBR 15575 Edificações habitacionais – Desempenho (2013);

- Simular o desempenho térmico da edificação já construída com substituição e/ou emprego de materiais de isolamento térmico nos sistemas de vedação vertical e cobertura, por meio de simulação computacional, com base nos procedimentos da NBR 15575 Edificações habitacionais – Desempenho (2013);
- Comparar os dados de desempenho térmico da edificação construída com os resultados obtidos por meio da simulação com modificação dos sistemas de vedação vertical e de cobertura, com base nos critérios da NBR 15575 Edificações habitacionais – Desempenho (2013).

## 1.2 JUSTIFICATIVA

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (2013), por meio da NBR 15575 Edificações habitacionais – desempenho estabelece critérios mínimos dos quais as construções no Brasil devem cumprir. Em um país que possui grandes dimensões territoriais, com condições climáticas variadas, a utilização de uma normativa que as considere é de extrema importância bem como o conhecimento desta por parte dos profissionais. Por esta razão faz-se necessário estudo intenso e bom entendimento de seus critérios bem como sua correlação com métodos construtivos.

Visando agregar conhecimentos normativos decidiu-se por um estudo cujo tema trate do desempenho de edificações, pois entende-se que os profissionais necessitam adequar-se ao mercado de trabalho buscando capacitar-se ainda mais para atuar com conhecimento necessário para melhorar o desempenho das edificações no Brasil.

Os autores Kern, Silva e Kazmierczak (2014) avaliaram a implantação de normas de desempenho no Brasil e na Europa verificando semelhanças e diferenças entre ambos. A norma espanhola entrou em vigor 2007 e a brasileira em 2013 e há semelhanças visíveis entre ambas como abrangência nacional e o tratamento do desempenho para diferentes climas. A diferença é que a norma espanhola considerou

um tempo maior para assimilação e comunicação com os profissionais atuantes na área, bem como a aplicação gradual dos critérios estabelecidos por esta. No Brasil houve postergação da vigência da norma, porém pouco tempo de internalização e aplicação integral da norma, não havendo disseminação e explicações dos critérios para os profissionais da construção civil. Tal fato evidencia a necessidade de estudos mais aprofundados da NBR 15575 para que haja melhor entendimento e que as construções no Brasil possam atender aos critérios estabelecidos por essa.

Os autores deste documento também optaram pela escolha deste tema tendo em vista a carência de informação identificada no meio acadêmico que os mesmos estão inseridos. Por se tratar de um assunto normativo e regulamentado a negligência dos acadêmicos é algo preocupante, mais ainda se levadas em conta as projeções futuras das construções.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 CONFORTO TÉRMICO

Lamberts, Dutra e Pereira (2014) definem o conforto ambiental como um conjunto de fatores do meio o qual permitem ao indivíduo o bem estar. Dentre estes, tem-se o conforto: térmico, visual, antropométrico, acústico além da qualidade do ar. Tais variáveis são objetos de estudo para desenvolvimento de projetos de edificações habitacionais.

Outra definição para conforto térmico é dada pela ANSI/ASHRAE (2004 apud LAMBERTS et al., 2010) como sendo o estado de espírito que traduz a satisfação e bem estar com as condições térmicas do ambiente no qual o indivíduo se encontra.

Lamberts, Dutra e Pereira (2014) definem as variáveis ambientais que influenciam o conforto como sendo: temperatura do ar, temperatura radiante, umidade relativa do ar e velocidade do vento, sendo que quase todas estas variáveis podem ser medidas diretamente. O autor ainda considera mais duas variáveis que contribuem para a sensação de conforto térmico do indivíduo: a atividade física e a vestimenta.

Como descrito por Frota e Schiffer (2006) a influência da umidade relativa do ar é relativa à amplitude térmica diária. Isso significa que em locais cujo clima é seco, as temperaturas máximas e mínimas que ocorrem em um dia são mais acentuadas.

Como caracteriza Lamberts et al. (2016), a ventilação natural é a segunda estratégia passiva mais importante para regulação de conforto no Brasil, sendo o sombreamento a primeira. Para estes autores, a ventilação natural tem dois principais objetivos: térmico e higiênico. Para o verão ambos são necessários, já no inverno apenas o segundo é um requisito.

Os autores destacam que as exigências de ordem higiênica são permanentes para a ventilação natural, pois a saúde e bem estar fazem parte do conforto ambiental.

Fanger (1972 apud LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014) desenvolveu um estudo no qual obteve uma equação para determinar o conforto térmico com base nas variáveis climáticas descritas acima e também o metabolismo do indivíduo e sua vestimenta. Com base em pesquisa, que incluiu a avaliação do conforto térmico de

peças de diversas idades, sexo e nacionalidades em locais de condições ambientais controladas, surgiu o PMV (*Predicted Mean Vote*), que significa Voto Médio Predito, que é a tradução da sensibilidade do indivíduo ao frio ou calor obtido em valor quantitativo, onde valores negativos traduzem frio e positivos calor.

Segundo Rupp et al. (2017) o aumento no número de estudos de campo contribuiu para o aumento de novos métodos de avaliação, dentre eles surgiu o modelo adaptativo. O método de Fanger apresenta algumas limitações, evidenciadas por este novo modelo, como a ineficiência em ambientes com ventilação natural podendo também apresentar inadequações quando utilizado em espaços condicionados artificialmente de climas subtropicais durante os períodos mais quentes, onde foram detectadas discrepâncias entre o que é predito e o que é real.

#### 2.1.1 Equipamentos para medição de variáveis ambientais

Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014) as variáveis ambientais possuem diversas formas de serem aferidas com a utilização de diversos equipamentos. A seguir são descritos alguns destes.

O psicrômetro giratório é um equipamento utilizado para medir a umidade relativa do ar. Este aparelho é composto por dois termômetros, um de bulbo seco e outro com bulbo úmido, com ventilação forçada. Para utilização deste deve-se umedecer o tecido que envolve o bulbo úmido com água destilada e girar o equipamento por um minuto. Ao término deste procedimento, aferem-se as temperaturas dos dois termômetros. Com auxílio da carta psicrométrica, determina-se a umidade relativa do ar. Abaixo é possível verificar a utilização da carta psicrométrica. As variáveis descritas abaixo são: temperatura do bulbo seco (TBS), temperatura do bulbo úmido (TBU) e umidade relativa (UR).

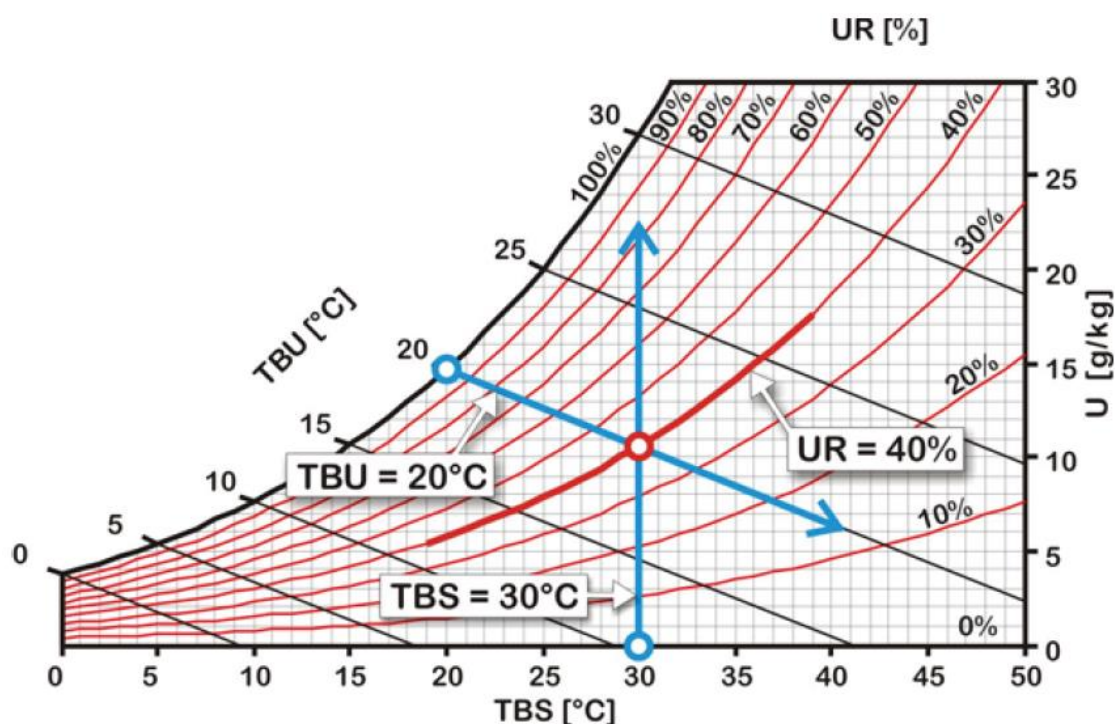


Figura 1 - Exemplo de Carta Psicrômétrica

Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (2014)

Ainda segundo os autores, a velocidade do vento é um fator externo que influencia no conforto térmico. Para medir esta variável, utiliza-se o anemômetro. Dos três principais tipos, o anemômetro de palheta se mostra menos preciso que o tipo copo ou tipo fio quente.

O confortímetro é um aparelho que fornece as principais variáveis descritas por Lamberts, Dutra e Pereira (2014), que são a temperatura do ar, temperatura radiante, umidade relativa do ar e velocidade do vento. Basicamente, este equipamento afere os dados de todos os aparelhos descritos nos parágrafos acima. Estes dados são úteis para obter dados sobre o conforto térmico, incluindo dados quantitativos, como o PMV (*Predicted Mean Vote*) que significa Voto Médio Preditado. Este nada mais é que uma equação derivada por Fanger que utiliza as variáveis citadas acima para determinar o conforto térmico.

## 2.2 DESEMPENHO TÉRMICO

Para definição de desempenho térmico, Pereira e Neto (1988 apud LAMBERTS et al.,2010, p. 19) descrevem “avaliar o desempenho térmico de uma edificação significa avaliar seu comportamento térmico frente a requisitos pré-estabelecidos, para atender as necessidades térmicas do usuário frente às ações climáticas às quais a edificação está sujeita.”

Isso significa que para avaliar o desempenho térmico se faz necessário conhecer os critérios pré-estabelecidos. Esses dados tem base no conforto do usuário conforme normas e estudos da área. Com estes dados tem-se aporte para definir o desempenho térmico de edificações habitacionais.

Seguindo esta mesma lógica, Lamberts et al. (2010) explica que o comportamento térmico caracteriza-se pela resposta apresentada pela edificação quando exposto às variáveis climáticas (fatores externos), dentro os quais se pode citar a temperatura externa, umidade relativa do ar, e as condições dos ambientes internos, como ocupantes e equipamentos presentes no espaço. Segundo o autor, para edificações residenciais os fatores de maior impacto no desempenho térmico são os fatores externos, visto que o número de pessoas que ocupam o espaço analisado é menor neste tipo de ambiente se comparado a estabelecimentos comerciais. A iluminação artificial e equipamentos também exercem uma menor interferência em edificações habitacionais, visto que o uso destes é maior em edificações de uso comercial. Assim, a troca de calor se dá principalmente pelas aberturas existentes no ambiente e pelas superfícies externas, tais como paredes e coberturas.



**Figura 2 - Iglu e chalé das montanhas**

**Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (2014)**

Como o indivíduo interage com o meio em que ele se encontra inserido, Lamberts et al. (2014) descreve que existe troca de calor entre o ambiente e o sujeito por meio da condução, convecção e radiação, além da transpiração, sendo este um importante mecanismo do corpo humano para diminuição da temperatura da pele através da evaporação do suor.

Young & Freedman (2008) definem a condução como troca de calor em decorrência do contato entre os corpos. Um exemplo é o aquecimento de uma barra de cobre, em que uma das extremidades é aquecida por meio de chama. A energia cinética se propaga em um nível atômico, até que ocorra a elevação da temperatura na outra extremidade (em que não há contato com a chama).

A transferência que ocorre por meio da movimentação de massa em um meio fluído é chamada de convecção. Como exemplificação, os autores descrevem dois tipos: a natural e a forçada. A primeira ocorre com a ascensão de ar quente devido à diferença de densidade no fluído. O segundo tipo de convecção ocorre quando o fluído é impulsionado através da ação de um ventilador. A radiação, que ocorre com a troca de calor através de ondas eletromagnéticas, como radiação infravermelha, ultravioleta e a luz visível.

Acerca da troca de calor, Lamberts, Dutra e Pereira (2014) descrevem os equipamentos para aferição destas variáveis ambientais. Para aferição da temperatura do ar utiliza-se o termômetro de bulbo seco. Os autores descrevem ainda um segundo equipamento, denominado termômetro de globo, que é utilizado para aferição da temperatura radiante. Este mede o ambiente radiante em um ponto do espaço. Para exemplificação, um ponto próximo a uma lareira possui temperatura radiante maior que um ponto mais afastado em relação ao mesmo referencial. Este tipo de termômetro possui uma esfera oca de metal, com pintura especial na cor preta, acoplada ao bulbo e mede todo tipo de radiação no ponto do espaço em que este se encontra.

## 2.3 NORMAS

### 2.3.1 Propriedades dos materiais relevantes para o desempenho térmico

A Associação Brasileira De Normas Técnicas (2005) descreve as principais definições e unidades das propriedades relacionadas ao desempenho térmico de edificações na NBR 15220-1. A mesma divide-se em três partes, que são: características térmicas dos materiais e elementos construtivos; características térmicas de ambientes e grandezas do clima, do ambiente e da fisiologia humana relacionada ao condicionamento térmico de edificações.

A norma inicia as definições pelas características térmicas dos materiais e componentes construtivos. A primeira grandeza física descrita pela norma é o fluxo de calor ou taxa de fluxo de calor ( $Q$ ), cuja unidade é o watt (W) e é descrita pela razão da quantidade de calor que transpassa uma superfície durante um intervalo de tempo pela quantidade de tempo deste intervalo.

A densidade de fluxo de calor expressa o quociente do fluxo de calor que atravessa uma determinada área, que é representada pelo símbolo ( $q$ ) e é medida pela unidade ( $W/m^2$ ). A condutividade térmica é uma propriedade física dos materiais isotrópicos e homogêneos, é representado pelo símbolo ( $\lambda$ ), e expressa um fluxo constante de calor cuja densidade é de  $1W/m^2$ , sujeito a um gradiente de temperatura de um Kelvin por metro.

A resistência térmica ( $R$ ) expressa a razão da diferença de temperatura entre as superfícies de um elemento pela densidade do fluxo de calor, e sua unidade é ( $m^2.K$ )/W. Para fins de cálculo utilizam-se três variáveis relativas a resistência térmica: a resistência superficial interna ( $R_{si}$ ), resistência superficial externa ( $R_{se}$ ) e resistência térmica total ( $R_T$ ), todas expressas pela mesma unidade citada acima. A primeira variável descreve a resistência da camada de ar adjacente à superfície interna cuja transferência de calor se dá por radiação e/ou convecção. A resistência superficial externa tem os mesmos preceitos da variável anterior com a diferença que esta última se trata da superfície externa. Já a resistência térmica total expressa a soma das resistências de um componente ou material, incluindo as resistências superficiais deste.



Transmitância térmica ( $U$ ), que também pode ser chamada de coeficiente global de transferência de calor, é uma variável que é inversamente proporcional a resistência térmica total ( $R_T$ ) e sua unidade é  $W/(m^2.K)$ . A capacidade térmica ( $C$ ) representa a quantidade de calor necessária para a variação de uma unidade de temperatura do sistema estudado, cuja unidade é  $J/K$ .

Calor específico ( $c$ ) é a razão da capacidade térmica pela massa, com unidade de  $J/(Kg.K)$ . A capacidade térmica de componentes ( $C_T$ ) expressa a razão da capacidade térmica de um componente por unidade de área, com unidade de  $J/(m^2.K)$ .

Uma característica física dos materiais importante para a avaliação de propriedades térmicas é a densidade de massa aparente ( $\rho$ ) com unidade de  $Kg/m^3$  e expressa a quantidade de massa presente por unidade de volume.

O atraso térmico ( $\varphi$ ) representa a diferença de tempo em horas de uma variação de temperatura entre superfícies opostas de um componente construtivo em um regime periódico de transmissão de calor. Efetivamente, este depende da capacidade térmica de um componente construtivo, por exemplo, uma parede, da ordem das camadas deste componente. A absorptância à radiação solar ( $\alpha$ ) representa a radiação solar absorvida por uma superfície pela radiação total emitida sobre a mesma, sendo uma variável adimensional.

A Refletância a radiação solar ( $\rho$ ) expressa razão entre a quantidade de radiação solar refletida que incidiu sobre uma superfície sobre a radiação total solar total que incidiu sobre esta.

Para análise das características térmicas do ambiente observam-se as seguintes taxas: de ventilação, de infiltração e de renovação do ar. A taxa de ventilação ( $V_{ar}$ ) é definida como vazão de ar externa ao ambiente analisado que circula dentro deste intencionalmente, e é expressa por  $m^3/s$ . A taxa de infiltração ( $V_i$ ) expressa o volume de ar que circula por dentro do mesmo ambiente, porém não intencionalmente e possui mesma unidade da variável anterior. Já a taxa de infiltração do ar ( $N_v$ ) descreve o número de renovações ou trocas de ar de um determinado ambiente por unidade de tempo, utilizando-se a unidade de renovações/hora.

Conforme a Associação Brasileira De Normas Técnicas (2005) fazem parte das grandezas do clima, do ambiente e da fisiologia humana relacionada ao condicionamento térmico de edificações os conceitos de: neutralidade térmica, temperatura de bulbo seco, temperatura do bulbo úmido e umidade relativa do ar. A neutralidade térmica é um conceito que descreve o estado físico em que a densidade do fluxo de calor está em equilíbrio com a taxa metabólica do indivíduo, não variando assim a temperatura corporal. Já a temperatura de bulbo seco ( $T_{BS}$ ) é a medida da temperatura do ar aferida por instrumento que não sofre interferência da radiação térmica. A temperatura de bulbo úmido ( $T_{BU}$ ) expressa a temperatura a qual a água evapora conduzindo a uma condição de massa de ar úmida, por meio de processo isobárico de saturação adiabática. Por último a umidade relativa do ar (UR) é o quociente entre a umidade absoluta do ar e a umidade absoluta do ar saturado, ambas aferidas para uma mesma temperatura e pressão sendo expressas em porcentagem.

### 2.3.2 ABNT NBR 15220-3 desempenho térmico e zoneamento bioclimático

Para a Associação Brasileira De Normas Técnicas (2013, p. 23) “A edificação habitacional deve reunir características que atendam aos requisitos de desempenho térmico, considerando-se a zona bioclimática definida na ABNT NBR 15220-3.”

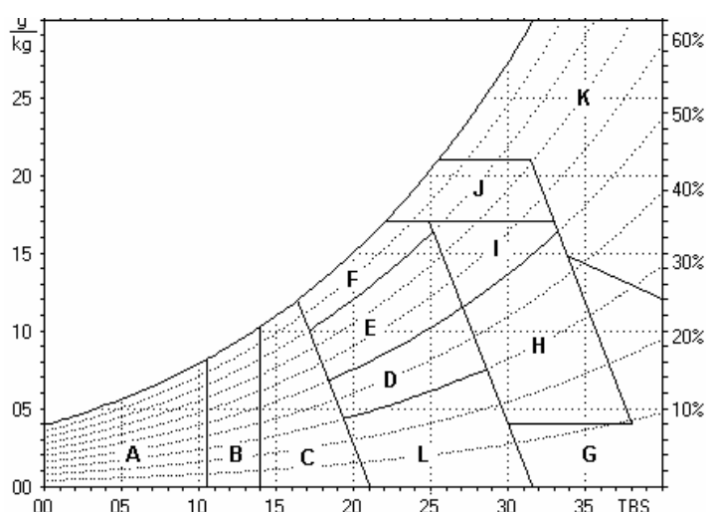
A Associação Brasileira De Normas Técnicas (2005) estipula que a avaliação do desempenho térmico pode ser feita em diversas etapas de uma edificação, seja em fase de projeto ou após a construção na NBR 15220-3. Para a metodologia pode-se utilizar medições *in loco* das variáveis relevantes ao desempenho térmico (para edificações já construídas) ou através de simulação computacional e/ou verificação de diretrizes construtivas (para edificações em fase de projeto).

Esta mesma norma propôs a divisão do território brasileiro em oito zonas bioclimáticas de acordo com as características locais e, a partir de tais dados, apresentam-se diretrizes construtivas visando um melhor desempenho térmico das edificações e um detalhamento de condicionamento com estratégia passiva com parâmetros e condições de contorno fixadas.

Zona bioclimática é definida pela Associação Brasileira De Normas Técnicas (2005, p. 7) como “região geográfica homogênea quanto aos elementos climáticos que interferem nas relações entre ambiente construído e conforto humano.”

O escopo da norma NBR 15220 são as edificações unifamiliares de interesse social e, a partir do estudo das zonas bioclimáticas, formulou-se orientações de procedimentos construtivos para cada uma destas. Esta não trata da forma nem dos procedimentos de avaliação do desempenho térmico, deixando a cargo do projetista a utilização dos métodos supracitados neste item.

A divisão das oito zonas analisou dados climáticos de diversas regiões do Brasil em conjunto a uma adaptação da carta bioclimática de Givoni (“Comfort Climate Analysis and Building Design Guidelines”. Energy and Building, 18 (1), 11-23, 1992) conforme detalhado em figura abaixo:



**Figura 3 - Carta bioclimática adaptada**

**Fonte: ABNT NBR 15220-3 (2005)**

A estratégia para classificação da zona bioclimática de cada cidade consiste em um método gráfico, onde para cada mês do ano calcula-se: temperatura média das mínimas, temperatura média das máximas, e umidade relativa média. Com tais dados calcula-se a temperatura média mensal através da média aritmética entre as temperaturas médias mínimas e as temperaturas médias máximas diárias.

Após a realização dos cálculos descritos na NBR 15220-3 a Associação Brasileira De Normas Técnicas (2005) pede para traçar uma reta para cada mês na

carta bioclimática adaptada. Com base nos traços gerados adotam-se os critérios da tabela abaixo, que contém também o número de cidades de cada zona a partir de uma lista de cidades anexa a norma.

**Tabela 1 - Critérios para classificação bioclimática**

Classificação							Zona	N <sup>o</sup> Cidades
A	B	C	D	H	I	J		
Sim					Não	Não	1	12
Sim							2	33
	Sim		Não	Não			3	62
	Sim						4	17
		Sim	Não	Não			5	30
		Sim					6	38
				Sim			7	39
			Não				8	99

Legenda: Sim = presença obrigatória  
Não = presença proibida

NOTAS

1 As estratégias não assinaladas com sim ou não podem estar no código do clima, mas sua presença não é obrigatória.

2 Percorrer a tabela de cima para baixo, adotando a primeira zona, cujos critérios coincidam com o código.

**Fonte: ABNT NBR 15220-3 (2005)**

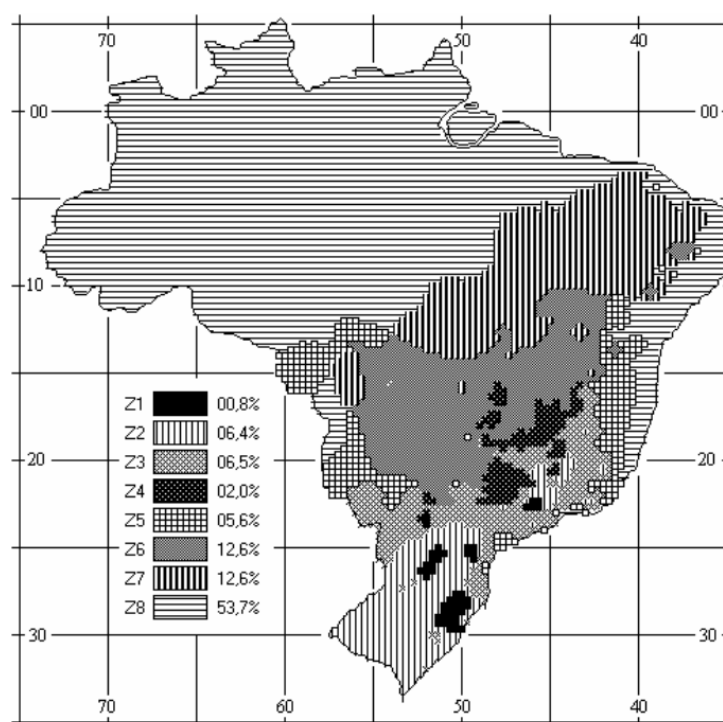
As letras de A a J da tabela acima correspondem a estratégias bioclimáticas e são determinadas através do método gráfico da carta bioclimática adaptada. Abaixo encontram-se os significados de cada uma dessas zonas.

A – Zona de aquecimento artificial (calefação)	G + H – Zona de resfriamento evaporativo
B – Zona de aquecimento solar da edificação	H + I – Zona de massa térmica de refrigeração
C – Zona de massa térmica para aquecimento	I + J – Zona de ventilação
D – Zona de conforto térmico (baixa umidade)	K – Zona de refrigeração artificial
E – Zona de conforto térmico	L – Zona de umidificação do ar
F – Zona de desumidificação (renovação do ar)	

**Figura 4 - Zonas da carta bioclimática adaptada**

**Fonte: ABNT NBR 15220-3 (2005)**

Com base nos dados climáticos de diversos municípios elaborou-se um mapa com o zoneamento bioclimático brasileiro. Abaixo encontra-se o mapa com suas respectivas zonas e abrangência em porcentagem de cada uma delas e também algumas cidades do estado do Paraná já classificadas dentro da zona bioclimática.



**Figura 5 - Zoneamento bioclimático brasileiro**

**Fonte: ABNT NBR 15220-3 (2005)**

**Tabela 2 - Classificação bioclimática de algumas cidades paranaenses**

UF	Cidade	Estrat.	Zona
PR	Campo Mourão	BCFI	3
PR	Castro	ABCF	1
PR	Curitiba	ABCF	1
PR	Foz do Iguaçu	BCFIJ	3
PR	Guaíra	BCFIJ	3
PR	Guarapuava	ABCF	1
PR	Ivaí	ABCFI	2
PR	Jacarezinho	BCFIJ	3
PR	Jaguariaiva	ABCFI	2
PR	Londrina	BCFI	3
PR	Maringá	ABCD	1
PR	Palmas	ABCF	1

**Fonte: Adaptado de ABNT NBR 15220-3 (2005)**

### 2.3.3 ABNT NBR 15575 Edificações habitacionais - Desempenho

Segundo a Associação Brasileira De Normas Técnicas (2013) a norma de desempenho NBR 15575-1 é desenvolvida visando estabelecer e atender requisitos mínimos para estabelecimento do conforto do usuário. Para a norma supracitada, o assunto refere-se as edificações habitacionais e seus sistemas, servindo como

referência ao comportamento dos materiais, não estabelecendo nem prescrevendo os vários tipos de soluções empregados nos projetos. Esta norma é dividida em seis partes: NBR 15575-1: requisitos gerais; NBR 15575-2: requisitos para os sistemas estruturais; NBR 15575-3: requisitos para os sistemas de pisos; NBR 15575-4: requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE; NBR 15575-5: requisitos para os sistemas de coberturas; NBR 15575-6: requisitos para os sistemas hidrossanitários.

Para que uma edificação habitacional atenda aos requisitos de desempenho térmico, a Associação Brasileira De Normas Técnicas (2013) recomenda a verificação e a utilização de dados das zonas bioclimáticas contidas na NBR 15220-3.

Chvatal (2014) destaca a importância desta norma para o desempenho das edificações brasileiras, visto que esta representa uma das primeiras iniciativas de se buscar melhorias neste quesito, outra norma que também pioneiras é a NBR 15220.

Esta mesma norma descreve dois procedimentos para análise do desempenho térmico de edificações: um com caráter informativo e outro normativo. Caso este segundo método não atenda aos critérios mínimos deve-se fazer análise computacional da edificação como um todo.

#### 2.3.4 Método informativo (Medição)

A Associação Brasileira De Normas Técnicas (2013) traz por meio da NBR 15575-1 um anexo que descreve o procedimento de medição para análise de desempenho térmico. Vale ressaltar que este método possui caráter informativo não podendo ser utilizado em substituição do procedimento normativo.

O anexo descreve que as medições devem ser realizadas *in loco* em escala real (1:1). A medida pode ser tomada a partir de construções existentes ou de protótipos construídos para realização deste método. Em ambos os casos é realizada a verificação de temperatura de bulbo seco do ar no centro do recinto, a 1,2 metros de distância do piso.

No caso de edificações existentes que sejam multifamiliares (térreo ou multipiso) avalia-se uma ou mais unidades em que os critérios são descritos na norma

em diferentes condições, uma para inverno outra para verão. Para edificações multipiso também deve ser analisadas as unidades do último pavimento.

Para avaliação de protótipos, esta norma descreve as condições de construção que se diferenciam entre si conforme a zona bioclimática em que a edificação real está inserida, com diferentes critérios de construção para as diversas zonas.

Demais condições e especificidades são descritas no anexo I da NBR 15575-1 para realização do método de medição (informativo).

### 2.3.5 Método simplificado (Normativo)

A Associação Brasileira De Normas Técnicas (2013) define um procedimento com caráter normativo e se apresenta de forma simplificada na NBR 15575-1, visando o atendimento dos métodos e critérios estabelecidos na NBR 15575-4 e NBR 15575-5, que descrevem, respectivamente, os sistemas de vedação vertical e cobertura. Neste procedimento realizam-se avaliações de transmitância térmica e capacidade térmica e, não havendo conformidade com os critérios das normas descritas acima, faz-se necessário a análise do desempenho da edificação como um todo pelo método da simulação computacional descrita na NBR 15575-1.

A Associação Brasileira De Normas Técnicas (2013) utiliza como critério de aceitação do desempenho térmico de uma edificação a transmitância térmica, capacidade térmica e absorvância. A norma também descreve na NBR 15575-4 que a metodologia simplificada de avaliação e critérios das variáveis acima para paredes externas são apresentadas pela NBR 15220-2 Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de cálculo de transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações.

Segundo a Associação Brasileira De Normas Técnicas (2005) a transmitância térmica de componentes é inversamente proporcional a resistência térmica total, demonstrada conforme a equação a seguir:

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (1)$$

Para realização dos cálculos da resistência térmica total de ambiente a ambiente ( $R_T$ ) utiliza-se a equação abaixo:

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si} \quad (2)$$

Os componentes de materiais podem se apresentar de duas formas com camadas homogêneas e também com camadas não homogêneas. O que altera o valor apresentado pela equação (2) é a forma de cálculo da resistência térmica de superfície a superfície ( $R_t$ ). Abaixo encontram-se, respectivamente, as equações para camadas homogêneas e não homogêneas:

$$R_t = R_{t1} + R_{t2} + \dots + R_{tn} + R_{ar1} + R_{ar2} + \dots + R_{arn} \quad (3)$$

$$R_t = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b} + \dots + \frac{A_n}{R_n}} \quad (4)$$

Os valores de resistência térmica da superfície externa ( $R_{se}$ ) e resistência térmica da superfície interna ( $R_{si}$ ) são determinados conforme a tabela A.1, as variáveis de resistência do ar  $R_{ar1}$ ,  $R_{ar2}$ ,  $R_{arn}$  encontram-se na tabela B.1, ambas encontram-se anexadas a NBR 15220-2. As variáveis  $A_a$ ,  $A_b$ ,  $A_n$  são obtidas através do cálculo da área de cada camada da seção transversal. Os valores de  $R_{t1}$ ,  $R_{t2}$ ,  $R_{tn}$  são calculados através da seguinte equação:

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (5)$$

A equação acima representa a razão entre a espessura de uma camada e a condutividade térmica do material que a compõe. Este último pode ser obtido através de medições por meio de ensaios ou a partir de valores encontrados na ISO 6946.

Outro tópico tratado na NBR 15220-2 é a capacidade térmica, cuja forma de cálculo também é utilizada para a NBR 15575-4. Esta pode ser descrita pela seguinte equação:

$$C_T = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot R_i \cdot \rho_i = \sum_{i=1}^n e_i \cdot c_i \cdot \rho_i \quad (6)$$

Da mesma forma para o cálculo da capacidade térmica de um componente plano composto por camada homogêneas e não homogêneas, cujo fluxo de calor



apresenta-se de maneira perpendicular as camadas, é determinada pela seguinte equação:

$$C_T = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{C_{T_a}} + \frac{A_b}{C_{T_b}} + \dots + \frac{A_n}{C_{T_c}}} \quad (7)$$

Uma vez determinado os valores de transmitância térmica e de capacidade térmica segundo a NBR 15220-2, faz-se a análise do desempenho térmico mínimo conforme critérios da NBR 15575-4 (2013), para sistemas de vedações verticais externas. A tabela abaixo apresenta os valores máximos para transmitância térmica conforme suas respectivas zonas bioclimáticas:

**Tabela 3 - Transmitância térmica de paredes externas**

Transmitância térmica U W/m <sup>2</sup> .K		
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
U ≤ 2,5	α <sup>a</sup> ≤ 0,6	α <sup>a</sup> > 0,6
	U ≤ 3,7	U ≤ 2,5
<sup>a</sup> α é absorvância à radiação solar da superfície externa da parede.		

Fonte: ABNT NBR 15575-4 (2013)

Da mesma forma a Associação Brasileira De Normas Técnicas (2013) apresenta uma tabela na NBR 15575-4 com valores mínimos para capacidade térmica, conforme mostrado abaixo:

**Tabela 4 - Capacidade térmica de paredes externas**

Capacidade térmica (CT) kJ/m <sup>2</sup> .K	
Zonas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7	Zona 8
≥ 130	Sem requisito

Fonte: ABNT NBR 15575-4 (2013)

A Associação Brasileira De Normas Técnicas (2013) considera em sua NBR 15575-5 os procedimentos apresentados na NBR 15520-2 para o cálculo da transmitância térmica pelo método simplificado para sistemas de cobertura. Na tabela 5 são determinados critérios em três níveis para o nível de desempenho onde se classifica como mínimo (M), intermediário (I) e superior (S).

**Tabela 5 - Critérios e níveis de desempenho de coberturas quanto a transmitância térmica**

Transmitância térmica (U) W/m <sup>2</sup> K					
Zonas 1 e 2	Zonas 3 a 6		Zonas 7 e 8 <sup>1</sup>		Nível de desempenho
U ≤ 2,3	$\alpha^a \leq 0,6$	$\alpha^a > 0,6$	$\alpha^a \leq 0,4$	$\alpha^a > 0,4$	M
	U ≤ 2,3	U ≤ 1,5	U ≤ 2,3 FV	U ≤ 1,5 FV	
U ≤ 1,5	$\alpha^a \leq 0,6$	$\alpha^a > 0,6$	$\alpha^a \leq 0,4$	$\alpha^a > 0,4$	I
	U ≤ 1,5	U ≤ 1,0	U ≤ 1,5 FV	U ≤ 1,0 FV	
U ≤ 1,0	$\alpha^a \leq 0,6$	$\alpha^a > 0,6$	$\alpha^a > 0,4$	$\alpha^a > 0,4$	S
	U ≤ 1,0	U ≤ 0,5	U ≤ 1,0 FV	U ≤ 0,5 FV	

<sup>a</sup> Na zona bioclimática 8 também estão atendidas coberturas com componentes de telhas cerâmicas, mesmo que a cobertura não tenha forro.  
 NOTA O fator de ventilação (FV) é estabelecido na ABNT NBR 15220-2.

**Fonte: ABNT NBR 15575-5 (2013)**

### 2.3.6 Simulação computacional

Conforme descrito pela Associação Brasileira De Normas Técnicas (2013), a NBR 15575-1 estipula que caso o método simplificado (normativo) resulte em um desempenho térmico abaixo do critério mínimo, uma simulação computacional deve ser feita considerando a edificação como um todo.

Esta mesma norma recomenda que seja utilizado o *software EnergyPlus*, ou outros que permitam o cálculo do desempenho térmico em condições que permitam a dinamização de exposição climática de edificações. Sendo que estes devem reproduzir os efeitos de inércia térmica conforme ASHRAE Standard 140.

Para a simulação deve-se considerar a geometria real do edifício, considerando-se que cada zona térmica representa um ambiente desta edificação para a composição de materiais da simulação devem-se utilizar as propriedades térmicas dos mesmos utilizados nos processos construtivos. O método de obtenção destes dados se dá de duas formas, segundo a referida norma: por meio de ensaios normatizados ou dados disponibilizados pela NBR 15220-2. Este segundo método pode ser utilizado caso haja impossibilidade da obtenção de dados por meio de ensaios. A tabela abaixo está contida na norma e recomenda os seguintes ensaios para obtenção das principais propriedades térmicas dos materiais e elementos construtivos:

**Tabela 6 - Métodos de medição de propriedades térmicas de materiais e elementos construtivos**

Propriedade	Determinação
Condutividade térmica	ASTM C518 ou ASTM C177 ou ISO 8302
Calor específico	Medição ASTM C351 – 92b
Densidade de massa aparente	Medição conforme método de ensaio preferencialmente normalizado, específico para o material
Emissividade	Medição JIS A 1423/ASTM C1371 – 04a
Absortância à radiação solar	Medição ANSI/ASHRAE 74/88 ASTM E1918-06, ASTM E903-96
Resistência ou transmitância térmica de elementos	Medição conforme ABNT NBR 6488 ou cálculo conforme ABNT NBR 15220-2, tomando-se por base valores de condutividade térmica medidos ASTM E903-96
Características fotoenergéticas (vidros)	EN 410 – 1998/EN 12898

**Fonte: ABNT NBR 15575-1 (2013)**

A Associação Brasileira De Normas Técnicas (2013) diferencia na NBR 15575-1 os requisitos de desempenho térmico para as estações climáticas de verão e inverno para as oito zonas bioclimáticas. Para o verão a norma tem como critério que o interior da edificação habitacional apresente temperatura igual ou inferior a temperatura externa à sombra em um dia típico de verão. Além disso a referida norma apresenta critérios para temperatura dos ambientes conforme as zonas bioclimáticas. Estes critérios são divididos em três classificações: mínimo, intermediário e superior. O critério mínimo é obrigatório para a aceitação da edificação. A tabela abaixo mostra o critério de avaliação para o desempenho térmico no verão:

**Tabela 7 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão**

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
M	$T_{i,máx.} \leq T_{e,máx.}$	$T_{i,máx.} \leq T_{e,máx.}$
I	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 2 \text{ } ^\circ\text{C})$	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 1 \text{ } ^\circ\text{C})$
S	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 4 \text{ } ^\circ\text{C})$	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 2 \text{ } ^\circ\text{C})$
<p><math>T_{i,máx.}</math> é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius.  <math>T_{e,máx.}</math> é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius.  <math>T_{i,mín.}</math> é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius.  <math>T_{e,mín.}</math> 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.</p>		

**Fonte: ABNT NBR 15575-1 (2013)**

Já para as condições de desempenho no inverno a referida norma dispensa a avaliação do desempenho térmico para zonas bioclimáticas 6, 7 e 8. Para as demais regiões a tabela abaixo apresenta os critérios mínimos, intermediário e superior sendo o primeiro o critério de aceitação conforme norma.

**Tabela 8 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno**

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas bioclimáticas 1 a 5	Zonas bioclimáticas 6, 7 e 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	$T_{i,mín.} \geq (T_{e,mín.} + 7 \text{ } ^\circ\text{C})$	
<small>T<sub>i,mín.</sub> é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius.            T<sub>e,mín.</sub> 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.</small>		

**Fonte: ABNT NBR 15575-1 (2013)**

A Associação Brasileira De Normas Técnicas (2013) descreve por meio da NBR 15575-1 a condição crítica para quatro situações: verão, inverno, obstrução no entorno e obstrução por elementos construtivos previstos na edificação. Para situação de obstrução do entorno com elementos que alteram a incidência de insolação e/ou ventilação, tais como edificações ou vegetação, recomenda-se que estes não sejam levados em consideração para a análise. Caso a edificação faça parte do complexo habitacional que está sendo analisado o mesmo deve fazer parte da simulação desde que prevista para a habitação dentro do mesmo período. Para a obstrução por elementos construtivos previstos na edificação, que é a última situação descrita em norma como sendo uma situação crítica do ponto de vista térmico, deve-se considerar todos estes elementos na simulação.

Para aceitação da edificação conforme norma é necessário que sejam atendidos os critérios mínimos para as estações de inverno e verão.

A simulação para edificações em fase de projeto segue os procedimentos conforme a NBR 15575-1. Caso a análise seja em um conjunto habitacional deve-se analisar a unidade com maior número de paredes expostas ao ambiente externo. Para edifício multipiso deve-se selecionar uma unidade do último andar, com cobertura exposta. Feita tal análise os procedimentos para as unidades descritas acima e para unidades isoladas são os mesmos.

Quanto aos procedimentos da análise a norma recomenda a simulação de todos os recintos da unidade, incluindo os recintos adjacentes, em caso de edifícios multipiso ou paredes de geminação. A orientação da implantação deve ser a mesma do projeto e caso esta não esteja definida a recomendação é que se utilize a condição mais crítica em relação ao desempenho térmico.

Uma das propriedades a ser utilizada na simulação é a absorvância à radiação solar. Esta propriedade é definida a partir da cor e das características superficiais de paredes e coberturas expostas ao ambiente externo. A Associação Brasileira De Normas Técnicas define na NBR 15575-1 que os valores a serem utilizados para a simulação devem corresponder com as características do projeto analisado. Caso a cor das paredes externas ainda não tenha sido definida deve-se simular três valores distintos de absorvância que dependem da cor utilizada, da seguinte fórmula: cor clara  $\alpha=0,3$ ; cor média  $\alpha=0,5$  e cor escura  $\alpha=0,7$ .

A análise da simulação depende de critérios como taxa de ventilação e sombreamento da edificação. A primeira análise deve ser feita para a edificação como um todo considerando a taxa de uma renovação de ar por hora (1 ren/h). Caso a edificação não cumpra os requisitos mínimos descritos para situação de verão a norma exige que a unidade habitacional seja simulada novamente considerando-se algumas alterações: mudança da taxa de renovação para 5 ren/h; inclusão de dispositivo para proteção da incidência solar nas esquadrias que modifique o fator para no mínimo 50% de proteção contra radiação solar; e por último a combinação dos dois fatores descritos acima.

Mesmo a análise pelo método da simulação apresenta falhas, conforme apontado em estudo de Sorgato, Melo e Lamberts (2013) que apontam que a escolha do dia típico de verão e inverno influenciam substancialmente na aprovação de um projeto, visto que dependendo das condições climáticas e de irradiação solar as variáveis podem apresentar valores diferentes.

Outra autora que também buscou avaliar os métodos simplificados e de simulação computacional foi Chvatal (2014), que concluiu que os procedimentos acima são incongruentes entre si, visto que o método simplificado não traduz a real importância da absorvância térmica em relação à transmitância térmica, que pode

levar a equívocos na classificação do desempenho. Para as zonas bioclimáticas 1 e 2, o valor da absorvância é desprezada e, segundo a autora, se esta se incluir nos cálculos os valores de transmitância dos elementos de vedação externa e cobertura podem ser maiores que os descritos por norma.

#### 2.4 CLIMA DE PATO BRANCO

Lamberts, Dutra e Pereira (2014) referem o clima como sendo as condições atmosféricas médias em longos períodos de tempo de verificação. Para os autores é necessário o estudo do clima para concepção e elaboração de projetos de edificações, pois estes devem atender ao programa de necessidade dos usuários.

Pato Branco é um município brasileiro localizado no estado do Paraná, mais precisamente na região sudoeste deste. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2019) a população estimada para o ano de 2019 é de 82.881 habitantes.

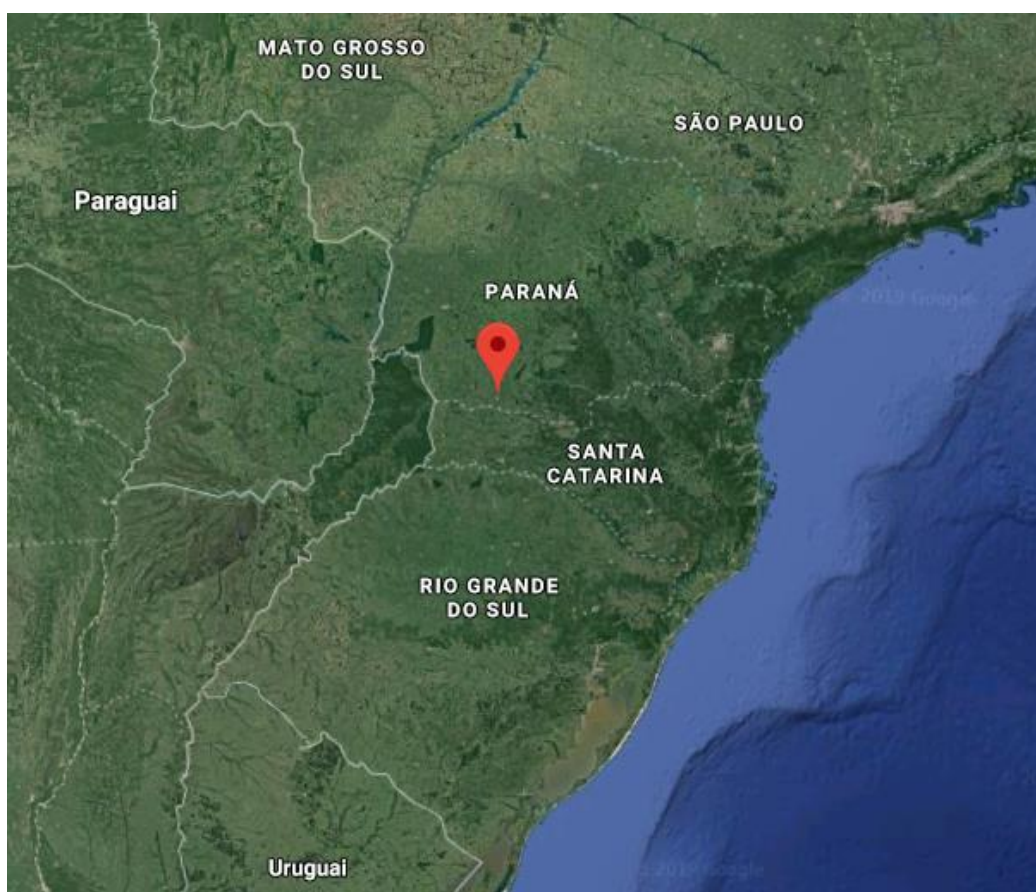
De acordo com Tabalipa e Fiori (2008, p. 2), “A atmosfera encontra-se sob influência de um clima chuvoso, mesotérmico, úmido, e superúmido sem estação seca, de verões frescos e geadas severas e bastante frequentes.”

Segundo dados do pesquisador, analisados no período de 1979 a 2005, as temperaturas mais baixas ocorrem no mês de julho, cujas médias registradas variam entre 6°C e 8°C. Em contrapartida, janeiro apresentou-se como o mês mais quente, com temperatura média variando em torno de 22°C. A temperatura média variou entre 14°C e 22°C, no período analisado.

Estes autores classificaram o município de Pato Branco como clima subtropical úmido, onde a distribuição de chuvas ocorre de maneira uniforme ao longo do ano, não havendo estação seca bem definida. Os dados pluviométricos analisados por estes identificaram uma precipitação média anual de 2109,79 mm/ano, sendo agosto o mês com menor índice e outubro o mais chuvoso. A umidade relativa do ar média é de 74%, sendo que o período compreendido entre as estações de inverno e primavera apresentam a menor média, com valor de 68,90% para o mês de agosto.

Neste mesmo estudo, dados sobre o vento foram apresentados, com análises de velocidade e direção. Sobre este último, houve predominância das direções sudoeste (23,05%) e sul (21,60%). A velocidade média aferida foi de 10 km/h nas variadas direções. A insolação também foi alvo de estudo dos autores, sendo apresentados os valores de 2000 a 2600 horas anuais. O município de Pato Branco localiza-se na latitude 26° 13' 46" S e longitude 52° 40' 18" O.

Para a classificação de Pato branco conforme as zonas bioclimáticas estipuladas pela NBR 15220-3:2005, utilizou-se a figura 5 e a localização do município conforme o Google Maps, em figura mostrada abaixo. Com isso, conclui-se que a cidade esta inserida na zona bioclimática 2.



**Figura 6 - Localização do município de Pato Branco**

**Fonte: Adaptado de Google Maps (2019)**

### 3 MÉTODO

Conforme Gil (2012) a pesquisa descritiva é a que mais se aproxima dos objetivos aqui descritos, pois visa o estabelecimento da relação entre as variáveis, que neste estudo são o desempenho térmico e os materiais constituintes de vedação vertical e de cobertura.

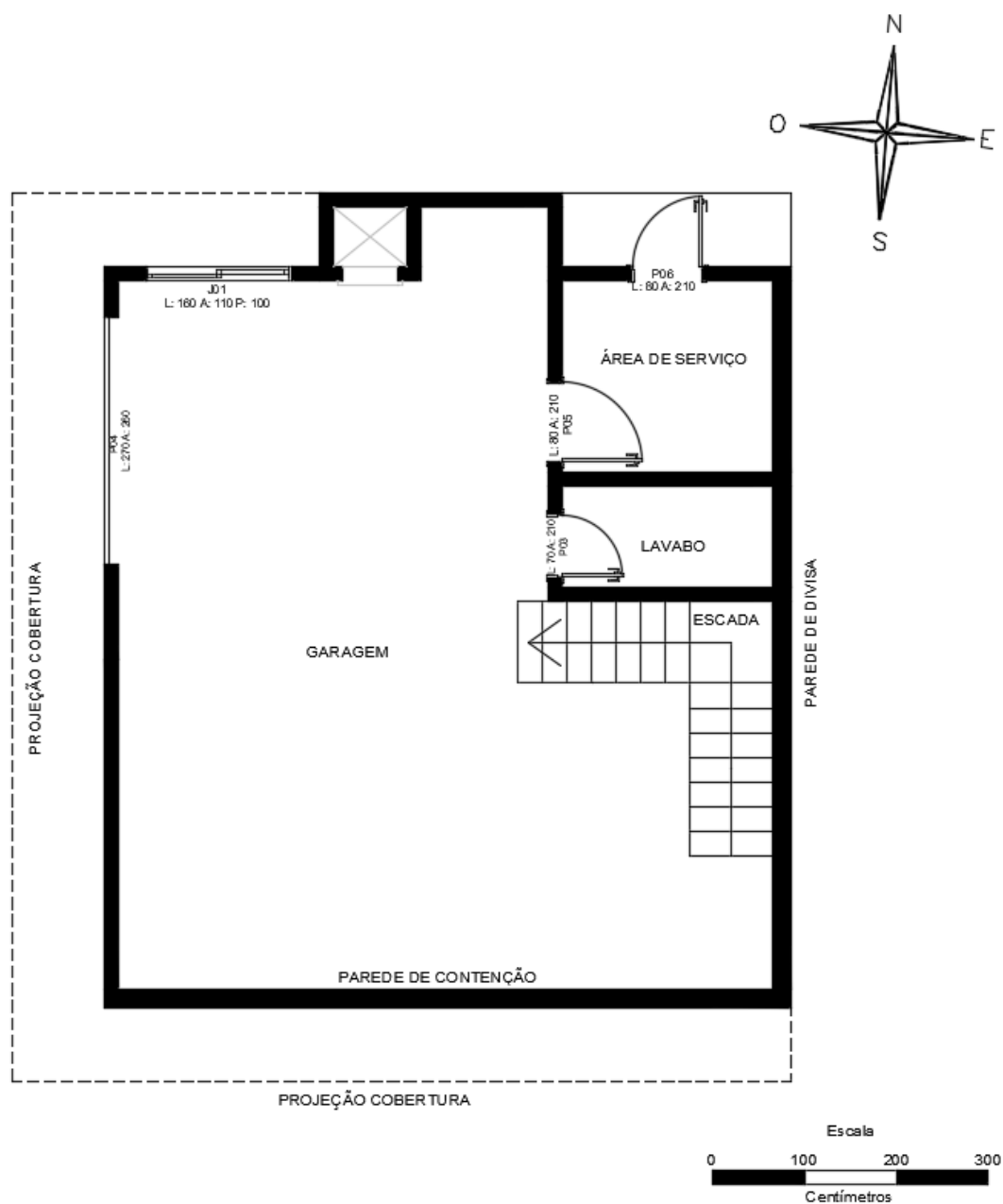
Para classificação da abordagem com base nos critérios de Gil (2012) a pesquisa possui caráter experimental, pois determina-se o objeto de estudo, aqui descrito como o desempenho térmico de uma edificação unifamiliar, selecionam-se as variáveis capazes de produzir interferência, os materiais empregados em sua construção, e definem-se formas de controle e observam-se os resultados obtidos.

#### 3.1 OBJETO DE ESTUDO

O objeto de estudo é uma residência unifamiliar de dois pavimentos, sendo 58,66 m<sup>2</sup> no primeiro e 66,38 m<sup>2</sup> no segundo, totalizando 125,04 m<sup>2</sup>. A escolha por esta construção tem diversos motivos: a flexibilidade de intervenções para melhoria do desempenho térmico, por ser uma edificação já construída e também pelo acesso às informações sobre os materiais empregados.

O primeiro pavimento possui três ambientes: área de serviço, lavabo e garagem. Este último também serve como salão de festas quando necessário. O piso possui contato direto com o solo, e também uma camada de lastro de brita de 5 cm de espessura, acima deste existe uma camada de concreto de 7 cm e outra de argamassa com 4 cm. O acabamento é feito em piso cerâmico comum em cor clara, com absorvância  $\alpha=0,25$ . As paredes, tanto internas quanto externas, possuem espessura de 15 cm, exceto a de divisa, que conta com 20 cm. Ambas as vedações são constituídas de emboço e chapisco, com espessura total de 3 cm por face, entrepostas por blocos cerâmicos não estruturais de 6 furos. Neste pavimento também existe uma parede de contenção que possui estrutura similar a de divisa, com a adição de uma camada de impermeabilizante asfáltico na face em contato com o solo.





**Figura 7 - Planta baixa do primeiro pavimento**

**Fonte: Autoria própria**

A laje é do tipo unidirecional pré-fabricada de 12 cm de espessura. Este tipo de laje é composta de vigotas de concreto, com tabelas de EPS de 7 cm de espessura. Mesmo que as instalações hidráulicas do segundo pavimento estejam expostas no primeiro, o cliente optou por não utilizar nenhum tipo de forro no momento da construção, visto que estes ambientes não são de longa permanência. A pintura interna e externa não possuía tom de cor definido até o momento da coleta de dados,

sabendo-se apenas que o cliente deseja cores claras. Neste caso, a NBR 1575 permite utilizar um valor de absorvância genérico  $\alpha=0,3$ . O portão da garagem é feito em ACM (*Aluminium Composite Material*) que é alumínio composto. E também há uma esquadria de alumínio de duas folhas na cor branca, com vidro *float* transparente de 4mm de espessura.

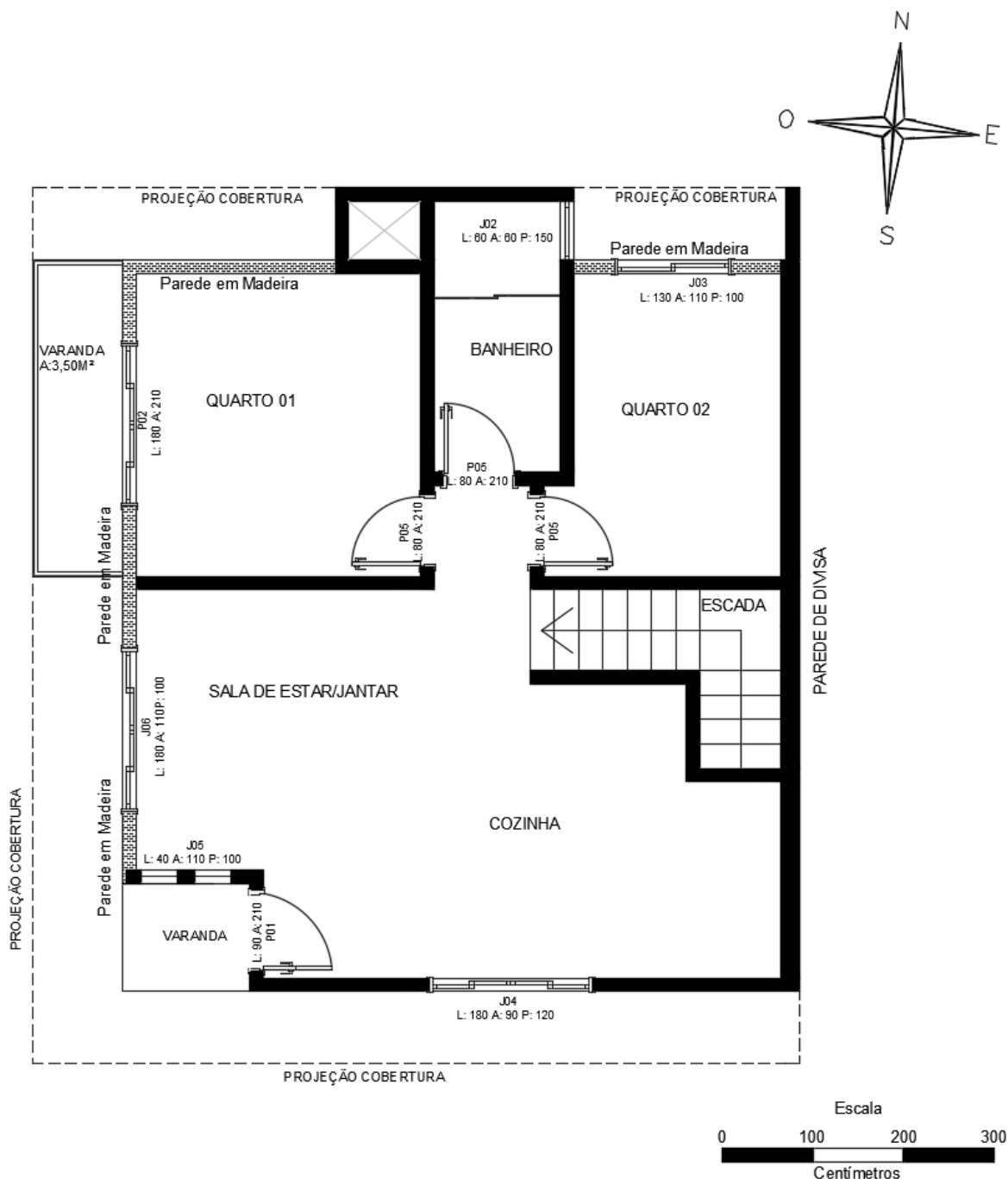


Figura 8 - Planta baixa do segundo pavimento

Fonte: Autoria própria

O segundo pavimento possui os seguintes ambientes: quarto 1 e 2, banheiro e sala conjugada com cozinha (para efeitos de entendimento neste documento, este cômodo será tratado apenas por cozinha). Acima da laje tem uma camada de argamassa para regularização com espessura de 4 cm. Nos quartos o piso utilizado é de madeira laminada de 7 mm, composta por madeira aglomerada de alta densidade com estampa decorativa, demais ambientes possuem piso cerâmico de cor clara.

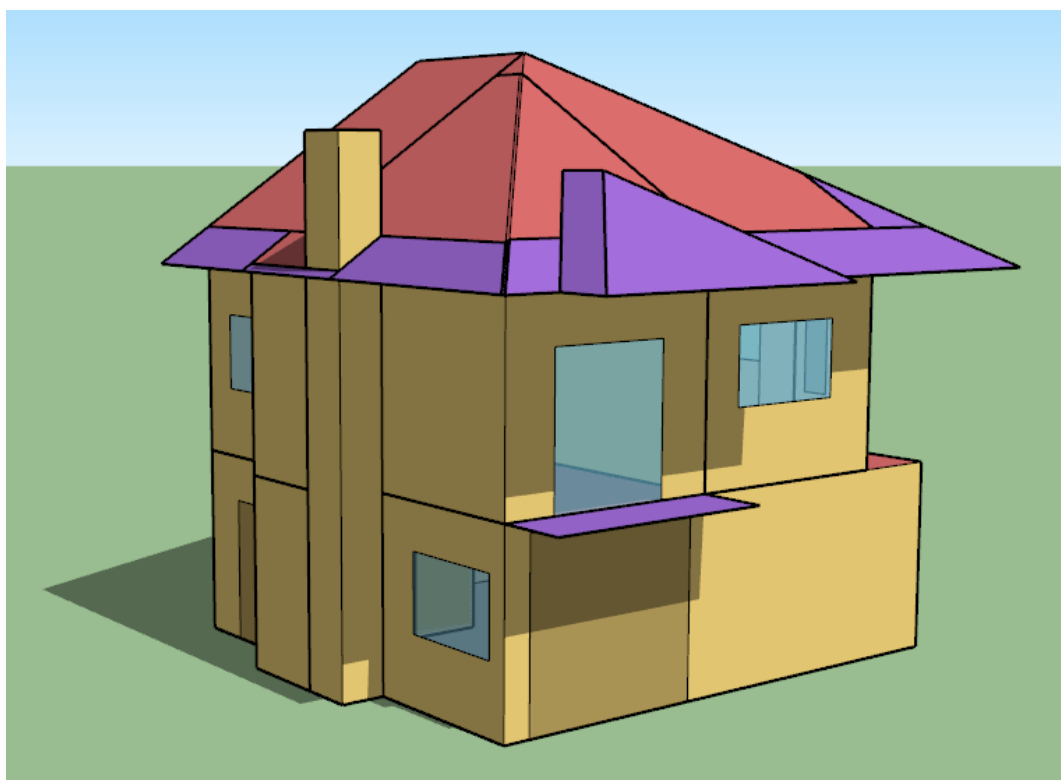
As vedações verticais externas têm três composições diferentes. A primeira diz respeito a parede de divisa, localizada na fachada leste, com 20cm totais de espessura, com camada de chapisco e emboço de 3 cm nas duas faces, entreposta por blocos cerâmicos de 6 furos. Ainda sobre esta, na cozinha há uma camada extra, que é o azulejo de cor clara. O Segundo tipo de vedação vertical é composto por parede com tábuas de madeira de elevada densidade, com 3 cm de espessura, assentadas na horizontal sem mata junta. Este sistema possui duas camadas, com ar no núcleo, totalizando 15 cm. Ainda há um terceiro tipo de vedação externa vertical, composta por alvenaria com 15 cm totais, com duas camadas de emboço e chapisco, com 3 cm cada, e blocos cerâmicos de 6 furos. As paredes internas possuem esta mesma configuração, com exceção do banheiro, que possui uma camada extra de azulejo nas faces internas do ambiente. A porta de entrada é de madeira maciça de alta densidade aparente, com 3 cm de espessura.

As esquadrias são de alumínio na cor branca e possui 4 medidas diferentes. A primeira é de 1,80 x 1,10 m, com 4 folhas, duas fixas e duas móveis com vidro *float* transparente de 4 mm, e é utilizado na cozinha em duas paredes diferentes, com face oeste e sul. O Segundo tipo são esquadrias de 0,40 x 1,10m com apenas uma folha fixa em vidro *float* de 4 mm, e esquadria em alumínio branco. Este tipo de janela está presente na cozinha e conta com duas unidades distantes 0,20 cm entre si.

O terceiro tipo de esquadria é constituída de alumínio branco com 2 folhas, com dimensões 1,30 x 1,10 m, em vidro *float* transparente de 4 mm, localizado no quarto 2. E por último tem-se a porta de acesso a sacada localizada no quarto 1. Esta possui 4 folhas, 2 fixas e duas móveis, em esquadrias de alumínio branco, com vidro *float* de 6 mm de espessura.

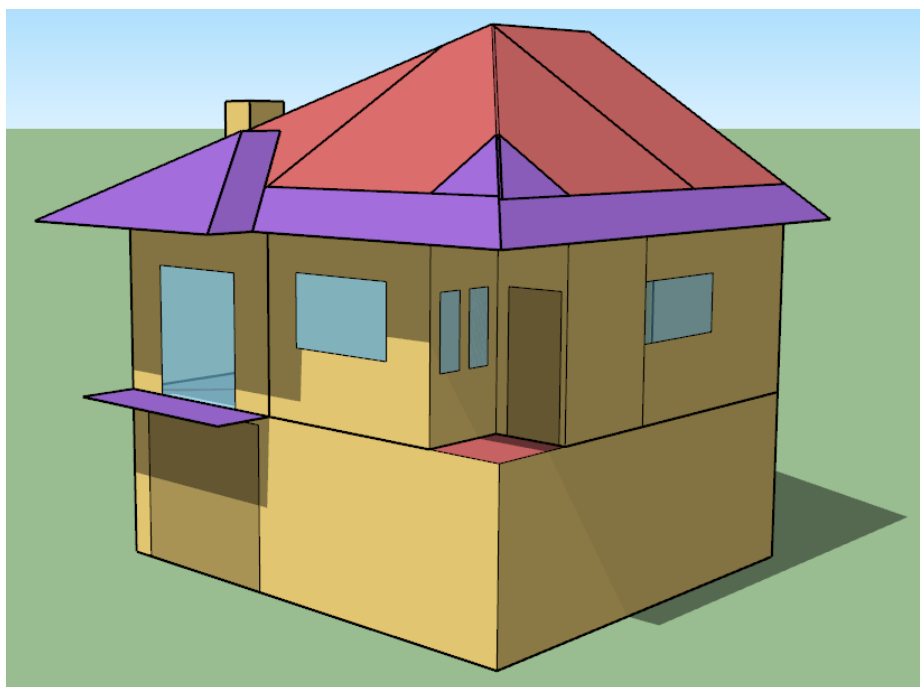
O forro é construído de madeiras como cedro, de densidade menor que o utilizado nas vedações verticais, com 1 cm de espessura em sistema macho e fêmea de encaixe. Nos Quartos 1 e 2 e no banheiro este está localizado a 2,85 m do piso, assentado paralelamente a este. Na cozinha é constituído com mesmo material, porém este acompanha a inclinação da telha cerâmica, ou seja, o pé direito é variável. A cobertura é composta por telhas cerâmica comum, de cor avermelhada e espessura de 2 cm.

O ambiente da escada é composto por paredes de 15cm com duas camadas de emboço mais chapisco, de 3 cm cada uma, além da já citada parede de divisa. Este faz parte da simulação, mas não consta nas tabelas, por se tratar apenas de um acesso a garagem, mas sua influência é considerada em toda edificação.



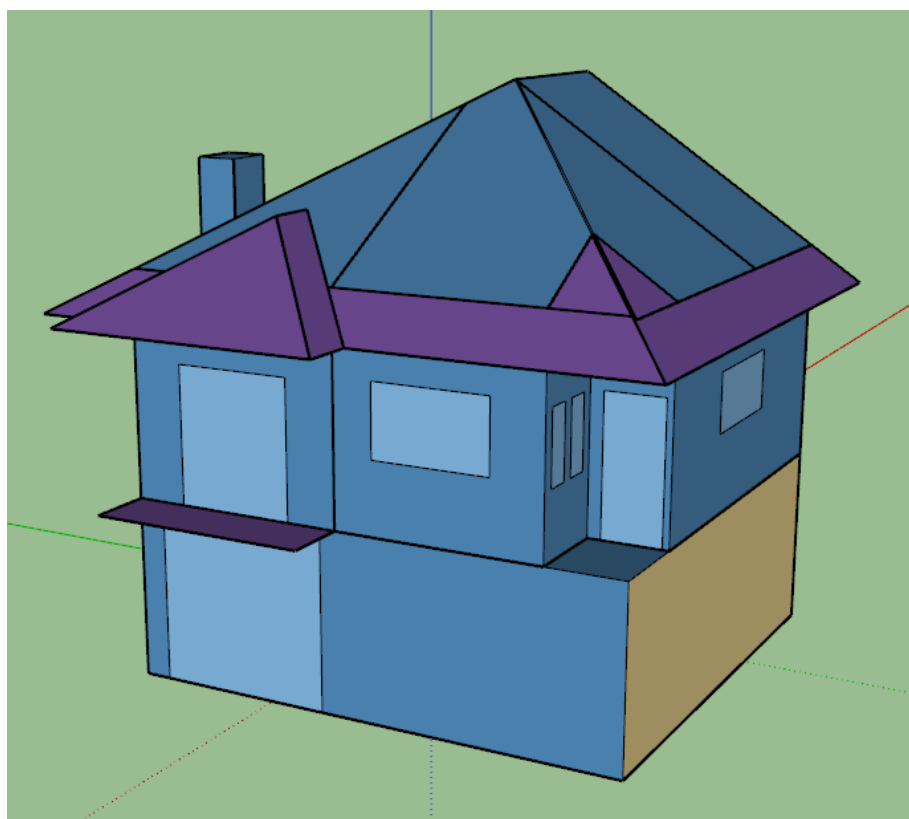
**Figura 9 - Vista modelagem 3D**

**Fonte: Autoria própria**



**Figura 10 - Vista modelagem 3D**

**Fonte: Autoria própria**



**Figura 11 - Tipo de superfícies na modelagem 3D**

**Fonte: Autoria própria**

A figura 11 retrata os tipos de superfície configurados na modelagem 3D, as superfícies são representadas por cores diferentes devido ao seu tipo de contato com o meio externo. Os planos em contato com o ar são representados pela cor azul escuro, a cor azul clara representa as esquadrias, o roxo são as superfícies de sombreamento e o marrom simboliza a superfície que está em contato com o solo.

As propriedades térmicas dos materiais utilizados neste trabalho estão em sua grande maioria contidas na NBR15220. Os materiais que não foram encontrados na norma foram retirados da própria biblioteca do *software*, com exceção dos vidros que foram retirados da ABIVIDRO (Associação Técnica Brasileira das Indústrias Automáticas de Vidro).

### 3.2 SIMULAÇÃO

No documento NBR15575-1, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2013) descreve três procedimentos para verificação do desempenho térmico de uma edificação: simplificado, simulação computacional e medição. Os dois primeiros atuam em conjunto na seguinte forma: quando o projeto não atinge os critérios mínimos exigidos no método simplificado deve-se utilizar o método de simulação computacional.

Para análise do objeto de estudo optou-se pela simulação computacional, pois conforme referencial bibliográfico este método abrange a geometria da edificação como um todo, diferentemente do método simplificado. Além disso existe a exigência quanto ao dinamismo das condições de exposição climática que o *software* deve conter, para que a simulação se aproxime mais das condições reais na qual a construção estará inserida. Também consta na NBR 15575-1 a recomendação do uso do *software EnergyPlus* por apresentar as características descritas acima.

### 3.3 SOFTWARES UTILIZADOS

#### 3.3.1 EnergyPlus

Segundo Didoné e Pereira (2010) o *EnergyPlus* é um *software* de simulação computacional desenvolvido pelo LBNL e iniciativa do Departamento de Energia Norte Americano a partir de dois *softwares*: o DOE e o BLAST. O objetivo deste é simular o desempenho térmico apresentado pelas edificações em condições dinâmicas de exposição climática.

Este programa necessita da modelagem geométrica e dos componentes construtivos. O primeiro é realizado através de coordenadas cartesianas onde são inseridos os valores dos componentes nos eixos x, y e z, de cada um dos ambientes. Em relação aos materiais construtivos a inserção é feita por meio de *layers* ou seja, por meio de camadas, onde cada uma destas representa um material com suas próprias características e propriedades térmicas.

Para modelagem da simulação é necessária a inserção dos dados climáticos do local a ser analisado. Estes podem ser obtidos no site oficial do *EnergyPlus*, mas também é possível inserir dados de outras localidades em que a fonte seja confiável. Com isso a análise é feita unindo esses dados a modelagem geométrica e os componentes construtivos. O *software* permite diversos tipos de análise, como por exemplo a utilização de ventilação natural ou forçada.

Os dados de saída para ventilação natural podem ser utilizados juntamente com critérios da NBR 15575, pois determina valores como a temperatura de um ambiente ou zona climática interna da edificação.

A modelagem da geometria neste *software* para uma edificação unifamiliar torna-se mais complexa devido ao fato da inserção de muitos pontos em coordenadas cartesianas, dificultando a visualização de possíveis erros de inserção de dados. Por isso, outros *softwares* foram desenvolvidos em conjunto para facilitar a modelagem da edificação, em relação a sua forma e componentes construtivos. Um destes exemplos é o *Euclid*.

### 3.3.2 Euclid e SketchUp

O *Euclid* é um *software* desenvolvido com a intenção de facilitar a modelagem da edificação para simulação com *EnergyPlus* a idéia consiste em modelar a construção em três dimensões (3D). Por isso se faz necessário a utilização de um terceiro *software* neste caso o *SketchUp*. O intuito é a possibilidade da simulação de projetos com geometrias mais complexas e com diversas zonas climáticas, facilitando a visualização destes por parte do projetista.

O papel desempenhado pelo *software SketchUp* é o de facilitar a modelagem geométrica, não havendo participação deste *software* na simulação do desempenho térmico. O *Euclid* tem por base a transformação do modelo 3D em uma linguagem numérica compatível com o *EnergyPlus*, cabendo a este *software* também a tradução dos componentes construtivos.

### 3.3.3 Dados Climáticos

Os dados climáticos necessários para a simulação seriam da cidade de Pato Branco. Porém tais dados não foram obtidos conforme preconiza a norma NBR 15575, ou seja, de fonte confiável. Porém a mesma permite utilizar dados de um município com características semelhantes e de mesma zona bioclimática. No caso obteve-se dados da cidade de Dois Vizinhos, coletados pelo INTMET (Instituto Nacional de Meteorologia) e disponibilizados no site oficial do *EnergyPlus*. Os valores correspondem às informações climáticas no ano de 2008.

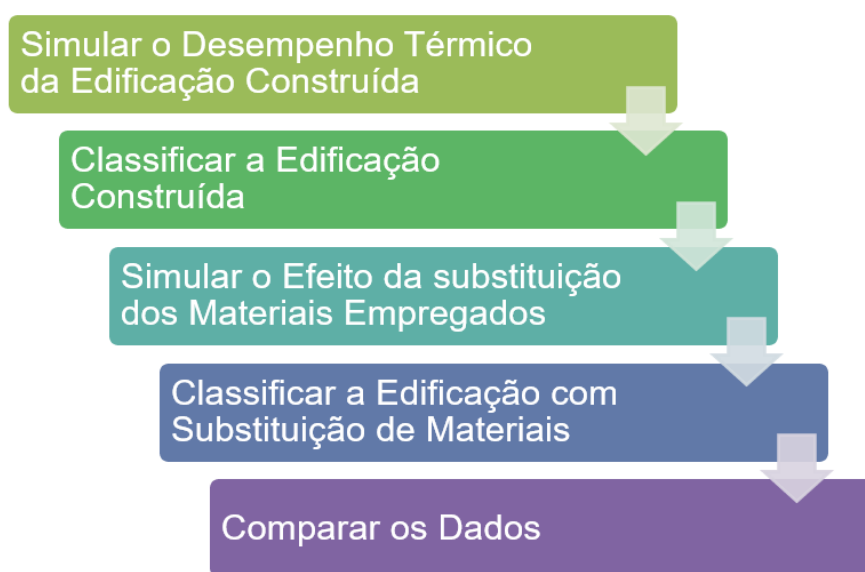
## 3.4 PRIMEIRA SIMULAÇÃO

A pesquisa desenvolvida na forma experimental tem início com a análise das características do objeto de estudo, verificando-se: formas geométricas, implantação da construção, orientação das fachadas em relação ao norte, aberturas para ventilação, materiais empregados nos sistemas de vedação vertical e de cobertura, possíveis alterações da execução em relação ao projeto inicial. Nesta etapa também se estudam as propriedades térmicas dos materiais conforme referencial bibliográfico, principalmente transmitância térmica, capacidade térmica e absorvância.



Com as informações obtidas neste estudo inicia-se a etapa de modelagem com a inserção dos dados geométricos no *SketchUp* e dos materiais através do *Euclid*.

Com este projeto adicionam-se os dados climáticos da região de Dois Vizinhos, visto que não foi possível obter um arquivo compatível com o *energyplus* com os dados de Pato Branco, no *software EnergyPlus* e simulam-se dias típicos de projeto para verão e inverno, gerando-se comparativos de temperatura interna e externa. Porém, como o arquivo climático contém apenas dados de um ano específico, neste caso de 2008, e para o dia típico é necessário verificar a média dos últimos 10 anos, optou-se por utilizar o dia com a maior temperatura para o verão e o dia com a menor temperatura para o inverno, nomeando-os dias críticos. A ideia é utilizar um dia em que se tenha as condições mais críticas do município para que a análise seja feita com o maior rigor possível em relação as condições reais.



**Figura 12 - Fluxograma da metodologia empregada**

**Fonte: Autoria própria**

Feita a primeira simulação analisam-se os dados de temperatura dos ambientes internos, comparando os com a temperatura externa. Em seguida classificam-se as unidades da edificação com base nos critérios das tabelas 7 e 8, obtendo o nível de desempenho.

A tomada de decisão desta etapa depende principalmente do nível de classificação obtido a partir da primeira simulação em relação a NBR 15575. O

primeiro caso de análise ocorre quando a edificação não obtiver o critério mínimo de aceitação. Neste caso modificam-se os critérios estipulados pela norma na sequência de ações apresentadas a seguir: para a reprovação ocorrida em situação de verão, primeiro modifica-se o critério de sombreamento das esquadrias para 50% com 1 ren/h. Caso ainda não obtenha a classificação mínima modifica-se a ventilação de 1 ren/h para 5 ren/h e simula-se novamente. Se continuar não se adequando a norma, une-se os dois passos descritos anteriormente. Em caso de não haver conformidade mínima após todas as análises descritas acima, se faz necessária a modificação dos materiais empregados ou a inserção de alguma camada de isolante térmico. Entretanto, se a rejeição ocorrer conforme critérios de inverno para a primeira simulação deve-se modificar os materiais ou adicionar camadas de isolamento, não sendo possível alterar nenhum parâmetro de simulação, ao contrário do que ocorre para o dia crítico de verão.

### 3.5 MODIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DE VEDAÇÃO VERTICAL E DE COBERTURA

Como procedimento adotado nessa pesquisa, a modificação dos materiais descritos para o caso anterior seguirá as diretrizes da NBR 15220-3 que apresenta algumas estratégias em relação aos materiais empregados para a zona bioclimática 2 conforme tabela abaixo:

**Tabela 9 - Tipo de vedação externa para a zona bioclimática 2**

Vedações externas
Parede: Leve
Cobertura: Leve isolada

**Fonte: ABNT NBR 15220-3 (2005)**

**Tabela 10 - Estratégias de condicionamento térmico passivo para a zona bioclimática 2**

Estação	Estratégias de condicionamento térmico passivo
Verão	J) Ventilação cruzada
Inverno	B) Aquecimento solar da edificação C) Vedações internas pesadas (inércia térmica) NOTA O condicionamento passivo será insuficiente durante o período mais frio do ano. Os códigos J, B e C são os mesmos adotados na metodologia utilizada para definir o zoneamento bioclimático do Brasil (ver anexo B).

**Fonte: ABNT NBR 15220-3 (2005)**

Caso a primeira simulação tenha obtido o critério mínimo ou intermediário nas dependências, também haverá modificação dos materiais visando a melhoria do nível de desempenho, os critérios para tais modificações também seguem as diretrizes apresentadas nas tabelas acima.

O critério para a modificação ou adição de materiais diferentes dos utilizados na edificação construída é que este possa contribuir com o desempenho térmico da residência, tais como isolantes e vidros com maior reflectividade.

Sobre os parâmetros e procedimentos utilizados adota-se os mesmos da norma e da simulação conforme construída, ou seja, inicialmente apenas com 1 ren/h e sem sombreamento, essa condição é chamada neste documento de normal. A segunda simulação ocorre com 5 ren/h e sem sombreamento, descrita nas tabelas com o nome de ventilação. A terceira possui adição de 50% de sombreamento nas esquadrias de vidro, chamada de sombreamento. Por último une-se esses dois últimos fatores (5 ren/h e 50% de sombreamento em esquadrias de vidro), também descrita como ventilação e sombreamento.

As simulações ocorreram da seguinte forma: edificação construída; lã de vidro nas paredes, lã de vidro na cobertura, esquadria de vidro e todas as modificações. Essa é a forma em que está descrita nos resultados. A edificação construída diz respeito à simulação com a utilização dos materiais empregados na construção real, obtida a partir de dados coletados com o responsável pela execução da obra. A lã de vidro nas paredes refere-se à adição deste tipo de material nas vedações verticais de madeira presente no segundo pavimento, ao qual possui uma camada de ar na residência real. A terceira é a utilização da lã de vidro na cobertura, logo abaixo das

telhas de cerâmica. Em seguida é realizada uma simulação com estas duas últimas modificações em conjunto.

A simulação com nome de esquadria de vidro é realizada com a substituição deste material por um com maior reflectância, e alteração das espessuras na seguinte ordem: vidros com 4 mm passam a ter 6 mm e os vidros que possuíam 6 mm originalmente serão trocados por vidros com 8 mm, visando melhor desempenho para o período do verão. Por último todas as modificações dizem respeito ao uso simultâneo de todos os materiais e substituições propostas neste documento, ou seja, utilização de lã de vidro na cobertura, paredes externas de madeira e substituição dos vidros.

A edificação estudada possui características bem interessantes quanto a escolha de materiais utilizados. No segundo pavimento, as paredes externas (exceto a de divisa do lote) são constituídas de duas camadas de madeira entrepostas por uma camada de ar. O conjunto possui espessura de 15 cm. Além disso, não há laje de concreto neste pavimento, existe apenas um forro de madeira, que nos quartos e banheiro é projetado paralelo ao piso e na cozinha este é feito acompanhando a inclinação do telhado, obtendo-se neste ambiente um pé direito variável.

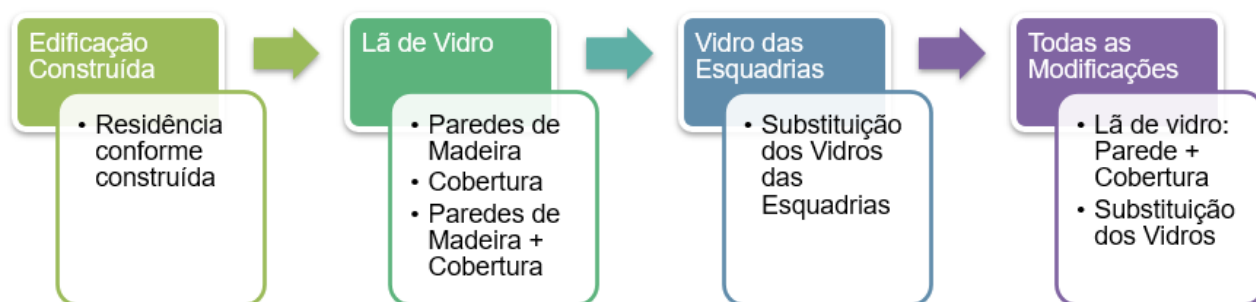
Este conjunto de soluções permite o uso de um material isolante entre as camadas já existentes, sem a necessidade de mudanças arquitetônicas, e o material escolhido foi a lã de vidro. Em primeira análise, utilizou-se apenas nas paredes de madeira. Posteriormente, aplicou-se este apenas no telhado. E por último, uniu-se ambas as situações. Como o objetivo agora a melhoria da classificação dos ambientes da edificação, demonstra-se aqui, apenas os melhores resultados de cada uma, e qual condição de simulação foi utilizada para alcançar tal resultado.

Visto que alguns ambientes possuem área considerável de esquadrias de vidro é importante verificar os efeitos da mudança de vidro comum por outro com maior reflectância. Outro ponto importante desta estratégia é verificar a influência das janelas e da porta de vidro que estão presentes na cozinha e quarto 1, respectivamente.

Para efeitos de simulação, adotou-se os vidros Neutral 14 clear da Guardian, sendo que para as janelas foram empregados vidros com 6 mm e para a porta do quarto 1 a espessura de 8 mm.

### 3.6 COMPARAÇÃO DE SIMULAÇÕES

Tendo em mente o cumprimento do objetivo, efetuou-se a comparação dos dados obtidos em ambas as simulações. A obtenção de uma relação direta entre as temperaturas da edificação conforme construída e com as modificações realizadas e também a comparação dos níveis de desempenho conforme a NBR 15575.



**Figura 13 - Fluxograma esquemático das simulações conforme o emprego dos materiais**

**Fonte: Autoria própria**

A figura 13 demonstra de maneira gráfica as modificações propostas em relação aos materiais empregados na edificação. Em resumo serão analisadas a edificação construída, a adição da lã de vidro em três situações, substituição dos vidros das esquadrias e por último todas as modificações propostas utilizadas em conjunto.

## 4 RESULTADOS

Com os dados do arquivo climático utilizado, obteve-se o dia crítico de projeto de verão ocorreu no dia 08 de dezembro do já citado ano de 2008 para os dados climáticos analisados. E o dado mais importante é a temperatura máxima que ocorreu nesta data, que é de 35,22 °C, e a partir deste dado é que se classifica o desempenho térmico do ambiente durante o verão. O mesmo ocorreu para o inverno, onde o dia crítico de projeto de inverno ocorreu em 11 de junho de 2008, com temperatura mínima de 2,94°C.

Vale ressaltar que os dados dos ambientes correspondem a essas duas datas, a depender da análise a ser feita, se é em relação ao desempenho térmico no inverno ou no verão. Importante destacar que a NBR 15575-1 prioriza a análise dos ambientes de longa permanência, como quartos, salas, cozinha, suítes, etc. Mesmo assim os resultados analisados dizem respeito a todos os ambientes, para que se possa analisar a influência das modificações na residência.

A seguir serão apresentados os resultados obtidos através das simulações da residência e suas respectivas modificações. A análise é composta por duas tabelas, onde o primeiro apresenta as temperaturas internas de cada ambiente. Já o segundo contém o cálculo da diferença entre as temperaturas externas e internas. Nas tabelas em que são apresentados os resultados fez se o uso da equação a seguir.

Diferença de temperatura = Temperatura do ambiente – Temperatura Externa

Os valores esperados para aprovação da edificação no inverno são positivos, e no verão, negativos. Com estes é possível obter a classificação conforme os critérios da norma, divididos em superior (S), intermediário (I), mínimo (M) e reprovado, caso não atinja os critérios mínimos pré-estabelecidos. Os valores necessários para determinação de cada uma das classificações estão contidos nas tabelas 7 e 8. Tais dados estão representados em uma escala de cores nas tabelas em que são apresentadas as temperaturas internas dos ambientes. A seguir é possível observar a legenda de classificação:



**Figura 14 - Escala de cor para classificação dos ambientes**

**Fonte: Autoria própria**

Todas as análises apresentadas neste documento dizem respeito a essa edificação em específica, podendo apresentar valores e interpretações diferentes em condições diferentes e/ou em outras edificações. Portanto as afirmações contidas neste documento são referentes aos resultados gerados da simulação para essa residência.

#### 4.1 AMBIENTES DE CURTA PERMANÊNCIA

Inicialmente serão analisados os resultados referentes aos ambientes de curta permanência. Mesmo que estes não sejam objetos de estudo de grande importância para a classificação do desempenho térmico da residência, se faz importante verificar o comportamento de todos os ambientes bem como a influência de cada modificação dos materiais empregados para que possa se ter uma relação entre as alterações e os resultados obtidos.

##### 4.1.1 Área de serviço

Em relação a este ambiente observa-se a seguir os resultados obtidos para o dia crítico de inverno.

Tabela 11 - Temperatura da área de serviço para o dia crítico de projeto de inverno

<b>Temperatura Interna (°C)</b>	
<b>Ambiente:</b>	<b>Á. Serviço</b>
<b>Condição:</b>	<b>Normal</b>
Construída	13.82
Lã de Vidro - Parede	13.82
Lã de Vidro - Cobertura	13.84
Lã de Vidro - Parede e Cobertura	13.85
Esquadrias de Vidro	13.73
Todas as Modificações	13.74

Fonte: Autoria própria

Tabela 12 - Diferença entre a temperatura interna e externa no inverno - Área de serviço

<b>Diferença de Temperatura (°C)</b>	
<b>Ambiente:</b>	<b>Á. Serviço</b>
<b>Condição:</b>	<b>Normal</b>
Construída	10.88
Lã de Vidro - Parede	10.89
Lã de Vidro - Cobertura	10.90
Lã de Vidro - Parede e Cobertura	10.91
Esquadrias de Vidro	10.79
Todas as Modificações	10.80

Fonte: Autoria própria

Através das tabelas 11 e 12 observa-se que as modificações apresentaram variações mínimas de temperatura na área de serviço para o dia crítico de projeto de inverno. Isso porque não há qualquer modificação direta neste ambiente. De qualquer modo este cômodo é classificado com desempenho superior em todas as simulações. Isto evidencia que as modificações não possuem função relevante para o período do inverno.

Para o dia crítico de projeto de verão os dados são apresentados nas tabelas 13 e 14.



Tabela 13 - Temperatura da área de serviço para o dia crítico de projeto de verão

<b>Temperatura Interna (°C)</b>				
<b>Ambiente:</b>	<b>Área de Serviço</b>			
<b>Condição:</b>	<b>Normal</b>	<b>Ventilação</b>	<b>Sombreamento</b>	<b>Ventilação e Sombreamento</b>
Construída	28.24	29.53	28.14	29.48
Lã de Vidro - Parede	28.25	29.53	28.14	29.47
Lã de Vidro - Cobertura	28.11	29.45	27.99	29.39
Lã de Vidro - Parede e Cobertura	28.11	29.45	27.97	29.38
Esquadrias de Vidro	28.13	29.47	28.11	29.46
Todas as Modificações	27.96	29.37	27.93	29.36

Fonte: Autoria própria

Tabela 14 - Diferença entre a temperatura interna e externa no verão - Área de serviço

<b>Diferença de Temperatura (°C)</b>				
	<b>Área de Serviço</b>			
<b>Condição:</b>	<b>Normal</b>	<b>Ventilação</b>	<b>Sombreamento</b>	<b>Ventilação e Sombreamento</b>
Construída	-6.98	-5.69	-7.09	-5.75
Lã de Vidro - Parede	-6.97	-5.70	-7.08	-5.75
Lã de Vidro - Cobertura	-7.12	-5.77	-7.24	-5.83
Lã de Vidro - Parede e Cobertura	-7.12	-5.78	-7.25	-5.85
Esquadrias de Vidro	-7.09	-5.75	-7.11	-5.77
Todas as Modificações	-7.26	-5.85	-7.30	-5.87

Fonte: Autoria própria

Em relação ao dia crítico de projeto de verão notam-se algumas diferenças em relação ao inverno, seja em termos da simulação ou em relação ao próprio desempenho térmico. Primeiro a norma permite modificações dos parâmetros ambientais, tais como modificação do número de renovações de ar por hora (1ren/h para 5ren/h) e adição de dispositivo de sombreamento nas esquadrias de vidro. De qualquer forma se nota pouca diferença em valores absolutos na variação da temperatura interna deste ambiente. Isto porque não há qualquer modificação direta neste ambiente. As pequenas modificações são explicadas pela troca de calor com os ambientes adjacentes que possuem alteração de material em sua composição, por exemplo o quarto 2.

A classificação deste ambiente em todas as simulações é superior, inclusive na condição ambiental normal para a edificação conforme construída. Isto significa que este cômodo não necessita de intervenções em relação aos materiais empregados, seja para o dia crítico de verão ou dia crítico de inverno.

#### 4.1.2 Lavabo

Temos os resultados do lavabo expressos nas tabelas 15 e 16 para o dia crítico de inverno. Assim como ocorreu com a área de serviço, as modificações não alteraram a classificação do ambiente ou causou qualquer mudança significativa de temperatura.

**Tabela 15 - Temperatura do lavabo para o dia crítico de projeto de inverno**

<b>Temperatura Interna (°C)</b>	
<b>Ambiente:</b>	<b>Lavabo</b>
<b>Condição:</b>	<b>Normal</b>
Construída	15.02
Lã de Vidro - Parede	15.03
Lã de Vidro - Cobertura	15.05
Lã de Vidro - Parede e Cobertura	15.05
Esquadrias de Vidro	14.90
Todas as Modificações	14.92

Fonte: Autoria própria

**Tabela 16 - Diferença entre a temperatura interna e externa no inverno - Lavabo**

<b>Diferença de Temperatura (°C)</b>	
<b>Ambiente:</b>	<b>Lavabo</b>
<b>Condição:</b>	<b>Normal</b>
Construída	12.09
Lã de Vidro - Parede	12.09
Lã de Vidro - Cobertura	12.11
Lã de Vidro - Parede e Cobertura	12.12
Esquadrias de Vidro	11.97
Todas as Modificações	11.98

Fonte: Autoria própria

As tabelas 15 e 16 mostram que há muita pouca influência das modificações dos materiais sobre o desempenho térmico no lavabo. Tal fato explica-se por alguns fatores. Além de não modificar diretamente nenhum material neste cômodo. Além disso, sua localização na residência favorece tal desempenho, classificado como superior. Há apenas uma superfície que troca calor com o ambiente externo, uma parede voltada para o leste, que possui espessura de 20 cm. Esse conjunto de fatores ajuda a explicar a pouca variação da diferença de temperatura conforme as modificações nas simulações.

Os dados relativos ao lavabo e seu desempenho térmico para o dia crítico de projeto de verão são apresentados nas tabelas 17 e 18. Importante ressaltar que em todas as simulações obteve-se classificação superior. Além disso, as modificações causaram pouca modificação na temperatura interna, se levar em conta os mesmos parâmetros ambientais (exemplo: ventilação).

**Tabela 17 - Temperatura do lavabo para o dia crítico de projeto de verão**

<b>Temperatura Interna (°C)</b>				
<b>Ambiente:</b>	<b>Lavabo</b>			
<b>Condição:</b>	<b>Normal</b>	<b>Ventilação</b>	<b>Sombreamento</b>	<b>Ventilação e Sombreamento</b>
Construída	26.97	28.23	26.82	28.14
Lã de Vidro - Parede	26.99	28.22	26.82	28.14
Lã de Vidro - Cobertura	26.81	28.14	26.64	28.05
Lã de Vidro - Parede e Cobertura	26.81	28.13	26.62	28.03
Esquadrias de Vidro	26.81	28.14	26.77	28.12
Todas as Modificações	26.61	28.02	26.56	28.00

**Fonte: Autoria própria**

A simulação que apresentou melhor resultados em relação aos parâmetros ambientais é a adição de 50% de sombreamento nas esquadrias de vidro. Porém tal dado exige interpretação, visto que não há nenhum componente deste tipo no lavabo, que possui ventilação por exaustão mecânica. O que ocorre é que ambientes adjacentes possuem bom desempenho com estes parâmetros, trocando calor de maneira que beneficiou o lavabo, não aumentando a temperatura deste.

Tabela 18 - Diferença entre a temperatura interna e externa no verão - Lavabo

<b>Diferença de Temperatura (°C)</b>				
<b>Ambiente</b>	<b>Lavabo</b>			
<b>Condição:</b>	<b>Normal</b>	<b>Ventilação</b>	<b>Sombreamento</b>	<b>Ventilação e Sombreamento</b>
Construída	-8.25	-7.00	-8.40	-7.08
Lã de Vidro - Parede	-8.24	-7.00	-8.40	-7.09
Lã de Vidro - Cobertura	-8.41	-7.08	-8.59	-7.17
Lã de Vidro - Parede e Cobertura	-8.41	-7.09	-8.61	-7.19
Esquadrias de Vidro	-8.42	-7.09	-8.45	-7.11
Todas as Modificações	-8.62	-7.20	-8.67	-7.22

Fonte: Autoria própria

A tabela 18 demonstra resultados importantes para o entendimento das variáveis ambientais de sombreamento e de ventilação. Quando se modifica o número de trocas de ar de 1 ren/h para 5 ren/h ocorre um aumento na velocidade da troca de calor entre ambientes, com isso a edificação obtém o equilíbrio de temperatura entre os cômodos. Tal modificação beneficia ambientes com desempenho térmico ruim, porém diminui a diferença entre temperatura interna e externa naqueles que possuem melhores classificações, como intermediária e principalmente superior.

#### 4.1.3 Garagem

Outro ambiente de curta permanência do primeiro ambiente é a garagem. Este também cômodo é fechado para poder ser utilizado como salão de festas quando necessário, por isso sua análise é importante. Nas tabelas a seguir, apresentam-se dados sobre o desempenho durante o dia crítico de inverno deste ambiente.

Tabela 19 - Temperatura da garagem para o dia crítico de projeto de inverno

<b>Temperatura Interna (°C)</b>	
<b>Ambiente:</b>	<b>Garagem</b>
<b>Condição:</b>	<b>Normal</b>
Construída	12.90
Lã de Vidro - Parede	12.92
Lã de Vidro - Cobertura	12.95
Lã de Vidro - Parede e Cobertura	12.96
Esquadrias de Vidro	12.83
Todas as Modificações	12.88

Fonte: Autoria própria

Assim como os demais ambientes deste primeiro pavimento, a classificação para o inverno é superior. Porém se comparar a tabela 20 com as tabelas 11 e 15 observa-se que a garagem possui a menor temperatura dentre os cômodos deste pavimento. Tal explicação pode ser dada pelo fato que as trocas de temperatura da garagem se dão em sua maior parte através de vedações verticais menos espessas, em relação ao ambiente externo. E também há uma parede de contenção, que troca calor diretamente com o solo, que é mais frio durante o inverno.

Em relação às modificações, a que apresentou melhor resultado é a adição de lã de vidro na parede e na cobertura. Isso porque estas alterações geram melhorias significativas na situação de inverno no segundo pavimento, por onde a garagem troca calor através da laje.

**Tabela 20 - Diferença entre a temperatura interna e externa no inverno - Garagem**

<b>Diferença de Temperatura (°C)</b>	
<b>Ambiente:</b>	<b>Garagem</b>
<b>Condição:</b>	<b>Normal</b>
Construída	9.97
Lã de Vidro - Parede	9.98
Lã de Vidro - Cobertura	10.01
Lã de Vidro - Parede e Cobertura	10.02
Esquadrias de Vidro	9.90
Todas as Modificações	9.94

**Fonte: Autoria própria**

Assim como demais ambientes do primeiro pavimento, todas as simulações resultaram em desempenho superior, além de pouca variação da temperatura interna. Isso pode ser observado na tabela 21. Mas para este ambiente há um fato relevante. Apenas uma das modificações possui interferência direta neste cômodo, que é a modificação das esquadrias de vidro. E esta apresenta pouca diferença em relação a edificação construída. Em termos diretos é possível observar que a lã de vidro, que é adicionada à cobertura possui grande eficiência na garagem. Mesmo que a menor temperatura registrada na simulação seja com todas as modificações, é necessário ponderar a diferença que esta causa.

Tabela 21 - Temperatura da garagem para o dia crítico de projeto de verão

<b>Temperatura Interna (°C)</b>				
<b>Ambiente:</b>	<b>Garagem</b>			
<b>Condição:</b>	<b>Normal</b>	<b>Ventilação</b>	<b>Sombreamento</b>	<b>Ventilação e Sombreamento</b>
Construída	28.46	30.66	28.21	30.51
Lã de Vidro - Parede	28.47	30.66	28.21	30.50
Lã de Vidro - Cobertura	28.30	30.57	28.01	30.42
Lã de Vidro - Parede e Cobertura	28.29	30.57	27.98	30.40
Esquadrias de Vidro	28.23	30.51	28.14	30.46
Todas as Modificações	28.01	30.41	27.90	30.35

Fonte: Autoria própria

Para explicar melhor observa-se o que ocorre com os parâmetros de adição de 50% de sombreamento nas esquadrias de vidro em relação a três modificações: construída, lã de vidro – cobertura e todas as modificações. Entre os dois primeiros observa-se uma diferença de 0,20 °C, e entre a construída e todas as modificações 0,31 °C. Ou seja, que causa mais efeito é a adição de lã de vidro na cobertura, pois sozinha altera a maior parte da diferença apresentada. Já adicionar lã e vidro as paredes e mudar as esquadrias, em conjunto com a modificação da cobertura, modifica menos. Efetivamente apenas uma modificação possui um maior peso nas alterações de temperatura, para este ambiente em específico.

Tabela 22 - Diferença entre a temperatura interna e externa no verão - Garagem

<b>Diferença de Temperatura (°C)</b>				
<b>Ambiente</b>	<b>Garagem</b>			
<b>Condição:</b>	<b>Normal</b>	<b>Ventilação</b>	<b>Sombreamento</b>	<b>Ventilação e Sombreamento</b>
Construída	-6.77	-4.57	-7.02	-4.72
Lã de Vidro - Parede	-6.76	-4.57	-7.02	-4.72
Lã de Vidro - Cobertura	-6.93	-4.65	-7.22	-4.81
Lã de Vidro - Parede e Cobertura	-6.93	-4.66	-7.24	-4.82
Esquadrias de Vidro	-6.99	-4.71	-7.08	-4.76
Todas as Modificações	-7.22	-4.82	-7.33	-4.87

Fonte: Autoria própria

#### 4.1.4 Banheiro

O único ambiente de curta permanência presente no segundo pavimento é o banheiro. As tabelas 23 e 24 apresentam os dados do desempenho deste cômodo para o dia crítico de projeto de inverno.

**Tabela 23 - Temperatura do banheiro para o dia crítico de projeto de inverno**

<b>Temperatura Interna (°C)</b>	
<b>Ambiente:</b>	<b>Banheiro</b>
<b>Condição:</b>	<b>Normal</b>
Construída	13.48
Lã de Vidro - Parede	13.59
Lã de Vidro - Cobertura	14.45
Lã de Vidro - Parede e Cobertura	14.60
Esquadrias de Vidro	13.15
Todas as Modificações	14.07

Fonte: Autoria própria

O desempenho em relação ao inverno mostrou-se satisfatório, como os demais ambientes para o período de inverno. Efetivamente a edificação demonstra excelente desempenho térmico para a estação mais fria do ano. É possível ainda verificar uma melhora considerável com a inserção da lã de vidro nas paredes e cobertura alcançando melhora de mais de 1°C, mesmo que esta estratégia tenha sido adotada para a situação do verão.

**Tabela 24 - Diferença entre a temperatura interna e externa no inverno - Banheiro**

<b>Diferença de Temperatura (°C)</b>	
<b>Ambiente:</b>	<b>Banheiro</b>
<b>Condição:</b>	<b>Normal</b>
Construída	10.54
Lã de Vidro - Parede	10.65
Lã de Vidro - Cobertura	11.51
Lã de Vidro - Parede e Cobertura	11.66
Esquadrias de Vidro	10.21
Todas as Modificações	11.13

Fonte: Autoria própria

De todos os ambientes de curta permanência apresentados até aqui, o banheiro é o que possui desempenho térmico com classificação abaixo de superior para a situação construída, este fato tem uma explicação bem simples, o motivo deste

ambiente trocar calor com a cobertura através de um forro de madeira muda seu desempenho para uma classificação menor. Além disso este possui ambientes adjacentes mais quentes, como o quarto 1.

As modificações que demonstraram eficácia envolvem em algum nível o uso da lã de vidro na cobertura, evidenciando que o desempenho térmico do banheiro é afetado de maneira crítica pela temperatura trocada através do forro. Mesmo assim, é possível obter classificação superior com apenas uma modificação, de acordo com os dados da tabela a seguir.

**Tabela 25 - Temperatura do banheiro para o dia crítico de projeto de verão**

<b>Temperatura Interna (°C)</b>				
<b>Ambiente:</b>	<b>Banheiro</b>			
<b>Condição:</b>	<b>Normal</b>	<b>Ventilação</b>	<b>Sombreamento</b>	<b>Ventilação e Sombreamento</b>
Construída	32.43	31.85	31.49	31.28
Lã de Vidro - Parede	32.56	31.86	31.52	31.25
Lã de Vidro - Cobertura	29.77	30.03	28.57	29.35
Lã de Vidro - Parede e Cobertura	29.69	29.93	28.31	29.19
Esquadrias de Vidro	31.56	31.32	31.32	31.17
Todas as Modificações	28.40	29.22	28.00	29.01

Fonte: Autoria própria

A tabela 25 evidencia que a utilização das esquadrias de vidro trouxe melhorias para a condição de ventilação e sombreamento na classificação deste ambiente.

**Tabela 26 - Diferença entre a temperatura interna e externa no verão - Banheiro**

<b>Diferença de Temperatura (°C)</b>				
<b>Ambiente</b>	<b>Banheiro</b>			
<b>Condição:</b>	<b>Normal</b>	<b>Ventilação</b>	<b>Sombreamento</b>	<b>Ventilação e Sombreamento</b>
Construída	-2.80	-3.37	-3.74	-3.95
Lã de Vidro - Parede	-2.67	-3.36	-3.70	-3.98
Lã de Vidro - Cobertura	-5.46	-5.20	-6.66	-5.88
Lã de Vidro - Parede e Cobertura	-5.53	-5.29	-6.91	-6.04
Esquadrias de Vidro	-3.66	-3.90	-3.91	-4.06
Todas as Modificações	-6.83	-6.00	-7.22	-6.22

Fonte: Autoria própria



## 4.2 AMBIENTES DE LONGA PERMANÊNCIA

Os ambientes de longa permanência são aqueles com maior frequência de uso ao longo do dia. A NBR 15575 requer especial atenção ao desempenho térmico destes ambientes, sendo estes os mais importantes para a classificação da edificação.

### 4.2.1 Quarto 2

Em análise mais aprofundada, tanto a escolha dos materiais quanto o projeto beneficiam a edificação no período de inverno. Este fato se evidencia ainda mais em relação aos ambientes de longa duração. Dentre estes, o melhor desempenho ocorreu no quarto 2, cuja esquadria de vidro está voltada para o Norte. Tirando esse fato não há nada diferente a ser relatado, visto que esse ambiente também possui classificação superior em todas as condições para o dia crítico de projeto de inverno.

**Tabela 27 - Temperatura do quarto 2 para o dia crítico de projeto de inverno**

<b>Temperatura Interna (°C)</b>	
<b>Ambiente:</b>	<b>Quarto 2</b>
<b>Condição:</b>	<b>Normal</b>
Construída	11.94
Lã de Vidro - Parede	12.42
Lã de Vidro - Cobertura	13.05
Lã de Vidro - Parede e Cobertura	13.64
Esquadrias de Vidro	11.54
Todas as Modificações	13.07

**Fonte: Autoria própria**

Como esperado o pior desempenho está na condição da esquadria de vidro, isso porque este vidro possui maior reflectância, reduzindo os ganhos de calor por irradiação. Porém não são valores que comprometem o desempenho, sendo assim a utilização desse material como melhoria pra o verão não traz prejuízos para o período frio do ano.

Tabela 28 - Diferença entre a temperatura interna e externa no inverno - Quarto 2

<b>Diferença de Temperatura (°C)</b>	
<b>Ambiente:</b>	<b>Quarto 2</b>
<b>Condição:</b>	<b>Normal</b>
Construída	9.00
Lã de Vidro - Parede	9.48
Lã de Vidro - Cobertura	10.11
Lã de Vidro - Parede e Cobertura	10.70
Esquadrias de Vidro	8.60
Todas as Modificações	10.13

**Fonte: Autoria própria**

A análise da simulação térmica para o dia crítico de projeto de verão não se dá de maneira tão simples quanto para o inverno. A edificação conforme construída obteve classificação mínima para este ambiente em quase todas as condições exceto com ventilação e sombreamento, o qual obteve avaliação intermediária.

Como este cômodo possui janela voltada para a face norte, vedação vertical de madeira com uma camada de ar no meio e contato com a cobertura através de um forro de madeira, faz-se necessário uma observação mais minuciosa da tabela 29 para entender o ponto crítico do desempenho térmico deste ambiente.

A utilização da lã de vidro na parede não é capaz de mudar a classificação deste cômodo. Já para a obtenção de um desempenho térmico superior se faz necessário o emprego deste material na cobertura. Portanto aqui temos o primeiro ponto crítico observável em relação a temperatura no quarto 2.

Assim com a lã de vidro aplicada a parede, a modificação dos vidros utilizados nas esquadrias não mudou a classificação para superior, nem mesmo com 5 ren/h e 50% de sombreamento.

Quando se emprega lã de vidro na cobertura, a menor classificação que se obtém é intermediária, sendo possível obter a superior com o uso de dispositivo de sombreamento nas janelas. Se ao mesmo tempo for aplicado este material nas vedações verticais é possível obter desempenho superior em todas as condições ambientais. Por último pode-se observar que todas as modificações em conjunto proporcionam resultados expressivos, com todas as quatro possibilidades de parâmetros prescritos em norma com desempenho superior.

Tabela 29 - Temperatura do quarto 2 para o dia crítico de projeto de verão

Temperatura Interna (°C)				
Ambiente:	Quarto 2			
Condição:	Normal	Ventilação	Sombreamento	Ventilação e Sombreamento
Construída	34.34	33.66	33.58	33.20
Lã de Vidro - Parede	34.21	33.45	33.36	32.94
Lã de Vidro - Cobertura	31.30	31.57	30.31	31.02
Lã de Vidro - Parede e Cobertura	30.83	31.19	29.65	30.56
Esquadrias de Vidro	33.58	33.19	33.40	33.07
Todas as Modificações	29.63	30.57	29.31	30.37

Fonte: Autoria própria

A importância da utilização de todas as modificações em conjunto pode ser analisada em termos numéricos através da tabela 30, onde é possível verificar uma diferença de mais de 5 °C em relação ao ambiente externo. Também é interessante observar que para a edificação construída o melhor desempenho foi obtido com a utilização de ventilação e sombreamento passando para apenas o sombreamento na última condição. Isto ocorre por conta da renovação de ar que busca o equilíbrio térmico entre as temperaturas internas e externas.

Tabela 30 - Diferença entre a temperatura interna e externa no verão - Quarto 2

Diferença de Temperatura (°C)				
Ambiente	Quarto 2			
Condição:	Normal	Ventilação	Sombreamento	Ventilação e Sombreamento
Construída	-0.89	-1.57	-1.64	-2.03
Lã de Vidro - Parede	-1.02	-1.78	-1.87	-2.28
Lã de Vidro - Cobertura	-3.92	-3.65	-4.92	-4.20
Lã de Vidro - Parede e Cobertura	-4.40	-4.04	-5.57	-4.66
Esquadrias de Vidro	-1.65	-2.03	-1.83	-2.15
Todas as Modificações	-5.60	-4.66	-5.92	-4.86

Fonte: Autoria própria

#### 4.2.2 Quarto 1

A tabela 31 apresenta a temperatura interna de cada uma das modificações propostas para a edificação para o dia crítico de projeto de inverno.

Tabela 31 - Temperatura interna do quarto 1 para o dia crítico de projeto de inverno

<b>Temperatura Interna (°C)</b>	
<b>Ambiente:</b>	<b>Quarto 1</b>
<b>Condição:</b>	<b>Normal</b>
Construída	10.17
Lã de Vidro - Parede	11.06
Lã de Vidro - Cobertura	11.31
Lã de Vidro - Parede e Cobertura	12.40
Esquadrias de Vidro	9.84
Todas as Modificações	11.86

Fonte: Autoria própria

Diferentemente de outros ambientes, o quarto 1 apresenta grande variação de resultados para o dia crítico de projeto de inverno, e diversas análises podem ser feitas a partir das tabelas 31 e 32. A primeira constatação diz respeito a amplitude de variação entre a temperatura da edificação construída e a maior, que ocorreu com adição de lã de vidro na cobertura e nas vedações verticais, que é de mais de 2 °C, favorecendo um melhor desempenho térmico com a modificação dos materiais. Outro ponto de importância considerável é que o vidro escolhido na simulação das esquadrias, que tem por objetivo melhorar as condições de verão, diminuiu a temperatura durante o inverno. Houve mudança na classificação em uma simulação, que se classificou como intermediária com a modificação do vidro utilizado nas esquadrias.

Tabela 32 - Diferença entre a temperatura interna e externa no inverno - Quarto 1

<b>Diferença de Temperatura (°C)</b>	
<b>Ambiente:</b>	<b>Quarto 1</b>
<b>Condição:</b>	<b>Normal</b>
Construída	7.24
Lã de Vidro - Parede	8.12
Lã de Vidro - Cobertura	8.37
Lã de Vidro - Parede e Cobertura	9.46
Esquadrias de Vidro	6.90
Todas as Modificações	8.92

Fonte: Autoria própria

Já a condição deste ambiente perante o dia crítico de projeto de verão é bem diferente. Como pode-se observar nas tabelas a seguir a edificação conforme

construída obteve aprovação com classificação mínima. Isso demonstra que este ambiente possui condições que o desfavorece em relação ao desempenho térmico para o verão. Mesmo a adição de lã de vidro nas vedações verticais de madeira não se mostrou eficaz o suficiente para a mudança necessária de temperatura para classificação intermediária.

Mas a situação muda com a utilização da lã de vidro apenas na cobertura. Nesta situação obteve-se desempenho intermediário em dois dos quatro parâmetros possíveis. Este fato evidencia que a troca de calor que ocorre através do forro com a cobertura é um dos pontos críticos para este ambiente, assim como ocorreu em outros cômodos localizados no segundo ambiente.

As modificações utilizadas em conjunto com a lã de vidro na cobertura, e a lã de vidro nas paredes de madeira ou todas as modificações foram as únicas capazes de obter classificação superior de desempenho, demonstrando que o quarto 1 exige certo esforço e estudo para melhorias de sua situação para o verão.

**Tabela 33 - Temperatura interna do quarto 1 para o dia crítico de projeto de verão**

<b>Temperatura Interna (°C)</b>				
<b>Ambiente:</b>	<b>Quarto 1</b>			
<b>Condição:</b>	<b>Normal</b>	<b>Ventilação</b>	<b>Sombreamento</b>	<b>Ventilação e Sombreamento</b>
Construída	37.26	35.82	35.10	34.39
Lã de Vidro - Parede	36.75	35.26	34.34	33.79
Lã de Vidro - Cobertura	34.21	33.73	31.76	32.22
Lã de Vidro - Parede e Cobertura	33.07	32.86	30.09	31.15
Esquadrias de Vidro	35.61	34.83	34.75	34.17
Todas as Modificações	30.84	31.65	29.57	30.86

**Fonte: Autoria própria**

A tabela a seguir apresenta as diferenças de temperatura entre quarto 1 e o ambiente externo. Para analisar a influência da esquadria de vidro de maneira mais aprofundada se faz necessário a avaliação desta. Observando a diferença entre a edificação conforme construída e a modificação dos vidros das esquadrias nos parâmetros normais de simulação obtém-se uma diferença de 1,65 °C em favor do desempenho térmico. Efetivamente, esses dados demonstram que para o quarto 1 o vidro escolhido para compor a porta para a sacada é de grande importância para a temperatura interna. Tal fato ocorreu de maneira mais discreta em outros ambientes.

Porém com a modificação dos parâmetros de ventilação e sombreamento, o desempenho da edificação conforme construída melhora de maneira considerável, o que não ocorre com a mudança das esquadrias de vidro.

A importância da esquadria de vidro para o quarto 1 é tão importante que também pode ser observada na simulação com todas as intervenções utilizadas em conjunto. Quando comparada através da tabela a seguir com o uso da lã de vidro na cobertura e nas paredes de madeira observa-se uma diminuição de mais de 2 °C para os parâmetros normais. Essa situação muda com utilização de ventilação e sombreamento, onde a diferença cai para 0,29 °C.

Em posse de tais análises é possível verificar que o vidro escolhido possui vantagens para a edificação, principalmente em condições normais, ou seja 1 ren/h de ventilação e sem nenhum instrumento de sombreamento em janelas. Os ambientes do segundo pavimento, os quais possuem mais esquadrias, são os mais beneficiados com esta modificação.

**Tabela 34 - Diferença entre a temperatura interna e externa no verão - Quarto 1**

<b>Diferença de Temperatura (°C)</b>				
<b>Ambiente</b>	<b>Quarto 1</b>			
<b>Condição:</b>	<b>Normal</b>	<b>Ventilação</b>	<b>Sombreamento</b>	<b>Ventilação e Sombreamento</b>
Construída	2.04	0.60	-0.13	-0.84
Lã de Vidro - Parede	1.52	0.03	-0.88	-1.44
Lã de Vidro - Cobertura	-1.01	-1.49	-3.46	-3.01
Lã de Vidro - Parede e Cobertura	-2.16	-2.37	-5.13	-4.08
Esquadrias de Vidro	0.39	-0.40	-0.48	-1.05
Todas as Modificações	-4.38	-3.58	-5.66	-4.37

**Fonte: Autoria própria**

#### 4.2.3 Cozinha

O último ambiente de longa permanência a ser analisado é a sala conjugada com a cozinha. Para efeitos de análise e nomenclatura, este documento tratará este cômodo apenas como cozinha. A tabela 35 apresenta os dados obtidos nas simulações para o dia crítico de projeto de inverno.

Tabela 35 - Temperatura interna da cozinha para o dia crítico de projeto de inverno

<b>Temperatura Interna (°C)</b>	
<b>Ambiente:</b>	<b>Cozinha</b>
<b>Condição:</b>	<b>Normal</b>
Construída	9.72
Lã de Vidro - Parede	9.97
Lã de Vidro - Cobertura	11.43
Lã de Vidro - Parede e Cobertura	11.79
Esquadrias de Vidro	9.54
Todas as Modificações	11.48

Fonte: Autoria própria

A primeira informação importante contida na tabela anterior é que na construção conforme construída e com a utilização da vidros de alta reflectância para as esquadrias obteve classificação intermediária.

Também é possível observar que dentre os ambientes de longa permanência, a cozinha é o que possui temperaturas mais baixas. Se considerar o fato que este cômodo possui uma cobertura diferenciada dos demais, com uma cada de ar muito menor entre as telhas e o forro, este fato se evidencia como algo esperado. Além disso, as esquadrias da cozinha são voltadas para o oeste e para o sul, e trata-se de um ambiente maior, com mais volume de ar. Por estes motivos o desempenho térmico no inverno se deu desta forma.

Tabela 36 - Diferença entre a temperatura interna e externa no inverno - Cozinha

<b>Diferença de Temperatura (°C)</b>	
<b>Ambiente:</b>	<b>Cozinha</b>
<b>Condição:</b>	<b>Normal</b>
Construída	6.78
Lã de Vidro - Parede	7.04
Lã de Vidro - Cobertura	8.49
Lã de Vidro - Parede e Cobertura	8.85
Esquadrias de Vidro	6.60
Todas as Modificações	8.54

Fonte: Autoria própria

Já as tabelas 37 e 38 contém as temperaturas internas para a cozinha durante o dia crítico de projeto de verão. Observando atentamente, verifica-se que para período quente do ano este ambiente também apresenta problemas de desempenho térmico. A edificação conforme construída obteve classificação mínima apenas com

uso dos parâmetros de ventilação de 5 ren/h e adição de 50% de sombreamento. O uso da lã de vidro apenas nas paredes de madeira manteve os critérios mínimos, não alterando a situação da residência.

Com a adição de lã de vidro a cobertura, substituindo a camada de ar entre a telha e o forro a classificação modificou-se de mínima para intermediária em todas as condições ambientais, demonstrando que este é um fator crítico na troca de calor da cozinha com o ambiente externo. E ainda mais, com o uso deste material na cobertura e nas paredes de madeira é possível classificar este ambiente com critérios superiores de acordo com a NBR 15575 para a condição de sombreamento.

**Tabela 37 - Temperatura interna da cozinha para o dia crítico de projeto de verão**

<b>Temperatura Interna (°C)</b>				
<b>Ambiente:</b>	<b>Cozinha</b>			
<b>Condição:</b>	<b>Normal</b>	<b>Ventilação</b>	<b>Sombreamento</b>	<b>Ventilação e Sombreamento</b>
Construída	36.68	35.50	35.80	34.98
Lã de Vidro - Parede	36.56	35.34	35.62	34.80
Lã de Vidro - Cobertura	32.58	32.71	31.28	32.01
Lã de Vidro - Parede e Cobertura	32.03	32.37	30.56	31.63
Esquadrias de Vidro	35.91	35.06	35.62	34.87
Todas as Modificações	30.73	31.72	30.21	31.46

Fonte: Autoria própria

A utilização de todas as modificações apresenta a menor temperatura interna para a cozinha. Também vale ressaltar assim obtém-se classificação superior. Este demonstra que o conjunto de alterações atende ao que se deseja para residência. Mesmo Assim, apenas a lã de vidro na parede e na cobertura já foram o suficiente para obtenção da classificação superior, na condição de sombreamento.



Tabela 38 - Diferença entre a temperatura interna e externa no verão - Cozinha

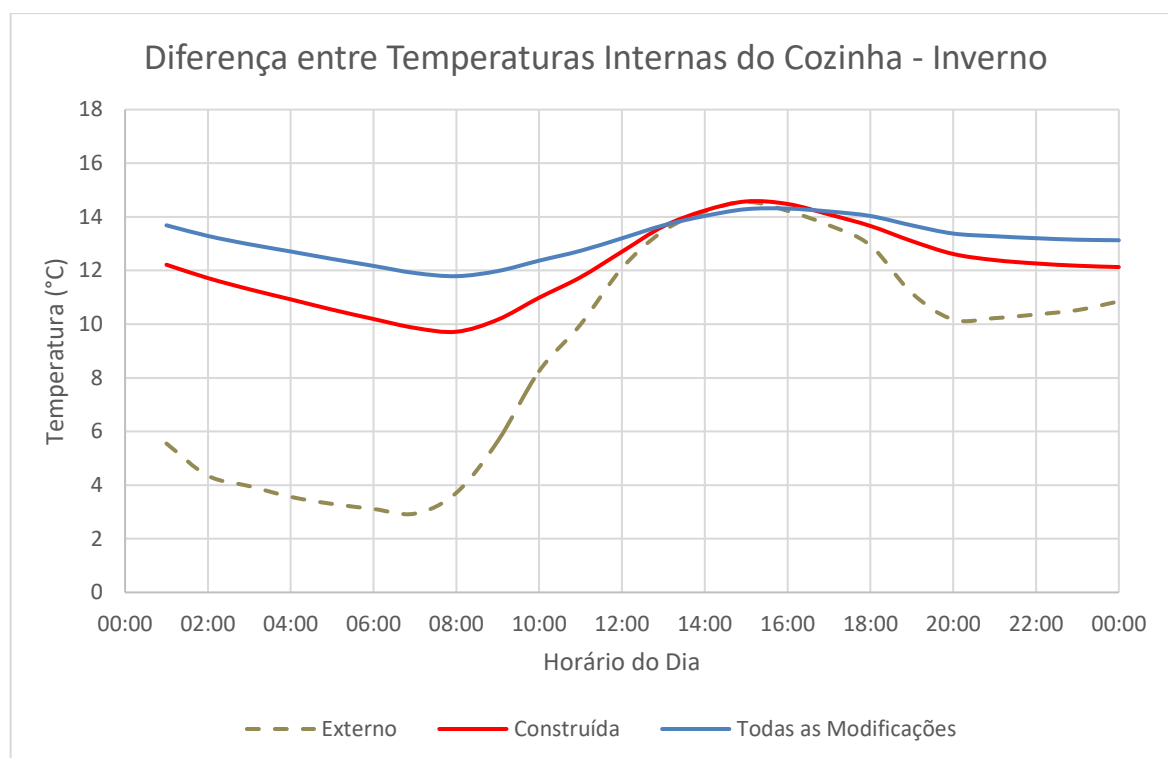
Diferença de Temperatura (°C)				
Ambiente	Cozinha			
Condição:	Normal	Ventilação	Sombreamento	Ventilação e Sombreamento
Construída	1.46	0.27	0.57	-0.25
Lã de Vidro - Parede	1.33	0.12	0.39	-0.42
Lã de Vidro - Cobertura	-2.64	-2.52	-3.95	-3.22
Lã de Vidro - Parede e Cobertura	-3.19	-2.85	-4.67	-3.59
Esquadrias de Vidro	0.69	-0.16	0.40	-0.35
Todas as Modificações	-4.50	-3.50	-5.02	-3.77

Fonte: Autoria própria

Também cabe aqui a análise apenas da esquadria de vidro. A modificação apenas deste material em relação à residência conforme construída não mudou a classificação, mantendo-se como mínima. Além disso, para o dia crítico de projeto de inverno a classificação cai, conforme explicitado anteriormente. Por isso, modificar apenas as esquadrias de vidro não se demonstrou eficaz, sendo necessárias outras modificações utilizadas em conjunto.

#### 4.3 ANÁLISE GRÁFICA

Para uma análise mais completa pode-se observar o comportamento do desempenho térmico dos ambientes através de gráficos, onde as curvas representam a variação de temperatura ao longo do dia crítico de projeto, seja para inverno ou verão. A figura 12 apresenta o comportamento da temperatura interna da cozinha em relação ao ambiente externo ao longo do dia crítico de projeto de inverno.



**Figura 15 - Gráfico de temperatura para o dia crítico de inverno da cozinha**

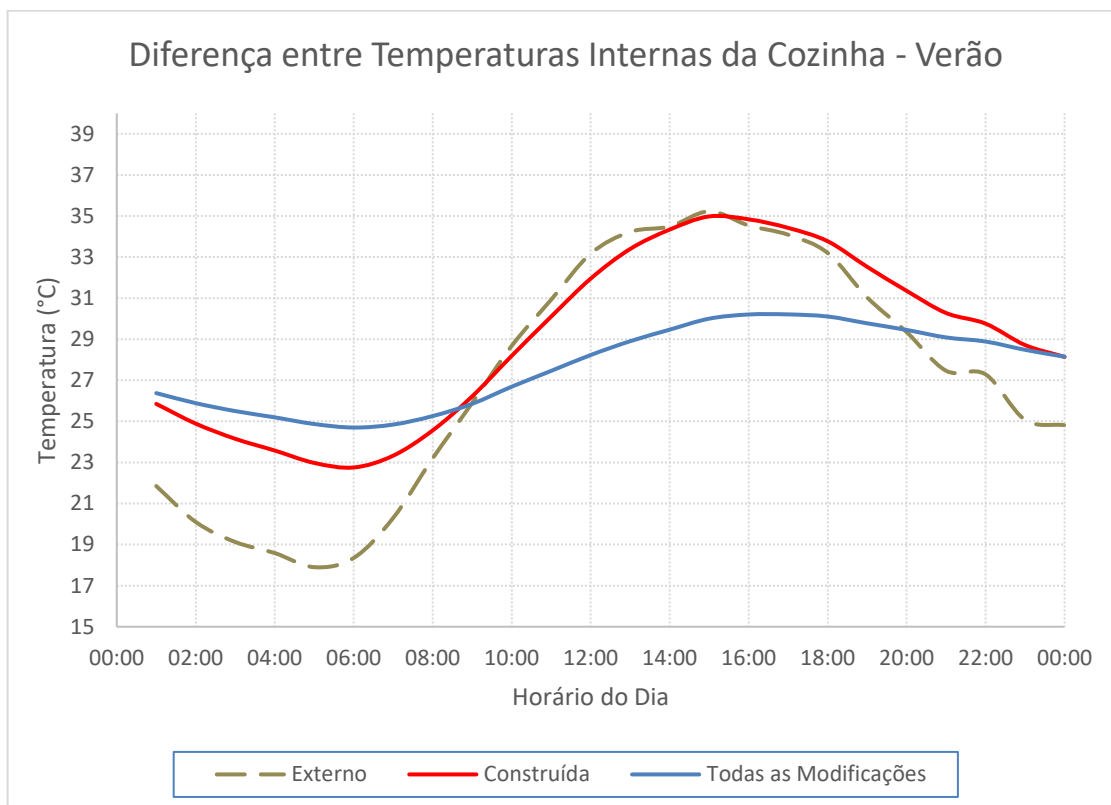
**Fonte: Autoria própria**

Em primeira análise observa-se que a distância dos picos de mínima das curvas contínuas é relativamente grande em relação a tracejada. Isso representa graficamente a diferença de temperatura mínima entre o ambiente externo e interno, portanto quanto maior essa distância melhor será o desempenho. Sendo assim a curva que representa todas as modificações possui o melhor desempenho para a cozinha.

Ainda assim é possível observar a diferença entre as linhas contínuas, que mostra como a mudança de materiais afeta a temperatura ao longo do dia crítico de projeto de inverno. A curva que representa todas as modificações possui amplitude menor ao longo do dia, ou seja, uma curva mais suave com pouca variabilidade. Efetivamente o ambiente apresenta constância em sua temperatura interna não sofrendo, com grandes ganhos ou perda de calor por conta do externo.

A figura 13 apresenta o mesmo ambiente e seu comportamento para o dia crítico de projeto de verão. A análise deste gráfico se dá de maneira um pouco diferente do anterior visto que o dado mais importante das três curvas é o pico de

máxima. Sendo assim é possível observar que a curva da edificação construída é a mais impactada pela temperatura externa, com as máximas muito próximas uma da outra. Isso quer dizer que este ambiente obteve classificação mínima segundo os critérios da NBR 15575.



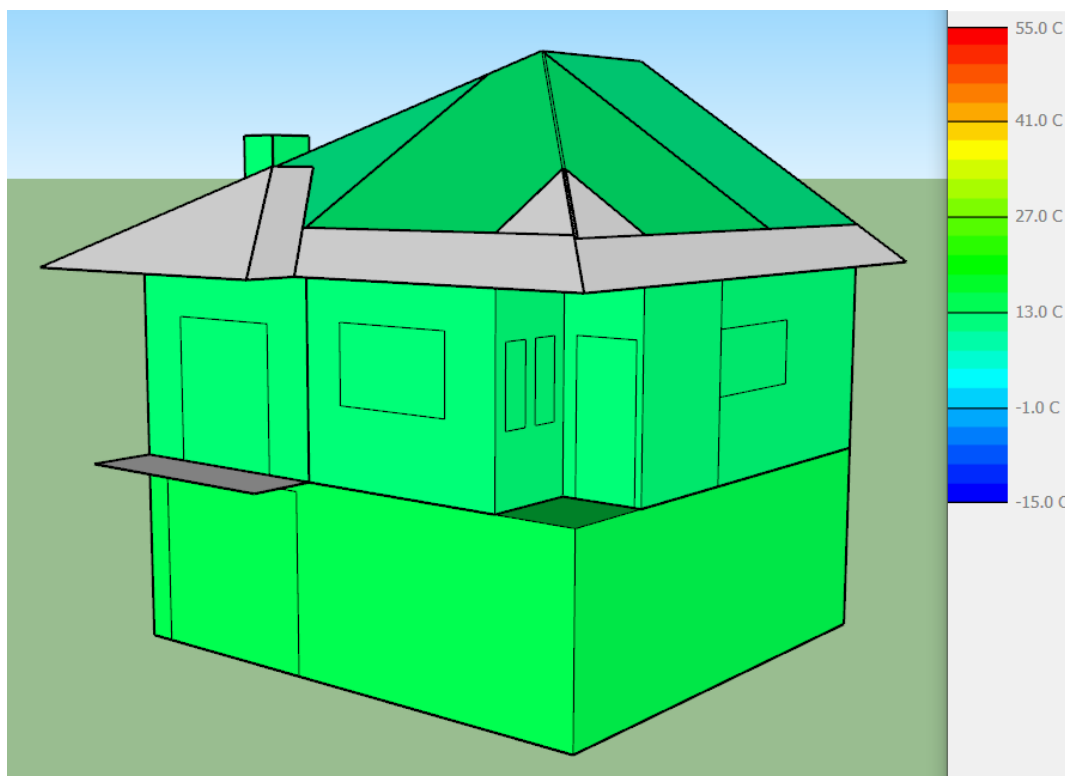
**Figura 16 - Gráfico de temperatura para o dia crítico de verão da cozinha**

**Fonte: Autoria própria**

Já a curva referente a todas as modificações mostra que o ambiente externo influencia em menor intensidade o comportamento da temperatura interna da cozinha, fato evidenciado pela baixa variabilidade desta curva. Além disso, observa-se que a distância vertical entre os picos de ambas as curvas é mais distante, demonstrando a classificação superior deste ambiente.

O conjunto de softwares utilizados para a modelagem (*SketchUp* e *Eclid*) tem uma função extra que é visualizar a edificação em 3D com escala de cores representando a temperatura interna de cada ambiente em qualquer data. Essa análise pode ser feita após a simulação do desempenho térmico realizada pelo *energyplus*. Abaixo serão apresentadas as imagens da residência para as datas

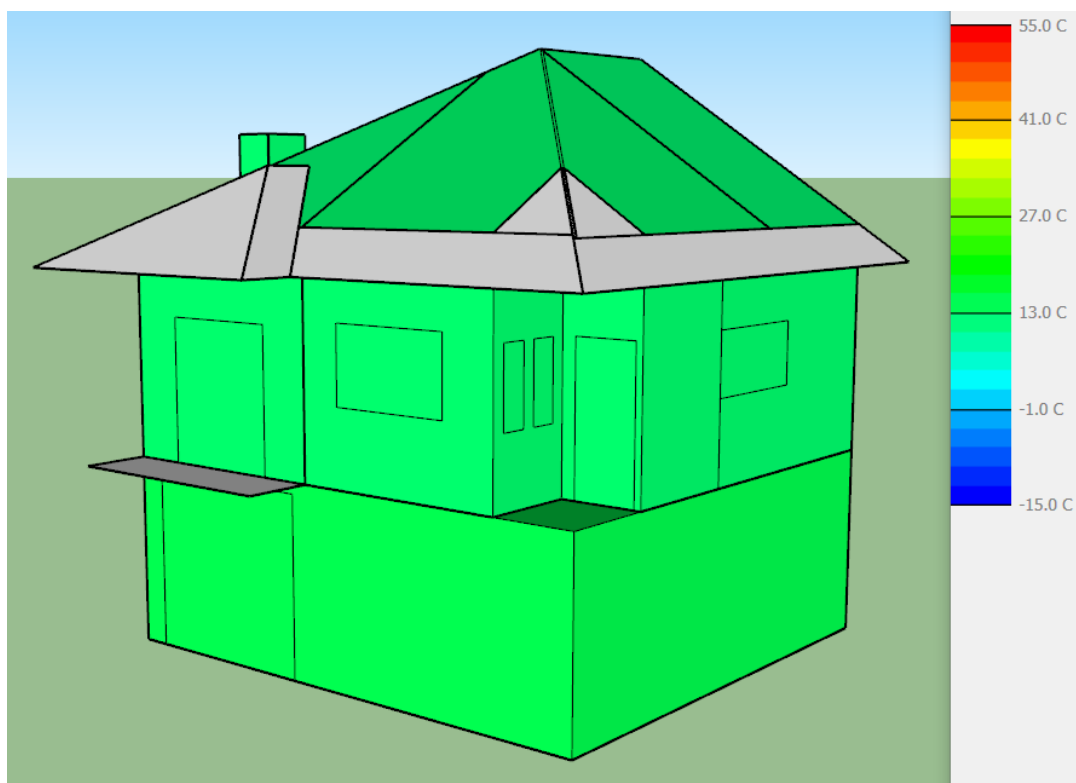
respectivas dos dias de projeto de inverno e verão, bem como o horário que ocorreram os picos de mínima e de máxima.



**Figura 17 - Modelo 3D da edificação construída para o dia crítico de projeto de inverno**

**Fonte: Autoria própria**

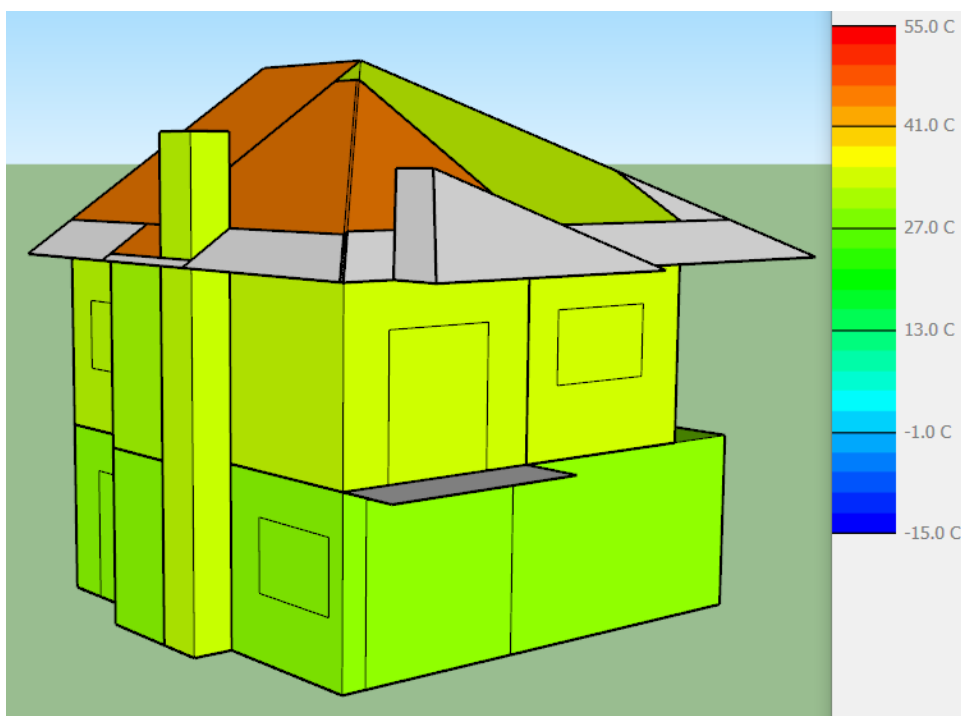
Sobre as figuras apresentadas do modelo 3D é de extrema importância ressaltar que para o dia crítico de projeto de inverno utilizou-se as condições ambientais normais. Já o caso do verão é diferente, em que se obteve melhores resultados em relação a casa conforme construída com ventilação de 5 ren/h e sombreamento de 50% das esquadrias, e a figura com todas as modificações na condição de sombreamento.



**Figura 18 - Modelo 3D da edificação com todas as modificações para o dia crítico de projeto de inverno**

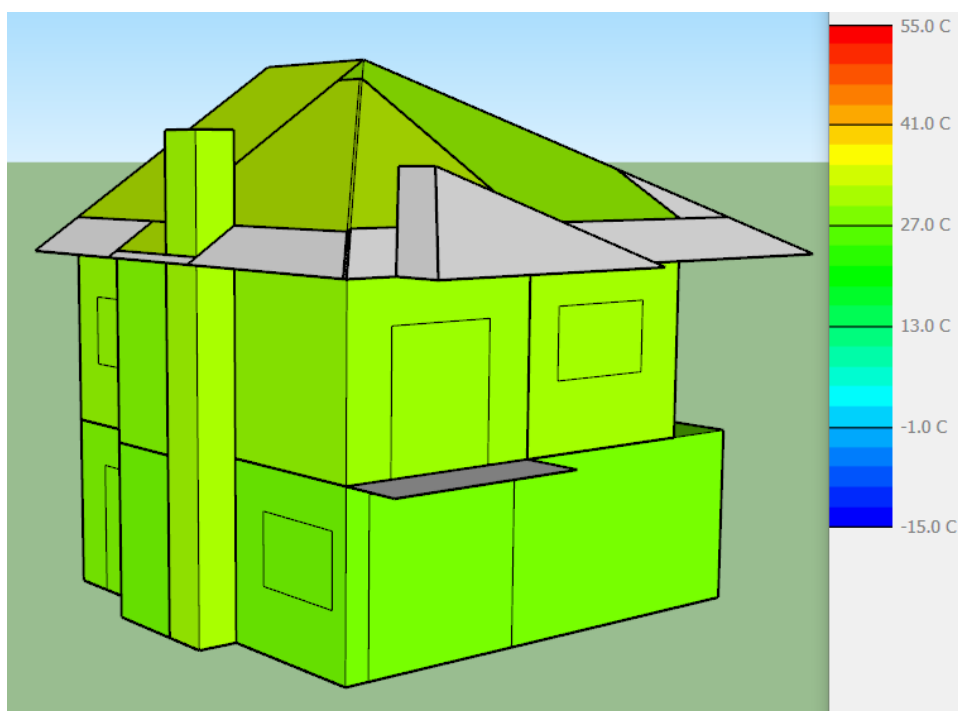
**Fonte: Autoria própria**

Sobre a figura a seguir é observável um dado que não consta nas tabelas, que é a temperatura que ocorre na cobertura acima dos quartos e do banheiro, e esta se apresenta na cor laranja. Isso porque na condição construída esta obteve desempenho térmico ruim, aquecendo os ambientes adjacentes. Já na figura 17 esta situação muda por conta do uso de uma camada de lã de vidro logo abaixo das telhas cerâmicas.



**Figura 19 - Modelagem 3D da edificação construída para o dia crítico de projeto de verão**

**Fonte: Autoria própria**



**Figura 20 - Modelo 3D da edificação com todas as modificações para o dia crítico de projeto de verão**

**Fonte: Autoria própria**

## 5 CONCLUSÃO

Realizadas todas as simulações observa-se que os materiais empregados para melhoria do desempenho para o dia crítico de verão não contribuíram para aumento de temperatura interna no período do inverno, realizando efeito inverso, porém em números absolutos de pequena ordem.

Uma das particularidades do *software* diz respeito a polígonos não convexos. Existe uma impossibilidade de simular superfícies deste tipo. Durante o processo de modelagem se faz necessário a identificação destes com modificações para que todos os polígonos sejam convexos.

Em relação aos ambientes não convexos não há impedimento para que ocorra a simulação. Mas, se uma das variáveis de saída for a temperatura de superfície podem ocorrer erros nos valores encontrados. Este trabalho não foi afetado pois as únicas variáveis necessárias para todas as análises são as temperaturas externas e as temperaturas médias do ar das zonas térmicas. Em testes realizados verificou-se que estes não foram afetados pela presença de ambientes não convexos.

Sobre a análise das modificações realizadas, verificou-se que para este objeto de estudo o ponto mais crítico em relação ao desempenho térmico está nos materiais da cobertura, que inclui o telhado e o forro. Demais alterações também demonstraram eficiência, porém com valores menores. Existem outras estratégias que melhoram o desempenho térmico passivo da edificação. Contudo optou-se por modificações que não alterassem a estética da residência, ou seja, não alterou nem projeto nem materiais de acabamento de maneira substancial.

Quando analisadas as modificações isoladas, ou seja, verificar o efeito causado por apenas uma modificação por vez, verifica-se que a adição de uma camada de lã de vidro apenas na cobertura é a que mais beneficia a edificação estudada, seja para o dia crítico de inverno ou verão. Na maioria dos ambientes essa modificação é suficiente para modificar a classificação do desempenho. Esta análise é importante, pois numericamente essa modificação contribui mais do que as demais, sendo que para o verão, todas as modificações melhoram as condições do ambiente, mas em valores absolutos distintos. Isso quer dizer que mesmo que todas as

modificações em conjunto apresentem a menor temperatura nos cômodos, quem mais contribui é a adição da lã de vidro na cobertura.

Quanto ao caso da utilização da lã de vidro nas paredes de madeira ou a substituição do vidro utilizados nas esquadrias (analisados separadamente), é possível observar que não contribuíram numericamente tanto quanto a lã de vidro na cobertura. Se observar mais atentamente, o uso da lã de vidro nas vedações verticais contribuiu significativamente apenas no quarto 1, que possui todas as paredes externas deste tipo, o que não ocorre no quarto 2 e na cozinha. Portanto, existe coerência neste resultado.

Quanto à substituição do vidro das esquadrias é necessário observar alguns pontos. Para a situação de verão se faz pertinente a comparação com a edificação conforme construída. Se observados os resultados obtidos na condição normal, observa-se que a diferença de temperatura em geral é mais expressiva para os ambientes de longa permanência. Essa análise, descrita desta mesma forma, muda quando se observam demais resultados. Ou seja, as condições de ventilação, sombreamento e ventilação e sombreamento beneficiam mais a edificação conforme construída do que a substituição dos vidros utilizados nas esquadrias.

A substituição do vidro das esquadrias resultou para o período do inverno nesta edificação em específico gerou resultado adverso, ou seja, diminuiu a temperatura, mas em valores numéricos pequenos. Ainda não são de certa relevância, visto que em um dos ambientes foi o suficiente para diminuir a classificação do mesmo.

Feitas as análises sobre a utilização da lã de vidro nas paredes de madeira e a substituição dos vidros das esquadrias conclui-se que ambos obtiveram resultados numéricos em relação a diminuição da temperatura para a estação do verão menores, com valores menores que 1°C para o objeto de estudo contido neste documento. Se utilizadas dentro de um conjunto de modificações a contribuição é relevante, porém, isoladamente podem não gerar o resultado esperado, visto que para alguns cômodos não resultaram em mudança de classificação.

No que diz respeito ao procedimento de simulação é importante ressaltar que não há fontes de calor interna à edificação. Efetivamente isto significa dizer que



dependendo do uso dos ambientes, dos equipamentos elétricos, aparelhos de aquecimento ou resfriamento do ambiente utilizados e da quantidade de pessoas as temperaturas reais podem se tornar muito diferentes das simuladas. Mas para que a norma seja acessível a todos os tipos de edificações residenciais tais parâmetros não são considerados.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-1: Desempenho térmico de edificações - Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-2: Desempenho térmico de edificações - Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

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. Rio de Janeiro, 2005.

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

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

CHVATAL, K. M. S. Avaliação do procedimento simplificado da NBR 15575 para determinação do nível de desempenho térmico de habitações. **Ambiente Construído**, v. 14, n. 4, p. 119–134, 4 out. 2014.

DIDONÉ, Evelise Leite; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. Simulação computacional integrada para a consideração da luz natural na avaliação do desempenho energético de edificações. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 4, p. 139–154, 2010. Disponível em: <<https://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/12108/10601>>. Acesso em: 26 nov. 2020.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. 7. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2003.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **População no último censo**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/pato-branco/panorama>>. Acesso em: 15 nov. 2019.

KERN, A. P.; SILVA, A.; KAZMIERCZAK, C. DE S. K. S. O PROCESSO DE IMPLANTAÇÃO DE NORMAS DE DESEMPENHO NA CONSTRUÇÃO: UM COMPARATIVO ENTRE A ESPANHA (CTE) E BRASIL (NBR 15575/2013). **Gestão & Tecnologia de Projetos**, v. 9, n. 1, p. 89–102, 2014.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3. ed. Rio de Janeiro: PROCEL, Eletrobras, Ministério de Minas e Energia e Governo Federal do Brasil, 2014.

LAMBERTS, Roberto. **Desempenho Térmico de Edificações**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2016.

LAMBERTS, R. et al. **Casa eficiente: Bioclimatologia e Desempenho Térmico**. Florianópolis: UFSC/LabEEE, 2010. 1 v.

LAMBERTS, R. et al. **Casa eficiente: Simulação Computacional do Desempenho Termo-Energético**. Florianópolis: UFSC/LabEEE, 2010. 4 v.

RUPP, R. F. et al. Conforto térmico humano em escritórios com sistema central de condicionamento artificial em clima subtropical úmido: estudos de campo vs. abordagem analítica. **Ambiente Construído**, v. 17, n. 1, p. 111–123, mar. 2017. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1678-86212017000100111&lng=en&nrm=iso&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1678-86212017000100111&lng=en&nrm=iso&tlng=pt)>. Acesso em: 15 nov. 2019.

SORGATO, M. J.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. Análise do método de simulação de desempenho térmico da norma NBR 15.575. **Paranoá: cadernos de arquitetura e urbanismo**, n. 12, 29 set. 2014.

TABALIPA, N. L.; FIORI, A. P. Estudo Do Clima Do Município De Pato Branco, Paraná. **Synergismus scyentifica UTFPR**, v. 3, n. 4, 3 nov. 2008. Disponível em: <<http://revistas.utfpr.edu.br/pb/index.php/SysScy/article/view/287>>. Acesso em: 15 nov. 2019.

VEIGA, RODOLFO KIRCH. et al. **MANUAL DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE EDIFÍCIOS NATURALMENTE VENTILADOS NO PROGRAMA ENERGYPLUS**. 9.0.1 ed. Florianópolis: LabEEE, 2019.

WESTPHAL, FERNANDO SIMON. et al. **MANUAL TÉCNICO DO VIDRO PLANO PARA EDIFICAÇÕES**. 3 ed. São Paulo: ABIVIDRO, 2016.

YOUNG, HUGH D; FREEDMAN, ROGER A. **Física II: Termodinâmica e ondas**. 12. ed. São Paulo: Addison Wesley, 2008.

## ANEXO A

Tabela 39 - Resistência térmica superficial interna e externa

$R_{si}$ (m <sup>2</sup> .K)/W			$R_{se}$ (m <sup>2</sup> .K)/W		
Direção do fluxo de calor			Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente
⇒	— ↑	↓ —	⇒	— ↑	↓ —
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Fonte: ABNT NBR 15220-2 (2005)

## ANEXO B

Tabela 40 - Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas, com largura muito maior que a espessura

Natureza da superfície da câmara de ar	Espessura "e" da câmara de ar cm	Resistência térmica $R_{ar}$ $m^2.K/W$		
		Direção do fluxo de calor		
		Horizontal	Ascendente	Descendente
		⇔	↑	↓
Superfície de alta emissividade $\varepsilon > 0,8$	$1,0 \leq e \leq 2,0$	0,14	0,13	0,15
	$2,0 < e \leq 5,0$	0,16	0,14	0,18
	$e > 5,0$	0,17	0,14	0,21
Superfície de baixa emissividade $\varepsilon < 0,2$	$1,0 \leq e \leq 2,0$	0,29	0,23	0,29
	$2,0 < e \leq 5,0$	0,37	0,25	0,43
	$e > 5,0$	0,34	0,27	0,61

NOTAS

- $\varepsilon$  é a emissividade hemisférica total.
- Os valores para câmaras de ar com uma superfície refletora só podem ser usados se a emissividade da superfície for controlada e previsto que a superfície continue limpa, sem pó, gordura ou água de condensação.
- Para coberturas, recomenda-se a colocação da superfície refletora paralelamente ao plano das telhas (exemplo C.6 do anexo C); desta forma, garante-se que pelo menos uma das superfícies - a inferior - continuará limpa, sem poeira.
- Caso, no processo de cálculo, existam câmaras de ar com espessura inferior a 1,0 cm, pode-se utilizar o valor mínimo fornecido por esta tabela.

Fonte: ABNT NBR 15220-2 (2005)

## APÊNDICE A – PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS

Nome	LASTRO	CONCRETO PAV1	ARGAMASSA PAV1	CERAMICA
Rugosidade	VeryRough	Rough	MediumRough	VerySmooth
Espessura (m)	0.05	0.07	0.04	0.01
Condutividade (W/m*K)	0.7	1.75	1.15	1.05
Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	1250	2400	1950	2000
Calor Específico (J/Kg*K)	800	1000	1000	920
Absortância Térmica	0.9	0.75	0.5	0.25
Absortância Solar	0.9	0.75	0.5	0.25
Absortância Visível	0.9	0.75	0.5	0.25

Nome	EMBOCO	BLOCO CERAMICO	IMPERMEABILIZANTE	EPS
Rugosidade	MediumSmooth	MediumRough	Smooth	MediumRough
Espessura (m)	0.03	0.01	0.001	0.07
Condutividade (W/m*K)	1.15	1.05	0.43	0.04
Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	1950	1900	1600	25
Calor Específico (J/Kg*K)	1000	920	920	1420
Absortância Térmica	0.3	0.8	0.98	0.2
Absortância Solar	0.3	0.8	0.98	0.2
Absortância Visível	0.3	0.8	0.98	0.2

Nome	CONC LAJ EPS	ARG LAJ EPS	ACIII	LAMINADO	ALUMINIO ACM
Rugosidade	Rough	MediumRough	MediumSmooth	Smooth	VerySmooth
Espessura (m)	0.05	0.04	0.005	0.007	0.001
Condutividade (W/m*K)	1.75	1.15	1.15	0.29	230
Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	2400	1950	2000	900	2700
Calor Específico (J/Kg*K)	1000	1000	1000	1340	880
Absortância Térmica	0.75	0.5	0.75	0.8	0.2
Absortância Solar	0.75	0.5	0.75	0.8	0.2
Absortância Visível	0.75	0.5	0.75	0.8	0.2

Nome	POLIETILENO ACM	PORTA MAD	PAREDE MAD	FORRO MAD	TELHA
Rugosidade	VerySmooth	VerySmooth	VerySmooth	VerySmooth	MediumRough
Espessura (m)	0.001	0.03	0.03	0.01	0.02
Condutividade (W/m*K)	0.4	0.29	0.29	0.23	1.05
Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	1300	900	900	600	1900
Calor Específico (J/Kg*K)	100	1340	1340	1340	920
Absortância Térmica	0.2	0.6	0.6	0.5	0.8
Absortância Solar	0.2	0.6	0.6	0.5	0.8
Absortância Visível	0.2	0.6	0.6	0.5	0.8

Nome	LA DE VIDRO - PAREDE	LA DE VIDRO - TELHADO
Rugosidade	VeryRough	VeryRough
Espessura (m)	0.09	0.1
Condutividade (W/m*K)	0.045	0.045
Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	55	55
Calor Específico (J/Kg*K)	700	700
Absortância Térmica	0.3	0.3
Absortância Solar	0.3	0.3
Absortância Visível	0.3	0.3

Nome	AR BLOCO	AR PAREDE	AR TELHADO
Resistência Térmica(m <sup>2</sup> *K/W)	0.16	0.17	0.21

Name	COMUM 4MM	COMUM 6MM	N14clear 6mm	N14clear 8mm
Optical Data Type	SpectralAverage	SpectralAverage	SpectralAverage	SpectralAverage
Window Glass Spectral Data Set Name				
Espessura (m)	0.004	0.006	0.006	0.008
Transmitância à radiação solar (incidência normal)	0.775	0.775	0.12	0.09
Refletância à radiação solar na face 1 (incidência normal)	0.071	0.071	0.29	0.32
Refletância à radiação solar na face 2 (incidência normal)	0.071	0.071	0.43	0.28
Transmitância à radiação solar no espectro visível (incidência normal)	0.881	0.881	0.14	0.16
Refletância à radiação visível na face 1 (incidência normal)	0.08	0.08	0.32	0.34
Refletância à radiação visível na face 2 (incidência normal)	0.08	0.08	0.4	0.31
Emissividade em ondas longas na face 1	0.84	0.84	0.84	0.84
Emissividade em ondas longas na face 2	0.84	0.84	0.34	0.84
Condutividade (W/m*K)	0.9	0.9	1	1