

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAUrb)
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo (PROGRAU)



Dissertação de Mestrado

Simulação do comportamento higrotérmico de Habitações de Interesse Social:
Análise do risco de fungos filamentosos

Carolina de Mesquita Duarte

Pelotas, 2023

Carolina de Mesquita Duarte

**Simulação do comportamento higrotérmico de Habitações de Interesse Social:
Análise do risco de fungos filamentosos**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, com área de concentração em Qualidade e Tecnologia do Ambiente Construído, na linha de pesquisa Conforto e Sustentabilidade do Ambiente Construído.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Grala da Cunha
Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Nirce Saffer Medvedovski

Pelotas, 2023

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação da Publicação

D812s Duarte, Carolina de Mesquita

Simulação do comportamento higrotérmico de habitações de interesse social [recurso eletrônico] : análise do risco de fungos filamentosos / Carolina de Mesquita Duarte ; Eduardo Grala da Cunha, Nirce Saffer Medvedovski, orientadores. — Pelotas, 2023.
194 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, 2023.

1. Arquitetura e tecnologia. 2. Desempenho térmicoenergético. 3. Simulação computacional. 4. Fungos filamentosos. 5. Desempenho higrotérmico. I. Cunha, Eduardo Grala da, orient. II. Medvedovski, Nirce Saffer, orient. III. Título.

CDD 720

Elaborada por Leda Cristina Peres Lopes CRB: 10/2064

Carolina de Mesquita Duarte

Simulação do comportamento higrotérmico de Habitações de Interesse Social: Análise do
risco de fungos filamentosos

Dissertação aprovada como requisito para obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas.

Data da defesa: 19 de dezembro de 2023.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Eduardo Grala da Cunha (Orientador)
Doutor em Arquitetura pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof^a. Dr^a. Celina Maria Britto Correa
Doutora em Arquitetura pela Universidade Politécnica de Madrid

Prof. Dr. Luis Antonio dos Santos Franz
Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Aldomar Pedrini
Doutor em Arquitetura pela Universidade de Queensland

**Dedico este trabalho a minha mãe, minha
irmã e meus avós.**

Agradecimentos

Após a finalização deste trabalho, é meu sincero desejo expressar minha gratidão a todos que contribuíram para tornar este momento possível.

Minha família merece um agradecimento especial. Minha mãe, com sua dedicação e sacrifício ao longo dos anos constituíram a base para a conclusão deste curso. Minha irmã, sempre presente para me apoiar e compartilhar ensinamentos valiosos, foi meu suporte constante em todos os momentos desafiadores da jornada acadêmica e pessoal. Agradeço também aos queridos tios, Èlida e Diaroni, por seu apoio fundamental. Muito obrigado a todos vocês.

Às mulheres extraordinárias que me fortaleceram e inspiraram a nunca desistir diante de todas as adversidades, sou eternamente grata pelo apoio incondicional. Minhas queridas amigas/irmãs e mãe, Aline Mesquita, Camila Alonso, Gisele dos Anjos, Eliane Mesquita e Shirley Theil, juntamente com as amigas e colegas do LABCEE e GES3E, Gabriela Parra, Júlia Lopes, Luciane Beber, Luísa Alcantara, Luiza Bernardes, Talita Brandelli, Thaisa Carvalho e Thalita Maciel, vocês foram meu apoio diário, tanto pessoal quanto nas etapas de desenvolvimento do meu trabalho, tornando todo o processo mais leve.

Ao Professor Dr. Eduardo Grala da Cunha, meu orientador, agradeço por sua disponibilidade e sabedoria, que desempenharam um papel fundamental na realização deste trabalho.

Também expresso minha gratidão à Professora Dr.^a Nirce Saffer Medvedovski por sua orientação e oportunidade de participar de seus projetos, o que me aproximou do tema do meu trabalho.

À UFPel, à FAUrb, ao PROGRAU e a todos os educadores que fizeram parte da minha jornada escolar, expresso meu profundo agradecimento pela oportunidade de crescimento como ser humano e profissional.

A todos que desempenharam papéis cruciais para que eu estivesse aqui hoje, incluindo a CAPES pela bolsa de estudos, minha sincera gratidão.

Para concluir, um agradecimento especial ao meu avô Joaquim Correa de Mesquita e à minha avó Anacirema Maria Mello de Mesquita, que já não estão entre nós, mas contribuíram significativamente para minha educação e crescimento como ser humano.

Resumo

DUARTE, Carolina de Mesquita. **Simulação do comportamento higrotérmico de Habitações de Interesse Social: Análise do risco de fungos filamentosos**. 2023. 194f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2023.

O rápido crescimento do número de habitações populares na região sul do Brasil nos últimos anos frequentemente resultou em edificações energeticamente ineficientes, carecendo de foco no conforto dos moradores. A avaliação do desempenho dessas habitações por meio de simulações computacionais é essencial para identificar problemas e propor soluções que visem melhorar a qualidade interna de vida para os ocupantes. Além do desempenho termoenergético, fatores como desempenho higrotérmico e o risco de formação de fungos filamentosos são cruciais para o conforto térmico e a saúde dos ocupantes. Este estudo buscou compreender a relação entre o desempenho termoenergético e o risco de formação de fungos em habitações populares na região sul do Brasil, fornecendo subsídios para o aprimoramento do projeto e construção dessas habitações. Os resultados demonstraram que habitações com projetos adequados, materiais isolantes e consideração das condições do terreno tendem a proporcionar maior conforto térmico e apresentam menor risco de formação de fungos. Uma forte relação foi observada, destacando que habitações com melhor desempenho termoenergético tendem a ter menos problemas com a formação de fungos. Isso ressalta a importância de projetos que priorizem a eficiência energética, o conforto térmico e a qualidade do ar interno para garantir a salubridade das edificações populares. Este estudo contribui para uma compreensão mais profunda relação entre o desempenho termoenergético e o risco de formação de fungos e, por consequência, na salubridade das edificações populares. Essas conclusões têm implicações significativas para o projeto e construção de moradias acessíveis no Brasil, visando à saúde e ao bem-estar dos ocupantes, especialmente em um cenário de crescimento populacional e déficit habitacional no país.

Palavras-chave: arquitetura e tecnologia; desempenho termoenergético; simulação computacional; fungos filamentosos; desempenho higrotérmico; habitações de interesse social

Abstract

DUARTE, Carolina de Mesquita. **Simulation of the Hygrothermal Behavior of Social Housing: Analysis of the Risk of Filamentous Fungi**. 2023. 194f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2023.

The rapid growth in the number of affordable housing units in the southern region of Brazil in recent years has frequently led to energetically inefficient buildings, lacking a focus on resident comfort. The assessment of the performance of these homes through computer simulations is crucial to identify issues and propose solutions aimed at improving the internal quality of life for occupants. In addition to thermoenergetic performance, factors such as hygrothermal performance and the risk of filamentous fungi formation are crucial for thermal comfort and occupant health. This study aimed to comprehend the relationship between thermoenergetic performance and the risk of fungi formation in popular housing in the southern region of Brazil, providing insights for the enhancement of the design and construction of these homes. The results demonstrated that houses with adequate designs, insulating materials, and consideration of terrain conditions tend to provide greater thermal comfort and present a lower risk of fungi formation. A strong relationship was observed, highlighting that dwellings with better thermoenergetic performance tend to have fewer issues with the formation of fungi. This emphasizes the importance of projects prioritizing energy efficiency, thermal comfort, and indoor air quality to ensure the healthiness of popular buildings. The study contributes to a deeper understanding of the relationship between thermoenergetic performance and the risk of fungi formation, consequently impacting the salubrity of popular buildings. These conclusions hold significant implications for the design and construction of affordable housing in Brazil, aiming at the health and well-being of occupants, especially in a scenario of population growth and housing deficit in the country.

Keywords: architecture and technology; thermoenergetic performance; computer simulation; filamentous fungi; hygrothermal performance; social interest housing

Lista de Figuras

Figura 1: Fluxograma das etapas do método	48
Figura 2: Localização das habitações em Pelotas	52
Figura 3: Planta baixa das 12 habitações utilizadas no estudo	54
Figura 4: Corte esquemático da composição das envoltórias das 12 habitações utilizadas no estudo.....	55
Figura 5: Esquema ilustrativo da etapa de levantamento dos dados	58
Figura 6: Esquema ilustrativo das etapas da simulação e configuração dos modelos	62
Figura 7: Porcentagem da existência de ambientes na habitação	79
Figura 8: Porcentagem de habitações de acordo com a quantidade de dormitórios.80	
Figura 9: Frequência de ocorrência da área total da habitação	81
Figura 10: Composição da cobertura	82
Figura 11: Composição das paredes.....	82
Figura 12: Composição do piso.....	83
Figura 13: Material das portas e janelas	84
Figura 14: Desempenho das habitações para a orientação norte-sul	86
Figura 15: Gráfico que representa a temperatura operativa e a zona de conforto da SALACÓZ, considerando a fachada direcionada para o Norte da Habitação 01.	88
Figura 16: Gráfico que representa a temperatura operativa e a zona de conforto da SALACÓZ, considerando a fachada direcionada para o Norte da Habitação 02.	89
Figura 17: Gráfico que representa a temperatura operativa e a zona de conforto da SALACÓZ, considerando a fachada direcionada para o Norte da Habitação 03.	89
Figura 18: Gráfico que representa a temperatura operativa e a zona de conforto da SALACÓZ, considerando a fachada direcionada para o Norte da Habitação 04.	91
Figura 19: Gráfico que representa a temperatura operativa e a zona de conforto da DORM2, considerando a fachada direcionada para o Norte da Habitação 05.	91
Figura 20: Gráfico que representa a temperatura operativa e a zona de conforto da DORM3, considerando a fachada direcionada para o Norte da Habitação 06.....	94
Figura 21: Gráfico que representa a temperatura operativa e a zona de conforto da SALACÓZ, considerando a fachada direcionada para o Norte da Habitação 07.	94
Figura 22: Gráfico que representa a temperatura operativa e a zona de conforto da DORM3, considerando a fachada direcionada para o Norte da Habitação 08.	95

Figura 23: Gráfico que representa a temperatura operativa e a zona de conforto da DORM3, considerando a fachada direcionada para o Norte da Habitação 09.	95
Figura 24: Gráfico que representa a temperatura operativa e a zona de conforto da COZ, considerando a fachada direcionada para o Norte da Habitação 10.	97
Figura 25: Gráfico que representa a temperatura operativa e a zona de conforto da CHURRASQ, considerando a fachada direcionada para o Norte da Habitação 11. .	98
Figura 26: Gráfico que representa a temperatura operativa e a zona de conforto da SALACÓZ, considerando a fachada direcionada para o Norte da Habitação 12.	98
Figura 27: Quadro resumo das habitações com os melhores e piores desempenhos térmicos para a orientação norte-sul	99
Figura 28: Desempenho das habitações para a orientação leste-oeste.....	100
Figura 29: Quadro resumo das habitações com os melhores e piores desempenhos térmicos para a orientação leste-oeste	105
Figura 30: Relação dos melhores e piores desempenhos termoenergéticos para a orientação norte-sul em comparação a qualidade do ar interior.....	106
Figura 31: Relação dos melhores e piores desempenhos termoenergéticos para a orientação leste-oeste em comparação a qualidade do ar interior	106

Lista de Tabelas

Tabela 1: Principais características das 12 habitações utilizadas no estudo.	53
Tabela 2: Características levantadas <i>in loco</i> para construção dos modelos referentes à forma das edificações	59
Tabela 3: Características levantadas <i>in loco</i> para construção dos modelos referentes aos materiais das edificações	59
Tabela 4: Principais propriedades da envoltória do melhor e do pior caso.	64
Tabela 5: Cor das paredes, material das esquadrias e presença de persiana, veneziana ou cortina.	69
Tabela 6: Padrão de ocupação nas zonas térmicas.....	70
Tabela 7: Padrão de uso da iluminação nas zonas térmicas	71
Tabela 8: Padrão de uso dos equipamentos que geram vapor nas zonas térmicas .	72
Tabela 9: Resumo dos dados obtidos no levantamento prévio	78

Lista de Abreviaturas e Siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AEIS	Áreas de Especial Interesse Social
BID	Banco Interamericano de Desenvolvimento
CadÚnico	Cadastro Único
CEF	Caixa Econômica Federal
COVID-19	Coronavírus
DOE	Department of Energy
DP	Diário Popular
FJP	Fundação João Pinheiro
HAMT	Combined Heat and Moisture Transfer Model
HIS	Habitações de Interesse Social
INCT	Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
MCMV	Minha Casa Minha Vida
MUB	Mapa Urbano Básico
NBR	Norma brasileira
PCVA	Programa Casa Verde e Amarela
PDM	Plano Diretor Municipal
PlanHab	Plano Nacional de Habitação
PLHIS	Plano Local de Habitação de Interesse Social
PMCMV	Programa Minha Casa Minha Vida
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SHRF	Secretaria de Habitação e Regularização Fundiária de Pelotas
Toc	Temperatura Operativa de Conforto
ZB	Zona Bioclimática

Sumário

Introdução	15
1.1 Apresentação do tema	15
1.2 Problema de Pesquisa	18
1.3 Justificativa.....	19
1.4 Objetivos	20
1.4.1 Objetivo Geral	20
1.4.2 Objetivos Específicos.....	20
Revisão de literatura	21
1.5 O direito à moradia no contexto nacional	21
1.6 O problema habitacional em Pelotas.....	22
1.7 Programas e padrões construtivos para habitações populares.....	23
1.8 Normas de desempenho térmico e higrotérmico.....	25
1.9 Eficiência termoenergética e higrotérmica em edificações residenciais.....	29
1.10 Formação de fungos filamentosos	35
1.11 Qualidade do ar interior	38
1.12 Conforto térmico, carga térmica e o risco de formação de fungos filamentosos.....	41
1.13 Simulação computacional para avaliar o desempenho termoenergético e higrotérmico de edificações	45
Método	46
1.14 Revisão de literatura	48
1.15 Definição do objeto de estudo.....	49
1.16 Levantamento dos dados	57
1.16.1 Levantamento dos dados referentes à forma.....	61
1.16.2 Levantamento dos dados referentes aos materiais.....	62
1.17 Simulação dos modelos	62
1.17.1 Configuração dos arquivos para simulação.....	63
1.18 Análise dos resultados	73

1.18.1	Conforto térmico.....	73
1.18.2	Graus-Hora	75
1.18.3	Fungos Filamentosos.....	76
Resultados e Discussões		78
1.19	Delimitação do objeto de estudo	78
1.20	Levantamento dos dados	78
1.20.1	Levantamento dos dados referentes a forma.....	79
1.20.2	Levantamento dos dados referentes aos materiais.....	81
1.21	Simulação dos modelos	84
Considerações finais		107
Referências		108
APÊNDICE A – Termo de consentimento livre e esclarecido		121
APÊNDICE B – Questionário referente a forma e materiais das edificações		122
APÊNDICE C – Memória de cálculo das propriedades térmicas dos elementos construtivos		124
APÊNDICE D – Tabelas com os demais resultados obtidos nas simulações		184

Introdução

1.1 Apresentação do tema

O direito à moradia é assegurado pela Constituição Federal de 1988, porém, no Brasil, o déficit habitacional ainda é um problema crescente que atinge uma quantia considerável da população, cerca de 6,1 milhões no ano de 2017 (SEBRAE, 2018). Em Pelotas, conforme apontado pelo PLHIS (Plano Local de Habitação de Interesse Social) de 2013 (Pelotas, 2014b), a demanda por moradias era significativa naquele ano, com uma estimativa de necessidade para a construção de 13.598 unidades habitacionais. Isso sem considerar aquelas habitações já existentes, mas que eram consideradas inadequadas e exigiram melhorias substanciais. Após 10 anos, é razoável imaginar que esses números tenham aumentado, indicando uma tendência preocupante que ressalta a urgência em abordar essa questão habitacional.

Como alternativa de atenuar os impactos da desigualdade habitacional surgem políticas públicas que estimulam o setor da construção civil, como o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) (Mota *et al.*, 2015), que através de investimentos na construção de habitações populares promoveu o acesso à moradia e contribuiu com a geração de emprego e renda para os trabalhadores da construção civil (Ferreira, *et al.*, 2019).

O rápido crescimento das construções de habitações populares e a falta de priorização de bons projetos e materiais adequados, acaba gerando habitações ineficientes energeticamente (Mota *et al.*, 2015). A importância do direito à moradia vai muito além de simplesmente fornecer um teto, uma vez que engloba uma variedade de condições essenciais. Quando se discute o direito à habitação, é crucial compreender que ele abrange não apenas a aquisição de uma residência própria, mas também a disponibilidade de aluguéis acessíveis, a garantia da posse, a existência de edificações que ofereçam condições adequadas de habitabilidade e acesso a saneamento básico (Kruger, 2020).

O desempenho termoenergético e higrotérmico das habitações desempenha um papel crucial na qualidade de vida dos seus ocupantes. Isso é especialmente crítico quando se trata de habitações populares, já que, de acordo com Patino e Lozano (2018), essas habitações sociais frequentemente apresentam condições de habitabilidade precárias, expondo os moradores a poluentes interiores que podem

afetar negativamente sua saúde. Portanto, dada a limitação de recursos investidos na construção destas habitações, é imperativo buscar alternativas inovadoras, especialmente no processo de planejamento e projeto, para assegurar uma qualidade de vida digna.

Um aspecto importante é a prática da autoconstrução, que é comum em habitações populares unifamiliares. De acordo com Zanoni *et al.* (2020), essas moradias autoconstruídas frequentemente são precárias devido à falta de recursos, o que impacta negativamente na habitabilidade, na qualidade do ambiente interno e na durabilidade dos sistemas construtivos. O PlanHab também destaca que a ausência de profissionais qualificados compromete a segurança e a qualidade da construção (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2010). Além disso, as escolhas de materiais e técnicas construtivas inadequadas muitas vezes resultam em construções desordenadas que bloqueiam a entrada de luz solar e a circulação de ar, prejudicando ainda mais a qualidade das habitações.

Nesse contexto, diversos estudos têm sido desenvolvidos para compreender o comportamento termoenergético e higrotérmico de edificações residenciais, a fim de buscar novas medidas que minimizem os impactos ambientais causados pela crescente demanda de energia. E a avaliação desse desempenho nas edificações, por meio de simulação computacional, tem se mostrado um importante aliado para promover o uso de energia eficiente, o conforto dos usuários e a qualidade do ar interior (Zaluski, Dantas, 2018; Linczuk, Bastos, 2020). Os resultados obtidos nesses estudos podem ajudar a determinar parâmetros de desempenho mínimos para as edificações, servindo como base para a elaboração e reformulação de normas de regulamentação técnica para os projetos arquitetônicos.

O consumo e a eficiência termoenergética e higrotérmica de edificações residenciais são impactados por uma variedade de variáveis, incluindo fatores climáticos, considerações arquitetônicas e comportamentais (Turczyn e Neves, 2019). Através de estudos baseados em simulações computacionais, é possível identificar quais dessas variáveis têm maior influência no desempenho termoenergético das edificações e como o desempenho higrotérmico afeta o balanço energético do edifício, fornecendo informações sobre estratégias eficazes. Entre os fatores mais significativos destacados estão a geometria e os materiais que compõem a envoltória

da edificação, bem como a aplicação de ventilação natural e a utilização de sistemas de condicionamento de ar mais eficientes (Bavaresco *et al.* 2021).

A cidade de Pelotas está localizada em uma região de clima subtropical úmido, com quatro estações bem definidas, incluindo invernos rigorosos e verões quentes. Segundo os dados do INMET (2022), a cidade possui uma temperatura média do ar de 18,15°C e uma umidade relativa média de 82,13%. Dadas essas condições climáticas desafiadoras, a incorporação de simulações termoenergéticas em projetos arquitetônicos é fundamental para um planejamento preciso. Isso se faz necessário não apenas para garantir o conforto durante o inverno, com estratégias de aquecimento e redução das perdas de calor, mas também para destacar a importância estratégias passivas de resfriamento no verão e a prevenção da formação de fungos filamentosos, especialmente nesse contexto.

Considerando a importância das avaliações termoenergéticas e higrotérmicas para possíveis sugestões de melhorias nos materiais e técnicas construtivas aplicadas às habitações populares, este trabalho apresenta uma análise do desempenho termoenergético e no risco de formação de fungos filamentosos em quatro grupos de habitações com distintas configurações do envelope. Essas habitações populares unifamiliares estão localizadas no sul do Brasil. A pesquisa busca contribuir para o entendimento das interações entre umidade e calor nas superfícies internas dos sistemas de fechamento vertical.

Ao revisitar a literatura, destaca-se a predominância de avaliações baseadas em simulações termoenergéticas, especialmente em contextos de habitações populares. Embora essas simulações sejam cruciais para compreender o consumo de energia e o conforto térmico, uma lacuna notável surge na análise higrotérmica abrangente. Este trabalho visa preencher essa lacuna, propondo uma abordagem integrada que não apenas avalia o desempenho termoenergético das habitações, mas também investiga o risco de formação de fungos filamentosos.

Ao considerar ambas as dimensões, termoenergética e higrotérmica, pretende-se fornecer informações mais abrangentes e estabelecer a conexão entre esses dois aspectos. Isso visa orientar a implementação de melhorias em materiais e técnicas construtivas aplicadas às habitações populares. Essa abordagem diferenciada busca

promover não apenas a eficiência energética, mas também a qualidade ambiental interna, contribuindo assim para condições de moradia mais saudáveis e sustentáveis.

Assim, diante do objetivo geral deste estudo, de compreender a relação entre o desempenho termoenergético e as manifestações patológicas, como a formação de fungos filamentosos, nas habitações de interesse social em Pelotas-RS, surge a indagação: a edificação com o pior desempenho termoenergético será também a mais insalubre? A resposta a essa questão representa um passo importante para a melhoria das condições de moradia em regiões com características climáticas desafiadoras, como a cidade de Pelotas.

1.2 Problema de Pesquisa

O rápido crescimento das construções de habitações populares e a falta de priorização de bons projetos e materiais adequados para a região sul, acaba gerando habitações ineficientes energeticamente (Mota *et al.*, 2015). A avaliação do desempenho dessas habitações através de simulação computacional é uma ferramenta importante na identificação das problemáticas dessas construções, podendo então apontar as melhores soluções projetuais para manter uma qualidade interna de habitabilidade para seus usuários (Zaluski, Dantas, 2018; Linczuk, Bastos, 2020). Além do amplamente discutido desempenho termoenergético, fatores como desempenho higrotérmico e o risco de formação de fungos filamentosos também desempenham um papel crucial no conforto térmico, deterioração de materiais e saúde física dos usuários (Guerra, 2012; Pinheiro, 2013; Berger *et al.*, 2015; Beber *et al.*, 2023).

Compreender o comportamento dessas duas variáveis dentro do desempenho de uma edificação é fundamental para propor melhorias nas práticas construtivas no Brasil. Nesse cenário, esta pesquisa visa unir duas abordagens conhecidas em estudos que avaliam o desempenho de edifícios. Utilizando simulação computacional, serão avaliados o desempenho termoenergético e o risco de formação de fungos filamentosos em quatro grupos de habitações populares unifamiliares no sul do Brasil com configurações do envelope distintas. Esta investigação fornece informações para melhorar o projeto e a construção de habitações populares, considerando o conforto térmico, a saúde dos ocupantes e a eficiência energética, garantindo um ambiente habitacional adequado às necessidades e exigências climáticas da região sul do país

Neste contexto este trabalho pretende preencher a lacuna da relação entre o desempenho termoenergético e as implicações nas patologias de formação de fungos filamentosos em habitações de interesse social na cidade de Pelotas-RS. A edificação com o pior desempenho termoenergético é também a mais insalubre?

1.3 Justificativa

Dado o considerável déficit habitacional no país, que motivou o desenvolvimento de programas públicos direcionados à moradia, é essencial destacar que, apesar de sua contribuição para atenuar a crise de moradia, esses programas também geram efeitos adversos que afetam a qualidade das habitações, comprometendo a sua salubridade e, por conseguinte, a saúde dos seus ocupantes. Isso pode ocorrer devido às restrições financeiras que permeiam tais iniciativas, levando a um investimento insuficiente na fase de planejamento e na seleção de materiais apropriados. Como resultado, surgem moradias com elevado consumo de energia elétrica, inadequado conforto térmico para os ocupantes e deficiente qualidade do ar, devido à propensão à formação de mofo. O desempenho insatisfatório dessas edificações estimula a realização de estudos que buscam avaliar e identificar seus principais problemas por meio de simulações computacionais, a fim de propor soluções mais eficazes, que harmonizem os elementos de projeto, a seleção de materiais e as condições climáticas locais.

No Brasil, existem normas que regulam o desempenho termoenergético das edificações, visando a eficiência energética. Entretanto, é essencial ressaltar que, atualmente, essas normas não englobam parâmetros relacionados ao desempenho higrotérmico das construções, o que desempenha um papel fundamental na manutenção da qualidade do ar interno. O controle eficaz da temperatura, umidade e ventilação em edifícios não apenas impacta o conforto dos ocupantes, mas também influencia diretamente a saúde e o bem-estar nas edificações.

Neste contexto, a análise integrada dos dados relativos ao risco de formação de fungos filamentosos, conforto térmico e graus-hora em quatro grupos com distintas configurações do envelope de habitações populares unifamiliares no sul do Brasil é proposta neste trabalho. Essa análise tem o potencial de orientar e incentivar futuras pesquisas relacionadas às moradias populares. O intuito é contribuir para o processo de acesso à moradia digna para a população com menor renda, que depende dos

programas e políticas públicas do governo para alcançar a meta da casa própria. Essas habitações precisam proporcionar maior conforto e qualidade de moradia, considerando ainda as restrições do sistema de financiamento do governo, visando dignidade aos cidadãos.

1.4 Objetivos

Este trabalho avalia de forma integrada duas abordagens conhecidas, considerando o transporte de umidade e calor nas superfícies internas de sistemas de fechamento vertical em quatro diferentes grupos de habitações populares unifamiliares localizadas no sul do Brasil, com variadas configurações de envelope. A análise busca promover a discussão e o aprofundamento dos estudos nesse campo, estabelecendo uma base sólida para a elaboração e reformulação de normas técnicas atuais aplicáveis aos projetos arquitetônicos, visando à melhoria das diretrizes que regulamentam as práticas construtivas voltadas para moradias populares no país.

1.4.1 Objetivo Geral

O objetivo principal é investigar a relação entre o desempenho termoenergético dessas edificações e a qualidade do ar interior, particularmente no que diz respeito aos riscos associados à formação de fungos filamentosos.

1.4.2 Objetivos Específicos

1. Definir e caracterizar do objeto de estudo com base nas diferentes características das habitações observadas no levantamento prévio;
2. Rodar as configurações observando o Rascunho inicial do Projeto de Norma ABNT Simulação de transporte de umidade;
3. Verificar a influência da geometria das tipologias no desempenho de grupos de configurações com mesmo envelope;
4. Verificar a influência das alterações de projeto realizadas pelo próprios usuários no desempenho destas habitações.

Revisão de literatura

1.5 O direito à moradia no contexto nacional

No Brasil, a crise habitacional é histórica, sendo resultado do modelo de desenvolvimento urbano das cidades brasileiras, que nos apresentam um cenário de extrema desigualdade social e territorial, em que a cidade se torna excludente e nega aos mais pobres um direito básico, como a moradia (Maricato,1996). Quando se fala em direito à moradia, destaca-se que esta diz respeito tanto à aquisição da casa própria, como aluguéis acessíveis, garantia da posse, edificações com condições de habitabilidade e saneamento básico (Kruger, 2020).

Maricato (1996) trouxe a reflexão sobre a necessidade de transformações profundas na sociedade, que garantam os direitos fundamentais para a população que tem sido excluída do processo de produção do espaço, negando acesso aos recursos urbanos e fazendo com que vivam na ilegalidade, negligenciando assim, a garantia do direito à cidade, para além do direito à moradia.

Sendo moradia uma necessidade básica para as condições de vida do cidadão, ao longo do tempo esta problemática tornou-se urgente e passou a receber atenção do estado, que desde o início do século XX busca alternativas de programas e políticas públicas, com a finalidade de diminuir os impactos da desigualdade social e auxiliando no enfrentamento das necessidades habitacionais da população (kruger, 2020).

As habitações populares e as Habitações de Interesse Social (HIS) são algumas soluções de moradia desenvolvida como forma de acesso da população com menor renda à aquisição da casa própria, através do sistema de crédito financiado pelo poder público, como o caso do Programa Federal Minha Casa Minha Vida (PMCMV) que foi alterado em 2021, e substituído pelo Programa Casa Verde e Amarela (PCVA), e retornando ao Programa Federal Minha Casa Minha Vida (PMCMV) em 2023, partindo do entendimento que o direito a moradia é o direito de todo o cidadão de ter um lar, direito a ter saúde, a ter condições de vida e para o seu pleno desenvolvimento, portanto, um compromisso profissional do arquiteto e pesquisador (Instituto Pólis, 2021).

Desde a criação do PMCMV em 2009, até o ano de 2011, os números indicavam uma melhoria nos índices do déficit habitacional no Brasil. Porém, a partir

do ano de 2014 com a crise política e econômica, uma série de fatores, como aumento do desemprego e altas taxas de juros, contribuíram para que esses índices voltassem a subir, fazendo com que mais brasileiros deixassem de adquirir a casa própria (Martins; Lima, 2018).

Segundo pesquisa desenvolvida por meio do Programa Habitar/Brasil/BID, pela Fundação João Pinheiro (FJP) em parceria com o Ministério das Cidades, Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) e Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), que avalia a falta ou inadequação de moradias urbanas no território brasileiro, o déficit habitacional chegou a 6,1 milhões no ano de 2017 (SEBRAE, 2018). Esses números nos mostram o tamanho do problema da falta de moradia adequada no país e a urgência em discutirmos estratégias que contribuam com o setor.

Segundo Lefebvre (2001), a produção do espaço urbano e as relações sociais que se desenvolvem na cidade, são resultado das condições apresentadas na sociedade e do contexto histórico. Para o autor o sistema econômico e as relações de produção e de poder, bem como a moral e as legislações, fazem com que a cidade produza espaços urbanos que busquem atender a essas demandas.

1.6 O problema habitacional em Pelotas

A Cidade do Capital apontada por Boulos (2012) como geradora da desigualdade no atual modelo de desenvolvimento urbano, favorece os interesses privados e a especulação imobiliária, transformando o território em mercadoria, fazendo com que o direito à cidade, garantido nos artigos 182 e 183 da Constituição de 1988 (BRASIL, 1988), fique à margem dessas relações. Rolnik (1988) vai trazer também a reflexão sobre a Cidade do Capital sob a perspectiva histórica da sociedade, que ao longo de sua história foi moldando os territórios para atender as demandas do mercado e se adaptando ao modelo econômico vigente em cada período. O que fez com que a estrutura e os modelos de cidade sofressem alterações profundas, produzindo cada vez mais segregação socioespacial. Processos estes, que se apresentam hoje na sociedade através da desigualdade e das condições inadequadas ou inexistentes de moradia.

Na cidade de Pelotas, a problemática da habitação acompanha a realidade do restante do país. Percebe-se um aprofundamento no quadro relativo ao acesso a

moradia adequada por parte da população, mesmo com uma série de estratégias promovidas pelo poder público para amenizar os números crescentes dos problemas relativos ao déficit habitacional, através da criação de políticas e programas habitacionais (Kruger, 2020).

Para entendermos o tamanho do problema em Pelotas, é necessário analisarmos os dados referentes ao déficit habitacional. Esse déficit abrange a falta de habitações e as condições inadequadas de moradias (FJP, 2021). Ele é de origem quantitativa, relacionada ao número de casas que precisam ser construídas para atender à demanda e acompanhar o crescimento populacional. Além disso, há uma dimensão qualitativa que se refere às moradias necessitando de melhorias na edificação e/ou infraestrutura urbana no entorno para proporcionar condições de habitabilidade (INCT, 2019). Kruger (2020) destaca que, segundo os dados apresentados no Plano Local de Habitação de Interesse Social de 2013 (PLHIS), o déficit qualitativo predomina entre os problemas habitacionais levantados na cidade de Pelotas.

Em Pelotas, no ano de 2013, de acordo com o PLHIS, as casas que precisavam ser construídas ou reconstruídas correspondiam à 13.598 de um total de 113.951 de domicílios particulares permanentes nas áreas urbana e rural, representando 11,93% desses domicílios. Já quanto a in adequação 28.592 casas e terrenos necessitavam de melhorias, de um total de 113. 951, correspondendo à 25,09% domicílios. Os dados foram apresentados em 2013, porém, é possível perceber o tamanho da problemática habitacional na cidade, pois na época mesmo com o PMCMV, era necessária a construção de 13.598 unidades, o que demonstra a necessidade da busca por tornar os recursos urbanos e a moradia digna acessíveis a toda a população.

1.7 Programas e padrões construtivos para habitações populares

Os programas habitacionais podem ser de nível federal, estadual e municipal, ou através de parceria entre dois ou três níveis de governo. A Secretaria de Habitação e Regularização Fundiária de Pelotas (SHRF) é a responsável pelo planejamento e execução das políticas habitacionais desenvolvidas na cidade, que conta com dois programas atualmente, o Banco de Materiais, que busca arrecadar materiais de construção através de doações oriundas de sobras de obras, e a Regularização Fundiária de áreas de posse do Município. A SHRF também era responsável pelas

inscrições, pré-seleção e acompanhamento dos beneficiários do PMCMV até o ano de 2021, quando o programa foi substituído pelo Programa Casa Verde e Amarela, passando a ser responsabilidade das construtoras ou entidades parceiras da Caixa Econômica Federal o cadastro das famílias que seriam contempladas pelos benefícios oferecidos pelo programa (CASA VERDE E AMARELA, 2022), retorna a responsabilidade da Secretaria de Habitação e Regularização Fundiária de Pelotas (SHRF) quando retornou ao Programa Federal Minha Casa Minha Vida (PMCMV) em 2023.

O Programa MCMV foi criado no ano de 2009 para dar acesso à casa própria para famílias com renda baixa e média, além de gerar emprego e renda para trabalhadores do setor da construção civil. O MCMV é um programa de nível Federal em parceria com os estados, municípios, empreendedores e movimentos sociais. Os benefícios eram concedidos e divididos por faixas de acordo com a renda familiar. Em áreas urbanas, os beneficiários do programa com renda familiar mensal até R\$1.800,00 se enquadram na faixa 1 do programa, até R\$2.600,00 na faixa 1.5, até R\$4.000,00 na faixa 2 e até R\$9.000,00 na faixa 3, o que irá determinar o valor dos juros ao ano e subsídio concedidos (BRASIL, 2020).

Ainda, segundo fonte de autoria governamental (BRASIL, 2020), as modalidades de financiamento do PMCMV seriam, para aquisição de terrenos e construção, bem como, para a compra de unidades ainda na planta, através de cadastro e sorteio realizado pelas prefeituras, para que os beneficiários recebessem o subsídio em novos empreendimentos, ou financiamento aprovado diretamente com instituições financeiras, e também, sendo possível que associações, cooperativas, entre outras formas de organizações coletivas construíssem as suas próprias unidades habitacionais através do MCMV.

As unidades habitacionais construídas através do programa podem ser de tipologia 1 – casas populares, residências unifamiliares – ou tipologia 2 – apartamentos, unidades habitacionais plurifamiliares – atendendo especificações e normas técnicas, que determinam a área do imóvel, número de compartimentos, materiais de revestimentos e esquadrias, entre outros. Por exemplo, de acordo com Portaria Nº 660 (de 14 de novembro de 2018), no caso das casas populares a área útil mínima deve corresponder à “36,00 m², se a área de serviço for externa, ou 38,00 m², se a área de serviço for interna” e “Portas e ferragens: Portas de acesso e internas

em madeira. Em regiões litorâneas ou meio agressivo, admite-se no acesso à unidade, porta de aço ou de alumínio, desde que não possuam vidros em altura inferior à 1,10 m em relação ao piso acabado” (BRASIL, 2018). Bem como, uma série de outras especificações previstas para o PMCMV.

O Programa Casa Verde e Amarela (PCVA) do Governo Federal, que substitui o PMCMV através da Lei Federal nº 14.118, de 12 de janeiro de 2021, tem o objetivo de promover o acesso à moradia para as famílias com renda mensal de até R\$7.000,00 e que residem em áreas urbanas e em área rural com renda anual de até R\$84.000,00. Os empreendimentos devem respeitar padrões de qualidade, em todos os âmbitos da habitação e a construção deve ser em uma área com recursos urbanos já consolidados, ou em localidade que tenha previsão de expansão estabelecida pelo Plano Diretor ou legislação urbanística vigente no município em questão (BRASIL, 2021).

1.8 Normas de desempenho térmico e higrotérmico

Existem várias normas e regulamentos em todo o mundo que estabelecem requisitos e diretrizes para o desempenho termoenergético de edificações. As normas podem variar de país para país e de região para região. No entanto, algumas das normas mais conhecidas e amplamente adotadas incluem: ISO 19208 (ISO, 2016), ASHRAE Standard 55 (ASHRAE, 2020), BS EN 15251:2007 (EN, 2007) e BS EN 16798-1:2019 (EN, 2019).

A ISO 19208 - Framework for specifying performance in buildings (ISO, 2016), publicada pela ISO (International Organization for Standardization), é uma norma internacional que se concentra na aplicação do conceito de desempenho na construção. Ela estabelece uma lista de requisitos dos usuários de edifícios e define princípios gerais para a elaboração de padrões de desempenho. Esta norma oferece orientações valiosas para comitês de normalização envolvidos com o desempenho de edifícios completos, bem como de componentes individuais, conjuntos e subsistemas, abrangendo também os espaços dentro e ao redor dos edifícios.

A ASHRAE Standard 55 (ASHRAE, 2020), intitulada "Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy," é uma norma da American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) que estabelece diretrizes para criar condições ambientais térmicas que promovam o conforto em edificações,

com foco em parâmetros como temperatura do ar, velocidade do ar, radiação térmica e atividades dos ocupantes e umidade relativa, mesmo que de forma geral. Essa norma é uma referência fundamental para profissionais envolvidos no projeto, construção e operação de edifícios para garantir o conforto térmico dos ocupantes.

A norma BS EN 15251:2007 (EN, 2007) é uma norma europeia que aborda o desempenho térmico de edifícios, fornecendo diretrizes para garantir o conforto térmico, eficiência energética e qualidade do ar interior. Ela estabelece critérios para condições de verão e inverno, controle de umidade, qualidade do ar e considerações sobre radiação térmica. Amplamente utilizada no projeto e construção de edifícios na Europa, a EN 15251 é essencial para arquitetos, engenheiros e profissionais envolvidos na construção de edifícios, visando criar espaços interiores saudáveis e confortáveis, enquanto promove a eficiência energética e a sustentabilidade.

Já a BS EN 16798-1:2019 (BS EN, 2019) é outra norma europeia que se concentra no cálculo de cargas térmicas e necessidades de energia relacionadas à climatização e ventilação em edifícios. Ela fornece diretrizes detalhadas para dimensionar sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (HVAC) com eficiência energética, considerando fatores como localização geográfica, orientação do edifício e exposição solar. Essa norma desempenha um papel fundamental no projeto e dimensionamento de sistemas HVAC, contribuindo para o cumprimento de regulamentos de eficiência energética e sustentabilidade em edifícios, principalmente na União Europeia.

No âmbito nacional, duas normas são destacadas em relação ao desempenho térmico de edificações: a NBR 15220 (ABNT, 2005) e a NBR 15575 (ABNT, 2021a). A NBR 15220 (ABNT, 2005), estabelecida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), é uma norma brasileira que aborda o desempenho térmico de edifícios, fornecendo diretrizes para a transmitância térmica de elementos construtivos, como também o zoneamento bioclimático Brasileiro. Essa norma desempenha um papel crucial na regulamentação do setor da construção, orientando arquitetos, engenheiros e construtores na busca por edifícios energeticamente eficientes, que proporcionem conforto térmico e contribuam para a redução do consumo de energia. É relevante observar que a Parte 2 da NBR 15220 (ABNT, 2022) foi atualizada em 2022.

E a NBR 15575 (ABNT, 2021a), também é uma norma brasileira desenvolvida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que aborda o desempenho de edifícios habitacionais. Ela é subdividida em partes que estabelecem critérios e requisitos para o desempenho estrutural, térmico, acústico, de estanqueidade, luminotécnico e qualidade do ar interior em edificações residenciais. A norma tem como objetivo garantir a qualidade, segurança, conforto e durabilidade das edificações habitacionais no Brasil, servindo como referência para arquitetos, engenheiros e construtores.

Quanto ao desempenho higrotérmico de edifícios, existem normas internacionais importantes, como a BS EN 15026 (EN, 2007), a ISO 13788 (ISO, 2012) e a ASHRAE Standard 160 (ASHRAE, 2016). A BS EN 15026 – *Hygrothermal Performance of Building Components and Building Elements – Assessment of Moisture Transfer by Numerical Simulation* (EN, 2007) é uma norma europeia que trata do desempenho higrotérmico, fornecendo orientações e métodos de cálculo para prevenir problemas de umidade, condensação e outros aspectos higrotérmicos em componentes e elementos de construção. Essa norma é crucial para garantir que os edifícios sejam construídos de maneira apropriada em relação ao controle da umidade, promovendo a durabilidade e eficiência das construções, sendo relevante para profissionais da construção na União Europeia e em países que a adotaram.

A ISO 13788 – *Hygrothermal performance of building components and building elements – Internal surface temperature to avoid critical surface humidity and interstitial condensation – Calculation methods* (ISO, 2012) aborda o desempenho higrotérmico de componentes e elementos de construção, visando evitar problemas de umidade e condensação. Ela fornece métodos de cálculo para determinar temperaturas internas adequadas, prevenindo danos em edifícios. Essa norma é essencial para profissionais na construção que buscam garantir a durabilidade e eficiência dos componentes de construção.

A ASHRAE Standard 160 (ASHRAE, 2016) - *Criteria for Moisture-Control Design Analysis in Buildings*, é uma norma da ASHRAE que se concentra na gestão de umidade e controle de condensação em edifícios. Ela fornece critérios e diretrizes para o projeto e a análise de edifícios, abordando questões de desempenho higrotérmico, como fluxo de umidade, condensação em superfícies internas e externas, e gerenciamento de umidade em sistemas de construção. Essa norma é

essencial para profissionais envolvidos na construção, visando evitar problemas relacionados à umidade, como formação de fungos e deterioração de materiais.

No Brasil, as regulamentações relacionadas ao desempenho higrotérmico de edifícios estão atualmente restritas à Diretriz SiNAT N°001 (SiNAT, 2017), que estabelece orientações para avaliar o desempenho higrotérmico apenas de paredes estruturais de concreto moldadas *in loco*, a partir de simulação computacional, com foco na análise da ocorrência de condensação interna superficial. Essa diretriz estipula a conformidade com os critérios de desempenho das normas brasileiras NBR 15575 (ABNT, 2020), NBR 15220-2 (ABNT, 2005) e NBR 15220-3 (ABNT, 2005), considerando as distintas zonas bioclimáticas do país.

Um projeto de norma está em desenvolvimento para abordar essa lacuna na regulamentação. O Rascunho inicial do Projeto de Norma ABNT "Simulação Computacional do Comportamento Higrotérmico de Paredes – Procedimento" (ABNT, 2023) está sendo elaborado pelo grupo de pesquisa GT Umidade, parte da Comissão de Eficiência Energética da ABNT. O objetivo é estabelecer diretrizes abrangentes para a simulação do transporte de umidade em diversos sistemas construtivos, visando as condições adequadas de desempenho e resistência ao longo do tempo desses sistemas construtivos.

Adaptado de normas internacionais, como a ASHRAE Standard 160 (ASHRAE, 2016) e a norma EN 15026 (EN, 2007), o projeto considera condições climáticas, chuva dirigida e fontes internas de calor e umidade. Embora não defina parâmetros mínimos de desempenho, fornece critérios de avaliação, incluindo umidade, temperatura, formação de fungos, e permite o uso de ferramentas de pós-processamento para análises específicas. Seu objetivo é possibilitar comparações de resultados de simulações em nível nacional.

Além das normativas nacionais mencionadas anteriormente, existem outras regulamentações específicas voltadas para a garantia da qualidade do ar interior em edificações. Normas como a NBR 16401-2 (ABNT, 2008), a NR 17 (2022), a resolução-RE nº 9 da ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) (ANVISA, 2003) e a NHO (2017) estabelecem critérios para assegurar a adequada condição dos ambientes internos. A ABNT NBR 16401-2 (2008) é uma norma que define parâmetros detalhados para ambientes que possuem sistemas de climatização artificial, como escritórios, hospitais e outros locais que requerem um controle rigoroso da qualidade

do ar interior. Essa norma estabelece diretrizes específicas para a manutenção de ambientes saudáveis e confortáveis.

A NR 17 (2022), por outro lado, é uma norma regulamentar do Ministério do Trabalho que estabelece critérios mais gerais para locais de trabalho, incluindo aspectos ergonômicos e de conforto, que afetam o bem-estar dos trabalhadores. Embora não seja especificamente voltada para a qualidade do ar, a NR 17 (2022) aborda aspectos que influenciam indiretamente na qualidade do ambiente interno. Já a resolução-RE nº 9 da ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) (ANVISA, 2003) define padrões que são direcionados principalmente para ambientes com sistemas de climatização artificial, como hospitais e clínicas, onde a qualidade do ar é crucial para a saúde dos pacientes. Essa resolução estabelece requisitos rigorosos para garantir que o ar respirado seja seguro e livre de contaminação.

A Norma de Higiene Ocupacional NHO 06 (2017) trata da avaliação da exposição ocupacional ao calor, estabelecendo procedimentos para medir e analisar níveis de calor no ambiente de trabalho. Ela define limites de exposição e medidas de controle para proteger a saúde dos trabalhadores. A relação com a qualidade do ar se dá na necessidade de ambientes bem ventilados e adequados para evitar riscos adicionais à saúde causados pelo calor excessivo.

1.9 Eficiência termoenergética e higrotérmica em edificações residenciais

A eficiência nas edificações busca racionalizar o uso dos recursos naturais através de estratégias passivas de condicionamento de ar (Viana, Leite e Nazareth, 2019). Essas estratégias visam proporcionar maior conforto térmico e qualidade do ambiente no interior das construções. Para que os usuários tenham a possibilidade de melhorar sua qualidade de vida, é essencial considerar que o desconforto térmico e a presença de mofo podem causar efeitos nocivos, tanto fisiológicos como psicológicos, na vida dos usuários (Ramos *et. al*, 2018; Ginestet *et al.*, 2020).

Viana, Leite e Nazareth (2019), destaca a importância do projeto arquitetônico priorizar o desempenho ambiental do edifício, considerando o impacto que esse fator tem sobre o ambiente natural e seus ocupantes. Diversos são os fatores que influenciam no desempenho termoenergético e higrotérmico das edificações (Recart, Dossick, 2022), e esses fatores se complementam. Monteiro (2012) destaca que, a importância de se trabalhar o projeto e os materiais construtivos são equivalentes,

defende também que a soma desses dois aspectos leva a ganhos de desempenho do edifício.

Segundo Lamberts *et al.* (2014), a forma arquitetônica e a escolha dos materiais feita pelo projetista tem grande influência no conforto ambiental e no consumo de energia dos edifícios, visto que a organização espacial dos ambientes interfere diretamente nos fluxos de ar no interior e no exterior, na quantidade de luz e calor recebidos pelo edifício e, as propriedades térmicas dos materiais que definem o grau de isolamento térmico, e influenciam nas trocas térmicas entre o interior e o exterior, para manter o ambiente interno confortável ao usuário.

Dalbem *et al.* (2017), evidenciam a importância da escolha dos materiais empregados na envoltória das edificações serem adaptados ao clima local, destacando que o desprezo a estes fatores acaba gerando habitações com baixo desempenho termoenergético. Para Turczyn e Neves (2019), as formas e os materiais empregados nas edificações residenciais, junto aos fatores geográficos e climáticos do local onde a habitação está inserida, estão diretamente relacionadas ao seu desempenho térmico.

A incorporação de estratégias passivas para melhorar o desempenho termoenergético de edifícios deve ser considerada tanto na fase de concepção do projeto quanto na modernização do edifício, levando em conta sempre as características climáticas da região (Sun, Specian, Hong, 2020). A eficácia dessas estratégias é diretamente influenciada pelas decisões tomadas durante o projeto, atribuindo ao projetista a responsabilidade fundamental de aplicá-las e fomentar sua seleção (Lamberts, 2014; Li *et al.*, 2021).

O desempenho termoenergético das habitações está intimamente ligado ao seu desempenho higrotérmico (Karagiozis, Salonvaara, 2001). Esse desempenho é influenciado por uma complexa interação de condições internas e externas, ocupação e manutenção, e pode ser tanto positiva quanto negativamente impactado pelas medidas de eficiência energética adotadas. Portanto, é crucial exercer cuidado na definição das estratégias, especialmente quando se trata de habitações de interesse social (Recart, Dossick, 2022).

O transporte de umidade pela estrutura de um edifício tem um impacto significativo não apenas na durabilidade da construção, mas também na qualidade do

ar interno, na saúde e na segurança dos seus habitantes (Karagiozis, Salonvaara, 2001; Buligon, 2021; Kunsler, 2022). Em ambientes com as condições ideais de temperatura e umidade, a umidade pode criar um ambiente propício para o crescimento de micro-organismos prejudiciais à saúde dos ocupantes, como os fungos filamentosos (Berger *et al.*, 2015).

O estudo conduzido por Beber *et al.* (2023) investigou a influência da umidade no desempenho térmico de uma habitação de interesse social localizada no sul do Brasil. O sistema construtivo utilizado foi o concreto moldado *in loco*. Inicialmente, a análise se concentrou na transferência de calor e, posteriormente, considerou também a transferência de umidade. Os resultados destacaram que a umidade exerce um impacto significativo no desempenho das edificações, pois a inclusão da variável de umidade resultou em uma considerável diminuição na temperatura interna da habitação.

Com o crescente impulso na construção de habitações populares, incentivado pela atribuição fundamental da arquitetura em proporcionar ambientes internos de qualidade para seus habitantes (Viana, Bertrand, Leite, 2019), uma série de pesquisas estão sendo desenvolvidas. Esses estudos concentram-se na eficiência energética e na qualidade do ar em habitações populares, com o objetivo de compreender os principais fatores que influenciam o desempenho termoenergético e as implicações do comportamento higrotérmico dos componentes das edificações residenciais. O objetivo principal é melhorar o conforto dos ocupantes, reduzindo ao mesmo tempo o consumo de energia.

Estudos como, o de Sorgato *et al.* (2011), que discutiram a influência da área de ventilação no desempenho térmico de uma edificação residencial localizada na ZB3 através do indicador de graus-hora, o trabalho identificou que a maximização do fator de ventilação da janela voltada a norte mostrou o melhor desempenho comparado com os fatores menores de ventilação, sendo valido tanto para a situação com ou sem dispositivo de sombreamento.

Santana (2016), trabalhou com a otimização multiobjetivo da geometria de edificações residenciais, avaliando o desempenho termoenergético dos modelos através dos indicadores de graus-hora de resfriamento e aquecimento. O estudo destacou como parâmetros geométricos mais influentes no desempenho das

habitações para a cidade de São Paulo: área útil, inclinação da cobertura, áreas envidraçadas e áreas de vão de ventilação.

Já Pacheco (2016), avalia as condições térmicas de três tipologias de habitações populares, alongada, ramificada e compacta, juntamente com outras estratégias como, ventilação e sombreamento. A ventilação natural foi parâmetro influente na melhora do desempenho das habitações. A tipologia alongada apresentou melhor desempenho na maioria dos testes, considerando as melhores situações, mas também o pior desempenho, considerando as piores situações, o que demonstra a importância de aliar a forma às demais estratégias e ao clima local.

Berleze *et al.* (2021), trabalharam com parametrização e otimização multiobjetivo para otimizar uma habitação social na região Sul do país, na intenção de investigar quais parâmetros relacionados a geometria teriam mais impacto em seu desempenho termoenergético. O estudo identificou que a mudança na geometria das edificações pode trazer benefícios e melhorar consideravelmente o desempenho destas habitações, alcançando uma melhora de até 98% no período verão e 49% no período inverno com as diferentes configurações da geometria.

O trabalho de Oliveira *et al.* (2017), investigou o desempenho térmico de uma edificação unifamiliar, considerando a contribuição do condicionamento passivo por ventilação natural na melhora das condições internas de conforto. O estudo variou a disposição e a área de ventilação das aberturas, verificando que quando consideradas as melhores condições para estes fatores existe uma redução nas horas de desconforto térmico anual.

O estudo conduzido por Fonseca *et al.* (2017) teve como foco a otimização multiobjetivo dos ambientes de uma habitação em Viçosa, MG. Os resultados destacaram que os parâmetros que exerceram maior influência no desempenho térmico e menor custo para o modelo habitacional em análise foram aqueles que contemplavam maiores pés-direitos e uma espessura mais generosa na laje. Além disso, a pesquisa concluiu que os ambientes voltados para o sul alcançaram melhor desempenho quando apresentavam áreas menores, enquanto aqueles orientados para o norte se beneficiaram de áreas mais amplas.

Balboni *et al.* (2019), também analisaram a influência dos materiais que compõem a envoltória no desempenho termoenergético de uma habitação popular,

através de uma análise multiobjetivo. O estudo alterou a transmitância térmica das paredes externas, do piso e da cobertura, a orientação solar e as absorptâncias das paredes externas e da cobertura, concluindo que, para a ZB2, o envelope mais isolado, com maior eixo orientado à Norte e alta absorptância, apresentou o melhor desempenho dentro das opções geradas pela simulação.

Dalbem *et al.* (2019), analisaram o desempenho termoenergético de uma habitação popular e a possibilidade de inclusão de critérios passivos e ativos na concepção destas habitações para o Sul do Brasil, fazendo também uma análise da viabilidade econômica referente às melhorias necessárias para adaptação a três zonas bioclimáticas. As soluções com as novas definições construtivas e adequação dos materiais aplicados apresentaram um grande aumento em seu desempenho, porém o investimento também foi significativo.

Turczyn e Neves (2019) analisaram o desempenho térmico de uma residência unifamiliar em Campinas, explorando diferentes opções de materiais para cobertura, piso, vidros, paredes internas e proteção solar, com base nos graus-hora de desconforto. Os resultados destacaram alternativas econômicas e eficazes para melhorar o desempenho térmico da habitação, como a redução da espessura da laje de piso e o uso de tinta branca na telha. Além disso, soluções mais caras, como o uso de vidros duplos, também foram identificadas como contribuições significativas para otimizar o desempenho térmico.

Em relação ao desempenho higrotérmico, alguns estudos têm incorporado essa consideração para avaliar como os materiais que compõem os elementos construtivos afetam o desempenho termoenergético e higrotérmico das habitações. Um exemplo é o estudo conduzido por Afonso, Brito e Akutsu (2019), que investigou a conexão entre o sistema construtivo de edifícios e o desenvolvimento de bolor. Eles empregaram o modelo de previsão Bio-higrotérmico, levando em consideração cenários de baixa ventilação e alta ocupação, especificamente em habitações de interesse social. Os resultados revelaram que o sistema de paredes de concreto exibiu o maior potencial de risco para a formação de fungos filamentosos.

O trabalho de Pires (2020), analisou o desempenho higrotérmico em diversas tipologias de edificações com sistemas construtivos distintos nas oito Zonas Bioclimáticas Brasileiras. Os resultados indicaram a necessidade de desumidificadores em várias regiões climáticas, ao mesmo tempo que apontaram que

o sistema construtivo em blocos cerâmicos estava associado a maiores níveis de umidade e condensação superficial.

Buligon (2021) realizou uma pesquisa investigando o desempenho higrotérmico de uma parede de vedação feita de madeira projetada para a Zona Bioclimática 2 (ZB2). Em sua análise, observou-se que para otimizar o desempenho nesse tipo de sistema construtivo, é necessário realizar adaptações nas camadas envolvidas, independentemente do tipo de madeira utilizado. A configuração mais simples e eficaz consiste em empregar dois painéis de madeira com uma camada intermediária de lã mineral. Essa abordagem proporcionou os melhores resultados em sua pesquisa.

O estudo realizado por Kunsler (2022) investigou a propagação de fungos em paredes de concreto nas oito Zonas Bioclimáticas do Brasil. O resultado revelou que a Zona Bioclimática 2 (ZB2) apresentou o maior risco de crescimento de fungos filamentosos. Como medida de mitigação, o estudo avaliou a instalação de venezianas e a aplicação de revestimento EIFS (Exterior Insulation Facade Systems), o que resultou em uma notável redução nos índices de desenvolvimento de fungos.

Em um estudo recente conduzido por Bernardes *et al.* (2022), foram comparados dois sistemas construtivos: alvenaria convencional e *Steel Frame*. A análise focou-se nos parâmetros de risco de condensação de vapor e formação de fungos filamentosos. Os resultados revelaram um desempenho insatisfatório da parede de bloco cerâmico, especialmente quando comparada à parede de *Steel Frame*, que incorpora uma membrana hidrófuga. Essa característica contribui para a redução dos níveis de umidade na superfície interior, destacando a influência crucial da escolha de materiais na qualidade do desempenho das edificações residenciais.

O estudo realizado por Beber *et al.* (2023), conduziu em uma edificação projetada para cumprir os requisitos de certificação *Standard Passive House*. Diferentes cenários foram explorados, com o intuito de reduzir o consumo de energia associado à desumidificação. Os resultados apontaram que a redução das vazões de ventilação noturna resultou em melhorias em termos de economia de energia, abrangendo tanto o resfriamento sensível quanto o latente. Além disso, foi identificado que o consumo de energia para a desumidificação desempenha um papel significativo no consumo total de energia para a climatização artificial durante o verão.

Outro fator de influência significativa no desempenho das habitações está relacionado às práticas de autoconstrução. Vários estudos têm se dedicado a compreender o impacto desse tipo de construção no conforto e no bem-estar de seus habitantes. Por exemplo, Cavalcanti e Alvim (2020) abordaram essa temática em suas pesquisas, destacando que nas construções realizadas por autoconstrutores, o aquecimento das residências muitas vezes está associado ao uso inadequado de materiais e à disposição equivocada dos elementos construtivos.

Já Zanoni *et al.* (2020) abordaram as condições de habitabilidade em autoconstruções, com foco no desempenho higrotérmico. O estudo concentrou-se em uma habitação que empregava um sistema de vedação vertical composto por blocos cerâmicos revestidos com argamassa em ambas as faces. As análises revelaram que esse sistema construtivo exibia variações higrotérmicas significativamente acima dos limites recomendados pelas normas. Como consequência, as paredes externas da edificação apresentavam níveis elevados de umidade e o crescimento de fungos filamentosos.

Outro aspecto relevante encontrado na bibliografia sobre o desempenho higrotérmico de edificações é o papel das pontes térmicas e seu impacto na formação de fungos filamentosos. De acordo com as descobertas de Freitas *et al.* (2017), as pontes térmicas nas construções criam um ambiente propício para a formação de fungos filamentosos na parte estrutural em edificações com isolamento, particularmente durante o inverno. Por outro lado, durante os demais meses do ano, observa-se uma maior incidência de fungos nos fechamentos verticais de cerâmica, devido às temperaturas mais baixas em comparação com as superfícies de concreto, e à manutenção de uma umidade relativa mais elevada junto à superfície.

No âmbito desta pesquisa, os trabalhos destacados aqui, mantem seu foco na fase de projeto, dos aspectos relacionados a forma e a especificação dos materiais, assim como, a relação de adequação ao clima local onde estas habitações estão inseridas. Todos os fatores destacados nos trabalhos têm influência direta no desempenho termoenergético das habitações populares.

1.10 Formação de fungos filamentosos

A questão da umidade em edifícios representa um desafio complexo e de grande importância, pois possui potenciais impactos significativos, tanto na saúde e

conforto dos ocupantes, quanto na integridade estrutural das construções (Berger *et al.*, 2015; Hens, 2015; Buligon, 2021). Entre os resultados adversos associados à umidade, destaca-se a propensão ao desenvolvimento de bolor, que podem representar sérios riscos à saúde dos usuários (Zanoni, 2015).

O bolor, que se desenvolve nas superfícies das paredes das edificações, é o resultado da ação dos fungos filamentosos, que são micro-organismos aeróbios e decompositores de matéria orgânica. Através de uma perspectiva morfológica, pode-se identificar a presença desses fungos pela formação de manchas, que ocorrem devido à liberação de pigmentos ou à presença do micélio, que é um conjunto de hifas, às unidades filamentosas dos fungos (Guerra, 2012).

O surgimento de bolor no interior das edificações geralmente resulta de uma combinação favorável de diversos fatores, que inclui a presença adequada de temperatura, umidade relativa e substrato rico em nutrientes para os fungos. Além disso, a presença de oxigênio, o valor de pH, a exposição à luz e a fixação dos esporos do fungo também desempenham um papel essencial na criação das condições ideais para o desenvolvimento e crescimento desses organismos indesejados (Sedlbauer, 2001).

Além desses elementos, existem outros fatores que contribuem para essa manifestação patológica, os quais estão diretamente relacionados a aspectos internos e externos das edificações, como a ocupação, os padrões de manutenção adotados, a ventilação do espaço e o tipo de material utilizado na construção da envolvente do edifício, conforme observado por Recart e Dossick (2022).

O estudo de Guerra (2012) enfatiza a importância do tempo de exposição aos fatores mencionados anteriormente no que diz respeito ao risco de formação de fungos filamentosos. Nesse sentido, as diretrizes estabelecidas pela ASHRAE STANDARD 160 (2021) e pela DIN 4108-8 (2022) desempenham um papel fundamental na avaliação desse risco, levando em consideração o período de exposição.

A ASHRAE STANDARD 160 (2021) define o risco com base em três condições distintas: a primeira, em que a umidade relativa atinge 80% por um período ininterrupto de 30 dias; a segunda, em que a umidade relativa atinge 98% por 7 dias consecutivos; e a terceira, em que a umidade atinge 100% por 24 horas ininterruptas. Por sua vez,

a DIN 4108-8 (2022) estipula que o limite de umidade relativa de 80% deve ser mantido por, no mínimo, 12 horas consecutivas, durante pelo menos 5 dias seguidos, como critério para avaliar o risco de formação de fungos filamentosos.

Considerando as condições que favorecem a formação de fungos filamentosos, diversos estudos têm explorado o impacto das condições climáticas nesse processo. Grala, Vaupel e Lüking (2008) destaca que, especialmente em regiões com invernos rigorosos, a temperatura da superfície interna das paredes externas, juntamente com a umidade presente no ambiente interno, desempenham um papel crucial na geração de mofo e bolor nas superfícies internas. Guerra *et al.* (2012) complementam essa ideia ao salientar que níveis de umidade próximos à superfície da parede e a temperatura interna superficial podem ser indicadores de uma possível formação de fungos filamentosos.

Adicionalmente, conforme apontado por Freitas *et al.* (2017), o período de inverno se mostra propício para a formação de fungos filamentosos em locais isolados próximos às pontes térmicas. No entanto, durante o restante do ano, os fungos tendem a ocorrer com maior frequência em superfícies de cerâmica, uma vez que estas apresentam temperaturas mais baixas do que as superfícies de concreto, além de manter uma umidade relativa próxima à superfície maior. Esta observação foi também corroborada por Freitas, Leitzke e Cunha (2020), reforçando a influência das variações sazonais nas condições propícias para o desenvolvimento de fungos filamentosos.

Além disso, o estudo conduzido por Kunsler (2022) identificou a região ZB2 no Brasil como propensa à formação de fungos filamentosos, enfatizando a importância de considerar as condições climáticas locais. Nesse contexto, Pelotas, a cidade em análise neste estudo, possui latitude de 31°46'19" S, longitude 52°20'33" O e altitude de 17 metros em relação ao nível do mar. O clima de Pelotas é subtropical úmido, com verões quentes e ocorrência de precipitação em todos os meses do ano. Os dados do INMET (2022) indicam uma temperatura média do ar de 18,15°C e uma umidade relativa média de 82,13%.

Portanto, considerando as médias climatológicas de Pelotas, verifica-se que esse ambiente é propício ao desenvolvimento de fungos filamentosos. De fato, Guerra (2012) identificou a presença de fungos dos gêneros *Penicillium*, *Paecilomyces*, *Cladosporium*, *Fusarium* e *Trichoderma*, que são capazes de prosperar mesmo em temperaturas mínimas de 0°C, com uma média de umidade relativa mínima de 80%,

evidenciando a adequação dessas condições para o crescimento desses microrganismos.

Nesse sentido, ressaltando a importância de compreender o comportamento higrotérmico e a presença de fungos filamentosos, devido aos riscos que estes representam tanto para a saúde dos ocupantes quanto para a integridade das edificações, o presente estudo adotará os critérios delineados pela ASHRAE STANDARD 160 (2021) e pela DIN 4108-8 (2022) para avaliar a possibilidade de ocorrência de fungos filamentosos na cidade de Pelotas e sua influência no desempenho geral de doze habitações de interesse social.

1.11 Qualidade do ar interior

O estudo de Benincá *et al.* (2021), ressalta o papel social fundamental na garantia do direito à moradia para famílias de diversos contextos sociais e econômicos. Nesse cenário, é importante que as habitações proporcionem ambientes saudáveis para seus habitantes, especialmente considerando que as pessoas passam a maior parte de seu dia dentro delas (Soares *et al.* 2015; Gobbi, Santos e Rola, 2019). Conforme observado por Patino e Siegel (2018), há uma estreita correlação entre habitações precárias, especialmente nas residências de interesse social, e o aumento do risco de desenvolvimento ou agravamento de doenças, sobretudo as respiratórias. Isso enfatiza a importância de manter a salubridade desses ambientes habitacionais.

Gobbi, Santos e Rola (2019) destacam a necessidade de que habitações sejam isentas de substâncias prejudiciais e tóxicas para garantir a qualidade do ar interno. O projeto arquitetônico, em conjunto com a seleção adequada de materiais e técnicas construtivas, desempenha um papel fundamental na criação de ambientes saudáveis e confortáveis, como observado por Lamberts, Dutra e Pereira (2014). Nesse sentido, Merten, Caldas e Sposto (2017) e Li *et al.* (2021), ressaltam a importância das decisões tomadas pelo projetista nesse processo de busca por ambientes saudáveis.

Lamberts, Dutra e Pereira (2014) enfatizam que a organização dos espaços exerce uma influência direta nos padrões de circulação de ar, tanto no interior quanto no exterior do edifício. Além disso, essa configuração também afeta a quantidade de luz natural e calor que o edifício recebe, assim como as propriedades térmicas dos materiais utilizados. Conforme observado por Guío (2013), um projeto de ventilação

eficaz e a escolha criteriosa de materiais podem contribuir significativamente para reduzir a concentração de poluentes no ar, promovendo um ambiente mais saudável.

Além dos aspectos arquitetônicos, Statholoupou *et al.* (2008) destacam que a qualidade do ar no interior das habitações também depende das práticas e ocupação desses espaços. Isso inclui considerar os hábitos dos moradores, como fumar, cozinhar, resfriar ou aquecer o ambiente e a água, cozinhar, abrir janelas, escolher mobília, utilizar materiais de limpeza e solventes orgânicos, entre outros. Portanto, os comportamentos dos residentes representam uma variável crítica para a manutenção da qualidade do ar interno.

No contexto da qualidade do ar interno em residências, vários estudos buscam identificar as variáveis mais críticas e sua relação com a saúde e o conforto dos habitantes. Em uma revisão de literatura conduzida por Gobbi, Santos e Rola (2019), cita-se que em um ambiente hospitalar, destaca-se que a ventilação natural desempenha um papel substancial na manutenção da qualidade do ar interno, no conforto dos ocupantes e na redução do consumo energético. Esse aspecto se torna ainda mais relevante quando se considera que ambientes completamente vedados favorecem a propagação de bactérias e doenças contagiosas.

Bisognin e Marquardt (2017) realizaram uma avaliação das condições de conforto e qualidade do ar em um escritório, considerando duas abordagens de ventilação: ventilação natural e climatização artificial. No estudo, foram analisados fatores como temperatura, umidade relativa do ar, níveis de ruído, velocidade das correntes de ar e presença de poluentes químicos. Os resultados demonstraram que todos esses aspectos atendiam às diretrizes vigentes. No entanto, nos ambientes climatizados, embora houvesse uma redução nos níveis de ruído, também surgia a possibilidade de acúmulo de poluentes químicos no ar interno.

O estudo de Beber *et al.* (2023) aborda o desafio crescente relacionado à qualidade do ar interior e ventilação, especialmente na aplicação de sistemas de climatização convencionais. Eles conduziram uma análise em uma edificação termicamente isolada, alinhada com os requisitos da certificação Standard Passive House. O estudo avaliou diversas abordagens, incluindo ventilação mecânica noturna, abertura noturna de janelas e ajustes nas taxas de ventilação noturna, visando reduzir o consumo de energia associado à desumidificação do edifício. Os resultados destacam que taxas de ventilação mais baixas proporcionaram um desempenho

superior na redução do consumo de resfriamento, sem comprometer a qualidade do ar interno em decorrência da elevada umidade do ar exterior.

No estudo de Hidalgo-Betanzos *et al.* (2018), observa-se que condições de temperatura e umidade internas do ar inadequadas criam um ambiente propício para o desenvolvimento de problemas patológicos. No entanto, essas condições não são as únicas culpadas, um projeto arquitetônico bem elaborado e técnicas construtivas apropriadas poderiam prevenir essa situação. O estudo avaliou manifestações patológicas recorrentes relacionadas à umidade em blocos habitacionais durante o inverno, examinando aspectos como ocupação, aquecimento e ventilação natural. Os resultados destacaram que as condições internas dos apartamentos, juntamente com a ventilação natural inadequada, desempenharam um papel fundamental na promoção da condensação e acúmulo de água.

Ramos *et al.* (2018) conduziram uma investigação sobre como as condições higrotérmicas internas podem impactar a qualidade do ar em residências, explorando o retrofit como uma alternativa para aprimorar essa qualidade. Os resultados demonstraram que as habitações submetidas a melhorias em sua envoltória não apresentaram alterações significativas nos níveis de umidade relativa interna. Entretanto, observou-se uma melhoria considerável no conforto e nas temperaturas internas.

Além do impacto relacionado ao consumo energético e ao conforto dos ocupantes, como apontado por Zanoni (2015), Berger *et al.* (2015), Hens (2015) e Buligon (2021), é importante ressaltar que a umidade desempenha um papel crucial na preservação da qualidade do ar interno, pois níveis inadequados de umidade podem resultar em problemas, como o desenvolvimento de mofo, que, por sua vez, representam sérios riscos à saúde dos usuários e à manutenção da qualidade do ar interno.

No que diz respeito à qualidade do ar interior em edificações, as normas nacionais, como a ABNT NBR 16401-2 (2008), a NR 17 (2022), a resolução-RE nº 9 da ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) e a NHO 06 (2017), estabelecem diretrizes para garantir a adequada condição dos ambientes internos. A ABNT NBR 16401-2 (2008) define parâmetros mais específicos para locais com sistemas de climatização artificial, enquanto a NR 17 (2022) estabelece critérios mais genéricos para espaços de trabalho. Por sua vez, a resolução-RE nº 9 da ANVISA

delimita padrões para a qualidade do ar em ambientes com sistemas de climatização artificial. A NHO 06 (2017) aborda a avaliação da exposição ocupacional ao calor, definindo procedimentos para medir e analisar os níveis de calor no ambiente de trabalho.

Essas normas têm a finalidade de preservar a qualidade do ar interior nas edificações, visando proteger a saúde, o conforto e o bem-estar dos ocupantes. No entanto, conforme evidenciado pelas pesquisas mencionadas, o desempenho higrotérmico das edificações também desempenha um papel fundamental na manutenção da qualidade do ar. É notável que essas normas atualmente não incluem parâmetros relacionados a esse aspecto. Portanto, destaca-se a importância de realizar estudos que possam orientar os projetistas e aqueles responsáveis por manter as normas brasileiras atualizadas nesse contexto.

1.12 Conforto térmico, carga térmica e o risco de formação de fungos filamentosos

Um dos aspectos fundamentais da arquitetura reside em proporcionar conforto e bem-estar aos usuários, e para atingir esse objetivo, existem métodos baseados em normativas. Para avaliar o desempenho termoenergético de edificações ventiladas naturalmente os métodos mais utilizados são o conforto térmico, a previsão de cargas para resfriamento e aquecimento e a comparação da temperatura interior com a temperatura exterior. Já para avaliar o desempenho higrotérmico, pode-se trabalhar com o risco de formação de fungos filamentosos e o risco de condensação de vapor.

Para alcançar o bem-estar do indivíduo, é necessário considerar variáveis condicionantes de natureza ambiental e humana. É crucial que diversas condições ambientais estejam harmonizadas, abrangendo fatores como temperatura, níveis de ruído, iluminação, ergonomia e qualidade do ar (Lamberts, Dutra, Pereira, 2014).

Nesse contexto, o conforto térmico é definido como o estado emocional que reflete a satisfação de uma pessoa com as condições térmicas de seu entorno (NBR 15220, 2005). Por outro lado, o desconforto térmico representa o oposto, caracterizando-se pela insatisfação do indivíduo em relação às condições térmicas, podendo ocorrer devido ao frio ou ao calor.

A norma ASHRAE 55 (ASHRAE, 2020) oferece duas abordagens para avaliar o conforto térmico. A primeira é uma abordagem analítica, fundamentada no modelo

de Fanger (1970), que utiliza índices como PMV (*Predicted Mean Vote*) e PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*). A segunda é uma abordagem adaptativa, que considera a aceitação térmica prevista para níveis de conforto de 80% e 90% em edifícios ventilados naturalmente.

Neste trabalho, foi empregada a avaliação baseada no modelo adaptativo com um nível de aceitabilidade de 80%, sendo essa a abordagem apresentada neste contexto. Nessa avaliação, a situação térmica (seja de conforto, desconforto por frio ou desconforto por calor) é determinada considerando uma variação no limite máximo de conforto de +3,5 °C e um limite mínimo de conforto de -3,5 °C, ambos referentes a 80% da população em relação à sua Temperatura Operativa de Conforto (T_{oc}). Esta T_{oc} é estimada por meio da Equação 1, adaptada do padrão ASHRAE STANDARD 55 (2020).

$$T_{oc} = 17,8 + 0,31T_{ext} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

T_{oc} = Temperatura operativa de conforto [°C];

T_{ext} = Temperatura média mensal externa [°C].

De acordo com a pesquisa realizada por Leitzke *et al.* (2018), a cidade de Pelotas enfrenta um nível significativo de desconforto térmico. O estudo sugere que, para sistemas construtivos leves, uma estratégia eficaz para mitigar esse problema é a incorporação de materiais com alta inércia térmica, pois eles têm a capacidade de reduzir a flutuação da temperatura interna e retardar a transferência de calor. Além disso, no contexto do calor, uma opção viável é a adoção de sistemas de ventilação natural.

Outro parâmetro climático relevante para a avaliação do desempenho térmico de edificações são os graus-hora de aquecimento e de resfriamento. Esses indicadores refletem o número de horas ao longo do ano em que a edificação se encontra fora das faixas de conforto térmico, permitindo estimar a quantidade de energia necessária para o resfriamento ou aquecimento de uma edificação em condições de ventilação natural. (Bisolo, 2018).

O indicador de graus-hora considerado neste trabalho é obtido pela soma das diferenças entre as temperaturas operativas horárias e a temperatura de referência.

Conforme as diretrizes estabelecidas pela ASHRAE STANDARD 55 (ASHRAE, 2020), a temperatura de referência usada no cálculo dos graus-hora varia de acordo com os limites definidos na zona de conforto, conforme estipulado nos modelos de 80% e 90% de aceitabilidade da norma.

Para o cálculo dos graus-hora de resfriamento, é adotado o limite superior da zona de conforto, conforme descrito na Equação 2. Em contrapartida, ao calcular os graus-hora de aquecimento, é considerado o limite inferior da zona de conforto, de acordo com a Equação 3.

$$GH_R = \sum(T_0 - T_{b, sup}) \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

GH_R = indicador de graus-hora para resfriamento [°C/H];

T_0 = temperatura operativa horária [°C];

$T_{b, sup}$ = temperatura base de limite superior [°C].

$$GH_A = \sum(T_{b, inf} - T_0) \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

GH_R = indicador de graus-hora para aquecimento [°C/H];

T_0 = temperatura operativa horária [°C];

$T_{b, inf}$ = temperatura base de limite inferior [°C].

Em termos práticos, a análise dos graus-hora desempenha um papel fundamental na projeção do dimensionamento dos sistemas de aquecimento e resfriamento. Temperaturas que ultrapassam o limite superior da zona de conforto indicam a necessidade de resfriamento, enquanto temperaturas abaixo do limite inferior sugerem que é necessário aquecimento para garantir o conforto térmico adequado.

Além disso, outro parâmetro importante no desempenho das edificações é o seu comportamento higrotérmico, com um elemento crítico de avaliação sendo o risco associado à formação de fungos filamentosos e condensação superficial. Estes fungos não apenas promovem a deterioração dos materiais de construção nas

residências, mas também podem representar sérias ameaças à saúde dos seus ocupantes (Guerra, 2012; PINHEIRO, 2013; Berger *et al.*, 2015). Portanto, a consideração do risco de formação de fungos filamentosos emerge como um componente crucial em estudos que visam avaliar o desempenho de edificações.

A norma ASHRAE 160 (2021) estabelece três diferentes condições para o risco de formação de fungos filamentosos: 80% de umidade relativa por 30 dias consecutivos, 98% de umidade relativa por 7 dias consecutivos e 100% de umidade por 24 horas consecutivas. Já a norma DIN 4108-8 (2022) considera apenas uma situação propícia à proliferação de fungos filamentosos, definindo o limite de 80% de umidade relativa por 12 horas contínuas, ocorrendo em pelo menos 5 dias consecutivos.

Existem diversos modelos para estimar a conformidade com os critérios das normas ou para identificar áreas de risco. Dois modelos amplamente utilizados são as Isopletas e o Bio-higrotérmico. O primeiro aplicável apenas em condições de regime permanente, e o segundo, em regime transiente de umidade e temperatura (AFONSO, 2018). As Isopletas avaliam o risco de crescimento de fungos filamentosos por meio das curvas LIM (Lowest Isopleth for Mold), que estabelecem limites para o risco de crescimento de mofo com base em valores fixos de umidade e temperatura.

Por outro lado, o modelo Bio-higrotérmico quantifica a umidade necessária no interior dos esporos para que ocorra a germinação, absorvendo umidade do ambiente por difusão até atingir o teor de umidade crítico onde a atividade metabólica do fungo começa. Este modelo considera o microclima das superfícies, como as paredes, levando em conta a temperatura e a umidade relativa superficiais. Assim, os dados considerados para o cálculo do balanço de umidade dos esporos são a temperatura e o teor de umidade do material, calculados para a posição exata na superfície dos componentes.

Neste estudo as análises serão conduzidas de forma mais direta, com base nos critérios estabelecidos na ASHRAE 160 (2021) e DIN 4108-8 (2022), considerando o trabalho de Guerra que identificou que, sob as condições climáticas de Pelotas, os fungos mais frequentemente encontrados incluem *Penicillium*, *Paecilomyces*, *Cladosporium*, *Fusarium* e *Trichoderma*, sendo que a média de umidade relativa mínima de 80% é uma condição propícia para o desenvolvimento desses fungos filamentosos.

1.13 Simulação computacional para avaliar o desempenho termoenergético e higrotérmico de edificações

Devido à vasta gama de fatores complexos que os projetistas precisam considerar ao planejar uma edificação com o objetivo de aprimorar seu desempenho, a simulação computacional tem se tornado uma ferramenta amplamente adotada (Zaluski e Dantas, 2018; Linczuk e Bastos, 2020). Sua função primordial consiste em identificar estratégias para aprimorar tanto o conforto térmico quanto a eficiência energética dos edifícios.

Existem diversas aplicações para as simulações computacionais, elas podem ser utilizadas em estudos lumínicos, de conforto, de consumo energético, projetos de ar-condicionado, entre outros. As análises realizadas pelos *softwares* de simulação podem ser executadas de forma geral, ou específica, separada de acordo com cada sistema da edificação, como, geometria, sistema construtivo, sistemas de iluminação e sistemas de condicionamento artificial (Mendes *et al*, 2005).

As ferramentas de simulação computacional podem ser utilizadas em qualquer etapa do projeto, segundo Tondo (2017), o mais usual é serem utilizadas na etapa de projeto, no entanto, muitas análises têm sido realizadas considerando já a etapa de operação do edifício, para monitoramento e verificação ou avaliação de desempenho através da simulação calibrada. Estas ferramentas tornam as análises termoenergéticas de edifícios muito mais rápidas, precisas e abrangentes.

Atualmente, uma variedade de softwares está disponível para realizar esse tipo de simulação, sendo um dos mais amplamente adotados o *EnergyPlus* (Sousa, 2012; Pereira, 2015). Este software é desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE) e é utilizado principalmente para simular cargas térmicas, análises energéticas de edificações e seus sistemas, entre outras aplicações (DOE, 2021).

O *EnergyPlus* opera em conformidade com as normas ASHRAE 90.1 (2016) e ASHRAE 140 (2017), focando em simulações térmicas e energéticas de edifícios (Delbin, 2007). Ele se baseia nos princípios fundamentais do balanço energético (Nobre *et al.*, 2021) e oferece várias vantagens em relação a outros programas (LEITZKE, 2021).

Araújo, Souza e Gomes (2023) observam que normalmente as simulações computacionais de desempenho térmico negligenciam a consideração do transporte e armazenamento de umidade em seus componentes. Por outro lado, Zaroni *et al.* (2020) afirmam que os fenômenos de transporte de calor e umidade ocorrem simultaneamente e são altamente interdependentes. A simulação higrotérmica pode, portanto, desempenhar um papel fundamental na compreensão desses fenômenos.

Existem algumas ferramentas de simulação computacional que podem contribuir para análises higrotérmicas, e o *EnergyPlus* é uma delas. Ele oferece a funcionalidade do componente HAMT (*Combined Heat and Moisture Transfer Model*), que se fundamenta na transferência simultânea de calor e umidade, levando em consideração os processos de adsorção e dessorção de umidade (DOE, 2018; Morishita, 2020; Souza, 2020).

Os pesquisadores Araújo, Souza e Gomes (2023) e Beber *et al.* (2023) conduziram uma análise abrangente do uso do *software EnergyPlus*, considerando não apenas a transferência de calor, mas também a de umidade. Eles compararam dois algoritmos do *EnergyPlus*: o Conduction Transfer Function Model (CTF) e o Combined Heat and Moisture Transfer Model (HAMT). Ambos os estudos revelaram um impacto significativo na temperatura interna dos ambientes, enfatizando, assim, a importância de abordar simultaneamente esses aspectos críticos.

Outro *software* extensivamente utilizado para as simulações do desempenho higrotérmico de elementos construtivos é o WUFY PRO (*Wärme-Und Feuchtetransport Instationär - Transient Heat and Moisture Transport*). Este programa representa uma valiosa ferramenta computacional para modelar o comportamento higrotérmico das envoltórias de edificações e foi desenvolvido pelo *Fraunhofer Institute for Building Physics* (Schmidt, 2019). Ele desempenha um papel fundamental em estudos dessa natureza, adotando um modelo unidirecional para o transporte transiente de calor e umidade (Zaroni, 2015).

Método

A pesquisa em questão é de natureza exploratória e busca realizar uma análise abrangente com duas abordagens para a avaliação do desempenho de edifícios, a térmica e a higrotérmica. Especificamente, concentra-se na análise da transferência de umidade e calor nas superfícies internas de sistemas de fechamento vertical.

A análise será conduzida em quatro grupos com diferentes configurações do envelope de habitações populares unifamiliares localizadas na região sul do Brasil. O objetivo principal é aprofundar a compreensão das interações complexas entre umidade e calor nesses sistemas. O propósito subjacente é identificar e avaliar o desempenho termoenergético e higrotérmico em cada uma dessas configurações por meio da utilização de simulações computacionais.

Com o intuito de atingir o objetivo proposto, o método deste trabalho divide-se em cinco etapas principais. A primeira etapa corresponde a de revisão de literatura, realizada de forma narrativa através de estudos já realizados, e tem o intuito de fornecer embasamento teórico acerca do tema. A segunda etapa consiste na delimitação do objeto de estudo, ou seja, determinar as características do objeto a ser estudado, limitando a região e tipologia das edificações analisadas.

A terceira etapa, é referente ao levantamento dos dados necessários para desenvolver as análises, realizado através de questionário aplicado *in loco*, levantando informações referentes a forma e aos materiais das edificações. A quarta etapa, de simulação dos modelos, é dedicada à configuração e à realização de simulações computacionais dos modelos construídos. Essas simulações foram executadas no *software EnergyPlus*, permitindo uma avaliação abrangente.

E, por fim, a quinta etapa, intitulada “Resultados e discussão”, apresenta os resultados obtidos nas análises realizadas. Dentro desta etapa são discutidos o potencial de desenvolvimento de fungos filamentosos, o conforto térmico e o cálculo dos graus-hora. Todas as etapas citadas podem ser observadas de forma esquematizada na Figura 1.

Nesse contexto, a pesquisa visa examinar os dados relacionados a três aspectos específicos: o potencial de desenvolvimento de fungos filamentosos, o conforto térmico e o cálculo dos graus-hora. Essa abordagem quanto à análise de resultados permitirá relacionar o desempenho térmico x higrotérmico x nível de conforto térmico das unidades.

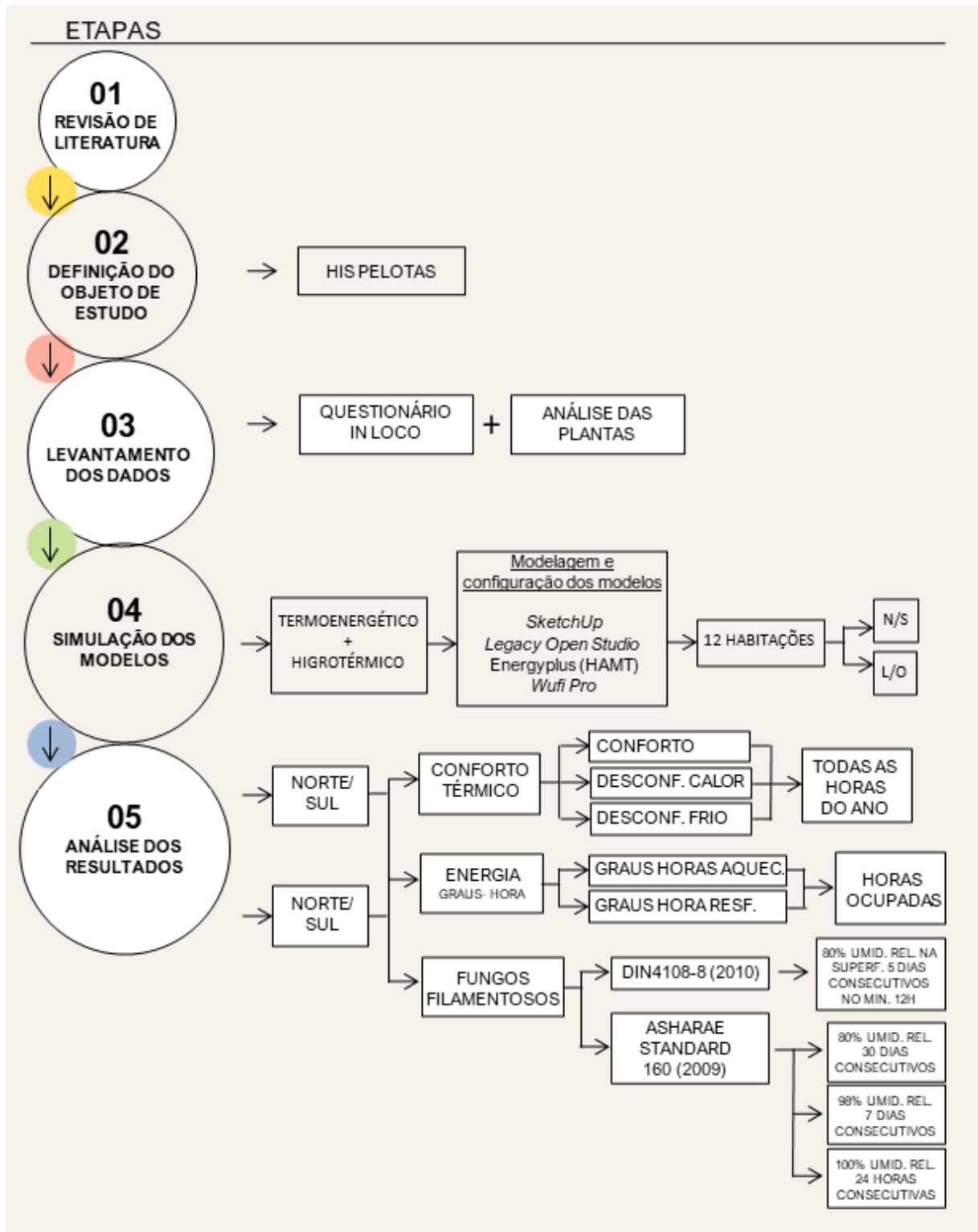


Figura 1: Fluxograma das etapas do método

Fonte: Elaboração própria

1.14 Revisão de literatura

A revisão de literatura foi abordada de maneira narrativa, com o objetivo de mapear o estado da arte referente ao tema de pesquisa, com base em estudos anteriores. Essa abordagem visa fornecer um embasamento teórico para sustentar o

desenvolvimento do presente estudo. A revisão de literatura narrativa busca compreender de forma abrangente um determinado tópico, visando a aquisição e atualização do conhecimento em uma área específica, culminando em uma síntese narrativa e abrangente, conforme sugerido por Ribeiro (2014).

Neste trabalho, a revisão de literatura se concentrou em quatro tópicos principais: habitações de interesse social, desempenho termoenergético de edificações residenciais, simulação computacional aplicada a estudos sobre desempenho termoenergético e higrótérmico de edificações, e qualidade do ar no interior de edifícios.

1.15 Definição do objeto de estudo

O objeto de estudo definido para este trabalho são as habitações populares unifamiliares localizadas na cidade de Pelotas. Para delimitar as habitações que fariam parte da amostra levantada, foram realizados levantamentos prévios através do III Plano Diretor de Pelotas (2008), Secretaria de Habitação e Regularização Fundiária de Pelotas (SHRF), banco de dados da Caixa Econômica Federal (CEF) e jornais e redes sociais das grandes imobiliárias e construtoras locais.

No Plano Diretor foram reconhecidas as Áreas de Especial Interesse Social (AEIS) da cidade. Já na SHRF, junto aos setores de Regularização Fundiária e Cadastro Habitacional, foram identificados os loteamentos onde os moradores foram contemplados com a casa própria através do cadastro realizado pela SHRF, referentes ao faixa 1 do PMCMV/PCVAC ou outro programa habitacional público, além das áreas que passaram pelo processo de regularização fundiária realizado pela Prefeitura Municipal de Pelotas.

O banco de dados da CEF, forneceu uma lista das habitações unifamiliares dos empreendimentos financiados pelo PMCMV, construídos em Pelotas. E ainda, para contemplar as habitações referentes as faixas 2 e 3 do PMCMV/PCVA, construídas a partir de financiamento individual através da Caixa Econômica Federal (CEF), o levantamento prévio foi realizado num período de noventa dias (de 15/01/2022 à 14/05/2022), através do maior jornal local, o Diário Popular (DP), e das redes sociais das grandes imobiliárias e construtoras locais, buscando identificar as regiões onde estão inseridas estas habitações populares na cidade.

Após a realização do levantamento prévio, a seleção das habitações para o desenvolvimento das análises respeitou os critérios listados a seguir, devendo a habitação se enquadrar em ao menos um item para ser incluída na amostra, além de estar localizada na cidade de Pelotas - RS:

- Possuir renda familiar igual ou inferior à três salários-mínimos (referência janeiro/2022: salário-mínimo = R\$ 1.212,00) – Considerando a classificação do Cadastro único (CadÚnico), que categoriza como baixa renda indivíduos com renda familiar de até três salários-mínimos;
- Possuir residência financiada pelo Programa Minha Casa Minha Vida/Casa Verde e Amarela, ou outro programa habitacional público para famílias de baixa renda;
- Estar inserida em uma Área de Especial Interesse Social, ou de regularização fundiária, desde que não seja ultrapassado o valor de R\$ 7.000,00 para renda familiar - baseado no limite máximo aceito pelo Programa Casa Verde e Amarela em janeiro/ 2022;
- A habitação possuir no máximo 70,00m² e ser construída com materiais populares/de baixo custo, desde que não seja ultrapassado o valor de R\$ 7.000,00 para renda familiar - baseado no limite máximo aceito pelo Programa Casa Verde e Amarela em janeiro/ 2022 e na definição de casa popular da Instrução Normativa 971/2009;
- A habitação ter sido construída em 2009 ou posteriormente e se enquadrar em ao menos um dos demais critérios, considerando o ano de implantação do Programa Minha Casa Minha Vida.

Outro ponto relevante para a definição das habitações levantadas para o estudo foi a configuração do seu envelope, buscando aplicar a pesquisa em quatro diferentes grupos de habitações com materiais distintos em relação as paredes e cobertura.

Com base nos fatores mencionados anteriormente e levando em consideração a variedade de materiais aplicados ao envelope das edificações, foram escolhidas doze residências unifamiliares de interesse social. Essas habitações estão distribuídas em quatro conjuntos habitacionais que compartilham características construtivas semelhantes, as quais as distinguem das demais habitações dos outros grupos.

A escolha dessas habitações foi orientada por critérios específicos, levando em consideração não apenas as características construtivas dos elementos de fechamento vertical e horizontal, mas também a diversidade nas condições habitacionais. Os quatro grupos foram delineados para representar uma amostra diversificada de práticas construtivas:

- Habitações com Plantas Individuais e Construção por Empresas de Construção.
- Habitações com Plantas Individualizadas em Locais Distintos e Materiais Diferentes.
- Empreendimento PAC com Projetos Padronizados e Construção por Grandes Construtoras, Incluindo Autoconstrução.
- Habitações do Programa Minha Casa Minha Vida (MCMV) com Fechamentos Verticais em Concreto.

A criação desses grupos tem como objetivo proporcionar uma análise abrangente das diferentes práticas construtivas e condições habitacionais, respeitando as particularidades de cada comunidade e garantindo o consentimento ativo dos moradores. A Figura 2 ilustra a localização dessas habitações em Pelotas.

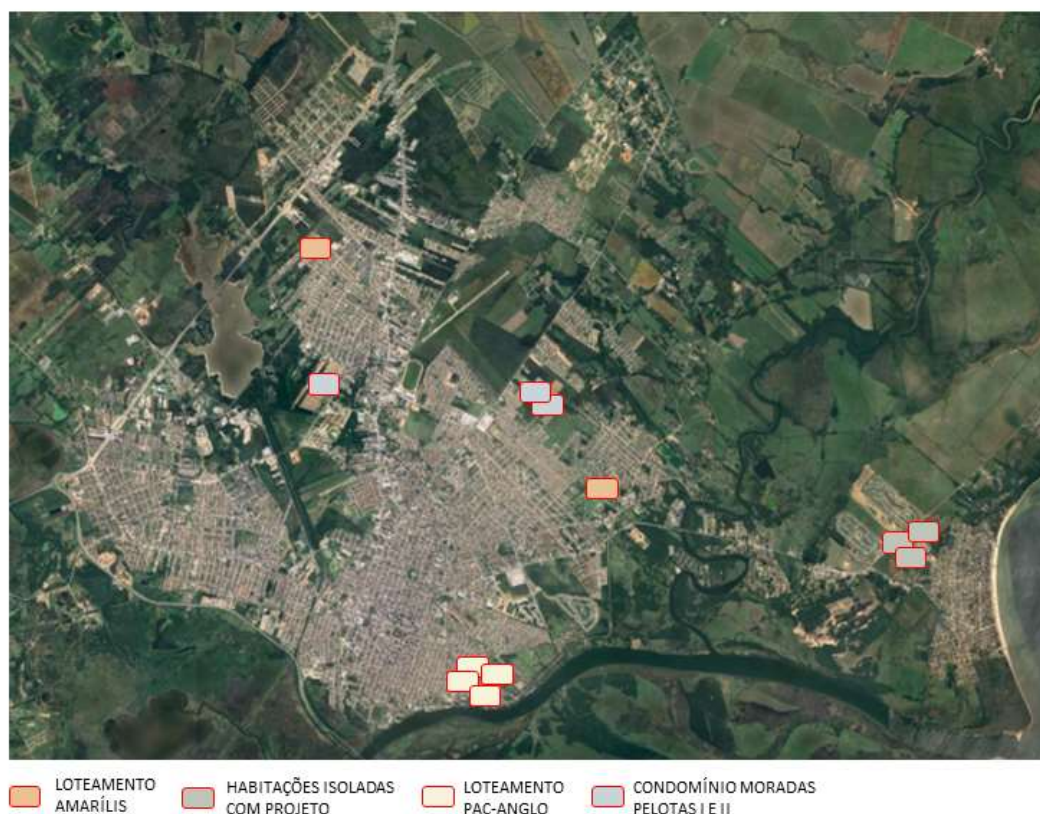


Figura 2: Localização das habitações em Pelotas
 Fonte: Elaboração própria

As habitações 1, 2 e 3 estão situadas no loteamento Amarílis, apresentando projetos elaborados por profissionais devidamente habilitados, foram executadas por uma construtora e financiadas pelo Programa Minha Casa Minha Vida (MCMV). Por outro lado, as habitações 4 e 5 não estão associadas a nenhum conjunto habitacional em particular, encontram-se localizadas em bairros diferentes, mas foram concebidas individualmente por profissionais habilitados, não fazendo parte de empreendimentos de grande porte e não foram construídas por empresas construtoras.

Já as habitações 6, 7, 8 e 9 fazem parte do loteamento PAC-ANGLO, que integra um programa governamental e passaram por processos de regularização fundiária, com três delas passando por modificações realizadas pelos próprios moradores. Por fim, as habitações 10, 11 e 12 estão incorporadas nos Condomínios Moradas Pelotas I e II, compartilhando um projeto inicial comum, fazendo parte de empreendimentos de maior escala e contando com projetos elaborados por profissionais qualificados e habilitados. Adicionalmente, duas dessas habitações passaram por expansões conduzidas por profissionais habilitados.

As doze residências escolhidas para este estudo ocupam posições centrais dentro de seus quarteirões, apresentando paredes construídas nos limites laterais dos terrenos. Conforme indicado na Tabela 1 essas habitações são de um único pavimento, com variação de um a quatro dormitórios, um banheiro, e a maioria delas possui a integração da sala com a cozinha. As paredes das habitações são, em sua maioria, construídas com alvenaria ou concreto moldado *in loco*. Vale ressaltar que, em algumas residências, os próprios moradores realizaram ampliações utilizando madeira. Quanto aos telhados, eles são revestidos com telhas de fibrocimento ou cerâmica. No que diz respeito às esquadrias, estas são confeccionadas em alumínio, madeira ou apresentam uma composição mista.

Tabela 1: Principais características das 12 habitações utilizadas no estudo.

Hab.	Nº Pav.	Nº de Dorm.	Nº de WC	Sala e Cozinha Integradas	Cobertura	Parede	Piso	
							Área seca	Área molhada
HAB01	1	2	1	Sim	Fibrocimento	Alvenaria	Cerâmica	Cerâmica
HAB02	1	2	1	Sim	Fibrocimento	Alvenaria	Laminado	Cerâmica
HAB03	1	1	1	Sim	Fibrocimento	Alvenaria	Cerâmica	Cerâmica
HAB04	1	1	1	Sim	Fibrocimento	Alvenaria	Cerâmica	Cerâmica
HAB05	1	2	1	Sim	Cerâmica	Alvenaria	Cerâmica	Cerâmica
HAB06	1	4	1	Sim	Fibrocimento	Alvenaria	Contrapiso	Cerâmica
HAB07	1	2	1	Sim	Fibrocimento	Alvenaria	Cerâmica	Cerâmica
HAB08	1	3	1	Sim	Fibrocimento	Alvenaria	Contrapiso	Cerâmica
HAB09	1	3	1	Não	Fibrocimento	Alvenaria	Laminado	Cerâmica
HAB10	1	2	1	Não	Cerâmica	Concreto	Laminado	Cerâmica
HAB11	1	2	1	Sim	Cerâmica	Concreto	Laminado	Cerâmica
HAB12	1	2	1	Sim	Cerâmica	Concreto	Vinílico	Cerâmica

Fonte: Elaboração própria

A Figura 3 apresenta a distribuição espacial das 12 habitações, delineando as plantas baixas individuais, e destaca em vermelho os espaços adicionados posteriormente, os quais não estavam originalmente previstos no projeto inicial.



Figura 3: Planta baixa das 12 habitações utilizadas no estudo
 Fonte: Elaboração própria

A Figura 4 exibe a configuração do envelope de cada habitação, considerando a estrutura original, mas é importante notar que as habitações 06 e 08 passaram por expansões que incluíram a construção de novos cômodos em madeira.

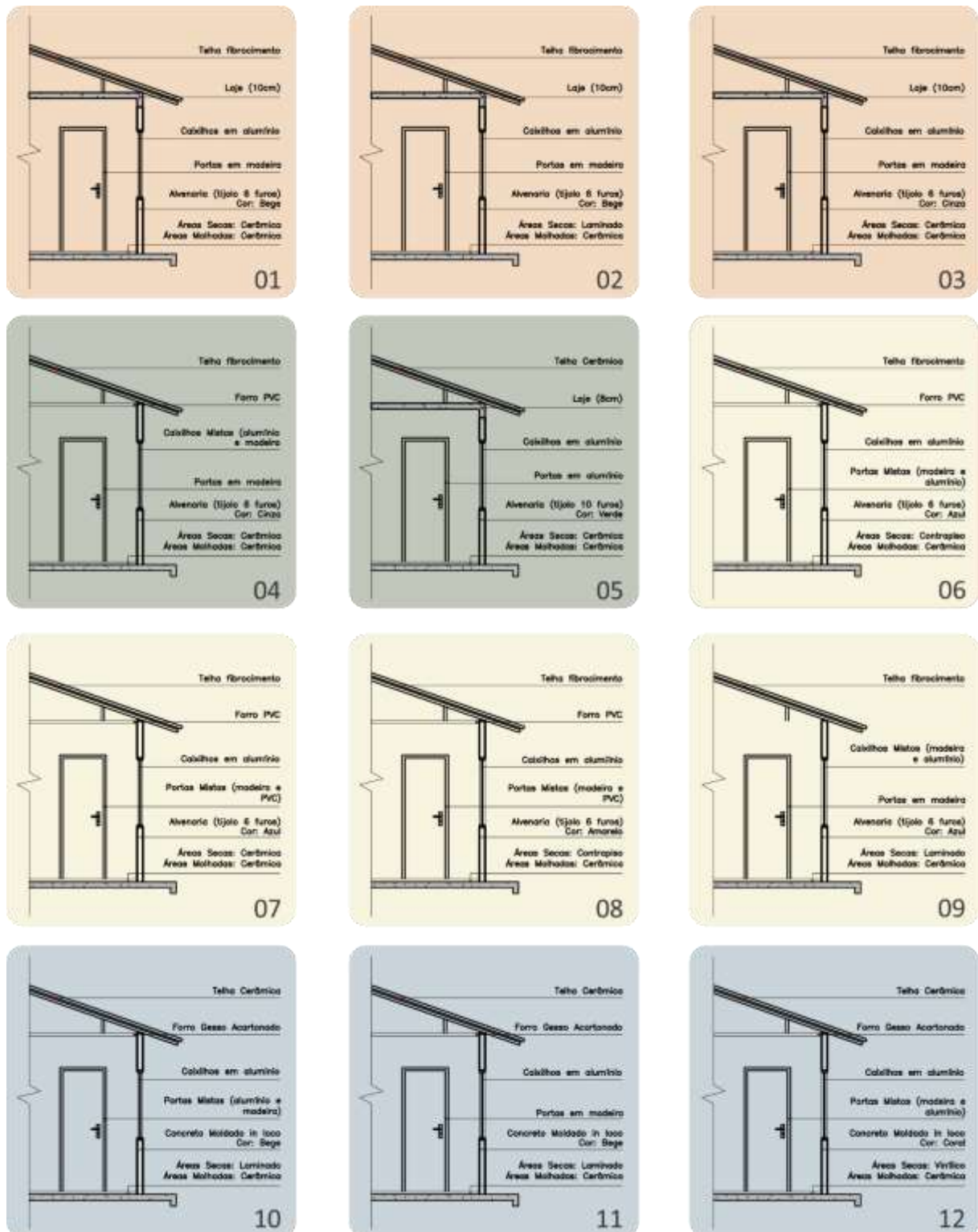


Figura 4: Corte esquemático da composição das envoltórias das 12 habitações utilizadas no estudo
Fonte: Elaboração própria

As habitações 01, 02 e 03 se aproximam por suas características construtivas. Elas possuem fechamentos verticais em alvenaria, coberturas compostas por telhas de fibrocimento e lajes de concreto de 10 cm de espessura. Os caixilhos são

confeccionados em alumínio, com vidros comuns de 6 mm, enquanto as portas são de madeira. Nas áreas molhadas, o revestimento escolhido é o piso cerâmico, enquanto nas áreas secas, as habitações 01 e 03 contam com piso cerâmico, e a habitação 02 possui piso laminado.

As residências 04 e 05 possuem paredes em alvenaria, porém, suas especificações variam. A habitação 04 possui telha fibrocimento e forro de PVC, caixilhos em madeira e alumínio, com vidro comum de 6 mm, portas de madeira e piso cerâmico tanto nas áreas secas quanto molhadas. Por outro lado, a habitação 05 conta com telha cerâmica e laje de concreto de 8 cm de espessura, caixilhos em alumínio e com vidro comum de 6 mm, portas de alumínio, e piso cerâmico em todas as áreas da casa.

As residências 06, 07 e 08 compartilham a presença de telhados de fibrocimento e forros de PVC, e a habitação 09 apenas a telha de fibrocimento, todas apresentam fechamentos verticais em alvenaria. A habitação 06 se diferencia com caixilhos em alumínio, vidros comuns de 6 mm, portas de madeira e alumínio, adotando piso cerâmico em áreas molhadas e contrapiso nas áreas secas. Na habitação 07, são utilizados caixilhos em alumínio, vidros comuns de 6 mm, portas de madeira e PVC, com piso cerâmico adotado em ambas as áreas, tanto nas secas quanto nas molhadas.

Já a habitação 08 apresenta caixilhos em alumínio, vidros comuns de 6 mm, portas de madeira e PVC, com piso cerâmico nas áreas úmidas e contrapiso nas áreas secas. E, a habitação 09 caracteriza-se pela utilização de caixilhos em madeira e alumínio, vidros comuns de 6 mm, portas de madeira, e a escolha de piso cerâmico nas áreas molhadas e laminado nas áreas secas.

Outro aspecto relevante a ser destacado em relação a esse conjunto de residências diz respeito às expansões efetuadas nas unidades 06 e 08, as quais foram conduzidas pelos próprios residentes. Tais modificações incluem o uso de fechamentos verticais em madeira, pisos revestidos apenas com contrapiso, e esquadrias feitas de madeira e vidro simples com espessura de 6mm.

E, por fim, nas habitações 10, 11 e 12, encontramos elementos distintos em seus acabamentos. Elas apresentam fechamentos verticais em concreto moldado *in loco*, cobertura de telha cerâmica e forro de gesso acartonado. Todas elas possuem

caixilhos em alumínio e pisos cerâmicos em áreas úmidas. No entanto, as portas da habitação 10 e 12 são feitas de madeira e alumínio, enquanto a habitação 11 possui portas de madeira. Quanto aos pisos das áreas secas, as habitações 10 e 11 têm piso laminado, e a habitação 12 tem piso vinílico.

Em relação às cores, as habitações 01, 02, 10 e 11 são em tons de bege. As habitações 03 e 04 são em cinza. A habitação 05 é verde. As habitações 06, 07 e 09 são em azul. A habitação 08 é amarela, e a habitação 12 é na cor coral.

1.16 Levantamento dos dados

A fase inicial do levantamento envolveu uma abordagem abrangente, incorporando análise documental, seleção das edificações, observações no local e a aplicação de questionários. Estes questionários foram elaborados de forma a abranger aspectos relacionados à forma das edificações, bem como aos materiais empregados, conforme indicado no esquema ilustrativo apresentado na



Figura 5.



Figura 5: Esquema ilustrativo da etapa de levantamento dos dados
 Fonte: Elaboração própria

Conforme destacado por Lamberts (2016), o desempenho térmico das edificações é influenciado por diversas características, que vão além das características do local de implantação da edificação, englobando também aspectos relacionados à construção. Fatores como os materiais utilizados no envoltório, número de pavimentos, dimensões dos cômodos, pé-direito, orientação das fachadas e o tipo e dimensões das esquadrias desempenham um papel crucial na eficiência energética e no conforto das edificações.

Adicionalmente, Lima (2014) ressalta que os materiais utilizados em seus componentes exercem uma influência substancial sobre o desempenho térmico das edificações, resultando diretamente no conforto térmico dos seus ocupantes e, como resultado, na eficiência energética. Já Kunsler (2022) ressalta a significativa influência de diversos fatores, como a escolha de materiais, o sistema de ventilação e a orientação das edificações, sobre o desempenho higrotérmico e a ocorrência de desenvolvimento de fungos nas paredes. A autora também aponta que a ZB2 se mostra particularmente propensa ao surgimento dessa manifestação patológica.

Com base na revisão abordada na literatura, foram identificadas as características de maior impacto no desempenho termoeenergético e higrotérmico de edificações residenciais. Essas informações foram compiladas e estão apresentadas na Tabela 2 e Tabela 3, referentes à forma e aos materiais empregados, respectivamente. Importante ressaltar que esses dados foram obtidos por meio de investigação *in loco*.

Tabela 2: Características levantadas *in loco* para construção dos modelos referentes à forma das edificações

Variação quanto à forma	Tipo de variável
Sala e cozinha conjugadas	Qualitativa
Há área de serviço?	Qualitativa
Há garagem?	Qualitativa
Há cômodo para trabalho remunerado?	Qualitativa
Quantidade de dormitórios	Quantitativa
Quantidade de banheiros	Quantitativa
Quantidade de pavimentos	Quantitativa
Área total (m ²)	Quantitativa
Área Social (m ²)	Quantitativa
Área íntima (m ²)	Quantitativa
Área média dos dormitórios (m ²)	Quantitativa
Dimensão maior fachada (m)	Quantitativa
Dimensão menor fachada (m)	Quantitativa
Proporção (razão entre a menor e a maior fachada)	Quantitativa
Área da janela/ área da fachada	Quantitativa
Orientação da fachada frontal	Qualitativa

Fonte: Adaptado de ROSA (2014)

Tabela 3: Características levantadas *in loco* para construção dos modelos referentes aos materiais das edificações

Variáveis quanto aos materiais	Tipo de variável
Composição da parede das áreas secas	Qualitativa
Composição da parede das áreas molhadas	Qualitativa

Composição do piso das áreas secas	Qualitativa
Composição do piso das áreas molhadas	Qualitativa
Contato com o solo	Qualitativa
Tipo de telha	Qualitativa
Existência de laje de concreto	Qualitativa
Material do forro	Qualitativa
Material do caixilho das portas	Qualitativa
Material do caixilho das janelas	Qualitativa

Fonte: Adaptado de ROSA (2014)

A etapa de levantamento dos dados foi realizada para identificar as características reais das habitações, reunindo todas as informações possíveis e necessárias para o desenvolvimento das análises. Com base nas indicações do levantamento prévio realizado na etapa de delimitação do objeto de estudo, foram realizadas visitas as regiões assinaladas na Figura 2 para reconhecimento do local e identificação das possíveis habitações que seriam levantadas.

Para a coleta de dados, foi desenvolvido um formulário, projetado para investigar as características físicas das habitações, abordando aspectos como sua estrutura, forma e os materiais empregados. Esse formulário completo está disponível no Apêndice B para referência. O formulário foi desenvolvido baseado no trabalho de Rosa (2014), que fez um levantamento das características de habitações populares unifamiliares para Florianópolis.

Antes de conduzir as visitas às habitações, foram tomadas algumas medidas preparatórias. Uma dessas medidas foi a elaboração de um termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE), explicando de forma clara as intenções da pesquisa e como os dados levantados seriam utilizados, onde, uma das vias ficou com o pesquisador e a outra com o entrevistado, em acordo com a Resolução 510/16 que dispõe sobre as normas aplicáveis a Pesquisas em Ciências Humanas e Sociais, que aponta a necessidade de autorização por parte dos moradores participantes da pesquisa.

Além disso, um aspecto crucial a ser ponderado durante a execução do levantamento em campo foi a presença da pandemia de Covid-19. Tal situação demandou a adoção de medidas cautelosas, respeitando rigorosamente os protocolos

de distanciamento. Além das ferramentas convencionais empregadas em levantamentos de campo, foi necessário incorporar materiais de proteção, como máscaras e álcool em gel. Essas precauções visavam preservar a integridade tanto dos pesquisadores quanto dos habitantes das residências investigadas.

A pandemia teve um impacto significativo na abordagem de levantamento das habitações. Nesse contexto, para algumas das 12 residências, a obtenção de suas características inicialmente envolveu a análise dos projetos arquitetônicos das edificações. Essa abordagem foi adotada com o propósito de minimizar a exposição dos pesquisadores e moradores, tornando o levantamento *in loco* mais ágil.

O modelo de questionário e o termo de consentimento livre e esclarecido, os quais estão acessíveis nos Apêndices 1 e 2, foram submetidos à avaliação no momento da inscrição do projeto na Plataforma Brasil. Tal procedimento é uma exigência padrão para pesquisas que envolvem seres humanos. As informações coletadas por meio dos questionários foram devidamente registradas em planilhas do Excel, estruturadas de maneira a facilitar o processamento das análises de forma mais eficiente.

1.16.1 Levantamento dos dados referentes à forma

O levantamento das informações referentes à forma das habitações, se deu através do preenchimento de questionário, onde o pesquisador realizou medições e observou características das habitações desenvolvendo um croqui no local, utilizando como equipamentos, trena eletrônica, trena de oito metros e trena de cinquenta metros, dependendo da necessidade. A orientação das habitações foi levantada a partir da localização da edificação no Mapa Urbano Básico (MUB) da cidade de Pelotas, atualização de dezembro de 2021.

As informações levantadas referentes à forma dizem respeito à geometria das edificações: dimensões gerais, distribuição espacial dos ambientes, orientação e dimensão das fachadas, área de iluminação, ventilação, manobra de abertura, área de iluminação, ventilação e existência de proteção solar nas portas e janelas. Os dados referentes aos projetos das habitações, além de serem organizados nas planilhas do Excel, também, foram reproduzidos no programa AutoCAD 2021, a fim de criar um banco de dados com todas as informações pertinentes para a realização deste trabalho.

1.16.2 Levantamento dos dados referentes aos materiais

O levantamento dos dados referentes aos materiais que compõem a edificação, se deu a partir do formulário apresentado no Apêndice B, considerando a resposta dos moradores e observações dos pesquisadores realizadas *in loco*. As informações levantadas são relativas aos dados de composição (espessura, materiais, pintura e cor) de parede, piso, cobertura e esquadrias.

1.17 Simulação dos modelos

Esta etapa foi realizada para avaliar o desempenho termoeenergético e higrorotermico de habitações populares através de simulação computacional. Os passos essenciais desse processo são delineados visualmente na Figura 6.



Figura 6: Esquema ilustrativo das etapas da simulação e configuração dos modelos
Fonte: Elaboração própria

Para alcançar o objetivo proposto nesta etapa, as habitações levantadas foram modeladas no software *SketchUp* 2017 com o auxílio do *plugin Legacy Open Studio* 1.0.14 e simuladas no *EnergyPlus* 9.0.1. Para obtenção das propriedades térmicas

necessárias para configuração do algoritmo HAMT no EnergyPlus, foi utilizado o programa *Wufi Pro 6.5* através da configuração dos materiais utilizados. Após a realização de todas as simulações, os resultados obtidos foram sintetizados, considerando o desempenho termoenergético e higrotérmico das habitações.

1.17.1 Configuração dos arquivos para simulação

As configurações dos parâmetros dos modelos das habitações foram realizadas de forma a se manterem iguais, com exceção dos relativos à forma e aos materiais, prevalecendo assim, as diferenças entre as suas características. Assim, ao simular os modelos, se manteve a configuração do arquivo climático, rotinas de uso e ocupação, metabolismo, densidade de potência de iluminação e cargas internas de equipamentos, alterando apenas a forma e os materiais.

Quanto à modelagem, cada ambiente das habitações foi tratado como uma zona térmica, sendo modelado e configurado levando em consideração essa especificação. Os 12 modelos foram submetidos a simulações em duas distintas condições, uma orientada pelo eixo Norte/Sul e a outra pelo eixo Leste/Oeste. Essas simulações foram executadas para a Zona Bioclimática 2, representada pelo arquivo climático TRY, que caracteriza a cidade de Pelotas e foi elaborado por Leitzke *et al.* (2018). Este zoneamento refere-se ao definido pela NBR 15220-3 (ABNT, 2005), que prevê 8 zonas bioclimáticas distintas no território nacional.

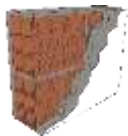
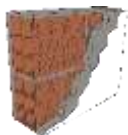
O arquivo climático TRY fornece informações horárias abrangentes, incluindo temperatura de bulbo seco ($^{\circ}\text{C}$), temperatura do ponto de orvalho ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa (%), pressão atmosférica (Pa), radiação extraterrestre horizontal (Wh/m^2), radiação global horizontal (Wh/m^2), radiação direta normal (Wh/m^2), radiação horizontal difusa (Wh/m^2), direção do vento (graus), velocidade do vento (m/s) e precipitação (mm).

O sistema de ventilação adotou a estratégia da ventilação natural seletiva, o que implica que o controle da ventilação está vinculado à temperatura. Essa configuração específica foi aplicada ao objeto *AirFlowNetwork* do *EnergyPlus*, estabelecendo um *setpoint* de temperatura de 19°C , baseada na NBR 15575-1 (ABNT, 2021a), considerando que o projeto de Norma é baseado nesta regulamentação específica.

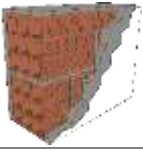
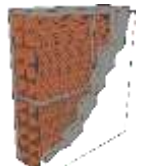
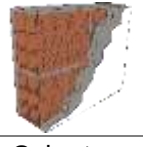
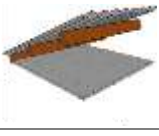
O objeto *HVACTemplate* não foi incluído, e os custos de consumo de energia não foram analisados, considerando que, de acordo com Fonseca *et al.* (2017), o sistema de condicionamento natural prevalece nas residências brasileiras. As temperaturas do solo foram estabelecidas por meio de um utilitário do *EnergyPlus* conhecido como *Slab*.

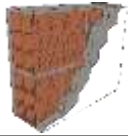
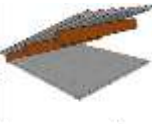
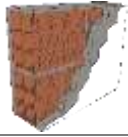
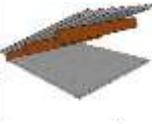
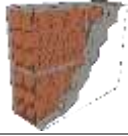
As construções adotaram como sistema construtivo em suas plantas originais a aplicação de alvenaria convencional ou a utilização de paredes de concreto moldado *in loco*. As características dos materiais que compõem a envoltória das 12 habitações foram definidas de acordo com o procedimento estabelecido na NBR 15220-2 (ABNT 2022), e são detalhadas na Tabela 4. Decidiu-se incluir as propriedades das plantas originais nessa tabela, oferecendo assim uma visão geral do conjunto de dados.

Tabela 4: Principais propriedades da envoltória do melhor e do pior caso.

Hab.	Elemento	Descrição	R [m ² /WK]	U [W/(m ² .K)]	C _T [kJ/(m ² .K)]
HAB01	Parede	Parede de tijolo 6 furos (9x14x19cm), argamassa e reboco nas duas faces (espessura = 3cm cada face). Cor: Branca / Bege / $\alpha = 0,30$	0,3932	2,54	195,20
					
	Cobertura	Telha fibrocimento, câmara de ar e laje (10cm). $\alpha = 0,80$	0,4864	2,06	228,59
					
	Piso	Áreas secas – Cerâmica e contrapiso	0,1381	7,24	128,4
		Áreas molhadas - Cerâmica e contrapiso	0,1381	7,24	128,4
HAB02	Parede	Parede de tijolo 6 furos (9x14x19cm), argamassa e reboco nas duas faces (espessura = 3cm cada face). Cor: Verde / Bege / $\alpha = 0,40$	0,3932	2,54	195,20
					
	Cobertura	Telha fibrocimento, câmara de ar e laje (10cm). $\alpha = 0,80$	0,4864	2,06	228,59
					
	Piso	Áreas secas – Laminado e contrapiso	0,1952	5,12	110,53

		Áreas molhadas - Cerâmica e contrapiso	0,1381	7,24	128,4
HAB03	Parede	Parede de tijolo 6 furos (9x14x19cm), argamassa e reboco nas duas faces (espessura = 3cm cada face). Cor: Cinza Escuro / $\alpha = 0,80$	0,3932	2,54	195,20
	Cobertura	Telha fibrocimento, câmara de ar e laje (10cm). $\alpha = 0,80$	0,4864	2,06	228,59
	Piso	Áreas secas – Cerâmica e contrapiso	0,1381	7,24	128,4
		Áreas molhadas - Cerâmica e contrapiso	0,1381	7,24	128,4

HAB04	Parede	Parede de tijolo 9 furos (14x19x29cm), argamassa e reboco nas duas faces (espessura = 2,5 cada face). Cor: Cinza Escuro / $\alpha = 0,80$	0,4624	2,16	171,03
					
	Cobertura	Telha fibrocimento, câmara de ar e forro PVC. $\alpha = 0,80$	0,4792	2,09	19,37
					
	Piso	Áreas secas – Cerâmica e contrapiso	0,1381	7,24	128,4
		Áreas molhadas - Cerâmica e contrapiso	0,1381	7,24	128,4
HAB05	Parede	Parede de tijolo 10 furos (9x19x19cm), argamassa e reboco nas duas faces (espessura = 3cm cada face). Cor: Bege / Palha / $\alpha = 0,30$	0,4625	2,16	201,46
					
	Cobertura	Telha cerâmica, câmara de ar e laje (8cm). $\alpha = 0,80$	0,4871	2,05	192,56
					
	Piso	Áreas secas – Cerâmica e contrapiso	0,1381	7,24	128,4
		Áreas molhadas - Cerâmica e contrapiso	0,1381	7,24	128,4
HAB06	Parede	Parede de tijolo 6 furos (9x14x19cm), argamassa e reboco nas duas faces (espessura = 3cm cada face). Cor: Branca / Bege / $\alpha = 0,30$	0,3932	2,54	195,20
					
	Cobertura	Telha fibrocimento, câmara de ar e forro PVC. $\alpha = 0,80$	0,4792	2,09	19,37
					
	Piso	Áreas secas – Contrapiso	0,1952	5,12	110,53
		Áreas molhadas - Cerâmica e contrapiso	0,1286	7,78	110,00

HAB07	Parede	Parede de tijolo 6 furos (9x14x19cm), argamassa e reboco nas duas faces (espessura = 3cm cada face). Cor: Azul escuro / $\alpha = 0,80$	0,3932	2,54	195,20
					
	Cobertura	Telha fibrocimento, câmara de ar e forro PVC. $\alpha = 0,80$	0,4792	2,09	19,37
					
	Piso	Áreas secas – Cerâmica e contrapiso	0,1381	7,24	128,4
		Áreas molhadas - Cerâmica e contrapiso	0,1381	7,24	128,4
HAB08	Parede	Parede de tijolo 6 furos (9x14x19cm), argamassa e reboco nas duas faces (espessura = 3cm cada face). Cor: Amarelo / $\alpha = 0,30$	0,3932	2,54	195,20
					
	Cobertura	Telha fibrocimento, câmara de ar e forro PVC. $\alpha = 0,80$	0,4792	2,09	19,37
					
	Piso	Áreas secas – Contrapiso	0,1952	5,12	110,53
		Áreas molhadas - Cerâmica e contrapiso	0,1286	7,78	110,00
HAB09	Parede	Parede de tijolo 6 furos (9x14x19cm), argamassa e reboco nas duas faces (espessura = 3cm cada face). Cor: Azul claro / $\alpha = 0,50$	0,3932	2,54	195,20
					
	Cobertura	Telha fibrocimento. $\alpha = 0,80$	0,4294	2,33	8,57
					
	Piso	Áreas secas – Laminado e contrapiso	0,1952	5,12	110,53
		Áreas molhadas - Cerâmica e contrapiso	0,1381	7,24	128,4

HAB10	Parede	Parede em concreto armado moldado in loco (espessura internas = 8cm / externas = 10cm) Cor: Bege / Palha / $\alpha = 0,30$	0,2542	3,93	184
					
	Cobertura	Telha cerâmica, câmara de ar e forro de gesso acartonado. $\alpha = 0,80$	0,4843	2,06	27,27
					
	Piso	Áreas secas – Laminado e contrapiso	0,1952	5,12	110,53
		Áreas molhadas - Cerâmica e contrapiso	0,1381	7,24	128,4
HAB11	Parede	Parede em concreto armado moldado in loco (espessura internas = 8cm / externas = 10cm) Cor: Branca / Bege / $\alpha = 0,30$	0,2542	3,93	184
					
	Cobertura	Telha cerâmica, câmara de ar e forro de gesso acartonado. $\alpha = 0,80$	0,4843	2,06	27,27
					
	Piso	Áreas secas – Laminado e contrapiso	0,1952	5,12	110,53
		Áreas molhadas - Cerâmica e contrapiso	0,1381	7,24	128,4
HAB12	Parede	Parede em concreto armado moldado in loco (espessura internas = 8cm / externas = 10cm) Cor: Coral avermelhada / $\alpha = 0,74$	0,2542	3,93	184
					
	Cobertura	Telha cerâmica, câmara de ar e forro de gesso acartonado. $\alpha = 0,80$	0,4843	2,06	27,27
					
	Piso	Áreas secas – Vinílico e contrapiso	0,1411	7,09	122,41
		Áreas molhadas - Cerâmica e contrapiso	0,1381	7,24	128,4

Fonte: Elaboração própria

No que se refere às cores das paredes e do telhado, a abordagem adotada reflete fielmente as cores reais das 12 habitações, permitindo a determinação das suas capacidades de absorção de radiação solar. Além disso, no processo de modelagem, levou-se em consideração a presença de elementos como persianas,

venezianas e cortinas, que têm influência significativa na interação da luz e do calor com o ambiente interno. Isso foi realizado através da configuração dos modelos com base nos parâmetros dos objetos *WindowMaterial:Shade* e *WindowShadingControl*.

Quanto aos materiais utilizados nas esquadrias das habitações, é importante observar que eles variam entre as 12 unidades, refletindo as características únicas de cada uma. Em contrapartida, em relação aos vidros, foi estabelecida uma padronização, configurando vidros comuns de 3mm de espessura em todas as habitações, conforme observado no local.

Os detalhes sobre as cores, materiais das esquadrias e a presença de persianas, venezianas ou cortinas podem ser encontrados na

Tabela 5, a qual oferece um resumo informativo e condensado desses elementos em cada uma das habitações.

Tabela 5: Cor das paredes, material das esquadrias e presença de persiana, veneziana ou cortina.

Hab.	Cor das paredes	Material janelas/portas	Persiana, veneziano ou cortina
HAB001	Branca / Bege	Alumínio / Madeira	Cortina
HAB002	Verde / Bege	Alumínio / Madeira	Cortina
HAB003	Cinza escuro	Alumínio / Madeira	Cortina
HAB004	Cinza escuro	Madeira e Alumínio / Madeira	Persiana PVC
HAB005	Bege / Palha	Alumínio / Alumínio	Persiana PVC
HAB006	Branca / Bege	Alumínio / Madeira e Alumínio	Veneziana alumínio
HAB007	Azul escuro	Alumínio / Madeira e PVC	Cortina
HAB008	Amarelo	Alumínio / Madeira e PVC	Cortina
HAB009	Azul claro	Madeira e Alumínio / Madeira	Cortina
HAB010	Bege / Palha	Alumínio / Alumínio	Persiana PVC
HAB011	Branca / Bege	Alumínio / Madeira	Veneziana alumínio
HAB012	Coral avermelhada	Alumínio / Madeira e Alumínio	Veneziana alumínio

Fonte: Elaboração própria

As configurações das fontes internas de calor e umidade, que são recomendadas para edifícios residenciais, incluindo fatores como ocupação, níveis de atividade metabólica nos espaços, padrões de uso, densidade de potência de iluminação e cargas geradas por equipamentos internos, foram adaptadas de acordo com as orientações estabelecidas no Rascunho inicial do Projeto de Norma ABNT Simulação computacional do comportamento higrotérmico de paredes – Procedimento (ABNT, 2023).

O Rascunho inicial do Projeto de Norma ABNT Simulação computacional do comportamento higrotérmico de paredes – Procedimento (ABNT, 2023) está sendo desenvolvido pelo grupo de pesquisa GT Umidade, pertencente à Comissão de Eficiência Energética da ABNT. Este projeto visa estabelecer diretrizes e procedimentos para a simulação computacional do desempenho higrotérmico de edificações, assim como o transporte de calor e umidade nos elementos construtivos, levando em conta tanto as condições ambientais externas quanto internas.

É relevante destacar que a decisão de adotar o Rascunho inicial do Projeto de Norma ABNT Simulação computacional do comportamento higrotérmico de paredes – Procedimento (ABNT, 2023) se baseou no fato de ser a única referência disponível no Brasil que aborda métodos de avaliação e procedimentos para simulações de comportamento higrotérmico de paredes de edifícios residenciais.

Para a definição dos padrões de ocupação, o Rascunho inicial do Projeto de Norma ABNT Simulação computacional do comportamento higrotérmico de paredes – Procedimento (ABNT, 2023) estabelece critérios que consideram quatro pessoas para a sala, duas pessoas por dormitório, duas pessoas para a cozinha e uma pessoa para o banheiro. As agendas de ocupação são uniformes ao longo da semana, bem como nos fins de semana, refletindo uma taxa de ocupação de 100% conforme os horários estipulados, como demonstrado de forma ilustrativa na Tabela 6.

Tabela 6: Padrão de ocupação nas zonas térmicas

Dormitório		Sala	
Hora	Dias da semana e finais de semana (%)	Hora	Dias da semana e finais de semana (%)
01:00 - 08:00	100	01:00 - 13:00	0
08:00 - 22:00	0	13:00 - 22:00	100
22:00 - 01:00	100	22:00 - 01:00	0
Cozinha		Banheiro	
Hora	Dias da semana e finais de semana (%)	Hora	Dias da semana e finais de semana (%)
01:00 - 13:00	0	01:00 - 18:00	0
13:00 - 14:00	100	18:00 - 19:00	100
14:00 - 19:00	0	19:00 - 01:00	0
19:00 - 20:00	100		
20:00 - 01:00	0		

Fonte: Adaptado do Rascunho inicial do Projeto de Norma ABNT Simulação computacional do comportamento higrotérmico de paredes – Procedimento

As programações para o uso de iluminação seguem a mesma abordagem adotada para as agendas de ocupação, abrangendo os dias da semana, os fins de semana e as diferentes zonas térmicas. Nesse contexto, o valor de 100% indica os momentos em que a iluminação está em pleno uso, enquanto 0% representa a iluminação desligada no ambiente, conforme evidenciado na Tabela 7. Em todos os ambientes, a densidade de potência instalada permanece constante, mantendo-se em 5,0 W/m².

Tabela 7: Padrão de uso da iluminação nas zonas térmicas

Dormitório		Sala	
Hora	Dias da semana e finais de semana (%)	Hora	Dias da semana e finais de semana (%)
01:00 - 06:00	0	01:00 - 16:00	0
06:00 - 08:00	100	16:00 - 22:00	100
08:00 - 22:00	0	22:00 - 01:00	0
22:00 - 24:00	100		
24:00 - 01:00	0		

Cozinha		Banheiro	
Hora	Dias da semana e finais de semana (%)	Hora	Dias da semana e finais de semana (%)
01:00 - 13:00	0	01:00 - 18:00	0
13:00 - 14:00	100	18:00 - 19:00	100
14:00 - 19:00	0	19:00 - 01:00	0
19:00 - 20:00	100		
20:00 - 01:00	0		

Fonte: Adaptado do Rascunho inicial do Projeto de Norma ABNT Simulação computacional do comportamento higrotérmico de paredes – Procedimento

Para considerar o vapor de água gerado pela cocção de alimentos, como panela de pressão e chuveiro, foram criadas agendas dedicadas a esses dispositivos (Tabela 8), em conformidade com as diretrizes do Rascunho inicial do Projeto de Norma ABNT Simulação computacional do comportamento higrotérmico de paredes – Procedimento (ABNT, 2023). Adicionalmente, realizou-se a configuração do objeto *HotWaterEquipment*, no qual foi definido um calor latente de 285W resultante da geração de vapor de água, conforme as especificações do Rascunho inicial do Projeto de Norma ABNT Simulação computacional do comportamento higrotérmico de

paredes – Procedimento (ABNT, 2023). O parâmetro *SurfaceProperties:VaporCoefficients* foi configurado para cada parede, a fim de analisar o risco de formação de fungos filamentosos.

Tabela 8: Padrão de uso dos equipamentos que geram vapor nas zonas térmicas

Painéis com água fervente (Cozinha)		1 chuveiro (Banheiro)	
Hora	Dias da semana e finais de semana (%)	Hora	Dias da semana e finais de semana (%)
01:00 - 13:00	0	01:00 - 18:00	0
13:00 - 14:00	100	18:00 - 19:00	100
14:00 - 19:00	0	19:00 - 01:00	0
19:00 - 20:00	100		
20:00 - 01:00	0		

Fonte: Adaptado do Rascunho inicial do Projeto de Norma ABNT Simulação computacional do comportamento higrotérmico de paredes – Procedimento

A taxa metabólica varia de acordo com a atividade realizada em cada espaço, e os valores recomendados pelo Rascunho inicial do Projeto de Norma ABNT Simulação computacional do comportamento higrotérmico de paredes – Procedimento (ABNT, 2023) levam em consideração diferentes níveis de atividade. Para atividades leves, a taxa metabólica considerada é de 130 W por pessoa nas áreas de sala, cozinha e banheiro, enquanto no dormitório, essa taxa é reduzida para 81 W por pessoa.

No que diz respeito às cargas internas geradas por equipamentos, elas são especificamente configuradas para a sala, considerando o período de ocupação deste ambiente. Nesse cenário, a potência dos equipamentos é definida em 120 W. Já a potência de iluminação dos quatro ambientes foi definida como 5 W/m². Quanto à fração radiante incidente, adotou-se um valor de 0,5 para as pessoas em todos os ambientes, enquanto a fração radiante para a iluminação geral e equipamentos da sala foi definida como 0,25. E, para a iluminação do banheiro, a fração radiante utilizada foi de 0,3.

Considerando o transporte de calor e umidade, o arquivo foi configurado utilizando o algoritmo HAMT do software *EnergyPlus*. Os parâmetros preenchidos incluíram: *Surface Convection Algorithm: Inside*, *Surface Convection Algorithm: Outside*, *Heat Balance Algorithm*, *Zone Air Heat Balance Algorithm*, *Material Property:*

Heat and Moisture transfer: Settings, Material Property: Heat and Moisture transfer: Sorption isotherm, Material Property: Heat and Moisture transfer: Suction, Material Property: Heat and Moisture transfer: Redistribution, Material Property: Heat and Moisture transfer: Diffusion e Material Property: Heat and Moisture transfer: Thermal Conduction. Para obtenção dos valores configurados nestes parâmetros foi utilizado o programa *Wufi Pro 6.5*. A umidade inicial da construção não foi considerada, devido ao tempo máximo de simulação permitido pelo *EnergyPlus* ser de 1 ano, o que não refletiria adequadamente as condições reais das edificações (DOE, 2021; Sousa, 2020).

1.18 Análise dos resultados

1.18.1 Conforto térmico

Devido ao clima peculiar da região sul, caracterizado por um clima temperado com uma ampla variação de temperatura ao longo do ano e até mesmo dentro de um único dia, é de extrema importância prestar atenção ao conforto nas edificações durante tanto o rigoroso inverno quanto o quente verão (Linczuk, 2015). Conforme observado por Leitzke *et al.* (2018), a cidade de Pelotas enfrenta desafios significativos em relação ao desconforto térmico, especialmente durante os períodos de clima frio.

Dentro desse contexto, a avaliação integrada do desempenho das habitações de interesse social unifamiliares na cidade de Pelotas inclui o conforto térmico dos seus habitantes como um dos critérios de análise neste trabalho.

A avaliação do conforto térmico dos ocupantes levou em consideração a ventilação natural, operando 24 horas por dia, durante todo o ano, de acordo com o modelo adaptativo com taxa de aceitação de 80% descrito na *ASHRAE Standard 55* (2020). Para realizar essa avaliação, solicitou-se ao *software EnergyPlus* os dados de saída referentes à temperatura externa (*Site Outdoor Air Drybulb Temperature*) e à temperatura operativa (*Zone Operative Temperature*), ambos em graus Celsius (°C), com intervalos horários para todos os espaços dentro das habitações.

Após a obtenção desses dados, eles foram processados por meio de uma planilha no *software Excel*. Os resultados das simulações foram inseridos e tratados para estimar a Temperatura Operativa de Conforto (Toc). Com base na Toc obtida, determinou-se a situação térmica do ambiente, respeitando os limites máximos e

mínimos de temperatura operativa de +3,5°C e -3,5°C, conforme o modelo adaptativo com 80% de aceitabilidade da ASHRAE Standard 55 (2020).

Em seguida, foi calculada a média ponderada das condições térmicas pela área de cada um dos ambientes avaliados, conforme Equação 4, Equação 5 e Equação 6. Esse processo permitiu obter valores que representam o nível de conforto, bem como as situações de desconforto devido ao frio e ao calor em cada uma das 12 habitações de interesse social avaliadas.

$$MP_{Conf} = \frac{(\Sigma(Amb_{Conf} \times Amb_{\acute{a}rea}))}{\Sigma Amb_{\acute{a}rea}} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

MP_{Conf} = Média ponderada conforto [%];

Amb_{Conf} = Nível de conforto do ambiente [%];

$Amb_{\acute{a}rea}$ = Área do ambiente [m²].

$$MP_{Desc.frio} = \frac{(\Sigma(Amb_{Desc.frio} \times Amb_{\acute{a}rea}))}{\Sigma Amb_{\acute{a}rea}} \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

$MP_{Desc.frio}$ = Média ponderada desconforto por frio [%];

Amb_{Conf} = Nível de desconforto por frio do ambiente [%];

$Amb_{\acute{a}rea}$ = Área do ambiente [m²].

$$MP_{Desc.calor} = \frac{(\Sigma(Amb_{Desc.calor} \times Amb_{\acute{a}rea}))}{\Sigma Amb_{\acute{a}rea}} \quad (\text{Equação 6})$$

Onde:

$MP_{Desc.calor}$ = Média ponderada desconforto por calor [%];

$Amb_{Desc.calor}$ = Nível de desconforto por calor do ambiente [%];

$Amb_{\acute{a}rea}$ = Área do ambiente [m²].

A escolha de incluir não apenas os espaços de permanência prolongada foi motivada pela necessidade de abordar a habitação como um todo em análises subsequentes. Isso se tornou particularmente importante para a análise higrométrica,

na qual é fundamental considerar os dados relativos à ventilação e à umidade dos banheiros e da cozinha, aspectos essenciais para a compreensão completa do desempenho da habitação.

1.18.2 Graus-Hora

Os graus-hora de aquecimento e de resfriamento são parâmetros essenciais para a avaliação do desempenho térmico das edificações. Eles indicam as horas ao longo do ano em que a temperatura interna de uma edificação se afasta das faixas de conforto térmico, proporcionando uma estimativa da quantidade de energia necessária para resfriamento ou aquecimento quando se utiliza ventilação natural.

De acordo com as diretrizes da ASHRAE Standard 55 (2020), a escolha da temperatura de referência para o cálculo dos graus-hora varia de acordo com os limites estabelecidos na zona de conforto, conforme definido no modelo de 80% de aceitabilidade da norma. Para calcular os graus-hora de resfriamento, foi adotado o limite superior da zona de conforto, fixado em $+3,5^{\circ}\text{C}$, enquanto para calcular os graus-hora de aquecimento, foi utilizado o limite inferior da zona, estabelecido em $-3,5^{\circ}\text{C}$.

As variáveis requeridas no *EnergyPlus* para o cálculo dos graus-hora de aquecimento e resfriamento foram temperatura externa (*Site Outdoor Air Drybulb Temperature*) e a temperatura operativa (*Zone Operative Temperature*). Essas grandezas foram medidas em graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$) e registradas com uma frequência horária para todos os espaços dentro das habitações.

A partir dos resultados obtidos no *software*, os dados foram processados e os graus-hora totais de aquecimento e resfriamento para a habitação foram determinados. Importante destacar que essa análise considerou apenas as horas em que os ambientes estavam ocupados, e esse processo foi realizado com o auxílio do *software* Excel. Assim como na avaliação de conforto, optou-se por utilizar não apenas os ambientes de permanência prolongada considerando as demais avaliações realizadas no estudo, em especial a higrotérmica.

Nesse contexto, também foi necessário empregar o conceito de média ponderada aos graus-hora pela área, a fim de determinar o valor agregado que descreve o desempenho térmico de toda a edificação, conforme ilustrado pelas Equações 7 e Equação 8. Isso possibilitou obter uma estimativa da demanda

energética necessária para aquecimento e resfriamento em cada uma das 12 unidades de habitação de interesse social avaliadas.

$$GH_{Resf} = \frac{(\Sigma(Amb_{GHResf} \times Amb_{\acute{a}rea}))}{\Sigma Amb_{\acute{a}rea}} \quad (\text{Equação 7})$$

Onde:

GH_{Resf} = Média ponderada graus-hora de resfriamento [°C/H];

Amb_{GHResf} = Graus-hora de resfriamento do ambiente [°C/H];

$Amb_{\acute{a}rea}$ = Área do ambiente [m²].

$$GH_{Aquec} = \frac{(\Sigma(Amb_{GHAquec} \times Amb_{\acute{a}rea}))}{\Sigma Amb_{\acute{a}rea}} \quad (\text{Equação 8})$$

Onde:

GH_{aquec} = Média ponderada graus-hora de aquecimento [°C/H];

$Amb_{GHAquec}$ = Graus-hora de aquecimento do ambiente [°C/H];

$Amb_{\acute{a}rea}$ = Área do ambiente [m²].

1.18.3 Fungos Filamentosos

O terceiro parâmetro discutido aqui é o risco de formação de fungos filamentosos. Nessa análise, a avaliação desse risco foi embasada nas normas alemãs ASHRAE 160 (2021) e DIN 4108-8 (2022).

Os dados de saída solicitados nas simulações incluem a temperatura do ar (*Zone Mean Air Temperature*), a umidade relativa da zona (*Zone Air Relative Humidity*) e a temperatura superficial (*Surface Inside Face Temperature*), com registros horários de cada variável. Entretanto, para esta avaliação, é essencial obter a umidade relativa da face interna da parede externa da habitação. Essa necessidade decorre de uma limitação do *EnergyPlus*, que não permite a obtenção direta desse valor. Então, foi necessário utilizar equações psicrométricas da ASHRAE (ASHRAE, 2009) (Equação 8) para superar essa limitação.

Após a conclusão das simulações, os resultados foram processados em uma tabela no *software Excel*, para obter a umidade relativa próxima à face interna das paredes externas dos eixos Norte/Sul e Leste/Oeste das habitações, conforme

Equação 9. Na tabela auxiliar do *Excel*, foram inseridos os dados de pressão barométrica, definida com base nos registros da Estação Agroclimatológica de Pelotas (EMBRAPA, 2023), bem como a temperatura e a umidade relativa da zona térmica. Esses dados são utilizados para calcular a umidade absoluta e, consequentemente, a umidade próxima à face interna da parede externa.

$$0.62198 \times ah \times 10000 \times [(0.00001255001965 \times (atnts + 273.15)^2 + (-0.01923595289) \times (atnts + 273.15) + 27.05101899 + (-6344.011577) \times (atnts + 273.15)^{-1}]$$

(Equação 9)

Onde:

ah = Umidade absoluta [%];

atnts = Temperatura do ar próximo à superfície [°C].

Com esta variável estabelecida, foi necessário fazer um novo tratamento dos dados em uma segunda tabela do *Excel*. Neste ponto, foi possível determinar com que frequência as condições propícias para a formação de fungos filamentosos ocorrem ao longo do ano, levando em consideração os critérios estabelecidos pela ASHRAE 160 (2021) e DIN 4108-8 (2022).

Resultados e Discussões

Nesta fase, serão apresentados os resultados obtidos a partir da análise das características das habitações, bem como das simulações computacionais realizadas.

1.19 Delimitação do objeto de estudo

O levantamento inicial foi conduzido através da consulta ao III Plano Diretor de Pelotas (2008), aos registros da Secretaria de Habitação e Regularização Fundiária de Pelotas (SHRF), ao banco de dados da Caixa Econômica Federal (CEF), bem como à revisão de informações provenientes de jornais e redes sociais das principais imobiliárias e construtoras locais. Essa abordagem proporcionou uma visão abrangente da situação habitacional em Pelotas, incluindo a descrição das propriedades e suas localizações.

A Tabela 9 oferece um resumo dos principais resultados desse levantamento, destacando o número de loteamentos regularizados e os que estão aguardando regularização, o quantitativo de empreendimentos de habitações unifamiliares provenientes dos programas MCMV e CVA que foram construídos em Pelotas, bem como a identificação das Áreas de Especial Interesse Social (AEIS) listadas no III Plano Diretor de Pelotas (2008).

Tabela 9: Resumo dos dados obtidos no levantamento prévio

ORIGEM DOS DADOS	INFORMAÇÃO
SHRF	9 Loteamentos regularizados
	27 Loteamentos a concluir
CEF	20 empreendimentos de habitações unifamiliares MCMV
III PDM	24 AEIS
JORNAIS E REDES SOCIAIS	6 ofertas de habitações distintas pelo PMCMV

Fonte: Elaboração própria

1.20 Levantamento dos dados

Através da aplicação do formulário descrito no Apêndice B, foram coletados dados detalhados de 12 habitações populares unifamiliares localizadas na cidade de Pelotas. A seguir, serão apresentados os resultados obtidos a partir deste levantamento.

1.20.1 Levantamento dos dados referentes a forma

As informações contidas neste conjunto de dados abrangem as 12 habitações estudadas e se concentram nas características formais das residências, como suas dimensões gerais, layout dos ambientes, orientação e dimensões das fachadas, áreas de iluminação, ventilação, espaço para manobras de abertura, bem como a presença ou ausência de cômodos específicos.

A Figura 7 apresenta índices relacionados às habitações, como a presença de áreas destinadas a serviços remunerados, garagem, área de serviço e a integração entre sala e cozinha. Notavelmente, nenhuma das habitações analisadas possui garagem ou espaço designado para serviços remunerados. Em 83,33% dos casos, que corresponde a 10 unidades, as habitações apresentam uma configuração onde a sala e a cozinha são integradas. Quanto à área de serviço, quase metade das habitações não a possuem.

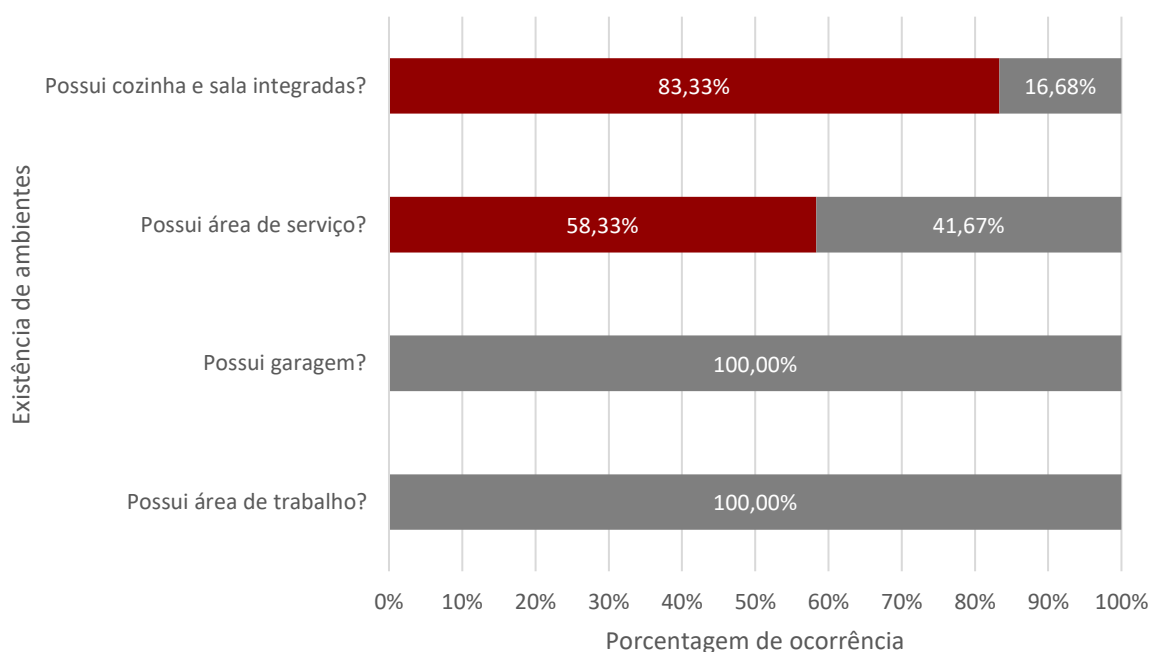


Figura 7: Porcentagem da existência de ambientes na habitação
Fonte: Elaboração própria

Na Figura 8, é possível observar a distribuição das habitações com base na quantidade de dormitórios. Nos dados coletados, a configuração mais prevalente é a de habitações com 2 dormitórios, representando mais de 50% do total. Por outro lado, habitações com 4 dormitórios são menos comuns, correspondendo a apenas 8,33%

dos casos registrados. É importante notar que nenhuma das habitações pesquisadas apresentou mais de 4 dormitórios.

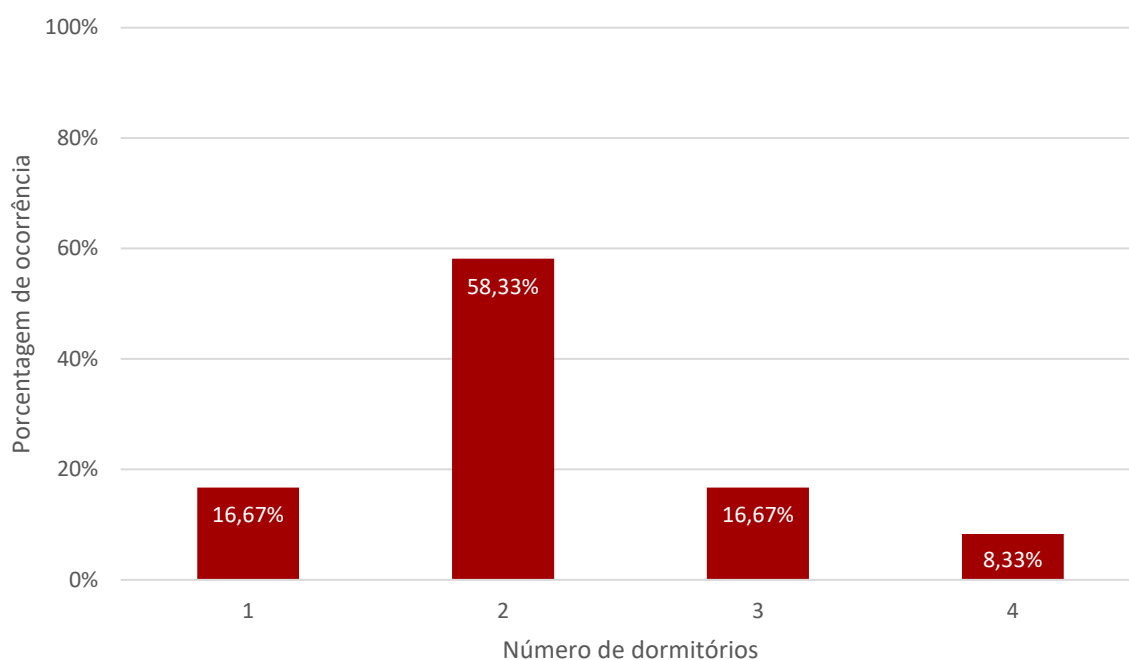


Figura 8: Porcentagem de habitações de acordo com a quantidade de dormitórios

Fonte: Elaboração própria

A área total das habitações é identificada na Figura 9, considerando a frequência de ocorrência dentro da amostra. As áreas das habitações populares levantadas variam entre 30m² e 70m². A maior parte dessas habitações possui uma área total entre 41m² e 50m², já a minoria, apresenta área total entre 61m² e 70m².

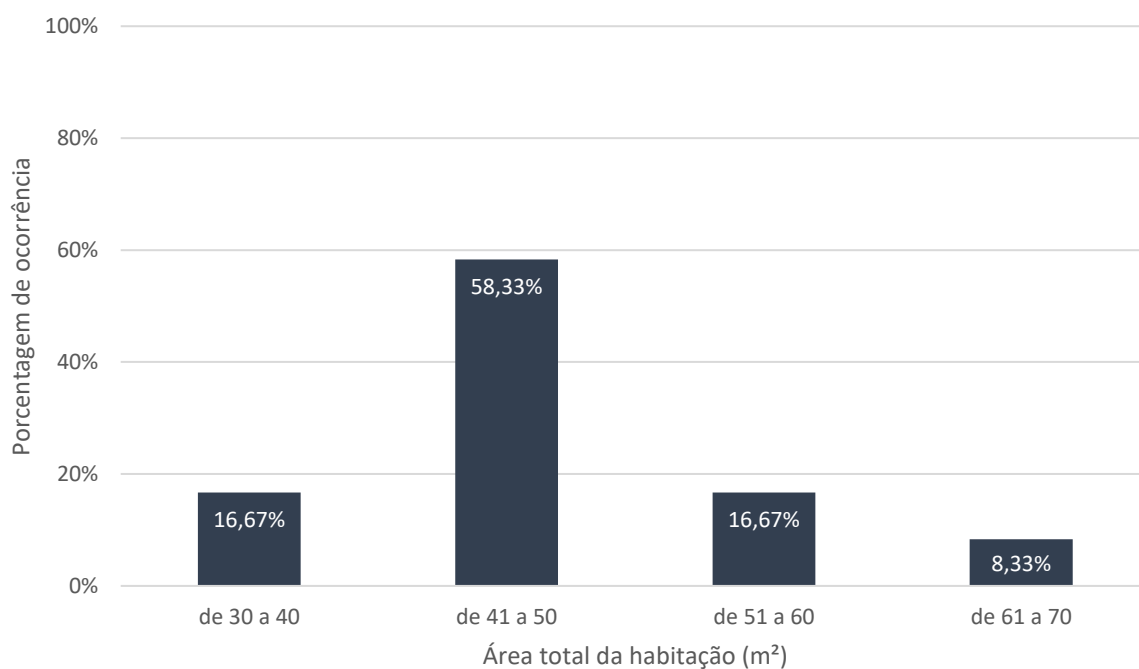


Figura 9: Frequência de ocorrência da área total da habitação

Fonte: Elaboração própria

1.20.2 Levantamento dos dados referentes aos materiais

O levantamento dos dados referentes aos materiais identificou, dentro dos quatro grupos de habitações, três tipos distintos de sistemas construtivos, com paredes em alvenaria, paredes em madeira e paredes em concreto moldado *in loco*. Em relação a cobertura, se identificou edificações com telha cerâmica, telha de fibrocimento e telha sanduiche, como mostra a Figura 10. No entanto, foi observado uma grande variedade de materiais empregados em uma mesma habitação, por tanto, para simplificar a inserção dos dados na análise, tomou-se por padrão o que corresponde ao material predominante na construção.

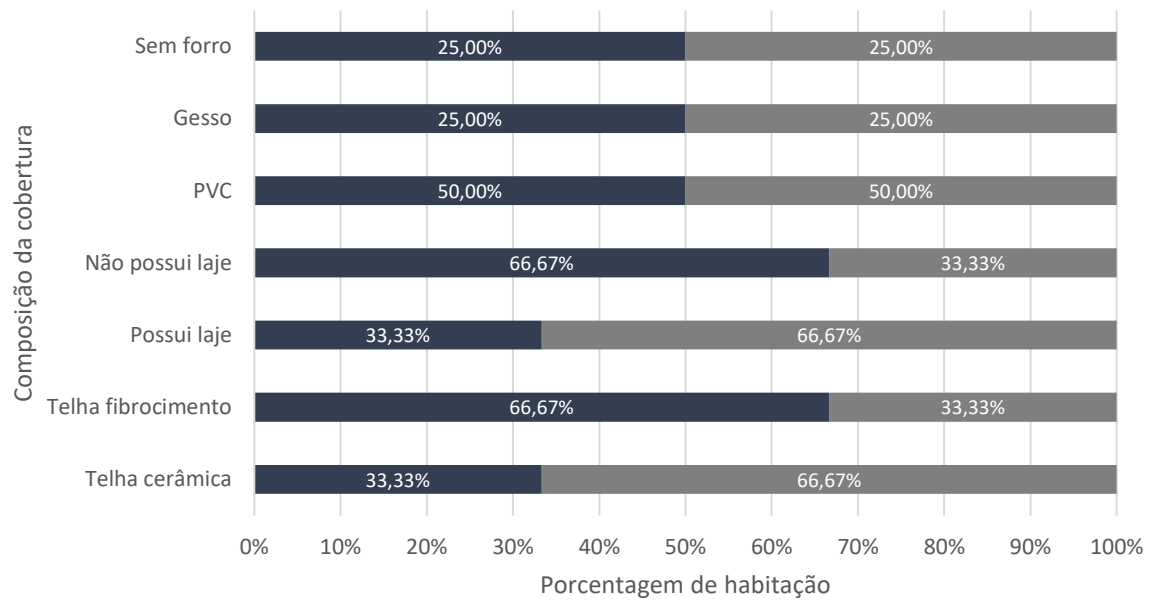


Figura 10: Composição da cobertura
Fonte: Elaboração própria

Quanto ao material empregado na parede, a predominância é do bloco cerâmico convencional, seguido do concreto moldado *in loco*, conforme Figura 11. Algumas habitações possuem cômodos com as paredes de madeira, mas, adotou-se aqui o mesmo princípio da cobertura, utilizando como padrão a predominância de aplicação na habitação.

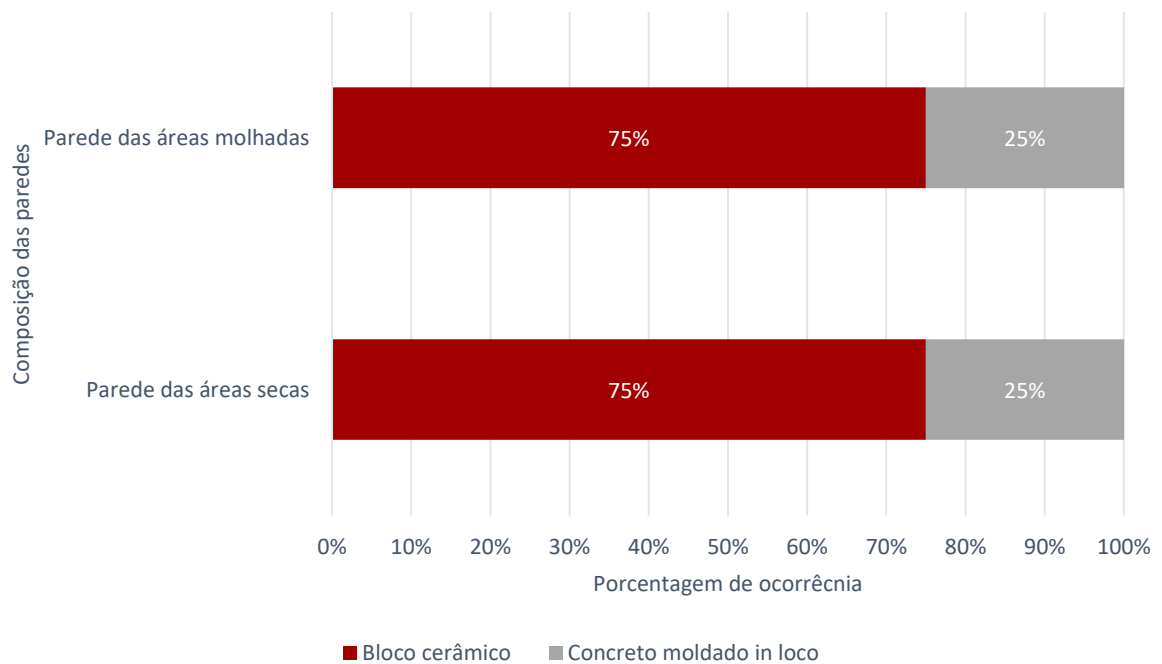


Figura 11: Composição das paredes
Fonte: Elaboração própria

Os pisos das habitações variam entre cerâmica, madeira, concreto sem revestimento e sintético, com a predominância de 100% do piso cerâmico nas áreas molhadas e nas áreas secas com o maior percentual de ocorrência, em 41,67% dos casos, como pode ser observado na Figura 12.

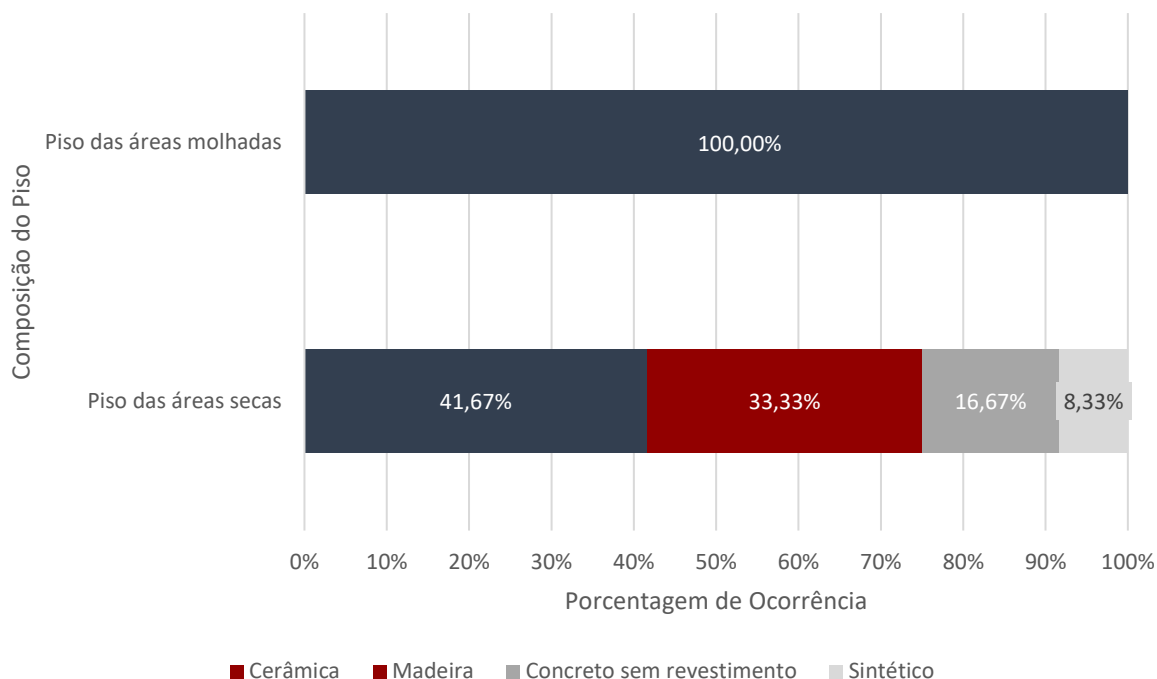


Figura 12: Composição do piso
Fonte: Elaboração própria

Quanto às portas e janelas, a Figura 13 revela que a mistura de materiais em sua aplicação. Observa-se que 83,33% das habitações possuem caixilhos de alumínio e 16,67% misto (alumínio e madeira). Isso reflete a preferência pelo uso desse material nas janelas, alinhando-se com o material predominante na construção. Por outro lado, no que diz respeito às portas, a madeira é o material mais comumente empregado, com 41,67% apenas alumínio, 8,33% madeira e 50% misto (madeira e alumínio).

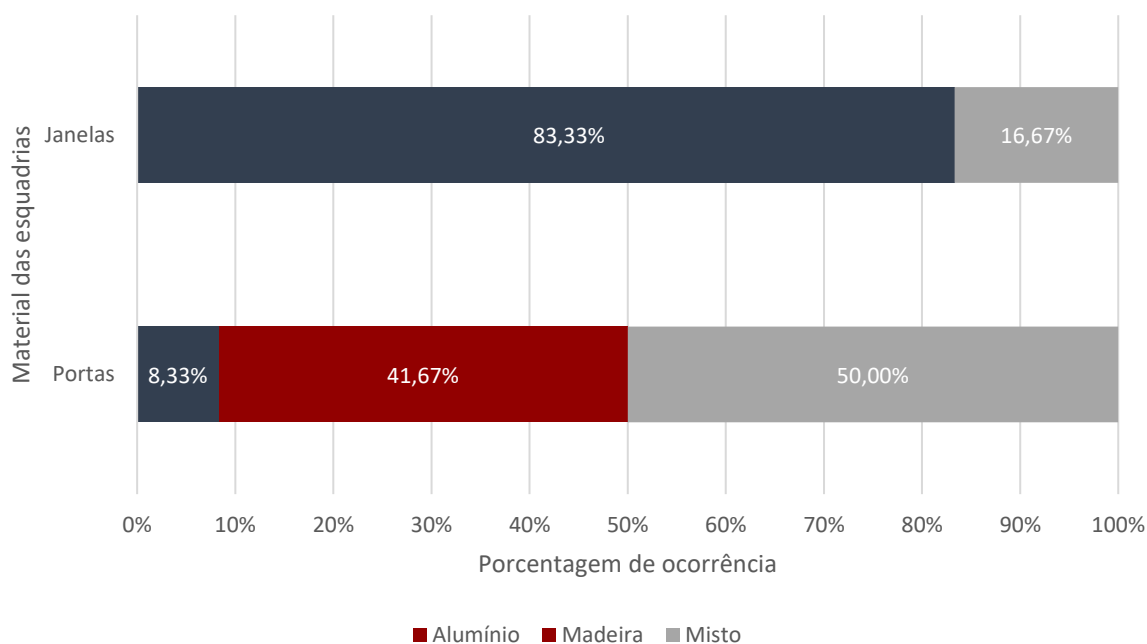


Figura 13: Material das portas e janelas
 Fonte: Elaboração própria

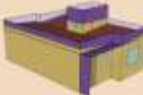
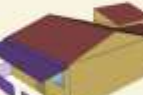
Os próximos itens fazem referência aos resultados de conforto adaptativo durante todas as horas do ano, dos graus hora de aquecimento e resfriamento nas horas ocupadas ao longo do ano, bem como do potencial risco de formação de fungos filamentosos, levando em consideração os padrões da ASHRAE 160 (2021) e da DIN 4108-8 (2022). Nas figuras a seguir, optou-se por omitir os dados da ASHRAE 160, uma vez que todas as paredes em todas as orientações não demonstraram qualquer ocorrência. Portanto, serão apresentados apenas os resultados conforme estabelecidos pela DIN 4108-8 (2022), resumindo e destacando as paredes com o maior número de ocorrências nas direções norte, sul, leste e oeste. Informações mais detalhadas podem ser encontradas no Apêndice D.

1.21 Simulação dos modelos

A partir dos resultados das simulações computacionais, fica evidente que todas as habitações demonstram um desempenho insatisfatório, especialmente no que se refere às horas de conforto térmico e aos potenciais riscos de formação de fungos filamentosos.

Na Figura 14, é possível observar que, em relação ao desempenho térmico da orientação Norte-Sul, a habitação 01 destaca-se como a mais eficiente, enquanto a habitação 07 apresenta o desempenho menos favorável. Os valores percentuais de

conforto são de 41,50% e 34,41%, respectivamente, resultando em uma diferença absoluta de 7,09%. Contudo, em uma análise relativa entre as duas situações, a disparidade atinge 17,08%, tornando essa discrepância ainda mais significativa. Essa expressiva diferença sugere uma variação substancial entre os níveis de conforto térmico, indicando uma distinção marcante na performance das duas habitações, cuja intensidade ganha ainda mais destaque. A habitação mais eficiente energeticamente demonstra valores reduzidos tanto no graus-hora de aquecimento quanto no número de ocorrências de risco de formação de fungos filamentosos.

EIXO NORTE-SUL							
HABITAÇÃO	CONFORTO	DESCONFORTO		GRAUS-HORA		R. FUNGOS F.	
		FRIO	CALOR	AQUEC.	RESF.	NORTE	SUL
01 	41,50% ✓	56,83%	1,67%	4141,54 ✓	51,60	24 SALACOZ	29 SALACOZ
02 	41,47%	56,73%	1,80%	4369,15	58,27	23 SALACOZ	28 ✓ SALACOZ
03 	39,88%	58,48%	1,64%	4429,48	49,78	32 SALACOZ	39 WC
04 	41,10%	56,60% ✓	2,30%	4887,44	84,09	19 ✓ DORM	32 WC
05 	37,63%	61,79%	0,58% ✓	5354,17	7,47 ✓	29 COZ	31 COZ
06 	36,01%	61,16%	2,83%	5549,91	172,41 ✗	47 ✗ DORM3	32 DORM1
07 	35,12%	62,73%	2,15%	5041,35	117,79	32 WC	30 DORM1
08 	34,41% ✗	63,50% ✗	2,09%	5581,39	134,74	40 DORM3	33 DORM1
09 	36,62%	60,83%	2,55%	5348,94	137,68	30 COZ	32 DORM1
10 	36,64%	60,61%	2,75%	6918,43	103,34	37 COZ	50 ✗ WC
11 	40,07%	57,16%	2,77%	4719,32	143,87	43 CHUR	37 WC
12 	35,41%	61,33%	3,28% ✗	7527,15 ✗	21,23	40 SALACOZ	43 SALACOZ

*80% UMIDADE 12H CONSECUTIVAS POR 5 DIAS CONSECUTIVOS

Figura 14: Desempenho das habitações para a orientação norte-sul
Fonte: Elaboração própria

As habitações 01, 02 e 03 apresentam desempenhos semelhantes, com uma porcentagem relativamente baixa de horas de conforto térmico, registrando 41,50%, 41,47% e 39,88%, respectivamente. No entanto, elas estão entre as mais bem classificadas nas três análises realizadas. Essas habitações revelam um alto desconforto causado pelo frio, com a habitação 01 registrando 56,83% de desconforto por frio e 1,67% por calor, a habitação 02 com 56,73% de desconforto por frio e 1,80% por calor, e a habitação 03 com 58,48% de desconforto por frio e 1,64% por calor. A eficiência dessas habitações é insatisfatória, requerendo uma carga significativa para aquecimento. Para a habitação 01, essa carga totaliza 4141,54 graus-hora, enquanto a habitação 02 e a habitação 03 demandam 4369,15 e 4429,48 graus-hora, respectivamente. Em relação ao resfriamento, a demanda é menor, com valores de 51,60 graus-hora para a Habitação 01, 58,27 para a Habitação 02 e 49,78 para a Habitação 03.

Quanto ao risco de formação de fungos filamentosos, embora seja significativo, está entre os mais baixos das habitações avaliadas. Nas paredes da sala e do banheiro, observa-se o maior número de ocorrências, onde, a habitação 01 apresentou o maior número de ocorrências para a orientação norte na parede da SALACÓZ, com 24 ocorrências, e para a orientação sul também na parede da SALACÓZ, com 29 ocorrências. A habitação 02 revela 23 ocorrências para a orientação norte na parede da SALACÓZ e 28 ocorrências para a orientação sul na parede do mesmo ambiente. A habitação 03, por sua vez, apresenta 32 ocorrências para a orientação norte na parede da SALACÓZ e 39 ocorrências para a orientação sul na parede da WC.

É importante notar que essas habitações foram projetadas por profissionais qualificados, considerando as condições específicas do terreno, o que pode resultar em soluções mais eficientes em termos de ventilação e orientação solar. Elas possuem fechamentos verticais em alvenaria de tijolo cerâmico, coberturas compostas por telhas de fibrocimento e lajes de concreto de 10 cm de espessura.

Essas características podem ter influenciado os resultados positivos, uma vez que as paredes de alvenaria tendem a oferecer maior resistência térmica, mantendo a temperatura interna mais estável devido à maior resistência térmica, menor transmitância térmica e maior capacidade térmica, retendo calor durante o dia e liberando lentamente à noite, o que colabora tanto para o desempenho

termoenergético quanto higrotérmicos das habitações. As telhas de fibrocimento são acompanhadas pela inclusão da laje de 10 cm o que pode ter contribuído para um isolamento mais eficaz nessas habitações. Essa medida auxilia na prevenção de perdas de calor para o ambiente externo.

Considerando a análise anterior e na observação da Figura 15, Figura 16 e Figura 17, pode-se afirmar que o desconforto causado pelo frio nas três habitações é justificado pela presença de temperaturas abaixo do limite inferior de conforto, especialmente nos meses intermediários do ano, predominantemente durante o inverno. Essa conclusão é apoiada pelos gráficos das temperaturas operativas e zonas de conforto da SALACÓZ para as habitações 01 e 02, ambos ambientes voltados para o norte.

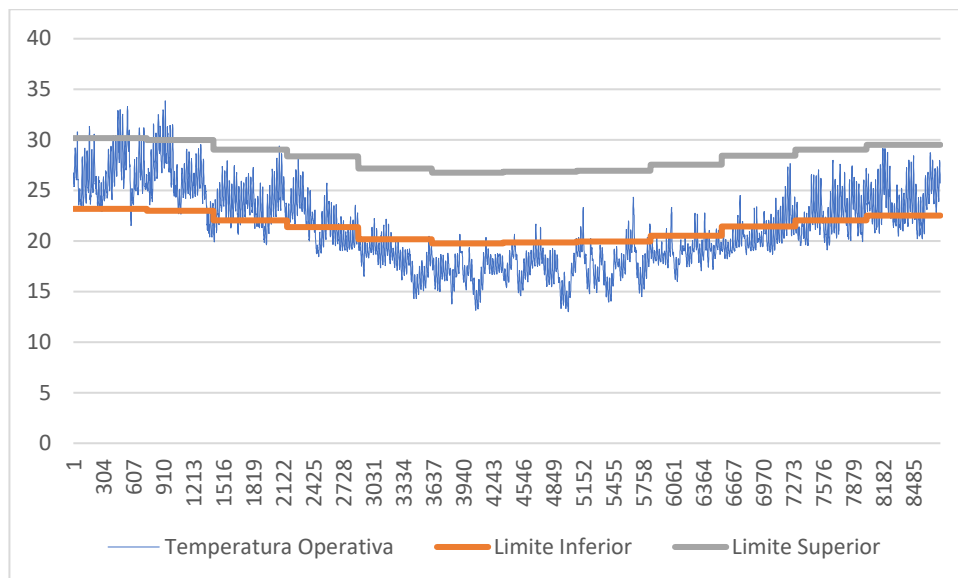


Figura 15: Gráfico que representa a temperatura operativa e a zona de conforto da SALACÓZ, considerando a fachada direcionada para o Norte da Habitação 01.

Fonte: Elaboração própria

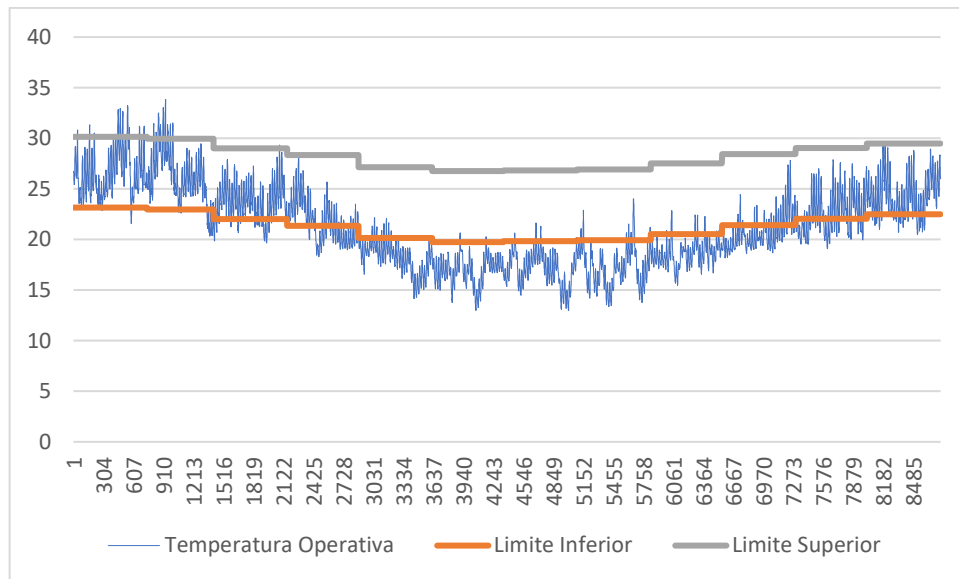


Figura 16: Gráfico que representa a temperatura operativa e a zona de conforto da SALACÓZ, considerando a fachada direcionada para o Norte da Habitação 02.
Fonte: Elaboração própria

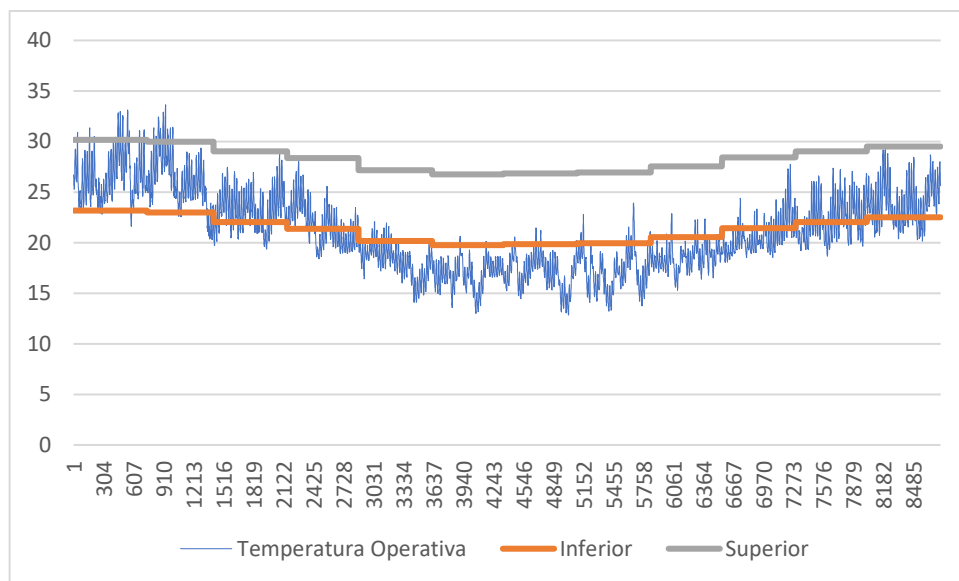


Figura 17: Gráfico que representa a temperatura operativa e a zona de conforto da SALACÓZ, considerando a fachada direcionada para o Norte da Habitação 03.
Fonte: Elaboração própria

As habitações 04 e 05 se destacam por apresentarem junto com as habitações 01, 02 e 03 um desempenho superior de forma geral, sendo importante ressaltar que todas elas foram projetadas por profissionais habilitados. No que diz respeito ao conforto térmico, a habitação 03 registra 41,10% das horas em um ambiente confortável termicamente, 56,60% das horas em desconforto devido ao frio e 2,30% de desconforto devido ao calor. Já a habitação 05 alcança 37,63% de conforto, 61,79% de desconforto causado pelo frio e 0,58% de desconforto devido ao calor. A

habitação 04 demonstra um desempenho consideravelmente melhor em relação ao conforto térmico, mas apresenta uma maior incidência de desconforto devido ao calor.

A habitação 04 possui telhado de fibrocimento, forro sem laje, transmitância térmica mais elevada e resistência térmica e capacidade térmica mais baixas, resultando em um isolamento térmico inferior. Isso contribui para a maior perda de calor e, conseqüentemente, um maior desconforto devido ao frio quando comparada com a habitação 05. Já a habitação 05 possui laje e telha cerâmica, o que facilita a manutenção das temperaturas internas mais altas devido ao melhor isolamento. Por outro lado, embora ambas as habitações tenham paredes de alvenaria com propriedades térmicas semelhantes, a habitação 05 se apresenta uma capacidade térmica maior, o que a torna capaz de reter mais calor e, conseqüentemente, pode resultar em um maior desconforto devido ao calor.

No que se refere aos graus-hora de aquecimento, a habitação 04 registra 4887,44, enquanto a habitação 05 atinge 5354,17. Quanto aos graus-hora de resfriamento, a habitação 04 apresenta 84,09, enquanto a habitação 05 registra apenas 7,47, revelando uma diferença significativa entre as duas. No que concerne ao risco de formação de fungos filamentosos, a habitação 04 apresenta um maior número de ocorrências, com 19 vezes mais no lado norte (parede do DORM) e 32 vezes mais no lado sul (WC). Já a habitação 05, possui 29 vezes mais no lado norte (parede da COZ) e 32 vezes mais no lado sul (parede da COZ).

A Figura 18 e Figura 19 apresentam os gráficos das temperaturas operativas e zonas de conforto da SALACÓZ para a habitação 04 e DORM2 para a habitação 05, ambas zonas térmicas voltadas para norte. Observa-se que, nesse contexto, o desconforto causado pelo frio nessas habitações também é originado por temperaturas abaixo do limite inferior de conforto, principalmente durante o inverno.

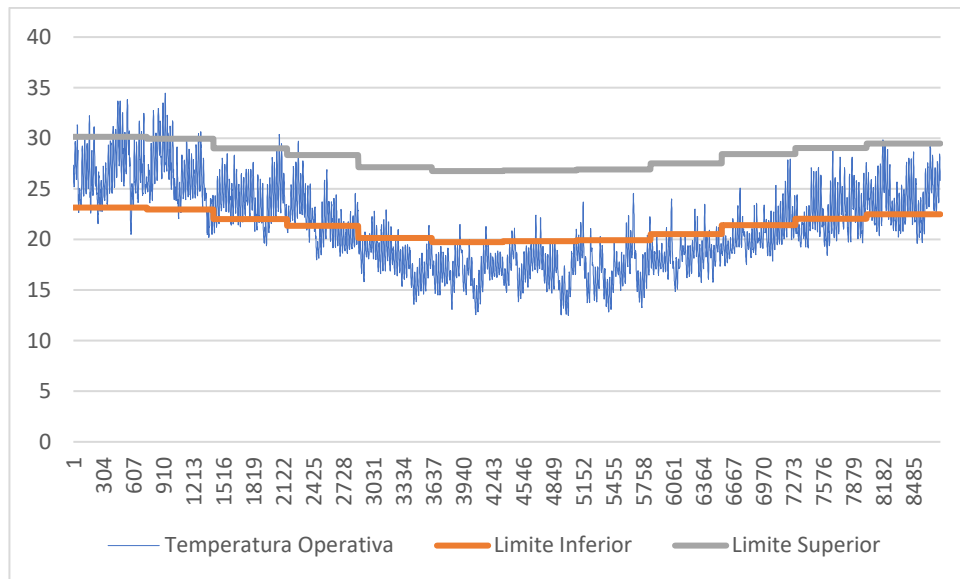


Figura 18: Gráfico que representa a temperatura operativa e a zona de conforto da SALAC0Z, considerando a fachada direcionada para o Norte da Habitação 04.

Fonte: Elaboração própria

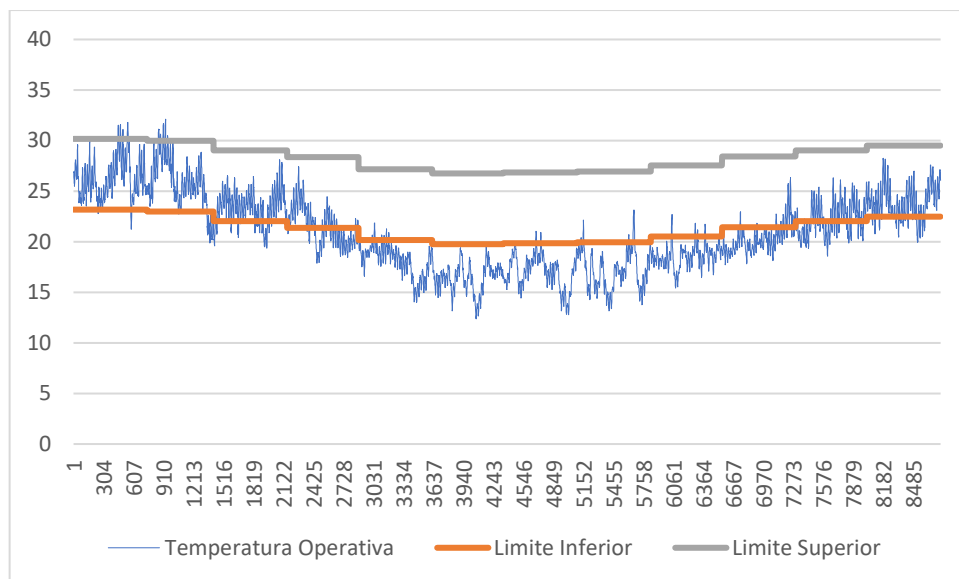


Figura 19: Gráfico que representa a temperatura operativa e a zona de conforto da DORM2, considerando a fachada direcionada para o Norte da Habitação 05.

Fonte: Elaboração própria

As habitações 01, 02, 03, 04 e 05 registram um menor número de ocorrências propícias à formação de fungos filamentosos. Isso se deve à manutenção de temperaturas internas mais estáveis, o que resulta em maior conforto e menor variação térmica interna. Além disso, as superfícies internas das paredes externas permanecem menos frias, o que, por sua vez, reduz o risco de ocorrência de fungos filamentosos.

No que diz respeito ao desempenho geral das habitações 06, 07, 08 e 09, observa-se que ele é ligeiramente inferior em comparação com as habitações anteriores. A habitação 06, por exemplo, registra 36,01% das horas em conforto, com 61,16% de desconforto devido ao frio e 2,83% de desconforto causado pelo calor. Os graus-hora de aquecimento somam 5549,91, enquanto os graus-hora de resfriamento atingem 172,41.

No que se refere ao risco de formação de fungos filamentosos, destacam-se 47 ocorrências a norte na parede do DORM3 e 32 ocorrências a sul na parede do DORM1. A habitação 07 apresenta 35,12% das horas em conforto, com 62,73% de desconforto devido ao frio e 2,15% de desconforto causado pelo calor. Seus graus-hora de aquecimento totalizam 5041,35, enquanto os graus-hora de resfriamento se limitam a 117,79. No tocante ao risco de formação de fungos filamentosos, destacam-se 32 ocorrências a norte na parede do WC e 30 ocorrências a sul na parede do DORM1.

A habitação 08 apresenta 34,41% das horas em conforto, com 63,50% de desconforto devido ao frio e 2,09% de desconforto causado pelo calor. Os graus-hora de aquecimento somam 5581,39, enquanto os graus-hora de resfriamento atingem 134,74. No que se refere ao risco de formação de fungos filamentosos, destacam-se 40 ocorrências a norte na parede do DORM3 e 33 ocorrências a sul na parede do DORM1. Por sua vez, a habitação 09 apresenta 36,62% das horas em conforto, com 60,83% de desconforto devido ao frio e 2,55% de desconforto causado pelo calor. Os graus-hora de aquecimento totalizam 5348,94, enquanto os graus-hora de resfriamento atingem 137,68. No que se refere ao risco de formação de fungos filamentosos, destacam-se 30 ocorrências a norte na parede da COZ e 32 ocorrências ao sul na parede do DORM1.

O número de ocorrências de condições propícias para a formação de fungos filamentosos nessas habitações supera as observadas nos grupos de habitações mencionados anteriormente. Além disso, a porcentagem de horas anuais em conforto térmico é significativamente menor, resultando em maiores níveis de desconforto devido ao frio e ao calor. É importante destacar um aumento significativo no risco de formação de fungos filamentosos, com ocorrências mais frequentes nas paredes norte do DORM3 das habitações 06 e 08. Essas áreas foram construídas por meio de autoconstrução e utilizam fechamentos verticais de madeira, que tendem a apresentar

um risco mais elevado de desenvolvimento de fungos filamentosos em comparação com a alvenaria.

A maior suscetibilidade nestes compartimentos está ligada à natureza porosa da madeira, que oferece um ambiente propício ao crescimento de fungos. A celulose, presente na madeira, é um componente nutritivo para os fungos filamentosos. No entanto, é fundamental observar que as condições ambientais, como ventilação, podem ter sido prejudicadas devido à autoconstrução, resultando em inadequada ventilação. Além disso, a capacidade da madeira de absorver e liberar umidade torna-a mais suscetível a variações na umidade, em contraste com a alvenaria, que é menos porosa e retém menos umidade. Quando a madeira fica úmida devido à absorção de umidade, cria um ambiente propício ao crescimento de fungos filamentosos. Portanto, a combinação de fechamentos em madeira, falta de ventilação adequada e variações na umidade pode contribuir para o aumento do risco de formação de fungos filamentosos nessas áreas específicas.

No que diz respeito ao desempenho termoenergético, é importante observar que, além de não possuírem laje e utilizarem telhas de fibrocimento, as expansões realizadas nestes ambientes a partir de autoconstrução alteraram o layout dessas habitações, resultando em ambientes com menor aproveitamento da ventilação e o uso de materiais com propriedades físicas que favorecem uma maior transferência de calor, como a madeira. Sendo relevante ressaltar que, entre as quatro habitações em análise, as de melhor desempenho mantiveram as extensões separadas da estrutura original e incorporaram esquadrias mais apropriadas, o que resultou em um impacto reduzido na ventilação natural. Além disso, a habitação que apresenta o melhor desempenho entre essas, a construção adicional é em alvenaria convencional, o que contribui para um melhor desempenho geral em termos de termoenergia.

Mantendo o padrão das habitações anteriores, na Figura 20, Figura 21, Figura 22 e Figura 23 são apresentados os gráficos relativos ao DORM3, SALACÓZ, DORM3 e DORM3, com fachadas voltadas para o norte das habitações 06, 07, 08 e 09, respectivamente. Nesses gráficos, verifica-se que o desconforto térmico nas mencionadas habitações decorre, principalmente, de temperaturas situadas abaixo do limite inferior de conforto, sobretudo durante a estação de inverno, ainda mais distantes do limite inferior do que os modelos anteriores.

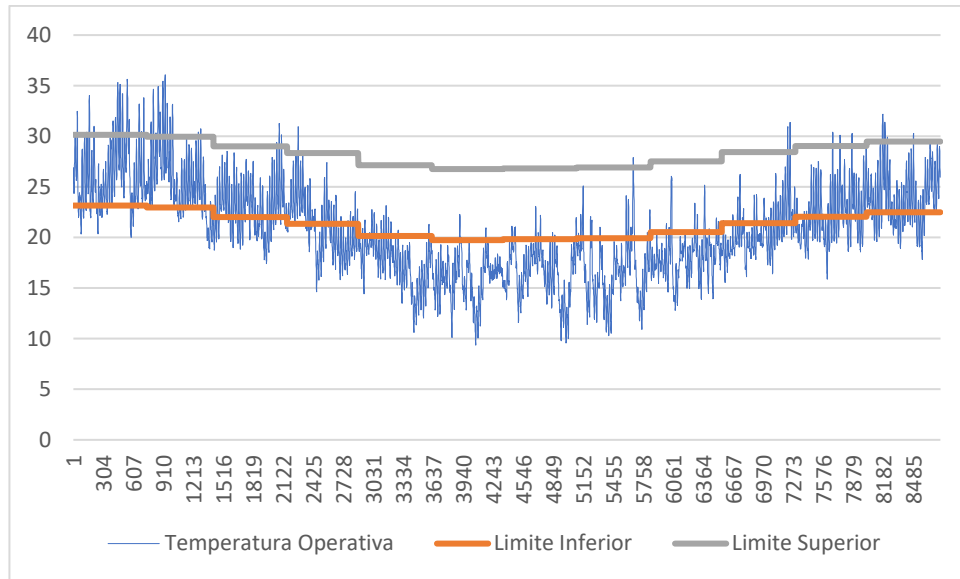


Figura 20: Gráfico que representa a temperatura operativa e a zona de conforto da DORM3, considerando a fachada direcionada para o Norte da Habitação 06.
Fonte: Elaboração própria

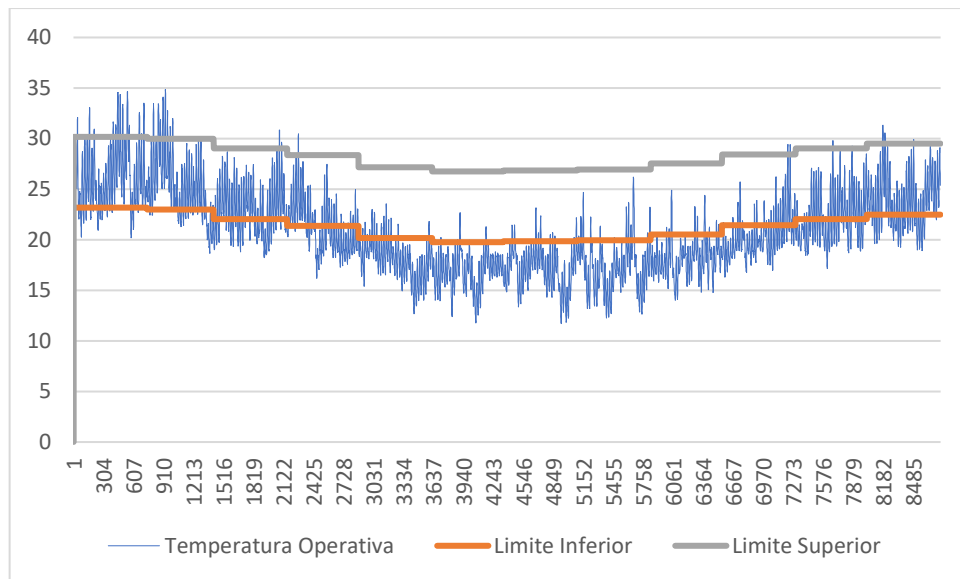


Figura 21: Gráfico que representa a temperatura operativa e a zona de conforto da SALACÓZ, considerando a fachada direcionada para o Norte da Habitação 07.
Fonte: Elaboração própria

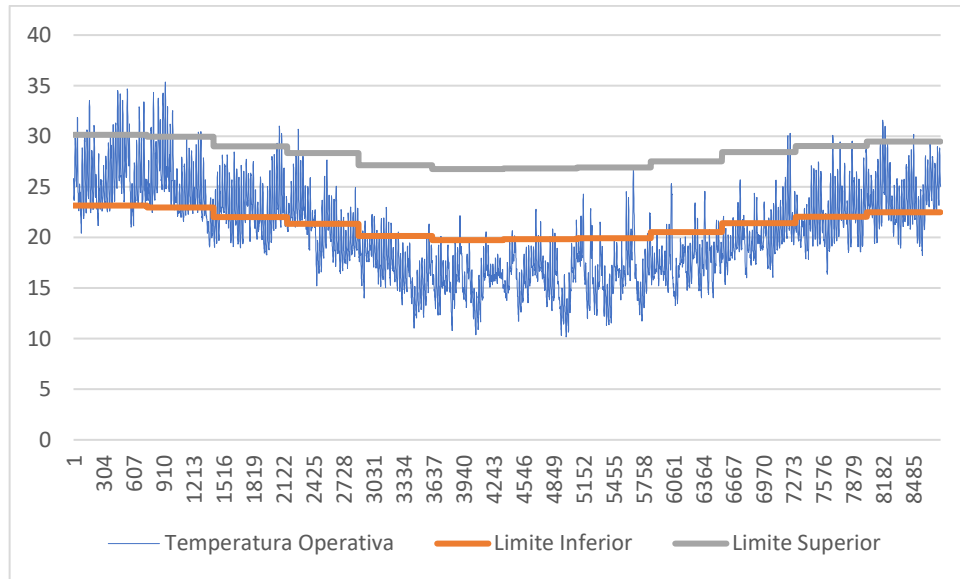


Figura 22: Gráfico que representa a temperatura operativa e a zona de conforto da DORM3, considerando a fachada direcionada para o Norte da Habitação 08.
Fonte: Elaboração própria

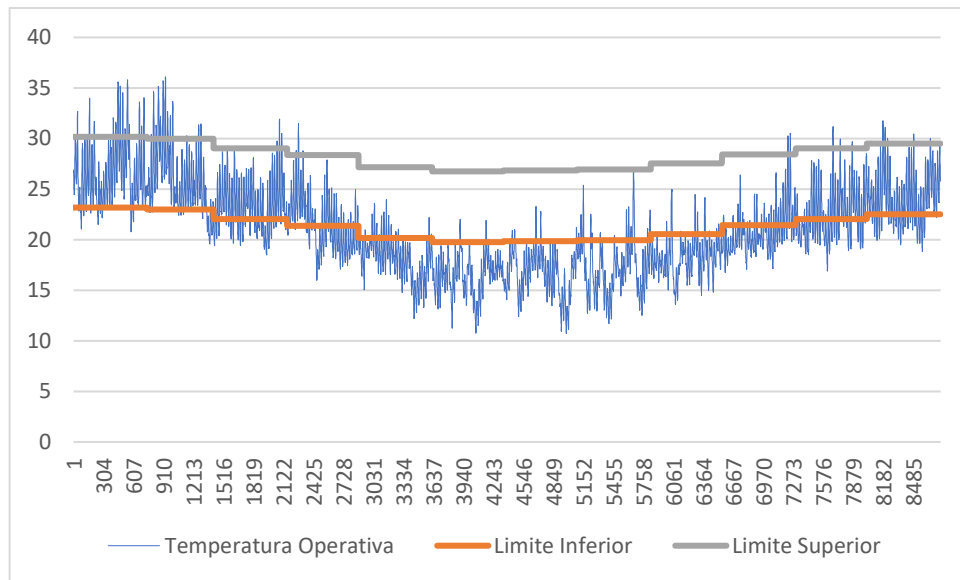


Figura 23: Gráfico que representa a temperatura operativa e a zona de conforto da DORM3, considerando a fachada direcionada para o Norte da Habitação 09.
Fonte: Elaboração própria

No último grupo de habitações analisado, é evidente que o desempenho, em comparação com os dois primeiros grupos avaliados, é consideravelmente inferior, com resultados mais próximos do grupo anterior, mas, em geral, com uma eficiência energética um pouco melhor e índices significativamente altos de risco de formação de fungos filamentosos. A habitação 10 apresenta 36,64% das horas em conforto térmico, enquanto 60,61% das horas são caracterizadas por desconforto devido ao

frio e 2,71% de desconforto devido ao calor. Isso indica uma predominância de condições desconfortáveis relacionadas ao frio.

A habitação 11 apresenta 40,07% das horas do ano em conforto térmico, com 57,16% das horas marcadas por desconforto devido ao frio e 2,77% de desconforto por calor. Similar à habitação 10, a maior parte das horas também está associada ao desconforto causado pelo frio. Por sua vez, a habitação 12 registra 35,41% das horas em conforto, com 61,33% das horas em desconforto devido ao frio e 3,28% de desconforto por calor, o que indica também uma predominância de desconforto devido ao frio.

Em relação aos graus-hora de aquecimento e resfriamento, observa-se que a habitação 10 possui graus-hora de aquecimento de 6918,43 e graus-hora de resfriamento de 103,34, a habitação 11 apresenta graus-hora de aquecimento de 4719,32 e graus-hora de resfriamento de 143,87, e a habitação 12 registra graus-hora de aquecimento de 7527,15 e graus-hora de resfriamento de 121,23.

Todas elas necessitam de uma carga maior para aquecimento devido ao desconforto causado pelo frio. Essa situação pode estar relacionada ao material constituinte das paredes, o concreto moldado *in loco*, que, devido à sua resistência térmica baixa em comparação com a alvenaria e sua maior transmitância térmica, facilita as trocas térmicas entre o interior e o exterior, além de resultando em uma maior amplitude térmica interna que acompanha a variação externa.

No que diz respeito ao risco de formação de fungos filamentosos, na habitação 10, foi identificado um número significativo de ocorrências na parede da COZ, totalizando 37 ocorrências na orientação norte, e na parede do WC, com 50 ocorrências na orientação sul. Já na habitação 11, observou-se um maior número de ocorrências na parede da CHURRASQ (ambiente que possui a churrasqueira), alcançando 43 ocorrências na orientação norte, e na parede do WC, com 37 ocorrências na orientação sul.

Por fim, na habitação 12, registrou-se uma quantidade considerável de ocorrências na parede da sala de estar, somando 40 ocorrências na orientação norte, e na parede da sala de estar, com 43 ocorrências na orientação sul. O risco de formação de fungos filamentosos também é elevado nessas habitações, possivelmente relacionado à instabilidade da temperatura interna. Devido à

construção das paredes em concreto moldado *in loco*, as variações na temperatura interna podem propiciar a condensação de umidade em superfícies mais frias, como também maiores níveis de umidade relativa, criando um ambiente propício para o desenvolvimento de fungos.

Para concluir a análise dos gráficos das temperaturas operativas e zonas de conforto, a Figura 24, Figura 25 e Figura 26 apresentam os valores referentes as zonas térmicas da COZ para a habitação 10, da CHURRASQ para a habitação 11 e do DORM2 para a habitação 12, considerando os ambientes voltados para o norte. Nesse contexto representativo, destaca-se que o desconforto causado pelo frio nessas habitações se evidencia principalmente devido às temperaturas consideravelmente abaixo do limite inferior de conforto, sobretudo durante o inverno.

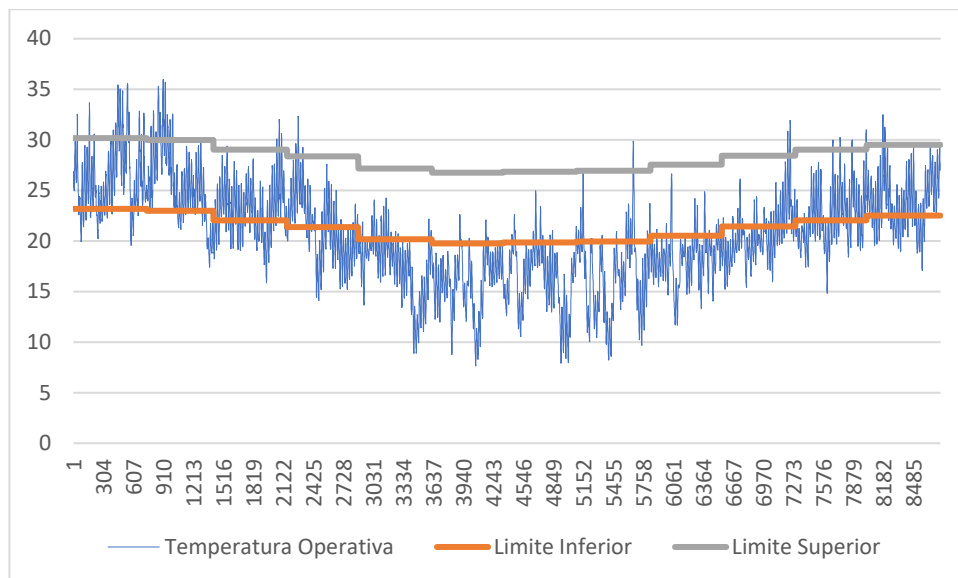


Figura 24: Gráfico que representa a temperatura operativa e a zona de conforto da COZ, considerando a fachada direcionada para o Norte da Habitação 10.

Fonte: Elaboração própria

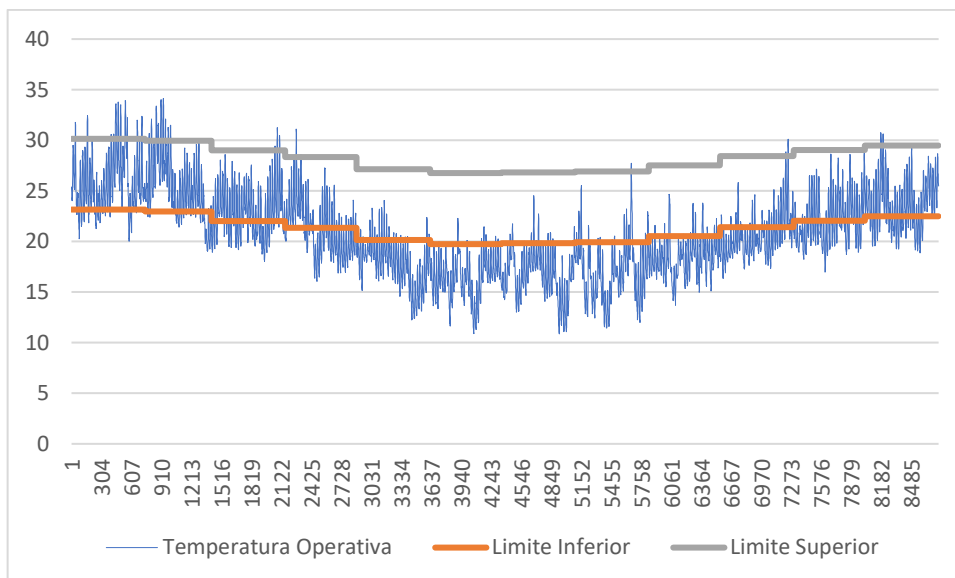


Figura 25: Gráfico que representa a temperatura operativa e a zona de conforto da CHURRASQ, considerando a fachada direcionada para o Norte da Habitação 11.
Fonte: Elaboração própria

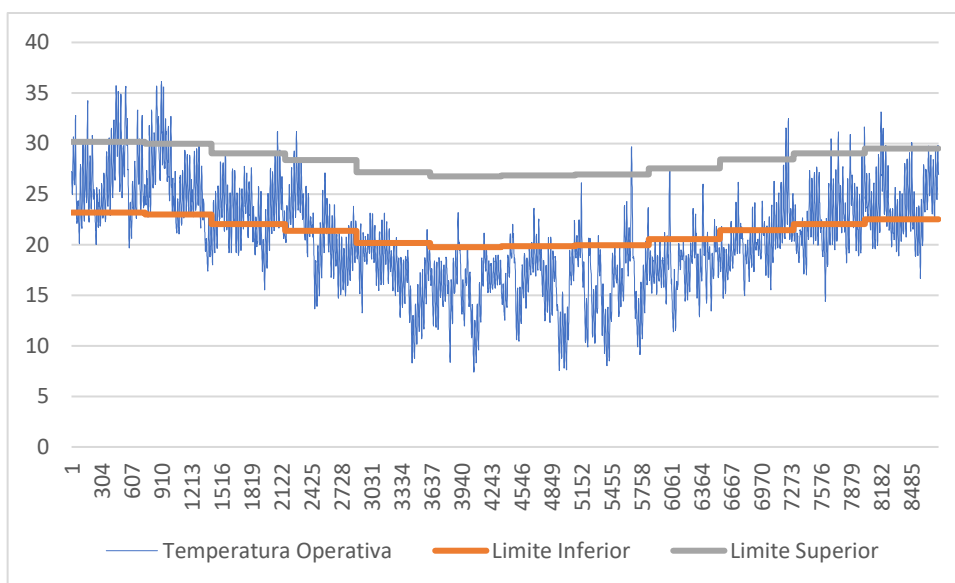


Figura 26: Gráfico que representa a temperatura operativa e a zona de conforto da SALACQZ, considerando a fachada direcionada para o Norte da Habitação 12.
Fonte: Elaboração própria

A Figura 27 traz um quadro resumo, apresentando as habitações com melhor desempenho térmico e as com pior desempenho no eixo norte-sul, junto das características das suas envoltórias. Onde, as habitações 01 e 02 mantêm uma percentagem mais alta de horas em conforto térmico, embora ainda apresentem desafios relacionados ao calor e ao risco de fungos. Por outro lado, todas as habitações analisadas para esta orientação demonstraram um desempenho insatisfatório, com desconforto predominante devido ao frio e índices significativos de

risco de formação de fungos filamentosos, em especial nas habitações 07 e 08 indicando a necessidade de melhorias no isolamento térmico e na estabilidade da temperatura interna.

É importante observar que as habitações que apresentaram pior desempenho compartilham a presença de cobertura de fibrocimento e a ausência de laje, fatores que podem ter influenciado nos resultados, facilitando as trocas térmicas, em especial a perda de calor para o ambiente externo. Esta análise ressalta a importância de se adotar medidas adequadas de isolamento, ventilação e manutenção para enfrentar esses desafios.

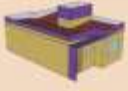
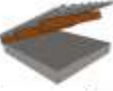
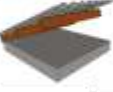
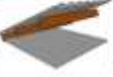
QUADRO RESUMO										
EIXO NORTE-SUL										
HABITAÇÃO	CONFIGURAÇÃO DO ENVELOPE		CONFORTO	DESCONFORTO FRIO CALOR		GRAUS-HORA AQUEC. RESF.		R. FUNGOS F. AQUEC. RESF.		
MELHOR DESEMPENHO TÉRMICO										
01				41,50%	56,83%	1,67%	4141,54	51,60	24 SALACÓZ	29 SALACÓZ
02				41,47%	56,73%	1,80%	4369,15	58,27	23 SALACÓZ	28 SALACÓZ
PIOR DESEMPENHO TÉRMICO										
07				35,12%	62,73%	2,15%	5041,35	117,79	32 WC	30 DORM1
08				34,41%	63,50%	2,09%	5581,39	134,74	40 DORM3	33 DORM1

Figura 27: Quadro resumo das habitações com os melhores e piores desempenhos térmicos para a orientação norte-sul
Fonte: Elaboração própria

Na análise anterior, foi examinado o desempenho das habitações em relação ao eixo norte-sul. Agora, a análise irá concentrar-se nos resultados associados ao eixo leste-oeste. A Figura 28 fornece uma visão dos percentuais de conforto térmico, desconforto por frio e desconforto por calor, bem como as projeções de carga térmica com base nos graus-hora de aquecimento e graus-hora de resfriamento. Além disso, identifica a parede mais suscetível à formação de fungos filamentosos nas orientações leste e oeste.

EIXO LESTE-OESTE								
HABITAÇÃO	CONFORTO	DESCONFORTO		GRAUS-HORA		R. FUNGOS F.		
		FRIO	CALOR	AQUEC.	RESF.	LESTE	OESTE	
01 	39,21%	59,61%	1,18%	4619,72	28,67	29 SALACÓZ	32 SALACÓZ	
02 	39,87% ✓	58,71% ✓	1,42%	4472,74 ✓	41,55	26 ✓ SALACÓZ	27 ✓ SALACÓZ	
03 	39,08%	59,53%	1,39%	4482,28	37,82	31 SALACÓZ	41 WC	
04 	27,59% ✗	72,26% ✗	0,15% ✓	5985,43	0,77 ✓	38 DORM	59 ✗ WC	
05 	37,82%	61,70%	0,48%	5141,53	4,24	31 COZ	30 COZ	
06 	36,29%	61,39%	2,32%	5259,53	128,99 ✗	44 ✗ DORM3	30 DORM1	
07 	35,87%	61,96%	2,17%	4809,56	111,07	29 WC	29 DORM1	
08 	35,01%	62,97%	2,02%	5491,94	121,08	40 DORM3	33 DORM1	
09 	37,25%	60,53%	2,22%	5041,10	112,45	29 COZ	31 DORM1	
10 	36,21%	61,27%	2,52% ✗	7105,71 ✗	101,99	41 COZ	44 WC	
11 	35,82%	62,93%	1,25%	5653,53	36,51	43 CHUR	46 WC	
12 	35,54%	62,91%	1,55%	6285,08	36,48	43 SALACÓZ	45 SALACÓZ	

*80% UMIDADE 12H CONSECUTIVAS POR 5 DIAS CONSECUTIVOS

Figura 28: Desempenho das habitações para a orientação leste-oeste
 Fonte: Elaboração própria

Observa-se que, de maneira geral, as habitações apresentam um desempenho ligeiramente inferior no eixo leste-oeste em comparação com o eixo norte-sul. Essa discrepância pode ser atribuída, em parte, à maior exposição direta à radiação solar nas orientações leste e oeste durante o amanhecer e o entardecer. Essa exposição mais intensa favorece ganhos excessivos de calor durante esses períodos do dia.

Além disso, nas orientações leste-oeste, há uma falta de radiação solar nos horários contrários, resultando em uma amplitude térmica diária mais significativa. Em outras palavras, as temperaturas internas tendem a subir consideravelmente durante o dia e a cair rapidamente à noite, criando condições propícias para o desconforto térmico. Isso se reflete especialmente no aumento do desconforto por frio, indicado por valores mais altos de graus-hora para aquecimento.

Os resultados destacam que a habitação 02 se destaca com o melhor desempenho térmico, registrando 39,87% das horas em conforto, em comparação com a habitação 04, que apresenta o pior desempenho, com apenas 27,59% das horas em conforto. Em termos absolutos, essa diferença representa 12,28%. No entanto, em termos relativos, a disparidade atinge notáveis 30,20%, indicando uma diferença ainda mais expressiva do que os resultados da orientação Norte-Sul. Isso ressalta a diferença notável e consistente nas características de desempenho térmico entre essas duas orientações.

As habitações 01, 02 e 03 demonstram uma porcentagem de horas anuais de conforto de 39,21%, 39,87% e 39,08%, respectivamente. Quanto ao desconforto térmico, a habitação 01 apresenta um valor de 59,61% de desconforto devido ao frio e 1,18% por calor, enquanto a habitação 02 registra 58,71% de desconforto pelo frio e 1,42% por calor, e a habitação 03 possui 59,53% de desconforto por frio e 1,39% por calor.

No que diz respeito aos graus-hora de aquecimento, elas atingem na mesma sequência, valores de 4619,72, 4472,74 e 4482,28, e quanto aos graus-horas de resfriamento, apresentam valores de 28,67, 41,55 e 37,82. Em relação ao risco de formação de fungos filamentosos, a habitação 01 registra 29 possíveis ocorrências na fachada leste para o DORM2 e 32 ocorrências na fachada oeste para a SALACÓZ. Da mesma forma que nas orientações norte e sul, essas habitações mantêm um desempenho geral superior em relação às demais, devido às razões mencionadas anteriormente.

A habitação 04 registra 27,59% das horas em conforto, enquanto experimenta um alto desconforto de 72,26% devido ao frio e um baixo desconforto de 0,15% por calor. Ela apresenta graus-hora de aquecimento de 5985,43 e graus-hora de resfriamento de apenas 0,77. No que se refere ao risco de formação de fungos filamentosos, esta habitação apresenta um número significativamente maior de ocorrências na fachada leste, com 38 ocorrências nas paredes DORM e SALACÓZ, e 59 ocorrências na fachada oeste, particularmente na parede da WC.

A habitação 04 se destaca por uma queda significativa no conforto térmico em comparação com as outras habitações, embora mantenha uma média semelhante em relação ao risco de formação de fungos filamentosos. Esse declínio no conforto térmico pode ser atribuído à incidência de radiação direta durante o amanhecer e entardecer, combinada com a ausência de radiação solar nos períodos opostos. Essa interação provoca variações acentuadas nas temperaturas internas, resultando em desconforto térmico. Além disso, a falta de uma laje na habitação pode contribuir para a falta de inércia térmica, uma vez que as lajes ajudam a reduzir as flutuações térmicas no interior das habitações.

Já a habitação 05 apresenta 37,82% das horas em conforto, embora ainda apresente um desconforto considerável de 61,70% devido ao frio, com um baixo desconforto de 0,48% por calor. Em termos de graus-hora de aquecimento, esta habitação apresenta um valor de 5141,53 e, para os graus-hora de resfriamento, o valor é de 4,24. Quanto ao risco de formação de fungos filamentosos, foram identificadas ocorrências mais significativas na fachada da COZ na orientação leste, com 31 ocorrências, e na fachada oeste, também na fachada da COZ, que apresentou 30 ocorrências.

Mais uma vez, as habitações 06, 07, 08 e 09 demonstram um desempenho inferior em comparação com as habitações 01, 02, 03 e 05. Vários fatores contribuem para essa diferença, incluindo a falta de laje e o uso de técnicas de autoconstrução, bem como a escolha de materiais menos eficazes, como a madeira. Nas habitações com elementos de madeira, como os DORM3 nas habitações 06 e 08, observa-se um aumento do risco de formação de fungos filamentosos.

A habitação 06, por exemplo, oferece 36,29% das horas em conforto, mas sofre com um desconforto significativo de 61,39% devido ao frio, juntamente com um desconforto por calor de 2,32%. Os graus-hora de aquecimento atingem 5259,53,

enquanto os graus-hora de resfriamento somam 128,99. No que diz respeito ao risco de formação de fungos filamentosos, esta habitação registra um maior número de ocorrências na fachada leste na parede do DORM3, com 44 ocorrências, e na fachada oeste, as paredes da DORM1 e SALACÓZ apresentam 30 ocorrências.

A habitação 07 registra 35,87% das horas em conforto, mas sofre com um desconforto acentuado de 61,96% devido ao frio, além de um desconforto por calor de 2,17%. Os graus-hora de aquecimento atingem 4809,56, enquanto os graus-hora de resfriamento somam 111,07. No que se refere ao risco de formação de fungos filamentosos, esta habitação apresenta um maior número de ocorrências na fachada leste na parede do WC, com 29 ocorrências, e na fachada oeste, na parede da SALACÓZ, que registra 29 ocorrências.

Já a habitação 08 oferece 35,01% das horas em conforto térmico, com um desconforto significativo de 62,97% devido ao frio e um desconforto por calor de 2,02%. Os graus-hora de aquecimento somam 5491,94, e os graus-hora de resfriamento totalizam 121,08. Em relação ao risco de formação de fungos filamentosos, esta habitação apresenta um maior número de ocorrências na fachada leste na parede do DORM3, com 40 ocorrências, e na fachada oeste, na parede da SALACÓZ, com 33 ocorrências.

A habitação 09, por sua vez, oferece 37,25% das horas em conforto térmico, mas sofre com um desconforto de 60,53% devido ao frio, juntamente com um desconforto por calor de 2,22%. Os graus-hora de aquecimento atingem 5041,10, enquanto os graus-hora de resfriamento somam 112,45. Quanto ao risco de formação de fungos filamentosos, esta habitação apresenta um maior número de ocorrências na parede da COZ na fachada leste, com 29 ocorrências, e na fachada oeste na parede da SALACÓZ, registrando 31 ocorrências.

As habitações 10, 11 e 12 demonstram um desempenho semelhante às habitações avaliadas anteriormente, com uma ligeira degradação na orientação leste-oeste em comparação com a orientação norte-sul. Elas apresentam um desconforto mais acentuado devido ao frio e uma carga prevista mais elevada para aquecimento. Além disso, observa-se uma maior ocorrência do risco de formação de fungos filamentosos nas fachadas da SALACÓZ e da WC na orientação oeste.

A habitação 10 registra 36,21% de horas em conforto, com desconforto por frio alcançando 61,27% e desconforto por calor de 2,52%. Apresenta graus-hora de aquecimento de 7105,71 e graus-hora de resfriamento de 101,99. Quanto ao risco de formação de fungos filamentosos, a maior ocorrência está na parede leste da COZ, com 41 ocorrências, e na parede oeste do WC, com 44 ocorrências.

A habitação 11 registra 35,82% de horas em conforto, com um desconforto por frio de 62,93% e desconforto por calor de 1,25%. Apresenta graus-hora de aquecimento de 5653,53 e graus-hora de resfriamento de 36,51. Em relação ao risco de formação de fungos filamentosos, as maiores ocorrências estão na parede leste da CHURRASQ, com 43 ocorrências, e na parede oeste da SALACÓZ e do WC, com 46 ocorrências.

A habitação 12 apresenta 35,54% de horas em conforto térmico, um desconforto térmico por frio de 62,91% e desconforto por calor de 1,55%. Apresenta graus-hora de aquecimento de 6285,08 e graus-hora de resfriamento de 36,48. E quanto ao risco de formação de fungos filamentosos, as maiores ocorrências estão na parede leste da SALACÓZ, com 43 ocorrências, e na parede oeste da SALACÓZ, com 45 ocorrências.

A Figura 29, de forma semelhante ao quadro resumo fornecido para a orientação norte-sul, apresenta resultados correspondentes, consolidando as conclusões anteriores. As habitações 01 e 02 permanecem como as de melhor desempenho, enquanto a 04 substitui a 07 entre as piores. Esses achados reafirmam a análise prévia, evidenciando padrões consistentes que apontam para a persistência dos desafios previamente identificados.

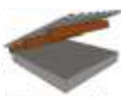
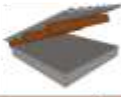
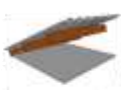
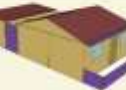
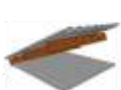
QUADRO RESUMO										
EIXO LESTE-OESTE										
HABITAÇÃO	CONFIGURAÇÃO DO ENVELOPE		CONFORTO	DESCONFORTO FRIO CALOR		GRAUS-HORA AQUEC. RESF.		R. FUNGOS F. AQUEC. RESF.		
MELHOR DESEMPENHO TÉRMICO										
01				39,21%	59,61%	1,18%	4619,72	28,67	24 SALAC0Z	29 SALAC0Z
02				39,87%	58,71%	1,42%	4472,74	41,55	23 SALAC0Z	28 SALAC0Z
PIOR DESEMPENHO TÉRMICO										
04				27,59%	72,26%	0,15%	5985,43	0,77	38 DORM	59 WC
08				35,01%	62,97%	2,02%	5491,94	121,08	40 DORM3	33 DORM1

Figura 29: Quadro resumo das habitações com os melhores e piores desempenhos térmicos para a orientação leste-oeste

Fonte: Elaboração própria

Finalizando a análise e considerando a avaliação integrada do transporte de umidade e calor em superfícies internas de sistemas de fechamento vertical, a Figura 30 e Figura 31, mostram a relação do pior desempenho térmico, maior índice de graus-hora para aquecimento e pior qualidade do ar entre as 12 habitações nas orientações norte-sul e leste-oeste. É possível observar que, de acordo com os resultados, o desempenho termoenergético das habitações influencia diretamente na salubridade do ambiente. Nota-se que as habitações com melhor desempenho apresentam um menor número de ocorrências de risco de formação de fungos filamentosos em comparação com aquelas de pior desempenho.

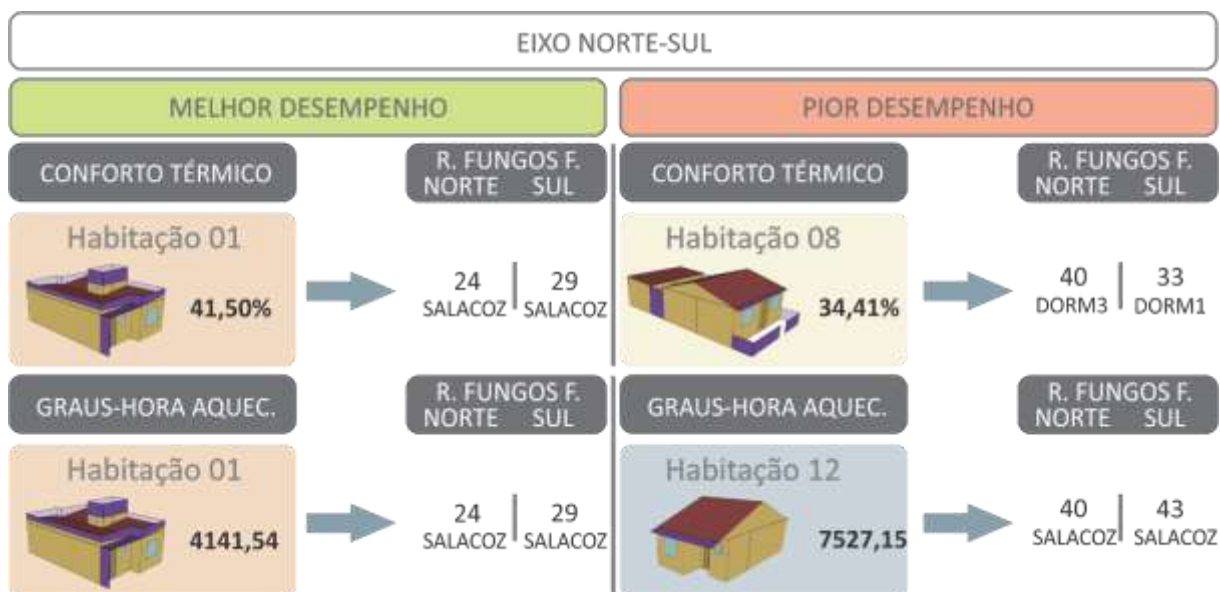


Figura 30: Relação dos melhores e piores desempenhos termoenergéticos para a orientação norte-sul em comparação a qualidade do ar interior
 Fonte: Elaboração própria

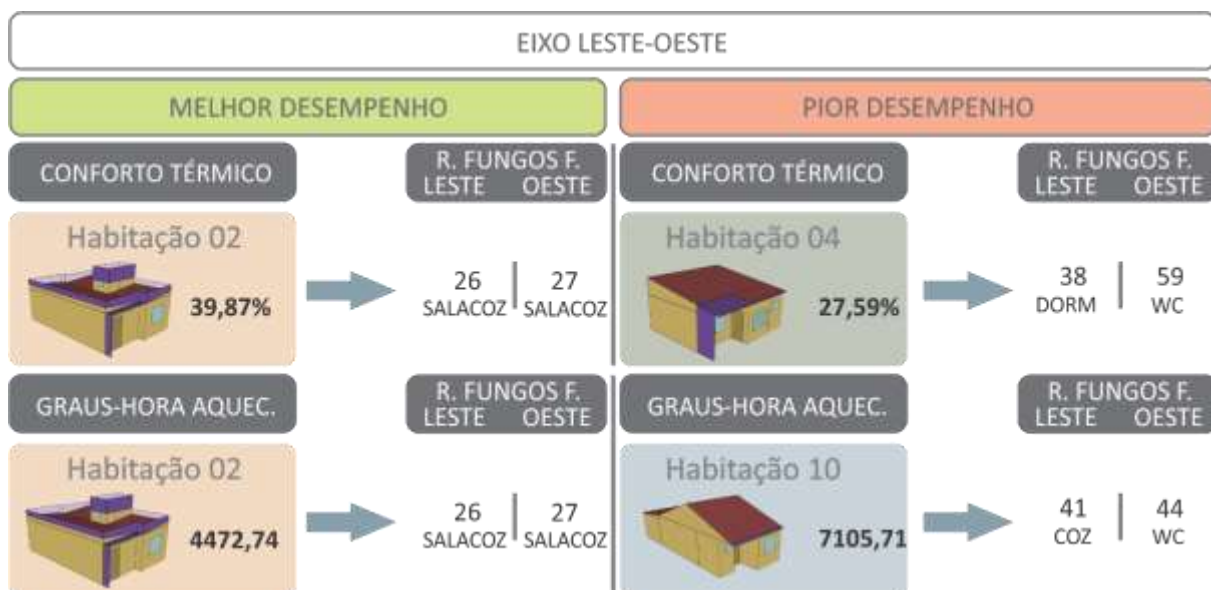


Figura 31: Relação dos melhores e piores desempenhos termoenergéticos para a orientação leste-oeste em comparação a qualidade do ar interior
 Fonte: Elaboração própria

Considerações finais

Este estudo focou no conforto adaptativo ao longo do ano, avaliando graus de aquecimento e resfriamento nas horas ocupadas, bem como o risco de formação de fungos filamentosos, conforme os padrões da ASHRAE 160 (2021) e DIN 4108-8 (2022). Os resultados das simulações indicaram um desempenho insatisfatório em todas as habitações analisadas, especialmente no que se refere às horas de conforto térmico e aos riscos de formação de fungos filamentosos.

Os resultados evidenciaram a importância do projeto, dos materiais de construção e da orientação para o desempenho termoenergético e higrotérmico das habitações. Habitações projetadas por profissionais capacitados, com materiais de melhor isolamento e consideração das condições do terreno, tendem a ter mais horas de conforto térmico. A ventilação, o comportamento dos ocupantes e as características específicas dos materiais de construção também influenciam essa relação complexa.

No que tange ao objetivo geral do estudo, a conexão entre o desempenho termoenergético e a ocorrência de problemas patológicos, como a formação de fungos filamentosos, foi confirmada. Habitações com pior desempenho termoenergético apresentaram ambientes menos saudáveis e mais propensos a problemas de fungos.

As principais contribuições do trabalho incluem a identificação de fatores que podem afetar o desempenho termoenergético e higrotérmico de edificações, destacando a importância da qualidade do projeto e dos materiais. No entanto, o estudo encontrou limitações significativas, como a dificuldade na obtenção de dados junto a órgãos responsáveis e as restrições impostas pela pandemia de Covid-19.

A utilização do software EnergyPlus também impôs limitações, como a duração máxima da simulação de apenas um ano, em contraste com o recomendado no Rascunho Inicial do Projeto de Norma ABNT, que sugere um período mínimo de três anos. Essas restrições podem ter impactado os resultados e devem ser consideradas ao interpretar as conclusões.

Para futuros trabalhos, recomenda-se a exploração de softwares mais adequados para avaliar o desempenho higrotérmico de edificações e a realização de estudos com períodos de simulação mais longos. Isso pode aprimorar a precisão das simulações e fornecer uma análise mais abrangente do desempenho das habitações.

Referências

_____. **ASHRAE Handbook: Fundamentals**. American society of heating, refrigerating and air-conditioning engineers. Inc., Atlanta, 2009.

_____. **ASHRAE Standard 55: Thermal environmental conditions for human occupancy**. Atlanta, USA, 2020.

_____. **ASHRAE Standard 140. Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs**. Atlanta, Georgia, U.S.A 2017, 2017.

_____. **ASHRAE Standard 160: Criterie for Moisture - Control Design Analysis in Buildings**. Atlanta, USA, 2021.

_____. **BS EM 15251: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of building addressing indoor air quality, thermal environment, linhting and acoustics**. 2007.

_____. **BS EN 15026: Hygrothermal Performance of Building Components and Building Elements – Assessment of Moisture Transfer by Numerical Simulation**. 2007.

_____. **BS EM 16798-1:2019 Energy performance of buildings - ventilation for buildings. Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics - Module M1-6**. 2019

_____. **DIN 4108-8 - Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 8: Vermeidung von Schimmelwachstum in Wohngebäuden**. Berlin, Germany., 2022.

_____. **Diretriz SiNAT nº001 – Revisão 03 – Diretriz para Avaliação Técnica de paredes estruturais de concreto moldadas no local**. Ministério das Cidades – Secretaria Nacional da Habitação. Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat – PBQP-H. Sistema Nacional de Avaliações Técnicas – SINAT, 2017.

_____. **Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings. ASHRAE Standard 90.1–2013. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers**. Atlanta, 2013.

_____. **ISO 19208:2016 – Framework for specifying performance in buildings**. International Standard - ISO, 2016.

_____. **NBR 15.220: Desempenho Térmico de Edificações – Parte 2: Componentes e elementos construtivos das edificações – Resistência e transmitância térmica – Métodos de Cálculo**. Rio de Janeiro, 2023.

_____. **NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações**. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15.220: Desempenho Térmico de Edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.** Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15220-2: Desempenho térmico de edificações. Parte 2: Componentes e elementos construtivos das edificações – Resistência e transmitância térmica.** Rio de Janeiro, 2022.

_____. **NBR 16401-2: Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários. Parte 2: Parâmetros de conforto térmicos.** Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR 15575-1: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 1: Requisitos Gerais.** Rio de Janeiro, 2021a.

_____. **Rascunho do Projeto de Norma ABNT – Simulação computacional do comportamento higrotérmico de paredes – Procedimento.** Rio de Janeiro, 2023.

AFONSO, THIAGO MARTIN. **Desempenho higrotérmico de edificações e procedimentos para previsão de ocorrência de bolores em ambientes internos: estudo de caso em habitações construídas com paredes de concreto.**

Dissertação de Mestrado em Habitação: Planejamento e Tecnologia - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. 177p. São Paulo, 2018.

AFONSO, T. M.; BRITO, A. C. de; AKUTSU, M. Análise comparativa do potencial de ocorrência de bolores em diferentes sistemas construtivos. In: WORKSHOP DE TECNOLOGIA DE PROCESSOS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS, 2., 2019. **Anais [...].** Porto Alegre: ANTAC, 2019. p. 1–6. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/tecsic/article/view/381>. Acesso em: 31 out. 2023.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RE nº 16 de janeiro de 2003. **Padrões Referenciais de Qualidade do Ar Interior em Ambientes Climatizados Artificialmente de Uso Público e Coletivo.** 2003.

ARAÚJO, M. T. de; SOUZA, H. A. de; GOMES, A. P. Computer simulation of moisture transfer in walls: impacts on the thermal performance of buildings. *Architectural Engineering and Design Management*, v. 18, n. 4, p. 453-472, abr. 2021. Disponível em:

<<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17452007.2021.1916426>>. Acesso em: 03 maio 2023.

BALBONI, M. D.; LEITZKE, R. K.; MACIEL, T. S.; CUNHA, E. G.; RHEINGANTZ, P. A. Geração de uma população inicial para análise multiobjetivo de simulações termoenergéticas em HIS. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO (ENCAC), 2019. João Pessoa. **Anais [...]** Porto Alegre: ANTAC, 2019. v. 1. p. 1874-1883.

BAVARESCO, M. V.; CUCHIVAGUE, H. Y. O.; SCHINAZI, A.; GHISI, E. Aspectos impactantes no desempenho energético de habitações de interesse social

brasileiras: revisão de literatura. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 21, n. 1, p. 263-292, jan./mar. 2021.

BEBER, LUCIANE ANDREOLA; DUARTE, CAROLINA DE MESQUITA; BERNARDES, LUIZA COUTINHO; LUCAS, BIANCA PEREIRA; MACARTHY, MARITZA DA ROCHA; BRANDELLI, TALITA MARINI; CUNHA, EDUARDO GRALA DA; SILVA, ANTONIO CESAR SILVEIRA BAPTISTA DA. Desempenho térmico de uma HIS no sul do país: analisando a transferência de calor e o transporte de umidade. **[Anais...]** VII Congresso Latino-Americano de Simulação de Edifícios [livro eletrônico]: IBPSA Latam 2023, e 7. p 178-182. Florianópolis, SC. 2023. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://ibpsa.org.br/misc/documentos/proceedingsIBPSALatamFlorianopolis2023/IBPSA_LATAM_2023_anais.pdf. Acesso em: 30 out. 2023.

BEBER, L.; GRALA DA CUNHA, E.; MENDES, N.; BERNARDES, L. Análise da influência da umidade no consumo de climatização de edificação isolada termicamente. IN: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2023. **ANAIS [...]**. [S. L.], 2023. Disponível em: [HTTPS://EVENTOS.ANTAC.ORG.BR/INDEX.PHP/ENCAC/ARTICLE/VIEW/4112](https://eventos.antac.org.br/index.php/encac/article/view/4112). ACESSO EM: 30 OUT. 2023.

BENINCÁ, L.; PASSUELLO, A. C. B.; BARROSO, J. M. G.; SANCHEZ, E. C.; LEITZKE, R. K. Estudo bibliométrico sobre a envoltória de habitações residenciais na ótica da formação de fungos filamentosos, qualidade do ar interior, consumo energético e emissão de gases poluentes. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2021. **Anais [...]**. [S. l.], 2021. p. 929–938. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/encac/article/view/4487>. Acesso em: 31 out. 2023.

BERGER, J.; GUERNOUTI, S.; WOLOSZYN, M.; BUHE, C. Factors governing the development of moisture disorders for integration into building performance simulation. **Journal of Building Engineering**, v. 3, p. 1-15, 2015.

BERLEZE, A. S.; BRASILEIRO, A. de B. H.; SILVOSO, M. M. Multi-objective optimization of the geometry of single-family housing to improve thermal performance. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 21, n. 2, p. 41-65, abr./jun. 2021.

BERNARDES, L. C.; DUARTE, C. de M.; MACARTHY, M. da R.; BEBER, L. A. .; LEITZKE, R. K.; SILVA, A. C. S. B. da; CUNHA, E. G. da. Estudo comparativo de uma parede de bloco cerâmico atendendo a norma NBR 15575, ZB2, com uma parede de Steel Frame quanto ao desempenho higrotérmico. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. 1–14. DOI: 10.46421/entac.v19i1.2176. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/2176>. Acesso em: 30 set. 2023.

BISOGNIN, RAMIRO PEREIRA; MARQUARDT, LILIANE. AVALIAÇÃO DA Qualidade do ar interno de uma sala em prédio administrativo de Porto Alegre/RS. **Revista Gest. Sust. Ambient.**, Florianópolis, v. 6, n. 1, p. 209 - 232, abr./set. 2017.

BISOLO, GIOVANI. Análise do desempenho térmico em edifícios residenciais: estudo comparativo entre métodos de avaliação para a zona bioclimática 2. 2018. 88 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2018.

BOULOS, GUILHERME. **Por que ocupamos?:** Uma introdução à luta dos sem-teto. São Paulo: Scortecci, 2012.

BRASIL. **Constituição (1988)**. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988.

BRASIL. **Norma Regulamentadora - NR que estabelece parâmetros que permitem a adaptação das condições de trabalho às características psicofisiológicas dos trabalhadores, de modo a proporcionar um máximo de conforto, segurança e desempenho eficiente.** Brasília, DF: Ministério do Trabalho, 2022.

BRASIL. Portaria nº 660, de 14 de novembro de 2018. Dispõe sobre as diretrizes para a elaboração de projetos e estabelece as especificações técnicas mínimas da unidade habitacional e as especificações urbanísticas dos empreendimentos destinados à aquisição e alienação com recursos advindos da integralização de cotas no Fundo de Arrendamento Residencial - FAR, e contratação de operações com recursos transferidos ao Fundo de Desenvolvimento Social - FDS, no âmbito do Programa Minha Casa, Minha Vida - PMCMV. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 16 nov. 2018. Seção 1, p.105. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/guest/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/50484132/do1-2018-11-16-portaria-n-660-de-14-de-novembro-de-2018-50483803>. Acesso em: fev. 2020.

BRASIL. **Resolução nº 510**, de 07 de abril de 2016. Dispõe sobre as normas aplicáveis a pesquisas em Ciências Humanas e Sociais. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 24 maio 2016. Disponível em: <<http://conselho.saude.gov.br/resolucoes/2016/Reso510.pdf>>. Acesso em: 19 jul. 2021.

BRASIL. Lei nº 14.118, de janeiro de 2021. Institui o Programa Casa Verde e Amarela. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 13 jan. 2021. Seção 1. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.118-de-12-de-janeiro-de-2021-298832993?_ga=2.204527952.1911869729.1612206648-1439486191.1612206648>. Acesso em: abr. 2022.

BRASIL, Ministério do Desenvolvimento Regional. **Programa Minha Casa Minha Vida (MCMV)**. 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/habitacao/minha-casa-minha-vida/programa-minha-casa-minha-vida-mcmv>>. Acessado em: fev. 2021.

BRASIL, Ministério do Desenvolvimento Regional. **Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social**. 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/habitacao/sistema-nacional-de-habitacao-de-interesse-social>>. Acessado em: abr. 2022.

BULIGON, LILIANE BONADIMAN. **Comportamento higrotérmico e energético de painéis de vedação vertical externa em madeira para a Zona Bioclimática 2**. 2021. 145 p. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, RS, 2021.

CASA VERDE E AMARELA. **Cadastro Casa Verde e Amarela**. 2022. Disponível em: <<https://casaverdeamarela.net.br/cadastro-casa-verde-e-amarela-2022/>> Acesso em: abr. 2022.

CAVALCANTI, CRISTINA KANYA CASELLI; ALVIM, ANGÉLICA APARECIDA TANUS BENATTI. Autoconstrução em contexto de elevação de temperatura: o caso do Cantinho do Céu, São Paulo - Self-construction in a context of rising temperatures: the case of Cantinho do Céu, São Paulo. **Cad. Metrop.**, São Paulo, v. 22, n. 49, p 757-786. 2020.

CUNHA, Eduardo Grala da; VAUPEL, Karin; LÜKING Rolf-Michael. **Verificação da Formação de Mofo e Bolor em Superfícies Interiores de Paredes Exteriores Situadas na Zona Bioclimática 3 de Acordo com a NBR 15220 e PNBR 02.136.01**. Conferência: NUTAU 2008, USP, São Paulo. 2008.

DALBEM, R. *et al.* Optimisation of a social housing for south of Brazil: from basic performance standard to passive house concept. **Energy**, v. 167, p. 1278-1296, 2019.

DELBIN, SIMONE. **Inserção de simulação computacional de conforto ambiental de edifícios em ensino de projeto arquitetônico**: proposta de metodologia. 2007. 186 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Base de dados**. Brasília, DF. 2023. Acessado em 12 ago. 2023. Online. Disponível em: <<http://www.cpact.embrapa.br/agromet/>>.

FANGER, O. **Thermal Comfort - Analysis and Application in Environmental Engineering**. Copenhagen, 1970. 244p.

FERREIRA, G. G.; CALMON, P.; FERNANDES, A. S. A.; ARAÚJO, S. M. V. G. (2019). Política habitacional no Brasil: uma análise das coalizões de defesa do Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social versus o Programa Minha Casa, Minha Vida. *urbe*. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 11, e 20180012, 2019. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.011.001.AO04>

FJP - FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Deficit habitacional e inadequação de moradias no Brasil**. 2021. Disponível em: <http://fjp.mg.gov.br/wp-content/uploads/2020/12/04.03_Cartilha_DH_compressed.pdf>. Acesso em: abr. 2022.

FONSECA, L. P. G.; NUNES, V. D. L.; SANTANA, L. O.; CARLO, J. C.; CÉSAR JÚNIOR, K. M. L. Otimização multiobjetivo das dimensões dos ambientes de uma residência unifamiliar baseada em simulação energética e estrutural. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 267-288, jan./mar. 2017.

FREITAS, JULY RAMALHO; CUNHA, EDUARDO GRALA DA; SILVA, ANTONIO CESAR SILVEIRA BAPTISTA DA; LEITZKE, RODRIGO KARINI. Pontes térmicas em estruturas de concreto armado: análise das condições para formação de fungos filamentosos para zona bioclimática brasileira 2. **[Anais...]**. Balneário Camburiú: ENCAC, 2017. p 1104 – 1113. Disponível em: http://www.infohab.org.br/encac/encac2017_artigos.html. Acesso em: 31 out. 2023.

FREITAS, J. R. de; LEITZKE, . R. K.; CUNHA, E. G. da. Pontes térmicas em estruturas de concreto: análise das condições de formação de fungos filamentosos. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 11, p. e020027, 2020. DOI: 10.20396/parc.v11i0.8656062. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8656062>. Acesso em: 11 out. 2023.

GINESTET, STEPHANE; ASCHAN-LEYGONIE, CHRISTINA; BAYEUX, THOMAS; KEIRSBULCK, MARION. Mould in indoor environments: The role of heating, ventilation and fuel poverty. A French perspective. **Building and Environment**. v 169, 2020.

GOBBI, MIRNA; SANTOS, MAURO; ROLA, SYLVIA. 2019. Qualidade do ar e ventilação natural no ambiente hospitalar - o exemplo do edifício Sarah Kubitschek no Rio de Janeiro. 2019.

GSR 2020 - **Global Status Report – Renewables 2020**. Disponível em: <https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2020_full_report_en.pdf>. Acessado em: out. 2020.

GUERRA, F. L. **Biodeterioração de conjunto histórico do século XIX em Pelotas/RS: fungos filamentosos**. Universidade Federal de Pelotas, 2012.

GUÍO, L. M. P. **Compostos Orgânicos Voláteis em tintas imobiliárias: caracterização e efeitos sobre a qualidade do ar em ambientes internos construídos**. Dissertação de Mestrado em Arquitetura. Universidade Federal de São Paulo, 2013.

HENS, H. L. S. C. Combined heat, air, moisture modelling: A look back, how, of help? **Building and Environment**, v. 91, p. 138-151, 2015.

HIDALGO-BETANZOS, JUAN MARÍA; ESCUDERO-REVILLA, CÉSAR; IRIBAR-SOLABERRIETA, EIDER; FLORES-ABASCAL, IVÁN; SALA-LIZARRAGA, JOSÉ

MARÍA PEDRO. Combination of diagnostic tools for the proper identification of moisture pathologies in modern residential buildings. **Infrastructures**, v. 3, n. 3, 2018.

INCT - INSTITUTO NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA. Cortes no Censo 2020 tornam inviável o cálculo do déficit habitacional. 2019. Disponível em: <<https://www.observatoriodasmetropoles.net.br/cortes-no-censo-2020-tornam-inviavel-o-calculo-do-deficithabitacional/#:~:text=O%20d%C3%A9ficit%20habitacional%20%C3%A9%20dividido,constru%C3%ADdos%20para%20dar%20conta%20do>>. Acesso em: abr. 2022.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Normais Climatológicas do Brasil. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/normais#>>. Acesso em: 11 de outubro. 2023.

ISO – International Standard. ISO 13788:2012 – Hygrothermal performance of building components and building elements – Internal surface temperature to avoid critical surface humidity and interstitial condensation – Calculation methods. International Standard - ISO, 2012.

KARAGIOZIS, ACHILLES; SALONVAARA, MIKAEL. Hygrothermal system-performance of a whole Building. **Building and Environment**. v 36, p 779-787, 2001.

KRUGER, Nino Rafael Medeiros. **Fique em casa? A questão habitacional no Brasil: da retórica sobre o direito à moradia e o Programa Minha Casa Minha Vida até a realidade pandêmica.** Porto Alegre, RS: Editora Fi, 2020.

KUNSLER, JENIFER. **Previsão do desenvolvimento de fungos em paredes de concreto nas oito zonas bioclimáticas brasileira.** 2022. 140 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2022.

LAMBERTS, R. Desempenho térmico de edificações. **Apostila da disciplina: ECV 5161.** Florianópolis - SC: LABEEE - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Universidade Federal de Santa Catarina 2016.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura.** 3. ed. São Paulo: PW Editores, 2014.

LEFEBVRE, HENRI. **O Direito à Cidade.** São Paulo: Centauro, 2001.

LEITZKE, R. K. et al. Optimization of the Traditional Method for Creating a Weather Simulation File: The Pelotas.epw Case. **Journal of Civil Engineering and Architecture**, v. 12, p. 741-756, 2018.

LEITZKE, Rodrigo Karini. **Avaliação de materiais de mudança de fase em uma habitação com fechamentos leves nas Zonas Bioclimáticas 1, 2 e 3 com base**

em algoritmos evolutivos multiobjetivo. 2021. 143f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2021.

Li, Qing; Zhang, Lianying; Zhang, Limao; Wu, Xianguo. Optimizing energy efficiency and thermal comfort in building green retrofit. **Energy**. v 237, 2021.

LIMA, Tomás Bastos. Análise de Desempenho Térmico de Edificações Habitacionais: desenvolvimento de interface BIM para avaliações automatizadas segundo as normas ABNT NBR 15575 e ABNT NBR 15220. Trabalho Final de Curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia da Construção Civil, Setor de Tecnologia, da Universidade Federal do Paraná. Curitiba: 2014.

LINCZUK, VINÍCIUS CESAR CADENA. **Estratégias para melhorar o comportamento térmico de edificações residenciais em regiões de clima temperado do Sul do Brasil.** 2015. 146 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

LINCZUK, V. C. C.; BASTOS, L. E. G. Otimização multiobjetivo orientada ao desempenho térmico para o projeto de edificações de baixo consumo de energia na Região Sul do Brasil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 20, n. 4, p. 509-529. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. out./dez. 2020

MARICATO, ERMÍNIA. **Metrópole na periferia do capitalismo:** ilegalidade, desigualdade e violência. São Paulo: Hucitec, 1996.

MARTINS, R. M. DE; LIMA, C. M. "Por que o Programa Minha Casa Minha Vida não resolveu o déficit habitacional?": Reflexões sobre a questão da habitação no Brasil. *In: Encontro Nacional de Pesquisadores de Serviço Social*, 16, 2018, Vitória, ES. **Anais [...]**. Vitória: ENPEES, 2018.

MENDES, N.; WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R.; NETO, J. A. B. da C. 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.

MERTEN H. O.; SILVA, M. B.; CALDAS, L. R.; SPOSTO, R. M. Compostos Orgânicos Voláteis de Tintas imobiliárias e certificações ambientais: estudo de caso para subsolos. REEC - **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**. Goiânia, GO, vol. 13, n. 1, p. 128-139, jan 2017.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. Secretaria Nacional de Habitação. **Plano Nacional de Habitação.** Versão para debates. Brasília, 2010.

MONTEIRO, VERNER MAX LIGER DE MELLO. **Por uma moradia termicamente confortável:** proposta de habitação de interesse social com ênfase no conforto térmico. 2012. 141 p. Dissertação (Mestrado em Conforto no Ambiente Construído;

Forma Urbana e Habitação) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.

MORISHITA, C. **On the assessment of potential moisture risks in residential buildings across Brazil**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Pontífica Universidade Católica do Paraná. Curitiba, 2020.

MOTA, R. R. S.; CUNHA, E. G. da, GIOIELLI, B. E.; SIGNORINI, R. B.; DALBEN, R., SIQUEIRA, L.; BRANDALISE, M.; PEREIRA, R. C.; REIS, P. Eficiência energética em residências: adequação dos parâmetros de uso e ocupação preconizados no RTQ-R à realidade de uma HIS em Pelotas – ZB2. **Revista destaques acadêmicos**, v. 7, n. 4, CETEC/UNIVATES, 2015

NOBRE, JEAN; SOUSA, DAVID; RIBEIRO, FÁBIO; ANDRADE. Simulação Computacional Sobre Desempenho Térmico em uma Residência Conjunta Localizada em Ananindeua-PA. In: III CONARA SANTA DO ARAGUAIA – PA. Araguaia, PA. 2021

OLIVEIRA, C. C. DE; SAKIYAMA, N. R. M.; MIRANDA, L. V. DE. Desempenho térmico de uma edificação unifamiliar naturalmente ventilada para o clima de Teófilo Otoni-MG. REEC – **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 13, n. 2, p. 57-72, jul./dez. 2017.

PACHECO, G. H. S. **Determinação de recomendações bioclimáticas para habitação de interesse social de quatro climas do Rio Grande do Norte**. Natal, 2016. 131 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

RIBEIRO, JOSÉ L. P. Revisão de investigação e evidência científica. **Psicologia, Saúde e Doenças**, v. 15, n. 3, p. 672- 683, 2014.

PATINO, Ernest. Dias. Lozano; SIEGEL. Jeffrey. A Indoor environmental quality in social housing: A literature review. **Building and Environment**. v.131, March, p. 231-241, 2018

PELOTAS. **Lei Municipal n.º 5.502**, de 11 de setembro de 2008. Institui o Plano Diretor Municipal e estabelece as diretrizes e proposições de ordenamento e desenvolvimento territorial no município de Pelotas, e dá outras providências. Disponível em: <https://www.pelotas.com.br/storage/gestao-da-cidade/lei_5502.pdf>. Acesso em: abr. 2022.

PELOTAS. Plano Local de Habitação de Interesse Social. Pelotas: Prefeitura Municipal de Pelotas, [2014b].

PINHEIRO, J. A. **Importância Do Clima Exterior E Interior Na Quantificação Do Desempenho Higrotérmico Dos Edifícios**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade do Porto, Porto, 2013.

PIRES, J. R. **Estimativa da condensação em edificações unifamiliares em**

território brasileiro: Simulação higrotérmica computacional. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2020.

PÓLIS (Instituto de Estudos, Formação e Assessoria em Políticas Sociais Centro de Documentação e Informação). **ATHIS para o direito à moradia.** 2021. São Paulo: Instituto Pólis, 2021.

RAMOS, NUNO M.M.; ALMEIDA, RICARDO M.S.F.; SIMÕES, M. LURDES; DELGADO, JOÃO M.P.Q.; PEREIRA, PEDRO F.; CURADO, ANTÔNIO; SOARES, SARA, FRAGA, SÍLVIA. Indoor hygrothermal conditions and quality of life in social housing: A comparison between two neighbourhoods. *Sustainable Cities and Society*, v 38, p 80-90, 2018.

RECART, CAROLINA; DOSSICK, CARRIE STURTS. Hygrothermal behavior of post-retrofit housing: A review of the impacts of the energy efficiency upgrade strategies. **Energy and Buildings.** v 262, 2022.

ROLNIK, RAQUEL. **O que é a cidade.** Coleção Primeiros Passos, 203. 3 ed. São Paulo: Brasiliense, 1988.

ROSA, ALINE SCHAEFER DA. **Determinação de modelos de referência de habitações populares unifamiliares para Florianópolis através de análise de agrupamento.** 2014. 198 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

SANTANA, LAILA OLIVEIRA. **Otimização multiobjetivo da geometria de edificações residenciais energeticamente eficientes por meio de algoritmos genéticos.** 2016. 81 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Viçosa; MG, 2016.

SEBRAE (SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO A MICRO E PEQUENOS EMPRESAS). **Relatório de Inteligência - Construção Civil.** 2018. Disponível em: <https://www.cimentoitambe.com.br/wp-content/uploads/2018/04/ConstruoCivil_MercadoImobiliariobaixarenda.pdf>. Acesso em: fev. 2021.

SEDLBAUER, K. **Prediction of mould fungus formation on the surface of and inside building components.** Tese (Doutorado em física das construções) Fraunhofer Institute for Building Physics - Universität Stuttgart. Stuttgart, Germany 2001.

SINAT, Sistema Nacional de Avaliações Técnicas. **Diretriz SiNAT Nº 003 – Revisão 2 – Sistemas construtivos estruturados em perfis leves de aço zincado conformados a frio, com fechamentos em chapas delgadas (Sistemas leves tipo “Light Steel Framing”).** Ministério das Cidades – Secretaria Nacional da Habitação. Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat –PBQP-H. Sistema Nacional de Avaliações Técnicas – SINAT, 2016.

SOARES, SARA; FRAGA, SÍLVIA; DELGADO, JOÃO; RAMOS, NUNO. (2015). Influence of Indoor Hygrothermal Conditions on Human Quality of Life in Social Housing. **Journal of Public Health Research**. 4. 10.4081/jphr.2015.589.

SORGATO, M. J.; VERSAGE, R.; LAMBERTS, R. A influência da área de ventilação no desempenho térmico de edificações residenciais. **Relatório Técnico da Base de Simulação do RTQ-R**. Florianópolis - SC: LABEEE - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Universidade Federal de Santa Catarina 2011.

SOUSA, J. Energy simulation software for buildings: review and comparison. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON INFORMATION TECHNOLOGY FOR ENERGY APPLICATONS-IT4ENERGY, LISABON, 2012. **Anais**. . . [S.l.: s.n.], 2012.

SOUSA, L. R. **Análise do Desempenho Térmico de Habitações Multifamiliares de Interesse Social com Paredes Verde**. Dissertação em Engenharia Civil – Universidade Federal do Ouro Preto – Ouro Preto. 2020.

Statholoupou, O. I.; Assimakopoulos, V. D.; Flocas, V.A.; Helmis, C. G. Anexperimental study of air quality inside large athletic halls. **Building and Environment**. v 34, n. 5, p. 793-803. 2008.

SUN, KAIYU; SPECIAN, MICHAEL; HONG, TIANZHEN. Nexus of thermal resilience and energy efficiency in buildings: A case study of a nursing home. **Building and Environment**. v 177, 2020.

TONDO, GABRIELA HANNA. **Influência das estratégias bioclimáticas no desempenho térmico em edifícios escolares**. 2017. 199 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2017.

TURCZYN, D. T.; NEVES, L. de O. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO DE UMA RESIDÊNCIA ATRAVÉS DE SIMULAÇÕES COM O ENERGYPLUS. **Intellectus**, São Paulo, n. 52, p. 24-40, jul./set. 2019.

DOE – U. S. Department of Energy's. **EnergyPlus Documentation: Input Output References**. U.S. Department of Energy. USA, 2021.

DOE – U. S. Department of Energy's. **Getting started EnergyPlus™ Version 8.9.0 - Documentation**. U.S. Department of Energy. USA, 2018.

VIANA, S.; BERTRAND, S; LEITE, R. Avaliação da eficiência energética em Habitação de Interesse Social. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 6., 2019, Uberlândia. **Anais** [...] Uberlândia: PPGAU/FAUeD/UFU, 2019. p. 1062-1073.

ZALUSKI, P. R. da S., & Dantas, M. J. P.. Aplicação de softwares de simulação na educação em engenharia: um relato de experiências internacionais exitosas em cursos de modelagem e simulação de sistemas / Application of simulation softwares in engineering education: a report of successful international experiences in modeling and system simulation courses. **Brazilian Applied Science Review**, 2(1), 170–181. <https://doi.org/10.34115/basr.v2i1.345>. 2018.

ZANONI, V. A. G. **Influência dos agentes climáticos de degradação no comportamento higrotérmico de fachadas em Brasília**. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2015.

ZANONI, V. A. G.; DANTAS, A. L. de F.; NUNES, L. S.; RIOS, R. B. Estudo higrotérmico na autoconstrução: simulação computacional e medições em campo. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 20, n. 3, p. 109-120, jul./set. 2020. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212020000300420>

Apêndices

APÊNDICE A – Termo de consentimento livre e esclarecido

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Sua colaboração é importante e necessária para o desenvolvimento da pesquisa, porém sua participação é voluntária.

A pesquisa **“Determinação de modelos de referência para simulação termoenergética de habitações populares para Pelotas”** irá determinar um ou mais modelos característicos do estoque edificado das habitações populares em Pelotas/RS, para ser utilizado em análises do desempenho termoenergético dessas habitações, será realizada através de análises estatísticas de agrupamento, com base nas características geométricas e construtivas das habitações levantadas.

Fica garantido o sigilo das informações, além da utilização dos resultados exclusivamente para fins científicos.

Fica garantida a manutenção do sigilo e da privacidade dos participantes da pesquisa durante todas as fases da pesquisa.

Fica garantida a plena liberdade ao participante da pesquisa, de recusar-se a participar ou retirar seu consentimento, em qualquer fase da pesquisa, sem penalização alguma.

A fim de sanar possíveis dúvidas futuras, entrar em contato com a mestrandia responsável pela pesquisaos participantes: Carolina Duarte (carolinademesquitaduarte@hotmail.com).

Eu, _____, como voluntário(a) da pesquisa, afirmo que fui devidamente informado(a) sobre a finalidade e objetivos desta pesquisa, bem como sobre a utilização das informações exclusivamente para fins científicos. Meu nome não será divulgado de forma nenhuma e terei a opção de retirar meu consentimento a qualquer momento.

Pelotas, ____ de _____ de 2022.

Assinatura do participante

Assinatura do pesquisador

APÊNDICE B – Questionário referente a forma e materiais das edificações


UFPEL

QUESTIONÁRIO GEOMETRIA E MATERIAIS

Entrevistador: _____ Data: _____
 Tempo de Aplicação – Hora Início: _____ Hora Fim: _____

Identificação do Imóvel	
Rua/ Número:	
Bairro:	Cod. Hab.:
Responsável pelo Imóvel:	
Telefone:	e-mail:
Croqui (Medidas internas)	
Identificar: Escala do desenho, cômodos, aberturas, materiais, cota piso e localização (rua).	

APÊNDICE C – Memória de cálculo das propriedades térmicas dos elementos construtivos

HAB01

CÁLCULO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DAS PAREDES EXTERNAS

*tijolo cerâmico 6 furos (9x14x24cm) e reboco de 3cm nas faces externas e internas.

Informações:

$$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

$$R_{si} = 0,13 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

$$R_{ar} = 0,16 \text{ (} 2,0 < e \leq 5,0\text{cm)}$$

$$\varepsilon_{branco/bege} = 0,90$$

$$\lambda_{argamassa} = 1,15 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$\lambda_{cerâmica} = 1,00 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$\rho_{argamassa} = 2000 \text{ Kg/m}^3$$

$$\rho_{cerâmica} = 1600 \text{ Kg/m}^3$$

$$c_{argamassa} = 1,00 \text{ KJ/(Kg.k)}$$

$$c_{cerâmica} = 0,92 \text{ KJ/(Kg.k)}$$

a) RESISTÊNCIA TÉRMICA

$$R_1 = R_{argamassa}$$

$$R_2 = R_{argamassa} + R_{cerâmica} + R_{argamassa}$$

$$R_3 = R_{argamassa} + R_{cerâmica} + R_{ar} + R_{cerâmica} + R_{ar} + R_{cerâmica} + R_{argamassa}$$

R₁

$$R_1 = R_{argamassa}$$

$$R_1 = 0,15/1,15$$

$$R_1 = \mathbf{0,1304 \text{ m}^2.\text{K/W}}$$

R₂

$$R_2 = R_{argamassa} + R_{cerâmica} + R_{argamassa}$$

$$R_2 = 0,03/1,15 + 0,09/1,00 + 0,03/1,15$$

$$R_2 = \mathbf{0,1422 \text{ m}^2.\text{K/W}}$$

R₃

$$R_3 = R_{argamassa} + R_{cerâmica} + R_{ar} + R_{cerâmica} + R_{ar} + R_{cerâmica} + R_{argamassa}$$

$$R_3 = 0,03/1,15 + 0,01/1,00 + 0,16 + 0,01/1,00 + 0,16 + 0,01/1,00 + 0,03/1,15$$

$$R_3 = \mathbf{0,4022 \text{ m}^2.\text{K/W}}$$

A₁

$$A_1 = 0,01 \times 0,24 + 0,15 \times 0,01 = \mathbf{0,0039 \text{ m}^2}$$

A₂

$$A_2 = (0,015 \times 0,24) \times 2 + (0,01 \times 0,24) \times 2 = \mathbf{0,012 \text{ m}^2}$$

A₃

$$A_3 = (0,03 \times 0,24) \times 3 = \mathbf{0,0216 \text{ m}^2}$$

$$R_t = \frac{A_1 + A_2 + A_3}{\left(\frac{A_1}{R_1}\right) + \left(\frac{A_2}{R_2}\right) + \left(\frac{A_3}{R_3}\right)}$$

$$R_t = \frac{0,0039 + 0,012 + 0,0216}{\left(\frac{0,0039}{0,1304}\right) + \left(\frac{0,012}{0,1422}\right) + \left(\frac{0,0216}{0,4022}\right)}$$

$$R_t = \frac{0,0375}{0,1680}$$

$$\mathbf{R_t = 0,2232 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}}$$

b) RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se}$$

$$R_T = 0,13 + 0,2232 + 0,04$$

$$\mathbf{R_T = 0,3932 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}}$$

c) TRANSMITÂNCIA TÉRMICA

$$U = 1/R_T$$

$$U = 1/0,3932$$

$$\mathbf{U = 2,54 \text{ W/ m}^2 \cdot \text{K}}$$

d) CAPACIDADE TÉRMICA

$$A_a = 0,0039 \text{ m}^2$$

$$CT_a = \sum e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{reb} + (e \cdot c \cdot \rho)_{arg} + (e \cdot c \cdot \rho)_{reb}$$

$$CT_a = 0,03 \times 1,00 \times 2000 + 0,09 \times 1,00 \times 2000 + 0,03 \times 1,00 \times 2000$$

$$\mathbf{CT_a = 300 \text{ kJ/(m}^2 \cdot \text{K)}}$$

$$A_b = 0,012 \text{ m}^2$$

$$CT_b = \sum e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{reb} + (e \cdot c \cdot \rho)_{cer} + (e \cdot c \cdot \rho)_{reb}$$

$$CT_b = 0,03 \times 1,00 \times 2000 + 0,09 \times 0,92 \times 1600 + 0,03 \times 1,00 \times 2000$$

$$CT_b = 252,48 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$A_c = 0,0216 \text{ m}^2$$

$$CT_c = \sum e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e.c.\rho)_{reb} + (e.c.\rho)_{cer} + (e.c.\rho)_{ar} + (e.c.\rho)_{cer} + (e.c.\rho)_{ar} + (e.c.\rho)_{cer} + (e.c.\rho)_{reb}$$

$$CT_c = 0,03 \times 1,00 \times 2000 + 0,01 \times 0,92 \times 1600 + 0 + 0,01 \times 0,92 \times 1600 + 0 + 0,01 \times 0,92 \times 1600 + 0,03 \times 1,00 \times 2000$$

$$CT_c = 164,16 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

e) CAPACIDADE TÉRMICA TOTAL

$$CT = \frac{A_a + A_b + A_c}{\left(\frac{A_a}{CT_a}\right) + \left(\frac{A_b}{CT_b}\right) + \left(\frac{A_c}{CT_c}\right)}$$

$$CT = \frac{0,0039 + 0,012 + 0,0216}{\left(\frac{0,0039}{300}\right) + \left(\frac{0,012}{252,48}\right) + \left(\frac{0,0216}{164,16}\right)}$$

$$CT = 195,2032 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

f) ESPESSURA

$$R_t = R_{reb} + R_{cer} + R_{ar} + R_{cer} + R_{reb}$$

$$0,2232 = 0,03/1,15 + e_{cer}/1,00 + 0,16 + e_{cer}/1,00 + 0,03/1,15$$

$$0,2232 = 0,0522 + 0,16 + 2e_{cer}/1,00$$

$$0,2232 = 0,2122 + 2e_{cer}/1,00$$

$$0,011 = 2e_{cer}/1,00$$

$$0,011 = 2e_{cer}$$

$$e_{cer} = 0,0055 \text{ m}$$

g) DENSIDADE

$$CT = 2 \times (e.c.\rho)_{arg} + 2 \times (e.c.\rho)_{cer}$$

$$195,2032 = 2 \times (0,03 \times 1,00 \times 2000) + 2 \times (0,1042 \times 0,92 \times \rho)$$

$$195,032 = 120 + 0,1917\rho$$

$$75,2032 = 0,1917\rho$$

$$\rho = 392,30 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

CÁLCULO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DA COBERTURA INCLINADA

*telha fibrocimento, laje de 10cm e sem forro.

Informações:

$$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$$

$$R_{si} = 0,17 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$$

$$R_{ar} = 0,21 \text{ (e > 5,0cm)}$$

$$\varepsilon = 0,9$$

$$\lambda_{fibrocimento} = 0,65 \text{ W}/\text{m}^2.\text{K}$$

$$\lambda_{laje} = 1,75 \text{ W}/\text{m}^2.\text{K}$$

$$\rho_{fibrocimento} = 1700 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

$$\rho_{laje} = 2200 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

$$c_{fibrocimento} = 0,84 \text{ KJ}/(\text{Kg}.\text{k})$$

$$c_{laje} = 1,00 \text{ KJ}/(\text{Kg}.\text{k})$$

h) RESISTÊNCIA TÉRMICA (VERÃO)

$$R_t = e_{fib}/\lambda_{fib} + R_{ar} + e_{conc}/\lambda_{conc}$$

$$R_t = 0,006/0,65 + 0,21 + 0,10/1,75$$

$$R_t = 0,2764 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$$

i) RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se}$$

$$R_T = 0,17 + 0,2764 + 0,04$$

$$R_T = 0,4864 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$$

j) TRANSMITÂNCIA TÉRMICA

$$U = 1/R_T$$

$$U = 1/0,4864$$

$$U = 2,06 \text{ W}/\text{m}^2.\text{K}$$

k) CAPACIDADE TÉRMICA

$$CT = e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{fib} + (e \cdot c \cdot \rho)_{ar} + (e \cdot c \cdot \rho)_{laje}$$

$$CT = (0,009 \times 0,84 \times 1700) + 0 + (0,10 \times 1,00 \times 2200)$$

$$CT = 228,59 \text{ kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$$

CÁLCULO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DO PISO

*piso cerâmico

Informações:

$$R_{si} = 0,10 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

$$\lambda_{contrapiso} = 1,75 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$\lambda_{porcelanato} = 1,05 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$\rho_{contrapiso} = 2200 \text{ Kg/m}^3$$

$$\rho_{porcelanato} = 2000 \text{ Kg/m}^3$$

$$c_{contrapiso} = 1,00 \text{ KJ/(Kg.k)}$$

$$c_{porcalanato} = 0,92 \text{ KJ/(Kg.k)}$$

l) RESISTÊNCIA TÉRMICA

$$R_t = e_{cont}/\lambda_{cont} + e_{cer}/\lambda_{cer}$$

$$R_t = 0,05/1,75 + 0,01/1,05$$

$$R_t = 0,0381 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

m) RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL

$$R_T = R_{si} + R_t$$

$$R_T = 0,10 + 0,0381$$

$$R_T = 0,1381 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

n) TRANSMITÂNCIA TÉRMICA

$$U = 1/R_T$$

$$U = 1/0,1381$$

$$U = 7,24 \text{ W/ m}^2.\text{K}$$

o) CAPACIDADE TÉRMICA

$$CT = e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{cont} + (e \cdot c \cdot \rho)_{cer}$$

$$CT = (0,05 \times 1,00 \times 2200) + (0,01 \times 0,92 \times 2000)$$

$$CT = 128,4 \text{ kJ/(m}^2.\text{K)}$$

HAB02

CÁLCULO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DAS PAREDES EXTERNAS

*tijolo cerâmico 6 furos (9x14x24cm) e reboco de 3cm nas faces externas e internas.

Informações:

$$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

$$R_{si} = 0,13 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

$$R_{ar} = 0,16 \text{ (} 2,0 < e \leq 5,0\text{cm)}$$

$$\varepsilon_{branco/bege} = 0,90$$

$$\lambda_{argamassa} = 1,15 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$\lambda_{cerâmica} = 1,00 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$\rho_{argamassa} = 2000 \text{ Kg/m}^3$$

$$\rho_{cerâmica} = 1600 \text{ Kg/m}^3$$

$$c_{argamassa} = 1,00 \text{ KJ/(Kg.k)}$$

$$c_{cerâmica} = 0,92 \text{ KJ/(Kg.k)}$$

a) RESISTÊNCIA TÉRMICA

$$R_1 = R_{argamassa}$$

$$R_2 = R_{argamassa} + R_{cerâmica} + R_{argamassa}$$

$$R_3 = R_{argamassa} + R_{cerâmica} + R_{ar} + R_{cerâmica} + R_{ar} + R_{cerâmica} + R_{argamassa}$$

R₁

$$R_1 = R_{argamassa}$$

$$R_1 = 0,15/1,15$$

$$R_1 = \mathbf{0,1304 \text{ m}^2.\text{K/W}}$$

R₂

$$R_2 = R_{argamassa} + R_{cerâmica} + R_{argamassa}$$

$$R_2 = 0,03/1,15 + 0,09/1,00 + 0,03/1,15$$

$$R_2 = \mathbf{0,1422 \text{ m}^2.\text{K/W}}$$

R₃

$$R_3 = R_{argamassa} + R_{cerâmica} + R_{ar} + R_{cerâmica} + R_{ar} + R_{cerâmica} + R_{argamassa}$$

$$R_3 = 0,03/1,15 + 0,01/1,00 + 0,16 + 0,01/1,00 + 0,16 + 0,01/1,00 + 0,03/1,15$$

$$R_3 = \mathbf{0,4022 \text{ m}^2.\text{K/W}}$$

A₁

$$A_1 = 0,01 \times 0,24 + 0,15 \times 0,01 = \mathbf{0,0039 \text{ m}^2}$$

A₂

$$A_2 = (0,015 \times 0,24) \times 2 + (0,01 \times 0,24) \times 2 = \mathbf{0,012 \text{ m}^2}$$

A₃

$$A_3 = (0,03 \times 0,24) \times 3 = \mathbf{0,0216 \text{ m}^2}$$

$$R_t = \frac{A_1 + A_2 + A_3}{\left(\frac{A_1}{R_1}\right) + \left(\frac{A_2}{R_2}\right) + \left(\frac{A_3}{R_3}\right)}$$

$$R_t = \frac{0,0039 + 0,012 + 0,0216}{\left(\frac{0,0039}{0,1304}\right) + \left(\frac{0,012}{0,1422}\right) + \left(\frac{0,0216}{0,4022}\right)}$$

$$R_t = \frac{0,0375}{0,1680}$$

$$R_t = 0,2232 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

b) RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se}$$

$$R_T = 0,13 + 0,2232 + 0,04$$

$$R_T = 0,3932 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

c) TRANSMITÂNCIA TÉRMICA

$$U = 1/R_T$$

$$U = 1/0,3932$$

$$U = 2,54 \text{ W/ m}^2.\text{K}$$

d) CAPACIDADE TÉRMICA

$$A_a = 0,0039\text{m}^2$$

$$CT_a = \sum e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{reb} + (e \cdot c \cdot \rho)_{arg} + (e \cdot c \cdot \rho)_{reb}$$

$$CT_a = 0,03 \times 1,00 \times 2000 + 0,09 \times 1,00 \times 2000 + 0,03 \times 1,00 \times 2000$$

$$CT_a = 300 \text{ kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$$

$$A_b = 0,012\text{m}^2$$

$$CT_b = \sum e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{reb} + (e \cdot c \cdot \rho)_{cer} + (e \cdot c \cdot \rho)_{reb}$$

$$CT_b = 0,03 \times 1,00 \times 2000 + 0,09 \times 0,92 \times 1600 + 0,03 \times 1,00 \times 2000$$

$$CT_b = 252,48 \text{ kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$$

$$A_c = 0,0216\text{m}^2$$

$$CT_c = \sum e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{reb} + (e \cdot c \cdot \rho)_{cer} + (e \cdot c \cdot \rho)_{ar} + (e \cdot c \cdot \rho)_{cer} + (e \cdot c \cdot \rho)_{ar} + (e \cdot c \cdot \rho)_{cer} + (e \cdot c \cdot \rho)_{reb}$$

$$CT_c = 0,03 \times 1,00 \times 2000 + 0,01 \times 0,92 \times 1600 + 0 + 0,01 \times 0,92 \times 1600 + 0 + 0,01 \times 0,92 \times 1600 + 0,03 \times 1,00 \times 2000$$

$$CT_c = 164,16 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

e) CAPACIDADE TÉRMICA TOTAL

$$CT = \frac{A_a + A_b + A_c}{\left(\frac{A_a}{CT_a}\right) + \left(\frac{A_b}{CT_b}\right) + \left(\frac{A_c}{CT_c}\right)}$$

$$CT = \frac{0,0039 + 0,012 + 0,0216}{\left(\frac{0,0039}{300}\right) + \left(\frac{0,012}{252,48}\right) + \left(\frac{0,0216}{164,16}\right)}$$

$$CT = 195,2032 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

f) ESPESSURA

$$R_t = R_{reb} + R_{cer} + R_{ar} + R_{cer} + R_{reb}$$

$$0,2232 = 0,03/1,15 + e_{cer}/1,00 + 0,16 + e_{cer}/1,00 + 0,03/1,15$$

$$0,2232 = 0,0522 + 0,16 + 2e_{cer}/1,00$$

$$0,2232 = 0,2122 + 2e_{cer}/1,00$$

$$0,011 = 2e_{cer}/1,00$$

$$0,011 = 2e_{cer}$$

$$e_{cer} = 0,0055\text{m}$$

g) DENSIDADE

$$CT = 2 \times (e \cdot c \cdot \rho)_{arg} + 2 \times (e \cdot c \cdot \rho)_{cer}$$

$$195,2032 = 2 \times (0,03 \times 1,00 \times 2000) + 2 \times (0,1042 \times 0,92 \times \rho)$$

$$195,032 = 120 + 0,1917\rho$$

$$75,2032 = 0,1917\rho$$

$$\rho = 392,30 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

CÁLCULO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DA COBERTURA INCLINADA

*telha fibrocimento, laje de 10cm e sem forro.

Informações:

$$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$$

$$R_{si} = 0,17 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$$

$$R_{ar} = 0,21 \text{ (e} > 5,0\text{cm)}$$

$$\varepsilon = 0,9$$

$$\lambda_{fibrocimento} = 0,65 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\lambda_{laje} = 1,75 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\rho_{fibrocimento} = 1700 \text{ Kg/m}^3$$

$$\rho_{laje} = 2200 \text{ Kg/m}^3$$

$$c_{fibrocimento} = 0,84 \text{ KJ/(Kg.k)}$$

$$c_{laje} = 1,00 \text{ KJ/(Kg.k)}$$

h) RESISTÊNCIA TÉRMICA (VERÃO)

$$R_t = e_{fib}/\lambda_{fib} + R_{ar} + e_{conc}/\lambda_{conc}$$

$$R_t = 0,006/0,65 + 0,21 + 0,10/1,75$$

$$R_t = 0,2764 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

i) RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se}$$

$$R_T = 0,17 + 0,2764 + 0,04$$

$$R_T = 0,4864 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

j) TRANSMITÂNCIA TÉRMICA

$$U = 1/R_T$$

$$U = 1/0,4864$$

$$U = 2,06 \text{ W/ m}^2.\text{K}$$

k) CAPACIDADE TÉRMICA

$$CT = e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{fib} + (e \cdot c \cdot \rho)_{ar} + (e \cdot c \cdot \rho)_{laje}$$

$$CT = (0,009 \times 0,84 \times 1700) + 0 + (0,10 \times 1,00 \times 2200)$$

$$CT = 228,59 \text{ kJ/(m}^2.\text{K)}$$

CÁLCULO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DO PISO

*áreas molhadas: piso cerâmico

Informações:

$$R_{si} = 0,10 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

$$\lambda_{contrapiso} = 1,75 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$\lambda_{porcelanato} = 1,05 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$\rho_{contrapiso} = 2200 \text{ Kg/m}^3$$

$$\rho_{porcelanato} = 2000 \text{ Kg/m}^3$$

$$c_{contrapiso} = 1,00 \text{ KJ}/(\text{Kg.k})$$

$$c_{porcalanato} = 0,92 \text{ KJ}/(\text{Kg.k})$$

l) RESISTÊNCIA TÉRMICA

$$R_t = e_{cont}/\lambda_{cont} + e_{cer}/\lambda_{cer}$$

$$R_t = 0,05/1,75 + 0,01/1,05$$

$$R_t = 0,0381 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$$

m) RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL

$$R_T = R_{si} + R_t$$

$$R_T = 0,10 + 0,0381$$

$$R_T = 0,1381 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$$

n) TRANSMITÂNCIA TÉRMICA

$$U = 1/R_T$$

$$U = 1/0,1381$$

$$U = 7,24 \text{ W}/\text{m}^2.\text{K}$$

o) CAPACIDADE TÉRMICA

$$CT = e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{cont} + (e \cdot c \cdot \rho)_{cer}$$

$$CT = (0,05 \times 1,00 \times 2200) + (0,01 \times 0,92 \times 2000)$$

$$CT = 128,4 \text{ kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$$

*áreas secas: piso flutuante

Informações:

$$R_{si} = 0,10 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$$

$$\lambda_{contrapiso} = 1,75 \text{ W}/\text{m}^2.\text{K}$$

$$\lambda_{flutuante} = 0,12 \text{ W}/\text{m}^2.\text{K}$$

$$\rho_{contrapiso} = 2200 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

$$\rho_{flutuante} = 550 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

$$c_{contrapiso} = 1,00 \text{ KJ}/(\text{Kg.k})$$

$$c_{flutuante} = 2,30 \text{ KJ}/(\text{Kg.k})$$

p) RESISTÊNCIA TÉRMICA

$$R_t = e_{cont}/\lambda_{cont} + e_{flut}/\lambda_{flut}$$

$$R_t = 0,05/1,75 + 0,008/0,12$$

$$R_t = 0,0952 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

q) RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL

$$R_T = R_{si} + R_t$$

$$R_T = 0,10 + 0,0952$$

$$R_T = 0,1952 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

r) TRANSMITÂNCIA TÉRMICA

$$U = 1/R_T$$

$$U = 1/0,1952$$

$$U = 5,12 \text{ W/ m}^2.\text{K}$$

s) CAPACIDADE TÉRMICA

$$CT = e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{cont} + (e \cdot c \cdot \rho)_{flut}$$

$$CT = (0,05 \times 1,00 \times 2200) + (0,008 \times 0,12 \times 550)$$

$$CT = 110,528 \text{ kJ/(m}^2.\text{K)}$$

HAB03**CÁLCULO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DAS PAREDES EXTERNAS**

*tijolo cerâmico 6 furos (9x14x24cm) e reboco de 3cm nas faces externas e internas.

Informações:

$$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

$$R_{si} = 0,13 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

$$R_{ar} = 0,16 \text{ (} 2,0 < e \leq 5,0\text{cm)}$$

$$\varepsilon_{branco/bege} = 0,90$$

$$\lambda_{argamassa} = 1,15 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$\lambda_{cerâmica} = 1,00 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$\rho_{argamassa} = 2000 \text{ Kg/m}^3$$

$$\rho_{cerâmica} = 1600 \text{ Kg/m}^3$$

$$c_{argamassa} = 1,00 \text{ KJ/(Kg.k)}$$

$$c_{cerâmica} = 0,92 \text{ KJ/(Kg.k)}$$

a) RESISTÊNCIA TÉRMICA

$$R_1 = R_{argamassa}$$

$$R_2 = R_{argamassa} + R_{cerâmica} + R_{argamassa}$$

$$R_3 = R_{argamassa} + R_{cerâmica} + R_{ar} + R_{cerâmica} + R_{ar} + R_{cerâmica} + R_{argamassa}$$

R₁

$$R_1 = R_{argamassa}$$

$$R_1 = 0,15/1,15$$

$$R_1 = \mathbf{0,1304 \text{ m}^2.K/W}$$

R₂

$$R_2 = R_{argamassa} + R_{cerâmica} + R_{argamassa}$$

$$R_2 = 0,03/1,15 + 0,09/1,00 + 0,03/1,15$$

$$R_2 = \mathbf{0,1422 \text{ m}^2.K/W}$$

R₃

$$R_3 = R_{argamassa} + R_{cerâmica} + R_{ar} + R_{cerâmica} + R_{ar} + R_{cerâmica} + R_{argamassa}$$

$$R_3 = 0,03/1,15 + 0,01/1,00 + 0,16 + 0,01/1,00 + 0,16 + 0,01/1,00 + 0,03/1,15$$

$$R_3 = \mathbf{0,4022 \text{ m}^2.K/W}$$

A₁

$$A_1 = 0,01 \times 0,24 + 0,15 \times 0,01 = \mathbf{0,0039 \text{ m}^2}$$

A₂

$$A_2 = (0,015 \times 0,24) \times 2 + (0,01 \times 0,24) \times 2 = \mathbf{0,012 \text{ m}^2}$$

A₃

$$A_3 = (0,03 \times 0,24) \times 3 = \mathbf{0,0216 \text{ m}^2}$$

$$Rt = \frac{A_1 + A_2 + A_3}{\left(\frac{A_1}{R_1}\right) + \left(\frac{A_2}{R_2}\right) + \left(\frac{A_3}{R_3}\right)}$$

$$Rt = \frac{0,0039 + 0,012 + 0,0216}{\left(\frac{0,0039}{0,1304}\right) + \left(\frac{0,012}{0,1422}\right) + \left(\frac{0,0216}{0,4022}\right)}$$

$$Rt = \frac{0,0375}{0,1680}$$

$$Rt = \mathbf{0,2232 \text{ m}^2.K/W}$$

b) RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL

$$RT = R_{si} + R_t + R_{se}$$

$$RT = 0,13 + 0,2232 + 0,04$$

$$RT = 0,3932 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

c) TRANSMITÂNCIA TÉRMICA

$$U = 1/RT$$

$$U = 1/0,3932$$

$$U = 2,54 \text{ W/ m}^2 \cdot \text{K}$$

d) CAPACIDADE TÉRMICA

$$A_a = 0,0039 \text{ m}^2$$

$$CT_a = \sum e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{reb} + (e \cdot c \cdot \rho)_{arg} + (e \cdot c \cdot \rho)_{reb}$$

$$CT_a = 0,03 \times 1,00 \times 2000 + 0,09 \times 1,00 \times 2000 + 0,03 \times 1,00 \times 2000$$

$$CT_a = 300 \text{ kJ/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

$$A_b = 0,012 \text{ m}^2$$

$$CT_b = \sum e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{reb} + (e \cdot c \cdot \rho)_{cer} + (e \cdot c \cdot \rho)_{reb}$$

$$CT_b = 0,03 \times 1,00 \times 2000 + 0,09 \times 0,92 \times 1600 + 0,03 \times 1,00 \times 2000$$

$$CT_b = 252,48 \text{ kJ/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

$$A_c = 0,0216 \text{ m}^2$$

$$CT_c = \sum e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{reb} + (e \cdot c \cdot \rho)_{cer} + (e \cdot c \cdot \rho)_{ar} + (e \cdot c \cdot \rho)_{cer} + (e \cdot c \cdot \rho)_{ar} + (e \cdot c \cdot \rho)_{cer} + (e \cdot c \cdot \rho)_{reb}$$

$$CT_c = 0,03 \times 1,00 \times 2000 + 0,01 \times 0,92 \times 1600 + 0 + 0,01 \times 0,92 \times 1600 + 0 + 0,01 \times 0,92 \times 1600 + 0,03 \times 1,00 \times 2000$$

$$CT_c = 164,16 \text{ kJ/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

e) CAPACIDADE TÉRMICA TOTAL

$$CT = \frac{A_a + A_b + A_c}{\left(\frac{A_a}{CT_a}\right) + \left(\frac{A_b}{CT_b}\right) + \left(\frac{A_c}{CT_c}\right)}$$

$$CT = \frac{0,0039 + 0,012 + 0,0216}{\left(\frac{0,0039}{300}\right) + \left(\frac{0,012}{252,48}\right) + \left(\frac{0,0216}{164,16}\right)}$$

$$CT = 195,2032 \text{ kJ/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

f) ESPESSURA

$$R_t = R_{reb} + R_{cer} + R_{ar} + R_{cer} + R_{reb}$$

$$0,2232 = 0,03/1,15 + e_{cer}/1,00 + 0,16 + e_{cer}/1,00 + 0,03/1,15$$

$$0,2232 = 0,0522 + 0,16 + 2e_{cer}/1,00$$

$$0,2232 = 0,2122 + 2e_{cer}/1,00$$

$$0,011 = 2e_{cer}/1,00$$

$$0,011 = 2e_{cer}$$

$$e_{cer} = 0,0055\text{m}$$

g) DENSIDADE

$$CT = 2 \times (e.c.\rho)_{arg} + 2 \times (e.c.\rho)_{cer}$$

$$195,2032 = 2 \times (0,03 \times 1,00 \times 2000) + 2 \times (0,1042 \times 0,92 \times \rho)$$

$$195,032 = 120 + 0,1917\rho$$

$$75,2032 = 0,1917\rho$$

$$\rho = 392,30 \text{ Kg/m}^3$$

CÁLCULO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DA COBERTURA INCLINADA

*telha fibrocimento, laje de 10cm e sem forro.

Informações:

$$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

$$R_{si} = 0,17 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

$$R_{ar} = 0,21 \text{ (e > 5,0cm)}$$

$$\varepsilon = 0,9$$

$$\lambda_{fibrocimento} = 0,65 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$\lambda_{laje} = 1,75 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$\rho_{fibrocimento} = 1700 \text{ Kg/m}^3$$

$$\rho_{laje} = 2200 \text{ Kg/m}^3$$

$$c_{fibrocimento} = 0,84 \text{ KJ/(Kg.k)}$$

$$c_{laje} = 1,00 \text{ KJ/(Kg.k)}$$

h) RESISTÊNCIA TÉRMICA (VERÃO)

$$R_t = e_{fib}/\lambda_{fib} + R_{ar} + e_{conc}/\lambda_{conc}$$

$$R_t = 0,006/0,65 + 0,21 + 0,10/1,75$$

$$R_t = 0,2764 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

i) RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL

$$RT = R_{si} + R_t + R_{se}$$

$$RT = 0,17 + 0,2764 + 0,04$$

$$RT = 0,4864 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

j) TRANSMITÂNCIA TÉRMICA

$$U = 1/RT$$

$$U = 1/0,4864$$

$$U = 2,06 \text{ W/ m}^2.\text{K}$$

k) CAPACIDADE TÉRMICA

$$CT = e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{fib} + (e \cdot c \cdot \rho)_{ar} + (e \cdot c \cdot \rho)_{laje}$$

$$CT = (0,009 \times 0,84 \times 1700) + 0 + (0,10 \times 1,00 \times 2200)$$

$$CT = 228,59 \text{ kJ/(m}^2.\text{K)}$$

CÁLCULO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DO PISO

*piso cerâmico

Informações:

$$R_{si} = 0,10 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

$$\lambda_{contrapiso} = 1,75 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$\lambda_{porcelanato} = 1,05 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$\rho_{contrapiso} = 2200 \text{ Kg/m}^3$$

$$\rho_{porcelanato} = 2000 \text{ Kg/m}^3$$

$$c_{contrapiso} = 1,00 \text{ KJ/(Kg.k)}$$

$$c_{porcalanato} = 0,92 \text{ KJ/(Kg.k)}$$

l) RESISTÊNCIA TÉRMICA

$$R_t = e_{cont}/\lambda_{cont} + e_{cer}/\lambda_{cer}$$

$$R_t = 0,05/1,75 + 0,01/1,05$$

$$R_t = 0,0381 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

m) RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL

$$RT = R_{si} + R_t$$

$$RT = 0,10 + 0,0381$$

$$RT = 0,1381 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

n) TRANSMITÂNCIA TÉRMICA

$$U = 1/RT$$

$$U = 1/0,1381$$

$$U = 7,24 \text{ W/ m}^2.\text{K}$$

o) CAPACIDADE TÉRMICA

$$CT = e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{cont} + (e \cdot c \cdot \rho)_{cer}$$

$$CT = (0,05 \times 1,00 \times 2200) + (0,01 \times 0,92 \times 2000)$$

$$CT = 128,4 \text{ kJ/(m}^2.\text{K)}$$

HAB04

CÁLCULO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DAS PAREDES EXTERNAS

*tijolo cerâmico 9 furos (11,5x19x24cm) e reboco de 3cm nas faces externas e internas.

Informações:

$$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

$$R_{si} = 0,13 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

$$R_{ar} = 0,14 \text{ (1,0} \leq e \leq 2,0\text{cm)}$$

$$\varepsilon_{cinza\ escura} = 0,90$$

$$\lambda_{argamassa} = 1,15 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$\lambda_{cerâmica} = 1,00 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$\rho_{argamassa} = 2000 \text{ Kg/m}^3$$

$$\rho_{cerâmica} = 1600 \text{ Kg/m}^3$$

$$c_{argamassa} = 1,00 \text{ KJ/(Kg.k)}$$

$$c_{cerâmica} = 0,92 \text{ KJ/(Kg.k)}$$

a) RESISTÊNCIA TÉRMICA

$$R_1 = R_{argamassa}$$

$$R_2 = R_{argamassa} + R_{cerâmica} + R_{argamassa}$$

$$R_3 = R_{argamassa} + R_{cerâmica} + R_{ar} + R_{cerâmica} + R_{ar} + R_{cerâmica} + R_{ar} + R_{cerâmica} + R_{argamassa}$$

R₁

$$R_1 = R_{argamassa}$$

$$R_1 = 0,15/1,15$$

$$R_1 = \mathbf{0,1304 \text{ m}^2.K/W}$$

R₂

$$R_2 = R_{argamassa} + R_{cerâmica} + R_{argamassa}$$

$$R_2 = 0,02/1,15 + 0,115/1,00 + 0,015/1,15$$

$$R_2 = \mathbf{0,1454 \text{ m}^2.K/W}$$

R₃

$$R_3 = R_{argamassa} + R_{cerâmica} + R_{ar} + R_{cerâmica} + R_{ar} + R_{cerâmica} + R_{argamassa}$$

$$R_3 = 0,02/1,15 + 0,015/1,00 + 0,14 + 0,015/1,00 + 0,14 + 0,01/1,00 + 0,14 + 0,015/1,00 + 0,015/1,15$$

$$R_3 = \mathbf{0,5054 \text{ m}^2.K/W}$$

A₁

$$A_1 = 0,01 \times 0,24 + 0,20 \times 0,01 = \mathbf{0,0044 \text{ m}^2}$$

A₂

$$A_2 = (0,01 \times 0,24) \times 4 = \mathbf{0,0096 \text{ m}^2}$$

A₃

$$A_3 = (0,05 \times 0,24) \times 3 = \mathbf{0,036 \text{ m}^2}$$

$$Rt = \frac{A_1 + A_2 + A_3}{\left(\frac{A_1}{R_1}\right) + \left(\frac{A_2}{R_2}\right) + \left(\frac{A_3}{R_3}\right)}$$

$$Rt = \frac{0,0044 + 0,096 + 0,036}{\left(\frac{0,0044}{0,1304}\right) + \left(\frac{0,0096}{0,1454}\right) + \left(\frac{0,036}{0,5054}\right)}$$

$$Rt = \mathbf{0,2924 \text{ m}^2.K/W}$$

b) RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL

$$RT = R_{si} + Rt + R_{se}$$

$$RT = 0,13 + 0,2924 + 0,04$$

$$RT = \mathbf{0,4624 \text{ m}^2.K/W}$$

c) TRANSMITÂNCIA TÉRMICA

$$U = 1/RT$$

$$U = 1/0,4624$$

$$U = 2,16 \text{ W/ m}^2.\text{K}$$

d) CAPACIDADE TÉRMICA

$$A_a = 0,0044\text{m}^2$$

$$CT_a = \sum e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{reb} + (e \cdot c \cdot \rho)_{arg} + (e \cdot c \cdot \rho)_{reb}$$

$$CT_a = 0,02 \times 1,00 \times 2000 + 0,115 \times 1,00 \times 2000 + 0,015 \times 1,00 \times 2000$$

$$CT_a = 300 \text{ kJ/(m}^2.\text{K)}$$

$$A_b = 0,0096\text{m}^2$$

$$CT_b = \sum e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{reb} + (e \cdot c \cdot \rho)_{cer} + (e \cdot c \cdot \rho)_{reb}$$

$$CT_b = 0,02 \times 1,00 \times 2000 + 0,115 \times 0,92 \times 1600 + 0,015 \times 1,00 \times 2000$$

$$CT_b = 239,28 \text{ kJ/(m}^2.\text{K)}$$

$$A_c = 0,0216\text{m}^2$$

$$CT_c = \sum e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{reb} + (e \cdot c \cdot \rho)_{cer} + (e \cdot c \cdot \rho)_{ar} + (e \cdot c \cdot \rho)_{cer} + (e \cdot c \cdot \rho)_{ar} + (e \cdot c \cdot \rho)_{cer} + (e \cdot c \cdot \rho)_{ar} + (e \cdot c \cdot \rho)_{cer} + (e \cdot c \cdot \rho)_{reb}$$

$$CT_c = 0,02 \times 1,00 \times 2000 + 0,015 \times 0,92 \times 1600 + 0 + 0,015 \times 0,92 \times 1600 + 0 + 0,01 \times 0,92 \times 1600 + 0,015 \times 0,92 \times 1600 + 0,015 \times 1,00 \times 2000$$

$$CT_c = 150,96 \text{ kJ/(m}^2.\text{K)}$$

e) CAPACIDADE TÉRMICA TOTAL

$$CT = \frac{A_a + A_b + A_c}{\left(\frac{A_a}{CT_a}\right) + \left(\frac{A_b}{CT_b}\right) + \left(\frac{A_c}{CT_c}\right)}$$

$$CT = \frac{0,0044 + 0,0096 + 0,036}{\left(\frac{0,0044}{300}\right) + \left(\frac{0,0096}{239,28}\right) + \left(\frac{0,036}{150,96}\right)}$$

$$CT = 171,03 \text{ kJ/(m}^2.\text{K)}$$

f) ESPESSURA

$$R_t = R_{reb} + R_{cer} + R_{ar} + R_{cer} + R_{reb}$$

$$0,2924 = 0,02/1,15 + e_{cer}/1,00 + 0,14 + e_{cer}/1,00 + 0,015/1,15$$

$$0,2924 = 0,0304 + 0,14 + 2e_{cer}/1,00$$

$$0,2924 = 0,1704 + 2e_{cer}/1,00$$

$$0,122 = 2e_{cer}/1,00$$

$$0,122 = 2e_{cer}$$

$$e_{cer} = 0,061\text{m}$$

g) DENSIDADE

$$CT = 2 \times (e.c.\rho)_{argext} + 2 \times (e.c.\rho)_{cer} + (e.c.\rho)_{argint}$$

$$171,03 = 0,02 \times 1,00 \times 2000 + 2 \times (0,1689 \times 0,92 \times \rho) + 0,015 \times 1,00 \times 2000$$

$$171,03 = 40 + 0,310776\rho + 30$$

$$171,03 = 70 + 0,310776\rho$$

$$171,03 = 0,310776\rho$$

$$\rho = 325,09 \text{ Kg/m}^3$$

CÁLCULO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DA COBERTURA INCLINADA

*telha fibrocimento e forro PVC.

Informações:

$$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

$$R_{si} = 0,17 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

$$R_{ar} = 0,21 \text{ (e > 5,0cm)}$$

$$\varepsilon = 0,9$$

$$\lambda_{fibrocimento} = 0,65 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$\lambda_{PVC} = 0,20 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$\rho_{fibrocimento} = 1700 \text{ Kg/m}^3$$

$$\rho_{PVC} = 1200 \text{ Kg/m}^3$$

$$c_{fibrocimento} = 0,84 \text{ KJ/(Kg.k)}$$

$$c_{PVC} = 0,90 \text{ KJ/(Kg.k)}$$

h) RESISTÊNCIA TÉRMICA (VERÃO)

$$R_t = e_{fib}/\lambda_{fib} + R_{ar} + e_{PVC}/\lambda_{PVC}$$

$$R_t = 0,006/0,65 + 0,21 + 0,01/0,20$$

$$R_t = 0,2692 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

i) RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL

$$RT = R_{si} + R_t + R_{se}$$

$$RT = 0,17 + 0,2692 + 0,04$$

$$RT = 0,4792 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

j) TRANSMITÂNCIA TÉRMICA

$$U = 1/RT$$

$$U = 1/0,4792$$

$$U = 2,09 \text{ W/ m}^2.\text{K}$$

k) CAPACIDADE TÉRMICA

$$CT = e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{fib} + (e \cdot c \cdot \rho)_{ar} + (e \cdot c \cdot \rho)_{PVC}$$

$$CT = (0,006 \times 0,84 \times 1700) + 0 + (0,01 \times 0,90 \times 1200)$$

$$CT = 19,368 \text{ kJ/(m}^2.\text{K)}$$

CÁLCULO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DO PISO

*piso cerâmico

Informações:

$$R_{si} = 0,10 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

$$\lambda_{contrapiso} = 1,75 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$\lambda_{porcelanato} = 1,05 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$\rho_{contrapiso} = 2200 \text{ Kg/m}^3$$

$$\rho_{porcelanato} = 2000 \text{ Kg/m}^3$$

$$c_{contrapiso} = 1,00 \text{ KJ/(Kg.k)}$$

$$c_{porcalanato} = 0,92 \text{ KJ/(Kg.k)}$$

l) RESISTÊNCIA TÉRMICA

$$R_t = e_{cont}/\lambda_{cont} + e_{cer}/\lambda_{cer}$$

$$R_t = 0,05/1,75 + 0,01/1,05$$

$$R_t = 0,0381 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

m) RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL

$$RT = R_{si} + R_t$$

$$RT = 0,10 + 0,0381$$

$$RT = 0,1381 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

n) TRANSMITÂNCIA TÉRMICA

$$U = 1/RT$$

$$U = 1/0,1381$$

$$U = 7,24 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$$

o) CAPACIDADE TÉRMICA

$$CT = e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{cont} + (e \cdot c \cdot \rho)_{cer}$$

$$CT = (0,05 \times 1,00 \times 2200) + (0,01 \times 0,92 \times 2000)$$

$$CT = 128,4 \text{ kJ/(m}^2\cdot\text{K)}$$

HAB05

CÁLCULO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DAS PAREDES EXTERNAS

*tijolo cerâmico 10 furos (9x19x29cm) e reboco de 3cm nas faces externas e internas.

Informações:

$$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$$

$$R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$$

$$R_{ar} = 0,16 \text{ (} 2,0 < e \leq 5,0\text{cm)}$$

$$\varepsilon_{cinza\ escura} = 0,90$$

$$\lambda_{argamassa} = 1,15 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$$

$$\lambda_{cerâmica} = 1,00 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$$

$$\rho_{argamassa} = 2000 \text{ Kg/m}^3$$

$$\rho_{cerâmica} = 1600 \text{ Kg/m}^3$$

$$c_{argamassa} = 1,00 \text{ KJ/(Kg.k)}$$

$$c_{cerâmica} = 0,92 \text{ KJ/(Kg.k)}$$

a) RESISTÊNCIA TÉRMICA

$$R_1 = R_{argamassa}$$

$$R_2 = R_{argamassa} + R_{cerâmica} + R_{argamassa}$$

$$R_3 = R_{argamassa} + R_{cerâmica} + R_{ar} + R_{cerâmica} + R_{ar} + R_{cerâmica} + R_{argamassa}$$

R1

$$R_1 = R_{argamassa}$$

$$R_1 = 0,15/1,15$$

$$R_1 = 0,1304 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$$

$$R_2$$

$$R_2 = R_{argamassa} + R_{cerâmica} + R_{argamassa}$$

$$R_2 = 0,03/1,15 + 0,09/1,00 + 0,03/1,15$$

$$R_2 = \mathbf{0,1422 \text{ m}^2.K/W}$$

$$R_3$$

$$R_3 = R_{argamassa} + R_{cerâmica} + R_{ar} + R_{cerâmica} + R_{ar} + R_{cerâmica} + R_{argamassa}$$

$$R_3 = 0,03/1,15 + 0,01/1,00 + 0,16 + 0,01/1,00 + 0,16 + 0,01/1,00 + 0,03/1,15$$

$$R_3 = \mathbf{0,4022 \text{ m}^2.K/W}$$

$$A_1$$

$$A_1 = 0,01 \times 0,29 + 0,19 \times 0,01 = \mathbf{0,0048 \text{ m}^2}$$

$$A_2$$

$$A_2 = (0,015 \times 0,29) \times 6 = \mathbf{0,0261 \text{ m}^2}$$

$$A_3$$

$$A_3 = (0,02 \times 0,29) \times 5 = \mathbf{0,029 \text{ m}^2}$$

$$R_t = \frac{A_1 + A_2 + A_3}{\left(\frac{A_1}{R_1}\right) + \left(\frac{A_2}{R_2}\right) + \left(\frac{A_3}{R_3}\right)}$$

$$R_t = \frac{0,0048 + 0,0261 + 0,029}{\left(\frac{0,0048}{0,1304}\right) + \left(\frac{0,0261}{0,1454}\right) + \left(\frac{0,029}{0,5054}\right)}$$

$$R_t = \mathbf{0,2925 \text{ m}^2.K/W}$$

b) RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL

$$RT = R_{si} + R_t + R_{se}$$

$$RT = 0,13 + 0,2925 + 0,04$$

$$RT = \mathbf{0,4625 \text{ m}^2.K/W}$$

c) TRANSMITÂNCIA TÉRMICA

$$U = 1/RT$$

$$U = 1/0,4625$$

$$U = \mathbf{2,16 \text{ W/ m}^2.K}$$

d) CAPACIDADE TÉRMICA

$$A_a = 0,0048 \text{ m}^2$$

$$CT_a = \sum e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{reb} + (e \cdot c \cdot \rho)_{arg} + (e \cdot c \cdot \rho)_{reb}$$

$$CT_a = 0,03 \times 1,00 \times 2000 + 0,09 \times 1,00 \times 2000 + 0,03 \times 1,00 \times 2000$$

$$CT_a = 300 \text{ kJ/(m}^2\cdot\text{K)}$$

$$A_b = 0,0261\text{m}^2$$

$$CT_b = \sum e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{reb} + (e \cdot c \cdot \rho)_{cer} + (e \cdot c \cdot \rho)_{reb}$$

$$CT_b = 0,03 \times 1,00 \times 2000 + 0,09 \times 0,92 \times 1600 + 0,03 \times 1,00 \times 2000$$

$$CT_b = 252,48 \text{ kJ/(m}^2\cdot\text{K)}$$

$$A_c = 0,029\text{m}^2$$

$$CT_c = \sum e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{reb} + (e \cdot c \cdot \rho)_{cer} + (e \cdot c \cdot \rho)_{ar} + (e \cdot c \cdot \rho)_{cer} + (e \cdot c \cdot \rho)_{ar} + (e \cdot c \cdot \rho)_{cer} + (e \cdot c \cdot \rho)_{reb}$$

$$CT_c = 0,03 \times 1,00 \times 2000 + 0,01 \times 0,92 \times 1600 + 0 + 0,01 \times 0,92 \times 1600 + 0 + 0,01 \times 0,92 \times 1600 + 0,03 \times 1,00 \times 2000$$

$$CT_c = 164,16 \text{ kJ/(m}^2\cdot\text{K)}$$

e) CAPACIDADE TÉRMICA TOTAL

$$CT = \frac{A_a + A_b + A_c}{\left(\frac{A_a}{CT_a}\right) + \left(\frac{A_b}{CT_b}\right) + \left(\frac{A_c}{CT_c}\right)}$$

$$CT = \frac{0,004 + 0,00261 + 0,029}{\left(\frac{0,004}{300}\right) + \left(\frac{0,0261}{252,48}\right) + \left(\frac{0,029}{164,16}\right)}$$

$$CT = 201,46 \text{ kJ/(m}^2\cdot\text{K)}$$

f) ESPESSURA

$$R_t = R_{reb} + R_{cer} + R_{ar} + R_{cer} + R_{reb}$$

$$0,2925 = 0,03/1,15 + e_{cer}/1,00 + 0,16 + e_{cer}/1,00 + 0,03/1,15$$

$$0,2925 = 0,2122 + 2e_{cer}/1,00$$

$$0,0803 = 2e_{cer}/1,00$$

$$0,0803 = 2e_{cer}$$

$$e_{cer} = 0,04\text{m}$$

g) DENSIDADE

$$CT = 2 \times (e \cdot c \cdot \rho)_{argext} + 2 \times (e \cdot c \cdot \rho)_{cer} + (e \cdot c \cdot \rho)_{argint}$$

$$201,46 = 2 \times (0,03 \times 1,00 \times 2000) + 2 \times (0,083 \times 0,92 \times \rho)$$

$$201,46 = 120 + 0,15272\rho$$

$$81,46 = 0,15272\rho$$

$$\rho = 533,39 \text{ Kg/m}^3$$

CÁLCULO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DA COBERTURA INCLINADA

*telha cerâmica, laje de 8cm e sem forro.

Informações:

$$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$$

$$R_{si} = 0,17 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$$

$$R_{ar} = 0,21 \text{ (e > 5,0cm)}$$

$$\varepsilon = 0,9$$

$$\lambda_{cerâmica} = 0,70 \text{ W}/\text{m}^2.\text{K}$$

$$\lambda_{laje} = 1,75 \text{ W}/\text{m}^2.\text{K}$$

$$\rho_{cerâmica} = 1200 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

$$\rho_{laje} = 2200 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

$$c_{cerâmica} = 0,92 \text{ KJ}/(\text{Kg}.\text{k})$$

$$c_{laje} = 1,00 \text{ KJ}/(\text{Kg}.\text{k})$$

h) RESISTÊNCIA TÉRMICA (VERÃO)

$$R_t = e_{cer}/\lambda_{cer} + R_{ar} + e_{conc}/\lambda_{conc}$$

$$R_t = 0,015/0,70 + 0,21 + 0,08/1,75$$

$$R_t = 0,2771 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$$

i) RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se}$$

$$R_T = 0,17 + 0,2771 + 0,04$$

$$R_T = 0,4871 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$$

j) TRANSMITÂNCIA TÉRMICA

$$U = 1/R_T$$

$$U = 1/0,4871$$

$$U = 2,05 \text{ W}/\text{m}^2.\text{K}$$

k) CAPACIDADE TÉRMICA

$$CT = e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{cer} + (e \cdot c \cdot \rho)_{ar} + (e \cdot c \cdot \rho)_{laje}$$

$$CT = (0,015 \times 0,92 \times 1200) + 0 + (0,08 \times 1,00 \times 2200)$$

$$CT = 192,56 \text{ kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$$

CÁLCULO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DO PISO

*piso cerâmico

Informações:

$$R_{si} = 0,10 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$$

$$\lambda_{contrapiso} = 1,75 \text{ W}/\text{m}^2.\text{K}$$

$$\lambda_{porcelanato} = 1,05 \text{ W}/\text{m}^2.\text{K}$$

$$\rho_{contrapiso} = 2200 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

$$\rho_{porcelanato} = 2000 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

$$c_{contrapiso} = 1,00 \text{ KJ}/(\text{Kg}.\text{k})$$

$$c_{porcalanato} = 0,92 \text{ KJ}/(\text{Kg}.\text{k})$$

l) RESISTÊNCIA TÉRMICA

$$R_t = e_{cont}/\lambda_{cont} + e_{cer}/\lambda_{cer}$$

$$R_t = 0,05/1,75 + 0,01/1,05$$

$$R_t = 0,0381 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$$

m) RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL

$$R_T = R_{si} + R_t$$

$$R_T = 0,10 + 0,0381$$

$$R_T = 0,1381 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$$

n) TRANSMITÂNCIA TÉRMICA

$$U = 1/R_T$$

$$U = 1/0,1381$$

$$U = 7,24 \text{ W}/\text{m}^2.\text{K}$$

o) CAPACIDADE TÉRMICA

$$C_T = e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{cont} + (e \cdot c \cdot \rho)_{cer}$$

$$C_T = (0,05 \times 1,00 \times 2200) + (0,01 \times 0,92 \times 2000)$$

$$C_T = 128,4 \text{ kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$$

HAB06**CÁLCULO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DAS PAREDES EXTERNAS**

*tijolo cerâmico 6 furos (9x14x24cm) e reboco de 3cm nas faces externas e internas.

Informações:

$$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

$$R_{si} = 0,13 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

$$R_{ar} = 0,16 \text{ (} 2,0 < e \leq 5,0\text{cm)}$$

$$\varepsilon_{branco/bege} = 0,90$$

$$\lambda_{argamassa} = 1,15 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$\lambda_{cerâmica} = 1,00 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$\rho_{argamassa} = 2000 \text{ Kg/m}^3$$

$$\rho_{cerâmica} = 1600 \text{ Kg/m}^3$$

$$c_{argamassa} = 1,00 \text{ KJ/(Kg.k)}$$

$$c_{cerâmica} = 0,92 \text{ KJ/(Kg.k)}$$

a) RESISTÊNCIA TÉRMICA

$$R_1 = R_{argamassa}$$

$$R_2 = R_{argamassa} + R_{cerâmica} + R_{argamassa}$$

$$R_3 = R_{argamassa} + R_{cerâmica} + R_{ar} + R_{cerâmica} + R_{ar} + R_{cerâmica} + R_{argamassa}$$

R₁

$$R_1 = R_{argamassa}$$

$$R_1 = 0,03/1,15$$

$$R_1 = \mathbf{0,1304 \text{ m}^2.\text{K/W}}$$

R₂

$$R_2 = R_{argamassa} + R_{cerâmica} + R_{argamassa}$$

$$R_2 = 0,03/1,15 + 0,09/1,00 + 0,03/1,15$$

$$R_2 = \mathbf{0,1422 \text{ m}^2.\text{K/W}}$$

R₃

$$R_3 = R_{argamassa} + R_{cerâmica} + R_{ar} + R_{cerâmica} + R_{ar} + R_{cerâmica} + R_{argamassa}$$

$$R_3 = 0,03/1,15 + 0,01/1,00 + 0,16 + 0,01/1,00 + 0,16 + 0,01/1,00 + 0,03/1,15$$

$$R_3 = \mathbf{0,4022 \text{ m}^2.\text{K/W}}$$

A₁

$$A_1 = 0,01 \times 0,24 + 0,15 \times 0,01 = \mathbf{0,0039 \text{ m}^2}$$

A₂

$$A_2 = (0,015 \times 0,24) \times 2 + (0,01 \times 0,24) \times 2 = \mathbf{0,012 \text{ m}^2}$$

A₃

$$A_3 = (0,03 \times 0,24) \times 3 = \mathbf{0,0216 \text{ m}^2}$$

$$R_t = \frac{A_1 + A_2 + A_3}{\left(\frac{A_1}{R_1}\right) + \left(\frac{A_2}{R_2}\right) + \left(\frac{A_3}{R_3}\right)}$$

$$R_t = \frac{0,0039 + 0,012 + 0,0216}{\left(\frac{0,0039}{0,1304}\right) + \left(\frac{0,012}{0,1422}\right) + \left(\frac{0,0216}{0,4022}\right)}$$

$$R_t = \frac{0,0375}{0,1680}$$

$$\mathbf{R_t = 0,2232 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}}$$

b) RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL

$$RT = R_{si} + R_t + R_{se}$$

$$RT = 0,13 + 0,2232 + 0,04$$

$$\mathbf{RT = 0,3932 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}}$$

c) TRANSMITÂNCIA TÉRMICA

$$U = 1/RT$$

$$U = 1/0,3932$$

$$\mathbf{U = 2,54 \text{ W/ m}^2 \cdot \text{K}}$$

d) CAPACIDADE TÉRMICA

$$A_a = 0,0039 \text{ m}^2$$

$$CT_a = \sum e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{reb} + (e \cdot c \cdot \rho)_{arg} + (e \cdot c \cdot \rho)_{reb}$$

$$CT_a = 0,03 \times 1,00 \times 2000 + 0,09 \times 1,00 \times 2000 + 0,03 \times 1,00 \times 2000$$

$$\mathbf{CT_a = 300 \text{ kJ/(m}^2 \cdot \text{K)}}$$

$$A_b = 0,012 \text{ m}^2$$

$$CT_b = \sum e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{reb} + (e \cdot c \cdot \rho)_{cer} + (e \cdot c \cdot \rho)_{reb}$$

$$CT_b = 0,03 \times 1,00 \times 2000 + 0,09 \times 0,92 \times 1600 + 0,03 \times 1,00 \times 2000$$

$$\mathbf{CT_b = 252,48 \text{ kJ/(m}^2 \cdot \text{K)}}$$

$$A_c = 0,0216\text{m}^2$$

$$CT_c = \sum e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{reb} + (e \cdot c \cdot \rho)_{cer} + (e \cdot c \cdot \rho)_{ar} + (e \cdot c \cdot \rho)_{cer} + (e \cdot c \cdot \rho)_{ar} + (e \cdot c \cdot \rho)_{cer} + (e \cdot c \cdot \rho)_{reb}$$

$$CT_c = 0,03 \times 1,00 \times 2000 + 0,01 \times 0,92 \times 1600 + 0 + 0,01 \times 0,92 \times 1600 + 0 + 0,01 \times 0,92 \times 1600 + 0,03 \times 1,00 \times 2000$$

$$CT_c = 164,16 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

e) CAPACIDADE TÉRMICA TOTAL

$$CT = \frac{A_a + A_b + A_c}{\left(\frac{A_a}{CT_a}\right) + \left(\frac{A_b}{CT_b}\right) + \left(\frac{A_c}{CT_c}\right)}$$

$$CT = \frac{0,0039 + 0,012 + 0,0216}{\left(\frac{0,0039}{300}\right) + \left(\frac{0,012}{252,48}\right) + \left(\frac{0,0216}{164,16}\right)}$$

$$CT = 195,2032 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

f) ESPESSURA

$$R_t = R_{reb} + R_{cer} + R_{ar} + R_{cer} + R_{reb}$$

$$0,2232 = 0,03/1,15 + e_{cer}/1,00 + 0,16 + e_{cer}/1,00 + 0,03/1,15$$

$$0,2232 = 0,0522 + 0,16 + 2e_{cer}/1,00$$

$$0,2232 = 0,2122 + 2e_{cer}/1,00$$

$$0,011 = 2e_{cer}/1,00$$

$$0,011 = 2e_{cer}$$

$$e_{cer} = 0,0055\text{m}$$

g) DENSIDADE

$$CT = 2 \times (e \cdot c \cdot \rho)_{arg} + 2 \times (e \cdot c \cdot \rho)_{cer}$$

$$195,2032 = 2 \times (0,03 \times 1,00 \times 2000) + 2 \times (0,1042 \times 0,92 \times \rho)$$

$$195,032 = 120 + 0,1917\rho$$

$$75,2032 = 0,1917\rho$$

$$\rho = 392,30 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

CÁLCULO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DA COBERTURA INCLINADA

*telha fibrocimento e forro PVC.

Informações:

$$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$$

$$R_{si} = 0,17 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$$

$$R_{ar} = 0,21 \text{ (e > 5,0cm)}$$

$$\varepsilon = 0,9$$

$$\lambda_{fibrocimento} = 0,65 \text{ W}/\text{m}^2.\text{K}$$

$$\lambda_{PVC} = 0,20 \text{ W}/\text{m}^2.\text{K}$$

$$\rho_{fibrocimento} = 1700 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

$$\rho_{PVC} = 1200 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

$$c_{fibrocimento} = 0,84 \text{ KJ}/(\text{Kg}.\text{k})$$

$$c_{PVC} = 0,90 \text{ KJ}/(\text{Kg}.\text{k})$$

h) RESISTÊNCIA TÉRMICA (VERÃO)

$$R_t = e_{fib}/\lambda_{fib} + R_{ar} + e_{PVC}/\lambda_{PVC}$$

$$R_t = 0,006/0,65 + 0,21 + 0,01/0,20$$

$$R_t = 0,2692 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$$

i) RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se}$$

$$R_T = 0,17 + 0,2692 + 0,04$$

$$R_T = 0,4792 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$$

j) TRANSMITÂNCIA TÉRMICA

$$U = 1/R_T$$

$$U = 1/0,4792$$

$$U = 2,09 \text{ W}/\text{m}^2.\text{K}$$

k) CAPACIDADE TÉRMICA

$$CT = e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{fib} + (e \cdot c \cdot \rho)_{ar} + (e \cdot c \cdot \rho)_{PVC}$$

$$CT = (0,006 \times 0,84 \times 1700) + 0 + (0,01 \times 0,90 \times 1200)$$

$$CT = 19,368 \text{ kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$$

CÁLCULO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DO PISO

*piso cerâmico

Informações:

$$R_{si} = 0,10 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$$

$$\lambda_{contrapiso} = 1,75 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$\lambda_{porcelanato} = 1,05 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$\rho_{contrapiso} = 2200 \text{ Kg/m}^3$$

$$\rho_{porcelanato} = 2000 \text{ Kg/m}^3$$

$$c_{contrapiso} = 1,00 \text{ KJ/(Kg.k)}$$

$$c_{porcalanato} = 0,92 \text{ KJ/(Kg.k)}$$

l) RESISTÊNCIA TÉRMICA

$$R_t = e_{cont}/\lambda_{cont} + e_{cer}/\lambda_{cer}$$

$$R_t = 0,05/1,75 + 0,01/1,05$$

$$R_t = 0,0381 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

m) RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL

$$R_T = R_{si} + R_t$$

$$R_T = 0,10 + 0,0381$$

$$R_T = 0,1381 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

n) TRANSMITÂNCIA TÉRMICA

$$U = 1/R_T$$

$$U = 1/0,1381$$

$$U = 7,24 \text{ W/ m}^2.\text{K}$$

o) CAPACIDADE TÉRMICA

$$CT = e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{cont} + (e \cdot c \cdot \rho)_{cer}$$

$$CT = (0,05 \times 1,00 \times 2200) + (0,01 \times 0,92 \times 2000)$$

$$CT = 128,4 \text{ kJ/(m}^2.\text{K)}$$

*apenas contrapiso

Informações:

$$R_{si} = 0,10 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

$$\lambda_{contrapiso} = 1,75 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$\rho_{contrapiso} = 2200 \text{ Kg/m}^3$$

$$c_{contrapiso} = 1,00 \text{ KJ/(Kg.k)}$$

p) RESISTÊNCIA TÉRMICA

$$R_t = e_{cont}/\lambda_{cont}$$

$$R_t = 0,05/1,75$$

$$R_t = 0,02857 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

q) RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL

$$R_T = R_{si} + R_t$$

$$R_T = 0,10 + 0,02857$$

$$R_T = 0,12857 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

r) TRANSMITÂNCIA TÉRMICA

$$U = 1/R_T$$

$$U = 1/0,12857$$

$$U = 7,78 \text{ W/ m}^2.\text{K}$$

s) CAPACIDADE TÉRMICA

$$CT = e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{cont} + (e \cdot c \cdot \rho)_{cer}$$

$$CT = (0,05 \times 1,00 \times 2200)$$

$$CT = 110 \text{ kJ/(m}^2.\text{K)}$$

HAB07**CÁLCULO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DAS PAREDES EXTERNAS**

*tijolo cerâmico 6 furos (9x14x24cm) e reboco de 3cm nas faces externas e internas.

Informações:

$$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

$$R_{si} = 0,13 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

$$R_{ar} = 0,16 \text{ (} 2,0 < e \leq 5,0\text{cm)}$$

$$\varepsilon_{branco/bege} = 0,90$$

$$\lambda_{argamassa} = 1,15 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$\lambda_{cerâmica} = 1,00 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$\rho_{argamassa} = 2000 \text{ Kg/m}^3$$

$$\rho_{cerâmica} = 1600 \text{ Kg/m}^3$$

$$c_{argamassa} = 1,00 \text{ KJ/(Kg.k)}$$

$$c_{\text{cerâmica}} = 0,92 \text{ KJ}/(\text{Kg.k})$$

a) RESISTÊNCIA TÉRMICA

$$R_1 = R_{\text{argamassa}}$$

$$R_2 = R_{\text{argamassa}} + R_{\text{cerâmica}} + R_{\text{argamassa}}$$

$$R_3 = R_{\text{argamassa}} + R_{\text{cerâmica}} + R_{\text{ar}} + R_{\text{cerâmica}} + R_{\text{ar}} + R_{\text{cerâmica}} + R_{\text{argamassa}}$$

R₁

$$R_1 = R_{\text{argamassa}}$$

$$R_1 = 0,15/1,15$$

$$R_1 = \mathbf{0,1304 \text{ m}^2.\text{K/W}}$$

$$R_2$$

$$R_2 = R_{\text{argamassa}} + R_{\text{cerâmica}} + R_{\text{argamassa}}$$

$$R_2 = 0,03/1,15 + 0,09/1,00 + 0,03/1,15$$

$$R_2 = \mathbf{0,1422 \text{ m}^2.\text{K/W}}$$

$$R_3$$

$$R_3 = R_{\text{argamassa}} + R_{\text{cerâmica}} + R_{\text{ar}} + R_{\text{cerâmica}} + R_{\text{ar}} + R_{\text{cerâmica}} + R_{\text{argamassa}}$$

$$R_3 = 0,03/1,15 + 0,01/1,00 + 0,16 + 0,01/1,00 + 0,16 + 0,01/1,00 + 0,03/1,15$$

$$R_3 = \mathbf{0,4022 \text{ m}^2.\text{K/W}}$$

$$A_1$$

$$A_1 = 0,01 \times 0,24 + 0,15 \times 0,01 = \mathbf{0,0039 \text{ m}^2}$$

$$A_2$$

$$A_2 = (0,015 \times 0,24) \times 2 + (0,01 \times 0,24) \times 2 = \mathbf{0,012 \text{ m}^2}$$

$$A_3$$

$$A_3 = (0,03 \times 0,24) \times 3 = \mathbf{0,0216 \text{ m}^2}$$

$$R_t = \frac{A_1 + A_2 + A_3}{\left(\frac{A_1}{R_1}\right) + \left(\frac{A_2}{R_2}\right) + \left(\frac{A_3}{R_3}\right)}$$

$$R_t = \frac{0,0039 + 0,012 + 0,0216}{\left(\frac{0,0039}{0,1304}\right) + \left(\frac{0,012}{0,1422}\right) + \left(\frac{0,0216}{0,4022}\right)}$$

$$R_t = \frac{0,0375}{0,1680}$$

$$R_t = \mathbf{0,2232 \text{ m}^2.\text{K/W}}$$

b) RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL

$$RT = R_{si} + R_t + R_{se}$$

$$RT = 0,13 + 0,2232 + 0,04$$

$$RT = 0,3932 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

c) TRANSMITÂNCIA TÉRMICA

$$U = 1/RT$$

$$U = 1/0,3932$$

$$U = 2,54 \text{ W/ m}^2 \cdot \text{K}$$

d) CAPACIDADE TÉRMICA

$$A_a = 0,0039 \text{ m}^2$$

$$CT_a = \sum e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{reb} + (e \cdot c \cdot \rho)_{arg} + (e \cdot c \cdot \rho)_{reb}$$

$$CT_a = 0,03 \times 1,00 \times 2000 + 0,09 \times 1,00 \times 2000 + 0,03 \times 1,00 \times 2000$$

$$CT_a = 300 \text{ kJ/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

$$A_b = 0,012 \text{ m}^2$$

$$CT_b = \sum e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{reb} + (e \cdot c \cdot \rho)_{cer} + (e \cdot c \cdot \rho)_{reb}$$

$$CT_b = 0,03 \times 1,00 \times 2000 + 0,09 \times 0,92 \times 1600 + 0,03 \times 1,00 \times 2000$$

$$CT_b = 252,48 \text{ kJ/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

$$A_c = 0,0216 \text{ m}^2$$

$$CT_c = \sum e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{reb} + (e \cdot c \cdot \rho)_{cer} + (e \cdot c \cdot \rho)_{ar} + (e \cdot c \cdot \rho)_{cer} + (e \cdot c \cdot \rho)_{ar} + (e \cdot c \cdot \rho)_{cer} + (e \cdot c \cdot \rho)_{reb}$$

$$CT_c = 0,03 \times 1,00 \times 2000 + 0,01 \times 0,92 \times 1600 + 0 + 0,01 \times 0,92 \times 1600 + 0 + 0,01 \times 0,92 \times 1600 + 0,03 \times 1,00 \times 2000$$

$$CT_c = 164,16 \text{ kJ/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

e) CAPACIDADE TÉRMICA TOTAL

$$CT = \frac{A_a + A_b + A_c}{\left(\frac{A_a}{CT_a}\right) + \left(\frac{A_b}{CT_b}\right) + \left(\frac{A_c}{CT_c}\right)}$$

$$CT = \frac{0,0039 + 0,012 + 0,0216}{\left(\frac{0,0039}{300}\right) + \left(\frac{0,012}{252,48}\right) + \left(\frac{0,0216}{164,16}\right)}$$

$$CT = 195,2032 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

f) ESPESSURA

$$R_t = R_{reb} + R_{cer} + R_{ar} + R_{cer} + R_{reb}$$

$$0,2232 = 0,03/1,15 + e_{cer}/1,00 + 0,16 + e_{cer}/1,00 + 0,03/1,15$$

$$0,2232 = 0,0522 + 0,16 + 2e_{cer}/1,00$$

$$0,2232 = 0,2122 + 2e_{cer}/1,00$$

$$0,011 = 2e_{cer}/1,00$$

$$0,011 = 2e_{cer}$$

$$e_{cer} = 0,0055\text{m}$$

g) DENSIDADE

$$CT = 2 \times (e \cdot c \cdot \rho)_{arg} + 2 \times (e \cdot c \cdot \rho)_{cer}$$

$$195,2032 = 2 \times (0,03 \times 1,00 \times 2000) + 2 \times (0,1042 \times 0,92 \times \rho)$$

$$195,032 = 120 + 0,1917\rho$$

$$75,2032 = 0,1917\rho$$

$$\rho = 392,30 \text{ Kg/m}^3$$

CÁLCULO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DA COBERTURA INCLINADA

*telha fibrocimento e forro PVC.

Informações:

$$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$R_{si} = 0,17 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$R_{ar} = 0,21 \text{ (e > 5,0cm)}$$

$$\varepsilon = 0,9$$

$$\lambda_{fibrocimento} = 0,65 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\lambda_{PVC} = 0,20 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\rho_{fibrocimento} = 1700 \text{ Kg/m}^3$$

$$\rho_{PVC} = 1200 \text{ Kg/m}^3$$

$$c_{fibrocimento} = 0,84 \text{ KJ}/(\text{Kg} \cdot \text{k})$$

$$c_{PVC} = 0,90 \text{ KJ}/(\text{Kg} \cdot \text{k})$$

h) RESISTÊNCIA TÉRMICA (VERÃO)

$$R_t = e_{fib}/\lambda_{fib} + R_{ar} + e_{PVC}/\lambda_{PVC}$$

$$R_t = 0,006/0,65 + 0,21 + 0,01/0,20$$

$$R_t = 0,2692 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

i) RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se}$$

$$R_T = 0,17 + 0,2692 + 0,04$$

$$R_T = 0,4792 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

j) TRANSMITÂNCIA TÉRMICA

$$U = 1/R_T$$

$$U = 1/0,4792$$

$$U = 2,09 \text{ W/ m}^2.\text{K}$$

k) CAPACIDADE TÉRMICA

$$CT = e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{fib} + (e \cdot c \cdot \rho)_{ar} + (e \cdot c \cdot \rho)_{PVC}$$

$$CT = (0,006 \times 0,84 \times 1700) + 0 + (0,01 \times 0,90 \times 1200)$$

$$CT = 19,368 \text{ kJ/(m}^2.\text{K)}$$

CÁLCULO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DO PISO

*piso cerâmico

Informações:

$$R_{si} = 0,10 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

$$\lambda_{contrapiso} = 1,75 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$\lambda_{porcelanato} = 1,05 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$\rho_{contrapiso} = 2200 \text{ Kg/m}^3$$

$$\rho_{porcelanato} = 2000 \text{ Kg/m}^3$$

$$c_{contrapiso} = 1,00 \text{ KJ/(Kg.k)}$$

$$c_{porcalanato} = 0,92 \text{ KJ/(Kg.k)}$$

l) RESISTÊNCIA TÉRMICA

$$R_t = e_{cont}/\lambda_{cont} + e_{cer}/\lambda_{cer}$$

$$R_t = 0,05/1,75 + 0,01/1,05$$

$$R_t = 0,0381 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

m) RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL

$$R_T = R_{si} + R_t$$

$$R_T = 0,10 + 0,0381$$

$$R_T = 0,1381 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

n) TRANSMITÂNCIA TÉRMICA

$$U = 1/R_T$$

$$U = 1/0,1381$$

$$U = 7,24 \text{ W/ m}^2.\text{K}$$

o) CAPACIDADE TÉRMICA

$$CT = e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{cont} + (e \cdot c \cdot \rho)_{cer}$$

$$CT = (0,05 \times 1,00 \times 2200) + (0,01 \times 0,92 \times 2000)$$

$$CT = 128,4 \text{ kJ/(m}^2.\text{K)}$$

HAB08

CÁLCULO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DAS PAREDES EXTERNAS

*tijolo cerâmico 6 furos (9x14x24cm) e reboco de 3cm nas faces externas e internas.

Informações:

$$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

$$R_{si} = 0,13 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

$$R_{ar} = 0,16 \text{ (} 2,0 < e \leq 5,0\text{cm)}$$

$$\varepsilon_{branco/bege} = 0,90$$

$$\lambda_{argamassa} = 1,15 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$\lambda_{cerâmica} = 1,00 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$\rho_{argamassa} = 2000 \text{ Kg/m}^3$$

$$\rho_{cerâmica} = 1600 \text{ Kg/m}^3$$

$$c_{argamassa} = 1,00 \text{ KJ/(Kg.k)}$$

$$c_{cerâmica} = 0,92 \text{ KJ/(Kg.k)}$$

a) RESISTÊNCIA TÉRMICA

$$R_1 = R_{argamassa}$$

$$R_2 = R_{argamassa} + R_{cerâmica} + R_{argamassa}$$

$$R_3 = R_{argamassa} + R_{cerâmica} + R_{ar} + R_{cerâmica} + R_{ar} + R_{cerâmica} + R_{argamassa}$$

R₁

$$R_1 = R_{argamassa}$$

$$R_1 = 0,15/1,15$$

$$R_1 = \mathbf{0,1304 \text{ m}^2.K/W}$$

R₂

$$R_2 = R_{argamassa} + R_{cerâmica} + R_{argamassa}$$

$$R_2 = 0,03/1,15 + 0,09/1,00 + 0,03/1,15$$

$$R_2 = \mathbf{0,1422 \text{ m}^2.K/W}$$

R₃

$$R_3 = R_{argamassa} + R_{cerâmica} + R_{ar} + R_{cerâmica} + R_{ar} + R_{cerâmica} + R_{argamassa}$$

$$R_3 = 0,03/1,15 + 0,01/1,00 + 0,16 + 0,01/1,00 + 0,16 + 0,01/1,00 + 0,03/1,15$$

$$R_3 = \mathbf{0,4022 \text{ m}^2.K/W}$$

A₁

$$A_1 = 0,01 \times 0,24 + 0,15 \times 0,01 = \mathbf{0,0039 \text{ m}^2}$$

A₂

$$A_2 = (0,015 \times 0,24) \times 2 + (0,01 \times 0,24) \times 2 = \mathbf{0,012 \text{ m}^2}$$

A₃

$$A_3 = (0,03 \times 0,24) \times 3 = \mathbf{0,0216 \text{ m}^2}$$

$$Rt = \frac{A_1 + A_2 + A_3}{\left(\frac{A_1}{R_1}\right) + \left(\frac{A_2}{R_2}\right) + \left(\frac{A_3}{R_3}\right)}$$

$$Rt = \frac{0,0039 + 0,012 + 0,0216}{\left(\frac{0,0039}{0,1304}\right) + \left(\frac{0,012}{0,1422}\right) + \left(\frac{0,0216}{0,4022}\right)}$$

$$Rt = \frac{0,0375}{0,1680}$$

$$Rt = \mathbf{0,2232 \text{ m}^2.K/W}$$

b) RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL

$$RT = R_{si} + Rt + R_{se}$$

$$RT = 0,13 + 0,2232 + 0,04$$

$$RT = \mathbf{0,3932 \text{ m}^2.K/W}$$

c) TRANSMITÂNCIA TÉRMICA

$$U = 1/RT$$

$$U = 1/0,3932$$

$$U = 2,54 \text{ W/ m}^2 \cdot \text{K}$$

d) CAPACIDADE TÉRMICA

$$A_a = 0,0039 \text{ m}^2$$

$$CT_a = \sum e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{reb} + (e \cdot c \cdot \rho)_{arg} + (e \cdot c \cdot \rho)_{reb}$$

$$CT_a = 0,03 \times 1,00 \times 2000 + 0,09 \times 1,00 \times 2000 + 0,03 \times 1,00 \times 2000$$

$$CT_a = 300 \text{ kJ/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

$$A_b = 0,012 \text{ m}^2$$

$$CT_b = \sum e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{reb} + (e \cdot c \cdot \rho)_{cer} + (e \cdot c \cdot \rho)_{reb}$$

$$CT_b = 0,03 \times 1,00 \times 2000 + 0,09 \times 0,92 \times 1600 + 0,03 \times 1,00 \times 2000$$

$$CT_b = 252,48 \text{ kJ/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

$$A_c = 0,0216 \text{ m}^2$$

$$CT_c = \sum e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{reb} + (e \cdot c \cdot \rho)_{cer} + (e \cdot c \cdot \rho)_{ar} + (e \cdot c \cdot \rho)_{cer} + (e \cdot c \cdot \rho)_{ar} + (e \cdot c \cdot \rho)_{cer} + (e \cdot c \cdot \rho)_{reb}$$

$$CT_c = 0,03 \times 1,00 \times 2000 + 0,01 \times 0,92 \times 1600 + 0 + 0,01 \times 0,92 \times 1600 + 0 + 0,01 \times 0,92 \times 1600 + 0,03 \times 1,00 \times 2000$$

$$CT_c = 164,16 \text{ kJ/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

e) CAPACIDADE TÉRMICA TOTAL

$$CT = \frac{A_a + A_b + A_c}{\left(\frac{A_a}{CT_a}\right) + \left(\frac{A_b}{CT_b}\right) + \left(\frac{A_c}{CT_c}\right)}$$

$$CT = \frac{0,0039 + 0,012 + 0,0216}{\left(\frac{0,0039}{300}\right) + \left(\frac{0,012}{252,48}\right) + \left(\frac{0,0216}{164,16}\right)}$$

$$CT = 195,2032 \text{ kJ/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

f) ESPESSURA

$$R_t = R_{reb} + R_{cer} + R_{ar} + R_{cer} + R_{reb}$$

$$0,2232 = 0,03/1,15 + e_{cer}/1,00 + 0,16 + e_{cer}/1,00 + 0,03/1,15$$

$$0,2232 = 0,0522 + 0,16 + 2e_{cer}/1,00$$

$$0,2232 = 0,2122 + 2e_{cer}/1,00$$

$$0,011 = 2e_{cer}/1,00$$

$$0,011 = 2e_{cer}$$

$$e_{cer} = 0,0055\text{m}$$

g) DENSIDADE

$$CT = 2 \times (e.c.\rho)_{arg} + 2 \times (e.c.\rho)_{cer}$$

$$195,2032 = 2 \times (0,03 \times 1,00 \times 2000) + 2 \times (0,1042 \times 0,92 \times \rho)$$

$$195,032 = 120 + 0,1917\rho$$

$$75,2032 = 0,1917\rho$$

$$\rho = 392,30 \text{ Kg/m}^3$$

CÁLCULO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DA COBERTURA INCLINADA

*telha fibrocimento e forro PVC.

Informações:

$$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

$$R_{si} = 0,17 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

$$R_{ar} = 0,21 \text{ (e > 5,0cm)}$$

$$\varepsilon = 0,9$$

$$\lambda_{fibrocimento} = 0,65 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$\lambda_{PVC} = 0,20 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$\rho_{fibrocimento} = 1700 \text{ Kg/m}^3$$

$$\rho_{PVC} = 1200 \text{ Kg/m}^3$$

$$c_{fibrocimento} = 0,84 \text{ KJ/(Kg.k)}$$

$$c_{PVC} = 0,90 \text{ KJ/(Kg.k)}$$

h) RESISTÊNCIA TÉRMICA (VERÃO)

$$R_t = e_{fib}/\lambda_{fib} + R_{ar} + e_{PVC}/\lambda_{PVC}$$

$$R_t = 0,006/0,65 + 0,21 + 0,01/0,20$$

$$R_t = 0,2692 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

i) RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL

$$RT = R_{si} + R_t + R_{se}$$

$$RT = 0,17 + 0,2692 + 0,04$$

$$RT = 0,4792 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

j) TRANSMITÂNCIA TÉRMICA

$$U = 1/RT$$

$$U = 1/0,4792$$

$$U = 2,09 \text{ W/ m}^2.\text{K}$$

k) CAPACIDADE TÉRMICA

$$CT = e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{fib} + (e \cdot c \cdot \rho)_{ar} + (e \cdot c \cdot \rho)_{PVC}$$

$$CT = (0,006 \times 0,84 \times 1700) + 0 + (0,01 \times 0,90 \times 1200)$$

$$CT = 19,368 \text{ kJ/(m}^2.\text{K)}$$

CÁLCULO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DO PISO

*piso cerâmico

Informações:

$$R_{si} = 0,10 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

$$\lambda_{contrapiso} = 1,75 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$\lambda_{porcelanato} = 1,05 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$\rho_{contrapiso} = 2200 \text{ Kg/m}^3$$

$$\rho_{porcelanato} = 2000 \text{ Kg/m}^3$$

$$c_{contrapiso} = 1,00 \text{ KJ/(Kg.k)}$$

$$c_{porcalanato} = 0,92 \text{ KJ/(Kg.k)}$$

l) RESISTÊNCIA TÉRMICA

$$R_t = e_{cont}/\lambda_{cont} + e_{cer}/\lambda_{cer}$$

$$R_t = 0,05/1,75 + 0,01/1,05$$

$$R_t = 0,0381 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

m) RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL

$$RT = R_{si} + R_t$$

$$RT = 0,10 + 0,0381$$

$$RT = 0,1381 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

n) TRANSMITÂNCIA TÉRMICA

$$U = 1/RT$$

$$U = 1/0,1381$$

$$U = 7,24 \text{ W/ m}^2.\text{K}$$

o) CAPACIDADE TÉRMICA

$$CT = e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{cont} + (e \cdot c \cdot \rho)_{cer}$$

$$CT = (0,05 \times 1,00 \times 2200) + (0,01 \times 0,92 \times 2000)$$

$$CT = 128,4 \text{ kJ/(m}^2.\text{K)}$$

*apenas contrapiso

Informações:

$$R_{si} = 0,10 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

$$\lambda_{contrapiso} = 1,75 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$\rho_{contrapiso} = 2200 \text{ Kg/m}^3$$

$$c_{contrapiso} = 1,00 \text{ KJ/(Kg.k)}$$

p) RESISTÊNCIA TÉRMICA

$$R_t = e_{cont}/\lambda_{cont}$$

$$R_t = 0,05/1,75$$

$$R_t = 0,02857 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

q) RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL

$$RT = R_{si} + R_t$$

$$RT = 0,10 + 0,02857$$

$$RT = 0,12857 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

r) TRANSMITÂNCIA TÉRMICA

$$U = 1/RT$$

$$U = 1/0,12857$$

$$U = 7,78 \text{ W/ m}^2.\text{K}$$

s) CAPACIDADE TÉRMICA

$$CT = e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{cont} + (e \cdot c \cdot \rho)_{cer}$$

$$CT = (0,05 \times 1,00 \times 2200)$$

$$CT = 110 \text{ kJ/(m}^2\text{.K)}$$

HAB09

CÁLCULO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DAS PAREDES EXTERNAS

*tijolo cerâmico 6 furos (9x14x24cm) e reboco de 3cm nas faces externas e internas.

Informações:

$$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{.K/W}$$

$$R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{.K/W}$$

$$R_{ar} = 0,16 \text{ (} 2,0 < e \leq 5,0\text{cm)}$$

$$\varepsilon_{branco/bege} = 0,90$$

$$\lambda_{argamassa} = 1,15 \text{ W/m}^2\text{.K}$$

$$\lambda_{cerâmica} = 1,00 \text{ W/m}^2\text{.K}$$

$$\rho_{argamassa} = 2000 \text{ Kg/m}^3$$

$$\rho_{cerâmica} = 1600 \text{ Kg/m}^3$$

$$c_{argamassa} = 1,00 \text{ KJ/(Kg.k)}$$

$$c_{cerâmica} = 0,92 \text{ KJ/(Kg.k)}$$

a) RESISTÊNCIA TÉRMICA

$$R_1 = R_{argamassa}$$

$$R_2 = R_{argamassa} + R_{cerâmica} + R_{argamassa}$$

$$R_3 = R_{argamassa} + R_{cerâmica} + R_{ar} + R_{cerâmica} + R_{ar} + R_{cerâmica} + R_{argamassa}$$

R₁

$$R_1 = R_{argamassa}$$

$$R_1 = 0,15/1,15$$

$$R_1 = \mathbf{0,1304 \text{ m}^2\text{.K/W}}$$

R₂

$$R_2 = R_{argamassa} + R_{cerâmica} + R_{argamassa}$$

$$R_2 = 0,03/1,15 + 0,09/1,00 + 0,03/1,15$$

$$R_2 = \mathbf{0,1422 \text{ m}^2\text{.K/W}}$$

R₃

$$R_3 = R_{argamassa} + R_{cerâmica} + R_{ar} + R_{cerâmica} + R_{ar} + R_{cerâmica} + R_{argamassa}$$

$$R_3 = 0,03/1,15 + 0,01/1,00 + 0,16 + 0,01/1,00 + 0,16 + 0,01/1,00 + 0,03/1,15$$

$$R_3 = \mathbf{0,4022 \text{ m}^2\text{.K/W}}$$

A₁

$$A_1 = 0,01 \times 0,24 + 0,15 \times 0,01 = \mathbf{0,0039 \text{ m}^2}$$

A₂

$$A_2 = (0,015 \times 0,24) \times 2 + (0,01 \times 0,24) \times 2 = \mathbf{0,012 \text{ m}^2}$$

A₃

$$A_3 = (0,03 \times 0,24) \times 3 = \mathbf{0,0216 \text{ m}^2}$$

$$Rt = \frac{A_1 + A_2 + A_3}{\left(\frac{A_1}{R_1}\right) + \left(\frac{A_2}{R_2}\right) + \left(\frac{A_3}{R_3}\right)}$$

$$Rt = \frac{0,0039 + 0,012 + 0,0216}{\left(\frac{0,0039}{0,1304}\right) + \left(\frac{0,012}{0,1422}\right) + \left(\frac{0,0216}{0,4022}\right)}$$

$$Rt = \frac{0,0375}{0,1680}$$

$$\mathbf{Rt = 0,2232 \text{ m}^2.K/W}$$

b) RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL

$$RT = R_{si} + Rt + R_{se}$$

$$RT = 0,13 + 0,2232 + 0,04$$

$$\mathbf{RT = 0,3932 \text{ m}^2.K/W}$$

c) TRANSMITÂNCIA TÉRMICA

$$U = 1/RT$$

$$U = 1/0,3932$$

$$\mathbf{U = 2,54 \text{ W/ m}^2.K}$$

d) CAPACIDADE TÉRMICA

$$A_a = 0,0039 \text{ m}^2$$

$$CT_a = \sum e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{reb} + (e \cdot c \cdot \rho)_{arg} + (e \cdot c \cdot \rho)_{reb}$$

$$CT_a = 0,03 \times 1,00 \times 2000 + 0,09 \times 1,00 \times 2000 + 0,03 \times 1,00 \times 2000$$

$$\mathbf{CT_a = 300 \text{ kJ/(m}^2.K)}$$

$$A_b = 0,012 \text{ m}^2$$

$$CT_b = \sum e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{reb} + (e \cdot c \cdot \rho)_{cer} + (e \cdot c \cdot \rho)_{reb}$$

$$CT_b = 0,03 \times 1,00 \times 2000 + 0,09 \times 0,92 \times 1600 + 0,03 \times 1,00 \times 2000$$

$$CT_b = 252,48 \text{ kJ/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

$$A_c = 0,0216 \text{ m}^2$$

$$CT_c = \sum e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{reb} + (e \cdot c \cdot \rho)_{cer} + (e \cdot c \cdot \rho)_{ar} + (e \cdot c \cdot \rho)_{cer} + (e \cdot c \cdot \rho)_{ar} + (e \cdot c \cdot \rho)_{cer} + (e \cdot c \cdot \rho)_{reb}$$

$$CT_c = 0,03 \times 1,00 \times 2000 + 0,01 \times 0,92 \times 1600 + 0 + 0,01 \times 0,92 \times 1600 + 0 + 0,01 \times 0,92 \times 1600 + 0,03 \times 1,00 \times 2000$$

$$CT_c = 164,16 \text{ kJ/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

e) CAPACIDADE TÉRMICA TOTAL

$$CT = \frac{A_a + A_b + A_c}{\left(\frac{A_a}{CT_a}\right) + \left(\frac{A_b}{CT_b}\right) + \left(\frac{A_c}{CT_c}\right)}$$

$$CT = \frac{0,0039 + 0,012 + 0,0216}{\left(\frac{0,0039}{300}\right) + \left(\frac{0,012}{252,48}\right) + \left(\frac{0,0216}{164,16}\right)}$$

$$CT = 195,2032 \text{ kJ/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

f) ESPESSURA

$$R_t = R_{reb} + R_{cer} + R_{ar} + R_{cer} + R_{reb}$$

$$0,2232 = 0,03/1,15 + e_{cer}/1,00 + 0,16 + e_{cer}/1,00 + 0,03/1,15$$

$$0,2232 = 0,0522 + 0,16 + 2e_{cer}/1,00$$

$$0,2232 = 0,2122 + 2e_{cer}/1,00$$

$$0,011 = 2e_{cer}/1,00$$

$$0,011 = 2e_{cer}$$

$$e_{cer} = 0,0055 \text{ m}$$

g) DENSIDADE

$$CT = 2 \times (e \cdot c \cdot \rho)_{arg} + 2 \times (e \cdot c \cdot \rho)_{cer}$$

$$195,2032 = 2 \times (0,03 \times 1,00 \times 2000) + 2 \times (0,1042 \times 0,92 \times \rho)$$

$$195,2032 = 120 + 0,1917\rho$$

$$75,2032 = 0,1917\rho$$

$$\rho = 392,30 \text{ Kg/m}^3$$

CÁLCULO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DA COBERTURA INCLINADA

*telha fibrocimento e sem forro.

Informações:

$$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$$

$$R_{si} = 0,17 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$$

$$R_{ar} = 0,21 \text{ (e > 5,0cm)}$$

$$\varepsilon = 0,9$$

$$\lambda_{fibrocimento} = 0,65 \text{ W}/\text{m}^2.\text{K}$$

$$\rho_{fibrocimento} = 1700 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

$$c_{fibrocimento} = 0,84 \text{ KJ}/(\text{Kg}.\text{k})$$

h) RESISTÊNCIA TÉRMICA (VERÃO)

$$R_t = e_{fib}/\lambda_{fib} + R_{ar}$$

$$R_t = 0,006/0,65 + 0,21$$

$$R_t = 0,2194 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$$

i) RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se}$$

$$R_T = 0,17 + 0,2194 + 0,04$$

$$R_T = 0,4294 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$$

j) TRANSMITÂNCIA TÉRMICA

$$U = 1/R_T$$

$$U = 1/0,4294$$

$$U = 2,33 \text{ W}/\text{m}^2.\text{K}$$

k) CAPACIDADE TÉRMICA

$$CT = e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{fib} + (e \cdot c \cdot \rho)_{ar} + (e \cdot c \cdot \rho)_{PVC}$$

$$CT = (0,006 \times 0,84 \times 1700) + 0$$

$$CT = 8,568 \text{ kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$$

CÁLCULO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DO PISO

*piso cerâmico

Informações:

$$R_{si} = 0,10 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$$

$$\lambda_{contrapiso} = 1,75 \text{ W}/\text{m}^2.\text{K}$$

$$\lambda_{porcelanato} = 1,05 \text{ W}/\text{m}^2.\text{K}$$

$$\rho_{contrapiso} = 2200 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

$$\rho_{porcelanato} = 2000 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

$$c_{contrapiso} = 1,00 \text{ KJ}/(\text{Kg}.\text{k})$$

$$c_{porcalanato} = 0,92 \text{ KJ}/(\text{Kg}.\text{k})$$

l) RESISTÊNCIA TÉRMICA

$$R_t = e_{cont}/\lambda_{cont} + e_{cer}/\lambda_{cer}$$

$$R_t = 0,05/1,75 + 0,01/1,05$$

$$R_t = 0,0381 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$$

m) RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL

$$R_T = R_{si} + R_t$$

$$R_T = 0,10 + 0,0381$$

$$R_T = 0,1381 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$$

n) TRANSMITÂNCIA TÉRMICA

$$U = 1/R_T$$

$$U = 1/0,1381$$

$$U = 7,24 \text{ W}/\text{m}^2.\text{K}$$

o) CAPACIDADE TÉRMICA

$$CT = e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{cont} + (e \cdot c \cdot \rho)_{cer}$$

$$CT = (0,05 \times 1,00 \times 2200) + (0,01 \times 0,92 \times 2000)$$

$$CT = 128,4 \text{ kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$$

*áreas secas: piso flutuante

Informações:

$$R_{si} = 0,10 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$$

$$\lambda_{contrapiso} = 1,75 \text{ W}/\text{m}^2.\text{K}$$

$$\lambda_{flutuante} = 0,12 \text{ W}/\text{m}^2.\text{K}$$

$$\rho_{contrapiso} = 2200 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

$$\rho_{flutuante} = 550 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

$$c_{contrapiso} = 1,00 \text{ KJ}/(\text{Kg}.\text{k})$$

$$c_{flutuante} = 2,30 \text{ KJ}/(\text{Kg}.\text{k})$$

p) RESISTÊNCIA TÉRMICA

$$R_t = e_{cont}/\lambda_{cont} + e_{flut}/\lambda_{flut}$$

$$R_t = 0,05/1,75 + 0,008/0,12$$

$$R_t = 0,0952 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$$

q) RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL

$$R_T = R_{si} + R_t$$

$$R_T = 0,10 + 0,0952$$

$$R_T = 0,1952 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$$

r) TRANSMITÂNCIA TÉRMICA

$$U = 1/R_T$$

$$U = 1/0,1952$$

$$U = 5,12 \text{ W}/\text{m}^2.\text{K}$$

s) CAPACIDADE TÉRMICA

$$CT = e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{cont} + (e \cdot c \cdot \rho)_{flut}$$

$$CT = (0,05 \times 1,00 \times 2200) + (0,008 \times 0,12 \times 550)$$

$$CT = 110,528 \text{ kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$$

HAB10**CÁLCULO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DAS PAREDES EXTERNAS**

*concreto moldado *in loco* paredes externas com 10cm e paredes internas com 8cm.

Informações:

$$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$$

$$R_{si} = 0,13 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$$

$$\varepsilon_{branco/bege} = 0,90$$

$$\lambda_{concreto} = 0,95 \text{ W}/\text{m}^2.\text{K}$$

$$\rho_{concreto} = 2300 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

$$c_{concreto} = 1,00 \text{ KJ}/(\text{Kg}.\text{k})$$

a) RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL

*externa

$$RT = R_{si} + R_{conc} + R_{se}$$

$$RT = R_{si} + e_{conc}/\lambda_{conc} + R_{se}$$

$$RT = 0,13 + 0,10/0,95 + 0,04$$

$$\mathbf{RT = 0,2753 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}}$$

*interna

$$RT = R_{si} + R_{conc} + R_{se}$$

$$RT = R_{si} + e_{conc}/\lambda_{conc} + R_{se}$$

$$RT = 0,13 + 0,08/0,95 + 0,04$$

$$\mathbf{RT = 0,2542 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}}$$

b) TRANSMITÂNCIA TÉRMICA

*externa

$$U = 1/RT$$

$$U = 1/0,2753$$

$$\mathbf{U = 3,63 \text{ W}/ \text{m}^2.\text{K}}$$

*interna

$$U = 1/RT$$

$$U = 1/0,2542$$

$$\mathbf{U = 3,93 \text{ W}/ \text{m}^2.\text{K}}$$

c) CAPACIDADE TÉRMICA

*externa

$$CT = \sum e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{conc}$$

$$CT = 0,10 \times 1,00 \times 2300$$

$$CT_a = 230 \text{ kJ/(m}^2\text{.K)}$$

*interna

$$CT = \sum e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{conc}$$

$$CT = 0,08 \times 1,00 \times 2300$$

$$CT_a = 184 \text{ kJ/(m}^2\text{.K)}$$

CÁLCULO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DA COBERTURA INCLINADA

*telha cerâmica e forro de gesso acartonado.

Informações:

$$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{.K/W}$$

$$R_{si} = 0,17 \text{ m}^2\text{.K/W}$$

$$R_{ar} = 0,21 \text{ (e > 5,0cm)}$$

$$\varepsilon = 0,9$$

$$\lambda_{cerâmica} = 0,70 \text{ W/m}^2\text{.K}$$

$$\lambda_{gesso} = 0,35 \text{ W/m}^2\text{.K}$$

$$\rho_{cerâmica} = 1200 \text{ Kg/m}^3$$

$$\rho_{gesso} = 850 \text{ Kg/m}^3$$

$$c_{cerâmica} = 0,92 \text{ KJ/(Kg.k)}$$

$$c_{gesso} = 0,84 \text{ KJ/(Kg.k)}$$

d) RESISTÊNCIA TÉRMICA (VERÃO)

$$R_t = e_{cer}/\lambda_{cer} + R_{ar} + e_{gesso}/\lambda_{gesso}$$

$$R_t = 0,015/0,70 + 0,21 + 0,015/0,35$$

$$R_t = 0,2743 \text{ m}^2\text{.K/W}$$

e) RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL

$$RT = R_{si} + R_t + R_{se}$$

$$RT = 0,17 + 0,2743 + 0,04$$

$$RT = 0,4843 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

f) TRANSMITÂNCIA TÉRMICA

$$U = 1/RT$$

$$U = 1/0,4843$$

$$U = 2,06 \text{ W/ m}^2.\text{K}$$

g) CAPACIDADE TÉRMICA

$$CT = e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{fib} + (e \cdot c \cdot \rho)_{ar} + (e \cdot c \cdot \rho)_{laje}$$

$$CT = (0,015 \times 0,92 \times 1200) + 0 + (0,015 \times 0,84 \times 850)$$

$$CT = 27,27 \text{ kJ/(m}^2.\text{K)}$$

CÁLCULO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DO PISO

*piso cerâmico

Informações:

$$R_{si} = 0,10 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

$$\lambda_{contrapiso} = 1,75 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$\lambda_{porcelanato} = 1,05 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$\rho_{contrapiso} = 2200 \text{ Kg/m}^3$$

$$\rho_{porcelanato} = 2000 \text{ Kg/m}^3$$

$$c_{contrapiso} = 1,00 \text{ KJ/(Kg.k)}$$

$$c_{porcalanato} = 0,92 \text{ KJ/(Kg.k)}$$

h) RESISTÊNCIA TÉRMICA

$$Rt = e_{cont}/\lambda_{cont} + e_{cer}/\lambda_{cer}$$

$$Rt = 0,05/1,75 + 0,01/1,05$$

$$Rt = 0,0381 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

i) RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL

$$RT = R_{si} + Rt$$

$$RT = 0,10 + 0,0381$$

$$RT = 0,1381 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

j) TRANSMITÂNCIA TÉRMICA

$$U = 1/RT$$

$$U = 1/0,1381$$

$$U = 7,24 \text{ W/ m}^2.\text{K}$$

k) CAPACIDADE TÉRMICA

$$CT = e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{cont} + (e \cdot c \cdot \rho)_{cer}$$

$$CT = (0,05 \times 1,00 \times 2200) + (0,01 \times 0,92 \times 2000)$$

$$CT = 128,4 \text{ kJ/(m}^2.\text{K)}$$

*áreas secas: piso laminado

Informações:

$$R_{si} = 0,10 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

$$\lambda_{contrapiso} = 1,75 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$\lambda_{laminado} = 0,12 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$\rho_{contrapiso} = 2200 \text{ Kg/m}^3$$

$$\rho_{laminado} = 550 \text{ Kg/m}^3$$

$$c_{contrapiso} = 1,00 \text{ KJ/(Kg.k)}$$

$$c_{laminado} = 2,30 \text{ KJ/(Kg.k)}$$

l) RESISTÊNCIA TÉRMICA

$$Rt = e_{cont}/\lambda_{cont} + e_{lam}/\lambda_{lam}$$

$$Rt = 0,05/1,75 + 0,008/0,12$$

$$Rt = 0,0952 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

m) RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL

$$RT = R_{si} + Rt$$

$$RT = 0,10 + 0,0952$$

$$RT = 0,1952 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

n) TRANSMITÂNCIA TÉRMICA

$$U = 1/RT$$

$$U = 1/0,1952$$

$$U = 5,12 \text{ W/ m}^2.\text{K}$$

o) CAPACIDADE TÉRMICA

$$CT = e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{cont} + (e \cdot c \cdot \rho)_{lam}$$

$$CT = (0,05 \times 1,00 \times 2200) + (0,008 \times 0,12 \times 550)$$

$$CT = 110,528 \text{ kJ/(m}^2.\text{K)}$$

HAB11**CÁLCULO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DAS PAREDES EXTERNAS**

*concreto moldado *in loco* paredes externas com 10cm e paredes internas com 8cm.

Informações:

$$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

$$R_{si} = 0,13 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

$$\varepsilon_{branco/bege} = 0,90$$

$$\lambda_{concreto} = 0,95 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$\rho_{concreto} = 2300 \text{ Kg/m}^3$$

$$c_{concreto} = 1,00 \text{ KJ/(Kg.k)}$$

a) RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL

*externa

$$RT = R_{si} + R_{conc} + R_{se}$$

$$RT = R_{si} + e_{conc}/\lambda_{conc} + R_{se}$$

$$RT = 0,13 + 0,10/0,95 + 0,04$$

$$RT = 0,2753 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

*interna

$$RT = R_{si} + R_{conc} + R_{se}$$

$$RT = R_{si} + e_{conc}/\lambda_{conc} + R_{se}$$

$$RT = 0,13 + 0,08/0,95 + 0,04$$

$$RT = 0,2542 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

b) TRANSMITÂNCIA TÉRMICA

*externa

$$U = 1/RT$$

$$U = 1/0,2753$$

$$U = 3,63 \text{ W/ m}^2.\text{K}$$

*interna

$$U = 1/RT$$

$$U = 1/0,2542$$

$$U = 3,93 \text{ W/ m}^2.\text{K}$$

c) CAPACIDADE TÉRMICA

*externa

$$CT = \sum e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{conc}$$

$$CT = 0,10 \times 1,00 \times 2300$$

$$CT_a = 230 \text{ kJ/(m}^2.\text{K)}$$

*interna

$$CT = \sum e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{conc}$$

$$CT = 0,08 \times 1,00 \times 2300$$

$$CT_a = 184 \text{ kJ/(m}^2.\text{K)}$$

CÁLCULO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DA COBERTURA INCLINADA

*telha cerâmica e forro de gesso acartonado.

Informações:

$$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

$$R_{si} = 0,17 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

$$R_{ar} = 0,21 \text{ (e > 5,0cm)}$$

$$\varepsilon = 0,9$$

$$\lambda_{cerâmica} = 0,70 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$\lambda_{gesso} = 0,35 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$\rho_{cerâmica} = 1200 \text{ Kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{gesso}} = 850 \text{ Kg/m}^3$$

$$c_{\text{cerâmica}} = 0,92 \text{ KJ/(Kg.k)}$$

$$c_{\text{gesso}} = 0,84 \text{ KJ/(Kg.k)}$$

d) RESISTÊNCIA TÉRMICA (VERÃO)

$$R_t = e_{\text{cer}}/\lambda_{\text{cer}} + R_{\text{ar}} + e_{\text{gesso}}/\lambda_{\text{gesso}}$$

$$R_t = 0,015/0,70 + 0,21 + 0,015/0,35$$

$$R_t = 0,2743 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

e) RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se}$$

$$R_T = 0,17 + 0,2743 + 0,04$$

$$R_T = 0,4843 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

f) TRANSMITÂNCIA TÉRMICA

$$U = 1/R_T$$

$$U = 1/0,4843$$

$$U = 2,06 \text{ W/ m}^2.\text{K}$$

g) CAPACIDADE TÉRMICA

$$CT = e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{fib} + (e \cdot c \cdot \rho)_{ar} + (e \cdot c \cdot \rho)_{laje}$$

$$CT = (0,015 \times 0,92 \times 1200) + 0 + (0,015 \times 0,84 \times 850)$$

$$CT = 27,27 \text{ kJ/(m}^2.\text{K)}$$

CÁLCULO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DO PISO

*piso cerâmico

Informações:

$$R_{si} = 0,10 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

$$\lambda_{\text{contrapiso}} = 1,75 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$\lambda_{\text{porcelanato}} = 1,05 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$\rho_{\text{contrapiso}} = 2200 \text{ Kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{porcelanato}} = 2000 \text{ Kg/m}^3$$

$$c_{\text{contrapiso}} = 1,00 \text{ KJ/(Kg.k)}$$

$$c_{porcalanato} = 0,92 \text{ KJ}/(\text{Kg.k})$$

h) RESISTÊNCIA TÉRMICA

$$R_t = e_{cont}/\lambda_{cont} + e_{cer}/\lambda_{cer}$$

$$R_t = 0,05/1,75 + 0,01/1,05$$

$$R_t = 0,0381 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$$

i) RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL

$$R_T = R_{si} + R_t$$

$$R_T = 0,10 + 0,0381$$

$$R_T = 0,1381 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$$

j) TRANSMITÂNCIA TÉRMICA

$$U = 1/R_T$$

$$U = 1/0,1381$$

$$U = 7,24 \text{ W}/\text{m}^2.\text{K}$$

k) CAPACIDADE TÉRMICA

$$CT = e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{cont} + (e \cdot c \cdot \rho)_{cer}$$

$$CT = (0,05 \times 1,00 \times 2200) + (0,01 \times 0,92 \times 2000)$$

$$CT = 128,4 \text{ kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$$

*áreas secas: piso laminado

Informações:

$$R_{si} = 0,10 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$$

$$\lambda_{contrapiso} = 1,75 \text{ W}/\text{m}^2.\text{K}$$

$$\lambda_{laminado} = 0,12 \text{ W}/\text{m}^2.\text{K}$$

$$\rho_{contrapiso} = 2200 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

$$\rho_{laminado} = 550 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

$$c_{contrapiso} = 1,00 \text{ KJ}/(\text{Kg.k})$$

$$c_{laminado} = 2,30 \text{ KJ}/(\text{Kg.k})$$

l) RESISTÊNCIA TÉRMICA

$$R_t = e_{cont}/\lambda_{cont} + e_{lam}/\lambda_{lam}$$

$$R_t = 0,05/1,75 + 0,008/0,12$$

$$R_t = 0,0952 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

m) RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL

$$R_T = R_{si} + R_t$$

$$R_T = 0,10 + 0,0952$$

$$R_T = 0,1952 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

n) TRANSMITÂNCIA TÉRMICA

$$U = 1/R_T$$

$$U = 1/0,1952$$

$$U = 5,12 \text{ W/ m}^2.\text{K}$$

o) CAPACIDADE TÉRMICA

$$CT = e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{cont} + (e \cdot c \cdot \rho)_{lam}$$

$$CT = (0,05 \times 1,00 \times 2200) + (0,008 \times 0,12 \times 550)$$

$$CT = 110,528 \text{ kJ/(m}^2.\text{K)}$$

HAB12**CÁLCULO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DAS PAREDES EXTERNAS**

*concreto moldado *in loco* paredes externas com 10cm e paredes internas com 8cm.

Informações:

$$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

$$R_{si} = 0,13 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

$$\varepsilon_{branco/bege} = 0,90$$

$$\lambda_{concreto} = 0,95 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$\rho_{concreto} = 2300 \text{ Kg/m}^3$$

$$c_{concreto} = 1,00 \text{ KJ/(Kg.k)}$$

a) RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL

*externa

$$RT = R_{si} + R_{conc} + R_{se}$$

$$RT = R_{si} + e_{conc}/\lambda_{conc} + R_{se}$$

$$RT = 0,13 + 0,10/095 + 0,04$$

$$RT = 0,2753 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

*interna

$$RT = R_{si} + R_{conc} + R_{se}$$

$$RT = R_{si} + e_{conc}/\lambda_{conc} + R_{se}$$

$$RT = 0,13 + 0,08/095 + 0,04$$

$$RT = 0,2542 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

b) TRANSMITÂNCIA TÉRMICA

*externa

$$U = 1/RT$$

$$U = 1/0,2753$$

$$U = 3,63 \text{ W/ m}^2.\text{K}$$

*interna

$$U = 1/RT$$

$$U = 1/0,2542$$

$$U = 3,93 \text{ W/ m}^2.\text{K}$$

c) CAPACIDADE TÉRMICA

*externa

$$CT = \sum e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{conc}$$

$$CT = 0,10 \times 1,00 \times 2300$$

$$CT_a = 230 \text{ kJ/(m}^2.\text{K)}$$

*interna

$$CT = \sum e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{conc}$$

$$CT = 0,08 \times 1,00 \times 2300$$

$$CT_a = 184 \text{ kJ/(m}^2.\text{K)}$$

CÁLCULO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DA COBERTURA INCLINADA

*telha cerâmica e forro de gesso acartonado.

Informações:

$$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$$

$$R_{si} = 0,17 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$$

$$R_{ar} = 0,21 \text{ (e > 5,0cm)}$$

$$\varepsilon = 0,9$$

$$\lambda_{cerâmica} = 0,70 \text{ W}/\text{m}^2.\text{K}$$

$$\lambda_{gesso} = 0,35 \text{ W}/\text{m}^2.\text{K}$$

$$\rho_{cerâmica} = 1200 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

$$\rho_{gesso} = 850 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

$$c_{cerâmica} = 0,92 \text{ KJ}/(\text{Kg}.\text{k})$$

$$c_{gesso} = 0,84 \text{ KJ}/(\text{Kg}.\text{k})$$

d) RESISTÊNCIA TÉRMICA (VERÃO)

$$R_t = e_{cer}/\lambda_{cer} + R_{ar} + e_{gesso}/\lambda_{gesso}$$

$$R_t = 0,015/0,70 + 0,21 + 0,015/0,35$$

$$R_t = 0,2743 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$$

e) RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se}$$

$$R_T = 0,17 + 0,2743 + 0,04$$

$$R_T = 0,4843 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$$

f) TRANSMITÂNCIA TÉRMICA

$$U = 1/R_T$$

$$U = 1/0,4843$$

$$U = 2,06 \text{ W}/\text{m}^2.\text{K}$$

g) CAPACIDADE TÉRMICA

$$CT = e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{fib} + (e \cdot c \cdot \rho)_{ar} + (e \cdot c \cdot \rho)_{laje}$$

$$CT = (0,015 \times 0,92 \times 1200) + 0 + (0,015 \times 0,84 \times 850)$$

$$CT = 27,27 \text{ kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$$

CÁLCULO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DO PISO

*piso cerâmico

Informações:

$$R_{si} = 0,10 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$$

$$\lambda_{contrapiso} = 1,75 \text{ W}/\text{m}^2.\text{K}$$

$$\lambda_{porcelanato} = 1,05 \text{ W}/\text{m}^2.\text{K}$$

$$\rho_{contrapiso} = 2200 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

$$\rho_{porcelanato} = 2000 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

$$c_{contrapiso} = 1,00 \text{ KJ}/(\text{Kg}.\text{k})$$

$$c_{porcalanato} = 0,92 \text{ KJ}/(\text{Kg}.\text{k})$$

h) RESISTÊNCIA TÉRMICA

$$R_t = e_{cont}/\lambda_{cont} + e_{cer}/\lambda_{cer}$$

$$R_t = 0,05/1,75 + 0,01/1,05$$

$$R_t = 0,0381 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$$

i) RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL

$$R_T = R_{si} + R_t$$

$$R_T = 0,10 + 0,0381$$

$$R_T = 0,1381 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$$

j) TRANSMITÂNCIA TÉRMICA

$$U = 1/R_T$$

$$U = 1/0,1381$$

$$U = 7,24 \text{ W}/\text{m}^2.\text{K}$$

k) CAPACIDADE TÉRMICA

$$CT = e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{cont} + (e \cdot c \cdot \rho)_{cer}$$

$$CT = (0,05 \times 1,00 \times 2200) + (0,01 \times 0,92 \times 2000)$$

$$CT = 128,4 \text{ kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$$

*áreas secas: piso vinílico

Informações:

$$R_{si} = 0,10 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$$

$$\lambda_{contrapiso} = 1,75 \text{ W}/\text{m}^2.\text{K}$$

$$\lambda_{vinílico} = 0,40 \text{ W}/\text{m}^2.\text{K}$$

$$\rho_{contrapiso} = 2200 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

$$\rho_{vinílico} = 1700 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

$$c_{contrapiso} = 1,00 \text{ KJ}/(\text{Kg}.\text{k})$$

l) RESISTÊNCIA TÉRMICA

$$R_t = e_{cont}/\lambda_{cont} + e_{vin}/\lambda_{vin}$$

$$R_t = 0,05/1,75 + 0,05/0,4$$

$$R_t = 0,0411 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$$

m) RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL

$$R_T = R_{si} + R_t$$

$$R_T = 0,10 + 0,0411$$

$$R_T = 0,1411 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$$

n) TRANSMITÂNCIA TÉRMICA

$$U = 1/R_T$$

$$U = 1/0,1411$$

$$U = 7,09 \text{ W}/\text{m}^2.\text{K}$$

o) CAPACIDADE TÉRMICA

$$CT = e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{cont} + (e \cdot c \cdot \rho)_{vin}$$

$$CT = (0,05 \times 1,00 \times 2200) + (0,05 \times 1,46 \times 1700)$$

$$CT = 122,41 \text{ kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$$

APÊNDICE D – Tabelas com os demais resultados obtidos nas simulações

HABITAÇÃO 01 - NORTE-SUL - UMIDADE RELATIVA SUPERFÍCIE

	PAR_SUL_DORM1	PAR_SUL_SALAC0Z	PAR_NORTE_DORM2	PAR_NORTE_SALAC0Z
80% UMIDADE 12H CONSECUTIVAS POR 5 DIAS CONSECUTIVOS	27	29	21	24
80% UMIDADE 30 DIAS CONSECUTIVAS	0	0	0	0
98% UMIDADE 7 DIAS CONSECUTIVOS	0	0	0	0
100% UMIDADE 24 HORAS CONSECUTIVAS	0	0	0	0

HABITAÇÃO 02 - NORTE-SUL - UMIDADE RELATIVA SUPERFÍCIE

	PAR_SUL_DORM1	PAR_SUL_SALAC0Z	PAR_NORTE_DORM2	PAR_NORTE_SALAC0Z
80% UMIDADE 12H CONSECUTIVAS POR 5 DIAS CONSECUTIVOS	21	28	20	23
80% UMIDADE 30 DIAS CONSECUTIVAS	0	0	0	0
98% UMIDADE 7 DIAS CONSECUTIVOS	0	0	0	0
100% UMIDADE 24 HORAS CONSECUTIVAS	0	0	0	0

HABITAÇÃO 03 - NORTE-SUL - UMIDADE RELATIVA SUPERFÍCIE

	PAR_NORTE_DORM1	PAR_SUL_SALAC0Z	PAR_SUL_WC	PAR_NORTE_SALAC0Z
80% UMIDADE 12H CONSECUTIVAS POR 5 DIAS CONSECUTIVOS	25	34	39	32
80% UMIDADE 30 DIAS CONSECUTIVAS	0	0	0	0
98% UMIDADE 7 DIAS CONSECUTIVOS	0	0	0	0
100% UMIDADE 24 HORAS CONSECUTIVAS	0	0	0	0

HABITAÇÃO 04 - NORTE-SUL - UMIDADE RELATIVA SUPERFÍCIE

	PAR_SUL_ DORM	PAR_SUL_ SALACÓZ	PAR_SUL_WC	PAR_NORTE_ DORM	PAR_NORTE_ SALACÓZ
80% UMIDADE 12H CONSECUTIVAS POR 5 DIAS CONSECUTIVOS	19	17	32	19	14
80% UMIDADE 30 DIAS CONSECUTIVAS	0	0	0	0	0
98% UMIDADE 7 DIAS CONSECUTIVOS	0	0	0	0	0
100% UMIDADE 24 HORAS CONSECUTIVAS	0	0	0	0	0

HABITAÇÃO 05 - NORTE-SUL - UMIDADE RELATIVA SUPERFÍCIE

	PAR_SUL_SALA	PAR_SUL_COZ	PAR_NORTE_DORM2	PAR_NORTE_COZ
80% UMIDADE 12H CONSECUTIVAS POR 5 DIAS CONSECUTIVOS	26	31	21	29
80% UMIDADE 30 DIAS CONSECUTIVAS	0	0	0	0
98% UMIDADE 7 DIAS CONSECUTIVOS	0	0	0	0
100% UMIDADE 24 HORAS CONSECUTIVAS	0	0	0	0

HABITAÇÃO 06 - NORTE-SUL - UMIDADE RELATIVA SUPERFÍCIE

	PAR_SUL_DORM1	PAR_SUL_SALACÓZ	PAR_NORTE_DORM3	PAR_NORTE_DORM4
80% UMIDADE 12H CONSECUTIVAS POR 5 DIAS CONSECUTIVOS	32	29	47	46
80% UMIDADE 30 DIAS CONSECUTIVAS	0	0	0	0
98% UMIDADE 7 DIAS CONSECUTIVOS	0	0	0	0
100% UMIDADE 24 HORAS CONSECUTIVAS	0	0	0	0

HABITAÇÃO 07 - NORTE-SUL - UMIDADE RELATIVA SUPERFÍCIE

	PAR_SUL_DORM1	PAR_SUL_SALAC0Z	PAR_NORTE_WC	PAR_NORTE_DORM2	PAR_NORTE_SALAC0Z
80% UMIDADE 12H CONSECUTIVAS POR 5 DIAS CONSECUTIVOS	30	28	32	25	26
80% UMIDADE 30 DIAS CONSECUTIVAS	0	0	0	0	0
98% UMIDADE 7 DIAS CONSECUTIVOS	0	0	0	0	0
100% UMIDADE 24 HORAS CONSECUTIVAS	0	0	0	0	0

HABITAÇÃO 08 - NORTE-SUL - UMIDADE RELATIVA SUPERFÍCIE

	PAR_SUL_DORM1	PAR_SUL_SALAC0Z	PAR_NORTE_DORM3
80% UMIDADE 12H CONSECUTIVAS POR 5 DIAS CONSECUTIVOS	33	32	40
80% UMIDADE 30 DIAS CONSECUTIVAS	0	0	0
98% UMIDADE 7 DIAS CONSECUTIVOS	0	0	0
100% UMIDADE 24 HORAS CONSECUTIVAS	0	0	0

HABITAÇÃO 09 - NORTE-SUL - UMIDADE RELATIVA SUPERFÍCIE

	PAR_SUL_DORM1	PAR_SUL_SALALAV	PAR_NORTE_COZ	PAR_NORTE_DORM3
80% UMIDADE 12H CONSECUTIVAS POR 5 DIAS CONSECUTIVOS	32	31	30	27
80% UMIDADE 30 DIAS CONSECUTIVAS	0	0	0	0
98% UMIDADE 7 DIAS CONSECUTIVOS	0	0	0	0
100% UMIDADE 24 HORAS CONSECUTIVAS	0	0	0	0

HABITAÇÃO 10 - NORTE-SUL - UMIDADE RELATIVA SUPERFÍCIE

	PAR_SUL_DORM1	PAR_SUL_SALA	PAR_SUL_WC	PAR_NORTE_COZ
80% UMIDADE 12H CONSECUTIVAS POR 5 DIAS CONSECUTIVOS	40	44	50	37
80% UMIDADE 30 DIAS CONSECUTIVAS	0	0	0	0
98% UMIDADE 7 DIAS CONSECUTIVOS	0	0	0	0
100% UMIDADE 24 HORAS CONSECUTIVAS	0	0	0	0

HABITAÇÃO 11 - NORTE-SUL - UMIDADE RELATIVA SUPERFÍCIE

	PAR_SUL_DORM1	PAR_SUL_SALACQZ	PAR_SUL_WC	PAR_NORTE_CHURRASQ
80% UMIDADE 12H CONSECUTIVAS POR 5 DIAS CONSECUTIVOS	31	30	37	43
80% UMIDADE 30 DIAS CONSECUTIVAS	0	0	0	0
98% UMIDADE 7 DIAS CONSECUTIVOS	0	0	0	0
100% UMIDADE 24 HORAS CONSECUTIVAS	0	0	0	0

HABITAÇÃO 12 - NORTE-SUL - UMIDADE RELATIVA SUPERFÍCIE

	PAR_SUL_DORM1	PAR_SUL_SALACQZ	PAR_SUL_WC	PAR_NORTE_DORM2	PAR_NORTE_SALACQZ
80% UMIDADE 12H CONSECUTIVAS POR 5 DIAS CONSECUTIVOS	40	43	38	39	40
80% UMIDADE 30 DIAS CONSECUTIVAS	0	0	0	0	0
98% UMIDADE 7 DIAS CONSECUTIVOS	0	0	0	0	0
100% UMIDADE 24 HORAS CONSECUTIVAS	0	0	0	0	0

HABITAÇÃO 01 – LESTE-OESTE - UMIDADE RELATIVA SUPERFÍCIE

	PAR_OESTE_DORM1	PAR_OESTE_SALAC0Z	PAR_LESTE_DORM2	PAR_LESTE_SALAC0Z
80% UMIDADE 12H CONSECUTIVAS POR 5 DIAS CONSECUTIVOS	31	32	29	27
80% UMIDADE 30 DIAS CONSECUTIVAS	0	0	0	0
98% UMIDADE 7 DIAS CONSECUTIVOS	0	0	0	0
100% UMIDADE 24 HORAS CONSECUTIVAS	0	0	0	0

HABITAÇÃO 02 - LESTE-OESTE - UMIDADE RELATIVA SUPERFÍCIE

	PAR_OESTE_DORM1	PAR_OESTE_SALAC0Z	PAR_LESTE_DORM2	PAR_LESTE_SALAC0Z
80% UMIDADE 12H CONSECUTIVAS POR 5 DIAS CONSECUTIVOS	27	26	26	23
80% UMIDADE 30 DIAS CONSECUTIVAS	0	0	0	0
98% UMIDADE 7 DIAS CONSECUTIVOS	0	0	0	0
100% UMIDADE 24 HORAS CONSECUTIVAS	0	0	0	0

HABITAÇÃO 03 - LESTE-OESTE - UMIDADE RELATIVA SUPERFÍCIE

	PAR_LESTE_DORM1	PAR_OESTE_SALAC0Z	PAR_OESTE_WC	PAR_LESTE_SALAC0Z
80% UMIDADE 12H CONSECUTIVAS POR 5 DIAS CONSECUTIVOS	31	33	41	31
80% UMIDADE 30 DIAS CONSECUTIVAS	0	0	0	0
98% UMIDADE 7 DIAS CONSECUTIVOS	0	0	0	0
100% UMIDADE 24 HORAS CONSECUTIVAS	0	0	0	0

HABITAÇÃO 04 - LESTE-OESTE - UMIDADE RELATIVA SUPERFÍCIE

	PAR_OESTE_ DORM	PAR_OESTE_ SALACÓZ	PAR_OESTE_WC	PAR_LESTE_ DORM	PAR_LESTE_ SALACÓZ
80% UMIDADE 12H CONSECUTIVAS POR 5 DIAS CONSECUTIVOS	38	38	59	38	38
80% UMIDADE 30 DIAS CONSECUTIVAS	0	0	0	0	0
98% UMIDADE 7 DIAS CONSECUTIVOS	0	0	0	0	0
100% UMIDADE 24 HORAS CONSECUTIVAS	0	0	0	0	0

HABITAÇÃO 05 - LESTE-OESTE - UMIDADE RELATIVA SUPERFÍCIE

	PAR_OESTE_ SALA	PAR_OESTE_ COZ	PAR_LESTE_ DORM2	PAR_LESTE_ COZ
80% UMIDADE 12H CONSECUTIVAS POR 5 DIAS CONSECUTIVOS	23	30	22	31
80% UMIDADE 30 DIAS CONSECUTIVAS	0	0	0	0
98% UMIDADE 7 DIAS CONSECUTIVOS	0	0	0	0
100% UMIDADE 24 HORAS CONSECUTIVAS	0	0	0	0

HABITAÇÃO 06 - LESTE-OESTE - UMIDADE RELATIVA SUPERFÍCIE

	PAR_OESTE_ DORM1	PAR_OESTE_ SALACÓZ	PAR_LESTE_ DORM3	PAR_LESTE_ DORM4
80% UMIDADE 12H CONSECUTIVAS POR 5 DIAS CONSECUTIVOS	30	30	44	41
80% UMIDADE 30 DIAS CONSECUTIVAS	0	0	0	0
98% UMIDADE 7 DIAS CONSECUTIVOS	0	0	0	0
100% UMIDADE 24 HORAS CONSECUTIVAS	0	0	0	0

HABITAÇÃO 07 - LESTE-OESTE - UMIDADE RELATIVA SUPERFÍCIE

	PAR_OESTE_ DORM1	PAR_OESTE_ SALACÓZ	PAR_LESTE_WC	PAR_LESTE_ DORM2	PAR_LESTE_ SALACÓZ
80% UMIDADE 12H CONSECUTIVAS POR 5 DIAS CONSECUTIVOS	27	29	29	26	26
80% UMIDADE 30 DIAS CONSECUTIVAS	0	0	0	0	0
98% UMIDADE 7 DIAS CONSECUTIVOS	0	0	0	0	0
100% UMIDADE 24 HORAS CONSECUTIVAS	0	0	0	0	0

HABITAÇÃO 08 - LESTE-OESTE - UMIDADE RELATIVA SUPERFÍCIE

	PAR_OESTE_DORM1	PAR_OESTE_SALACÓZ	PAR_LESTE_DORM3
80% UMIDADE 12H CONSECUTIVAS POR 5 DIAS CONSECUTIVOS	30	33	40
80% UMIDADE 30 DIAS CONSECUTIVAS	0	0	0
98% UMIDADE 7 DIAS CONSECUTIVOS	0	0	0
100% UMIDADE 24 HORAS CONSECUTIVAS	0	0	0

HABITAÇÃO 09 - LESTE-OESTE - UMIDADE RELATIVA SUPERFÍCIE

	PAR_OESTE_DORM1	PAR_OESTE_SALALAV	PAR_LESTE_COZ	PAR_LESTE_DORM3
80% UMIDADE 12H CONSECUTIVAS POR 5 DIAS CONSECUTIVOS	29	31	29	27
80% UMIDADE 30 DIAS CONSECUTIVAS	0	0	0	0
98% UMIDADE 7 DIAS CONSECUTIVOS	0	0	0	0
100% UMIDADE 24 HORAS CONSECUTIVAS	0	0	0	0

HABITAÇÃO 10 - LESTE-OESTE - UMIDADE RELATIVA SUPERFÍCIE

	PAR_OESTE_DORM1	PAR_OESTE_SALA	PAR_OESTE_WC	PAR_LESTE_COZ
80% UMIDADE 12H CONSECUTIVAS POR 5 DIAS CONSECUTIVOS	37	41	44	41
80% UMIDADE 30 DIAS CONSECUTIVAS	0	0	0	0
98% UMIDADE 7 DIAS CONSECUTIVOS	0	0	0	0
100% UMIDADE 24 HORAS CONSECUTIVAS	0	0	0	0

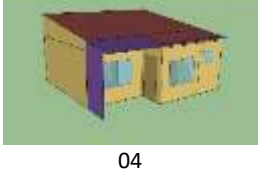
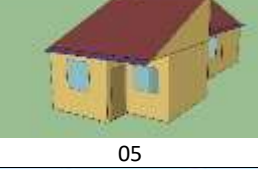
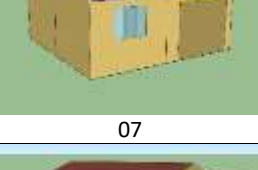
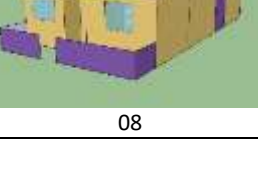
HABITAÇÃO 11 - LESTE-OESTE - UMIDADE RELATIVA SUPERFÍCIE

	PAR_OESTE_DORM1	PAR_OESTE_SALACQZ	PAR_OESTE_WC	PAR_LESTE_CHURRASQ
80% UMIDADE 12H CONSECUTIVAS POR 5 DIAS CONSECUTIVOS	44	46	46	43
80% UMIDADE 30 DIAS CONSECUTIVAS	0	0	0	0
98% UMIDADE 7 DIAS CONSECUTIVOS	0	0	0	0
100% UMIDADE 24 HORAS CONSECUTIVAS	0	0	0	0

HABITAÇÃO 12 - LESTE-OESTE - UMIDADE RELATIVA SUPERFÍCIE

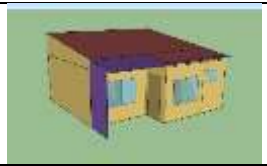
	PAR_OESTE_DORM1	PAR_LESTE_SALACQZ	PAR_OESTE_WC	PAR_LESTE_DORM2	PAR_OESTE_SALACQZ
80% UMIDADE 12H CONSECUTIVAS POR 5 DIAS CONSECUTIVOS	38	43	35	40	45
80% UMIDADE 30 DIAS CONSECUTIVAS	0	0	0	0	0
98% UMIDADE 7 DIAS CONSECUTIVOS	0	0	0	0	0
100% UMIDADE 24 HORAS CONSECUTIVAS	0	0	0	0	0

NORTE SUL

HABITAÇÃO	80% UMIDADE 12H CONSECUTIVAS POR 5 DIAS CONSECUTIVOS		80% UMIDADE 30 DIAS CONSECUTIVAS		98% UMIDADE 7 DIAS CONSECUTIVOS		100% UMIDADE 24 HORAS CONSECUTIVAS	
	NORTE	SUL	NORTE	SUL	NORTE	SUL	NORTE	SUL
 01	24 SALACOZ	29 SALACOZ	0	0	0	0	0	0
 02	23 SALACOZ	28 SALACOZ	0	0	0	0	0	0
 03	32 SALACOZ	39 WC	0	0	0	0	0	0
 04	19 DORM	32 WC	0	0	0	0	0	0
 05	29 COZ	31 COZ	0	0	0	0	0	0
 06	47 DORM3	32 DORM1	0	0	0	0	0	0
 07	32 WC	30 DORM1	0	0	0	0	0	0
 08	40 DORM3	33 DORM1	0	0	0	0	0	0

 09	30 COZ	32 DORM1	0	0	0	0	0	0
 10	37 COZ	50 WC	0	0	0	0	0	0
 11	43 CHUR	37 WC	0	0	0	0	0	0
 12	40 SALACÓZ	43 SALACÓZ	0	0	0	0	0	0

LESTE OESTE

HABITAÇÃO	80% UMIDADE 12H CONSECUTIVAS POR 5 DIAS CONSECUTIVOS		80% UMIDADE 30 DIAS CONSECUTIVAS		98% UMIDADE 7 DIAS CONSECUTIVOS		100% UMIDADE 24 HORAS CONSECUTIVAS	
	LESTE	OESTE	LESTE	OESTE	LESTE	OESTE	LESTE	OESTE
 01	29 DORM2	32 SALACÓZ	0	0	0	0	0	0
 02	26 DORM2	27 DORM1	0	0	0	0	0	0
 03	31 DORM1 / SALACÓZ	41 WC	0	0	0	0	0	0
 	38 DORM / SALACÓZ	59 WC	0	0	0	0	0	0

04								
	31 COZ	30 COZ	0	0	0	0	0	0
05								
	44 DORM3	30 DORM1 / SALAC0Z	0	0	0	0	0	0
06								
	29 WC	29 SALAC0Z	0	0	0	0	0	0
07								
	40 DORM3	33 SALAC0Z	0	0	0	0	0	0
08								
	29 COZ	31 SALALAV	0	0	0	0	0	0
09								
	41 COZ	44 WC	0	0	0	0	0	0
10								
	43 CHUR	46 SALAC0Z / WC	0	0	0	0	0	0
11								
	43 SALAC0Z	45 SALAC0Z	0	0	0	0	0	0
12								