



UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI – UNIVATES  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE HABITAÇÕES DO  
PROGRAMA NACIONAL DE HABITAÇÃO RURAL NO MUNICÍPIO  
DE VESPASIANO CORRÊAS**

Gabriela Trevisol Loss

Lajeado, novembro de 2019

Gabriela Trevisol Loss

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE HABITAÇÕES DO  
PROGRAMA NACIONAL DE HABITAÇÃO RURAL NO MUNICÍPIO DE  
VESPASIANO CORRÊA/RS**

Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso - Etapa II, do curso de Engenharia Civil, da Universidade do Vale do Taquari - UNIVATES, como exigência parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Spinelli

Lajeado, novembro de 2019

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, primeiramente, por me possibilitar concluir esta etapa tão importante da minha vida.

Agradeço aos meus pais, Elio e Ilone, e minha irmã Giullia, por todo amor, ajuda e compreensão nos momentos que tive que me ausentar durante esta pesquisa. Ao meu namorado, Ricardo, por todo apoio, cumplicidade e palavras de incentivo. E ao meu filho Murilo, minha maior motivação, que mesmo nos seus primeiros meses de vida, esteve sempre ao meu lado durante todo esse estudo.

Agradeço aos meus sogros, amigos e familiares por todo incentivo e apoio prestado.

Agradeço ao meu orientador e amigo Dr. Rodrigo Spinelli por todo auxílio, atenção, disponibilidade, paciência e dedicação nesta caminhada.

E por fim, agradeço à equipe do Itt Perfomace da Unisinus, pela disponibilidade e por não medirem esforços nas orientações quanto ao uso do software *EnergyPlus*.

## RESUMO

O desempenho térmico é um dos pontos determinantes na busca por habitações que proporcionem conforto e qualidade de vida, além de reduzir os impactos causados ao meio ambiente, uma vez que, a construção civil se destaca entre os setores que mais o afetam. Para obter um bom desempenho térmico, que atenda aos critérios exigidos pela NBR 15575 (ABNT, 2013), fatores como o sistema construtivo e a materialidade influenciam, significativamente. Baseado nessa contextualização, o presente estudo objetiva avaliar o desempenho térmico de quatro habitações pertencentes ao Programa Nacional de Habitação Rural, no município de Vespasiano Corrêa/RS, através de simulações computacionais, utilizando o software *EnergyPlus*, indicado pela ABNT NBR 15575:2013. Analisaram-se novas materialidades e diferentes isolantes térmicos, avaliando a influência de cada um deles, frente ao desempenho térmico, com o intuito de apontar alternativas de melhoria a serem aplicadas nas habitações em questão e também, habitações futuras. Com os resultados obtidos, constatou-se que as habitações analisadas apresentam conforto térmico abaixo do mínimo previsto em norma no verão. Ainda, foi possível determinar quais os sistemas construtivos que tiveram maior influência, de forma positiva, no desempenho térmico. O sistema construtivo do forro apresentou a maior influência na temperatura interna das habitações, na estação do verão, enquanto que, no inverno, foi o sistema construtivo das paredes. Quando aplicado a materialidade de melhor resultado, como solução para as habitações existentes, obteve-se uma melhora na temperatura interna de 4,7°C, no verão, e 1,49°C, no inverno, enquanto que, na análise como solução para as habitações futuras, foi possível atingir uma melhora de 7,4°C, no verão e 4,9°C no inverno, alcançando níveis de desempenho térmico satisfatórios, em ambos os casos.

**Palavras chave:** Conforto térmico. Habitações. Materialidade. Isolantes térmicos. *EnergyPlus*.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Consumo de energia elétrica em edificações com relação ao PIB.....	20
Figura 2 – Gráfico da participação por setor do consumo de energia .....	21
Figura 3 - Poliestireno expandido (EPS) .....	26
Figura 4 – Lã de rocha em rolo .....	27
Figura 5 – Lã de vidro em rolo.....	28
Figura 6 – Palha de soja .....	29
Figura 7 – Sabugo de milho .....	29
Figura 8 – Casca de pinus.....	30
Figura 9 – Zonas Bioclimáticas do Brasil .....	32
Figura 10 – Classificação Bioclimática do município de Vespasiano Corrêa .....	32
Figura 11 – Estruturação da NBR 15575 (ABNT, 2013).....	34
Figura 12 – Interface principal (EP-Launch).....	39
Figura 13 – Fluxograma do estudo.....	43
Figura 14 – Fachadas frontais das habitações.....	44
Figura 15 – Fachadas da habitação analisada.....	44
Figura 16 – Planta Baixa das habitações .....	46
Figura 17 – Modelo de alvenaria estrutural utilizado .....	48
Figura 18 – Modelo de telhado utilizado.....	48
Figura 19 – Modelo geométrico da habitação .....	50

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Análise do dia típico de verão (cobertura) .....	56
Gráfico 2 – Análise do dia típico de inverno (cobertura).....	57
Gráfico 3 – Análise do dia típico de verão (forro) .....	60
Gráfico 4 – Análise do dia típico de inverno (forro) .....	62
Gráfico 5 – Análise do dia típico de verão (parede) .....	65
Gráfico 6 – Análise do dia típico de inverno (parede).....	67
Gráfico 7 – Análise do dia típico de verão (vidros) .....	70
Gráfico 8 – Análise do dia típico de inverno (vidros) .....	71
Gráfico 9 - Análise do dia típico de verão (cores).....	73
Gráfico 10 – Análise do dia típico de inverno (cores) .....	74
Gráfico 11 – Variação de temperatura de acordo com o sistema construtivo .....	75
Gráfico 12 – Análise final do dia típico de verão (habitações existentes).....	77
Gráfico 13 – Análise final do dia típico de inverno (habitações existentes) .....	78
Gráfico 14 - Análise final do dia típico de verão (habitações futuras).....	80
Gráfico 15 - Análise final do dia típico de inverno (habitações futuras).....	80

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Temperaturas máximas permitidas no verão .....	36
Quadro 2 – Temperaturas máximas permitidas no inverno.....	37
Quadro 3 – Níveis de desempenho térmico .....	37
Quadro 4 – Sistema construtivo das habitações .....	47
Quadro 5 – Materialidade analisada.....	49
Quadro 6 – Etapas da simulação computacional .....	50
Quadro 7 – Nível de desempenho térmico .....	58
Quadro 8 – Nível de desempenho térmico .....	63
Quadro 9 – Nível de desempenho térmico .....	68
Quadro 10 – Nível de desempenho térmico .....	72
Quadro 11 – Nível de desempenho térmico .....	75
Quadro 12 – Nível de desempenho térmico .....	79
Quadro 13 – Nível de desempenho térmico .....	82

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros de conforto no verão .....	23
Tabela 2 – Parâmetros de conforto no inverno .....	23
Tabela 3 – Tamanho de cada ambiente .....	47
Tabela 4 – Propriedades físico-térmicas .....	51
Tabela 5 - Propriedades ópticas dos vidros .....	52
Tabela 6 – Dias típicos de verão e inverno .....	53
Tabela 7 – Temperaturas máximas do dia típico de verão por ambiente .....	54
Tabela 8 – Temperaturas mínimas do dia típico de inverno por ambiente .....	55
Tabela 9 – Picos de temperatura no dia típico de verão .....	56
Tabela 10 – Picos de temperatura no dia típico de inverno .....	57
Tabela 11 – Temperaturas máximas do dia típico de verão por ambiente .....	59
Tabela 12 – Temperaturas mínimas do dia típico de inverno por ambiente .....	59
Tabela 13 - Picos de temperatura no dia típico de verão .....	60
Tabela 14 – Picos de temperatura no dia típico de inverno .....	62
Tabela 15 – Temperaturas máximas do dia típico de verão por ambiente .....	64
Tabela 16 – Temperaturas mínimas do dia típico de inverno por ambiente .....	64
Tabela 17 – Picos de temperatura no dia típico de verão .....	66
Tabela 18 – Picos de temperatura no dia típico de inverno .....	67
Tabela 19 – Temperaturas máximas do dia típico de verão por ambiente .....	69
Tabela 20 – Temperaturas mínimas do dia típico de inverno por ambiente .....	69
Tabela 21 – Picos de temperatura no dia típico de verão .....	70
Tabela 22 – Picos de temperatura no dia típico de inverno .....	71
Tabela 23 – Temperaturas máximas do dia típico de verão por ambiente .....	72
Tabela 24 – Temperaturas mínimas do dia típico de inverno por ambiente .....	72
Tabela 25 – Picos de temperatura no dia típico de verão .....	73
Tabela 26 – Picos de temperatura no dia típico de inverno .....	74
Tabela 27 – Materialidade de melhor resultado .....	76

Tabela 28 – Temperaturas máximas do dia típico de verão por ambiente .....	76
Tabela 29 – Temperaturas mínimas do dia típico de inverno por ambiente .....	77
Tabela 30 – Picos de temperatura no dia típico de verão e inverno.....	78
Tabela 31 – Temperaturas máximas do dia típico de verão por ambiente .....	79
Tabela 32 – Temperaturas mínimas do dia típico de inverno por ambiente .....	79
Tabela 33 – Picos de temperatura no dia típico de verão e inverno.....	81

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIBLAS E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BEN	Balanco Energético Nacional
EPS	Poliestireno expandido
FGTS	Fundo de Garantia de Serviço
Inmetro	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
NBR	Norma Brasileira Registrada
PMCMV	Programa Minha Casa Minha Vida
PNHR	Programa Nacional de Habitação Rural
PNHU	Programa Nacional de Habitação Urbana
RS	Rio Grande do Sul
RTQ-R	Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais
RTQ-C	Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais de Serviço e Públicas
ZBBR	Zoneamento Bioclimático do Brasil

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>1.1 Problema da pesquisa .....</b>	<b>13</b>
<b>1.2 Objetivos .....</b>	<b>14</b>
<b>1.2.1 Objetivo geral .....</b>	<b>14</b>
<b>1.2.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>14</b>
<b>1.3 Justificativa.....</b>	<b>14</b>
<b>1.4 Delimitação do trabalho.....</b>	<b>15</b>
<b>1.5 Estrutura do trabalho .....</b>	<b>15</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1 Programas Habitacionais no Brasil .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1.1 Programa Minha casa minha vida.....</b>	<b>17</b>
<b>2.1.1.1 Programa Nacional de Habitação Rural .....</b>	<b>18</b>
<b>2.2 Sustentabilidade na Construção Civil .....</b>	<b>19</b>
<b>2.3 Eficiência Energética das edificações.....</b>	<b>20</b>
<b>2.4 Conforto Térmico das edificações.....</b>	<b>23</b>
<b>2.5 Materiais de isolamento térmico.....</b>	<b>25</b>
<b>2.5.1 Poliestireno expandido (EPS) .....</b>	<b>25</b>
<b>2.5.2 Lã de rocha .....</b>	<b>26</b>
<b>2.5.3 Lã de vidro .....</b>	<b>27</b>
<b>2.5.4 Palha de soja .....</b>	<b>28</b>
<b>2.5.5 Sabugo de milho .....</b>	<b>29</b>
<b>2.5.6 Casca de pinus .....</b>	<b>30</b>
<b>2.6 Desempenho térmico das edificações .....</b>	<b>30</b>

2.6.1 Normas Brasileiras de Desempenho Térmico .....	31
2.6.2 Simulações computacionais .....	34
2.6.3 Requisitos para a avaliação de desempenho térmico .....	35
2.6.4 Programa <i>EnergyPlus</i> .....	37
2.6.4.1 Estudos de caso .....	40
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>42</b>
3.1 Estrutura do estudo .....	42
3.2 Apresentação das habitações estudadas .....	43
3.2.1 Materialidade da situação real das habitações.....	47
3.2.2 Variáveis definidas para análise .....	48
3.3 Softwares adotados e etapas de avaliação.....	50
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>54</b>
4.1 Materialidade da cobertura.....	54
4.2 Materialidade do forro.....	58
4.3 Materialidade das paredes.....	64
4.4 Materialidade dos vidros .....	68
4.5 Cores da fachada .....	72
4.5 Análise final .....	75
4.5.1 Habitações existentes.....	76
4.5.2 Habitações futuras .....	79
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>83</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>85</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O cenário econômico e populacional brasileiro vem crescendo gradativamente e, com isso, cada vez mais há a necessidade de construir novas edificações. Constatações de Rodrigues (2015) evidenciam que por consequência dessa situação, aumenta a utilização dos recursos naturais para a geração de energia, fazendo com que o setor da construção civil se destaque entre os setores que mais geram impactos ao meio ambiente. Em função disso, o assunto sustentabilidade na construção civil vem sendo muito discutido e orientado por normas, a fim de buscar por métodos que torne as edificações mais sustentáveis.

Devido ao aumento do *déficit* habitacional brasileiro, o Governo criou programas de habitação que visam beneficiar famílias de baixa renda, sem condições para adquirir sua casa própria. Um exemplo atual é o Programa Nacional de Habitação Rural (PHNR), destinado às famílias de trabalhadores rurais de baixa renda, gerenciado pela Caixa Econômica Federal (CEF), pertencente ao Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), criado em 2009 (RODRÍGUEZ, 2016). Segundo Rover e Murani (2010), a iniciativa foi muito positiva, favorecendo milhares de famílias na aquisição do programa.

Porém, a preocupação está na qualidade das mesmas, visto que, em muitas situações, as habitações são precárias, visando apenas a economia e esquecendo da qualidade de vida dos beneficiários. Segundo pesquisa de satisfação, direcionada aos beneficiários do programa e realizada pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, dos cinco quesitos analisados, três apresentaram índice inferior a 6,5, que são: umidade, temperatura e área, confirmando a insatisfação e o desconforto provocado ao usuário devido à queda na qualidade das habitações (BRASIL, 2014)

No que assegura Lamberts *et al.* (2014), o desempenho térmico e a eficiência energética das construções residenciais são fatores determinantes para a qualidade de vida, pois se uma edificação apresentar desempenho térmico e consumir menos energia, logo proporcionará conforto ao usuário, além de se tornar uma edificação sustentável.

Um dos pontos-chaves da questão está na análise do clima local, visto que as características das edificações contribuem no consumo de energia através da troca de calor com o ambiente. De acordo com o clima e as especificações determinadas pelas normas de desempenho, NBR 15220 (ABNT, 2005) e NBR 15575 (ABNT, 2013), busca-se soluções, analisando as propriedades dos materiais, a influência das características das envoltórias, orientação e radiação solar, entre outros elementos, a fim de tornar a edificação eficientemente térmica (CARLO, 2008).

Baseado nesse questionamento, o presente estudo tratou da avaliação do desempenho térmico de edificações que pertencem ao Programa Nacional de Habitação Rural, no município de Vespasiano Corrêa/RS, através de simulações com o uso do software *EnergyPlus*, indicado pela NBR 15575 (ABNT, 2013). Após a avaliação de desempenho, será realizada uma análise da influência de novas variáveis nas habitações, de forma individual, a fim de melhorar o desempenho térmico. Com os melhores resultados obtidos, será feita uma avaliação final com o intuito de apresentar alternativas que melhorem o conforto térmico das habitações em questão, além de habitações futuras.

## **1.1 Problema da pesquisa**

O Programa Nacional de Habitação Rural (PNHR), segundo Rodríguez (2016), foi criado para favorecer os trabalhadores rurais de baixa renda a adquirirem suas próprias casas, entretanto surge a preocupação quanto à qualidade dessas moradias, no que diz respeito ao conforto térmico.

Assim sendo, este estudo tem como problema de pesquisa a seguinte pergunta: Quais as condições térmicas que as edificações pertencentes ao PNHR

apresentam e quais alternativas podem ser apontadas para torná-las favoráveis ao conforto térmico?

## **1.2 Objetivos**

Os objetivos deste trabalho dividem-se em geral e específicos e estão descritos a seguir.

### **1.2.1 Objetivo geral**

Avaliar o desempenho térmico das habitações do Programa Nacional de Habitação Rural (PHNR), no município de Vespasiano Corrêa/RS, através do método de simulações computacionais, indicado pela NBR 15575 (ABNT, 2013).

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- a) Simular o desempenho térmico das habitações com a atual materialidade;
- b) Inserir novas materialidades e analisar a influência de cada uma delas na envoltória;
- c) Apontar alternativas de melhorias frente ao desempenho térmico com a avaliação dos melhores resultados obtidos.

## **1.3 Justificativa**

O Programa Nacional de Habitação Rural é especificamente destinado às pessoas de baixa renda, onde o fator investimento é bastante relevante. Com isso, muitas habitações acabam sendo construídas de forma inadequada, sem apresentar qualidade de vida ao usuário, visando apenas a redução de custos (FERREIRA,

2012). Pensando nisso, este estudo traz como proposta avaliar o desempenho térmico e apresentar melhorias visando conforto aos beneficiários do PNHR.

#### **1.4 Delimitação do trabalho**

Este estudo se limita em analisar habitações do PNHR no município de Vespasiano Corrêa/RS, visando avaliar o desempenho térmico, além de apresentar alternativas que proporcionem melhor conforto ao usuário.

#### **1.5 Estrutura do trabalho**

Este estudo está estruturado em cinco capítulos, sendo que o primeiro capítulo apresenta elementos como a introdução, problema da pesquisa, objetivos gerais e específicos, justificativa, delimitação e a estrutura do trabalho desenvolvido.

No segundo capítulo é abordada uma revisão bibliográfica sobre os programas habitacionais no Brasil e quanto a sustentabilidade na construção civil. Em seguida é apresentado os conceitos e quesitos para obter conforto térmico, abordando os tipos de isolamentos térmicos e as normas de desempenho no Brasil. Por fim, é apresentado o programa *EnergyPlus* e estudos de caso com a utilização do programa onde foram feitas simulações para avaliar o desempenho térmico em edificações.

O terceiro capítulo apresenta a metodologia utilizada no estudo para obter êxito nos objetivos descritos anteriormente.

O quarto capítulo apresenta os resultados obtidos através das simulações realizadas, de acordo com a materialidade aplicada e no quinto capítulo descreve a conclusão averiguada com esse estudo.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Programas Habitacionais no Brasil

A habitação é o *habitat* dos seres humanos, que tem como finalidade servir de abrigo e proteção ao homem. As edificações habitacionais são de extrema relevância, se tratando da redução da pobreza e melhor qualidade de vida aos moradores, visto que muitas famílias ainda não possuem um local digno, de condições básicas para viver (RODRÍGUEZ, 2016).

O *déficit* habitacional está diretamente ligado à extrema pobreza e às pessoas de baixa renda, sem condições de construir sua casa própria. Visando beneficiar essas pessoas, o Governo Federal criou programas habitacionais, como o Programa Minha Casa Minha Vida, financiado pela Caixa Econômica Federal, com o intuito de diminuir o *déficit* habitacional brasileiro e permitir que todos tenham acesso à moradia (FAGUNDES *et al.*, 2013).

Porém, segundo Ferreira (2012), o que muito acontece nas edificações, principalmente as que pertencem aos programas habitacionais é a falta de preocupação com o bem-estar do morador. É muito comum visualizarmos a repetição de projetos do Minha Casa Minha Vida, sem que o mesmo respeite as condições climáticas de cada local ou, então, há muitas habitações construídas com o intuito de reduzir custos, sendo utilizados materiais de baixa qualidade, além de práticas construtivas inadequadas e projetos com dimensões cada vez menores, afetando o conforto e qualidade de vida dos moradores.

Schmid (2005) destaca que a melhor qualidade de uma habitação está no conforto que ela proporciona ao seu usuário, e não apenas em atender às necessidades básicas. Os projetistas devem buscar atender as necessidades dos clientes, visando propiciar a eficiência térmica das edificações, aliadas a eficiência energética e estética da habitação.

### **2.1.1 Programa Minha casa minha vida**

Segundo a Caixa Econômica Federal (2018), o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) foi criado no mês de março de 2009, com o intuito de beneficiar as famílias com renda mensal de até dez salários mínimos, através de financiamentos habitacionais, visto que o maior *déficit* habitacional está ligado às pessoas com renda de até seis salários mínimos. O PMCMV é dividido em dois programas nacionais: o Programa Nacional de Habitação Urbana (PNHU); e o Programa Nacional de Habitação Rural (PNHR).

Conforme D'Amico (2011), a União concedeu ao PNHU e PNHR a quantia de R\$ 2,5 bilhões e R\$ 500 milhões, respectivamente, para facilitar a aquisição do imóvel residencial, visto que o PNHU recebeu um valor mais alto, em função do *déficit* habitacional brasileiro se concentrar nas regiões metropolitanas.

Rolnik e Klink (2011) ressaltam que, mesmo que o Governo auxilie na obtenção do financiamento para a construção da casa própria, é de extrema importância a intervenção dos municípios em disponibilizar bons terrenos, bem como, vistoriar se as edificações seguem o Plano Diretor do local.

Para a Caixa Econômica Federal (2018), o Programa Minha Casa Minha Vida é uma excelente oportunidade para aqueles que não têm condições de comprar ou construir sua casa própria, destacando que o programa vem oportunizando milhares de famílias brasileiras que necessitam de moradias, proporcionando mudanças e favorecendo no desenvolvimento do Brasil.

### 2.1.1.1 Programa Nacional de Habitação Rural

Mesmo as pesquisas apontando que o maior *déficit* habitacional brasileiro se encontra nas grandes cidades, não se pode esquecer do território rural, que também apresenta falta de moradias, além de muitos locais ainda não terem acesso à água encanada, serviços de transporte, telefonia e internet. Devido a isso, o Governo criou junto ao Programa Minha Casa Minha Vida, o Programa Nacional de Habitação Rural, que tem por objetivo incentivar as famílias de trabalhadores rurais a construir ou reformarem suas casas, através de repasses do Orçamento Geral da União e dos financiamentos com o uso do Fundo de Garantia do Tempo de Serviço (FGTS), com o intuito de reduzir o *déficit* habitacional rural (FAGUNDES *et al.*, 2013).

A ideia de iniciar uma política para beneficiar o homem que mora no campo, começou ainda na década de 1990, porém não apresentou muitos resultados e só ganhou forças no ano de 2003, quando se iniciou o Programa Nacional de Habitação Rural, apenas para famílias de um a três salários mínimos, exigindo contrapartida dos beneficiários. Houve novas mudanças em 2004, abrindo mais opções a favor do trabalhador rural, possibilitando a concessão de subsídios para as áreas das habitações (RODRÍGUEZ, 2016).

Rover e Munarini (2010) destacam que, entre os anos de 2003 a 2006, a procura em adquirir o PNHR foi bastante intensa, visto que, durante este período, foram assinados mais de 17 mil contratos, resultando em mais de R\$ 140 milhões. Porém, 63% das famílias inscritas não conseguiram obter o financiamento. Esse fato demonstra a demanda e a importância que o programa proporciona aos seus beneficiários.

Com isso, no ano de 2009, o PNHR ressurgiu com diversas mudanças, a fim de atingir um número ainda maior de famílias que necessitam desse benefício. Dentre as mudanças, houve uma ampliação na faixa de subsídio e menos contrapartida das famílias mais pobres (RODRÍGUEZ, 2016).

Conforme a Caixa Econômica Federal (2018), o Programa Nacional de Habitação Rural foi criado através da Lei 11.977/2009, pelo Governo Federal com o intuito de “possibilitar ao agricultor familiar, trabalhador rural e comunidades

tradicionais o acesso à moradia digna no campo, seja construindo uma nova casa ou reformando/ampliando/concluindo uma existente”.

## **2.2 Sustentabilidade na Construção Civil**

John *et al.*, (2002, p.1) destaca que a palavra sustentabilidade “implica em produzir bens com a menor carga ambiental, de forma a preservar o ambiente de degenerações futuras”. O conceito de sustentabilidade vem sendo discutido em diversas áreas de trabalho, dando ênfase ao ramo da construção civil, que se destaca por ser um dos setores que mais geram impactos negativos ao meio ambiente (OLIVEIRA *et al.*, 2017).

Dos impactos causados pela construção civil, basicamente, pode-se destacar o uso de recursos naturais, a geração de resíduos e o gasto excessivo de energia (KARPINSK *et al.*, 2009). Só será possível diminuir esse impacto se as pessoas se conscientizarem e procurarem por alternativas que visam criar edificações cada vez mais sustentáveis e eficientes energeticamente (MOTTA, 2009).

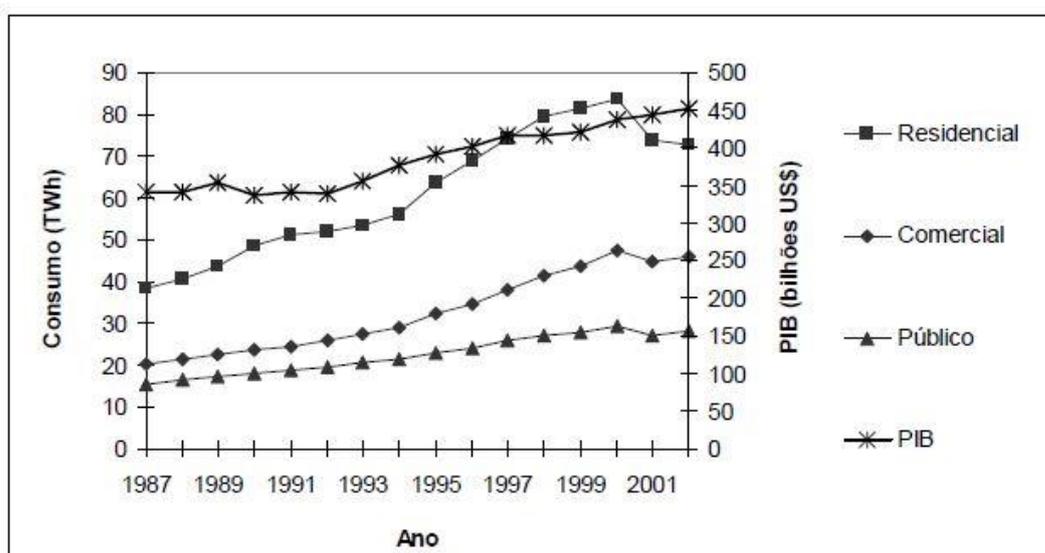
Para Côrtes *et al.*, (2011) um ponto importante para minimizar as consequências negativas geradas ao meio ambiente é a avaliação do impacto ambiental, devendo ser monitorado antes que a edificação seja construída. Das normas e leis que visam uma melhor gestão ambiental, relacionadas à construção civil, destaca-se a Resolução nº 307 que controla a gestão de resíduos, além das normas de desempenho que visam por edificações com melhor desempenho térmico e eficiência energética.

Dentre as características que tornam uma edificação sustentável, ressalta-se o bom desempenho térmico aliado à eficiência energética, uma vez que o consumo de energia é um dos fatores que mais afetam o meio ambiente, ou seja, a eficiência energética está diretamente ligada à sustentabilidade, e conseqüentemente, atada ao conforto térmico das edificações e qualidade de vida dos usuários (LAMBERTS *et al.*, 2014).

### 2.3 Eficiência Energética das edificações

As pesquisas quanto à eficiência energética em edificações deram início na década de 1970, logo após a crise do petróleo, onde países que dependem dele, como os Estados Unidos, precisaram tomar medidas para reduzir o consumo de energia. No Brasil, a preocupação em relação à eficiência energética em edificações deu-se devido ao expressivo aumento do consumo de energia elétrica, mais precisamente, no período de 1987 a 2001, conforme a Figura 1 (MENDES *et al.*, 2005).

Figura 1 – Consumo de energia elétrica em edificações com relação ao PIB



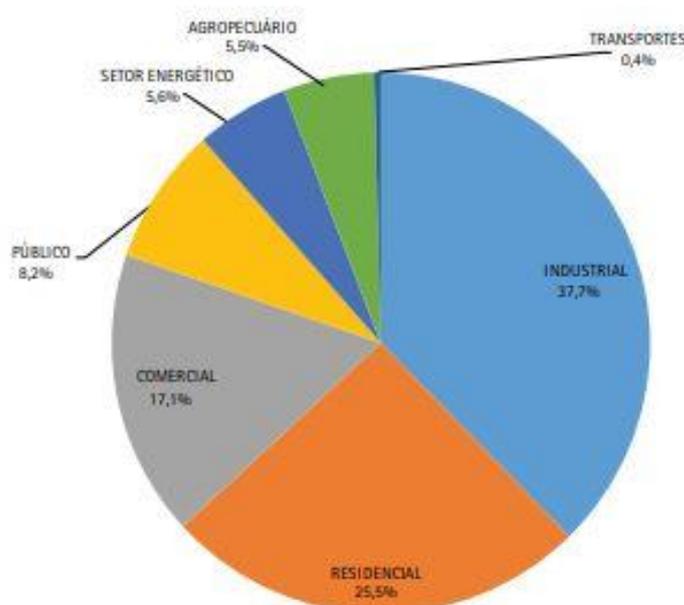
Fonte: (MENDES *et al.*, 2005).

Observa-se, na Figura 1, que o consumo de energia elétrica em residências do ano de 2001, praticamente teve seu consumo dobrado em relação ao ano de 1987. Já quanto ao PIB, foi possível analisar um aumento da economia, porém o mesmo não aconteceu com a eficiência energética (MENDES *et al.*, 2005).

Lamberts *et al.*, (2014) conceituam que se uma edificação apresentar as mesmas condições ambientais com menor consumo de energia, logo, será mais eficiente energeticamente que as demais edificações. Ainda, destacam que o conforto térmico, visual e acústico aos usuários está diretamente relacionado a uma edificação que apresenta uma boa eficiência energética.

Mesmo havendo medidas que reduzem o consumo de energia elétrica em edificações, os dados comprovam que esse consumo vem crescendo ao passar dos anos. Conforme o Balanço Energético Nacional de 2016 (BEN 2016), no ano de 2015 o consumo de energia em edificações residenciais, comerciais e públicas foi de 43% com relação ao consumo total do Brasil. Já no ano de 2017, o consumo de energia elétrica em edificações residenciais, comerciais e públicas foi de, respectivamente, 25,5%, 17,1% e 8,2%, totalizando 50,8% do consumo nacional de eletricidade, segundo dados do BEN (2018), assim como ilustrado na Figura 2.

Figura 2 – Gráfico da participação por setor do consumo de energia



Fonte: (BEN, 2018).

Além do consumo de energia relacionado ao uso de equipamento elétricos, de sistemas de iluminação artificial e condicionamento de ar, as características da edificação contribuem no consumo de energia através das trocas térmicas entre ambientes internos e externos, variando conforme o clima do local. As propriedades térmicas dos materiais, cores, orientação e radiação solar, sombreamento e componentes como vidros, paredes e coberturas têm significativa influência no consumo de energia, por isso uma análise quanto a esses itens pode minimizar o consumo (CARLO, 2008).

Conforme constatações de Lamberts *et al.*, (2014), dos itens que mais consomem energia em edificações, o uso do ar condicionado chega a 20% da média do consumo nacional. Krüger e Mori (2012) realizaram uma análise de desempenho energético em uma agência bancária na cidade de Curitiba, Paraná, onde foram feitos testes bioclimáticos em relação ao uso dos materiais, quanto às aberturas, fator e orientação solar e análises através de simulações computacionais. Após as simulações, devido às ações tomadas e conseqüentemente, a diminuição no consumo do sistema de ar condicionado, concluíram que houve uma economia de até 26% na energia elétrica.

No Recife, foi feito um estudo visando reduzir o consumo de energia elétrica em função do uso da iluminação artificial em edificações de escritório, buscando o equilíbrio entre as cargas térmicas e a iluminação natural. Este estudo avaliou propostas de eficiência energética para inserção no código de obras do Recife. Através das simulações, foram feitas análises e testes, como a opção de controle liga/desliga para a iluminação natural, além de propriedades térmicas e óticas para as janelas, resultando numa redução de energia, variando de 9% a 21%. Ainda, ressaltou que engenheiros e arquitetos devem ter a preocupação de seguir essas orientações na hora de projetar (CARLO *et al.*,2004).

Sperotto (2018) em seu estudo do qual servirá como referência para essa pesquisa, realizou uma análise quanto à eficiência energética, através do método do RTQ-R, em quatro edificações do Programa Nacional de Habitação Rural, na cidade de Vespasiano Corrêa/RS. O RTQ-R classifica as edificações habitacionais, com base na NBR 15520 (ABNT, 2005) e NBR 15575 (ABNT, 2013), quanto ao nível de eficiência energética, variando do nível A (mais eficiente) ao nível E (menos eficiente).

Ainda, Sperotto (2018), calculou a resistência e transmitância térmica das edificações e analisou os materiais utilizados nas paredes, coberturas e aberturas, visto que as quatro edificações apresentam os mesmos materiais. Após feitas as análises, foi constatado que as edificações estão no nível de eficiência E, ou seja, apresentam um péssimo nível de eficiência e conforto térmico.

Com o intuito de melhorar a eficiência energética nas edificações, foi realizada uma nova análise, substituindo alguns materiais. O resultado obtido foi satisfatório,

atingindo o nível de eficiência C, o que demonstra o quanto a materialidade é um fator determinante quando o assunto é eficiência energética e conforto térmico das edificações (SPEROTTO, 2018).

## 2.4 Conforto Térmico das edificações

A importância do conforto térmico está diretamente relacionada com a preocupação em proporcionar conforto e a necessidade de reduzir o consumo de energia (XAVIER, 1999). Uma edificação que apresenta conforto térmico, transmite ao seu usuário qualidade de vida e saúde, evitando o estresse e a fadiga. Independente de qual for a condição climática do local, a edificação deve apresentar condições térmicas adaptáveis com o do ser humano (FROTA; SCHIFFER, 2003).

A primeira condição de conforto térmico dentro de uma instalação é que o balanço térmico seja nulo, ou seja, o calor produzido pelo organismo animal somado ao calor ganho do ambiente seja igual ao calor perdido pelos animais através da radiação, da convecção, da condução, da evaporação e do calor contido nas substâncias corporais eliminadas (ESMAY APUD SAMPAIO *et al.*, 2004, p. 785).

A NBR 16401-2 (ABNT, 2008) estabelece parâmetros de conforto para dias de verão e inverno, sendo esses aceitáveis em 80% ou mais de pessoas, com relação às temperaturas operatórias e a umidade relativa, conforme especificado nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 – Parâmetros de conforto no verão

Temperatura Operativa	Umidade Relativa
22,5°C à 25,5°C	65%
23,0°C à 26,0°C	35%

Fonte: Autora (2019), adaptado da NBR 16401-2 (ABNT, 2008).

Tabela 2 – Parâmetros de conforto no inverno

Temperatura Operativa	Umidade Relativa
21,0°C à 23,5°C	60%
21,5°C à 24,0°C	30%

Fonte: Autora (2019), adaptado da NBR 16401-2 (ABNT, 2008).

Para compreender o comportamento térmico, deve-se entender sobre as trocas térmicas, onde a troca de calor acontece quando os corpos se encontram em temperaturas diferentes. As trocas de calor acontecem por meio da convecção, condução e radiação (FROTA; SCHIFFER, 2003).

A condutividade térmica, segundo a NBR 15520-1 (ABNT, 2005, p. 2) é a “propriedade física de um material homogêneo e isotrópico, no qual se verifica um fluxo de calor constante, com densidade de  $1 \text{ W/m}^2$ , quando submetido a um gradiente de temperatura uniforme de 1 Kelvin por metro”.

Se tratando de conforto térmico, é importante entender quanto às propriedades dos materiais. A condutividade térmica tem direta relação com a densidade dos materiais, visto que através dos índices de condutividade, pode-se obter a resistência e transmitância térmica, que indica a quantidade de calor que poderá entrar para a edificação através da materialidade (LAMBERTS *et al.*, 2014).

Conforme a NBR 15520 (ABNT, 2005) a resistência térmica é o quanto um corpo é capaz de resistir ao calor, enquanto que a transmitância térmica será seu oposto, ou seja, o quanto irá propagar o calor. Já quanto à capacidade térmica, a NBR 15520-1 (ABNT, 2005, p. 2) destaca que será a “quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema”.

Para projetar visando conforto térmico, antes de iniciar um projeto, deve-se levar em conta as condições climáticas do local e a qual zona bioclimática o mesmo pertence, para que a edificação apresente bom desempenho térmico e proporcione conforto ao usuário (LAMBERTS *et al.*, 2014).

O conforto térmico das edificações pode ser avaliado através de simulações computacionais ou por medições *in loco*, com base aos requisitos exigidos pela NBR 15757 (ABNT, 2013), seja em uma edificação já construída ou em fase de projeto.

## **2.5 Materiais de isolamento térmico**

Spinelli et. al. (2017) destacam que, para tornar-se uma edificação termicamente confortável, sem climatização artificial, é preciso fazer uso de algum método construtivo. Asdrubali et. al. (2015), destaca que o emprego de um material isolante é uma excelente opção, visto que sua função está em reduzir a transmissão do fluxo de calor. Para que o material seja considerado um isolante térmico, sua condutividade térmica deve ser menor que 0,07 W/m.K.

Segundo Lamberts et. al. (2014), a materialidade das construções tem influência direta no desempenho térmico, principalmente, com o uso de um isolante térmico. O autor ainda destaca que o isolamento térmico, utilizado de forma eficiente, provoca uma redução na carga térmica, e por consequência, no consumo de energia.

Spinelli et al. (2019) desenvolveu uma pesquisa com materiais naturais, afirmando que os mesmos podem ser utilizados como isolantes térmicos na construção civil, apresentando como vantagem o baixo impacto causado no momento da sua produção, além de serem materiais renováveis.

Dentre os isolantes térmicos, destacam-se os que serão utilizados nesse estudo: poliestireno expandido (EPS), lã de rocha, lã de vidro, palha de soja, sabugo de milho e casca de pinheiro.

### **2.5.1 Poliestireno expandido (EPS)**

O EPS, derivado do petróleo, pode ser feito em formato de placas, (Figura 3) ou então de forma contínua, sendo que a sua condutividade térmica, varia conforme a densidade de massa, teor de umidade e a temperatura (JELLE, 2011).

Figura 3 - Poliestireno expandido (EPS)



Fonte: Rio Reveste (2018).

Mendes (2012) destaca que o EPS é um material de elevada resistência térmica e mecânica, de fácil manuseio, sendo considerado um ótimo isolante térmico nas paredes e coberturas, porém, não possui bom isolamento acústico. Dentre as principais características e vantagens do EPS, destaca-se a baixa condutividade térmica, leveza, baixa absorção de água, além de ser considerado um material reciclável (SILVA, 2013).

No estudo realizado por Spinelli et al. (2018), foi aplicado o uso do EPS em um protótipo para análise do sistema de fachada, comparando-o com um protótipo sem o EPS, onde constatou-se uma redução de 81% da transmitância térmica e 68% do consumo energético, intervindo significativamente no dimensionamento do ar condicionado, além da diminuição da temperatura interna com ao ambiente externo.

### **2.5.2 Lã de rocha**

A lã de rocha, material incombustível, é composta de rochas vulcânicas, com adição de resinas e outros minerais. Pode ser apresentado em formato de rolos ou painéis, sendo classificado como sendo um material de alta resistência mecânica (MENDES, 2012). A Figura 4 ilustra o modelo de lã de rocha em rolo.

Figura 4 – Lã de rocha em rolo



Fonte: Biolã (2018).

A lã de rocha, segundo Silva (2013), é aplicada em coberturas, forros e paredes, apresentando como características, a baixa condutividade térmica, resistência ao fogo, podendo ser utilizado em ambiente com temperaturas de até 750°C, sendo considerado um bom isolante térmico e acústico.

### 2.5.3 Lã de vidro

A lã de vidro, segundo Mendes (2012), apresenta características semelhantes à lã de rocha, com exceção da densidade, por ser considerada mais densa, e quanto a sua resistência, podendo ser utilizada somente em ambientes de até 450°C. A lã de vidro é composta por filamentos de vidro e adições de resinas e silicone.

Segundo Silva (2013), a lã de vidro pode ser encontrada em formato de painel, quando utilizado como isolamento nas paredes e em rolo (Figura 5), quando utilizado em forros e coberturas.

Figura 5 – Lã de vidro em rolo



Fonte: ISOVER Saint-Gobain (2014).

Jelli (2011) ressalta que a lã de vidro é produzida a uma temperatura de 1.400°C a partir do vidro borossilicato, onde é transformado em fibras. Vale ressaltar, que segundo Silva (2013), se a lã de vidro for exposta a ambientes úmidos, pode afetar significativamente na efetividade do isolamento térmico.

#### 2.5.4 Palha de soja

Asdrubali et al. (2015) destaca que a palha é um material proveniente de cereais, encontrado em grandes quantidades e com baixo custo. É considerado um dos primeiros materiais naturais usado em construções na função de isolante térmico. A palha de soja, com grande disponibilidade no Brasil, apresenta bom isolamento térmico, mesmo exposto à umidade, além de ser considerado um material renovável e reciclável.

Através do estudo de Spinelli et al. (2019), onde foram analisados diversos materiais naturais para determinação das propriedades físicas de cada um deles, obteve-se a condutividade térmica da palha de soja, como sendo 0,058 W/m.k, para temperatura de 60°C.

É possível observar a palha de soja, na Figura 6.

Figura 6 – Palha de soja



Fonte: Embrapa apud Zambiasi (2018).

### 2.5.5 Sabugo de milho

Obtém-se o sabugo de milho através dos resíduos gerados na sua plantação e também na indústria de processamento. Inicialmente, o sabugo de milho foi utilizado com o intuito de reciclar os resíduos agrícolas, porém apresentava condutividade térmica de 0,101 W/m.k, valor muito alto para ser considerado um isolante térmico (ASDRUBALI et al., 2015).

No estudo realizado por Spinelli et al. (2019), foi possível obter um valor de condutividade térmica, através de análises em amostras, de acordo com a temperatura. O valor obtido para as placas de sabugo de milho foi 0,052 W/m.k, na temperatura de 60°C.

A Figura 7 demonstra o sabugo de milho em seu formato natural à esquerda, e depois de triturado, à direita, em formato de painel.

Figura 7 – Sabugo de milho



Fonte: Asdrubali et al. (2015)

### 2.5.6 Casca de pinus

A casca de pinus, muito conhecida por ser utilizada em jardins, como decoração, principalmente, mas também por proteger as raízes das plantas do frio e do calor. A partir desta ideia, surgiu a possibilidade de utilizá-las como um isolante térmico na construção civil (MARCOS, 2015).

O autor ainda destaca que as cascas de pinus são secas ao natural, sendo trituradas e depois transformadas em placas. Na Figura 8, observa-se, à esquerda, a casca de pinus, enquanto que à direita, casca de pinus aparece triturada.

Figura 8 – Casca de pinus



Fonte: Marcos (2015).

Spinelli et al. (2019) desenvolveu um estudo para determinar a condutividade térmica de alguns materiais de origem natural, entre eles, a casca de pinheiro, onde obteve o valor de 0,061 W/m.k, enquanto que na pesquisa realizada por Marcos (2015), o valor encontrado foi muito próximo, sendo 0,07 W/m.k.

## 2.6 Desempenho térmico das edificações

Conforme Lamberts *et al.* (2010) é importante saber diferenciar o conceito de comportamento térmico de desempenho térmico, onde o comportamento está relacionado às condições de uso das edificações frente a variações de temperatura e umidade externa transmitidas para as edificações através das paredes e coberturas. Quando essa situação é analisada, com base nos conceitos impostos pela NBR 15575 (ABNT, 2013), chama-se avaliação do desempenho térmico das edificações.

Lamberts *et al.* (2014) ainda destaca que no cenário atual, a preocupação em tornar a edificação mais sustentável vem aumentando, o que leva a crer que as habitações do futuro tendem a apresentar um melhor desempenho térmico, afinal, este é um ponto chave para tornar a edificação mais sustentável.

Até 2013 não existiam uma norma brasileira específica que estipulassem critérios de avaliação de desempenho térmico, apenas a NBR 15220 (ABNT, 2005) que estabelecia métodos de avaliação, porém não existiam parâmetros que determinassem se as condições de desempenho eram satisfatórias ou não. Atualmente, além da NBR 15220 (ABNT, 2005) - “Desempenho Térmico de Edificações”, a norma de desempenho utilizada para a avaliação é a NBR 15575 (ABNT, 2013) - “Edificações Habitacionais – Desempenho”.

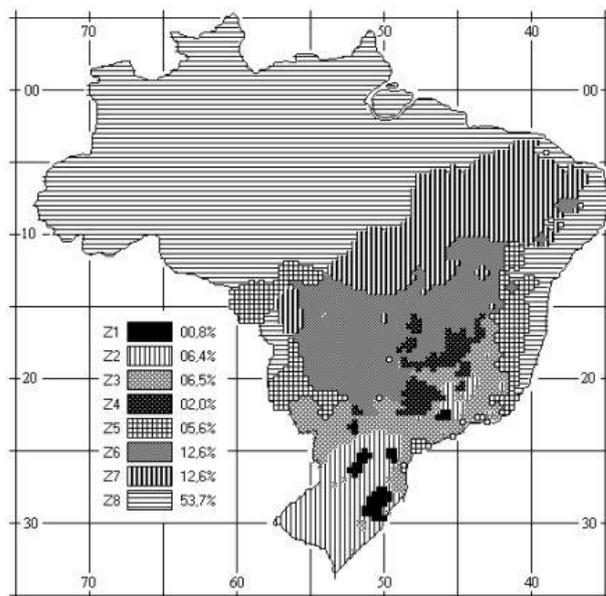
### **2.6.1 Normas Brasileiras de Desempenho Térmico**

As normas de desempenho, conforme a NBR 15575 (ABNT, 2013), foram desenvolvidas para serem aplicadas a qualquer tipo de edificação, seja ela em projeto ou já em uso, a fim de otimizar o desempenho térmico das edificações, gerando assim conforto ao usuário.

A primeira norma brasileira de desempenho térmico a ser publicada foi a NBR 15220 (ABNT, 2005) que se limita apenas em habitações unifamiliares de interesse social, tratando também do zoneamento bioclimático brasileiro com suas devidas recomendações e diretrizes construtivas (CHVATAL E RORIZ, 2015).

A NBR 15220 (ABNT, 2005) apresenta um mapa de zoneamento bioclimático brasileiro (FIGURA 9), sendo este dividido em oito áreas, conforme o clima predominante da região, onde são especificadas as recomendações de projeto para cada zona, visando buscar um melhor desempenho.

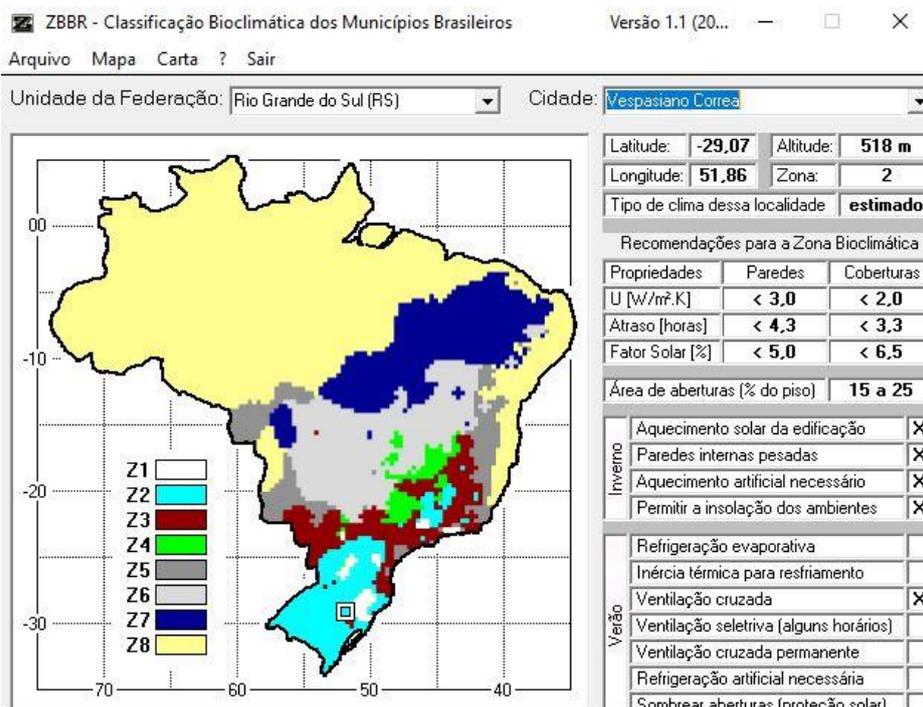
Figura 9 – Zonas Bioclimáticas do Brasil



Fonte: ABNT, NBR 15.220 (2005).

O município de Vespasiano Corrêa, onde estão localizadas as habitações em estudo, encontra-se na zona bioclimática 2, conforme a Figura 10, e, por isso, deve-se seguir as recomendações relacionadas à zona 2, impostas pela NBR 15520 (ABNT, 2005).

Figura 10 – Classificação Bioclimática do município de Vespasiano Corrêa



Fonte: ZBBR (2004).

A NBR 15220 (ABNT, 2005) aponta recomendações, a partir de tabelas e equações, com tamanho mínimo das aberturas para ventilação, proteção das aberturas, estratégias de condicionamento térmico passivo e tipos de vedações externas. A norma também apresenta cálculos e métodos para obtenção da transmitância e capacidade térmica, atraso térmico, além da medição da resistência e condutividade térmica, pelo princípio da placa quente protegida e pelo método fluxométrico.

Conforme Chvatal e Roriz (2015), no ano de 2008 foi publicada uma nova norma, a ABNT NBR 15575 -Edificações Habitacionais - Desempenho, que gerou um certo impacto ao âmbito da construção civil que se mostrou não estar preparado às mudanças. Houve discussões e revisão da norma, havendo alterações e uma nova publicação, em 19 de fevereiro de 2013, sendo esta a versão atual.

A NBR 15575 (ABNT, 2013) é dividida em seis partes, sendo elas:

- a) Parte 1: Requisitos gerais;
- b) Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais;
- c) Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos;
- d) Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas;
- e) Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas;
- f) Parte 6: Requisitos para os sistemas hidrossanitários.

Conforme o Guia para Arquitetos na Aplicação da Norma de Desempenho, a norma é formada por requisitos, critérios e métodos de avaliação e pelas condições de implantação da edificação, a fim de proporcionar segurança, habitabilidade e sustentabilidade (CAU/RS, 2015). A Figura 11 demonstra o resumo da estrutura da norma.

Figura 11 – Estruturação da NBR 15575 (ABNT, 2013)



Fonte: Guia para arquitetos na aplicação da norma de desempenho (2015).

Deve-se verificar cada requisito exigido pela norma e aplicar os devidos métodos de avaliação, como ensaios tipo, de laboratoriais e de campo, simulações e análises computacionais e as demais normas prescritivas já existentes (ABNT, 2013).

Para avaliar o desempenho térmico das edificações, a NBR 15575 (ABNT, 2013) apresenta dois procedimentos, sendo eles, simplificado (normativo) e o de medição (informativo). O simplificado requer que a edificação atenda aos requisitos e critérios exigidos pela norma, onde trata dos sistemas de vedação e coberturas. Caso o desempenho seja insatisfatório, tanto em obras existentes como em projeto, os mesmos devem ser avaliados através de simulações computacionais. A norma ainda orienta que para as simulações, deve-se usar o software *EnergyPlus*.

A NBR 15575-1 (ABNT, 2013) ainda normatiza quanto aos requisitos e critérios de desempenho acústico e de desempenho lumínico, apresentando orientações sobre estanqueidade, manutenção e durabilidade.

### 2.6.2 Simulações computacionais

As simulações computacionais são uma das ferramentas mais importantes para realizar uma análise do desempenho térmico das edificações, sejam elas já

construídas ou então em fase de projeto (MENDES, 2005). É através das simulações que se pode analisar o comportamento térmico, energético e luminoso das edificações, mediante o desenvolvimento de modelos em diferentes situações, sendo necessária a inserção de diversas variáveis e informações climáticas do local (DIDONÉ; PEREIRA, 2010).

Vale ressaltar que para obter resultados positivos nas simulações, o engenheiro ou arquiteto deve possuir bons conhecimentos quanto à prática das simulações e do assunto como um todo. Dos softwares utilizados, destaca-se o programa *EnergyPlus* como sendo um dos mais usuais e completos. (MENDES, 2005).

Nas simulações são utilizadas as propriedades térmicas dos materiais da edificação, obtidas através de ensaios, detalhados na norma. Também, são inseridos a geometria do modelo a ser simulado, considerando que cada ambiente da habitação será uma zona térmica (ABNT, 2013).

A NBR 15575 (ABNT, 2013) recomenda que, nas simulações, sejam informadas as cores das fachadas, de acordo com a absorvância à radiação solar, ou seja, se a edificação apresentar cor escura, utiliza-se na simulação  $\alpha = 0,7$ , para cores médias  $\alpha = 0,5$  e para cores claras  $\alpha = 0,3$ . Para as demais propriedades térmicas dos materiais, como condutividade térmica, densidade e calor específico, deve-se utilizar os valores que constam na NBR 15220 (ABNT, 2005). Para o caso das alvenarias, utilizam-se os dados obtidos através do estudo de Ordenes et al. (2003), no qual o autor determina um método de cálculo para os sistemas construtivos, os quais podem ser adotados nas simulações computacionais.

### **2.6.3 Requisitos para a avaliação de desempenho térmico**

A NBR 15575 (ABNT, 2013) especifica níveis de desempenho térmico, conforme a diferença entre as temperaturas máximas e mínimas diárias dos ambientes internos de permanência em relação às temperaturas externas. Nas simulações, é importante especificar os dados climáticos dos dias típicos de verão e inverno, de acordo com a localização da edificação e sua zona bioclimática.

No Anexo A da NBR 15575 (ABNT, 2013) é possível encontrar esses dados correspondentes a algumas cidades, porém se a cidade em análise não estiver na lista, a norma recomenda utilizar os dados da cidade mais próxima, pertencente a mesma zona bioclimática, como destacado por Chvatal e Roriz (2015).

Para os dias de verão, levando em consideração o nível de desempenho como sendo o mínimo (M), uma vez que, para que se obtenha um bom conforto térmico, deve-se buscar sempre atingir os requisitos superiores ao mínimo. A NBR 15575-1 (ABNT, 2013) explica que a temperatura máxima interna dos ambientes de permanência, deve ser sempre menor ou igual à temperatura máxima do ambiente externo.

No Quadro 1, observa-se os critérios de desempenho térmico para os dias de verão.

Quadro 1 – Temperaturas máximas permitidas no verão

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
<b>M</b>	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$
<p><math>T_{i,max}</math> é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;  <math>T_{e,max}</math> é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius;  <math>T_{i,min}</math> é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;  <math>T_{e,min}</math> é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius;            NOTA: Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT 15220-3.</p>		

Fonte: ABNT, NBR 15575 (2013, p. 21).

Já para os dias de inverno a NBR 15575-1 (ABNT, 2013) orienta que a temperatura mínima atingida nos ambientes de permanência, devem ser sempre maiores ou iguais à temperatura mínima do ambiente externa, mais 3°C. Pode-se observar, no Quadro 2, os critérios de avaliação do desempenho térmico para os dias de inverno.

Quadro 2 – Temperaturas máximas permitidas no inverno

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas bioclimáticas 1 a 5	Zonas bioclimáticas 6,7 e 8
<b>M</b>	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 3^{\circ}\text{C})$	Nestas zonas, este critério não deve ser verificado.
<p><math>T_{i,min}</math> é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;</p> <p><math>T_{e,min}</math> é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius;</p> <p>NOTA: Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT 15220-3.</p>		

Fonte: ABNT, NBR 15575 (2013, p. 21).

De modo geral, os critérios que avaliam o desempenho térmico da edificação podem ser classificados como sendo mínimo (M), intermediário (I) e superior (S), conforme a Quadro 3.

Quadro 3 – Níveis de desempenho térmico

Nível de desempenho	Inverno	Verão	Verão
	ZB 1 a 5	ZB 1 a 7	ZB 8
M	$T_{i,Mín} \geq (T_{e,Mín} + 3^{\circ}\text{C})$	$T_{i,Max} \leq T_{e,Max}$	$T_{i,Max} \leq T_{e,Max}$
I	$T_{i,Mín} \geq (T_{e,Mín} + 5^{\circ}\text{C})$	$T_{i,Max} \leq (T_{e,Max} - 2^{\circ}\text{C})$	$T_{i,Max} \leq (T_{e,Max} - 1^{\circ}\text{C})$
S	$T_{i,Mín} \geq (T_{e,Mín} + 7^{\circ}\text{C})$	$T_{i,Max} \leq (T_{e,Max} - 4^{\circ}\text{C})$	$T_{i,Max} \leq (T_{e,Max} - 2^{\circ}\text{C})$

Fonte: Autora (2019) adaptado de NBR 15575 (ABNT, 2013, p. 62-63).

Vale ressaltar que a zona bioclimática 8, na estação do verão, é avaliada de forma individual, por estar localizada na região norte do país, onde o clima apresenta elevadas temperaturas, praticamente, o ano todo. Pelo mesmo motivo, a norma desconsidera essa zona quando avaliada na estação de inverno.

#### 2.6.4 Programa *EnergyPlus*

O programa *EnergyPlus* é um software que tem como finalidade realizar simulações que avaliam o desempenho térmico das edificações, considerando parâmetros de iluminação, aquecimento, ventilação, para assim obter uma melhor eficiência energética das edificações já existentes ou em fase de projeto. O programa, de licença gratuita, teve sua versão lançada no ano de 2001 e foi desenvolvido e

distribuído pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos (QUEIROZ *et al.*, 2019).

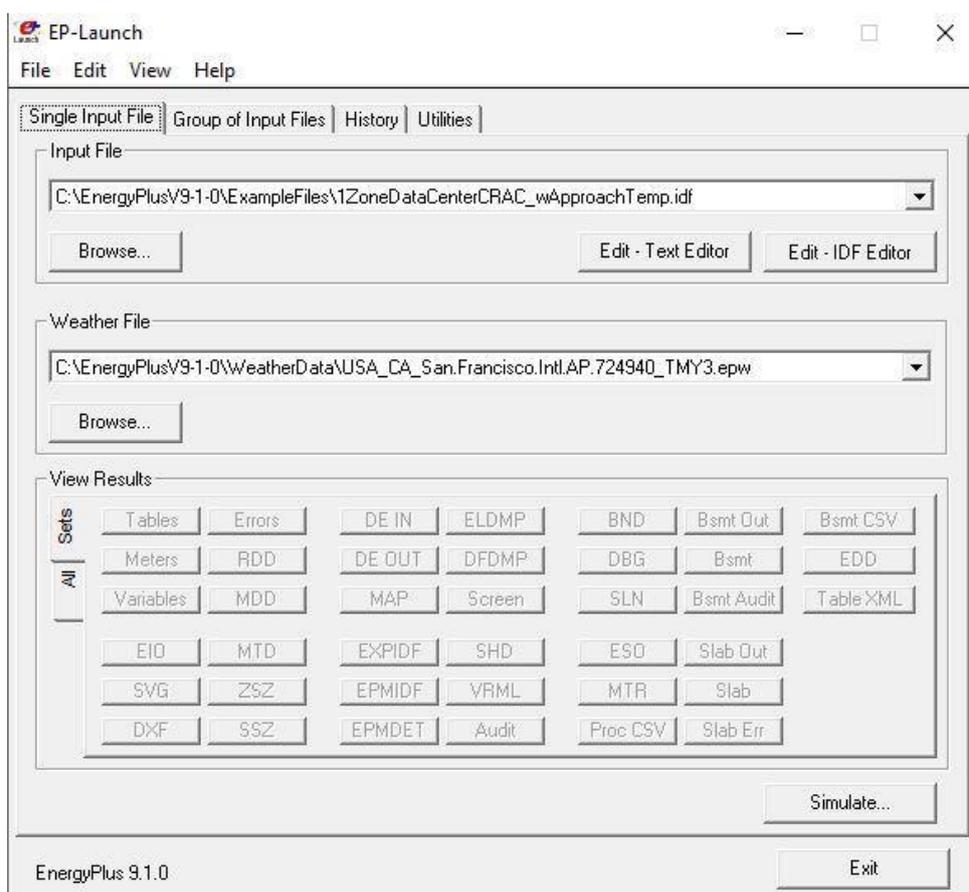
O software é a junção de muitos módulos que possibilitam calcular a energia necessária para aquecer ou resfriar um edifício, onde pode-se simular com sistemas de energia associados, quando expostos a diferentes condições climáticas e ambientais (*ENERGYPLUS*, 2016).

Conforme Brofman (2014), o programa *EnergyPlus* tem a capacidade de analisar o consumo energético, modelando todas as horas de um ano, apresentando variações de aquecimento, ventilação, iluminação e calculando as cargas térmicas necessárias para se chegar nas temperaturas definidas.

Brofman (2014) ainda destaca outras capacidades que o programa é capaz de simular, como soluções simultâneas, soluções para cargas térmicas, condução e transferência de calor, além de modelos de céu, de conforto térmico e cálculos para as fenestraçãoes de vidros, janelas e portas, arquivos climáticos e intervalos de tempo para interações de HVAC e zonas térmicas, onde esses horários podem ser definidos pelo usuário.

Segundo Chvatal e Roriz (2015), a NBR 15575 (ABNT, 2013) recomenda o uso do programa *EnergyPlus* para realizar as simulações, visto que o programa apresenta todo o modelo de cálculo, podendo ser revisado e alterado, mesmo possuindo uma interface não tão objetiva. Na Figura 12 pode-se observar o aspecto visual da interface principal (EP-Launch), onde através dela que se iniciam as simulações.

Figura 12 – Interface principal (EP-Launch)



Fonte: Autora (2019).

Nas simulações deve-se identificar a qual zona bioclimática pertence a cidade onde encontra-se o edifício em projeto ou já construído que será analisado. É importante destacar que a inclusão dos dados climáticos, sendo eles com a identificação dos horários num período anual do local, são de extrema relevância para a avaliação do desempenho da edificação (CHVATAL; RORIZ, 2015).

Para realizar as simulações, é preciso estabelecer a geometria da edificação, inserir dados climáticos do local, as propriedades térmicas dos materiais, tipo de ventilação, rotinas de ocupação, entre outros. A forma de como utilizar o *EnergyPlus* é pouco conhecida pelos arquitetos e engenheiros, por isso seu uso pode se tornar um grande desafio a esses profissionais, que precisam ter muito cuidado na hora de inserir as variáveis necessárias (GOUVEIA *et al.*, 2014).

#### 2.6.4.1 Estudos de caso

Através das simulações feitas no programa *EnergyPlus*, é possível realizar diversas análises a fim de melhorar o desempenho térmico das edificações. Rodrigues (2015) afirmou que com o uso do programa em sua análise, onde avaliou a eficiência energética de um projeto-tipo do exército brasileiro, na cidade do Rio de Janeiro, foi possível verificar que o projeto apresentava um péssimo desempenho térmico, levando em consideração as condições climáticas atuais e futuras. Com os resultados apresentados, o estudo serviu como base para projetos mais eficientes energeticamente e de conforto térmico, além de ser implantado no Serviço de Obras Militar do local.

Já Silveira (2014) realizou uma análise, com o uso do *EnergyPlus*, para avaliar o desempenho térmico em edificações residenciais com apenas ventilação natural, analisando os elementos da fachada, cobertura e orientação solar, em três localidades com condições climáticas diferentes e pôde obter, através das simulações, diversos comparativos em cada edificação, apresentando requisitos necessários a serem tomados em época de verão e inverno, além de práticas construtivas que melhoraram significativamente as edificações quanto ao seu conforto térmico.

Andreolli (2017) realizou uma análise em edificações em contêiner para avaliar seu desempenho térmico, através de medições *in loco* e por simulações com o uso do *EnergyPlus*, combinando diferentes tipos de isolamentos térmicos da construção civil. Foram feitas análises quanto às diferenças de temperaturas externas e internas, além dos cálculos de transmitância térmica e atraso térmico dos materiais. A autora concluiu que as edificações em contêineres podem permitir condições de conforto térmico, atendendo os requisitos exigidos pela NBR 15220-3 (ABNT, 2005) e 15575-1 (ABNT, 2013).

O programa *EnergyPlus* também foi utilizado por Pozza (2011) que, através de seu estudo, buscou analisar uma residência localizada na zona bioclimática 1, correspondente a região mais fria do Brasil, a fim buscar a redução do consumo de energia elétrica, realizando a substituição do sistema de ar condicionado. Após as simulações, Pozza (2011) constatou como solução o uso de vidros duplos, lã de vidro nas paredes internas e externas, EPS no piso da residência, além de superfícies com

cores de maior absorção, obtendo assim, uma redução de 18,2% do consumo total de energia elétrica.

Para Resende *et al.*, (2018), as simulações do *EnergyPlus* auxiliaram na análise da transferência de calor em ambientes subterrâneos, visto que, segundo os autores, o contato do solo com as paredes e pisos da edificação interferem muito na carga térmica total. Com isso, os autores realizaram um comparativo e avaliaram o impacto de diferentes possibilidades de modelagem do programa, analisando a troca de calor do solo com o piso e paredes da edificação. Resende *et al.*, (2018) constataram que ao comparar essas possibilidades, foi possível obter grandes variações de temperatura interna em ambientes subterrâneos, sendo de até 6°C em dias de verão e 5,2°C em dias de inverno.

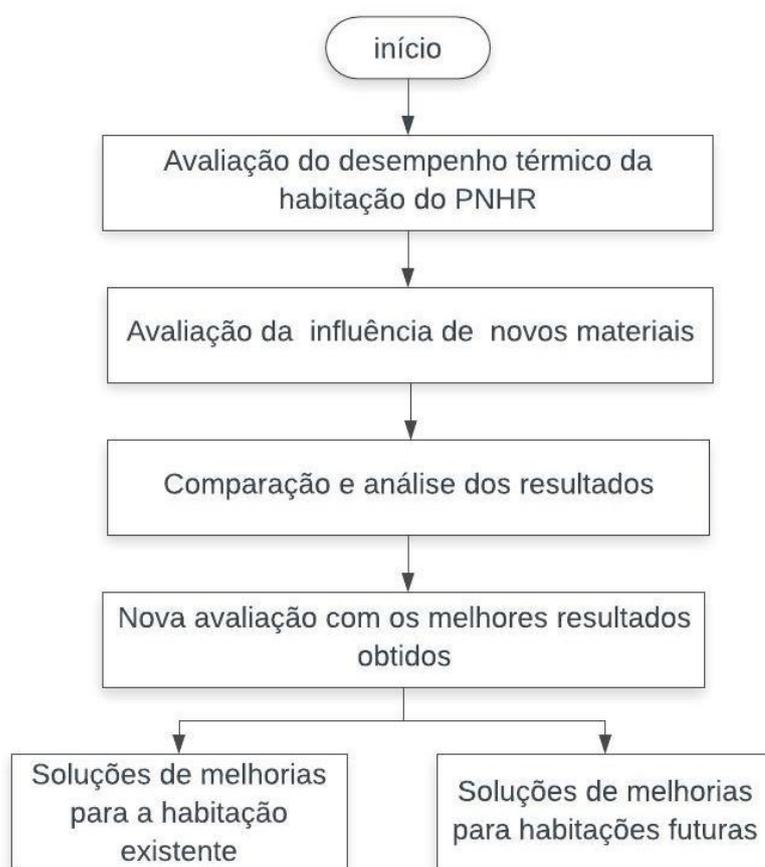
## **3 MATERIAL E MÉTODOS**

Este capítulo abordará os métodos aplicados nesse estudo, a fim de atender os objetivos propostos. O estudo baseou-se nas normas, com foco nas normas de desempenho NBR 15575 (ABNT,2013) e NBR 15220 (ABNT, 2005), além de livros, artigos, dissertações e pesquisas relacionadas a estudo de casos, com o intuito de realizar uma eficaz avaliação.

### **3.1 Estrutura do estudo**

A análise iniciou-se com a avaliação de desempenho térmico de uma habitação pertencente ao Programa Nacional de Habitação Rural (PNHR), localizada na zona bioclimática 2. Após a avaliação, inseriram-se novas variáveis, como materialidades e isolantes térmicos, a fim de verificar a influência de cada característica na envoltória. Avaliou-se os resultados de forma individual e realizou-se uma nova simulação, inserindo as variáveis que apresentaram os melhores resultados para que, por fim, seja apontado melhorias para as habitações já existentes e também habitações futuras. A Figura 13 demonstra o fluxograma deste estudo.

Figura 13 – Fluxograma do estudo



Fonte: Autor (2019).

### 3.2 Apresentação das habitações estudadas

Os objetos de estudo dessa pesquisa são quatro residências unifamiliares térreas, pertencentes ao PNHR, localizadas na cidade de Vespasiano Corrêa. Essas habitações foram estudadas por Sperotto (2018), onde o objetivo foi avaliar a eficiência energética das envoltórias, através do método do RTQ-R. Segundo a autora, o PNHR foi inserido no município, no ano de 2013, contemplando as quatro famílias que se adequaram aos critérios para obtenção do programa.

As habitações apresentam mesmo projeto, materialidade e cor, com exceção das esquadrias, como demonstrado na Figura 14. Porém, para a análise, consideram-se todas na cor clara.

Figura 14 – Fachadas frontais das habitações



Fonte: Sperotto (2018, p. 56).

As paredes das residências apresentam cor clara, no entanto, duas delas estão com as fachadas frontais pintadas na cor azul (FIGURA 14). Para a análise, deve-se considerar uma única cor, portanto, classificou-se como sendo todas na cor clara, uma vez que, a avaliação foi realizada para as duas opções de cores, clara e escura. Na Figura 15, observa-se todas as fachadas de uma das habitações.

Figura 15 – Fachadas da habitação analisada

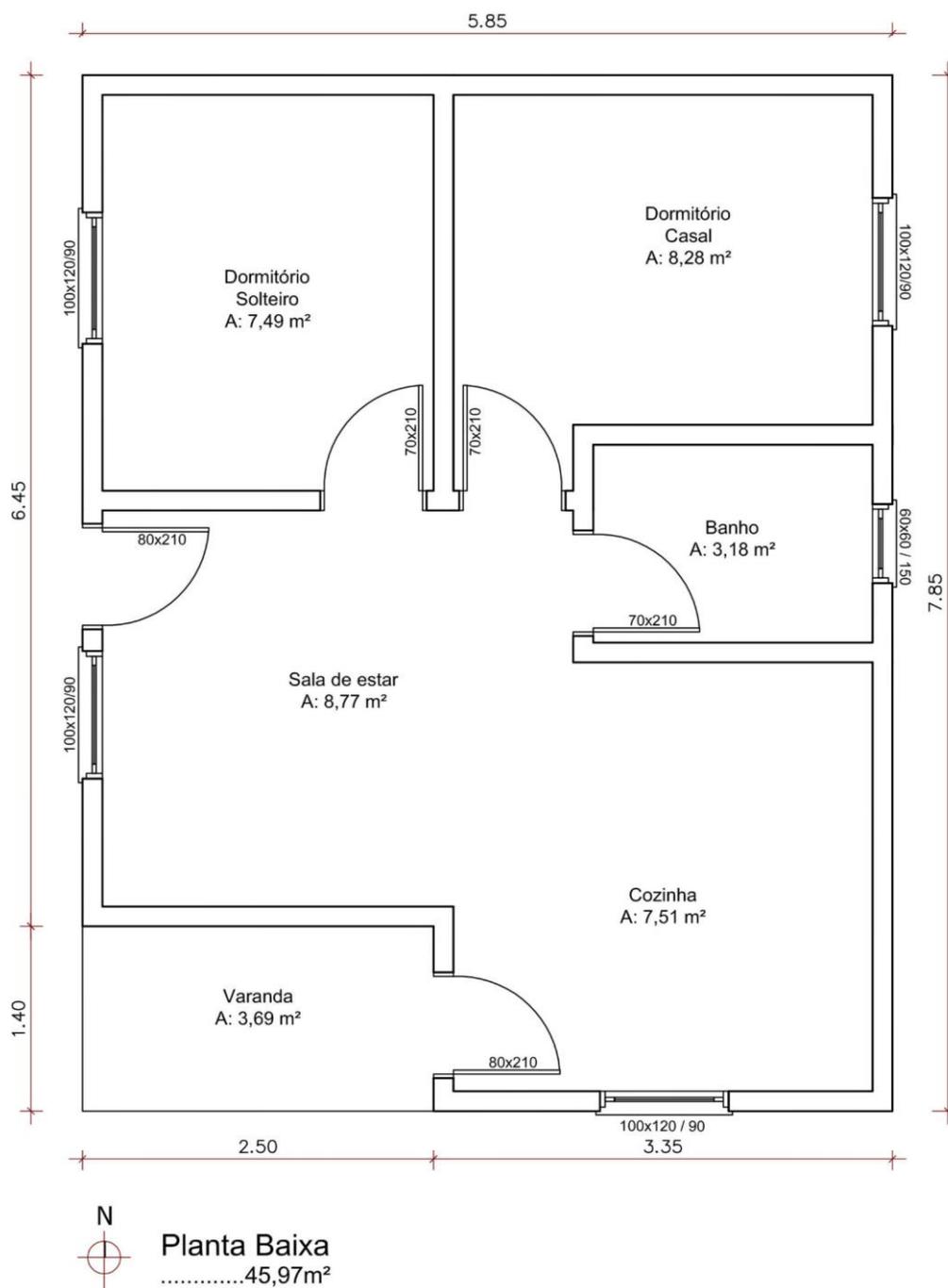


Fonte: Sperotto (2018, p. 54).

Por se tratar de habitações iguais, não há a necessidade de realizar a análise para cada envoltória, e sim, para apenas uma delas, visto que os resultados serão os mesmos ou muito próximos. Para a análise, considerou-se a orientação solar indicada em projeto, desconsiderando qualquer elemento de sombreamento externo, como vegetações ou outras edificações próximas à habitação, com o intuito de avaliar a situação mais crítica referente a desempenho térmico, conforme orienta a NBR 15575 (ABNT, 2013).

A edificação analisada apresenta área total de 45,97 m<sup>2</sup>, composta por cozinha, sala de estar, área de serviço, um banheiro e dois dormitórios, sendo um casal e um solteiro, conforme planta baixa representada na Figura 16 e as respectivas áreas de cada ambiente, especificadas na Tabela 3.

Figura 16 – Planta Baixa das habitações



Fonte: Autora (2019), adaptado de Sperotto (2018).

Tabela 3 – Tamanho de cada ambiente

<b>Ambiente</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>
Cozinha	7,51
Sala de estar	8,77
Área de serviço	3,97
Banheiro	3,18
Dormitório Casal	8,28
Dormitório Solteiro	7,49

Fonte: Autora (2019), adaptado de Sperotto (2018).

Conforme a NBR 15575 (ABNT, 2013), para a avaliação de desempenho térmico, deve-se analisar apenas os ambientes de permanência prolongada, neste caso, os dois dormitórios, sala e cozinha integradas, sendo que para cada ambiente considerou-se uma zona térmica.

### 3.2.1 Materialidade da situação real das habitações

Sperotto (2018) descreveu a materialidade utilizada no sistema construtivo das habitações. Essa relação está especificada na Quadro 4.

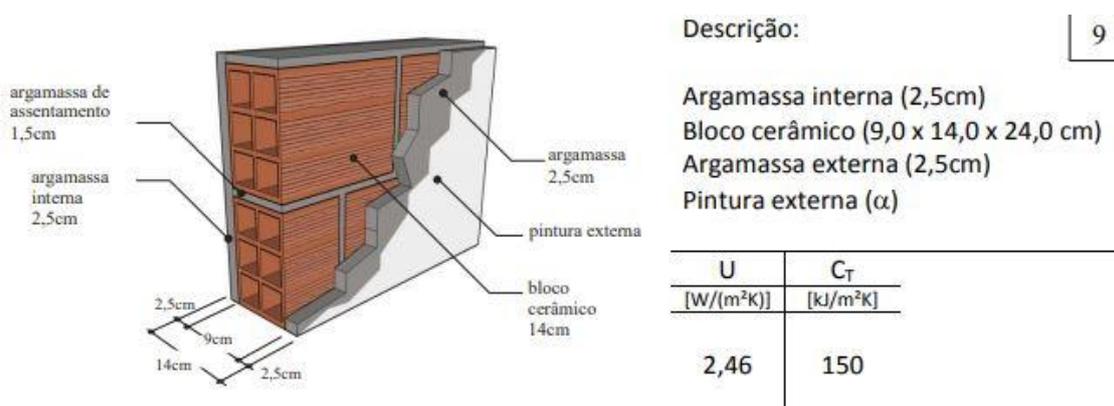
Quadro 4 – Sistema construtivo das habitações

<b>Elemento</b>	<b>Materialidade</b>
Fundação/Piso	Sapatas e vigas de concreto armado, com contrapiso de 4 cm e piso cerâmico de 10 mm de espessura
Paredes	Bloco cerâmico vazado 6 furos (9x14x24cm)
Janelas	Metálicas, do tipo basculante no banheiro (40x60cm) e nos demais ambientes são do tipo veneziana (100x120cm)
Vidros	Incolor liso 3 mm
Portas Externas	Metálicas (80x210 cm)
Portas internas	Madeira semiocas
Forro	PVC com espessura de 10 mm
Cobertura	Telhas de fibrocimento de 6 mm assentadas sobre madeiramento de eucalipto

Fonte: Autora (2019), adaptado de Sperotto (2018).

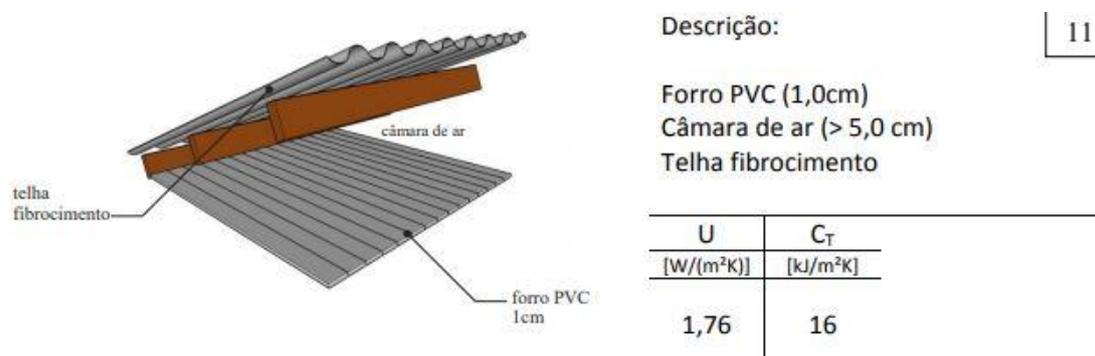
Sperotto (2018) ainda destaca que os modelos utilizados para a alvenaria estrutural (Figura 17) e o telhado das habitações (Figura 18) foram definidas de acordo com as espessuras e dimensões estabelecidos pelo INMETRO.

Figura 17 – Modelo de alvenaria estrutural utilizado



Fonte: INMETRO *apud* Sperotto (2018, p.60).

Figura 18 – Modelo de telhado utilizado



Fonte: INMETRO *apud* Sperotto (2018, p.60).

### 3.2.2 Variáveis definidas para análise

Além da materialidade utilizada nas habitações em questão, novas variáveis foram analisadas, com o intuito de avaliar a influência do comportamento térmico de cada uma delas. Essas variáveis foram definidas através de estudo e estratégias que visam aprimorar o desempenho térmico das habitações, buscando por materiais que se aplicam no mercado da construção civil, sem interferir, significativamente, no custo da obra.

A materialidade que será analisada, incluindo os materiais da situação real, estão descritos, no Quadro 5.

Quadro 5 – Materialidade analisada

<b>Sistema construtivo</b>	<b>Materialidade analisada</b>
Cobertura	Telha fibrocimento (situação real) Telha cerâmica Telha de concreto Telha metálica
Forro	PVC (situação real) Madeira Laje Laje + Gesso PVC + EPS Laje + EPS PVC + lã de vidro Laje + lã de vidro PVC + lã de rocha Laje + lã de rocha PVC + palha de soja Laje + palha de soja PVC + sabugo de milho Laje + sabugo de milho PVC + casca de pinus Laje + casca de pinus
Paredes	Bloco cerâmico vazado 6 furos (9x14x24cm) - (situação real) Bloco cerâmico vazado 6 furos (14x19x29cm) Bloco cerâmico vazado 8 furos (9x19x29cm) Bloco cerâmico maciço (5,3x11x24cm) Bloco concreto vazado (14x19x39cm) Bloco vazado cerâmico (14cm) + EPS Bloco vazado cerâmico (14cm) + lã de vidro Bloco vazado cerâmico (14cm) + lã de rocha Bloco vazado cerâmico (14cm) + palha de soja Bloco vazado cerâmico (14cm) + sabugo de milho Bloco vazado cerâmico (14cm) + casca de pinus
Vidros	Vidro 3mm Vidro 6mm Vidro 3mm + brise horizontal
Cores	Cor clara Cor média Cor escura

Fonte: Autora (2019).

### 3.3 Softwares adotados e etapas de avaliação

O método aplicado é o de simulação computacional, orientado pela NBR 15575 (ABNT, 2013). Utilizou-se, principalmente, o software *EnergyPlus*, entretanto, todo processo de análise está dividido em três etapas, conforme especificado na Quadro 6.

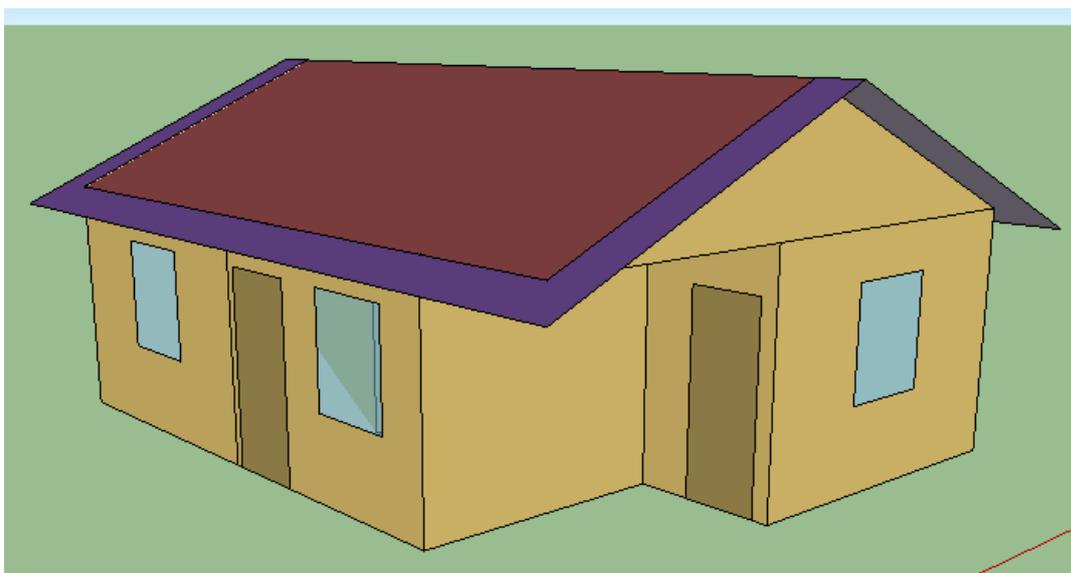
Quadro 6 – Etapas da simulação computacional

Etapas	Atividade	Software
1	Criação do modelo geométrico da habitação	<i>SketchUp + Plug-in OpenStudio</i> (versão 8)
2	Inserção dos parâmetros de análise e realização da simulação computacional	<i>EnergyPlus</i> (versão 8.1)
3	Análise e interpretação dos resultados	<i>Microsoft Excel</i>

Fonte: Autora (2019).

Na primeira etapa, criou-se um modelo geométrico da habitação, no software *SketchUp*, conforme Figura 19. Respeitou-se fielmente o projeto quanto à geometria e orientação solar, apresentando o máximo possível de detalhes e sombreamentos, uma vez que, segundo Zhou *et al.* apud Pozza (2011), quanto mais real for a modelagem, mais eficaz será avaliação, com resultados mais próximos da realidade.

Figura 19 – Modelo geométrico da habitação



Fonte: Autora (2019).

A modelagem foi dividida pela separação dos ambientes, sendo que para cada um deles, criou-se uma zona térmica, onde necessariamente, ambas precisam estar interligadas, levando em consideração todas as áreas de sombreamento. As zonas térmicas são criadas para que o software *EnergyPlus* consiga desenvolver a avaliação e os cálculos térmicos de troca de calor entre cada ambiente.

Na segunda etapa, iniciou-se a análise no software *EnergyPlus*, onde é de extrema importância que se aprenda o seu funcionamento, bem como a forma de inserção dos parâmetros no software e criação da modelagem, uma vez que, essas informações influenciam, significativamente, nos resultados. Para isso, seguiu-se as orientações do manual, em *EnergyPlus Documentation* (ENERGYPLUS, 2016).

Os dados climáticos inseridos no software foram retirados do *site* LabEEE, em arquivo de extensão epw (*EnergyPlus Weather Data*). Como a cidade de Vespasiano Corrêa não se encontra nessa relação, a NBR 15575 (ABNT, 2013) determina que deve-se utilizar os dados climáticos da cidade mais próxima, pertencente a mesma zona bioclimática, nesse caso, a zona bioclimática 2. Portanto, os dados adotados foram os da cidade de Santa Maria.

Além dos dados climáticos, inseriu-se o modelo geométrico e as propriedades físico-térmicas da materialidade empregada nas habitações e demais variáveis analisadas, sendo emissividade ( $\epsilon$ ), condutividade térmica ( $\lambda$ ), densidade de massa aparente ( $\rho$ ) e calor específico ( $c$ ), conforme especificado na Tabela 4.

Tabela 4 – Propriedades físico-térmicas

<b>Materiais</b>	<b><math>\epsilon</math> (adimensional)</b>	<b><math>\lambda</math> (W/(m.K))</b>	<b><math>\rho</math> (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b><math>c</math> (kJ/(kg.K))</b>	<b>Referência</b>
Concreto	0,9	1,75	2200-2400	1	NBR 15220-2/2015
Aço	0,25	55	7800	0,46	NBR 15220-2/2015
Madeira	0,9	0,14	550-650	2,3	NBR 15220-2/2015
Argamassa	0,9	1,15	1800-2100	1	NBR 15220-2/2015
Cerâmica (piso e cobertura)	0,9	1,05	1800-200	0,92	NBR 15220-2/2015

Continua na próxima página

## Conclusão

<b>Materiais</b>	<b><math>\epsilon</math> (adimensional)</b>	<b><math>\lambda</math> (W/(m.K))</b>	<b><math>\rho</math> (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b><math>c</math> (kJ/(kg.K))</b>	<b>Referência</b>
Cerâmica (Bloco 6 furos 14cm)	0,9	0,9	909	0,92	Ordenes et al. (2003)
Cerâmica (Bloco 8 furos 19cm)	0,9	0,9	1600	0,92	Ordenes et al. (2003)
Cerâmica (Bloco maciço 11cm)	0,9	1,75	2400	0,92	Ordenes et al. (2003)
Fibrocimento	0,9	0,95	1800-2200	0,84	NBR 15220- 2/2015
PVC	0,9	0,2	1200-1400	0,96	NBR 15220- 2/2015
EPS	0,9	0,04	15-35	1,42	NBR 15220- 2/2015
Gesso cartonado	0,9	0,35	750-1000	0,84	NBR 15220- 2/2015
Lã de rocha	0,9	0,045	20-200	0,75	NBR 15220- 2/2015
Lã de vidro	0,9	0,045	10-100	0,7	NBR 15220- 2/2015
Palha de soja	0,9	0,058	162	1	Spinelli et al. (2019)
Sabugo de milho	0,9	0,052	179	1	Spinelli et al. (2019)
Casca de pinus	0,9	0,061	232	1,34	Spinelli et al. (2019)

Fonte: Autora (2019).

Além dos parâmetros da materialidade acima, para avaliação quanto ao tipo de vidro, utilizou-se os parâmetros descritos na Tabela 5, como sendo espessura do vidro ( $e$ ), transmitância solar na direção normal ( $T_s$ ), refletância solar na direção normal ( $R_{fs}$ ), transmitância visível ( $T_v$ ), refletância visível ( $R_{fv}$ ), emissividade ( $\epsilon$ ) e condutividade térmica ( $k$ ).

Tabela 5 - Propriedades ópticas dos vidros

Tipo de vidro	$e$ (m)	$T_s$	$R_{fs}$	$T_v$	$R_{fv}$	$\epsilon$	$k$ (W/m.k)
Vidro incolor 3mm	0,003	0,075	0,075	0,898	0,081	0,84	0,9
Vidro incolor 6mm	0,006	0,071	0,071	0,885	0,08	0,84	1

Fonte: Autora (2019) adaptado de Pozza (2011, p. 111).

Por fim, na etapa 3, obteve-se os resultados em arquivo de extensão csv, importado para o programa Microsoft Excel, onde realizou-se uma análise comparativa entre os resultados obtidos através das características originais das habitações (QUADRO 4) e as demais materialidades analisadas (QUADRO 5), ou seja, após avaliar o desempenho térmico da habitação original, implementou-se novas

materialidades a fim de verificar a influência de cada uma delas frente ao desempenho térmico.

Os critérios para essa análise, seguiram o que estipula a NBR 15575 (ABNT, 2013), onde avaliou-se os picos de temperatura, máximo e mínimo, dos ambientes de permanência em relação à temperatura externa, em dias típicos de verão e inverno, conforme já mencionadas nos Quadros 1 e 2.

A NBR 15575 (ABNT, 2013) estipula quais os dias típicos de verão e inverno para determinadas cidades, porém não consta nessa relação nenhuma cidade do Rio Grande do Sul que pertençam a zona bioclimática 2. Como foram adotados os dados climáticos de Santa Maria, os dias típicos de verão e inverno devem ser relacionados à mesma cidade. Portanto esses dados foram determinados, conforme orientado pela norma, através do método de cálculo realizado por Siqueira *et al. apud* Mezzomo et al. (2019, p. 5), conforme estipulado na Tabela 6.

Tabela 6 – Dias típicos de verão e inverno

<b>Cidade de Santa Maria</b>	
Dia típico de verão DD/MM)	09/jan
Dia típico de inverno (DD/MM)	26/ago

Fonte: Autora (2019).

Após análise dos resultados, de forma individual, realizou-se uma simulação final, com os melhores resultados obtidos, afim de propor soluções que visam melhorar o desempenho térmico das habitações em questão, além de propor melhorias para habitações futuras.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Serão apresentados a seguir os resultados deste estudo, bem como a discussão e comparação entre eles, com base na revisão bibliográfica, apresentada no capítulo 2.

### 4.1 Materialidade da cobertura

Após as simulações, foram obtidas as temperaturas internas de cada ambiente de permanência, de todas as horas do dia típico de verão e inverno que foram adotados. Analisaram-se as temperaturas máximas (no verão) e mínimas (no inverno) de cada ambiente, obtidas de acordo com o tipo de telha estabelecida, relacionando-as com os picos de temperatura do ambiente externo. Lembrando que a telha utilizada nas habitações foi a telha fibrocimento, enquanto que as demais analisadas foram a telhas cerâmica, a de concreto e a metálica, conforme, observa-se nas Tabelas 7 e 8.

Tabela 7 – Temperaturas máximas do dia típico de verão por ambiente

Material	Ambiente externo (°C)	Dormitório Casal (°C)	Dormitório solteiro (°C)	Sala/cozinha (°C)
Telha fibrocimento (situação real)	32,2	33,32	32,04	34,46
Telha cerâmica	32,2	32,53	31,12	33,55
Telha de concreto	32,2	33,4	31,99	34,47
Telha metálica	32,2	34,15	32,86	35,25

Fonte: Autora (2019).

Tabela 8 – Temperaturas mínimas do dia típico de inverno por ambiente

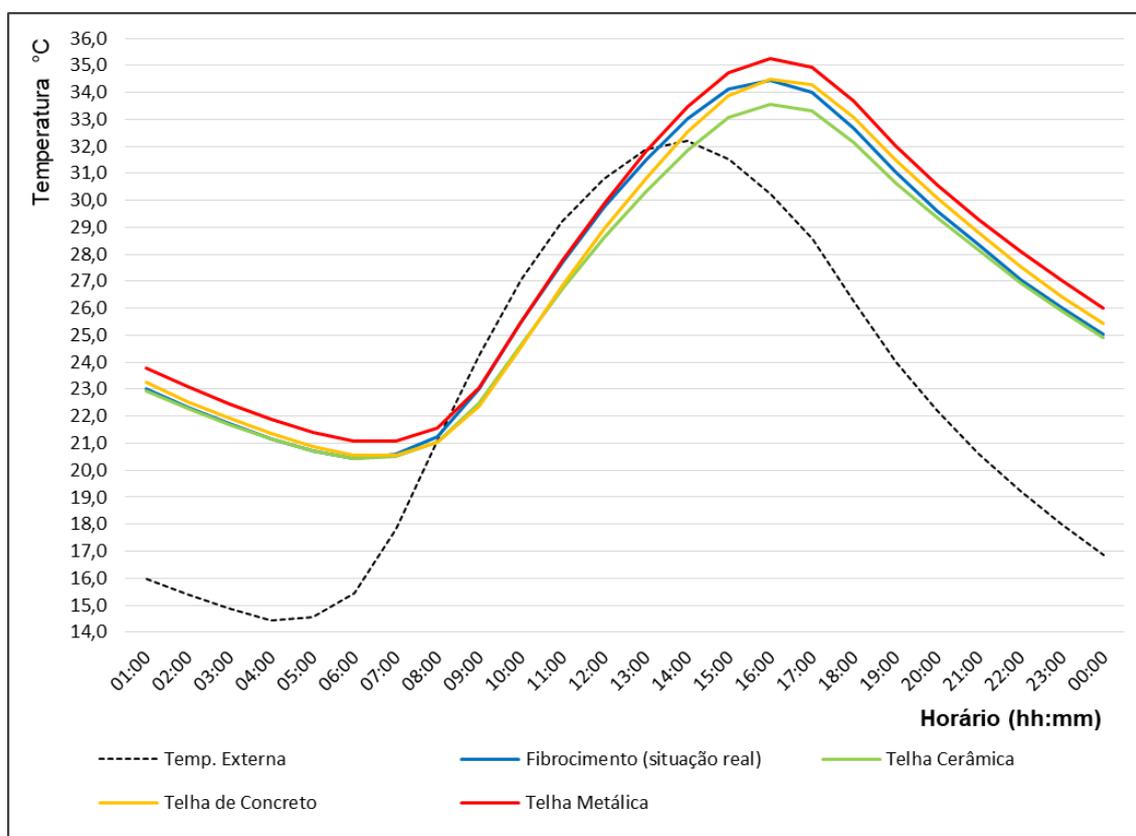
<b>Material</b>	<b>Ambiente externo (°C)</b>	<b>Dormitório Casal (°C)</b>	<b>Dormitório solteiro (°C)</b>	<b>Sala/cozinha (°C)</b>
Telha fibrocimento (situação real)	-2,61	7,52	7,74	6,66
Telha cerâmica	-2,61	7,51	7,72	6,67
Telha de concreto	-2,61	7,67	7,89	6,79
Telha metálica	-2,61	8,43	8,67	7,58

Fonte: Autora (2019).

Pôde-se observar, nas Tabelas 7 e 8, que o ambiente que apresenta o pior desempenho térmico é a sala/cozinha, onde no verão indica temperaturas mais elevadas e no inverno, temperaturas mais baixas em relação aos demais ambientes. Isso se deve em função da orientação solar que o ambiente se encontra, como indicado na Figura 10, sendo esta a posição mais desfavorável. Por se tratar de orientação solar, o mesmo acontece nas demais análises.

Para a avaliação da influência de cada materialidade na habitação, utilizou-se as temperaturas do ambiente de permanência mais crítico: sala/cozinha, como definido anteriormente. No Gráfico 1, comparou-se a variação das temperaturas internas com relação às temperaturas externas, do dia típico de verão, de acordo com a materialidade utilizada nas simulações, analisando a influência de cada uma delas frente ao desempenho térmico.

Gráfico 1 – Análise do dia típico de verão (cobertura)



Fonte: Autora (2019).

Na Tabela 9, estão descritas as temperaturas máximas obtidas, no ambiente sala/cozinha, de acordo com o tipo de telha utilizada nas simulações.

Tabela 9 – Picos de temperatura no dia típico de verão

	Ambiente Externo	Fibrocimento (situação real)	Cerâmica	Concreto	Metálica
Temp. Máxima (°C)	32,2	34,46	33,55	34,47	35,25
T. máxima – T. mínima	1,7°C				

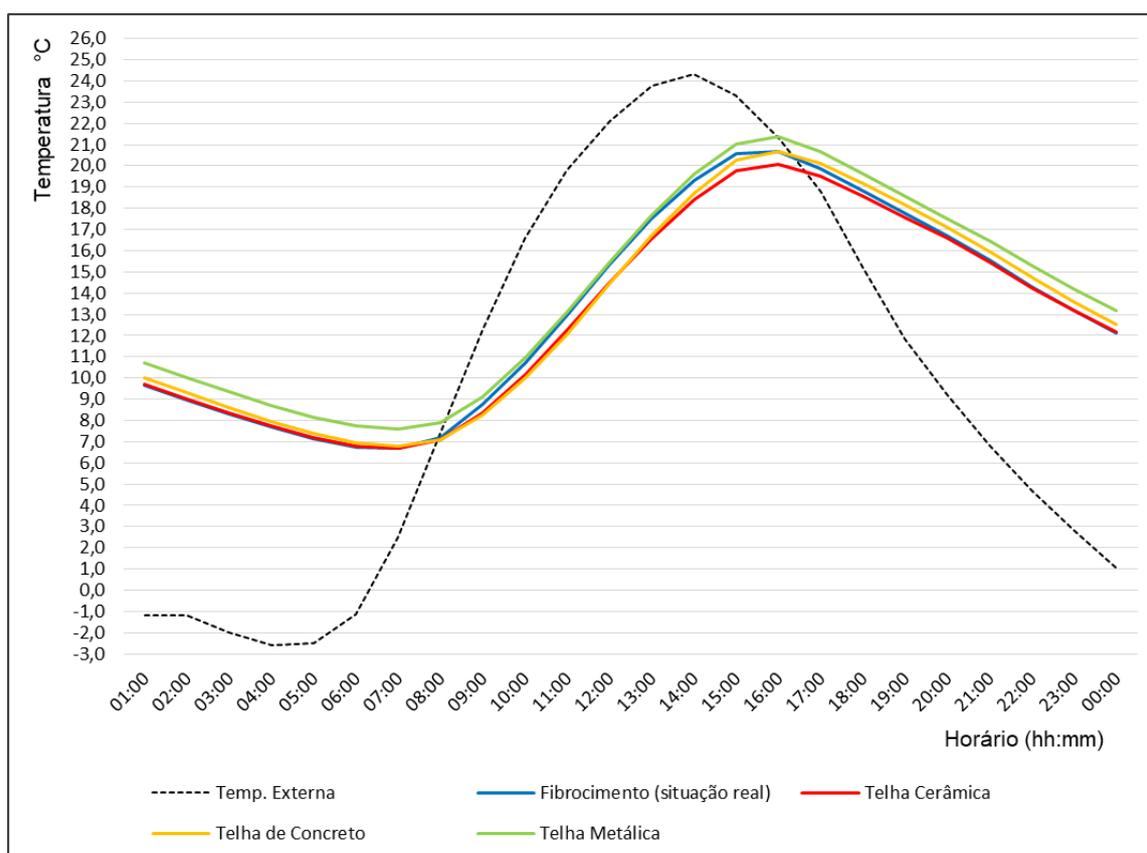
Fonte: Autora (2019).

Conforme, observa-se no Gráfico 1 e nos dados detalhados na Tabela 9, é possível verificar que a materialidade que apresenta pior desempenho é a telha metálica, enquanto que a telha cerâmica apresentou o melhor resultado, com diferença de 1,7°C, em relação à telha metálica, porém em nenhum dos casos foi possível atingir o nível mínimo de desempenho térmico, pois os picos máximos de temperatura foram superiores à temperatura máxima externa. Através do estudo de

Moreno et al. (2017), foi possível constatar que os elementos cerâmicos tendem a apresentar um melhor desempenho térmico, o que se confirmou nessa análise.

Já para as temperaturas do dia típico de inverno, observa-se, no Gráfico 2, a variação de temperatura, de acordo com cada materialidade, em relação às temperaturas externas.

Gráfico 2 – Análise do dia típico de inverno (cobertura)



Fonte: Autora (2019).

Tabela 10 – Picos de temperatura no dia típico de inverno

	Ambiente Externo	Fibrocimento (situação real)	Cerâmica	Concreto	Metálica
T. Mínima (°C)	-2,61	6,67	6,67	6,79	7,58
T. máxima – T. mínima	0,91°C				

Fonte: Autora (2019).

Para a situação do inverno, quanto mais elevada for a temperatura interna em relação à temperatura mínima externa, melhor o desempenho térmico. Para este caso, o melhor resultado obtido foi o oposto da análise realizada no verão, uma vez que, a

telha metálica absorveu mais calor. Logo, no inverno, apresentou o mesmo comportamento, se distanciando mais da temperatura mínima externa e apresentando o melhor desempenho térmico, comparado às demais materialidades. A diferença entre a telha metálica (melhor desempenho) e a telha fibrocimento (pior desempenho) foi de 0,91°C, como especificado na Tabela 10.

Mesmo alterando a materialidade aplicada na cobertura, não foi possível atingir o nível mínimo de desempenho, no verão, enquanto que no inverno, todas as materialidades apresentaram resultados satisfatórios, atingindo nível de desempenho superior, conforme orientado pela NBR 15575 (ABNT, 2013) e especificado no Quadro 7.

Observa-se, no Quadro 7, a variação entre as temperaturas máximas (verão) e mínimas (inverno) internas, com relação à temperatura externa, de acordo com cada materialidade. Classificou-se o nível de desempenho como sendo mínimo (M), intermediário (I) e superior (S). Para os casos onde não atende nenhum nível de desempenho térmico, denominou-se NA.

Quadro 7 – Nível de desempenho térmico

Material	Verão		Inverno	
	$T_{int.} - T_{ext.}$	Nível de desempenho	$T_{int.} - T_{ext.}$	Nível de desempenho
Telha fibrocimento (situação real)	2,26	NA	9,28	S
Telha cerâmica	1,35	NA	9,28	S
Telha de concreto	2,27	NA	9,4	S
Telha metálica	3,05	NA	10,19	S

Fonte: Autora (2019).

## 4.2 Materialidade do forro

Após novas simulações, alterando apenas a materialidade do forro, porém, desta vez, aplicando diferentes isolantes térmicos, conforme já citado no Quadro 5, obteve-se os picos de temperaturas máximas e mínimas para cada ambiente da habitação. As temperaturas, em grau Celsius, estão descritas nas Tabelas 11 e 12, para o dia típico de verão e inverno, respectivamente.

Tabela 11 – Temperaturas máximas do dia típico de verão por ambiente

Material	Ambiente externo (°C)	Dormitório Casal (°C)	Dormitório solteiro (°C)	Sala/cozinha (°C)
PVC (situação real)	32,2	33,32	32,05	34,46
Madeira	32,2	33,22	31,89	34,28
Laje	32,2	30,77	29,43	31,46
Laje + Gesso	32,2	30,58	29,15	31,24
PVC + EPS	32,2	30,10	28,29	30,86
Laje + EPS	32,2	28,69	27,26	29,08
PVC + lâ de vidro	32,2	29,69	27,88	30,46
Laje + lâ de vidro	32,2	28,46	27,03	28,82
PVC + lâ de rocha	32,2	29,62	27,81	30,36
Laje + lâ de rocha	32,2	28,42	26,99	28,77
PVC + palha de soja	32,2	31,13	29,36	31,91
Laje + palha de soja	32,2	29,25	27,82	29,73
PVC + sabugo de milho	32,2	31,05	29,28	31,83
Laje + sabugo de milho	32,2	29,20	27,77	29,68
PVC + casca de pinus	32,2	30,61	28,84	31,42
Laje + casca de pinus	32,2	28,93	27,48	29,34

Fonte: Autora (2019).

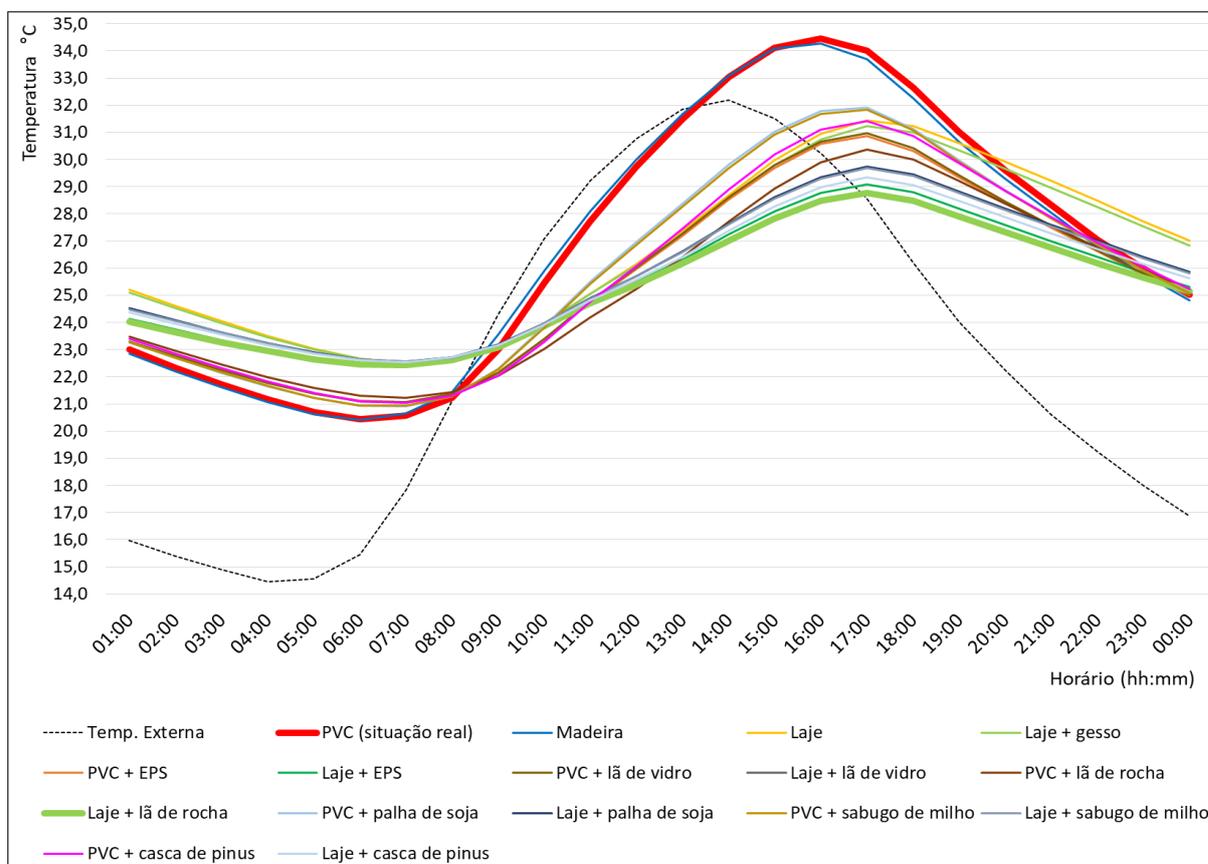
Tabela 12 – Temperaturas mínimas do dia típico de inverno por ambiente

Material	Ambiente externo (°C)	Dormitório Casal (°C)	Dormitório solteiro (°C)	Sala/cozinha (°C)
PVC (situação real)	-2,61	7,52	7,74	6,67
Madeira	-2,61	7,52	7,75	6,69
Laje	-2,61	9,57	9,81	8,86
Laje + Gesso	-2,61	9,59	9,84	8,88
PVC + EPS	-2,61	8,80	9,03	7,91
Laje + EPS	-2,61	10,07	10,20	9,32
PVC + lâ de vidro	-2,61	8,98	9,24	8,12
Laje + lâ de vidro	-2,61	10,11	10,25	9,37
PVC + lâ de rocha	-2,61	9,06	9,33	8,21
Laje + lâ de rocha	-2,61	10,15	10,28	9,41
PVC + palha de soja	-2,61	8,39	8,62	7,49
Laje + palha de soja	-2,61	9,96	10,13	9,24
PVC + sabugo de milho	-2,61	8,42	8,66	7,52
Laje + sabugo de milho	-2,61	9,97	10,14	9,24
PVC + casca de pinus	-2,61	8,65	8,91	7,77
Laje + casca de pinus	-2,61	10,06	10,21	9,33

Fonte: Autora (2019).

Através do Gráfico 3, é possível visualizar as curvas dos picos de temperatura, no dia típico de verão, para o ambiente de pior desempenho (sala/cozinha), de acordo com cada materialidade e isolante térmico adotado.

Gráfico 3 – Análise do dia típico de verão (forro)



Fonte: Autora (2019).

Tabela 13 - Picos de temperatura no dia típico de verão

	Elemento	Temperatura máxima (°C)
Sem isolamento	Ambiente Externo	32,20
	PVC (situação real)	34,46
	Madeira	34,28
	Laje	31,46
	Laje + Gesso	31,24
Com isolamento	PVC + EPS	30,86
	Laje + EPS	29,08
	PVC + lâ de vidro	30,46
	Laje + lâ de vidro	28,82
	PVC + lâ de rocha	30,36
	Laje + lâ de rocha	28,77
	PVC + palha de soja	31,91
	Laje + palha de soja	29,73
	PVC + sabugo de milho	31,83
	Laje + sabugo de milho	29,68
	PVC + casca de pinus	31,42
	Laje + casca de pinus	29,34
	<b>Temp. máxima – Temp. mínima</b>	<b>5,69</b>

Fonte: Autora (2019).

O Gráfico 3 dá destaque para duas linhas, a do PVC e da laje mais lã de rocha, sendo estas, as curvas de pior e melhor desempenho, respectivamente. Analisando todas as materialidades e o uso do isolamento térmico, pôde-se constatar, no referido gráfico e na Tabela 13, que o pior caso é o PVC, sendo esta a materialidade utilizada no sistema construtivo das habitações, apresentando temperatura máxima interna de 34,46°C, ou seja, 2,26°C a mais que a temperatura externa, no dia típico de verão.

Todas as análises feitas com a opção do uso da laje, apresentaram melhores resultados, se comparadas ao PVC e à madeira, inclusive nas análises com o uso do isolante térmico. A diferença entre as curvas com o emprego do material isolante é mínima, dando destaque para a lã de vidro e lã de rocha (aplicado sobre a laje), que apresentaram as melhores temperaturas, 28,82°C e 28,77°C, respectivamente. Apenas com a troca da materialidade do forro e aplicação do isolante térmico foi possível atingir uma melhora de 5,69°C, comparado à materialidade original.

Constatou-se, portanto, que, com a utilização de um material de baixa densidade e condutividade térmica, é possível atingir uma significativa melhora no desempenho térmico, uma vez que a baixa condutividade dificulta a transferência de calor (LAMBERTS et. al., 2014). Os resultados demonstram que a diferença é mínima entre o uso da laje e os demais isolantes térmicos, portanto, na hora da escolha pode-se optar pelo que apresentar menor custo, visto que será aplicado em habitações populares.

No Gráfico 4, foram analisadas as mesmas materialidades e isolantes térmicos, desta vez, para a estação do inverno, dando destaque às curvas de melhor e pior resultado.

Gráfico 4 – Análise do dia típico de inverno (forro)

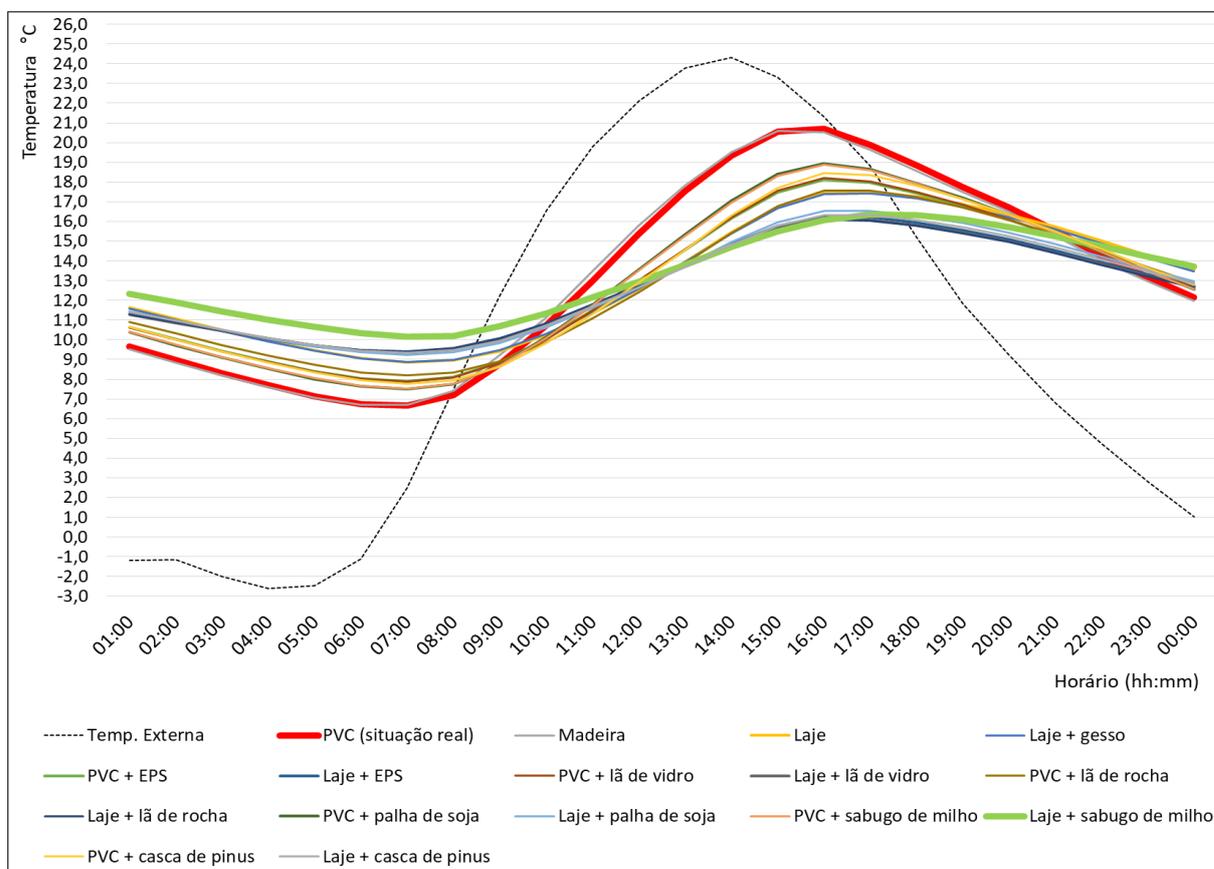


Tabela 14 – Picos de temperatura no dia típico de inverno

	Elemento	Temperatura mínima (°C)
Sem isolamento	Ambiente Externo	-2,61
	PVC (situação real)	6,67
	Madeira	6,69
	Laje	8,86
	Laje + Gesso	8,88
Com isolamento	PVC + EPS	7,91
	Laje + EPS	9,32
	PVC + lã de vidro	8,12
	Laje + lã de vidro	9,37
	PVC + lã de rocha	8,21
	Laje + lã de rocha	9,41
	PVC + palha de soja	7,49
	Laje + palha de soja	9,24
	PVC + sabugo de milho	7,52
	Laje + sabugo de milho	9,24
	PVC + casca de pinus	7,77
	Laje + casca de pinus	9,33
	<b>Temp. máxima – Temp. mínima</b>	2,74

Fonte: Autora (2019).

Conforme observa-se no Gráfico 4 e Tabela 14, o PVC continua sendo a materialidade que apresenta o pior desempenho, porém no inverno, segundo a NBR 15575 (ABNT, 2013), todos os casos atendem ao nível superior de desempenho, ou seja, atendem a condição de  $T_{i,Mín} \geq (T_{e,Mín} + 7^{\circ}\text{C})$ , como detalhado no Quadro 3.

Os melhores resultados obtidos estão no uso da laje e do isolamento térmico, apresentando uma diferença desprezível entre cada um deles. O uso da laje e da lâ de rocha foram os que apresentaram melhor desempenho térmico, com temperatura de  $9,41^{\circ}\text{C}$  e uma diferença de  $2,74^{\circ}\text{C}$  a mais que a temperatura resultante do pior caso (uso do PVC).

No Quadro 8, é possível visualizar a influência de cada materialidade de acordo com o nível de desempenho atingido.

Quadro 8 – Nível de desempenho térmico

Material	Verão		Inverno	
	$T_{int.} - T_{ext.}$	Nível de desempenho	$T_{int.} - T_{ext.}$	Nível de desempenho
PVC (situação real)	2,26	NA	9,28	S
Madeira	2,08	NA	9,3	S
Laje	-0,74	M	11,47	S
Laje + Gesso	-0,96	M	11,49	S
PVC + EPS	-1,34	M	10,52	S
Laje + EPS	-3,12	I	11,93	S
PVC + lâ de vidro	-1,74	M	10,73	S
Laje + lâ de vidro	-3,38	I	11,98	S
PVC + lâ de rocha	-1,84	M	10,82	S
Laje + lâ de rocha	-3,43	I	12,02	S
PVC + palha de soja	-0,29	M	10,1	S
Laje + palha de soja	-2,47	I	11,85	S
PVC + sabugo de milho	-0,37	M	10,13	S
Laje + sabugo de milho	-2,52	I	11,85	S
PVC + casca de pinus	-0,78	M	10,38	S
Laje + casca de pinus	-2,86	I	11,94	S

Fonte: Autora (2019).

Cabe destacar que utilizando o PVC e a madeira no sistema construtivo do forro, não será possível atingir ao nível mínimo de desempenho térmico no verão, pois as temperaturas internas em ambos os casos, apresentam temperaturas superiores à temperatura máxima externa. Já para as demais materialidades, quando aplicado o uso do isolante térmico junto a laje, foi possível obter nível de desempenho

intermediário, enquanto que para as demais materialidades, alcançou-se o nível de desempenho mínimo. No inverno, as habitações apresentam boas condições, atingindo o nível de desempenho superior, sendo que com a troca da materialidade, atingiu-se temperaturas ainda mais satisfatórias.

### 4.3 Materialidade das paredes

Nas simulações, onde apenas alterou-se a materialidade aplicada no sistema construtivo das paredes, obteve-se as temperaturas máximas e mínimas dos dias típicos de verão e inverno, conforme descrito nas Tabelas 15 e 16.

Tabela 15 – Temperaturas máximas do dia típico de verão por ambiente

Material	Ambiente externo (°C)	Dormitório Casal (°C)	Dormitório solteiro (°C)	Sala/cozinha (°C)
Bloco cerâmico vazado 9 cm (situação real)	32,2	33,32	32,05	34,46
Bloco cerâmico vazado (14cm)	32,2	32,19	31,25	32,97
Bloco cerâmico vazado (19cm)	32,2	31,69	30,90	32,05
Bloco cerâmico maciço (11cm)	32,2	32,59	31,40	33,77
Bloco concreto vazado (14cm)	32,2	31,44	30,67	33,63
B. vaz. cerâmico (14cm) + EPS	32,2	31,43	30,74	32,59
B. vaz. cerâmico (14cm) + lã de vidro	32,2	31,43	30,81	32,76
B. vaz. cerâmico (14cm) + lã de rocha	32,2	31,42	30,80	32,75
B. vaz. cerâmico (14cm) + palha de soja	32,2	30,88	30,26	32,15
B. vaz. cerâmico (14cm) + sabugo de milho	32,2	30,93	30,29	32,18
B. vaz. cerâmico (14cm) + casca de pinus	32,2	30,87	30,24	32,14

Fonte: Autora (2019).

Tabela 16 – Temperaturas mínimas do dia típico de inverno por ambiente

Material	Ambiente externo (°C)	Dormitório Casal (°C)	Dormitório solteiro (°C)	Sala/cozinha (°C)
Bloco cerâmico vazado 9 cm (situação real)	-2,61	7,52	7,74	6,67
Bloco cerâmico vazado (14cm)	-2,61	8,67	8,78	7,59
Bloco cerâmico vazado (19cm)	-2,61	9,5	9,54	8,27
Bloco cerâmico maciço (11cm)	-2,61	7,8	8,01	6,87
Bloco concreto vazado (14cm)	-2,61	9,17	9,28	7,99
B. vaz. cerâmico (14cm) + EPS	-2,61	11,45	11,35	10,16
B. vaz. cerâmico (14cm) + lã de vidro	-2,61	10,94	10,84	9,62

Continua

## Conclusão

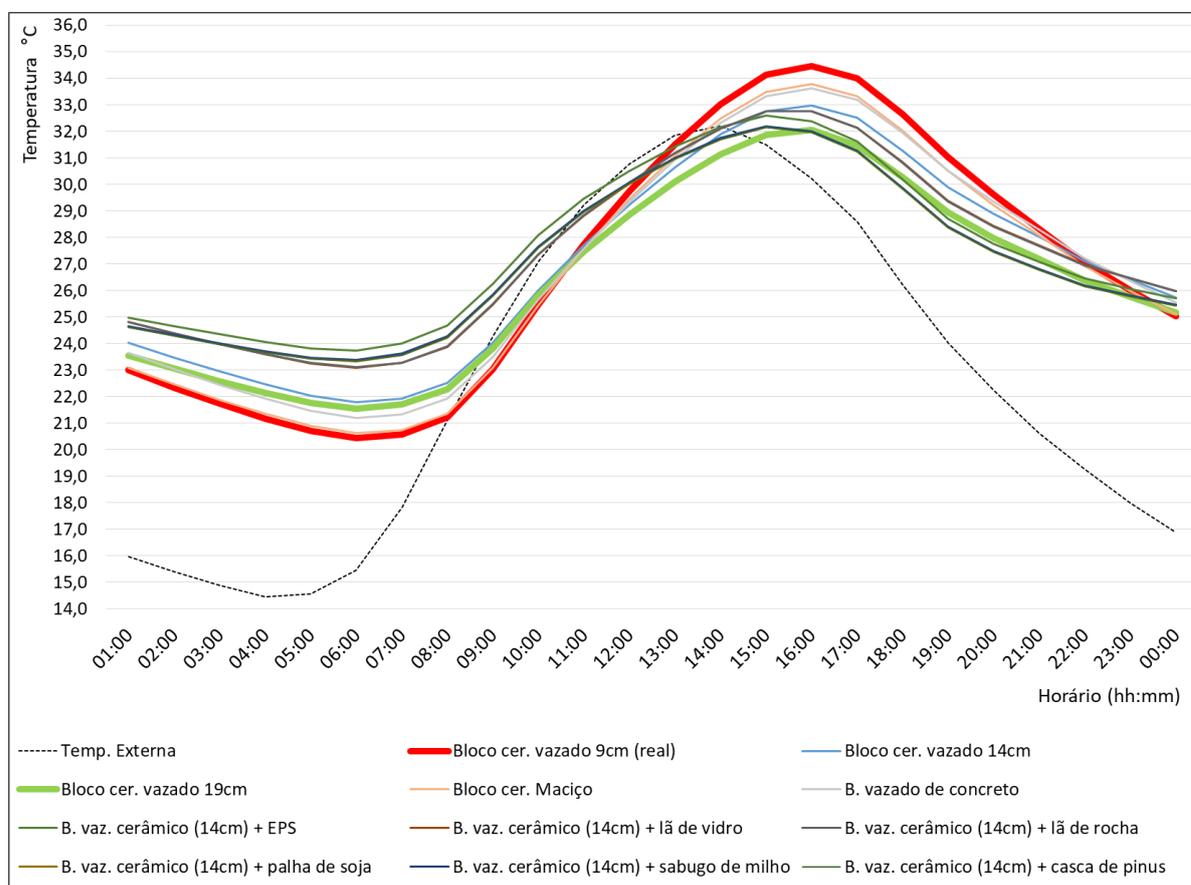
Material	Ambiente externo (°C)	Dormitório Casal (°C)	Dormitório solteiro (°C)	Sala/cozinha (°C)
B. vaz. cerâmico (14cm) + palha de soja	-2,61	11,22	11,14	9,83
B. vaz. cerâmico (14cm) + sabugo de milho	-2,61	11,24	11,16	9,86
B. vaz. cerâmico (14cm) + casca de pinus	-2,61	11,22	11,14	9,83

Fonte: Autora (2019).

O comparativo, entre cada materialidade, foi realizado no ambiente de pior desempenho (sala/cozinha), como observa-se nas Tabelas 15 e 16, onde, no verão, apresentou as temperaturas mais elevadas e, no inverno, as temperaturas mais baixas, comparado aos demais ambientes.

No Gráfico 5, observa-se as curvas de temperatura, no dia 9 de janeiro, dia típico de verão, enquanto que na Tabela 17 estão descritas as temperaturas máximas, obtidas de acordo com cada materialidade empregada.

Gráfico 5 – Análise do dia típico de verão (parede)



Fonte: Autora (2019).

Tabela 17 – Picos de temperatura no dia típico de verão

	<b>Elemento</b>	<b>Temperatura máxima (°C)</b>
Sem isolamento	Ambiente Externo	32,2
	Bloco cerâmico vazado 9 cm (situação real)	34,46
	Bloco cerâmico vazado (14cm)	32,97
	Bloco cerâmico vazado (19cm)	32,05
	Bloco cerâmico maciço (11cm)	33,77
	Bloco vazado de concreto (14cm)	33,63
Com isolamento	B. vaz. cerâmico (14cm) + EPS	32,59
	B. vaz. cerâmico (14cm) + lâ de vidro	32,76
	B. vaz. cerâmico (14cm) + lâ de rocha	32,75
	B. vaz. cerâmico (14cm) + palha de soja	32,15
	B. vaz. cerâmico (14cm) + sabugo de milho	32,18
	B. vaz. cerâmico (14cm) + casca de pinus	32,14
	<b>Temp. máxima – Temp. mínima</b>	2,41

Fonte: Autora (2019).

Constatou-se, no Gráfico 5 e Tabela 17, que a materialidade que proporciona o pior desempenho, continua sendo a que foi utilizada na construção das habitações, ou seja, o bloco cerâmico vazado, com 9 cm de espessura, enquanto que o bloco cerâmico vazado de 19 cm, apresentou o resultado mais satisfatório, inclusive melhor que com o uso do isolante térmico, porém com uma diferença mínima.

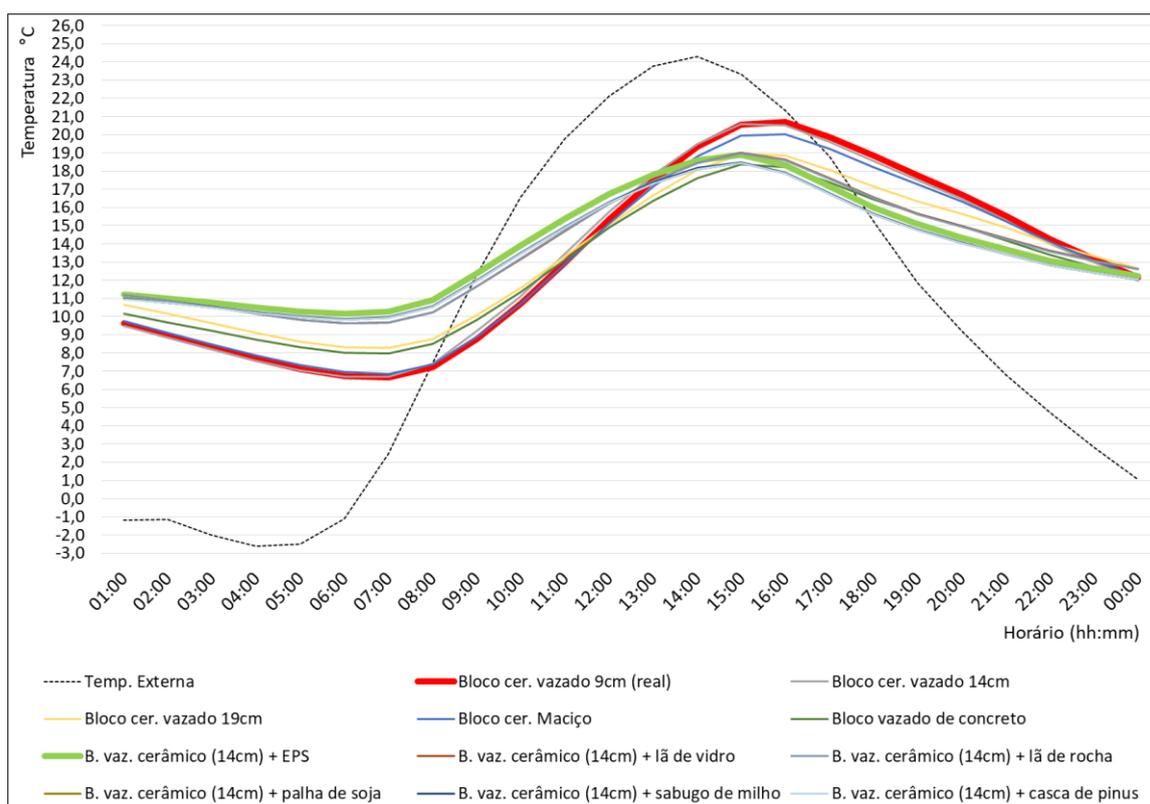
Para o emprego do material termoisolante, optou-se pelo uso do bloco cerâmico vazado (14cm), uma vez que, seu desempenho térmico foi próximo ao bloco cerâmico vazado (19cm), porém por se tratar de uma camada dupla, em função do isolante térmico, optou-se pelo de menor espessura, entretanto, não obteve-se uma significativa melhora.

Portanto, constatou-se que os blocos cerâmicos vazados, principalmente os de maior espessura, apresentaram melhores resultados em relação ao bloco vazado de concreto e o bloco cerâmico maciço, isso porque, conforme constatações de Macedo et al. (2011), os materiais cerâmicos tendem a proporcionar um melhor desempenho térmico, se comparado ao concreto. Outro fator importante, que diferencia o bloco vazado do bloco maciço, é a presença da camada de ar nos blocos vazados, que proporcionam o aumento da resistência térmica do material. Vale ressaltar, que o bloco utilizado na habitação, mesmo sendo vazado e cerâmico, apresentou o pior desempenho, devido a sua espessura ser muito fina, uma vez que, a espessura das

paredes é um dos fatores que interferem no desempenho térmico das edificações (MACEDO et al., 2011).

Para o dia típico de inverno, é possível observar os picos de temperatura, de acordo com a materialidade simulada, através do Gráfico 6 e Tabela 18.

Gráfico 6 – Análise do dia típico de inverno (parede)



Fonte: Autora (2019).

Tabela 18 – Picos de temperatura no dia típico de inverno

	Elemento	Temperatura mínima (°C)
Sem isolamento	Ambiente Externo	-2,61
	Bloco cerâmico vazado 9 cm (situação real)	6,67
	Bloco cerâmico vazado (14cm)	7,59
	Bloco cerâmico vazado (19cm)	8,27
	Bloco cerâmico maciço (11cm)	6,87
	Bloco vazado de concreto (14cm)	7,99
Com isolamento	B. vaz. cerâmico (14cm) + EPS	10,16
	B. vaz. cerâmico (14cm) + lã de vidro	9,62
	B. vaz. cerâmico (14cm) + lã de rocha	9,63
	B. vaz. cerâmico (14cm) + palha de soja	9,83
	B. vaz. cerâmico (14cm) + sabugo de milho	9,86
	B. vaz. cerâmico (14cm) + casca de pinus	9,83
	<b>Temp. máxima – Temp. mínima</b>	<b>3,49</b>

Fonte: Autora (2019).

No inverno, a pior situação continuou sendo o bloco cerâmico vazado de 9 cm de espessura, porém este resultado pode ser considerado satisfatório, visto que a temperatura mínima obtida, atende ao nível superior de desempenho térmico. Nas demais materialidades, as temperaturas mínimas internas se distanciaram ainda mais da temperatura mínima externa, dando destaque para o bloco vazado cerâmico de 14 cm de espessura mais o EPS, que proporcionaram temperatura mínima interna de 10,16°C, ou seja, uma diferença de 12,77°C em relação à temperatura mínima externa.

No Quadro 9, analisa-se os níveis de desempenho atingidos, de acordo com a materialidade analisada.

Quadro 9 – Nível de desempenho térmico

Material	Verão		Inverno	
	$T_{int.} - T_{ext.}$	Nível de desempenho	$T_{int.} - T_{ext.}$	Nível de desempenho
Bloco cerâmico vazado 9 cm (situação real)	2,26	NA	9,28	S
Bloco cerâmico vazado (14cm)	0,77	NA	10,2	S
Bloco cerâmico vazado (19cm)	-0,15	M	10,88	S
Bloco cerâmico maciço (11cm)	1,57	NA	9,48	S
Bloco vazado de concreto (14cm)	1,43	NA	10,6	S
B. vaz. cerâmico (14cm) + EPS	0,39	NA	12,77	S
B. vaz. cerâmico (14cm) + lã de vidro	0,56	NA	12,23	S
B. vaz. cerâmico (14cm) + lã de rocha	0,55	NA	12,24	S
B. vaz. cerâmico (14cm) + palha de soja	-0,05	M	12,44	S
B. vaz. cerâmico (14cm) + sabugo de milho	-0,02	M	12,47	S
B. vaz. cerâmico (14cm) + casca de pinus	-0,06	M	12,44	S

Fonte: Autora (2019).

Constatou-se, no verão, que na maioria dos casos não foi possível atender a nenhum nível de desempenho, apenas em quatro situações, onde alcançou-se o nível mínimo, de acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2013). Já no inverno, permaneceu um excelente resultado, atingindo o nível superior de desempenho em todos os casos.

#### 4.4 Materialidade dos vidros

Nas habitações, foram utilizados vidros lisos, incolores com espessura de 3mm, sendo analisado mais duas opções: vidro 6mm e vidro 3mm com brise horizontal. As

temperaturas máximas e mínimas obtidas, após as simulações, estão descritas nas Tabelas 19 e 20.

Tabela 19 – Temperaturas máximas do dia típico de verão por ambiente

<b>Material</b>	<b>Ambiente externo (°C)</b>	<b>Dormitório Casal (°C)</b>	<b>Dormitório solteiro (°C)</b>	<b>Sala/cozinha (°C)</b>
Vidro 3mm	32,2	33,32	32,05	34,46
Vidro 6mm	32,2	32,76	31,61	34,06
Vidro 3mm + brise	32,2	30,41	28,86	31,41

Fonte: Autora (2019).

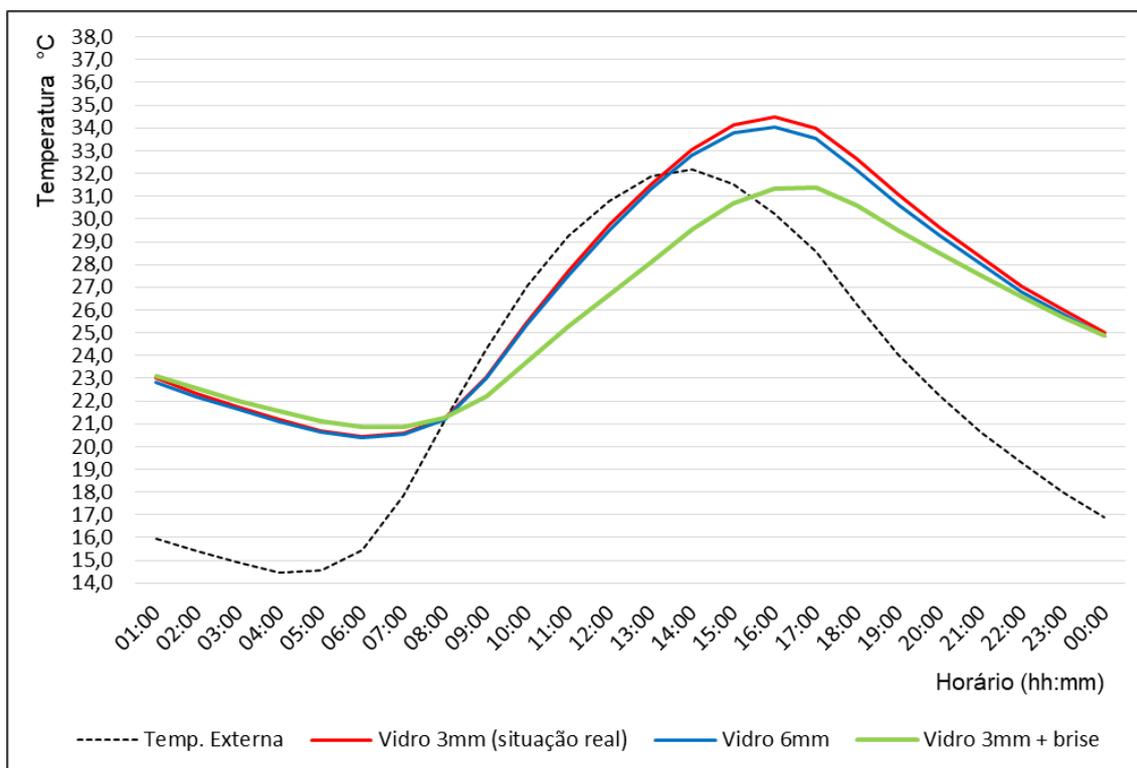
Tabela 20 – Temperaturas mínimas do dia típico de inverno por ambiente

<b>Material</b>	<b>Ambiente externo (°C)</b>	<b>Dormitório Casal (°C)</b>	<b>Dormitório solteiro (°C)</b>	<b>Sala/cozinha (°C)</b>
Vidro 3mm	-2,61	7,52	7,74	6,67
Vidro 6mm	-2,61	7,47	7,68	6,64
Vidro 3mm + brise	-2,61	8,35	8,59	7,48

Fonte: Autora (2019).

Foram analisadas as curvas de temperatura do dia típico de verão para o ambiente sala/cozinha (mais crítico), observando as temperaturas máximas obtidas, de acordo com o tipo de vidro, conforme demonstrado no Gráfico 7 e Tabela 21.

Gráfico 7 – Análise do dia típico de verão (vidros)



Fonte: Autora (2019).

Tabela 21 – Picos de temperatura no dia típico de verão

	Ambiente Externo	Vidro 3mm (situação real)	Vidro 6mm	Vidro 3mm + brise
T. Máxima (°C)	32,2	34,46	34,06	31,41
T. máxima – T. mínima	3,05°C			

Fonte: Autora (2019).

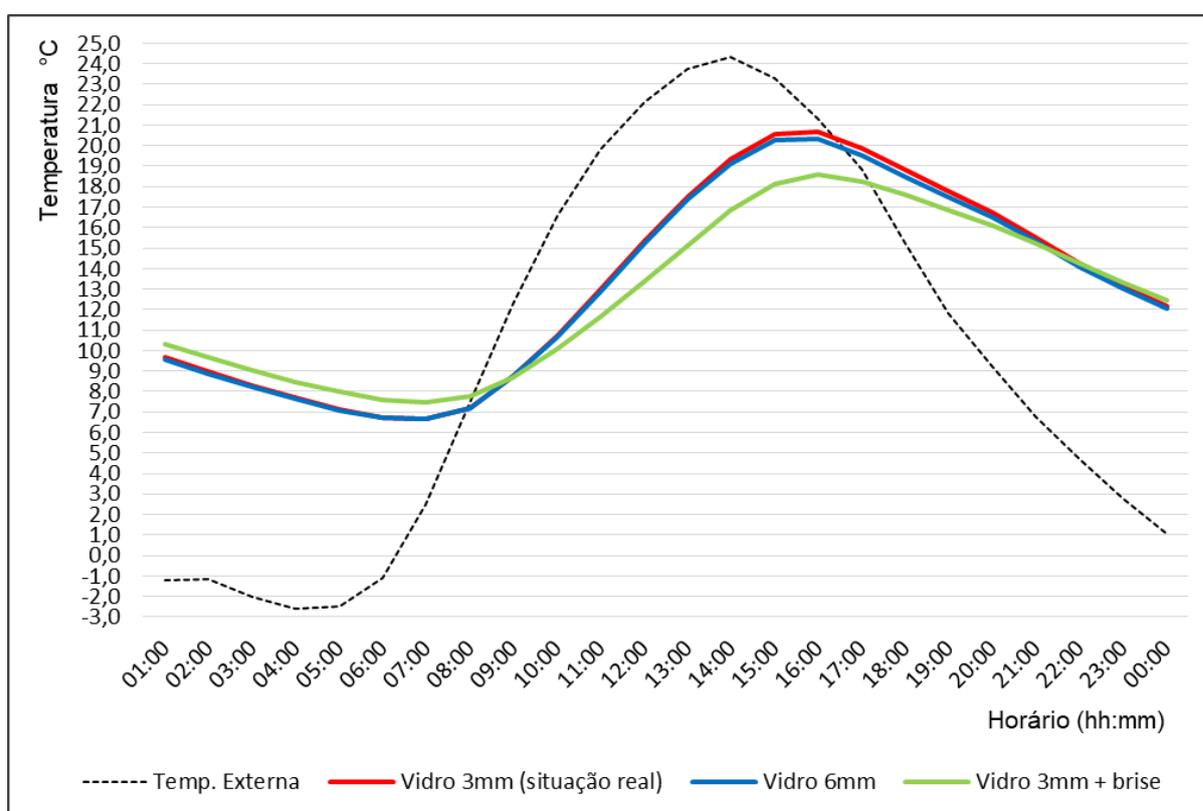
Constatou-se que, mesmo alterando a espessura do vidro, de 3mm para 6 mm, não houve uma melhora no desempenho térmico, visto que as temperaturas máximas obtidas foram muito próximas. Por se tratar de vidros lisos, Lamberts et al. (2014), destaca que a transparência do vidro faz com que haja a troca de calor através da radiação, transmitindo mais calor para o interior da edificação, porém se utilizar um vidro mais escuro, afetará na iluminação natural.

Para tal, optou-se em analisar o vidro 3mm com a presença de uma zona de sombreamento, conhecida como brise, onde foi possível visualizar uma melhora, no desempenho térmico, de 3,05°C a menos, se comparado ao uso do vidro de 3mm, apenas. O resultado satisfatório se deve pelo sombreamento provocado pelo brise,

impedindo que a radiação solar penetre totalmente para o interior da edificação, amenizando a troca de calor entre os ambientes (LAMBERTS et al., 2014).

A mesma avaliação foi realizada no dia típico de inverno, onde no Gráfico 8, é possível visualizar as curvas de temperaturas obtidas nesse dia, além das temperaturas mínimas atingidas, conforme Tabela 22.

Gráfico 8 – Análise do dia típico de inverno (vidros)



Fonte: Autora (2019).

Tabela 22 – Picos de temperatura no dia típico de inverno

	Ambiente Externo	Vidro 3mm (situação real)	Vidro 6mm	Vidro 3mm + brise
T. Mínima (°C)	-2,61	6,67	6,64	7,48
T. máxima – T. mínima	0,81°C			

Fonte: Autora (2019).

No inverno, os dois tipos de vidros apresentaram temperaturas mínimas bem próximas, enquanto que com o uso do brise, houve uma melhora no desempenho térmico, onde a mínima atingida foi de 7,48°C, apresentando uma melhora de 0,81°C em relação aos demais. No verão, o uso do brise proporcionou melhores resultados,

devido ao sombreamento proporcionado por ele, onde neste caso, foi possível atingir o nível mínimo de desempenho, exigido por norma, enquanto que nos demais casos não atendeu aos critérios. No inverno, atingiu-se o nível superior de desempenho térmico, em ambos os casos. A relação dos níveis de desempenho, de acordo com a materialidade aplicada, encontra-se no Quadro 10.

Quadro 10 – Nível de desempenho térmico

Material	Verão		Inverno	
	$T_{int.} - T_{ext.}$	Nível de desempenho	$T_{int.} - T_{ext.}$	Nível de desempenho
Vidro 3mm (situação real)	2,26	NA	9,28	S
Vidro 6mm	1,86	NA	9,28	S
Vidro 3mm + brise	-0,79	M	9,4	S

Fonte: Autora (2019).

#### 4.5 Cores da fachada

Foram realizadas três simulações, avaliando, de forma individual, as cores das fachadas, sendo elas, clara, média e escura. As temperaturas máximas e mínimas obtidas para cada ambiente, estão descritas nas Tabelas 23 e 24.

Tabela 23 – Temperaturas máximas do dia típico de verão por ambiente

Cor	Ambiente externo (°C)	Dormitório Casal (°C)	Dormitório solteiro (°C)	Sala/cozinha (°C)
Clara	32,2	33,32	32,05	34,46
Média	32,2	34,75	33,12	35,43
Escura	32,2	36,17	34,16	36,35

Fonte: Autora (2019).

Tabela 24 – Temperaturas mínimas do dia típico de inverno por ambiente

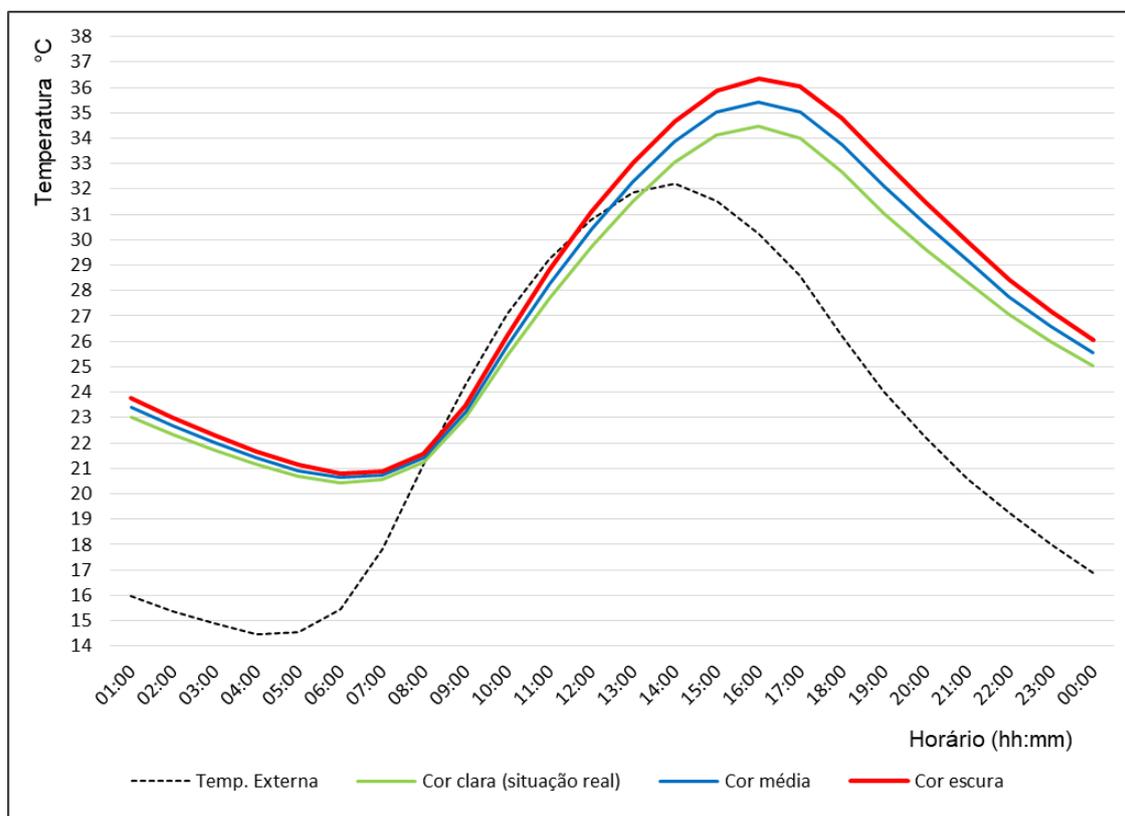
Cor	Ambiente externo (°C)	Dormitório Casal (°C)	Dormitório solteiro (°C)	Sala/cozinha (°C)
Clara	-2,61	7,52	7,74	6,67
Média	-2,61	7,80	8,02	6,83
Escura	-2,61	8,06	8,28	6,98

Fonte: Autora (2019).

Realizou-se uma avaliação no ambiente considerado mais crítico (sala/cozinha), onde, através do Gráfico 9, é possível visualizar a influência de cada cor em relação ao desempenho térmico, no dia típico de verão. Ainda, na Tabela 25,

observa-se as temperaturas máximas obtidas, de acordo com a cor estabelecida na simulação.

Gráfico 9 - Análise do dia típico de verão (cores)



Fonte: Autora (2019).

Tabela 25 – Picos de temperatura no dia típico de verão

	Ambiente Externo	Cor clara (situação real)	Cor média	Cor escura
T. Máxima (°C)	32,2	34,46	35,43	36,35
T. máxima – T. mínima	1,89°C			

Fonte: Autora (2019).

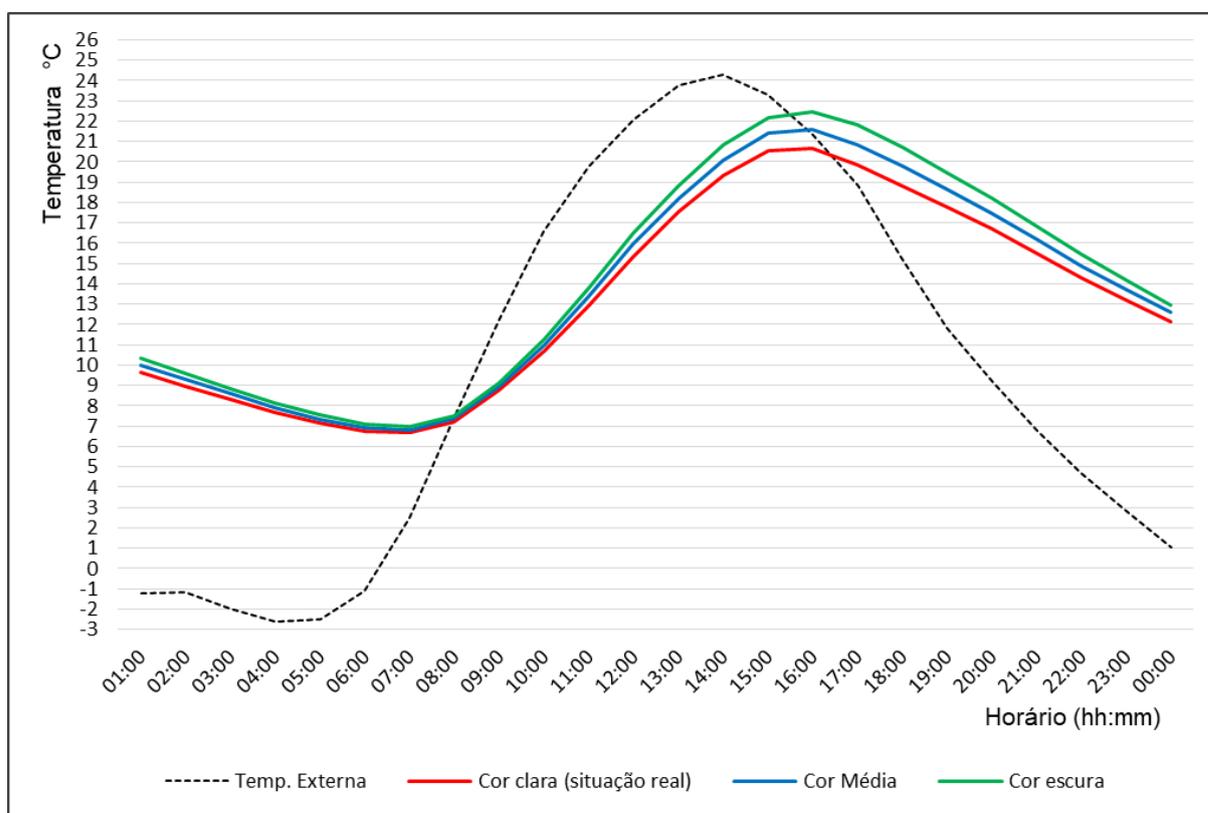
Visualizando as curvas obtidas no Gráfico 9, conclui-se que a escolha da cor influencia significativamente no desempenho térmico, uma vez que, alterando para a cor escura (pior resultado), obteve-se uma diferença de 1,89°C, em relação a cor clara, de melhor resultado.

Constatou-se que, no amanhecer, as temperaturas ficaram muito próximas, porém, com o passar das horas, as curvas se distanciaram, apresentando elevadas temperaturas, devido a radiação solar. Esse comportamento confirma o que foi

indicado por Carlo (2008), ressaltando que a cor utilizada na envoltória influencia diretamente no desempenho térmico, em função da absorção do calor, através da radiação solar.

Os picos de temperatura obtidos, no dia típico de inverno, estão ilustrados no Gráfico 10, enquanto que, na Tabela 26, é possível visualizar as temperaturas mínimas obtidas, de acordo com a cor estabelecida.

Gráfico 10 – Análise do dia típico de inverno (cores)



Fonte: Autora (2019).

Tabela 26 – Picos de temperatura no dia típico de inverno

	Ambiente Externo	Cor clara (situação real)	Cor média	Cor escura
T. Mínima (°C)	-2,61	6,67	6,83	6,98
T. máxima – T. mínima	0,31°C			

Fonte: Autora (2019).

No inverno, as temperaturas mínimas obtidas foram muito próximas, apresentando, apenas, uma variação de 0,31°C entre a cor escura e clara. Porém, todos os casos atenderam aos requisitos de desempenho térmico, na condição de

inverno, enquanto que no verão, mesmo utilizando a cor clara (melhor desempenho), não foi possível atender ao nível mínimo, uma vez que, todas as temperaturas máximas obtidas foram superiores à temperatura máxima externa. A classificação quanto ao nível de desempenho térmico está descrita, no Quadro 11.

Quadro 11 – Nível de desempenho térmico

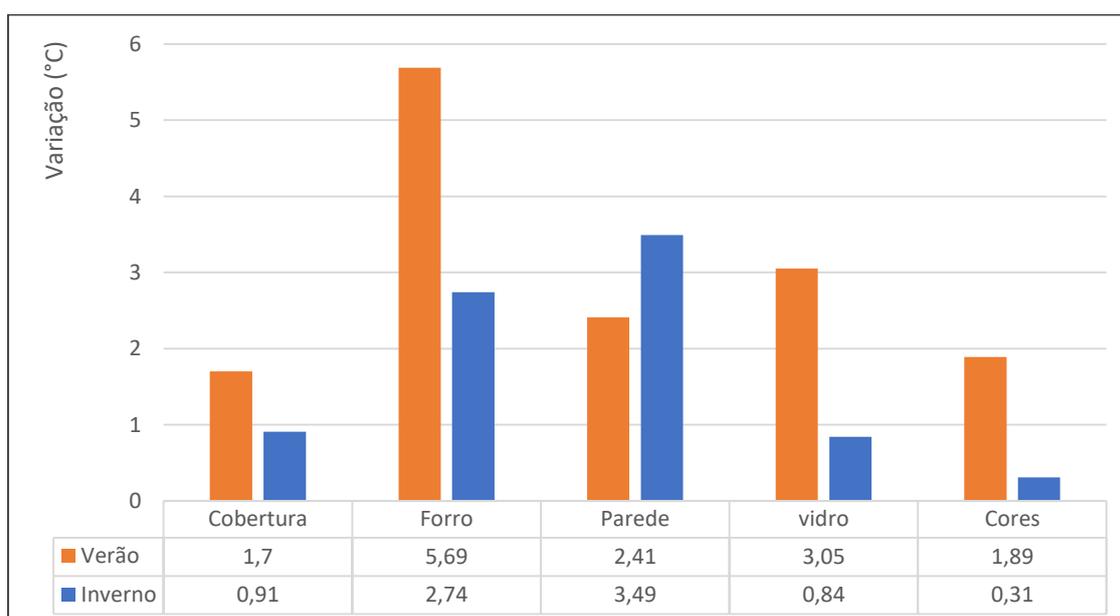
Material	Verão		Inverno	
	$T_{int.} - T_{ext.}$	Nível de desempenho	$T_{int.} - T_{ext.}$	Nível de desempenho
Cor clara (situação real)	2,26	NA	9,28	S
Cor média	3,23	NA	9,44	S
Cor escura	4,15	NA	9,59	S

Fonte: Autora (2019).

#### 4.5 Análise final

De forma geral, constatou-se que, no verão, das materialidades analisadas, a que teve maior influência de forma positiva no desempenho térmico foi a materialidade aplicada no sistema construtivo do forro (laje + lâ de rocha), enquanto que no inverno, a materialidade do sistema construtivo das paredes (bloco vaz. cerâmico 14 cm + EPS) apresentou maior influência, como ilustrado no Gráfico 11. Vale ressaltar que nos dois sistemas construtivos que se destacaram, foram utilizados isolantes térmicos.

Gráfico 11 – Variação de temperatura de acordo com o sistema construtivo



Fonte: Autora (2019).

Para as análises finais, selecionou-se as materialidades que apresentaram os melhores resultados no quesito desempenho térmico, quando avaliadas de forma individual. Na Tabela 27, estão descritas as materialidades adotadas, ou seja, as possibilidades de substituição de material para as habitações já existentes e também para habitações futuras.

Tabela 27 – Materialidade de melhor resultado

Habitações	Materiais adotados nas simulações finais
Existentes	- Cobertura cerâmica - PVC + lã de rocha - vidro 3mm + brise
Futuras	- Cobertura cerâmica - Laje + lã de rocha - Bloco cerâmico vazado (14cm) + EPS - vidro 3mm + brise

Fonte: Autora (2019).

A materialidade selecionada para a análise das habitações existentes, foi escolhida a partir da possibilidade de implantação desses materiais nas edificações. Já para a análise das habitações futuras, selecionou-se os melhores resultados obtidos em todas as análises individuais, com exceção do sistema construtivo das paredes, onde optou-se pelo uso do EPS, ao invés do bloco vazado cerâmico de 19cm (melhor resultado), em virtude do bom resultado apresentado pelo uso do EPS nas duas estações.

#### 4.5.1 Habitações existentes

Realizada a substituição da materialidade nas habitações existentes, como já mencionado na Tabela 27, obteve-se os resultados para cada ambiente, de acordo com a situação real (materialidade original) e final (materialidade de melhor resultado), conforme especificado nas Tabelas 28 e 29.

Tabela 28 – Temperaturas máximas do dia típico de verão por ambiente

Situação	Ambiente externo (°C)	Dormitório Casal (°C)	Dormitório solteiro (°C)	Sala/cozinha (°C)
Real	32,2	33,32	32,05	34,46
Final	32,2	28,76	27,20	29,76

Fonte: Autora (2019).

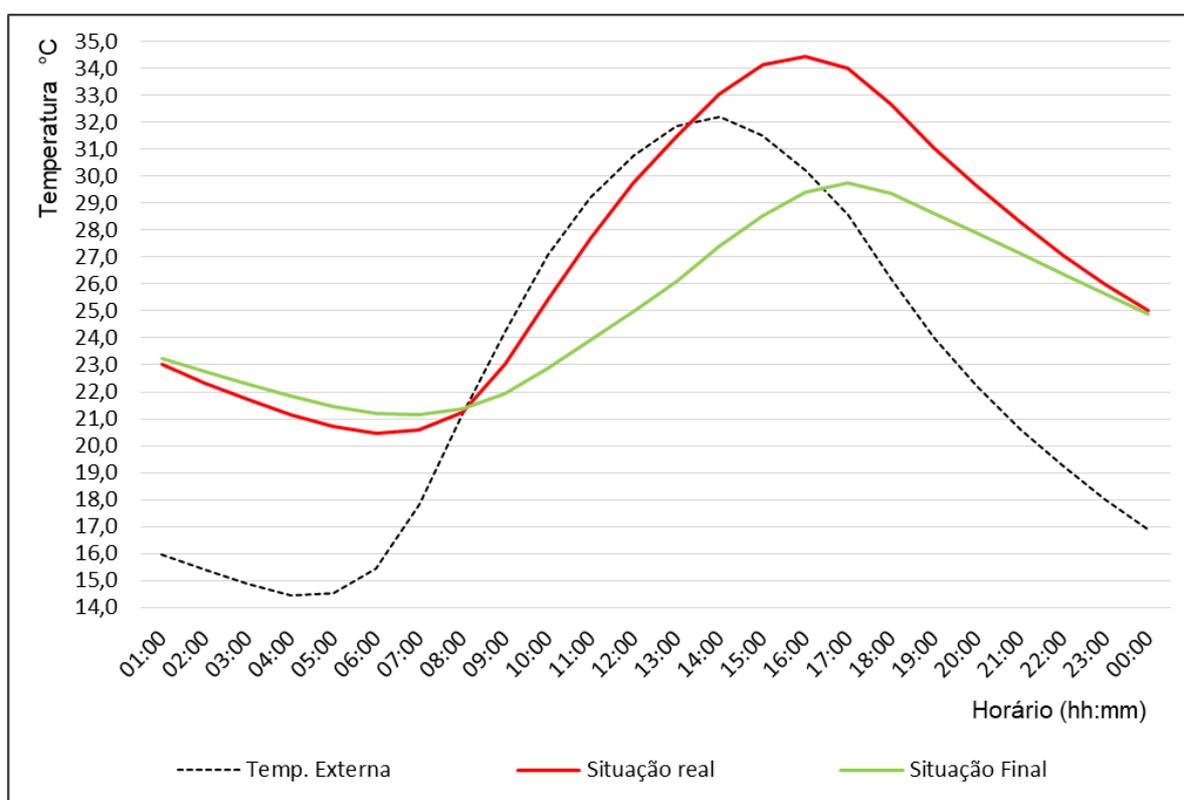
Tabela 29 – Temperaturas mínimas do dia típico de inverno por ambiente

Situação	Ambiente externo (°C)	Dormitório Casal (°C)	Dormitório solteiro (°C)	Sala/cozinha (°C)
Real	-2,61	7,52	7,74	6,67
Final	-2,61	8,99	9,24	8,16

Fonte: Autora (2019).

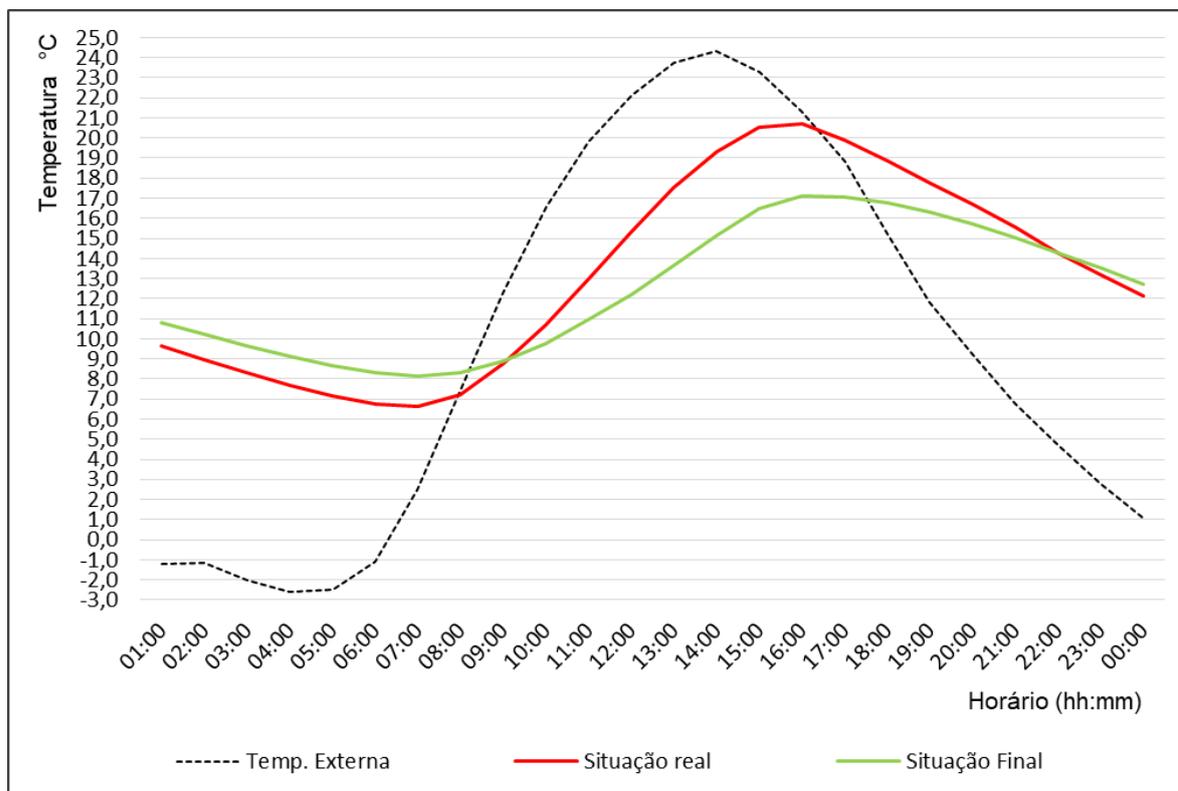
Já, nos Gráficos 12 e 13, é possível comparar o comportamento que as temperaturas apresentaram no ambiente mais crítico (sala/cozinha), após a substituição da materialidade, enquanto que a Tabela 30, destaca as temperaturas máximas e mínimas obtidas.

Gráfico 12 – Análise final do dia típico de verão (habitações existentes)



Fonte: Autora (2019).

Gráfico 13 – Análise final do dia típico de inverno (habitações existentes)



Fonte: Autora (2019).

Tabela 30 – Picos de temperatura no dia típico de verão e inverno

	Temperatura máxima °C (verão)	Temperatura mínima °C (inverno)
Ambiente externo	32,20	-2,61
Situação real	34,46	6,66
Situação final	29,76	8,15
Variação	4,7	1,49

Fonte: Autora (2019).

Constatou-se que houve um grande distanciamento entre as curvas, principalmente nas temperaturas extremas de cada estação, onde no verão apresentou uma melhora de 4,7°C, em relação a situação real, enquanto que no inverno, a variação foi de 1,49°C (Tabela 30).

Analisou-se, portanto, que com as possíveis trocas de materialidade no sistema construtivo das habitações existentes, é possível atingir um bom desempenho térmico, conforme Quadro 12, principalmente no verão, onde a situação real, apresentou desempenho térmico insatisfatório.

Quadro 12 – Nível de desempenho térmico

Material	Verão		Inverno	
	$T_{int.} - T_{ext.}$	Nível de desempenho	$T_{int.} - T_{ext.}$	Nível de desempenho
Situação Real	2,26	NA	9,28	S
Situação Final	-2,44	I	10,76	S

Fonte: Autora (2019).

Após a troca da materialidade na situação final, o nível de desempenho térmico atingido, no verão, foi o intermediário, enquanto que no inverno, o nível atingido continua sendo o máximo, ou seja, o nível superior de desempenho térmico, conforme Quadro 12.

#### 4.5.2 Habitações futuras

As temperaturas máximas e mínimas obtidas em cada ambiente, de acordo com a materialidade adotada para habitações futuras, estão descritas nas Tabelas 31 e 32.

Tabela 31 – Temperaturas máximas do dia típico de verão por ambiente

Situação	Ambiente externo (°C)	Dormitório Casal (°C)	Dormitório solteiro (°C)	Sala/cozinha (°C)
Real	32,2	33,32	32,05	34,46
Final	32,2	26,32	25,33	27,06

Fonte: Autora (2019).

Tabela 32 – Temperaturas mínimas do dia típico de inverno por ambiente

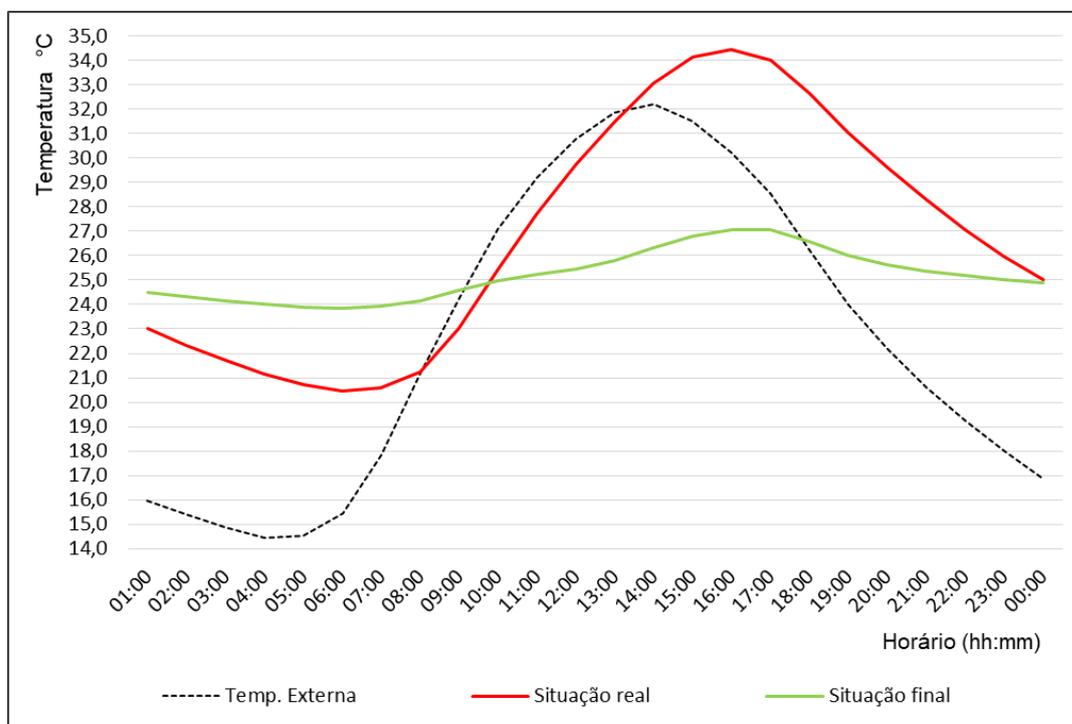
Situação	Ambiente externo (°C)	Dormitório Casal (°C)	Dormitório solteiro (°C)	Sala/cozinha (°C)
Real	-2,61	7,52	7,74	6,67
Final	-2,61	12,44	12,37	11,56

Fonte: Autora (2019).

As curvas de temperatura para as estações de verão e inverno estão ilustradas nos Gráficos 14 e 15, onde é possível comparar o comportamento de ambas, após a substituição da materialidade, no ambiente mais crítico (sala/cozinha). Já na Tabela 33, observa-se as temperaturas máximas e mínimas obtidas, nas duas situações: real

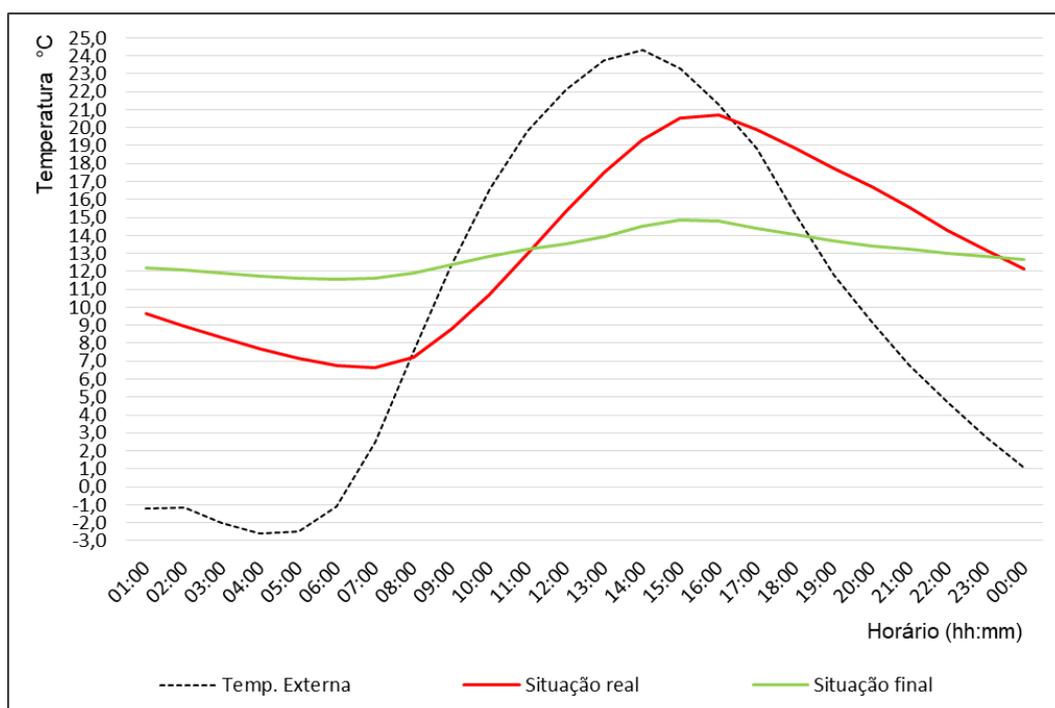
e final, indicando a variação no desempenho térmico, proporcionada pela troca da materialidade.

Gráfico 14 - Análise final do dia típico de verão (habitações futuras)



Fonte: Autora (2019).

Gráfico 15 - Análise final do dia típico de inverno (habitações futuras)



Fonte: Autora (2019).

Tabela 33 – Picos de temperatura no dia típico de verão e inverno

	<b>Temperatura máxima °C (verão)</b>	<b>Temperatura mínima °C (inverno)</b>
Ambiente externo	32,2	-2,61
Situação real	34,46	6,66
Situação final	27,06	11,56
Variação	7,4	4,9

Fonte: Autora (2019).

Na análise das habitações futuras, obteve-se melhores resultados se comparado à análise final das habitações existentes, devido a materialidade aplicada, ou seja, neste caso, por se tratar de habitações futuras, há possibilidade de utilizar mais materiais que proporcionam um melhor desempenho térmico, como o uso laje e lã de rocha, no forro e o bloco cerâmico vazado de 14cm mais o EPS, nas paredes.

Nos Gráficos 13 e 14, é possível observar, que tanto no verão como no inverno, as curvas obtidas na situação final estão mais horizontais, o que demonstra que as temperaturas internas estão mais amenas. Constatou-se, também, que há um grande distanciamento entre elas, onde no verão foi possível atingir uma diferença de 7,4°C a mais em relação à temperatura máxima interna da situação real. No inverno, o resultado também foi satisfatório, atingindo a variação de 4,9°C em relação à situação real. Os resultados obtidos reforçam os conceitos de Lamberts (2014), onde destaca que a materialidade tem extrema influência no desempenho térmico das edificações.

Vale ressaltar que, em função das temperaturas ficarem mais amenas, além do conforto proporcionado ao usuário, obtêm-se uma economia no consumo de energia, devido a diminuição do uso do ar condicionado, onde em algumas situações do dia, as temperaturas ficaram mais baixas, dispensando o uso de sistemas de resfriamento.

No Quadro 13, está especificado os níveis de desempenho atingidos na situação real e final, bem como a variação da temperatura máxima e mínima interna e externa.

Quadro 13 – Nível de desempenho térmico

Material	Verão		Inverno	
	$T_{int.} - T_{ext.}$	Nível de desempenho	$T_{int.} - T_{ext.}$	Nível de desempenho
Situação Real	2,26	NA	9,28	S
Situação Final	-5,14	S	14,17	S

Fonte: Autora (2019).

Verificou-se, portanto, que de todas as avaliações realizadas, apenas na situação final, foi possível atingir o nível superior de desempenho, no verão. Já para o inverno, o desempenho térmico continuou sendo satisfatório em todos os casos, melhorando ainda mais na análise final, porém quanto ao nível de desempenho, manteve-se o superior, como em todos os outros casos.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através deste estudo foi possível avaliar a influência de cada materialidade, com relação ao desempenho térmico e análise dos níveis de desempenho atingidos, de acordo com NBR 15575 (ABNT, 2013). Constatou-se que as habitações em questão, apresentam péssimo desempenho térmico no verão, não atingindo o nível mínimo de desempenho, exigido por norma, enquanto que no inverno, as condições são satisfatórias, atingindo o nível superior de desempenho.

Pôde-se concluir que, dos elementos analisados, o que teve maior influência, de forma positiva no verão, foi o sistema construtivo do forro, enquanto que os demais resultados obtidos, em ordem decrescente, foi o tipo de vidro utilizado, o sistema construtivo das paredes, as cores das fachadas e o tipo de telha utilizada. Já para a estação do inverno, o sistema construtivo das paredes teve extrema influência na melhora do desempenho térmico, se destacando muito das demais. Em subsequência, está o sistema construtivo do forro, em seguida o da cobertura, o tipo de vidro e por último as cores das fachadas.

As materialidades que apresentaram os melhores resultados, em ambas as estações, foi o uso da laje com a aplicação da lã de rocha, em seguida, a cor clara nas fachadas e o vidro 3mm com um brise horizontal, enquanto que no verão, a telha cerâmica apresentou melhor desempenho térmico, e no inverno, a telha metálica. Já para o sistema construtivo das paredes, no verão, o bloco cerâmico vazado de 19cm apresentou melhor desempenho térmico e, no inverno, a melhor opção foi o uso do bloco cerâmico vazado de 14cm e o EPS.

Este estudo possibilitou apontar alternativas de materialidades e isolantes térmicos a serem aplicados nas habitações existentes e também, habitações futuras. Com a substituição dos materiais nas habitações existentes, obteve-se, no verão, uma melhora de menos 4,7°C com relação à temperatura interna, na situação real, enquanto que no inverno, a temperatura interna aumentou 1,49°C. O nível de desempenho térmico obtido no verão foi o intermediário e no inverno, permaneceu o nível superior, sendo este o máximo, estabelecido por norma.

Na análise realizada para as habitações futuras, os resultados obtidos foram os melhores, uma vez que, foram aplicados todos os materiais que apresentaram melhor desempenho térmico. Na estação verão, alcançou-se uma melhora de 7,4°C em relação à temperatura interna da habitação, em sua situação real, enquanto que no inverno, obteve-se uma melhora de 4,9°C. Também, atingiu-se uma significativa melhora no nível de desempenho térmico no verão, sendo possível atingir o nível superior de desempenho térmico, enquanto que as habitações, em sua situação real, não atendiam a nenhum dos níveis.

Concluiu-se, portanto, que a materialidade e o emprego de isolantes térmicos na construção civil, são de extrema importância frente ao desempenho térmico, podendo atingir melhores níveis de desempenho térmico e conforto ao usuário, apenas com a escolha correta dos materiais e do sistema construtivo. A partir desse estudo, verificou-se a necessidade de realizar avaliações que visam por condições favoráveis de conforto para edificações residenciais, com foco nas que pertencem ao Programa Nacional de Habitação Rural, que assim como as habitações estudadas, tendem a apresentar péssimo desempenho térmico.

Por fim, como sugestão para trabalhos futuros, sugere-se a análise dos custos para implementação dos sistemas construtivos avaliados nessa pesquisa, analisando o custo-benefício de cada materialidade, uma vez que, trata-se de habitações populares que pertencem à programas habitacionais.

## REFERÊNCIAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15.220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15.575**: Edificações habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 16.401-2**: Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários. Parte 2: Parâmetros de conforto térmico. Rio de Janeiro, 2008.

ANDREOLLI, Samara. **Avaliação do desempenho térmico de edificações em contêiner**. Univates, Lajeado, 2017.

ASDRUBALI, Francesco; D'ALESSANDRO, Francesco; SCHIAVONI, Samuele. *A review of unconventional sustainable building insulation materials*. ***Sustainable Materials and Technologies***, v. 4, p. 1-17, 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214993715000068>>. Acesso em: 03 nov. 2019.

BROFMAN, Eduardo Gus. **Estudo de cogeração em Hotéis**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/108526> >. Acesso em: 15 abr. 2019.

CARLO, Joyce; PEREIRA, Fernando OR; LAMBERTS, Roberto. **Iluminação natural para redução do consumo de energia de edificações de escritório aplicando propostas de eficiência energética para o código de obras do Recife**. In: Conferência Latino Americana de construção sustentável, encontro nacional de tecnologia no ambiente construído. 2004. Disponível em: <[ftp://ip20017719.eng.ufjf.br/Public/AnaisEventosCientificos/ENTAC\\_2004/trabalhos/PAP0370d.pdf](ftp://ip20017719.eng.ufjf.br/Public/AnaisEventosCientificos/ENTAC_2004/trabalhos/PAP0370d.pdf)>. Acesso em: 15 abr. 2019.

CARLO, Joyce Correna. **Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação da Eficiência Energética do Envolvimento de Edificações Não-residenciais**. Santa Catarina: Universidade Federal de Santa Catarina, 2008. Disponível em: <[http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/teses/TESE\\_Joyce\\_Correna\\_Carlo.pdf](http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/teses/TESE_Joyce_Correna_Carlo.pdf)>. Acesso em: 20 maio 2019.

CAU/RS. **Guia para arquitetos na aplicação da norma de desempenho: ABNT NBR 15.575**. Porto Alegre, 2015. Disponível em: <[https://www.caubr.gov.br/wp-content/uploads/2015/09/2\\_guia\\_normas\\_final.pdf](https://www.caubr.gov.br/wp-content/uploads/2015/09/2_guia_normas_final.pdf)>. Acesso em: 20 maio 2019.

CEF. Caixa Econômica Federal. **Minha casa minha vida: Habitação rural**, 2018. Disponível em: <<http://www.caixa.gov.br/voce/habitacao/minha-casa-minha-vida/rural/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 21 abr. 2019.

CHVATAL, Karin M.S; RORIZ, Victor F. **Avaliação do desempenho térmico de habitações segundo a ABNT NBR 15575**. Avaliação de Desempenho de Tecnologias Construtivas Inovadoras, Porto Alegre, ANTAC, cap. 5, p. 41-54, 2015. Disponível em: <[http://infohab.org.br/entac/2016/ENTAC2016\\_paper\\_712.pdf](http://infohab.org.br/entac/2016/ENTAC2016_paper_712.pdf)>. Acesso em: 21 abr. 2019.

CORTES, Rogério Gomes; FRANÇA, Sérgio Luiz Braga; QUELHAS, Osvaldo Luiz Gonçalves; MOREIRA, Marcos Muniz; MEIRINO, Marcelo Jasmim. **Contribuições para a sustentabilidade na construção civil**. Revista Eletrônica Sistemas & Gestão, Rio de Janeiro, v. 6, p. 384-397, 2011. Disponível em: <<http://www.revistasg.uff.br/index.php/sg/article/download/V6N3A10/V6N3A10>>. Acesso em: 20 abr. 2019.

D'AMICO, Fabiano. O Programa Minha Casa, Minha Vida e a Caixa Econômica Federal: **O desenvolvimento econômico brasileiro e a caixa. Trabalhos premiados**. Curitiba, Paraná, 2011. Disponível em: <[http://www.centrocelsofurtado.org.br/arquivos/image/201111291655290.LivroCAIXA\\_T\\_0.pdf](http://www.centrocelsofurtado.org.br/arquivos/image/201111291655290.LivroCAIXA_T_0.pdf)>. Acesso em: 20 abr. 2019.

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, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 139-154, out./dez. 2010. Disponível em: <<https://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/12108>>. Acesso em: 25 abr. 2019.

*ENERGYPLUS. Engineering Reference: U.S. Department of Energy*, 2016. Disponível em: <[https://energyplus.net/sites/all/modules/custom/nrel\\_custom/pdfs/pdfs\\_v8.5.0/EngineeringReference.pdf](https://energyplus.net/sites/all/modules/custom/nrel_custom/pdfs/pdfs_v8.5.0/EngineeringReference.pdf)>. Acesso em: 25 abr. 2019.

FAGUNDES, Julie Rossato; CAMPIGOTTO, Liziane; ZONTA, Paulo; CETOLIN, Sirlei Favero. Análise das metas do Programa Nacional de Habitação Rural (PNHR)

no contexto nacional. **Revista do Desenvolvimento Regional**, Faccat, Taquara, Rio Grande do Sul, v. 10, n. 2, jul./dez., 2013. Disponível em: <[https://seer.faccat.br/index.php/coloquio/article/view/29/pdf\\_7](https://seer.faccat.br/index.php/coloquio/article/view/29/pdf_7)>. Acesso em: 10 abr. 2019

FERREIRA, João Sette Whitaker. **Produzir casas ou construir cidades? Desafios para um novo brasil urbano**: parâmetros de qualidade para a implementação de projetos habitacionais e urbanos. 1ª ed. São Paulo, FUPAM, 2012. E-book. Disponível em: <[http://www.fau.usp.br/deprojeto/labhab/biblioteca/textos/ferreira\\_2012\\_produzirhab\\_cidades.pdf](http://www.fau.usp.br/deprojeto/labhab/biblioteca/textos/ferreira_2012_produzirhab_cidades.pdf)>. Acesso em: 10 abr. 2019.

FROTA, Anésia Barros; SHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de Conforto Térmico**. 5ª ed. São Paulo: Studio Nobel, 2003. Disponível em: <<http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/18350/material/ManualConfortoTERMICO.pdf>>. Acesso em: 10 maio 2019.

GOUVEIA, Ana Clara Araújo; ANDRADE, Luma de Siqueira; ALVIM, Leila Guedes; MAGALHÃES, Aldo Giuntini de. **Obtenção de coordenadas da geometria de uma edificação para arquivo do Energyplus utilizando o Revit**. Minas Gerais, v. 6. n. 02 jul/dez, 2014. Disponível em: <<http://www.fumec.br/revistas/construindo/article/view/2767>>. Acesso em: 25 maio 2019.

JELLE, Bjorn P. *Traditional, state-of-the-art and future thermal building insulation materials and solutions – Properties, requirements and possibilities*. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 10, p. 2549-2563, 2011. Disponível em: <[www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778811002295](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778811002295)>. Acesso em: 04 nov. 2019.

JOHN, Vanderley M.; SATO, N.M.N.; AGOPYAN, V.; SJÖSTRÖM, Christer. **Durabilidade e Sustentabilidade: Desafios para a Construção Civil Brasileira**. Workshop sobre durabilidade das construções, São José dos Campos, 2002. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/V\\_Agopyan/publication/266907499\\_Durabilidade\\_e\\_Sustentabilidade\\_Desafios\\_para\\_a\\_Construcao\\_Civil\\_Brasileira/links/544fe7730cf201441e935213/Durabilidade-e-Sustentabilidade-Desafios-para-a-Construcao-Civil-Brasileira.pdf](https://www.researchgate.net/profile/V_Agopyan/publication/266907499_Durabilidade_e_Sustentabilidade_Desafios_para_a_Construcao_Civil_Brasileira/links/544fe7730cf201441e935213/Durabilidade-e-Sustentabilidade-Desafios-para-a-Construcao-Civil-Brasileira.pdf)>. Acesso em: 25 abr. 2019.

KARPINSKI, Luisete A.; PANDOLFO, Adalberto; REINEHER, Renata; GUIMARÃES, Jalusa C. B.; PANDOLFO, Luciana M.; KUREK, Juliana. **Gestão diferenciada de resíduos da construção civil**: uma abordagem ambiental. Porto Alegre: EdiPUCRS, 2009. Disponível em: <<http://www.sinduscondf.org.br/portal/arquivos/GestaodeResiduosPUCRS.pdf>>. Acesso em: 25 abr. 2019.

KRÜGER, Eduardo Leite; MORI, Fabiano. **Análise da eficiência energética da envoltória de um projeto padrão de uma agência bancária em diferentes zonas bioclimáticas brasileiras**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 12, n. 3, p. 89-106, jul./set. 2012. Disponível em: < [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1678-86212012000300007&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1678-86212012000300007&script=sci_abstract&tlng=pt)>. Acesso em: 25 abr. 2019.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. **Eficiência energética na arquitetura**. 3ª ed. São Paulo: PW Editores, 2014. Disponível em: < <http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/Livro%20-%20Efici%C3%Aancia%20Energ%C3%A9tica%20na%20Arquitetura.pdf> >. Acesso em: 25 abr. 2019.

MARCOS, Juliana Sofia Lopes. **Materiais naturais alternativos de isolamento térmico**. 2015. 125 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 2015.

BRASIL, M. Cidades. **Pesquisa de satisfação dos beneficiários do Programa Minha Casa Minha Vida**. Brasília, DF. Disponível em: <[http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com\\_content&view=article&id=24184](http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=24184)>. Acesso em: 22 out. 2019

MENDES, Nathan; WESTPHAL, Fernando Simon; LAMBERTS, Roberto; NETO, José A. Bellini da Cunha. **Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 5, n. 4, p. 47-68, out./dez. 2005. Disponível em: <<https://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/viewFile/3657/2013>>. Acesso em: 25 abr. 2019.

MENDES, Pedro Filipe Sousa. **Isolamentos térmicos em edifícios e seu contributo para a eficiência energética**. 2012. 224 f. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Fernando Pessoa, Porto, 2012. Disponível em: <<https://bdigital.ufp.pt/handle/10284/3333>>. Acesso em: 28 out. 2019.

MEZZOMO, Paulo; PACHECO, Fernanda; OLIVEIRA, Maria Fernanda de. **Análise da influência de características da envoltória no desempenho térmico de habitações de interesse social unifamiliares no rio grande do sul**. São Leopoldo, 2019.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanço Energético Nacional – BEN 2016**. Relatório Final. Brasília, 2016. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/>>. Acesso em: 25 abr. 2019.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanço Energético Nacional – BEN 2018**. Relatório Final. Brasília, 2018. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/>>. Acesso em: 25 abr. 2019.

MOTTA, Silvio Romero Fonseca. **Sustentabilidade na construção civil: crítica, síntese, modelo de política e gestão de empreendimentos**. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009. Disponível em:

<[http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/ISMS-842G7C/diserta\\_\\_o\\_silvio\\_motta.pdf?sequence=1](http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/ISMS-842G7C/diserta__o_silvio_motta.pdf?sequence=1)>. Acesso em: 25 abr. 2019.

OLIVEIRA, Marcia Maria Dosciatti; MENDES, Michel; HANSEL, Claudia Maria; DAMIANI, Suzana. **Cidadania, meio ambiente e sustentabilidade**. Caxias do Sul, RS : Educs, 2017. Disponível em: < [https://www.ucs.br/site/midia/arquivos/ebook-cidadani-meioamb\\_3.pdf](https://www.ucs.br/site/midia/arquivos/ebook-cidadani-meioamb_3.pdf)>. Acesso em: 10 abr. 2019.

ORDENES, M. et al. **Metodologia utilizada na elaboração da biblioteca de materiais e componentes construtivos brasileiros para simulações no VisualDOE-3.1 Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE)**.

Florianópolis: [s.n.]. Disponível em: <[http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios\\_pesquisa/RP\\_Biblioteca\\_Materiais\\_VisualDOE.pdf%5CnAcesso em 20 ago.2015](http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios_pesquisa/RP_Biblioteca_Materiais_VisualDOE.pdf%5CnAcesso em 20 ago.2015)>. Acesso em: 25 out. 2019.

POZZA, Fernando. **Análise térmica e energética de uma edificação residencial climatizada com sistema de fluxo de refrigerante variável - VRF**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011. Disponível em:

<<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/34759>>. Acesso em: 15 abr. 2019.

QUEIRÓZ, Gabriel Ramos de; GRIGOLETTI, Giane de Campos; SANTOS, Joaquim César Pizzutti dos. **Interoperabilidade entre os programas AutoDesk Revit e EnergyPlus para simulação térmica de edificações**. PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, Campinas, SP, v. 10, p. e019005, jan. 2019. ISSN 1980-6809. Disponível em:

<<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8652852>>. Acesso em: 18 maio 2019.

RESENDE, Bruna Cristina; SOUZA, Henor Artur de; GOMES, Adriano Pinto. **Modelagem da transferência de calor de ambientes subterrâneos no programa de simulação EnergyPlus**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 19, n. 1, p. 161-180, jan./mar. 2019. Disponível em:

<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1678-86212019000100161&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1678-86212019000100161&lng=pt&nrm=iso)>. Acesso em: 25 maio 2019.

RODRIGUES, Marcus Vinicius de Paiva. **Avaliação da eficiência energética de edificações residenciais em fase de projeto**: análise de desempenho térmico pelo método prescritivo e por simulação computacional aplicados a estudo de caso de projeto-tipo do exército brasileiro. Campinas, São Paulo: Unicamp, 2015. Disponível em:

<[http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/258363/1/Rodrigues\\_MarcusViniciusdePaiva\\_M.pdf](http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/258363/1/Rodrigues_MarcusViniciusdePaiva_M.pdf)>. Acesso em: 10 abr. 2019.

RODRÍGUEZ, Angel Stive Castañeda. **Qualidade da habitação nos assentamentos rurais no PNHR/PMCMV do estado de São Paulo**. Casos: Florestan Fernandes, Dona Carmem e Boa Esperança. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2016. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/102/102131/tde-30062016-115312/>>. Acesso em: 10 abr. 2019.

ROLNIK, Raquel; KLINK, Jeroen. **Crescimento econômico e desenvolvimento urbano**: por que nossas cidades continuam tão precárias? Novos estudos CEBRAP, n. 89, p. 89-109, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/nec/n89/06.pdf>>. Acesso em: 15 maio 2019.

ROVER, Oscar José; MUNARINI, Paulo Roberto. **A política de habitação rural e o desenvolvimento da agricultura familiar**. Rev. Katál, Florianópolis, v. 13, n. 2 p. 260-269 jul./dez. 2010. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/katalysis/article/view/S1414-49802010000200013>>. Acesso em: 15 abr. 2019.

SAMPAIO, Carlos Augusto de Paiva; CRISTANI, José; DUBIELA, Juliana Aparecida; BOFF, César Eduardo; OLIVEIRA, Marco Antônio de. **Avaliação do ambiente térmico em instalação para crescimento e terminação de suínos utilizando os índices de conforto térmico nas condições tropicais**. Ciência Rural, Santa Maria, v.34, n.3, p.785-790, mai-jun, 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v34n3/a20v34n3.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2019.

SCHMID, Aloísio L. **A idéia de conforto**: reflexões sobre o ambiente construído. Curitiba: Pacto Ambiental, 2005.

SILVA, Filipe Manuel Fernandes. **Estudo de materiais de isolamento térmico inovadores**. 2013. 211 f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2013. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/68641/2/26108.pdf>>. Acesso em: 28 out. 2019.

SILVEIRA, Francisco Massucci. **Análise do desempenho térmico de edificações residenciais ventiladas naturalmente: NBR15575 e ASHRAE 55**. Campinas: UNICAMP, 2014. Disponível em: <<http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/258061?mode=full>>. Acesso em: 20 abr. 2019.

SPEROTTO, Fernanda. **Análise térmica do Programa Nacional de Habitação Rural no município de Vespasiano Corrêa/RS**. Univates, Lajeado, 2018.

SPINELLI, Rodrigo; CAMBEIRO, Faustino Patiño; KONRAD, Odorico. *Bioclimatic strategies for the city of Lajeado/RS-Brazil, using data analysis of regional climate*. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, 2017. Disponível em: <<http://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/50554>>. Acesso em: 03 nov. 2019.

SPINELLI, Rodrigo; CAMBEIRO, Faustino Patiño; KONRAD, Odorico. Estudo de materiais naturais para aplicação em isolamento térmico de edificações. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 9, n. 3, 2018. Disponível em: <<http://www.sustenere.co/journals/index.php/rica/article/view/1878>>. Acesso em: 3 nov. 2019.

SPINELLI, R.; PASQUALI, Pedro H. D. A.; BERTOTTI, Angélica; LERIN, Dantara; PITOL, Alana F.; CAMBEIRO, F. P.; KONRAD, Odorico. *Development of Methodology for Determining the Physical Properties of Natural and Innovative Materials*. **Advanced Materials Research**. 2019, no prelo. Acesso em: 03 nov. 2019.

XAVIER, Antonio Augusto de Paula. **Condições de conforto térmico para estudantes de 2º grau na região de Florianópolis**. Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 1999. Disponível em: <[http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/dissertacoes/DISSERTACA O\\_Antonio\\_Augusto\\_de\\_Paula\\_Xavier.pdf](http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/dissertacoes/DISSERTACA O_Antonio_Augusto_de_Paula_Xavier.pdf)>. Acesso em: 20 abr. 2019.

ZBBR. Zoneamento Bioclimático do Brasil. **Laboratório de Eficiência Energética em Edificações**. Florianópolis: UFSC, 2006. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/antigo/software/zbbr.html>. Acesso em: 20 abr. 2019



**UNIVATES**

R. Avelino Talini, 171 | Bairro Universitário | Lajeado | RS | Brasil  
CEP 95914.014 | Cx. Postal 155 | Fone: (51) 3714.7000  
[www.univates.br](http://www.univates.br) | 0800 7 07 08 09