

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS – UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO
NÍVEL MESTRADO**

KERSTYN LAUFER HARTMANN

**AVALIAÇÃO DO CONFORTO HIGROTÉRMICO EM EDIFICAÇÕES
RESIDENCIAIS: ESTUDO DE CASO PARA ZONA BIOCLIMÁTICA 2**

São Leopoldo

2021

KERSTYN LAUFER HARTMANN

**AVALIAÇÃO DO CONFORTO HIGROTÉRMICO EM EDIFICAÇÕES
RESIDENCIAIS: ESTUDO DE CASO PARA ZONA BIOCLIMÁTICA 2**

Trabalho apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

Orientadora: Profa. Dra. Maria Fernanda de Oliveira

Coorientadora: Profa. Dra. Josiane Pires

São Leopoldo

2021

H333a

Hartmann, Kerstyn Laufer.

Avaliação do conforto higrotérmico em edificações residenciais : estudo de caso para Zona Bioclimática 2 / Kerstyn Laufer Hartmann. – 2021.

103 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, 2021.

“Orientadora: Profa. Dra. Maria Fernanda de Oliveira
Coorientadora: Profa. Dra. Josiane Pires.”

1. Umidade. 2. Condensação. 3. Propriedade dos materiais. 4. Edificação residencial. I. Título.

CDU 72

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Bibliotecária: Amanda Schuster – CRB 10/2517)

AGRADECIMENTO

Em primeiro lugar, agradeço à minha família, meus pais Mauri e Mere e meu irmão Kevyn, pelo apoio, carinho, compreensão nos momentos de falta e estímulo para a realização desse trabalho.

À minha orientadora, Maria Fernanda de Oliveira, agradeço pela ajuda na escolha do tema, pela atenção e dedicação em prontamente sanar dúvidas e colaborar com boas sugestões. De igual forma, à minha coorientadora Josiane Pires, mas também, quanto ao auxílio e orientação no uso do software WUFI-Plus.

Aos professores e colegas com quem tive contato no período de elaboração da dissertação, pelas contribuições e despertar de curiosidade para o desenvolvimento da pesquisa.

A todos que de alguma forma incentivaram e assessoraram a minha formação e a realização desse trabalho.

Por fim, agradeço ao itt Performance pela cedência do software para a realização da pesquisa e aos colegas deste instituto pela recepção e compreensão na utilização da infraestrutura, principalmente em função do período de maior controle do distanciamento social decorrente da pandemia do Covid-19.

RESUMO

O conforto higrotérmico é a avaliação dos fatores de temperatura e umidade sobre a sensação de bem-estar dos usuários. Essas variáveis interferem na ocorrência de condensação e no desenvolvimento de fungos filamentosos no interior das edificações, que causam problemas de saúde, principalmente respiratórios, nos usuários e danos materiais e financeiros às edificações. Em busca de analisar a influência do isolamento térmico, da ventilação e da posição solar sobre as taxas de umidade no interior dos ambientes, este estudo analisa uma unidade de um edifício residencial sobre duas orientações solares, três taxas de ventilação e três diferentes sistemas de vedação vertical. A partir das análises computacionais foi identificado a influência da posição solar sobre os modelos simulados, qual taxa de renovação de ar apresentou menos umidade interna e em qual sistema de vedação vertical a condensação ocorre com menor facilidade.

Palavras-chave: umidade, condensação, propriedade dos materiais, edificação residencial.

ABSTRACT

Hygrothermal comfort is the evaluation of temperature and humidity factors on the users' sense of well-being. These variables interfere with the occurrence of condensation and facilitates filamentous fungi growth which can cause respiratory problems for occupants, in addition to requiring maintenance and renovations in the building. To analyze the influence of thermal insulation, ventilation and solar position on indoor humidity rates, this paper studies a unit of a residential building under two solar orientations, three ventilation rates and three materials with different physical properties. Through the computational simulations were possible to indicate the influence of the solar position on the models, which air renewal rate presented less internal humidity and in which material is harder for condensation occurs.

Keywords: moisture, condensation, materials properties, residential building.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Limites de conforto em Santa Maria – RS e os métodos adaptativos.....	19
Figura 2: Limites de conforto em Florianópolis – SC e os métodos adaptativos.....	19
Figura 3: Classificação climática do Brasil de acordo com Köppen (1936).....	21
Figura 4: Zoneamento bioclimático brasileiro.....	22
Figura 5: A energia incidente pode ser absorvida, refletida ou transmitida.....	23
Figura 6: Absortância do material da superfície.....	24
Figura 7: Amortecimento e atraso térmico.....	27
Figura 8: Corte demonstrativo do fluxo de ar de acordo com a localização das aberturas de tomada e retirada de ar.....	30
Figura 9: Mapa dos ventos das velocidades predominantes por direção do TRY.....	35
Figura 10: Mapa dos ventos da frequência de ocorrência do TRY.....	36
Figura 11: Área de abertura de cada tipo de esquadria.....	38
Figura 12: Área de ventilação conforme o ângulo de abertura da janela maximar....	38
Figura 13: Área de abertura da esquadria oscilobatente.....	39
Figura 14: Esquadria com abertura superior basculante para ventilação higiênica...	39
Figura 15: Diagrama do método.....	52
Figura 16: Orientação solar utilizada.....	53
Figura 17: Modelo de simulação computacional no WUFI-Plus 3.1.1.....	54
Figura 18: Localização de Santa Maria no mapa do Rio Grande do Sul.....	56
Figura 19: Diagrama das simulações computacionais.....	58
Figura 20: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z1 no mês de MARÇO, MH de CM: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h.....	73
Figura 21: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z2 no mês de MARÇO, MH de CM: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h.....	73
Figura 22: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z3 no mês de MARÇO, MH de CM: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h.....	74
Figura 23: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z1 no mês de MARÇO, MH de BV: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h.....	75
Figura 24: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z2 no mês de MARÇO, MH de BV: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h.....	75
Figura 25: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z3 no mês de MARÇO, MH de BV: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h.....	76

Figura 26: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z1 no mês de MARÇO, MH de SL: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h	76
Figura 27: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z2 no mês de MARÇO, MH de SL: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h	77
Figura 28: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z3 no mês de MARÇO, MH de SL: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h	77
Figura 29: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z1 no mês de MARÇO, MV de CM: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h	78
Figura 30: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z2 no mês de MARÇO, MV de CM: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h	78
Figura 31: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z3 no mês de MARÇO, MV de CM: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h	79
Figura 32: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z1 no mês de MARÇO, MV de BV: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h	79
Figura 33: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z2 no mês de MARÇO, MV de BV: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h	80
Figura 34: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z3 no mês de MARÇO, MV de BV: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h	80
Figura 35: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z1 no mês de MARÇO, MV de SL: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h	81
Figura 36: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z2 no mês de MARÇO, MV de SL: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h	81
Figura 37: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z3 no mês de MARÇO, MV de SL: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h	82
Figura 38: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z1 no mês de JUNHO, MH de CM: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h	83
Figura 39: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z2 no mês de JUNHO, MH de CM: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h	83
Figura 40: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z3 no mês de JUNHO, MH de CM: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h	84
Figura 41: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z1 no mês de JUNHO, MH de BV: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h	85
Figura 42: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z2 no mês de JUNHO, MH de BV: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h	85

Figura 43: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z3 no mês de JUNHO, MH de BV: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h.....	86
Figura 44: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z1 no mês de JUNHO, MH de SL: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h	86
Figura 45: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z2 no mês de JUNHO, MH de SL: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h	87
Figura 46: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z3 no mês de JUNHO, MH de SL: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h.	87
Figura 47: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z1 no mês de JUNHO, MV de CM: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h.....	88
Figura 48: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z2 no mês de JUNHO, MV de CM: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h.....	88
Figura 49: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z3 no mês de JUNHO, MV de CM: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h.....	89
Figura 50: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z1 no mês de JUNHO, MV de BV: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h.....	90
Figura 51: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z2 no mês de JUNHO, MV de BV: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h.....	90
Figura 52: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z3 no mês de JUNHO, MV de BV: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h.....	91
Figura 53: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z1 no mês de JUNHO, MV de SL: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h.	91
Figura 54: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z2 no mês de JUNHO, MV de SL: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h.	92
Figura 55: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z3 no mês de JUNHO, MV de SL: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h.	92

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: MH, Zona 1 com 5 ren/h.	60
Gráfico 2: MH, Zona 1 com 10 ren/h.	60
Gráfico 3: MH, Zona 1 com 12 ren/h.	60
Gráfico 4: MH, Zona 2 com 5 ren/h.	61
Gráfico 5: MH, Zona 2 com 10 ren/h.	62
Gráfico 6: MH, Zona 2 com 12 ren/h.	62
Gráfico 7: MH, Zona 3 com 5 ren/h.	63
Gráfico 8: MH, Zona 3 com 10 ren/h.	63
Gráfico 9: MH, Zona 3 com 12 ren/h.	64
Gráfico 10: MV, Zona 1 com 5 ren/h.	65
Gráfico 11: MV, Zona 1 com 10 ren/h.	65
Gráfico 12: MV, Zona 1 com 12 ren/h.	66
Gráfico 13: MV, Zona 2 com 5 ren/h.	67
Gráfico 14: MV, Zona 2 com 10 ren/h.	67
Gráfico 15: MV, Zona 2 com 12 ren/h.	67
Gráfico 16: MV, Zona 3 com 5 ren/h.	69
Gráfico 17: MV, Zona 3 com 10 ren/h.	69
Gráfico 18: MV, Zona 3 com 12 ren/h.	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Coeficientes de absorção da radiação solar conforme a coloração	23
Tabela 2: Índice de absorção e emissividade de alguns materiais.....	24
Tabela 3: Permeabilidade de alguns materiais.....	28
Tabela 4: Valor tabelado referente à proporção entre a área das aberturas de entrada e saída de ar.	32
Tabela 5: Aberturas para ventilação.....	37
Tabela 6: Área mínima de ventilação em dormitórios e salas de estar.	37
Tabela 7: Umidade relativa do ar propícia ao surgimento de microrganismos	47
Tabela 8: Relação entre área útil do vão de esquadria e área de piso dos ambientes do objeto de estudo.....	54
Tabela 9: Especificação das variáveis das simulações.....	57
Tabela 10: Comportamento dos sistemas em cada zona do MH.....	70
Tabela 11: Comportamento dos sistemas em cada zona do MV.....	71

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 TEMA E DELIMITAÇÃO	13
1.2 OBJETIVOS	14
1.2.1 Objetivo Geral	14
1.2.2 Objetivos Específicos	14
1.3 JUSTIFICATIVA	14
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1 MECANISMO DE TROCAS TÉRMICAS	16
2.2 CONFORTO TÉRMICO	18
2.3 FATORES CLIMÁTICOS	20
2.3.1 Insolação	20
2.3.2 Ventilação Natural	29
2.2.2.1 Direção dos ventos	34
2.2.2.2 Área útil das aberturas para ventilação	37
2.3.3 Umidade	40
2.4 QUALIDADE DO AR	41
2.5 CONDENSAÇÃO NAS EDIFICAÇÕES	45
2.5.1 Fungos Filamentosos	47
2.5.2 Consequências à saúde humana e às construções	49
3 MÉTODO	52
3.1 OBJETO DE ESTUDO	53
3.2 PROCEDIMENTO DE SIMULAÇÃO	55
4 RESULTADOS	59
4.1 ÍNDICE DE UMIDADE RELATIVA DO AR	59
4.2 OCORRÊNCIA DE CONDENSAÇÃO	72
5 CONCLUSÃO	94
6 REFERÊNCIAS	96

1 INTRODUÇÃO

O conforto higrotérmico avalia a temperatura e a umidade nos ambientes e busca a qualidade interna das edificações, tanto com relação ao conforto térmico quanto à qualidade do ar. A alta umidade do ar, a temperatura do ambiente e das superfícies, o fluxo de ventilação, a incidência solar, as propriedades dos materiais e as trocas entre o meio interno e o externo interferem no desempenho higrotérmico das edificações. Foram analisados 54 modelos em simulações computacionais que têm como variáveis o material de vedação vertical, a taxa de ventilação e a orientação solar. Através do método foi possível observar o índice de umidade em cada ambiente e se existem condições para que fungos filamentosos se desenvolvam.

As propriedades dos materiais, como a condutividade, a transmitância, a resistência térmica, a densidade, o calor específico e a espessura, aliados à qualidade das instalações, interferem no comportamento da umidade e do calor na edificação. O estudo das propriedades dos materiais é de grande importância para adequar o fechamento ao clima do local de implantação. Além disso, pontes térmicas são pontos a serem evitados, já que são mais suscetíveis à ocorrência de condensação nos materiais, já que as perdas de calor associadas à alta umidade do ar transformam a água no estado líquido para gasoso e fazem desses pontos facilitadores para a implantação de fungos filamentosos.

A água pode ter origem nas atividades exercidas na edificação, de infiltrações ou do meio externo, e a melhor maneira de manter a umidade relativa dentro dos níveis recomendados é através da ventilação. Por meio de sistemas naturais ou mecânicos, a renovação do ar mantém os ambientes livres de substâncias poluentes, como as geradas pelos fungos filamentosos. Além desses, existem outras fontes de contaminação do ar que causam problemas de saúde aos usuários de forma igual. A falha dessa renovação pode conferir à construção a característica chamada de edifício doente (SBS) o que pode ser solucionado através da associação de sistemas mecânicos de ventilação, de controle da abertura das esquadrias e dos índices de poluentes do ar, com vistas à manutenção do conforto higrotérmico e da qualidade do ar.

A umidade é fonte de várias patologias nas edificações e sua presença requer manutenção e reformas, além de criar locais propícios ao desenvolvimento dos

fungos filamentosos, já que os pontos de condensação são mais suscetíveis ao desenvolvimento dos mesmos. Esses, também chamados de bolores, são microrganismos que se alimentam de nutrientes presentes no ar e de outros dos materiais, se desenvolvem em locais com temperaturas entre 10° e 35° graus e umidade relativa do ar acima de 75%, estando dentro das características térmicas do Rio Grande do Sul. Os fungos filamentosos causam problemas respiratórios, alérgicos, de concentração, dores de cabeça e cansaço nos ocupantes, e desgastes nos materiais, que necessitam de recursos financeiros para correção e da implementação de medidas preventivas para evitar crises futuras.

Através de simulações computacionais foram combinados três sistemas de vedação vertical, três diferentes taxas de ventilação e duas posições do modelo em relação à orientação solar, que permitiram avaliação sobre o índice de umidade de cada zona do modelo e a chance de condensação nos ambientes. A edificação de estudo está inserida no clima subtropical temperado, na cidade de Santa Maria, no Rio Grande do Sul. Esse clima é bastante úmido e é comum a condensação no interior das edificações, principalmente no inverno.

1.1 TEMA E DELIMITAÇÃO

A umidade é fator relevante na determinação de conforto térmico. Dessa maneira, este trabalho tem como foco o estudo do desempenho higrotérmico de três sistemas de vedação vertical em dois modelos através de simulações computacionais.

São consideradas as variáveis, posição solar, três diferentes taxas de ventilação e as propriedades dos materiais de vedação vertical, através das quais é avaliada a influência que essas exercem sobre os índices de umidade mensais nos modelos e sobre as condições para a ocorrência de condensação nas superfícies.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar a taxa de ventilação em diferentes sistemas de vedação vertical, os índices de umidade relativa do ar em ambientes residenciais e a ocorrência de condensação nas superfícies.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Investigar qual sistema de vedação vertical tem menor chance de manifestar condições para o surgimento de fungos filamentosos;
- b) Avaliar se o fluxo de ventilação tem influência sobre a quantidade de umidade no ambiente, sendo capaz de diminuir o risco do surgimento de fungos filamentosos;
- c) Analisar a influência da orientação solar no índice de umidade dos ambientes de uma unidade habitacional.

1.3 JUSTIFICATIVA

O desempenho higrotérmico ainda é pouco abordado nos estudos científicos no Brasil, o que não reduz a importância de maior aprofundamento do assunto, já que uma área considerável do território tem clima úmido. Ainda não se tem clareza de qual é a melhor forma de atender as necessidades térmicas e de umidade em uma edificação, principalmente nos locais de clima misto, onde, conforme Rivero (1985), para proporcionar conforto térmico, é necessário utilizar materiais leves e pesados, conforme a orientação geográfica e diferentes taxas de ventilação durante o ano.

Frente à dificuldade de encontrar a combinação entre isolamento térmico, taxa de ventilação e orientação solar ideal para a diminuição dos índices de umidade no interior das edificações, o que acontece em muitas construções é o aparecimento de fungos filamentosos. Esses podem causar diversos tipos de problemas de saúde, como: asma, infecções respiratórias, rinites alérgicas, tosse e dispneia (WHO, 2009). A proliferação dos fungos filamentosos é comum nas superfícies de paredes onde

ocorre a condensação da água e sob os materiais com aditivos orgânicos, que acarretam problemas estéticos e prejuízo financeiros devido às reparações nas edificações. Para diminuir a ocorrência dessas doenças e patologias, o estudo se faz pertinente.

No atual contexto de maior controle das condições sanitárias, frente à pandemia mundial do Covid-19, estudar a ventilação e a qualidade do ar colaboram para a conscientização e maior apropriação das medidas necessárias para a diminuição do risco de contágio entre pessoas.

Desse modo, o trabalho busca ampliar o conhecimento que se tem sobre a influência da insolação, da ventilação e do índice de umidade dos ambientes sobre o aparecimento de fungos filamentosos nos sistemas construtivos mais usuais no Rio Grande do Sul, e fornecer subsídio para o desenvolvimento de projetos mais eficientes e confortáveis pelos profissionais da construção civil.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo abordará conceitos relacionados às trocas térmicas, ao conforto térmico, à orientação solar, à ventilação e à qualidade do ar; ainda, quanto ao surgimento de condensação nas edificações e quais os prejuízos para a saúde humana e para as edificações.

2.1 MECANISMO DE TROCAS TÉRMICAS

A radiação solar, qualquer aparelho gerador de calor e até o corpo humano comprovam que a todo o tempo ocorrem trocas térmicas. Elas ocorrem pela diferença de temperatura entre dois corpos, o mais quente perdendo calor e o mais frio ganhando, caso em que se chama o calor de calor sensível. Também acontece pela mudança de estado físico da água, quando o calor envolvido é denominado calor latente (FROTA, SCHIFFER, 2001).

As trocas térmicas através do calor sensível são também chamadas de trocas secas e acontecem por convecção, radiação e condução, enquanto as permutas de calor pelo calor latente, quando existe mudança no estado físico da água, são conhecidas como trocas úmidas e ocorrem por evaporação e condensação (BALTAR, 2006).

Para que ocorra troca de calor por convecção, é necessário contato entre dois ou mais corpos e que, pelo menos um deles seja um fluido. Acontece pela diferença de temperatura entre as partes do fluido, sendo, dessa maneira, chamado de natural; ou quando o fluido tem velocidade própria e acelera as trocas, é chamado de forçado (COSTA, 1982).

Para exemplificar a convecção vertical, considera-se uma parede orientada a oeste que, ao incidir o sol, tem uma temperatura externa diferente da interna. O que ocorre internamente, é que, na camada de 1 cm de ar mais próximo a esse objeto, acontece a troca de calor por convecção, quando a parede transferirá seu calor para o ar em contato com ela que, por sua densidade aumentada, subirá e dará lugar ao ar menos quente. Isso continuará acontecendo até que as temperaturas se igualem.

Nas trocas por radiação, a intensidade do fenômeno depende da distância entre os corpos, de suas dimensões, das temperaturas e da emissividade e absorvância dos materiais (BALTAR, 2006). Ocorre pela liberação de energia térmica

da fonte, que se propaga através de um meio que permite a passagem de suas ondas, como o ar ou até mesmo o vácuo e, ao atingir outra superfície, parte é absorvida e transformada em calor enquanto outra parte é transmitida e refletida (RIVERO, 1985). Um exemplo dessa maneira de troca térmica é a Terra, que é aquecida pelos raios do Sol mesmo sem ter contato direto.

Por fim, a última forma de troca de calor seca é por condução e, segundo Costa (1982), consiste no movimento vibratório das moléculas dos corpos, onde as de maior temperatura cedem energia para as de menor. Ocorre entre dois sólidos que estão em contato entre si, ou até mesmo, em um sólido com temperaturas diferentes ao longo de seu volume (FROTA, SCHIFFER, 2001). A intensidade do fenômeno depende da densidade, da umidade e da natureza química dos materiais, itens que interferem na condutividade térmica desses (BALTAR, 2006).

As trocas térmicas úmidas acontecem pela mudança no estado físico da água sem alteração da temperatura (FROTA; SCHIFFER, 2001).

A evaporação é a transformação do estado líquido da água para o gasoso, cujo processo gera calor latente que tem por objetivo manter o estado de vapor. A velocidade com que ocorre varia de acordo com a saturação do ar, quando próximo de 100% a evaporação é mais lenta, nos casos de umidade baixa o processo é mais rápido. Portanto, a agilidade com que a água evapora varia de acordo com a quantidade de água já presente no ar e com a velocidade do vento (BALTAR, 2006).

A condensação é o processo inverso da evaporação, é quando a água presente no ar volta ao estado líquido. Isso ocorre quando o ar está saturado, ou seja, atingiu sua capacidade máxima de absorção de água, e a água excedente condensa, transformando o calor latente em sensível e transferindo calor para a superfície onde ocorre o fenômeno (RIVERO, 1985). Esse fenômeno é resultado de interações entre calor, umidade, fluxo de ventilação, layout do edifício e das propriedades dos materiais, sendo a avaliação criteriosa dos sistemas de ventilação e modos de implantação do empreendimento pelo projetista capaz de reduzir de forma significativa os riscos ou a intensidade da ocorrência da condensação no interior dos ambientes (BS 5250, 2011).

2.2 CONFORTO TÉRMICO

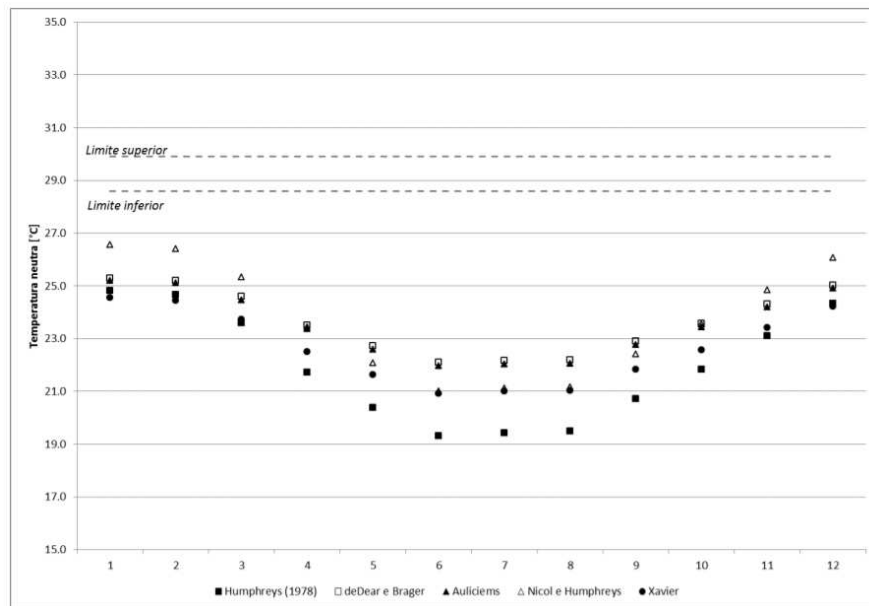
Os índices de insolação, a oscilação de temperatura, a nebulosidade, a umidade relativa, os índices pluviométricos e a pressão, direção e velocidade dos ventos são variáveis que influenciam na sensação de conforto dos usuários (ROAF, et al., 2014). Segundo a NBR 15.220-1, de 2005, conforto térmico é a “satisfação psicofisiológica de um indivíduo com as condições térmicas do ambiente” e o clima tem influência sobre a oferta dessa condição aos usuários, já que interfere na capacidade de produtividade, de energia física e mental e na qualidade da saúde (OLGYAY, 1963). Para que um ambiente seja considerado confortável termicamente é necessário que, pelo menos, 80% dos usuários tenham sensação de bem estar térmico (ASHRAE 55:2004). Nesse sentido, em climas quentes e úmidos é mais comum os usuários terem preferência por ambientes direcionados ao lado frio da escala de sensação térmica (LAMBERTS et al, 2020).

Diz-se que a sensação de conforto varia de acordo com os hábitos e o clima com o qual o usuário está acostumado. O conforto adaptativo, está relacionado com três principais pontos, sendo eles: comportamentais, fisiológicos e psicológicos. Os comportamentais se referem à escolha da vestimenta, à atividade exercida e à operação das aberturas, manutenção delas abertas ou fechadas. As fisiológicas são relacionadas à temperatura e velocidade do ar e à umidade; e as psicológicas, às expectativas, sendo influenciadas pelo clima ao qual a pessoa está comumente exposta (ABRANTES, 2012).

Dessa maneira, a temperatura de conforto varia de um país para outro e, até mesmo, entre regiões. Vários estudiosos desenvolveram métodos para determinar o conforto adaptativo de cada cidade, existindo o modelo de Humphreys, de DeDear e Brager, de Auliciems, de Nicol e Humphreys e o de Xavier. Cada um determina as temperaturas neutras, dentro de um limite máximo e mínimo, considerada a faixa de conforto para a cidade, existindo algumas variações entre os resultados dos modelos (FERREIRA; SOUZA, 2013).

Na pesquisa de Ferreira e Souza, 2013, são apresentados os limites de temperatura de conforto, definidos através de pesquisa de campo, segundo Link, Albernard e Grigoletti (2012), e se apresentam entre 28,6 °C e 29,9 °C, e as temperaturas neutras de cada método na cidade de Santa Maria – RS, conforme Figura 1.

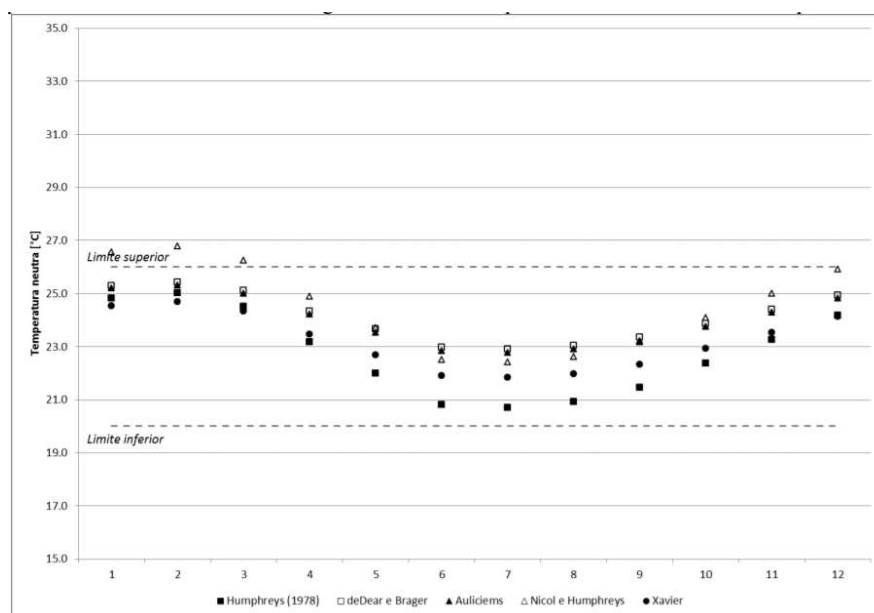
Figura 1: Limites de conforto em Santa Maria – RS e os métodos adaptativos.



Fonte: FERREIRA; SOUZA (2013, p. 5).

A faixa de temperatura de conforto adaptativo de Santa Maria é bem limitada e entre os métodos apresentados na Figura 1, nenhum apresenta temperaturas dentro da faixa de conforto. Diferente desse caso, Florianópolis, onde o dado das temperaturas limites é fonte do estudo de Xavier (1999), a faixa de temperatura de conforto é mais ampla e, quase em sua totalidade, os métodos atendem os limites recomendados, conforme Figura 2.

Figura 2: Limites de conforto em Florianópolis – SC e os métodos adaptativos



Fonte: FERREIRA; SOUZA (2013, p. 5).

O estudo dos fatores térmicos e de umidade na edificação e em seus componentes e os efeitos que causam sobre a qualidade de vida dos ocupantes é conhecido como “desempenho higrotérmico” (BS 5250; AFONSO, 2018; CHANG, 2019). De acordo com essas duas variáveis, pode ocorrer condensação nas superfícies, que, por sua vez, tornam-se lugares propícios ao crescimento de fungos filamentosos. Por esse motivo, altos índices de umidade e as propriedades térmicas dos materiais de vedação vertical externa, inadequadas ao local de implantação, podem ser prejudiciais ao conforto dos usuários e reduzir a qualidade dos ambientes, ao passo que fungos filamentosos geram contaminantes do ar e prejudicam as estruturas.

Dentro deste capítulo, são explorados conceitos relacionados à influência da insolação sobre as trocas térmicas entre os materiais e o meio interno e externo; o uso da ventilação para a retirada de umidade do ar, considerado o método mais eficiente (SEDLBAUER, apud. KÜNZEL, 2001); e a umidade como fator de risco ao surgimento de fungos filamentosos, que necessitam de água em estado líquido ou gasoso e de forma contínua ou por longos períodos, para se desenvolverem (BS 5250, 2011).

2.3 FATORES CLIMÁTICOS

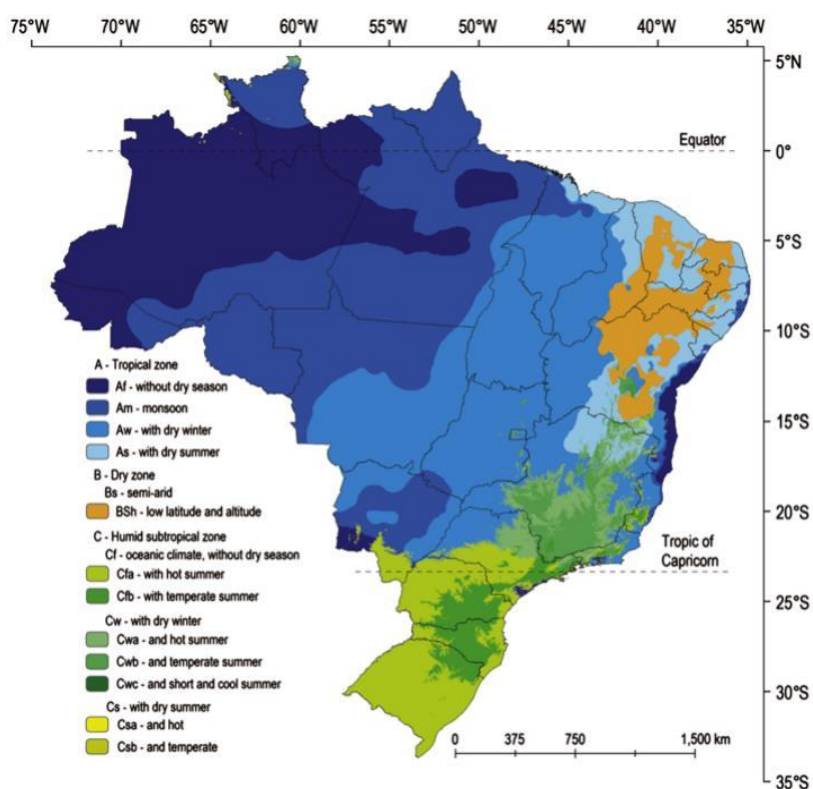
2.3.1 Insolação

A quantidade de calor derivada do sol varia conforme a localização no globo e as estações do ano, assim como, sua influência sobre a estrutura depende da transmitância dos materiais empregados. Em climas frios, é importante que a edificação seja orientada geograficamente para receber mais radiação, enquanto nos climas quentes, o melhor posicionamento é aquele que diminua os efeitos da radiação solar. Nos locais de clima misto, se fazem necessários recursos que permitam a incidência dos raios do sol nos períodos frios e seu barramento nos meses de calor.

No Brasil, o clima predominante é o tropical, mas, devido à latitude, o relevo, as massas de ar e os efeitos da continentalidade e da maritimidade existem vários subtipos desse clima, mesmo dentro de uma mesma região geográfica do país (SIQUEIRA, 2005). Assim, o clima tropical se concentra na parte Norte do Brasil; o

semiárido é encontrado no Nordeste, e o subtropical está presente no Sul e no Sudeste (YNOUE et al., 2017). A definição é de acordo com o estudo de Köppen, realizado em 1918, e leva em consideração dados mensais e anuais de temperatura e de precipitações, dividindo o país em 5 grupos, e ainda, em subgrupos, definidos pelas letras minúsculas que agregam dados de temperatura do ar (YNOUE et al., 2017).

Figura 3: Classificação climática do Brasil de acordo com Köppen (1936)



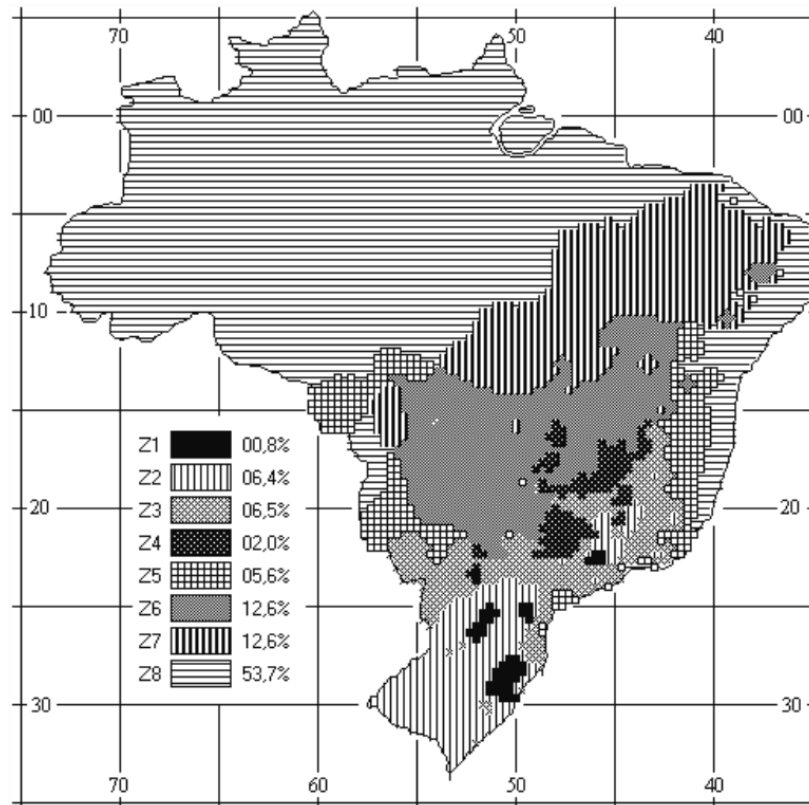
Fonte: ALVARES, et al. (2013, p. 717).

No Rio Grande do Sul, conforme mapa acima, o clima é o subtropical temperado, caracterizado por ser uma região sempre úmida que apresenta verões quentes com temperaturas médias iguais ou superiores a 22° C e, em um pedaço do território do estado, no Nordeste, verões brandos, onde as temperaturas médias no mês mais quente não ultrapassam 22° C (YNOUE et al., 2017).

Um estudo realizado por Tabarelli, 2017, buscou identificar a influência das propriedades dos materiais de cobertura no conforto térmico dos ambientes na cidade de Santa Maria – RS. Foram simulados diversos modelos com isolamento térmico e diferentes taxas de ventilação com observação de dados de inverno e verão. Foi identificado que para a Zona Bioclimática 2, classificada pela NBR

15.220-3:2005, é mais difícil atender o conforto térmico de verão, já que, de acordo com os resultados da pesquisa, os ambientes têm maior amplitude térmica nesse período, sendo de 11,72°C no verão para 2,61°C no inverno.

Figura 4: Zoneamento bioclimático brasileiro

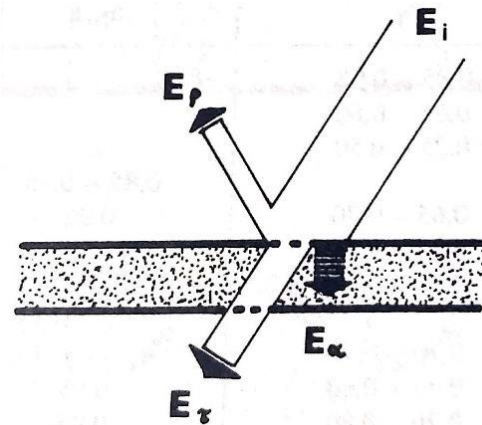


Fonte: ABNT, 2005.

A insolação tem grande influência sobre o conforto térmico no interior dos ambientes, mas, além disso, a oscilação da temperatura e a predominância da época, o ângulo de incidência da radiação e sua intensidade e o sentido dos ventos também interferem nas trocas de calor entre os materiais e o meio (OLGYAY, 1998). A velocidade e a intensidade com que ocorrem dependem das características dos materiais de fechamento da edificação (OLGYAY, 1998). Quando o projetista considera todas essas variáveis, além de tornar a edificação confortável, permite economia de energia (SIQUEIRA, 2005).

Cada material tem um coeficiente de absorção (α), de reflexão (ρ) e de transmissão (τ) diferente, nada mais é do que a capacidade de absorver, refletir e transmitir a energia que recebe (RIVERO, 1985). A Figura 5 representa as proporções de acordo com um material que tem energia incidente representada por E_i .

Figura 5: A energia incidente pode ser absorvida, refletida ou transmitida



Fonte: RIVERO (1985, p. 25).

Parte da energia incidente na superfície exterior é refletida para o entorno (E_r), outra parte é transmitida para o interior da edificação (E_t), e a outra parcela ainda é absorvida pelo material. A radiação que atinge as superfícies é resultante de duas componentes, a radiação incidente, que vem direto do Sol, e a radiação difusa, que é a energia refletida por outras superfícies no entorno. Essas duas compõem a radiação hemisférica solar global (SANTOS, 2002).

A camada mais superficial do sistema de vedação vertical pode conferir novas características de absorção ao conjunto, já que a cor pode aumentar a refletividade (RIVERO, 1985). O quadro, a seguir, apresenta os coeficientes de absorção de algumas cores, sendo possível concluir que, quanto mais escura, mais energia é capaz de reter, enquanto as cores claras refletem uma parte maior da energia que recebem. Os materiais com superfície brilhosa, como alumínio, têm a capacidade de absorver e emitir muito parecidas.

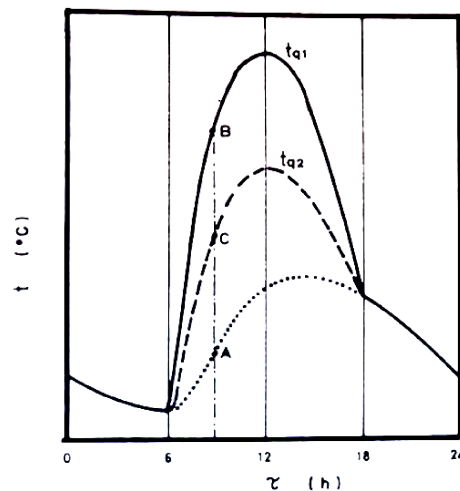
Tabela 1: Coeficientes de absorção da radiação solar conforme a coloração

Pinturas	α	ε
Branca	0,20	0,90
Amarela	0,30	0,90
Verde clara	0,40	0,90
“Alumínio”	0,40	0,50
Verde escura	0,70	0,90
Vermelha	0,74	0,90
Preta	0,97	0,90

Fonte: adaptado NBR 15.220:2 (2005, p. 12).

Se uma superfície tiver coeficiente de absorção (α) igual a 1, sua temperatura equivalente será 72,3 °C (t_{q1}), conforme Figura 4. Se essa mesma superfície receber nova pintura com $\alpha = 0,5$, a temperatura da superfície diminuirá para 50,7 °C (t_{q2}), e se essa nova pintura fosse branca, com índice de absorção de 0,25, a temperatura da superfície seria ainda menor, sendo 39,9 °C (RIVERO, 1985). Portanto, quanto menor o coeficiente de absorção de uma cor, menor quantidade de calor será transferida para o interior através dela.

Figura 6: Absortância do material da superfície.



Fonte: RIVERO (1985, p. 86).

Os materiais também apresentam diferentes índices de absorção, assim como de emissividade (ϵ). A Tabela 2, conforme NBR 15.220-2:2005, indica os valores a serem utilizados conforme as características dos materiais e a cor das superfícies.

Tabela 2: Índice de absorção e emissividade de alguns materiais

Tipos de superfície	α	ϵ
Chapa de alumínio (nova e brilhante)	0,05	0,05
Chapa de alumínio (oxidada)	0,15	0,12
Chapa de aço galvanizada (nova e brilhante)	0,25	0,25
Caiação nova	0,12 / 0,15	0,90
Concreto aparente	0,65 / 0,80	0,85 / 0,95
Telha de barro	0,75 / 0,80	0,85 / 0,95
Tijolo aparente	0,65 / 0,80	0,85 / 0,95
Reboco claro	0,30 / 0,50	0,85 / 0,95

Revestimento asfáltico	0,85 / 0,98	0,90 / 0,98
Vidro incolor	0,06 / 0,25	0,84
Vidro colorido	0,40 / 0,80	0,84
Vidro metalizado	0,35 / 0,80	0,15 / 0,84

Fonte: adaptado NBR 15.220:2 (2005, p. 12).

A resistência térmica (R_t) é a propriedade do material em resistir à passagem do calor. Tem relação com a espessura (e), quanto mais espesso menos calor passa por ele, e com a condutividade térmica (λ), que quanto maior, maior será a quantidade de calor transferida entre as superfícies do material. Logo, quanto maior a condutividade térmica, menor será a resistência térmica do material (LAMBERTS et al, 2014). Para quantificar essa variável é utilizada a equação:

$$R_t = R_{si} + \frac{e}{\lambda} + R_{se} \quad (\text{m}^2\text{K/W}) \quad (2.1)$$

R_{si} = resistência térmica superficial interna.

R_{se} = resistência térmica superficial externa.

Os fechamentos podem ser transparentes ou opacos, tendo como diferença entre eles, a capacidade de transmitir ou não a radiação solar para o ambiente interno (LAMBERTS et al, 2014). Para definir a quantidade de energia calorífica que perpassa um fechamento, é preciso calcular a transmissão total do calor ou transmitância térmica (U) (AQUINO; NETO, 2018). Quanto menor esse índice, melhor o efeito isolante do material, por isso, os materiais com alta transmitância térmica têm baixa resistência térmica, sendo o inverso aplicável também (AFONSO, 2018; AQUINO; NETO, 2018).

$$U = \frac{1}{R_t} \quad (\text{W/m}^2\text{K}) \quad (2.2)$$

Em regiões que apresentam dias quentes e noites frias, os fechamentos verticais, principalmente aqueles com energia solar incidente, sofrem grande variação de temperatura. É possível diminuir a amplitude térmica e aumentar o tempo que a energia leva até chegar no interior das edificações através de materiais com alto índice de inércia térmica.

Materiais com essa propriedade têm maior capacidade de armazenar calor (LAMBERTS et al, 2014). Sendo assim, causam o atraso térmico (φ), que é o tempo que leva até que a energia chegue no interior da edificação, característica bastante útil em climas mistos, já que a energia armazenada no período de calor é transmitida para o interior nas horas mais geladas (AFONSO, 2018). Essa propriedade pode ser calculada em um elemento homogêneo através da equação 2.3 ou 2.4 (NBR 15.220:2005).

$$\varphi = 1,382 \cdot e \cdot \sqrt{\frac{\rho \cdot c}{3,6 \cdot \lambda}} \quad (\text{horas}) \quad (2.3)$$

$$\varphi = 0,7284 \cdot \sqrt{Rt \cdot Ct} \quad (\text{horas}) \quad (2.4)$$

Onde:

e = espessura da placa.

ρ = densidade de massa aparente do material.

c = calor específico do material.

λ = condutividade térmica do material.

Rt = resistência térmica.

Ct = capacidade térmica do componente.

Quando o elemento é formado por mais de um material é necessário realizar uma sequência de cálculos até ter os dados necessários para aplicar na fórmula que determina o atraso térmico do conjunto (equação 2.5).

$$\varphi = 1,382 \cdot Rt \cdot \sqrt{B_1 + B_2} \quad (\text{horas}) \quad (2.5)$$

B_1 e B_2 são determinados pelas equações 2.6 e 2.7. De acordo com a NBR 15.220:2005 se o resultado de B_2 for negativo, deve-se considerar nulo.

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_0}{Rt} \quad (2.6)$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left(\frac{(\lambda \cdot \rho \cdot c)_{\text{ext}}}{R_t} \right) \cdot R_{t_{\text{ext}}} - \left(\frac{R_t - R_{\text{ext}}}{10} \right) \quad (2.7)$$

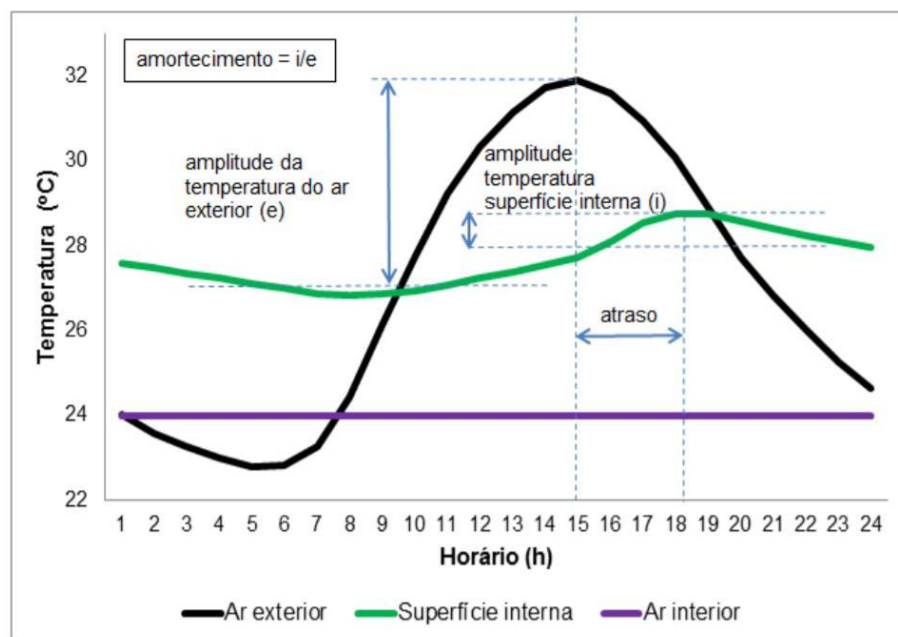
Para obter o valor de B_0 , presente na equação 2.6, se faz necessária a equação 2.8:

$$B_0 = C_T - C_{T_{\text{ext}}} \quad (2.8)$$

O conceito de atraso está relacionado ao amortecimento térmico que é proporcional ao calor específico (c), à densidade aparente (ρ) e à espessura do material (e) (AFONSO, 2018).

Como esses materiais conseguem diminuir e atrasar as trocas térmicas entre o meio interno e o externo, também diminuem a amplitude térmica no interior das edificações (LAMBERTS et al, 2014). O gráfico, a seguir, considera a temperatura no interior constante e apresenta a variação no exterior, sendo a linha verde a variação da temperatura no interior (BRITO, 2015). O tempo entre a mais alta temperatura no exterior e a mais alta no interior caracteriza o atraso térmico, e a diferença entre a variação da temperatura no exterior em comparação com a do interior revela a diferença na amplitude térmica.

Figura 7: Amortecimento e atraso térmico



Fonte: BRITO (2015, p. 38).

Em resumo, climas quentes requerem edificações com materiais leves e as localizadas mais próximo aos trópicos, materiais mais pesados. Em locais com alta amplitude térmica, a utilização de materiais com alta inércia térmica reduzem as oscilações de temperatura no interior das edificações (VERDEKE; AUDENAERT, 2018). Em locais frios, é recomendado que sejam empregados materiais pesados e com alta inércia térmica do lado oeste e igualmente pesados nas outras fachadas, mas não sendo necessário um índice tão alto de inércia (OLGYAY, 1998).

Outro fator relevante é a taxa de permeabilidade (P) de cada material. Quando a temperatura interna fica abaixo da temperatura do ponto de orvalho, o ar perde umidade, que irá condensar nas superfícies mais frias. Relevante na condensação interna ou oculta, surge a importância do atraso térmico nas paredes heterogêneas, essa troca de temperatura ocorre de acordo com a taxa de permeabilidade de cada material, sendo alguns mais propensos à ocorrência do que outros, de acordo com a facilidade com a qual o vapor de água ultrapassa o material quando exposto a uma determinada taxa de pressão de vapor (OLGYAY, 1998; COSTA, 2018). A permeabilidade (P) de um material é a quantidade de umidade em gramas por hora por metro quadrado de superfície de passagem, que atravessa uma parede de 1m de espessura do mesmo por mmHg, unidade de medida de pressão de vapor. A Tabela 3 apresenta a pressão em mmHg necessária em alguns materiais de construção e isolantes (COSTA, 2018):

Tabela 3: Permeabilidade de alguns materiais

Material	P/I
Ar	0,0833
Lã de vidro	0,008
Concreto, 1:2:4	0,0023
Parede de tijolos ocos	0,0015
Parede de tijolos maciços	0,0003 - 0,00055
Madeira compensada	0,0002
Tinta a óleo (3 demãos)	0,000025
Pintura asfáltica (2 demãos)	0,000012

Fonte: adaptado de COSTA (2018, p. 125).

A ocorrência de condensação está ligada a essas variáveis e pode ser evitada com a colocação de material isolante térmico. Esse, quando é bastante permeável,

como no caso da lã de vidro, deve ficar do lado frio da parede, diferente dos casos em que o isolante tem baixa permeabilidade, sendo recomendado seu uso do lado quente. Para evitar a condensação pela pressão de vapor, podem ser utilizadas barreiras de baixa permeabilidade, como pintura asfáltica, entre o material isolante e a alvenaria (COSTA, 2018).

2.3.2 Ventilação Natural

A ventilação é o processo de fornecer ou remover ar, de modo natural ou mecânico, de um espaço com o objetivo de controlar os níveis de contaminação, umidade e temperatura do ambiente (ASHRAE, 2019; NBR 14.679, 2012). Tem influência sobre a saúde das pessoas e a forma como ocorre deve ser pensada na fase de projeto, levando em consideração os condicionantes climáticos locais.

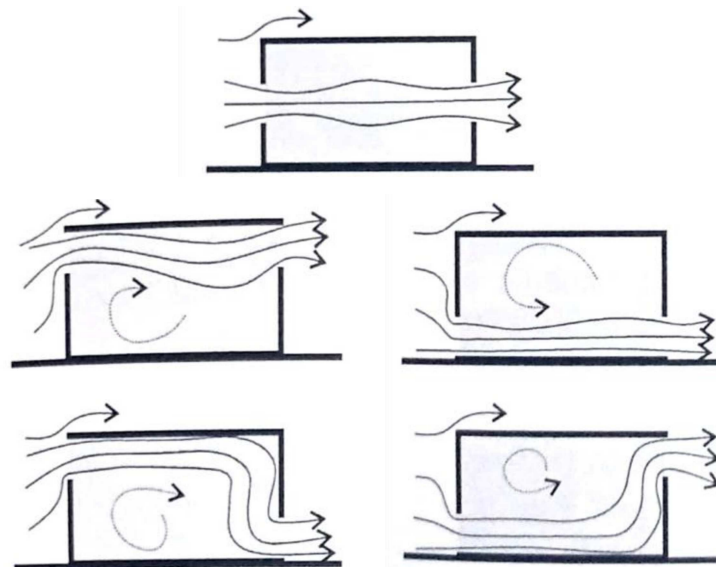
O ar renovado, oriundo da ventilação, facilita as trocas térmicas dos usuários e da estrutura da edificação, proporcionando maior conforto térmico. A substituição do ar do ambiente retira as impurezas e odores indesejados, reduzindo as chances de contaminação com doenças (BROWN; DEKAY, 2004). Também, controla a umidade interna, que é associada a diversos tipos de enfermidades respiratórias (ROAF et al., 2014). Além disso, sistemas de ventilação podem ser utilizados em edificações para exaustão da fumaça de incêndio, como é o caso das escadas enclausuradas de prédios em altura. Para a melhora dos efeitos da ventilação, das trocas térmicas e da renovação do ar no interior das edificações é importante que ela seja cruzada, por isso, a disposição das aberturas e a orientação dos ventos devem ser estudados em conjunto.

Nos locais de clima quente ou misto, nas estações de calor, a ventilação é importante quando o ar interno é mais quente do que o externo. Facilita as trocas de calor dos homens pela evaporação da transpiração e dos materiais, através da diminuição da temperatura superficial. Para que se consiga de fato reduzir a temperatura interna através da ventilação, são necessárias muitas horas de fluxo abundante de ar (RIVERO, 1985). A diferença entre a temperatura interna e a externa, a dimensão das aberturas, o ângulo de incidência e a velocidade dos ventos também influenciam na retirada do calor (BROWN; DEKAY, 2004). A ventilação com essa função se chama ventilação térmica.

Mais do que colaborar para a melhora da sensação térmica dos ambientes, a ventilação tem a função de manter a qualidade do ar no interior das edificações e, quando empregada com essa função, é nomeada como ventilação higiênica.

Para se definir a área da abertura de ventilação higiênica, leva-se em consideração o número de ocupantes, que influencia no consumo de oxigênio, na transpiração e na geração de gases como o anidrido carbônico, que surge da atividade biológica dos seres humanos (KEELER, 2018). Além dessas fontes de umidade, ainda se soma a das atividades realizadas nas áreas molhadas da casa, como das roupas secando (RIVERO, 1985). A umidade pode colaborar para o surgimento de fungos filamentosos que prejudicam as pinturas, outros materiais construtivos e causar diversas doenças respiratórias nos usuários. Para que isso não ocorra, a entrada e circulação do ar no interior dos ambientes deve ser projetada de acordo com a função a ser exercida nesse espaço, Bittencour e Cândido (2015) sugerem que em locais onde o usuário permanece em uma localização fixa o vento pode entrar no ambiente com jatos mais fortes, sendo necessários vãos maiores para a tomada de ar, enquanto nos espaços onde os ocupantes têm maior flexibilidade quanto à localização, a distribuição do fluxo de ar em um número maior de aberturas pode trazer melhores resultados.

Figura 8: Corte demonstrativo do fluxo de ar de acordo com a localização das aberturas de tomada e retirada de ar.



Fonte: BITTENCOURT, CÂNDIDO (2015, p. 73).

A Figura 8 demonstra que a altura da tomada e da retirada do ar determinam o fluxo dele no ambiente e, por isso, deve ser definido de acordo com o uso, ocupação e clima local, permitindo a ventilação higiênica mesmo no período de inverno de maneira a não incidir diretamente nos usuários, situação que pode ocorrer no verão. Em ambos os casos, deve-se dar preferência à ventilação cruzada entre os ambientes.

Para atender o modo pelo qual a ventilação é empregada, podem ser utilizados métodos naturais ou mecânicos, havendo, dentro desses grandes grupos, diferentes formas para que ocorram.

A ventilação natural acontece pelo movimento do ar provocado pela diferença de pressão e/ou diferença de temperatura (SALES, 2016). Para ocorrer, não requer nenhum artifício que consuma energia, sendo, uma estratégia arquitetônica passiva e está diretamente relacionada à eficiência energética e a sustentabilidade (SALES, 2016).

A ventilação natural provocada pela força dos ventos, ocorre pelo diferencial de pressão entre o lado de barlavento e o de sotavento. O lado da edificação que recebe os ventos tem pressão positiva, enquanto as demais arestas do volume têm pressão negativa. Na superfície de pressão negativa se forma uma zona de sombra de até duas vezes a altura da construção, a partir de onde o fluxo de ar começa a voltar a sua velocidade normal, podendo alcançá-la a uma distância de até sete vezes a altura da construção (OLGYAY, 1998).

Essas diferenças de pressão são proveitosas quando existem aberturas para a tomada de ar na zona de alta pressão, e na de baixa pressão, para saída, configurando a ventilação cruzada. A proporção do ar renovado através das janelas é produto da diferença de pressão entre a entrada e a saída do ar e pela direção em que o fluxo de ar incide na janela (OLGYAY, 1998). Existe um cálculo para dimensionar a quantidade de ar que adentra o ambiente quando o vento é perpendicular as aberturas:

$$Q = 3150 \cdot A \cdot V \quad (2.9)$$

Sendo:

Q = fluxo médio de ar (m³/h)

A = área de entradas de ar (m²)

V = velocidade do vento (km/h)

O número da fórmula (3150) refere-se à proporção entre as aberturas de entrada e saída do ar e é definido através da Tabela 4. A tabela apresenta valores preestabelecidos para aplicação na fórmula de acordo com a proporção entre as superfícies de saída e de entrada de ar nos ambientes. Quando as áreas são iguais é utilizado 3150, quando a área de saída é o dobro da área de entrada utiliza-se 4000, por exemplo.

Tabela 4: Valor tabelado referente à proporção entre a área das aberturas de entrada e saída de ar.

Á. superfície de saídas: Á superfície de entrada	
1:1	3150
2:1	4000
3:1	4250
4:1	4350
5:1	4400
1:2	2000
1:4	1100

Fonte: adaptada de OLGAYAY (1998, p. 104).

A ventilação natural pela diferença de temperatura, ocorre devido à desigualdade de densidade entre o ar frio e o ar quente (FROTA, SCHIFFER, 2001). O ar quente, com menor densidade, sobe enquanto o ar frio se renova no ambiente através das aberturas laterais e o número de trocas de ar pode ser dimensionado através da equação:

$$Q = 540 \cdot A \sqrt{H} (t_i - t_o)' \quad (2.10)$$

Sendo:

Q = fluxo médio de ar (m³/h)

A = área de entradas de ar (m²)

H = diferença de altura entre a entrada e a saída do ar (m)

t_i = temperatura média do ar interior a uma altura H (°C)

t_o = temperatura média do ar exterior (°C)

É desafiador prever o fluxo de ar disponível para um futuro empreendimento, já que depende de fatores do entorno. Quanto à localização, pode sofrer influência

pelo uso do edifício, pelo layout do entorno, pelo tamanho e densidade das construções circundantes e pela ilha de calor urbana (BHAGAT; LINDEN, 2020). Além disso, questões naturais, como velocidade, direção e intensidade das turbulências do vento dificultam precisar quantas renovações de ar por hora serão possíveis, sem o uso de equipamentos de ventilação mecânica, nos ambientes da edificação (BHAGAT; LINDEN, 2020).

O selo LEED (2013), certificação para edificações sustentáveis, indica que o fluxo de ar deve ser de 4.270 L/m³ para cada metro quadrado do ambiente, para que ocorra a renovação do mesmo de forma adequada. A taxa de renovação do ar corresponde à movimentação do volume de ar do ambiente, para dentro ou para fora (BITTENCOURT, CÂNDIDO, 2015). Nos locais de clima quente e úmido, a ventilação natural tem como principal finalidade permitir as trocas térmicas, por isso, a quantificação das renovações de ar por hora indicam a necessidade conforme a qualidade do ar, diferente dos locais de clima temperado e frio, onde é necessário um maior controle da taxa de ventilação nas estações de frio (BITTENCOURT, CÂNDIDO, 2015). Por isso, a equação abaixo pode ser utilizada para calcular a taxa de renovação do ar em determinado ambiente:

$$Tr = 3600 Q / V \quad (2.11)$$

Tr = número de renovações por hora.

Q = infiltração (m³/s).

V = volume do ambiente (m³).

A partir disso, é necessário avaliar se o fluxo de ventilação natural é suficiente para atender as necessidades do ambiente, caso contrário, faz-se necessário a utilização de sistemas artificiais. A ventilação mecânica consiste na transferência de energia térmica e no controle da pressão no ambiente interno, fornecendo o fluxo de ar necessário a uma taxa constante (BROWN; DEKAY, 2004). Pode ocorrer através de splits ou de outros sistemas mais elaborados que permitem controle da umidade e da qualidade do ar, recurso utilizado em hospitais, por exemplo (MONTERO, 2006).

2.2.2.1 Direção dos ventos

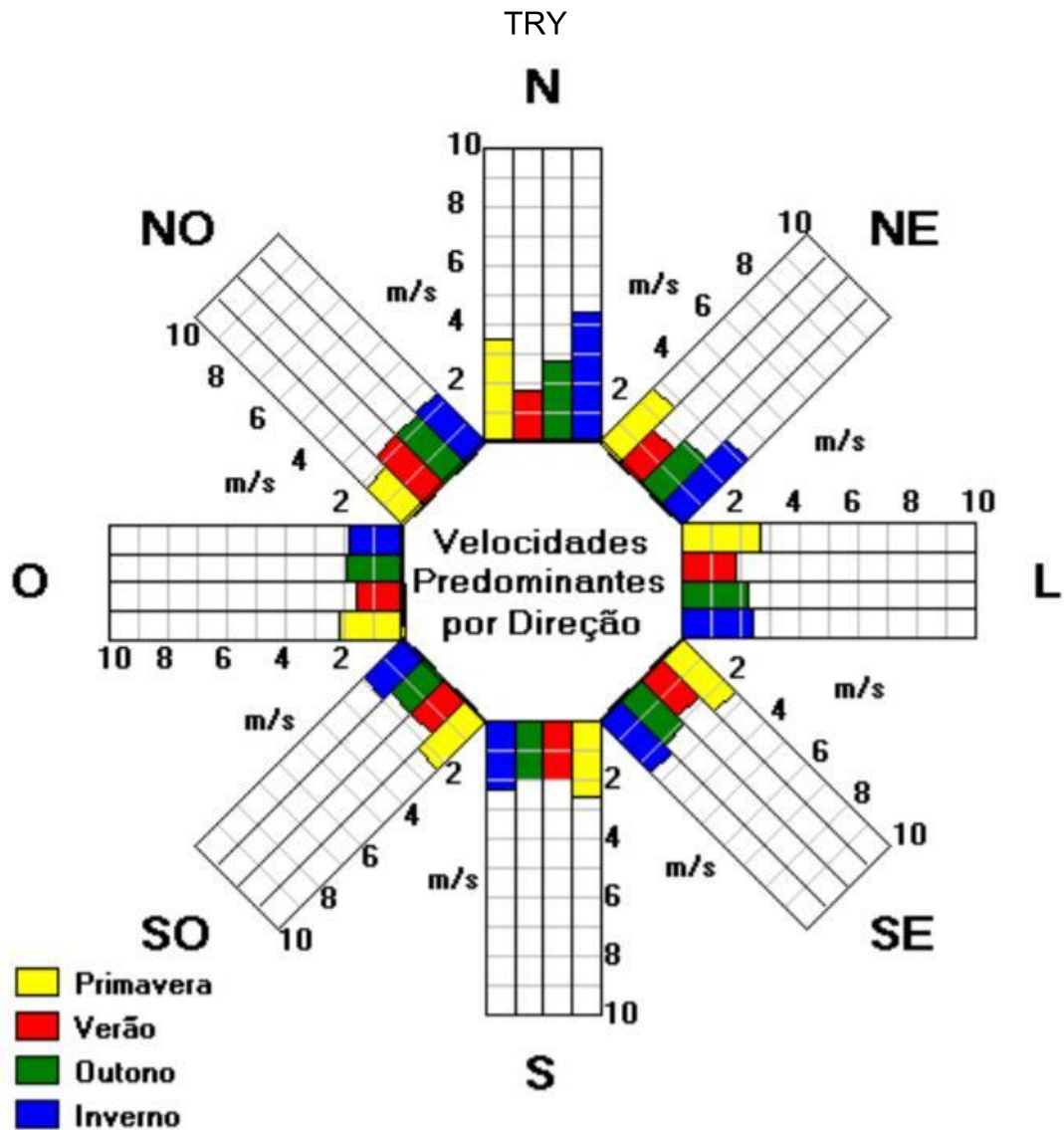
O mapa de ventos pode ser desenhado de diferentes formas e tem o objetivo de apresentar o sentido dos ventos predominantes em uma cidade, com que frequência ocorrem e em qual velocidade (LAMBERTS et al, 2014). Possibilita ao arquiteto tomar decisões projetuais que visem a utilização da ventilação natural de forma a atender as necessidades da edificação quanto ao conforto térmico e à qualidade interior. Nos locais com estações bem definidas, como o caso de Santa Maria, possibilita a implementação de medidas para aproveitamento do recurso no verão e seu controle nos meses de inverno.

Abaixo está o mapa de ventos da cidade de Santa Maria de acordo com o TRY, sigla de Test Reference Year, em português Ano Climático Referência que é elaborado através da análise dos dados de, em média, 27 anos, dos quais são descartados aqueles com temperaturas extremas, tanto de calor quanto de frio, até que se defina o que melhor representa as médias do período (FERREIRA, 2006).

Nas figuras, é possível identificar as estações conforme as cores, sendo o amarelo representante da primavera, o vermelho indica o período de verão, o verde simboliza o outono e o azul configura o inverno. Cada aba do octógono representa uma orientação geográfica, conforme demarcado na imagem.

Na Figura 8, quanto à velocidade em que o vento incide sobre cada orientação, é possível destacar que os ventos são mais intensos no inverno, principalmente na fachada norte, seguido da primavera. A menor velocidade de incidência do vento ocorre na orientação sudeste, sudoeste e oeste durante o verão, quando a velocidade do vento é menor do que 2 m/s.

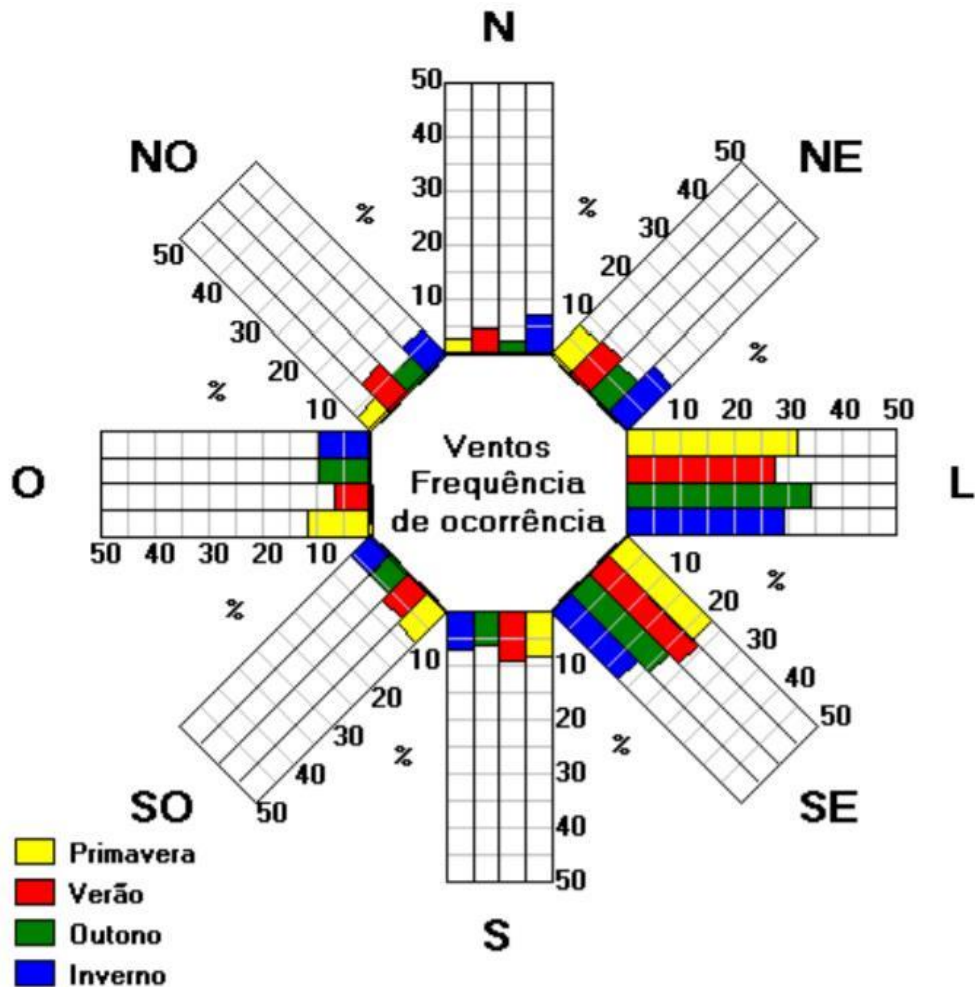
Figura 9: Mapa dos ventos das velocidades predominantes por direção do



FONTE: FLORES, 2014.

Quando se trata da frequência de incidência do vento, a Figura 9 demonstra que a fachada leste é a que mais o recebe em todas as estações, seguida da fachada sudeste. A orientação norte é a que tem a menor ocorrência de ventos.

Figura 10: Mapa dos ventos da frequência de ocorrência do TRY



FONTE: FLORES, 2014.

É importante ressaltar que a orientação das aberturas para a fachada que recebe os ventos dominantes de maneira perpendicular pode não ser a melhor solução, já que a velocidade com que o ar entra no ambiente pode causar desconforto aos usuários. Portanto, as janelas que recebem o fluxo de ar em um ângulo menor ao de 90°, também são eficientes e a determinação da área de ventilação daquelas onde o ar incide em um ângulo menor do que 60° pode ser indicado através da equação:

$$A_{\theta} = A \times \cos\theta \quad (2.12)$$

Sendo:

A_{θ} = área efetiva, para o ângulo de incidência do vento igual a θ (m²).

A = área da janela (m²).

θ = ângulo de incidência do vento em relação à fachada.

2.2.2.2 Área útil das aberturas para ventilação

A área de abertura das esquadrias é uma variável importante já que tem influência não só no conforto higrotérmico, mas também no lumínico e interfere diretamente no fluxo de ar que entra e sai do ambiente. A NBR 15.220-3 classifica as esquadrias em pequenas, médias e grandes conforme a relação entre área de abertura e a área de piso dos ambientes, conforme Figura 10. Já a NBR 15.575-4 determina a área mínima de abertura em percentagem (%) em relação à área de piso para cada zona bioclimática, de acordo com a Figura 11. Os variados modelos de esquadrias têm vãos livres diferentes, e a escolha de qual será utilizado em cada projeto deve ser de acordo com a ventilação necessária, térmica ou higiênica, levando em conta o número de renovações de ar e o conforto dos usuários.

Tabela 5: Aberturas para ventilação.

Aberturas para ventilação	A (em % da área de piso)
Pequenas	$10\% < A < 15\%$
Médias	$15\% < A < 25\%$
Grandes	$A > 40\%$

Fonte: adaptada de NBR 15.220-3 (2005, p. 22)

Tabela 6: Área mínima de ventilação em dormitórios e salas de estar.

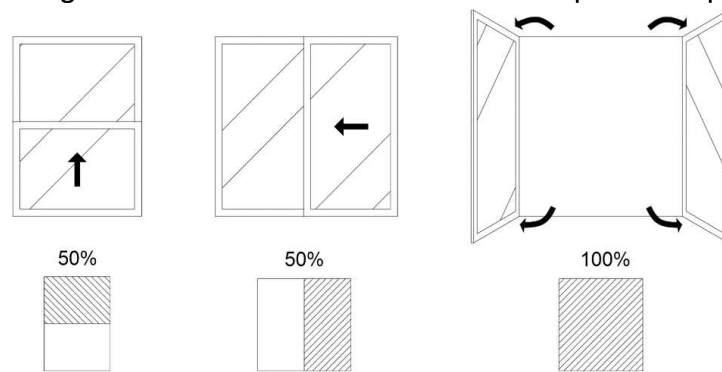
Nível de desempenho	Aberturas para ventilação (A)	
	Zonas 1 a 7 Aberturas médias	Zona 8 Aberturas grandes
Mínimo	$A \geq 7\%$ da área do piso	$A \geq 12\%$ da área do piso – região norte do Brasil $A \geq 8\%$ da área do piso – região nordeste e sudeste do Brasil

Nota Nas zonas 1 a 6, as áreas de ventilação devem ser passíveis de serem vedadas durante o período de frio.

Fonte: adaptada de NBR 15.575-4 (2013, p. 28)

A esquadria do tipo guilhotina e de correr possibilita a circulação do ar em 50% de sua área, como mostra a figura 12 (LAMBERTS et al, 2014). Diferente dessa, a janela de abrir viabiliza que o vento passe por 100% do vão, assim como a basculante e a maximar, que tem a passagem do fluxo de ar determinado pelo ângulo de abertura de suas aletas e, por isso, oferecem maior flexibilidade aos usuários.

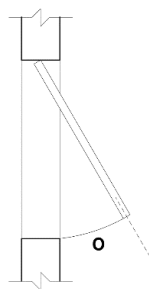
Figura 11: Área de abertura de cada tipo de esquadria



Fonte: adaptada de LAMBERTS et al. (2014, p. 177).

Além dos modelos apresentados de esquadrias, ainda é possível utilizar as maximar e oscilobatentes, que possibilitam controlar o ângulo de abertura e dessa maneira, regular o fluxo de ventilação. A oscilobatente tem possibilidade de abertura em dois sentidos, verticalmente e horizontalmente, oferecendo maior facilidade de controlar a direção do fluxo de ventilação de acordo com a necessidade, podendo incidir no nível do usuário ou ocorrer acima dele. A Figura 12 demonstra o ângulo de abertura e a porcentagem de ventilação ofertada pelas esquadrias maximar, e a Figura 13, as formas de abertura da oscilobatente e a área disponível para ventilação, que é de 100% quando abertas as vidraças na horizontal e quando abertas na vertical tem menor área, de acordo com o ângulo de abertura.

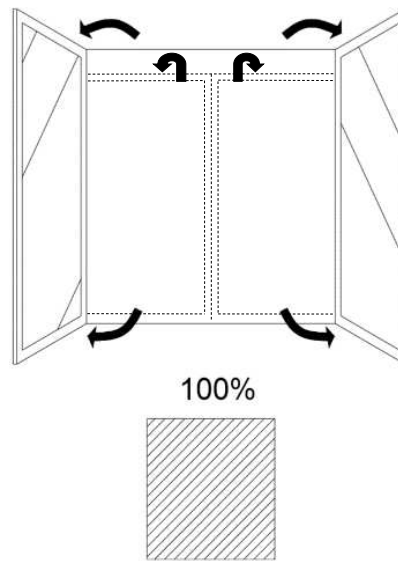
Figura 12: Área de ventilação conforme o ângulo de abertura da janela maximar.



Inclinação	Área útil
0° (fechada)	0
30°	13%
45°	30%
60°	50%
90° (totalmente aberta)	100%

Fonte: adaptada de LAMBERTS et al. (2014, p. 177).

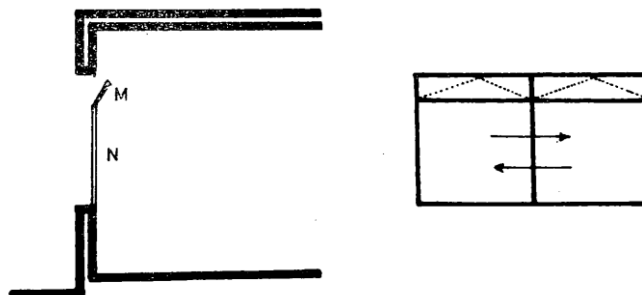
Figura 13: Área de abertura da esquadria oscilobatente.



Fonte: autora.

A escolha da abertura colabora para o uso correto da ventilação, em especial nos locais de climas mistos ou frios, já que possibilita a adequação do vão de abertura pelo usuário que pode operar para obter conforto térmico e, ainda, a renovação do ar referente à ventilação higiênica. A Figura 13 demonstra um tipo de esquadria bastante recomendada para edificações do sul da América, região de verões quentes e invernos gelados, onde a ventilação higiênica pode ficar prejudicada em determinados períodos. Essa janela tem abertura superior que possibilita a ventilação higiênica numa altura maior do que a do usuário (M), permitindo a renovação do ar no inverno sem causar desconforto; e uma abertura inferior que visa atender o conforto térmico no verão (N), possibilitando entrada de ar na altura dos ocupantes (RIVERO, 1985).

Figura 14: Esquadria com abertura superior basculante para ventilação higiênica.



Fonte: RIVERO (1985, p. 123).

Com base no que foi exposto e nas equações 2.3 e 2.4, é perceptível que a área das esquadrias é uma variável bastante importante e que deve ser levada em consideração ao projetar com vista ao conforto térmico. Desse modo, a orientação das aberturas, o posicionamento delas e sua tipologia vão influenciar na busca de qualidade do ar interior e na diminuição das chances de condensação. É primordial que o usuário faça o correto uso dos sistemas de ventilação, garantindo as renovações de ar previstas e realizando as manutenções necessárias para a operação adequada das mesmas

2.3.3 Umidade

O vapor de água surge da evaporação, que se caracteriza como a mudança do estado líquido para gasoso, a umidade é a porcentagem de partículas de água em forma de gás que são incorporadas ao ar (RIVERO, 1985). Dentro das habitações elas têm origem na transpiração dos usuários e na evaporação nas áreas molhadas, como, por exemplo, das roupas estendidas, do cozimento dos alimentos e da água que fica na pia (MARTYNY; WEEKES, 2009).

O ar possui uma certa quantidade de umidade, chamada umidade relativa. Essa, nada mais é do que a proporção de vapor d'água presente no ar em comparação ao máximo que poderia apresentar naquela temperatura. Segundo a OMS (Organização Mundial da Saúde), o nível ideal de umidade relativa do ar é de 60% a 80%. Quando entre 21 e 30%, é considerado estado de atenção e recomenda-se não realizar atividades ao sol entre o final da manhã e o início da tarde, período de menor índice de umidade, uso de protetor solar, chapéus ou bonés, permanecer em locais protegidos do sol e de preferência, umidificados através de mecanismos automáticos ou caseiros (CGE, SP). Quando a umidade relativa está entre 12 e 20% a situação é considerada de emergência e é recomendado evitar aglomerações de pessoas e a prática de atividades físicas, além disso, é aconselhável utilizar soro fisiológico nos olhos e narinas (CGE, SP). Quando abaixo de 10%, recomenda-se a suspensão de atividades que aglomerem pessoas em espaços fechados, como aulas e cinemas, e de atividades ao ar livre como entrega de correspondências e coleta de lixo (CGE, SP).

Quando o ar tem 100% de umidade, diz-se que está saturado e pode causar desconforto às pessoas já que dá a sensação de mais calor (RIVERO, 1985). Essa

sensação é causada pelas altas temperaturas aliadas ao alto nível da umidade relativa, e ainda, ao baixo movimento de ar, conjunto de características que dificultam a transpiração e comprometem a qualidade térmica dos ambientes (LAMBERTS et al, 2018). Quanto maior a temperatura, menor é a quantidade de vapor de água necessária para atingir o ponto de saturação (RIVERO, 1985). Ao atingir o nível máximo de umidade, o vapor excedente volta ao estado líquido, ocasionando o fenômeno da condensação, como exposto no capítulo 2.1

A condensação interna advém da transferência de calor do local que perde por evaporação para o local de ocorrência da mesma (FROTA, SCHIFFER, 2001). Portanto, a condensação ocorre como uma forma de nivelamento das temperaturas do ambiente, onde a superfície mais quente transfere calor para a mais fria.

A umidade elevada no interior das edificações pode ser um indicador da falta de ventilação, o que contribui para o aumento das emissões químicas dos materiais de construção, promove o crescimento bacteriano e facilita a sobrevivência de vírus (WHO, 2009), logo, a qualidade do ar no interior da edificação fica comprometida.

O conforto térmico é influenciado pelo índice de umidade do ar e o estudo que leva em consideração mais essa variável; em conjunto com a temperatura, é chamado de conforto higrotérmico (CHANG, 2019).

2.4 QUALIDADE DO AR

A ventilação, além de colaborar para o atendimento das necessidades de conforto térmico e de higiene dos usuários, também garante a ininterruptão de uma medida de prevenção contra agentes químicos e biológicos poluentes do ar. A baixa qualidade do ar interior caracteriza o empreendimento com a síndrome do edifício doente, *sick building syndrome* (SBS) na literatura internacional, nome atribuído às edificações em que os usuários podem apresentar diversos sintomas, como agravamento de alergias, asma, rinites, resfriados e outras doenças infecciosas mais frequentes (KEELER, 2018). Essa característica foi associada à ventilação natural e mecânica, sendo mais perceptível nos edifícios onde são utilizados sistemas para aquecimento e refrigeração dos ambientes, despertando a atenção para a manutenção e a higienização periódica aos sistemas de ar-condicionado (WHO, 2009).

Um ambiente com ar de qualidade é aquele onde se tem atenção quanto aos materiais utilizados e as possíveis emissões oriundas deles, ao uso, manutenção e higienização das estruturas e dos materiais e circulação de ar para retiradas das impurezas que podem ser geradas também pelas atividades humanas. De acordo com Marian Keeler, na segunda edição do livro Fundamentos de Projetos de Edificações Sustentáveis, publicado em 2016, deve-se considerar quatro principais fatores ao se projetar em busca de ambientes com qualidade do ar:

1. Controle da fonte: de acordo com o local de implantação, se existem estradas ou indústrias nas proximidades, as aberturas da edificação podem ser pensadas de acordo com o fluxo de ar predominante visando à redução da entrada de gases contaminados na construção. Outra fonte de poluição é o cigarro, sendo interessante, nas edificações onde se faz necessária a implantação de local destinado a esse uso, o estudo dos fluxos de ar visando a retirada dele a partir desse espaço, não permitindo que retorne para o interior da edificação.
2. Ventilação: estudos comprovam que a boa qualidade do ar aumenta a produtividade dos usuários (Schirmer, et al., 2009). Sistemas automáticos de controle das taxas de dióxido de carbono (CO₂) são solicitados para empreendimentos que buscam certificação de sustentabilidade. Essas instituições, como LEED e BREEAM, destacam a importância de associar sistemas de ventilação mecânica à natural, principalmente em locais de implantação próximo de rodovias ou indústrias pesadas que podem ser fontes de ruído. A ventilação deve ocorrer visando o conforto térmico e a qualidade do ar, sendo importante a associação desse estudo com a orientação dos ventos dominantes em busca de criar zonas de tomada de ar nas fachadas de incidência dos fluxos dominantes de vento e de retirada, nas opostas, ocorrendo a ventilação pelo efeito chaminé e pela ação dos ventos.
3. Revisão do projeto: avaliação dos sistemas e componentes projetados e instalados em uma edificação por outro profissional, quanto a sua operação e em busca de garantir que continuem exercendo sua função conforme os requisitos operacionais projetados. Essa revisão deve ocorrer, principalmente, nos sistemas que consomem energia, como os de

refrigeração do ar, de aquecimento de água, de energia renovável e de controle de iluminação natural e artificial.

4. Flush-out da edificação: antes do início das atividades em um novo edifício é recomendado a realização do *flush-out*, que consiste em insuflar ar em grande quantidade para a renovação do mesmo e retirada de quaisquer substâncias poluentes do interior do edifício. É necessária atenção aos agentes contaminantes no período de obra e no pós-obra, com a especificação de produtos com baixa emissão, para manter a limpeza oferecida pelo *flush-out* e a qualidade do ar de acordo com o ideal, além de realizar esse procedimento de forma periódica (LEED, 2013).

A qualidade do ar no interior dos edifícios depende de um conjunto de fatores que englobam desde as condições de execução, a escolha dos materiais até a manutenção das estruturas. Além da umidade e da ocorrência de condensação, outros gases podem diminuir a qualidade do ar no interior, como os compostos orgânicos voláteis (COVs), o óxido de nitrogênio, o monóxido de carbono (CO), o dióxido de carbono (CO₂), o pólen e a fumaça do cigarro.

Os COVs são compostos orgânicos voláteis presentes em materiais de construção, tintas e móveis, também fazem parte da composição de combustíveis, pesticidas e até de maquiagens e cosméticos. Esses compostos têm baixa temperatura de ebulição e, através de pesquisas, foi constatado que quase todos os materiais emitem poluentes químicos, estando os COVs presentes principalmente em construções novas ou reformadas (SANTAMOURIS; WOUTERS, 2006).

O óxido de nitrogênio tem origem na natureza, pela queima de biomassa e atividades vulcânicas, nas cidades através da combustão e nas casas tem origem em fornos e fogões, através da chama (CÓNSUL, et al., 2004). Esses gases são responsáveis pela poluição atmosférica e pela ocorrência de chuvas ácidas.

O monóxido de carbono é um gás extremamente tóxico gerado pela queima do fogão ou de aquecedor de gás (TORTORELLA; LABORDE, 2021). A única maneira de controlar e evitar que a quantidade desse elemento se torne tóxica no ambiente é através da manutenção dos sistemas de aquecimento e com atenção à ocorrência de vazamentos.

O dióxido de carbono (CO₂) é gerado pela atividade humana e animal, sua concentração varia de acordo com o volume do ambiente, a taxa de renovação do

ar, o número de ocupantes e o tempo de permanência nele (SANTAMOURIS; WOUTERS, 2006). Em um estudo elaborado por Satich, et al. em 2012, mostrou que dos nove ambientes estudados, com 1.000ppm de concentração de CO₂, seis deles tiveram efeitos prejudiciais sobre os ocupantes, que apresentaram maior dificuldade para tomar decisões quando em comparação aos ambientes com 600ppm. Esse estudo foi realizado em escolas dos Estados Unidos, sendo identificadas salas de aula com concentração do composto acima de 3.000 ppm, o que desperta curiosidade sobre o impacto que essa exposição pode causar sobre o aprendizado dessas crianças e na capacidade de tomar decisões em testes e provas realizadas nesses ambientes.

O ozônio é um elemento que existe em maior concentração no exterior, mas com a ventilação natural pode entrar na edificação e reagir com os demais gases ali presentes e resultar em mais compostos nocivos.

Ainda, o pólen e a fumaça do cigarro podem prejudicar a qualidade do ar. O pólen pode entrar nas edificações através das roupas dos ocupantes ou da ventilação natural e causar alergias aos ocupantes, suas partículas são grandes e, por isso, são facilmente removíveis através de limpeza e ventilação (SANTAMOURIS; WOUTERS, 2006). Por outro lado, a fumaça do cigarro tem partículas pequenas e difíceis de limpar, sendo necessário um grande fluxo de ventilação para eliminá-las (SANTAMOURIS; WOUTERS, 2006).

A condensação causada pela alta umidade relativa do ar acarreta o desenvolvimento de fungos e bactérias nos ambientes que, assim como os demais poluentes citados, comprometem a qualidade do ar interior, causam problemas à saúde dos ocupantes e geram desgastes aos materiais de construção. Esse tema será mais explorado no item 2.5.

Nos casos de edifícios ventilados com sistemas mecânicos, a falta de limpeza e manutenção desses também pode colaborar para a perda de qualidade do ambiente interno. Ainda, nesses sistemas, as fachadas do edifício próximas de rodovias ou indústrias podem não ser o local mais adequado para a tomada de ar, já que as emissões de gases poluentes são maiores nessas localidades.

A partir disso, pode-se perceber que são muitas as fontes de contaminação do ar dentro de uma edificação, e a ventilação tem papel fundamental para reduzir essas perdas. Também podem ser associados sistemas mecânicos de controle da

qualidade do ar, como requerem as entidades de certificação de edificações sustentáveis.

De acordo com a certificação AQUA de sustentabilidade para edificações, a ventilação apenas por janelas de abertura manual pode ser utilizada para a aquisição do nível BASE de certificação. Para maior pontuação é necessária a combinação da ventilação por esquadrias com algum sistema de ventilação mecânica que garanta qualidade do ar interior ou sistemas eletrônicos de controle da taxa de CO₂ interna e abertura da janela controlada por um dispositivo adequado (Processo AQUA, 2017).

2.5 CONDENSAÇÃO NAS EDIFICAÇÕES

A umidade é essencial para a ocorrência da condensação. Pode ter origem através de problemas na edificação, como por capilaridade ou vazamentos, ou pelas atividades exercidas no ambiente, é a maneira de equilibrar as temperaturas no meio interior, sendo caracterizada pela transformação da água do estado gasoso para o líquido. Ocorre quando a temperatura da superfície está baixa com um índice de umidade do ar considerado normal, ou quando a parede está em temperatura normal e o índice de umidade elevado (MARTYNY; WEEKES, 2009). Deve-se atentar aos locais considerados fracos da estrutura, como janelas, encontro entre piso e parede e juntas de paredes externas, que podem se tornar pontes térmicas.

Em construções a condensação pode se apresentar de duas formas, sendo a primeira superficial, que ocorre sobre as superfícies, ou de forma intersticial ou escondida, quando pode danificar materiais estruturais e reduzir a eficácia térmica deles (SULAIMAN, S.J., 2010; O'BRIEN et al, 2011). A condensação superficial ocorre nas superfícies que estão em temperatura inferior à do ponto de orvalho e em ambientes onde o ar está saturado, ocorrendo a mudança do estado da água de vapor para líquido sobre a superfície mais fria (O'BRIEN et al, 2011). A maior ocorrência se dá em ambientes mal ventilados e paredes com ligação para o exterior da edificação; nessas deve-se ter atenção para não posicionar grandes móveis, como roupeiros, é necessário afastamento que permita a renovação do ar entre eles para prevenir que o crescimento de fungos filamentosos ocorra (BS 5250, 2011).

A condensação intersticial é aquela que ocorre dentro dos materiais e de forma lenta. No caso de uma edificação aquecida apenas em alguns períodos, é

recomendado o uso de material com maior resistência ao vapor do lado interno e de menor resistência do lado externo nas paredes da envoltória, o que colabora para a manutenção do calor no interior. Mas, entre essa camada de isolamento térmico e a mais externa da parede pode ocorrer condensação, já que a camada externa apresentará temperatura inferior àquela que o material resistente ao vapor adquirirá quando entrar em contato com o sistema de aquecimento (BS 5250, 2011).

Alguns pontos que merecem atenção são os encontros entre elementos construtivos, como duas paredes, piso/parede e parede/cobertura, e, também, entre os componentes da edificação com os elementos, tal como entre paredes e janelas, paredes e portas ou cobertura e claraboia (BS 5250, 2011). Esses locais apresentam maior perda de calor, o que torna a temperatura dessas superfícies mais baixa e aumenta as chances de condensação e o consequente desenvolvimento de fungos filamentosos (LARBI, 2005; EVOLA et al, 2011; FRANÇOIS et al, 2021). Essa interação é chamada de ponte térmica; é uma transferência de temperatura e umidade que ocorre de forma mais rápida do que na condensação intersticial e está relacionada com a falta de hermeticidade do envoltório da edificação (BS 5250, 2011), causando perdas de calor nas construções localizadas em climas frios e aumento dos ganhos térmicos nas de calor (EVOLA et al, 2011;).

As pontes térmicas causam perdas de temperatura para o exterior, aumentando o consumo de energia para manter o ambiente confortável termicamente e, por isso, prejudicam o desempenho energético do edifício (PARK, et al., 2019). As características higrotérmicas dos materiais, o projeto arquitetônico, a qualidade dos detalhamentos de projeto que reduzem as taxas de infiltração de ar, o uso de sistemas de calefação e refrigeração mais eficientes podem ser ferramentas na busca para sanar o problema das perdas de calor (HASHEMI; KHATAMI, 2015; BLIUC, et al., 2016). Por outro lado, a redução do fluxo de ventilação prejudica a qualidade do ar interno, principalmente nos períodos de frio, aumenta a concentração de poluentes, de umidade e de gás carbônico que, sua vez, podem resultar em concentrações acima do indicado para a saúde humana (HASHEMI; KHATAMI, 2015).

2.5.1 Fungos Filamentosos

Uma grande quantidade de esporos de fungos filamentosos está sempre presente na atmosfera, e para que se desenvolvam é necessário a temperatura adequada, uma fonte de nutrição, oxigênio e umidade (BS 5250, 2011). Esses, mais conhecidos como bolores, são comuns em edificações e também tratados como “mofo” e “ácaro” na literatura internacional (AFONSO, 2018). Fungos filamentosos são microrganismos pertencentes ao reino dos fungos que se alimentam dos nutrientes presentes no ar do local onde vivem, através da liberação de enzimas que lhes permitem digerir praticamente qualquer material que possua carbono (BURGE apud AFONSO, 2018).

Alimentam-se através da poeira doméstica, dos elementos nas superfícies, como a condensação, de óleos de cozinha e de materiais de construção, como papéis de parede, tecidos, tintas, colas, madeiras, produtos armazenados e, ainda, de livros e outros papéis (WHO, 2009). Em geral, desenvolvem-se em ambientes com temperatura entre 10° e 35°C, portanto, o interior das casas apresenta condições favoráveis para o surgimento dos mesmos, sendo que, cada espécie necessita de níveis diferentes de umidade, conforme apresentado na tabela a seguir, do WHO.

Tabela 7: Umidade relativa do ar propícia ao surgimento de microrganismos

Nível de umidade	Categoria de microrganismo
Alto (disponibilidade de água > 0.90; umidade relativa > 90%)	Tertiary colonizers (hydrophilic) Alternaria alternata Aspergillus fumigatus Epicoccum spp. Exophiala spp. Fusarium moniliforme Mucor plumbeus Phoma herbarum Phialophora spp. Rhizopus spp. Stachybotrys chartarum (S. atra) Trichoderma spp. Ulocladium consortiale

	Rhodotorula spp. Sporobolomyces spp. Actinobacteria (or Actinomycetes)
Intermediário (disponibilidade de água 0.80–0.90; umidade relativa 80–90%)	Secondary colonizers Aspergillus flavus Aspergillus versicolor Cladosporium cladosporioides Cladosporium herbarum Cladosporium sphaerospermum Mucor circinelloides Rhizopus oryzae
Baixo (disponibilidade de água < 0.80; umidade relativa < 80%)	Primary colonizers (xerophilic) Alternaria citri Aspergillus (Eurotium) x Aspergillus candidus Aspergillus (Eurotium) glaucus Aspergillus niger Aspergillus penicillioides Aspergillus (Eurotium) repens Aspergillus restrictus Aspergillus versicolor Paecilomyces variotii Penicillium aurantiogriseum Penicillium brevicompactum Penicillium chrysogenum Penicillium commune Penicillium expansum Penicillium griseofulvum Wallemia sebi

Fonte: WHO (2009, p. 12).

Os locais onde ocorre condensação têm maior chance de serem pontos de desenvolvimento de fungos (FRANÇOIS, 2021). O ar é a principal fonte de umidade dentro dos ambientes, por isso, é necessário cuidado na escolha dos materiais, levar em conta os dados de transmitância térmica e de umidade, fazer uso de materiais isolantes térmicos onde se fizer necessário e atentar para evitar pontes térmicas,

diminuindo a chance de locais propícios à condensação e ao surgimento de fungos filamentosos (WHO, 2009). É recomendado manter a umidade relativa no interior dos ambientes abaixo de 75%, índice a partir do qual grande parte dos fungos não encontra um ambiente favorável para o seu desenvolvimento (WHO apud ROWAN et al, 2009), dado considerado para análise dos resultados desta pesquisa.

Outros pesquisadores classificam a umidade limite à qual os ambientes podem ser expostos a longo prazo, naqueles com superfícies limpas, entre 75% e 90%, e aqueles nos casos em que existe contaminação ou sujeira, quando a umidade não pode ultrapassar a taxa de 80% (JOHANSSON, 2008).

O projeto higrotérmico de um empreendimento engloba projeto arquitetônico, estrutural, de aquecimento, ventilação e ar-condicionado (WHO, 2009) devendo atender às propriedades térmicas dos materiais. Existem estudos que buscam o aperfeiçoamento de alguns, como, por exemplo, do gesso. Em uma pesquisa realizada por Kang, et al., em 2018, foram analisadas paredes de concreto com uma camada interna de gesso comum (1), outra com aditivo de vermiculita expandida (2), um terceiro com perlite expandida (3), e outras três com diferentes tamanhos de nano materiais de carbono (C-300, C-500 e C-750), nomeadas 4, 5 e 6, respectivamente.

Os modelos 2 e 3 tiveram maior resistência ao vapor d'água e menor condutividade térmica em relação a 1, enquanto 4, 5 e 6 tiveram diminuição do fator de resistência ao vapor de água e menor condutividade térmica. Ainda assim, a redução das chances de desenvolvimento de fungos filamentosos em paredes do tipo 3 são reduzidas em 33,2% e 36,8%, com camadas de gesso de 0,5m e 0,14m de espessura, respectivamente. A adição de camadas de gesso comum com as mesmas espessuras citadas em uma parede de concreto, recobertas com tinta, reduzem em 23,5% e 26,4%, respectivamente, as chances do aparecimento de fungos filamentosos na superfície.

2.5.2 Consequências à saúde humana e às construções

A exposição dos materiais de construção a inundações, chuvas, vazamentos de canos, água nas fundações, que sobe por capilaridade para paredes e piso, ainda, a alta umidade do ar por longos períodos levam à degradação física e química das estruturas construtivas e, a longo prazo, possibilitam o desenvolvimento

de fungos e bactérias nos ambientes internos (PECCIA et al., 2021). O surgimento desses está associado a problemas respiratórios, dermatológicos e oftalmológicos nos ocupantes (SEDLBAUER, 2001; PECCIA et al., 2021). Submetidos a essas situações, os materiais sofrem desgastes que podem exigir reformas e investimentos para o conserto.

As perdas causadas à saúde humana estão relacionadas a problemas de pele, olhos e no sistema respiratório. Entre os sintomas observados nos usuários de espaços com umidade acima do indicado estão: congestão e irritação nasal, ardência e irritação ocular, sensação de olhos ressecados, secura e irritação na garganta, pele seca e irritada (SEDLBAUER, 2001). Além disso, são observados alguns sintomas gerais, como dor de cabeça, enxaqueca, cansaço, tontura, dificuldade de concentração, alergias e resfriados (CAVALCANTI, et al., 2015; WHO, 2009). Os fungos filamentosos prejudicam a qualidade do ar, e os danos causados por eles dependem do tempo de exposição do usuário a essas condições, a partir das quais, os sintomas podem se apresentar mais fortes ou mais fracos (WHO, 2009).

Nas construções, a exposição prolongada à água pode causar a corrosão de metais, a decomposição de materiais naturais como a madeira e, ainda, oferecer condições propícias para o desenvolvimento de fungos filamentosos; dessa maneira, aumenta o risco do seu aparecimento e desenvolvimento nas superfícies (BS 5250, 2011). A degradação causada pelos fungos tem intensidades diferentes de acordo com o material, sendo mais propício ao fungo quando o material tem em sua composição alguma quantidade de aditivo orgânico ou uma pequena camada de poeira, impressões digitais ou gordura, que podem ser pontos de mais fácil fixação dos fungos filamentosos. (SEDLBAUER, 2001).

Ao longo do tempo, os fungos filamentosos causam prejuízos estéticos e de desempenho nos materiais de construção. Conforme pesquisa realizada em casas que sofreram com a presença desses, na Finlândia, o custo de reparação de cada uma foi de 10.000 a 40.000 euros (Sedlbauer, 2001). Além dos reparos, é necessário implementar formas de remediar a ventilação e a qualidade do ar com exaustores ou sistemas mecânicos de renovação do ar, por exemplo, que acabam requerendo energia e aumentam os custos de manutenção (SULAIMAN, S.J., 2010). Essas medidas tornam ainda mais difícil o acesso à moradia de qualidade à

população de menor renda, que normalmente vive em locais mais baixos, úmidos e com menos infraestrutura, sendo comuns fungos filamentosos nessas residências, e, devido às condições financeiras, ficam expostas a essa situação e às consequências oriundas dela (PECCIA et al., 2021).

Além dos inconvenientes citados nos parágrafos anteriores, o alto índice de umidade do ar causa desconforto aos usuários. As normas de desempenho e conforto térmico não são suficientes para impedir que os ambientes internos das edificações sejam livres de fungos filamentosos e de concentrações acima do indicado de outros poluentes (WHO, 2009). O isolamento térmico do material de vedação vertical e os locais onde ocorrem pontes térmicas nas construções permitem trocas entre o meio interior e o exterior, que podem resultar em superfícies com temperaturas abaixo do ponto de orvalho, propícias à condensação. A ventilação deve ocorrer de forma contínua, para atender as necessidades de conforto térmico e higiênico em todas as estações e por todo o ambiente para que não existam espaços de ar estagnado e, dessa maneira, a quantidade de poluentes e de umidade no interior do ambiente seja menor, com vistas a reduzir as chances dos fungos filamentosos se desenvolverem. A atenção com essas medidas deve existir desde a fase de projeto, já que a forma da construção e outras decisões de projeto causam efeitos importantes sobre os fluxos de vento na edificação pronta. Igual atenção é necessária na execução e na manutenção, em busca de aperfeiçoar as edificações e manter a qualidade de funcionamento, além de perceber as falhas para, assim, buscar soluções e o enriquecimento do conhecimento que se tem sobre o combate à condensação nas edificações (PECCIA et al., 2021).

3 MÉTODO

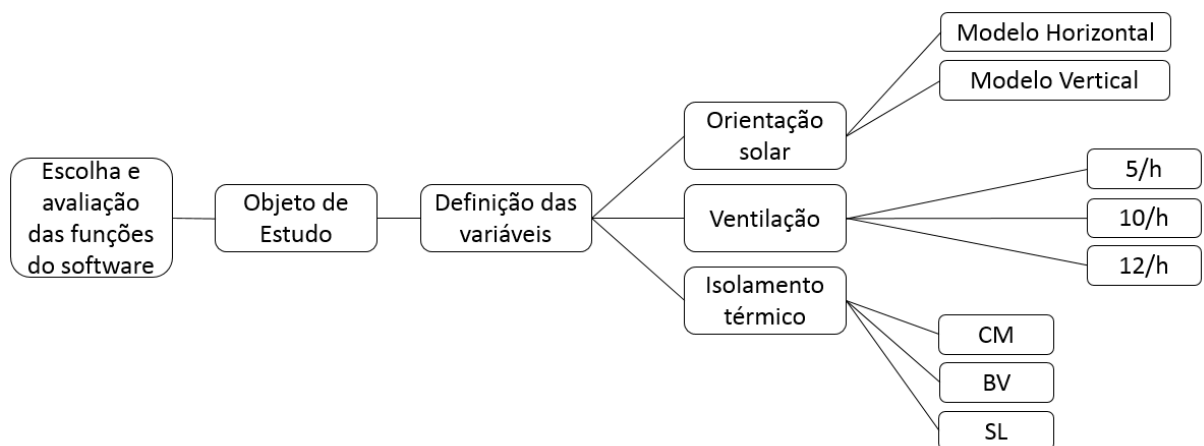
O objeto de estudo é uma unidade de uma habitação multifamiliar, observada sobre três variáveis: orientação solar, ventilação e isolamento térmico. Para analisar a influência dessas sobre o modelo, foram realizadas simulações computacionais com o software WUFI-Plus 3.1.1 (Wärme und Feuchte Instationar), desenvolvido pelo Fraunhofer Institute for Building Physics, que possibilita o estudo conjunto da temperatura e da umidade nos materiais e nas edificações.

O WUFI-Plus 3.1.1 utiliza dados do clima externo, de ocupação, de ventilação natural e mecânica para avaliar as condições de conforto e a demanda de energia, além de oferecer informações do clima interno, como por exemplo temperatura e umidade nos ambientes, também oferece informações sobre a qualidade do ar interno. Com o compilado dos dados oferecidos pelo software é possível avaliar a necessidade de aquecimento, resfriamento, umidificação e desumidificação nas construções.

Também permite estudo mais aprofundado da influência do sistema mecânico de ventilação, ou do comportamento dos fluxos de ar nas edificações, e ainda, a identificação dos pontos de ocorrência de pontes térmicas e o impacto dessas na demanda de energia e o aumento da umidade relativa do ar em função das mesmas.

Nesse trabalho, foram combinadas duas posições solares, três taxas de ventilação e três materiais de vedação vertical para verificar o índice de umidade e as chances de condensação em cada um dos modelos.

Figura 15: Diagrama do método



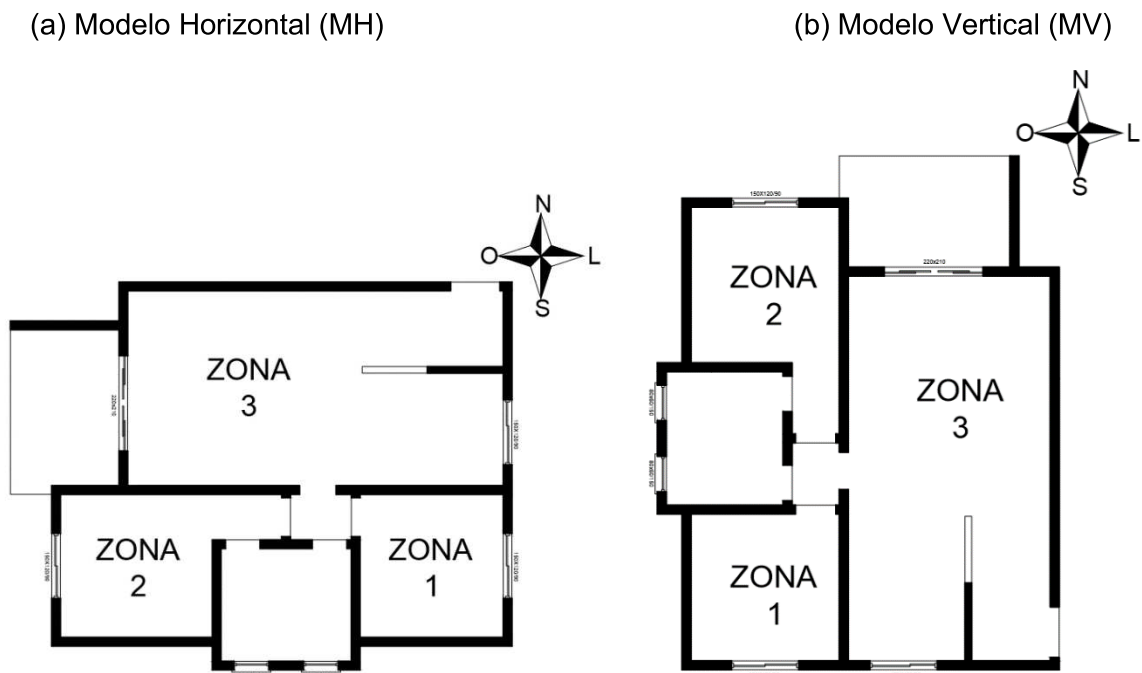
Fonte: autora.

3.1 OBJETO DE ESTUDO

As simulações computacionais foram realizadas em uma unidade de um prédio residencial multifamiliar. Já que espaços residenciais não são usualmente climatizados durante a maior parte do dia, essa escolha possibilita uma melhor compreensão quanto à influência da ventilação natural na prevenção da umidade.

O objeto de estudo foi orientado a duas posições solares. A primeira, chamada de Modelo Horizontal (MH), tem a maior dimensão da edificação no sentido leste-oeste, conforme Figura 15 (a), enquanto a segunda posição do objeto em relação ao sol é chamada de Modelo Vertical (MV), no qual a maior dimensão da edificação tem sentido norte-sul, de acordo com a figura 15 (b).

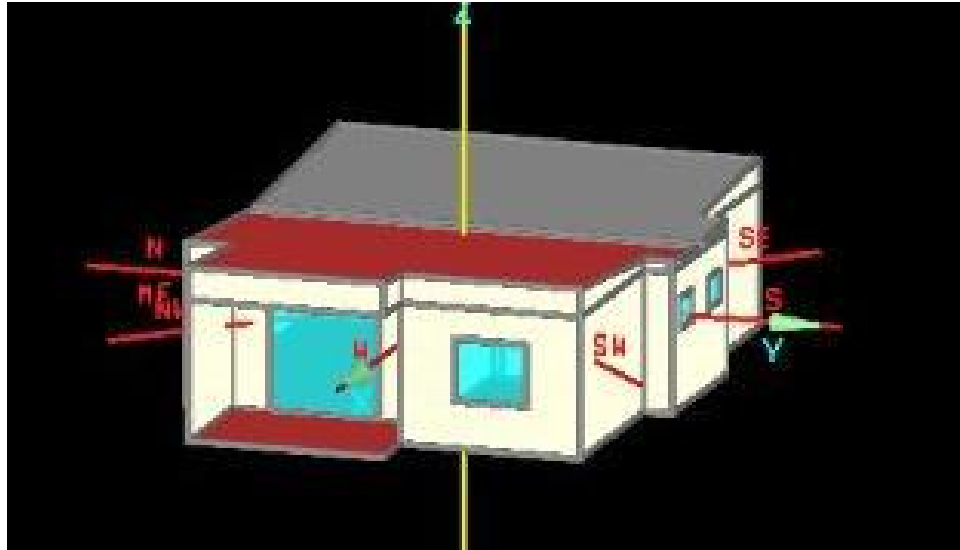
Figura 16: Orientação solar utilizada



Fonte: autora.

Para a análise dos resultados das simulações, os modelos foram divididos em 3 zonas climáticas. A zona 1 e 2 são dormitórios, e a zona 3 é destinada à sala de estar, jantar, cozinha e área de serviço. A cobertura também foi simulada como zona térmica, envolta pela platibanda e com telhas de fibrocimento; foi considerada uma zona adiabática com 1 ren/h em todas as simulações. As demais zonas são não adiabáticas, ou seja, realizam trocas térmicas entre si.

Figura 17: Modelo de simulação computacional no WUFI-Plus 3.1.1



Fonte: autora.

As esquadrias propostas para a edificação são de correr, com dimensões e relação entre a área útil com a área de piso de cada ambiente, especificados na tabela:

Tabela 8: Relação entre área útil do vão de esquadria e área de piso dos ambientes do objeto de estudo.

Zona	Tipo de esquadria	Dimensões (m)	Área útil esquadria (m ²)	Área de piso (m ²)	Área útil x área piso (%)
1	Correr	1,50 x 1,20	0,90	10,88	6,80
2	Correr	1,50 x 1,20	0,90	13,23	8,27
3	Correr	1,50 x 1,20	0,90	38,40	2,34
	Correr	2,20 x 2,10	2,31	38,40	6,01

Fonte: autora.

O foco do estudo é entender as variações de umidade nos dormitórios e na sala sob as diferentes condições oferecidas pelos materiais de fechamento, do fluxo de ventilação e da orientação solar. Não foi avaliado se as taxas de ventilação propostas pelo trabalho são reais para a localização do empreendimento, já que o objetivo é identificar características que possam diminuir a incidência de fungos filamentosos no interior das edificações e, a partir disso, encontrar soluções para atendê-las.

3.2 PROCEDIMENTO DE SIMULAÇÃO

Para observar se existem condições para o surgimento de fungos filamentosos são necessários os dados de umidade relativa e de temperatura das superfícies do ambiente ao longo do tempo. Essas propriedades dependem das condições climáticas locais, como ventos, incidência solar, temperatura e umidade relativa; de variáveis projetuais como a geometria da edificação, a ventilação e as propriedades higrotérmicas dos materiais e, ainda, do uso e ocupação, que diz respeito ao número de ocupantes, do tempo de ocupação e da função exercida, informações que interferem na liberação de calor e umidade no ambiente interno e, também, da operação das janelas (AFONSO, 2018).

Devido ao número de variáveis envolvidas, foi utilizado o software WUFI-Plus 3.1.1 para se realizar simulações computacionais e obter os resultados necessários para a análise. Essa ferramenta permite avaliar o desempenho dos materiais e do ambiente interno quanto às variáveis higrotérmicas, estimar a distribuição de calor e umidade de uma grande variedade de materiais de construção e condições climáticas, possibilita investigar o risco de condensação e a influência da chuva torrencial nos componentes externos da edificação (BUDAIWI E ABDU, 2013).

A ferramenta possibilita a inserção de dados de localização, de temperatura, de umidade relativa, de ocupação, do número de renovações de ar horárias, de sombreamento, de transferência de calor dependente de vento e de carga de chuva em superfícies externas, além de possibilitar a combinação da ventilação natural com a mecânica.

Com a intenção de descobrir o comportamento da umidade nos modelos propostos em todas as estações do ano, o período de simulação utilizado neste trabalho é de um ano, do dia 01/01/2020 até dia 31/12/2020. Os dados de localização são da cidade de Santa Maria, no Rio Grande do Sul, com o intuito de coletar informações que possibilitem o aprimoramento das construções em cidades mais interioranas, já que se localiza no centro do Estado, conforme a Figura 17.

Figura 18: Localização de Santa Maria no mapa do Rio Grande do Sul



Fonte: Google, 2017.

Situada na Zona Bioclimática 2, de acordo com o zoneamento brasileiro (NBR 15.220-3:2005), Santa Maria tem clima subtropical temperado, caracterizado por ser uma região sempre úmida, com recomendação para aquecimento artificial, aquecimento solar da edificação, massa térmica para aquecimento e ventilação, de acordo com a carta psicrométrica de Givoni. O estudo higrotérmico de edificações nessa região é de extrema importância, já que busca soluções para edificações que precisam de ventilação no verão e de maior controle das trocas térmicas do interior com o exterior no inverno.

Os dados inseridos para o início da simulação no interior dos ambientes para temperatura foi de 20°C e para umidade relativa do ar, de 55%. Quanto à ocupação,

foi considerado 0,7 clo para o isolamento térmico das roupas. Segundo Lamberts (2011), ao executar tarefas leves pode ser utilizado 0,5clo para verão e 1,00clo para inverno. Esses são dados padrões, utilizados em todas as simulações.

O sistema de piso do modelo é uma laje de concreto de 0,15m de espessura, assim como o sistema de cobertura. As esquadrias são de alumínio, duas folhas de correr com vidro simples e transmitância térmica de 4,62W/m²K. O modelo tem pé direito de 2,80m e o fechamento vertical é uma das variáveis do trabalho, podendo ser de Concreto Maciço (CM), Bloco de Vedação (BV) ou Sistema Leve (SL).

Para avaliar o efeito que a incidência solar tem sobre a umidade no interior da edificação com cada sistema de vedação vertical, o objeto de estudo foi orientado a duas posições solares. A primeira, chamada Modelo Horizontal (MH) e a segunda Modelo Vertical (MV), conforme a Figura 16 (a) e (b), respectivamente.

A terceira variável, tratada neste estudo, é a ventilação. Foram definidas três taxas de renovação de ar, a primeira é 5 ren/h conforme o indicado pela NRB 15.575-1:2013 para os ambientes de permanência prolongada nas unidades habitacionais que não atendem os critérios estabelecidos para verão com 1 renovação horária. Devido ao período de início e conclusão deste trabalho e da atualização da norma 15.575-1, foi mantida a avaliação sobre a versão publicada em 2013. A segunda taxa simulada foi de 10 ren/h; ao passo que os resultados da primeira taxa não foram satisfatórios, fez-se novos com o dobro da renovação de ar recomendada pela norma. Por fim, foram realizados ensaios com 12 ren/h, índice recomendado para ambientes hospitalares de acordo com o Guidelines for Environmental Infection Control in Health-Care Facilities (CDC; HICPAC, 2013, revisão 2019).

A tabela 9 especifica as variáveis, a nomenclatura usada para defini-las nesse trabalho e oferece a descrição de cada uma delas.

Tabela 9: Especificação das variáveis das simulações.

Variáveis	Identificação	Descrição	
Orientação solar	Modelo Horizontal (MH)	Maior dimensão da edificação no sentido leste-oeste.	A partir desses, são avaliadas as combinações entre as variáveis abaixo.
	Modelo Vertical (MV)	Maior dimensão da edificação tem sentido norte-sul.	

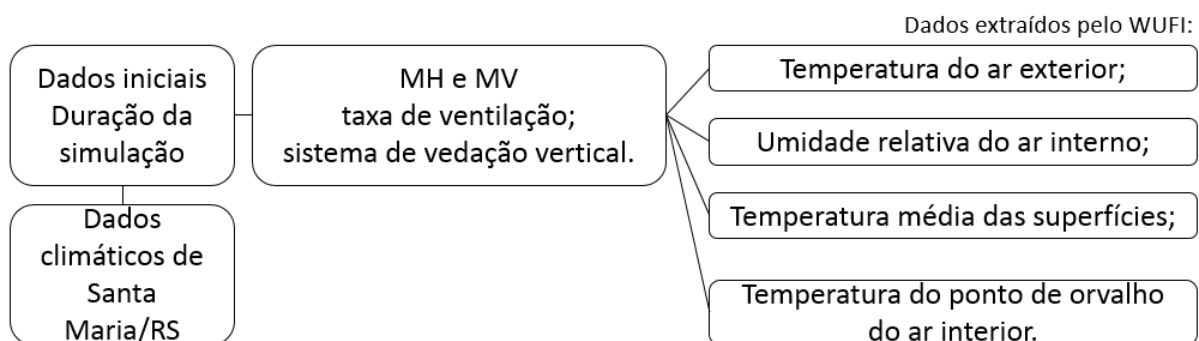
Ventilação	5 ren/h	Recomendação NBR 15.575-1:2013.
	10 ren/h	Dobro do recomendado por norma.
	12 ren/h	Recomendação CDC e HICPAC para espaços de saúde.
Isolamento térmico do SVV	CM	Parede de concreto maciço 10cm.
	BV	Parede de alvenaria com bloco de vedação Light 14x19x29 Pauluzzi de 20cm.
	SL	Sistema steel frame com placa cimentícia e gesso 12,8m.

Fonte: autora.

Essas variáveis resultaram em 18 modelos simulados, que fornecem dados de umidade relativa do ar no interior, temperatura média das superfícies e temperatura do ponto de orvalho do ar interior de cada uma das 3 zonas dos modelos. Através dessas informações, busca-se identificar o sistema de vedação vertical que tem menor chance de desenvolvimento de fungos filamentosos, detectar com qual taxa de ventilação a umidade relativa do ar se mostra mais baixa e se a incidência do sol contribui para a melhora ou piora desse índice nos ambientes.

Para demonstrar os procedimentos de simulação e as informações avaliadas a partir delas, o diagrama da Figura 19 especifica as etapas.

Figura 19: Diagrama das simulações computacionais



Fonte: autora

4 RESULTADOS

Com vistas a identificar quais dos modelos apresentam umidade relativa do ar acima de 75%, porcentagem é limite máximo indicado pela OMS e a partir dele o desenvolvimento de fungos ocorre com maior facilidade, são observados os resultados mensais de umidade relativa do ar e identificado se existe mudanças nos resultados de acordo com a taxa de renovação do ar nos ambientes, que poderia sugerir um estudo mais aprofundado para identificar se esse fluxo no interior das edificações tem bons resultados em outras situações.

A partir dos resultados desses gráficos pode-se observar a influência que a mudança na orientação solar tem sobre a umidade em cada zona dos modelos de simulação.

Por fim, são apresentados gráficos comparativos entre temperatura das superfícies e temperatura do ponto de orvalho nos meses com maior índice de umidade do ar, a partir dos quais busca-se identificar em quais modelos ocorre condensação nas superfícies.

4.1 ÍNDICE DE UMIDADE RELATIVA DO AR

Para identificar os índices de umidade das zonas dos MH e MV, conforme as três taxas de ventilação aplicadas neste trabalho, foram comparados e apresentados abaixo os do MH. A linha azul é referente ao sistema de vedação de Concreto Maciço (CM), a linha laranja ao Bloco de Vedação (BV), e, a linha verde dos modelos com Sistema Leve (SL).

A análise é feita sobre o comportamento do sistema de vedação vertical nas três taxas de ventilação, por isso, é apresentada após os três gráficos do modelo.

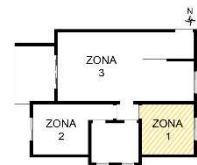
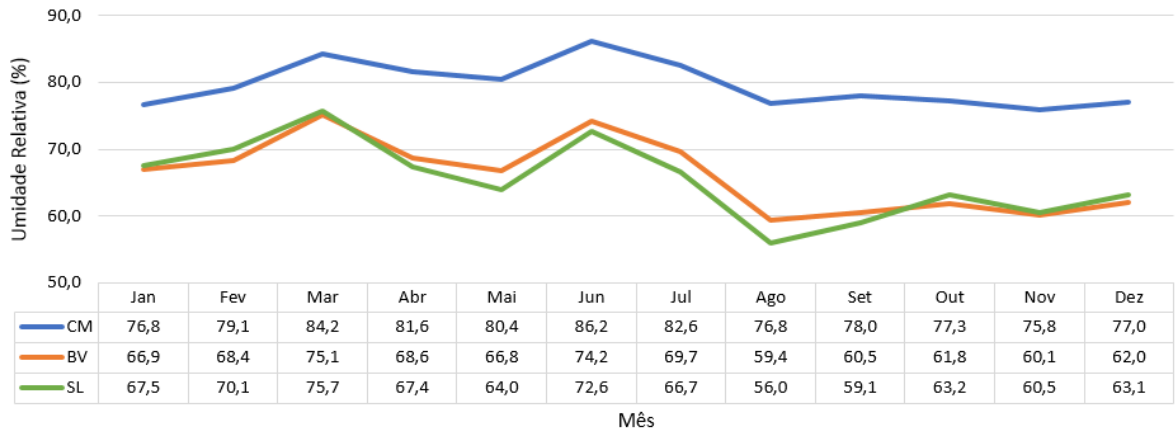
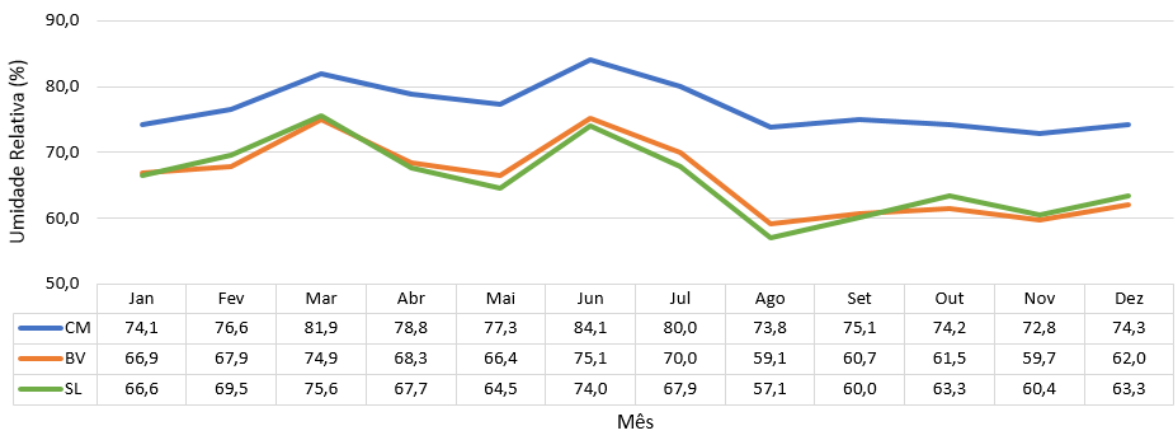


Gráfico 1: MH, Zona 1 com 5 ren/h.



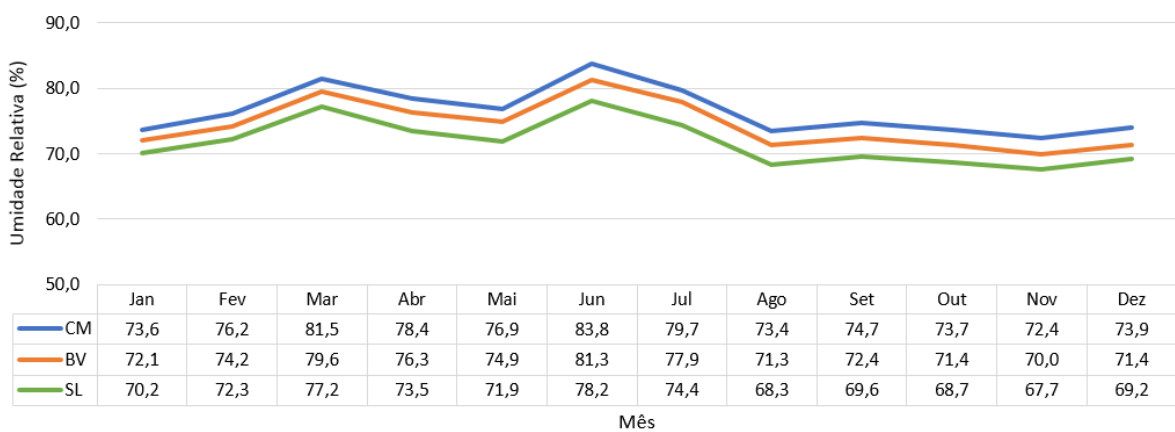
Fonte: autora.

Gráfico 2: MH, Zona 1 com 10 ren/h.



Fonte: autora.

Gráfico 3: MH, Zona 1 com 12 ren/h.



Fonte: autora.

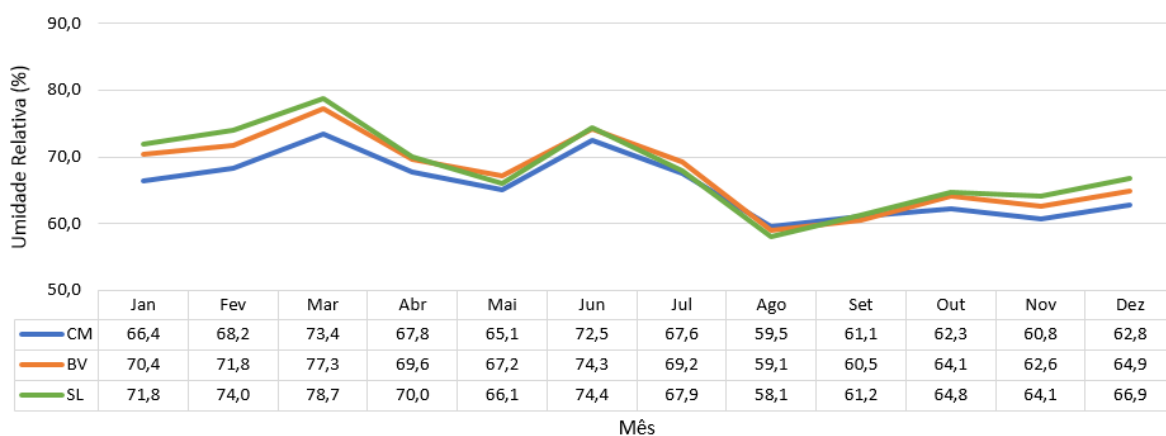
Através da avaliação dos gráficos acima é possível perceber uma leve redução da umidade relativa interna no modelo com a taxa de renovação de ar intermediário. Nessa zona, nos ensaios com fechamento de CM, quando o fluxo de ventilação é de 10 renovações horárias, a umidade relativa diminui significativamente se comparada aos dados com 5 renovações. Comparado ao resultado obtido com a maior taxa de ventilação, não são muito diferentes, mas o aumento da ventilação reduziu o índice de umidade em alguns meses. Nenhum dos casos atende o orientado pela OMS.

Nos modelos com sistema de fechamento com BV, quando o ar é renovado 5 vezes por hora, o mês de março apresenta índice acima de 75%, mas, quando se aumenta para 10 vezes por hora a taxa de ventilação sobre o sistema, esse mês passa a estar de acordo com o recomendado, porém aumenta a umidade relativa interna no mês de junho. Com exceção dos meses citados, nesses casos, o sistema atende a recomendação da OMS. Renovando o ar do ambiente 12 vezes por hora, se tem mais umidade interna em comparação às outras taxas.

No fechamento com SL, nas três taxas de ventilação, os meses de março e junho têm índices de umidade superiores ao recomendado, diferente dos resultados no restante do ano. Nessa situação, o SVV tem mais umidade conforme o aumento da taxa de ventilação.

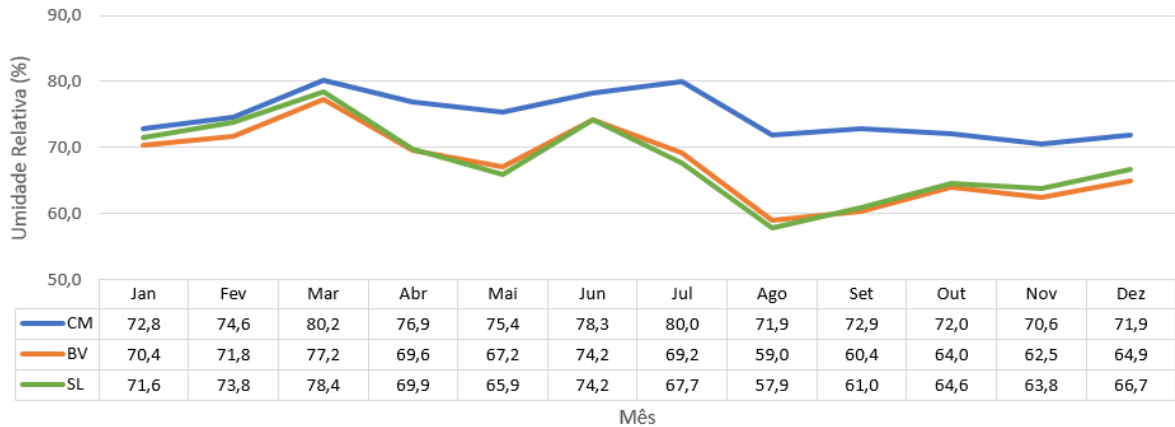


Gráfico 4: MH, Zona 2 com 5 ren/h.



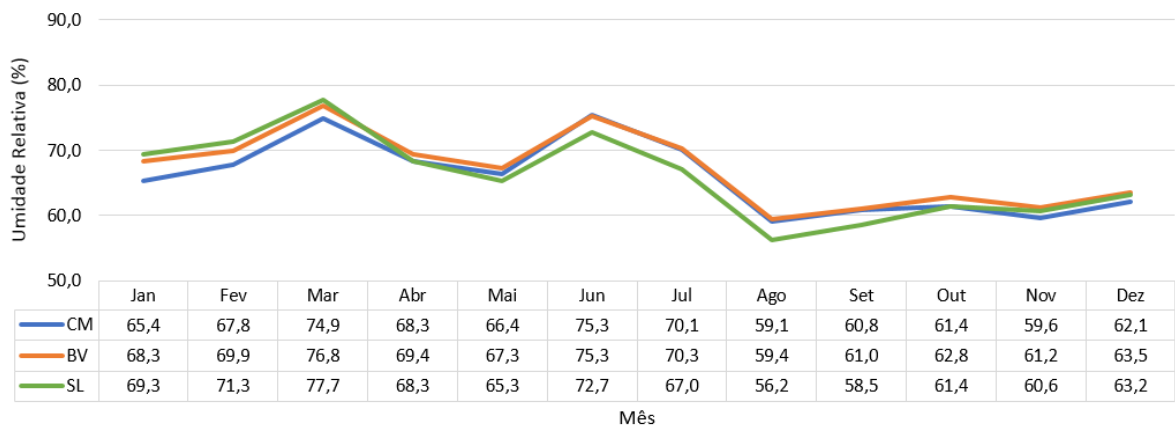
Fonte: autora.

Gráfico 5: MH, Zona 2 com 10 ren/h.



Fonte: autora.

Gráfico 6: MH, Zona 2 com 12 ren/h.



Fonte: autora.

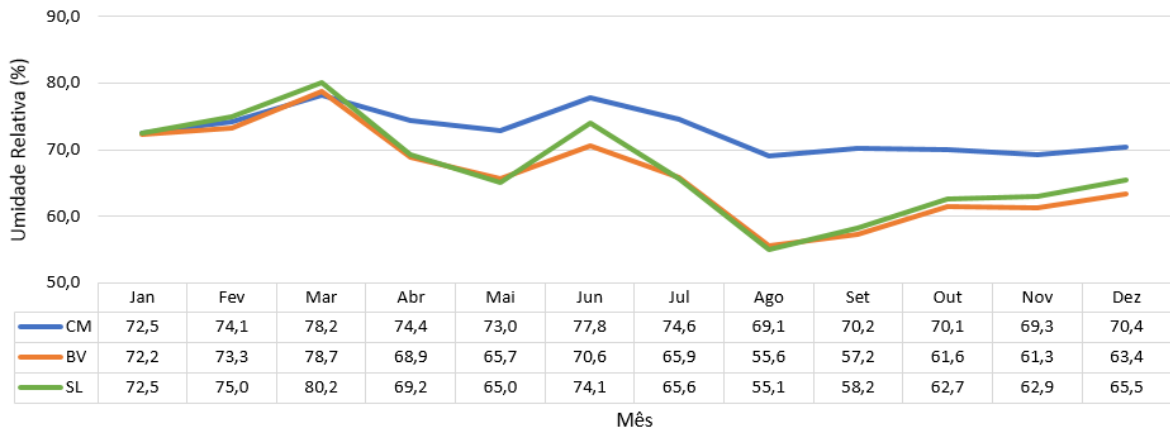
Na zona 2, o fechamento vertical de CM tem resultados melhores se em comparação com a zona 1, estando dentro do recomendado quando a taxa de renovação é de 5/h. Grande diferença é notada com o aumento da taxa de ventilação que traz mais umidade ao ar, estando o sistema com CM nessa situação, com índices de umidade acima de 75% de março a julho. Com 12 renovações horárias os índices de umidade são menores, mas não tanto quanto com a menor taxa de ventilação, não estando de acordo com o recomendado.

Nessa zona, o modelo ensaiado com fechamento de BV não teve alterações significativas em função da mudança na taxa de ventilação e manteve, nos três casos, umidade acima do recomendado pela OMS no mês de março, e com 12 ren/h também no mês de junho.

O mesmo ocorre com o SL; as taxas de 5 e 10 ren/h tem maior umidade relativa do ar, mas os ambientes com 12 ren/h não estão de acordo com a recomendação da OMS no mês de março.

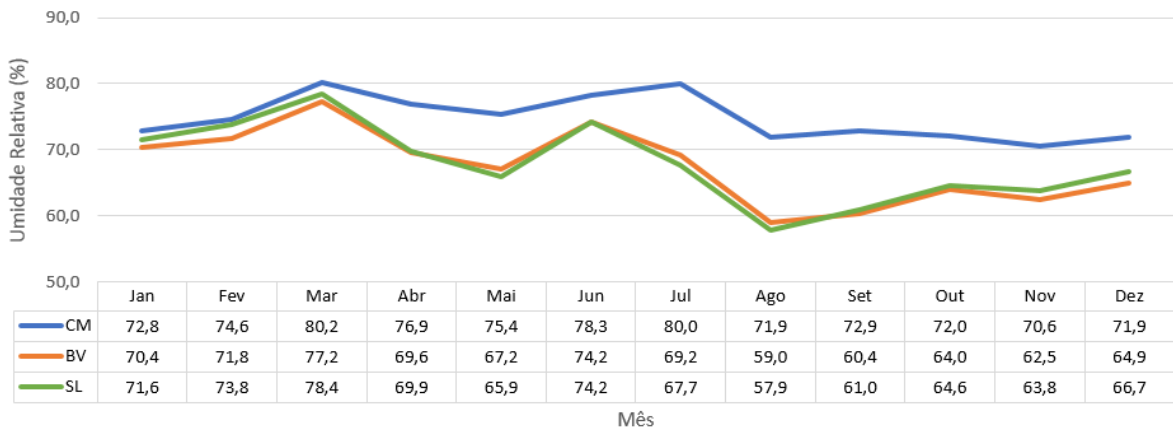


Gráfico 7: MH, Zona 3 com 5 ren/h.



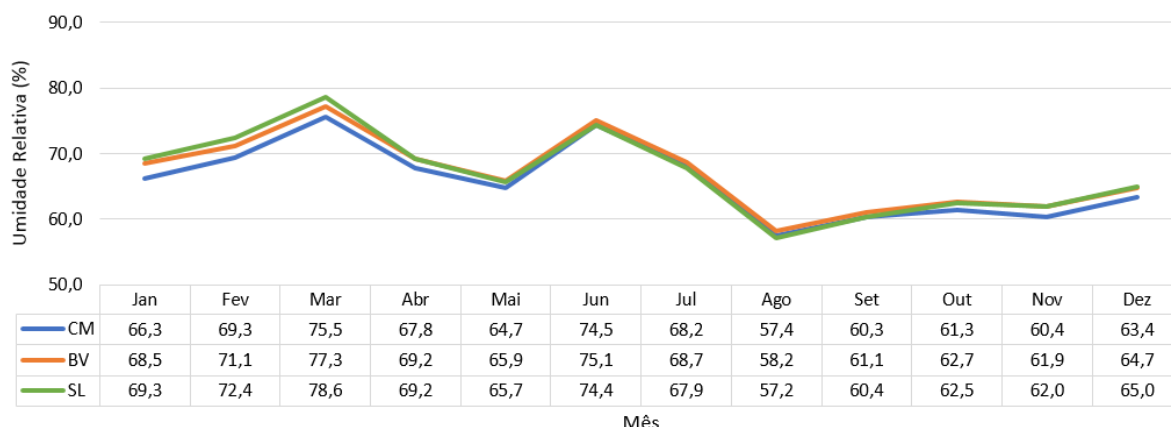
Fonte: autora.

Gráfico 8: MH, Zona 3 com 10 ren/h.



Fonte: autora.

Gráfico 9: MH, Zona 3 com 12 ren/h.



Fonte: autora.

O modelo com fechamento de CM não apresenta umidade relativa do ar de acordo com a recomendação da OMS em nenhuma das taxas de ventilação. Com 5 renovações horárias, nos meses de março e junho, os índices de umidade são superiores ao ideal, com 10 renovações horárias, a umidade relativa do ar aumenta consideravelmente, e nos meses de março a julho fica acima de 75%. Aumentando a taxa de ventilação, a taxa de umidade diminuiu bastante, sendo o acumulado de umidade em março em desacordo com a orientação.

Quando é analisado o sistema de BV, com taxa de 5 renovações, apenas no mês de março a umidade ultrapassa o limite. O mesmo ocorre com 10 renovações horárias de ar, mas, quando a taxa de ventilação é maior, os resultados dos meses entre abril e dezembro ficam mais elevados, ainda assim, dentro do indicado com a exceção de março. Com 12 ren/h, o índice de umidade reduz pouco, sendo os resultados desse modelo com essas variáveis inadequados aos parâmetros da OMS.

Com o SL ocorre o mesmo que com o fechamento de BV, um aumento na umidade interna do sistema com mais renovações de ar, mas dentro dos limites de recomendação, ficando o mês de março com umidade superior a 75% em ambas as taxas de ventilação. No gráfico com 12 ren/h, na maior parte do ano, a umidade relativa do ar diminuiu, mas o mês de março ainda fica acima da orientação da Organização Mundial da Saúde.

Nessa zona, em todos os sistemas de fechamento, é possível observar que os meses com umidade relativa do ar mais elevada são março e junho, enquanto agosto é o mês com menor presença de água no ar.

Os dados de umidade relativa do MV são apresentados a seguir:

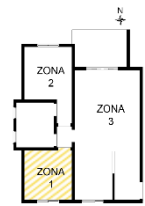
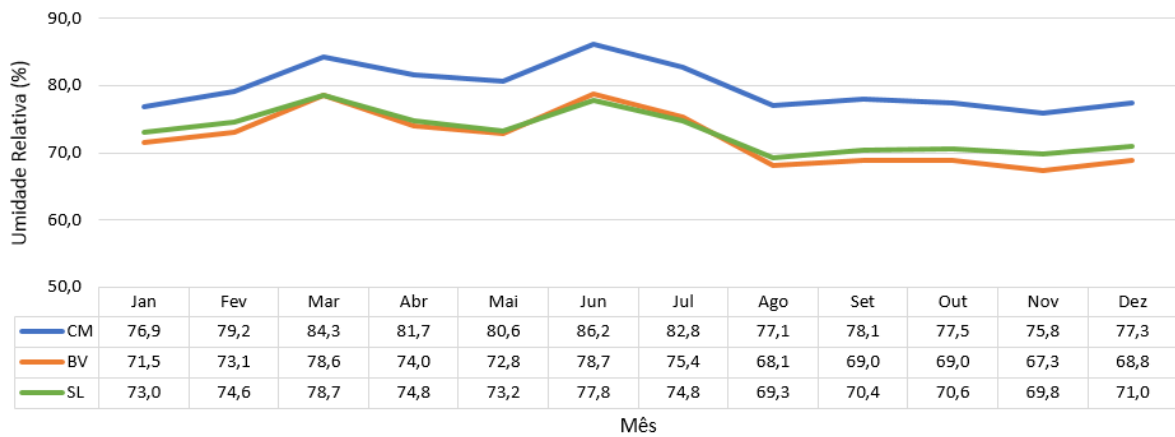
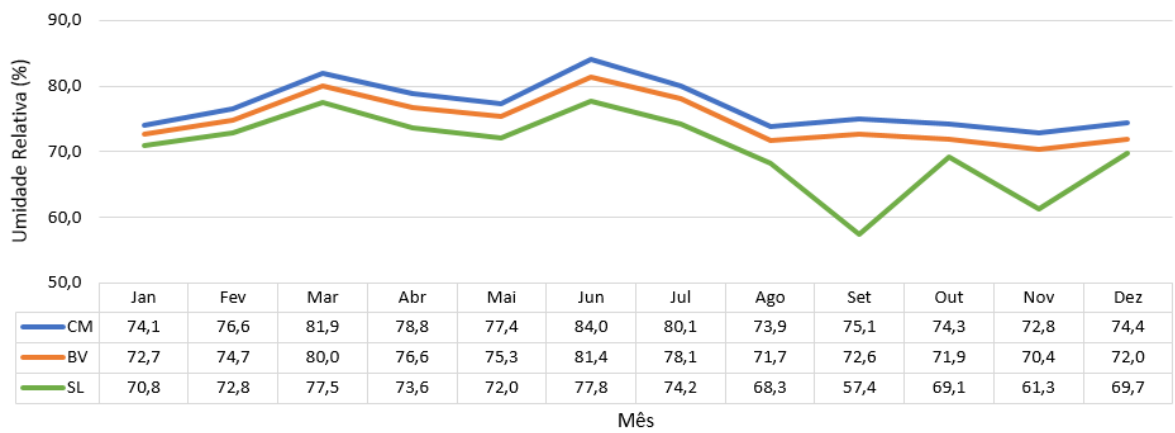


Gráfico 10: MV, Zona 1 com 5 ren/h.



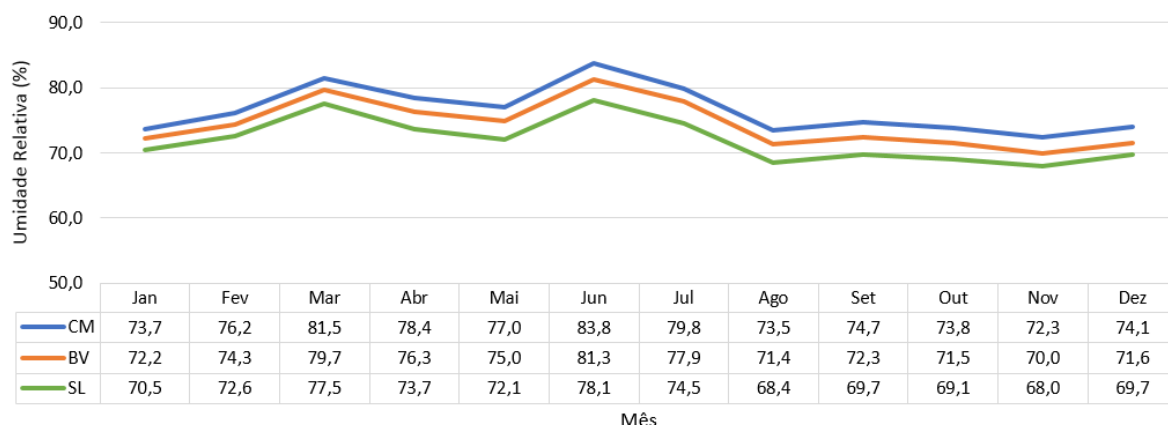
Fonte: autora.

Gráfico 11: MV, Zona 1 com 10 ren/h.



Fonte: autora.

Gráfico 12: MV, Zona 1 com 12 ren/h.



Fonte: autora.

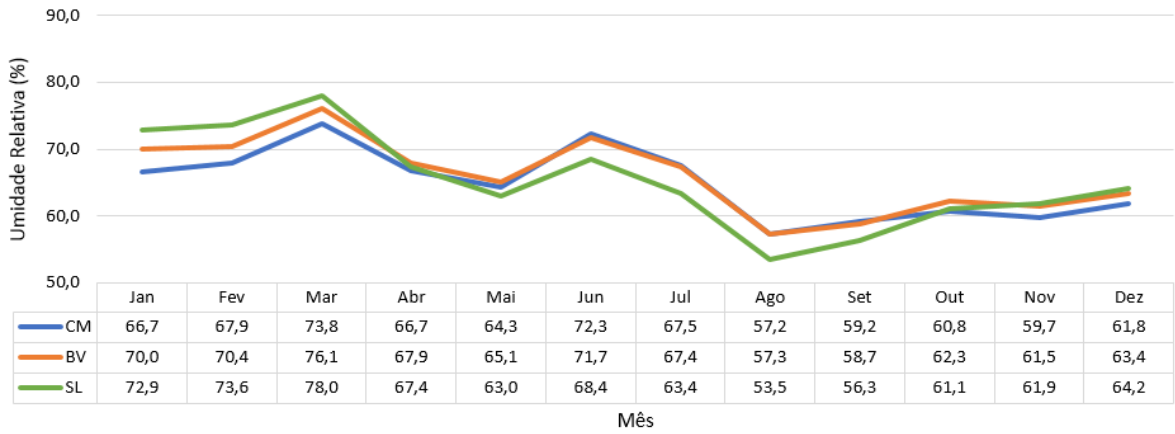
Na Zona 1, com paredes de CM e taxa de 5 renovação de ar, durante todo o ano, a umidade fica acima do recomendado, já com 10 renovações horárias, a umidade fica dentro dos níveis aceitáveis em 5 meses, sendo eles, janeiro, agosto, outubro, novembro e dezembro. Com 12 ren/h ocorre o mesmo do que com 10 ren/h, mas com o acréscimo do mês de setembro, de acordo com o recomendado, o que não identifica a zona como de acordo com o padrão da OMS.

Quando falamos do fechamento com BV com taxa de 5 renovações horárias, o modelo não atende ao recomendado em março, junho e julho. Com taxa de ventilação de 10/h, a umidade aumenta em todos os meses e de março a julho fica acima do ideal. O maior índice de renovação do ar também não atende à indicação da OMS, quando apresenta umidade relativa do ar mais elevada do que com 5 ren/h.

Nos meses de março e junho, os modelos vedados com SL têm índices de umidade do ar acima do recomendado com 5 e 12 renovações de ar horárias. Com 10 ren/h, os mesmos meses indicam níveis superiores, mas, dentre as três taxas de ventilação estudadas, essa é a que apresenta os resultados mais próximos ao ideal.

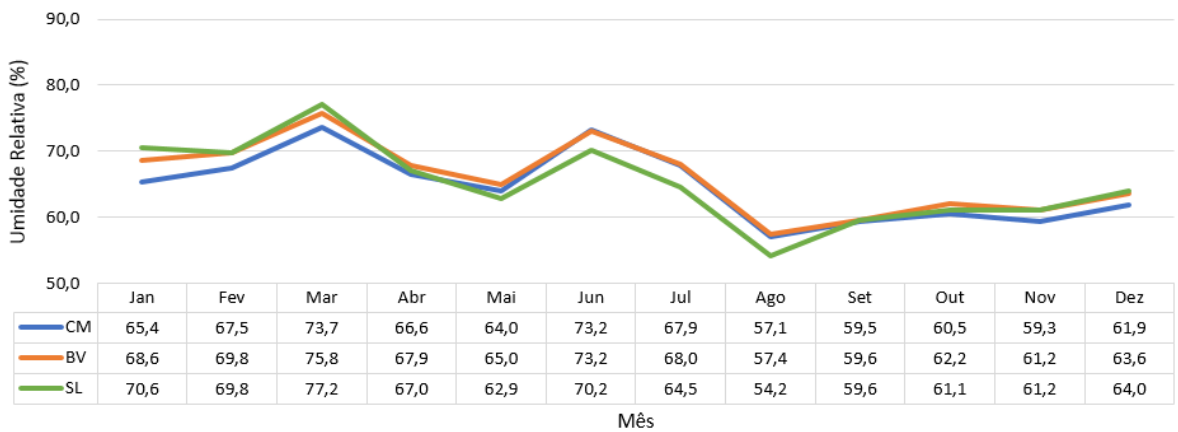


Gráfico 13: MV, Zona 2 com 5 ren/h.



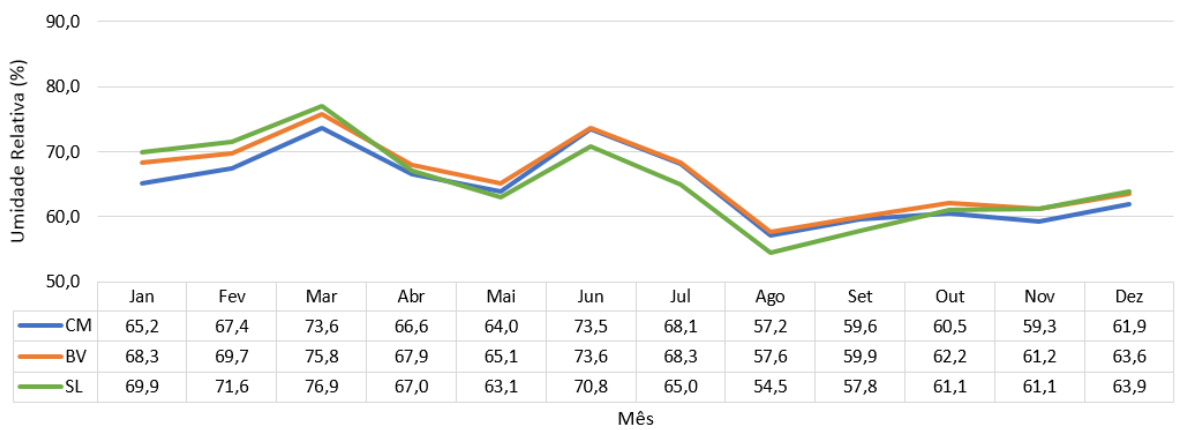
Fonte: autora.

Gráfico 14: MV, Zona 2 com 10 ren/h.



Fonte: autora.

Gráfico 15: MV, Zona 2 com 12 ren/h.



Fonte: autora.

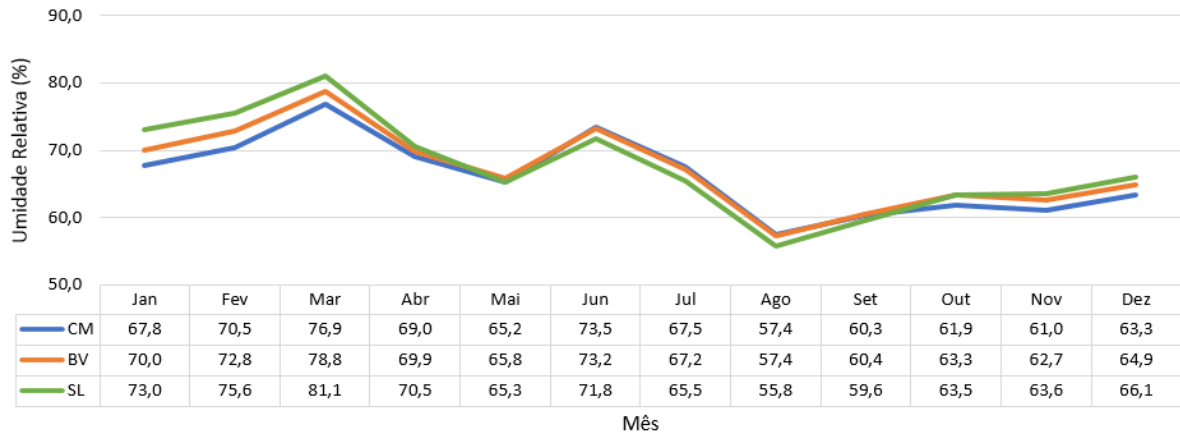
É possível perceber que, no modelo com parede de CM, a umidade relativa interna varia menos em comparação aos outros sistemas. Com 5 ren/h a umidade relativa do ar fica abaixo de 75% durante todo o ano. Com 10 renovações de ar horárias a umidade interna também fica abaixo da indicação da OMS, sendo esse fluxo de ar o que apresenta os melhores resultados quanto a presença de umidade no ar. Com o maior fluxo de renovação de ar, 12 vezes por hora, os índices de umidade se mantem dentro da recomendação. Sendo assim, a Zona 2 no MH com vedação vertical de CM atende a indicação dos níveis de umidade relativa do ar da OMS nas três taxas de ventilação.

O modelo com fechamento de BV tem resultado acima do recomendado no mês de março com 5 renovações horárias, o mesmo ocorre com 10 ren/h, mas, nesse caso, o índice é apenas 0,80% maior do que a indicação da OMS. Os resultados com mais fluxo de ventilação têm um leve aumento do índice de umidade em relação aos com 10 ren/h, porém, assim como esse, apenas o mês de março não fica de acordo.

Nos modelos vedados com SL é observado aumento da taxa de umidade do ar nos meses de inverno com relação aos meses de temperaturas mais amenas ou quentes. Ainda assim, esses meses têm índices de umidade relativa do ar abaixo de 75%, sendo o mês de março o período do ano com umidade acima da indicação, impedindo a classificação de atendimento à indicação pela referência do estudo.

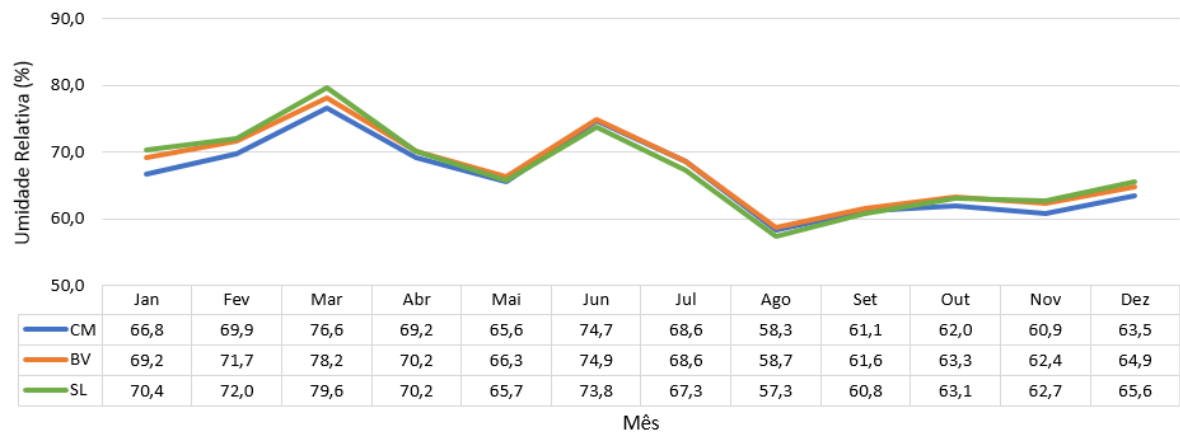


Gráfico 16: MV, Zona 3 com 5 ren/h.



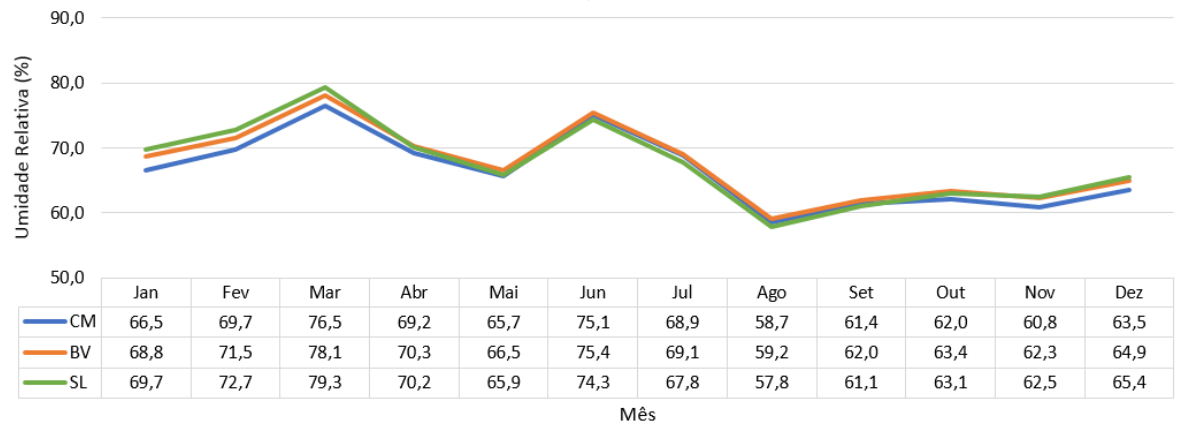
Fonte: autora.

Gráfico 17: MV, Zona 3 com 10 ren/h.



Fonte: autora.

Gráfico 18: MV, Zona 3 com 12 ren/h.



Fonte: autora.

No sistema de vedação de CM, o mês de março apresenta, mais uma vez, os maiores índices de umidade nos três sistemas e nas três taxas de ventilação. Nenhum deles é capaz de se encaixar nas recomendações da OMS, ficando 5 ren/h, 12 ren/h e 10 ren/h ordenados de menor para o maior índice de umidade, respectivamente.

Quando o fechamento é de BV, nos meses de outono e inverno, a umidade do ar aumenta, mas, como ocorre no sistema de CM, mantém os índices de acordo com o recomendado com exceção do mês de março.

O SL é o que apresenta mais variação entre as taxas de ventilação nos primeiros meses do ano, ocorrendo redução da umidade com a taxa de 10 renovações horárias, mas, nas três taxas de ventilação às quais foi exposto no mês de março, ultrapassou 75%.

Portanto, nesse caso, a mudança na taxa de ventilação não teve grande influência sobre a umidade relativa do ambiente interno, já que, durante a maior parte do ano, a umidade se manteve nos níveis recomendados, com exceção de março e junho, meses que têm o índice de umidade do ar acima de 75% em muitos modelos simulados.

A tabela abaixo sintetiza as análises apresentadas anteriormente e expõem quais modelos estão de acordo com a indicação de umidade relativa do ar da OMS, que recomenda que essa não ultrapasse 75%, concentração que favorece a saúde humana e diminui as chances de proliferação de fungos filamentosos, sendo N representante de “não atende” e A de “atende”.

Tabela 10: Comportamento dos sistemas em cada zona do MH.

Comportamento dos sistemas em cada zona do MH									
Zona	Sistema de fechamento vertical								
	Concreto maciço			Bloco de vedação			Sistema leve		
	5/h	10/h	12/h	5/h	10/h	12/h	5/h	10/h	12/h
1	N	N	N	A	N	N	N	N	N
2	A	N	N	N	N	N	N	N	N
3	N	N	N	N	N	N	N	N	N

Fonte: autora.

Tabela 11: Comportamento dos sistemas em cada zona do MV.

Comportamento dos sistemas em cada zona do MV									
Zona	Sistema de fechamento vertical								
	Concreto maciço			Bloco de vedação			Sistema leve		
	5/h	10/h	12/h	5/h	10/h	12/h	5/h	10/h	12/h
1	N	N	N	N	N	N	N	N	N
2	A	A	A	N	N	N	N	N	N
3	N	N	N	N	N	N	N	N	N

Fonte: autora.

No MH existem duas zonas com umidade relativa do ar abaixo de 75%, de acordo com as simulações computacionais, sendo a Zona 2 com vedação vertical de CM e 5 ren/h e a Zona 1 com vedação vertical de BV e 5 ren/h. As demais taxas de renovação do ar nessas zonas apresentam índices de umidade superiores e não atendem a recomendação da OMS. A Zona 2 vedada com CM no MV tem índices de umidade de acordo com a recomendação nas três taxas de ventilação.

Os modelos computacionais identificados na tabela pelo N cinza referem-se àqueles em que só o mês de março tem umidade relativa acima da indicação da OMS. Frente a isso, se reforça a ideia de que o março é o mês com maiores índices de umidade relativa do ar, sendo o mês mais crítico em todos os modelos para o contexto climático adotado neste trabalho. Por isso, associar sistemas de ventilação mecânica à ventilação natural pode ser uma solução de projeto.

Com vedação vertical de CM, no MH, apenas a Zona 3 com 12 ren/h tem umidade elevada em março e nos demais meses atende a recomendação.

Dentre aqueles vedados com BV, no MH, a Zona 2 só não atendem a recomendação de umidade relativa do ar no mês de março com 5 e 10 ren/h, enquanto no MV o modelo com 12 ren/h também tem umidade elevada apenas em março. Na zona 3, tanto no MH quanto no MV, o mês de março é o único que tem umidade superior a 75%.

Nos modelos vedados com SL, tanto no MH quanto no MV, a Zona 2 e 3 só não atendem a indicação de umidade relativa do ar da OMS devido ao mês de março nas três taxas de ventilação. A zona 1, no MH, tem índice superior apenas em um mês com 5 e 10 ren/h, mas no MV são as três taxas de ventilação que, em

função de um mês, não se encaixam na recomendação de umidade relativa do ar máxima.

Diante disso, pode-se dizer que o SL é o fechamento de vedação vertical que pode atender a recomendação de umidade relativa do ar máxima com maior facilidade entre os sistemas estudados, mas, na situação simulada e com as variantes consideradas, não ficou dentro do esperado.

Através das tabelas e dos resultados apresentados por elas, também é possível identificar se a posição solar do modelo altera os índices de umidade nas zonas, oferecendo melhora ou piora dos índices de umidade relativa do ar. Existem diferenças nos resultados das zonas de um modelo para o outro.

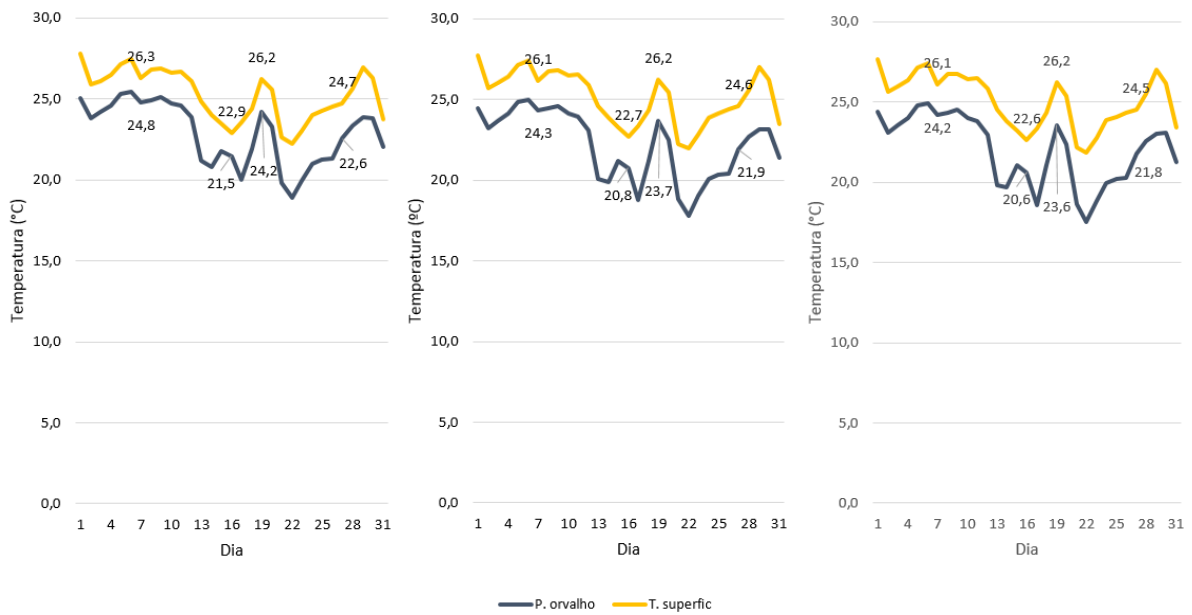
A Zona 1 com vedação vertical de CM e 5 renovações de ar horárias está de acordo com a recomendação de umidade máxima no MH e no vertical esse índice é mais elevado, não atendendo a indicação nesse caso. No caso desse sistema no MH, tem abertura orientada à Leste, já no modelo vertical, a janela fica à Sul. Como apresentado na Figura 10 desse trabalho, os ventos dominantes em Santa Maria, cidade de estudo, tem origem de Leste, o que justifica essa Zona ter resultados positivos no MH e não no MV.

4.2 OCORRÊNCIA DE CONDENSAÇÃO

Para examinar as chances de condensação no interior dos modelos, foram elaborados gráficos que apresentam a temperatura das superfícies das paredes e a temperatura do ponto de orvalho em cada ambiente. Nesses, são identificados quais SVV têm maior chance de apresentarem fungos filamentosos.

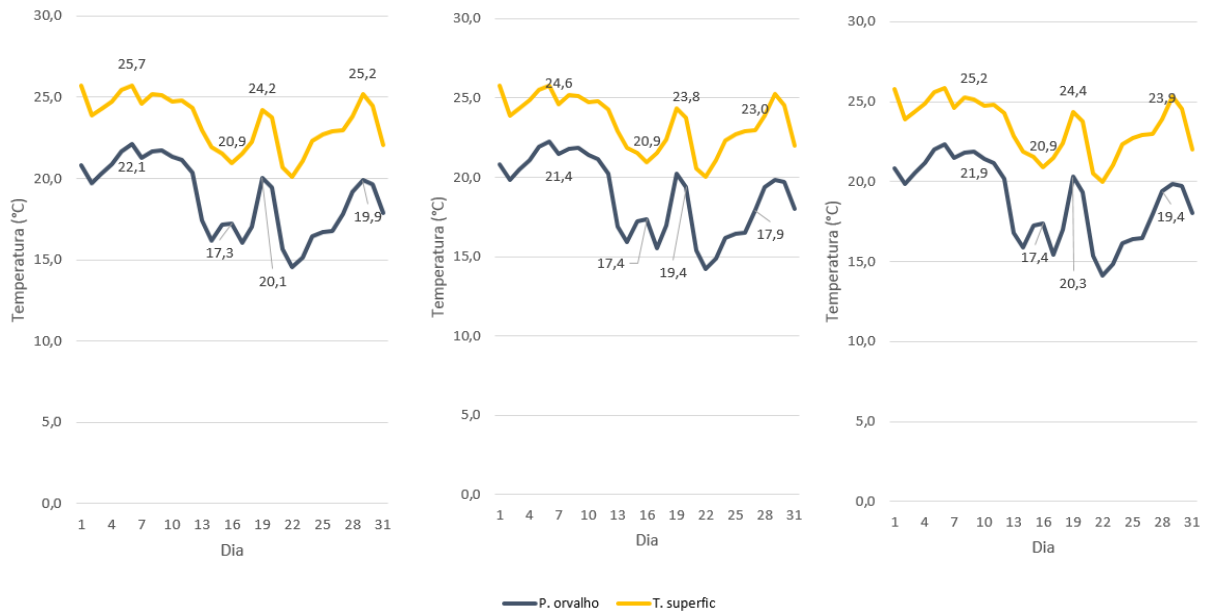
Para identificar se realmente ocorre condensação no interior dos modelos de simulação foram elaborados gráficos comparativos entre a temperatura das superfícies e temperatura do ponto de orvalho no interior, no mês de março, mês que registra os maiores índices de umidade nos modelos.

Figura 20: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z1 no mês de MARÇO, MH de CM: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h



Fonte: autora.

Figura 21: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z2 no mês de MARÇO, MH de CM: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h



Fonte: autora.

Figura 22: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z3 no mês de MARÇO, MH de CM: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h



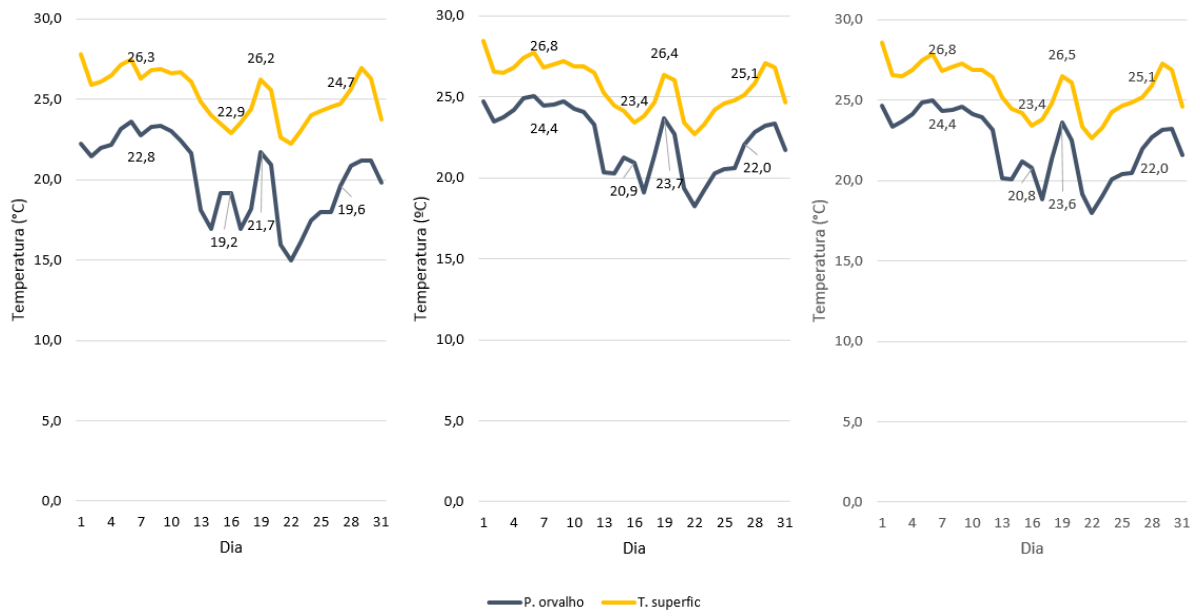
Fonte: autora.

O modelo de simulação com vedação vertical de CM no MH não apresenta condensação, de acordo com a temperatura da superfície nas zonas e com a temperatura do ponto de orvalho. Os dados têm pequena diferença entre as três taxas de ventilação.

É possível observar que a Zona 1 é a que tem a temperatura das superfícies e do ponto de orvalho mais próximas, sendo a zona com maior chance de condensação com esse material. As zonas 2 e 3 têm maior variação das temperaturas pela metade do mês.

De acordo com a umidade relativa e as temperaturas apresentadas nessa zona, apesar de não ocorrer condensação, alguns tipos de fungos filamentosos podem se desenvolver conforme indicado na tabela 4.

Figura 23: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z1 no mês de MARÇO, MH de BV: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h



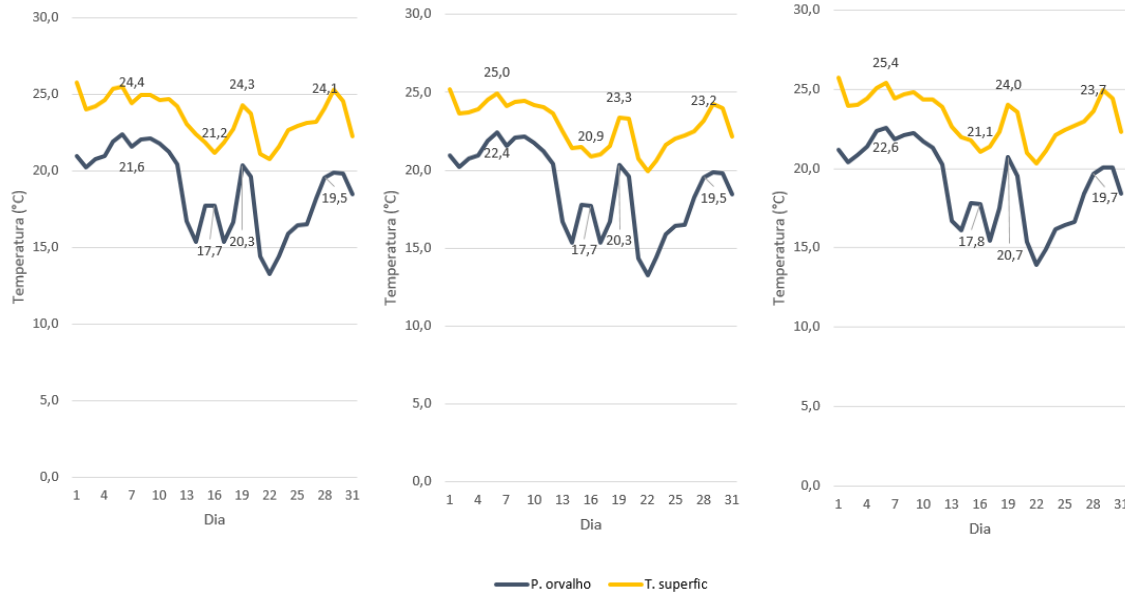
Fonte: autora.

Figura 24: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z2 no mês de MARÇO, MH de BV: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h



Fonte: autora.

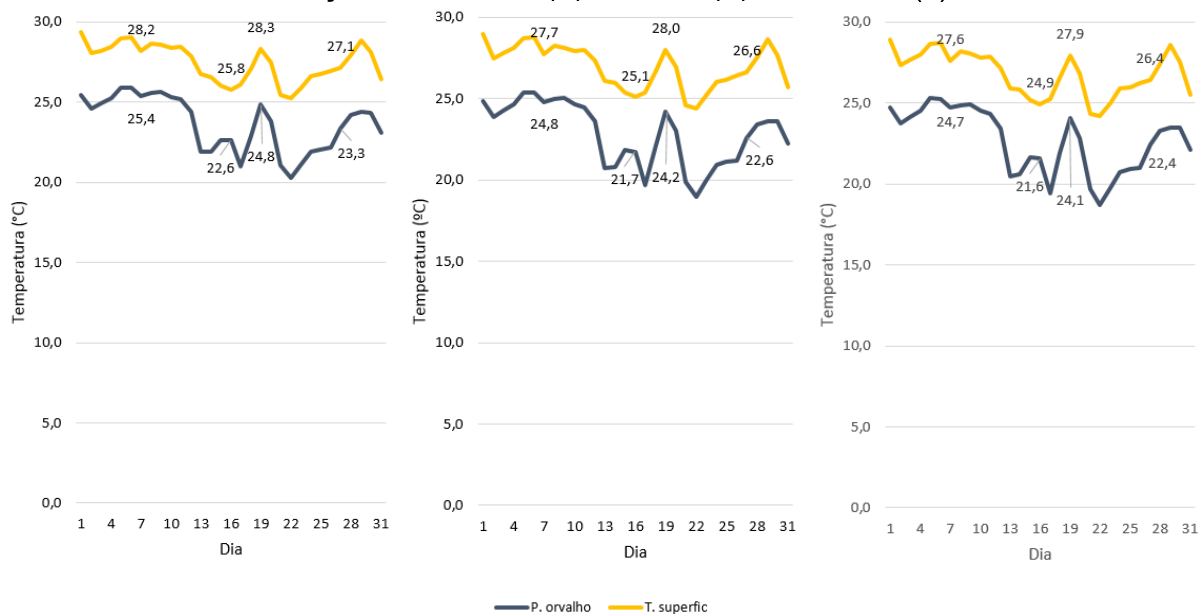
Figura 25: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z3 no mês de MARÇO, MH de BV: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h



Fonte: autora.

No modelo com fechamento de BV na Zona 1, diferente da mesma zona fechada com CM, o ensaio com 5 renovações de ar por hora não é o com maiores condições ao aparecimento de fungos filamentosos, sendo, nesse caso, o modelo com 10 ren/h. A Zona 2 apresenta pouca diferença entre as temperaturas com as três taxas de ventilação, não indicando ocorrência de condensação. Na zona 3, ocorre o mesmo.

Figura 26: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z1 no mês de MARÇO, MH de SL: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h



Fonte: autora.

Figura 27: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z2 no mês de MARÇO, MH de SL: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h



Fonte: autora.

Figura 28: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z3 no mês de MARÇO, MH de SL: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h



Fonte: autora.

Nos gráficos com SL como vedação da edificação, percebe-se que os modelos com menos fluxo de ventilação têm as linhas de temperatura da superfície e do ponto de orvalho mais próximas do que nos demais fluxos de ar. Em nenhuma

situação simulada, é indicada a ocorrência de condensação, e as diferenças entre os resultados em cada taxa de ventilação são poucas, do mesmo modo como nos outros sistemas de fechamento.

A mesma comparação é feita no MV:

Figura 29: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z1 no mês de MARÇO, MV de CM: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h



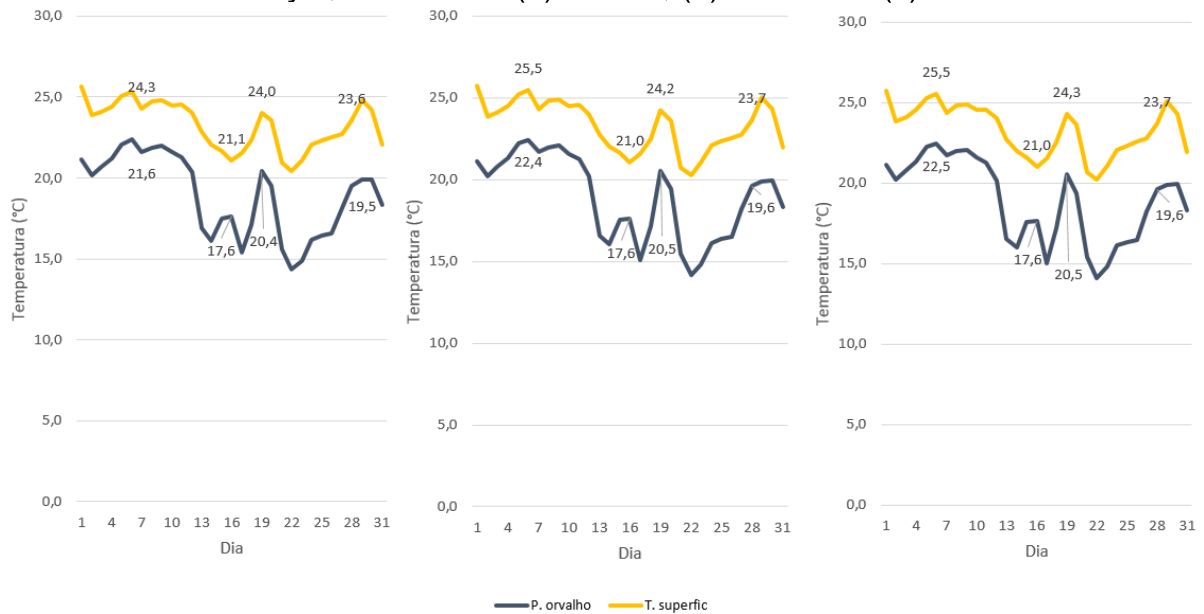
Fonte: autora.

Figura 30: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z2 no mês de MARÇO, MV de CM: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h



Fonte: autora.

Figura 31: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z3 no mês de MARÇO, MV de CM: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h



Fonte: autora.

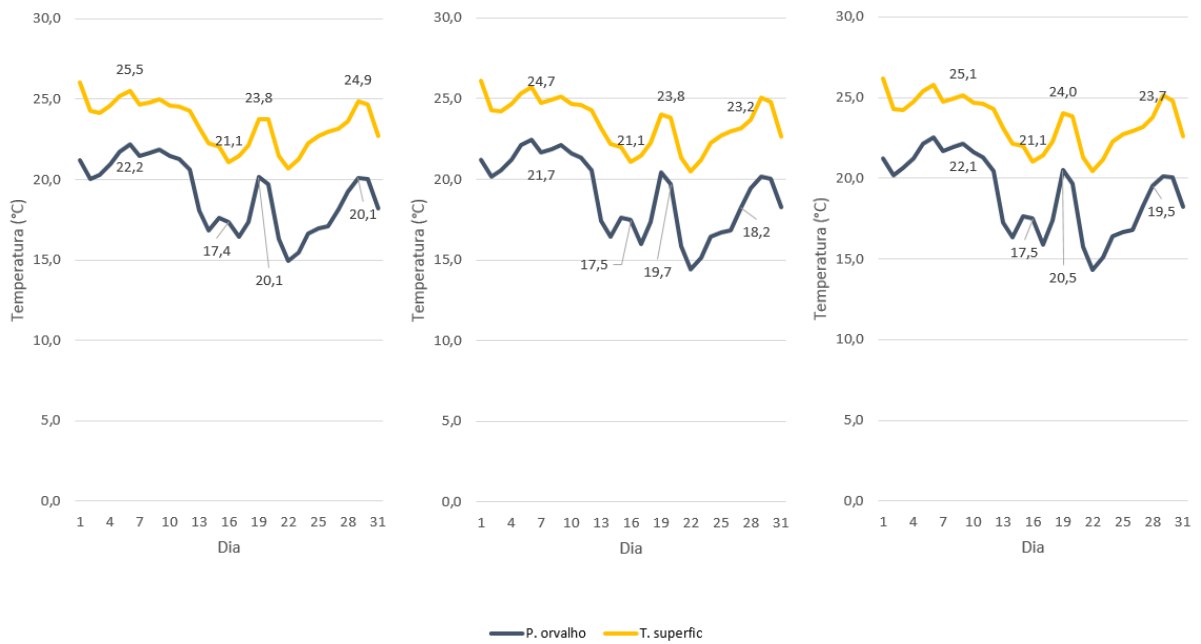
As zonas do modelo, vedadas verticalmente com CM, têm pouca diferença entre as três taxas de ventilação, quanto à temperatura das superfícies e a temperatura do ponto de orvalho. A Zona 1 é a que apresenta as duas variáveis com maior aproximação dos valores, principalmente com 5 ren/h. Não existe indicação de condensação nas zonas com esse material.

Figura 32: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z1 no mês de MARÇO, MV de BV: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h



Fonte: autora.

Figura 33: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z2 no mês de MARÇO, MV de BV: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h



Fonte: autora.

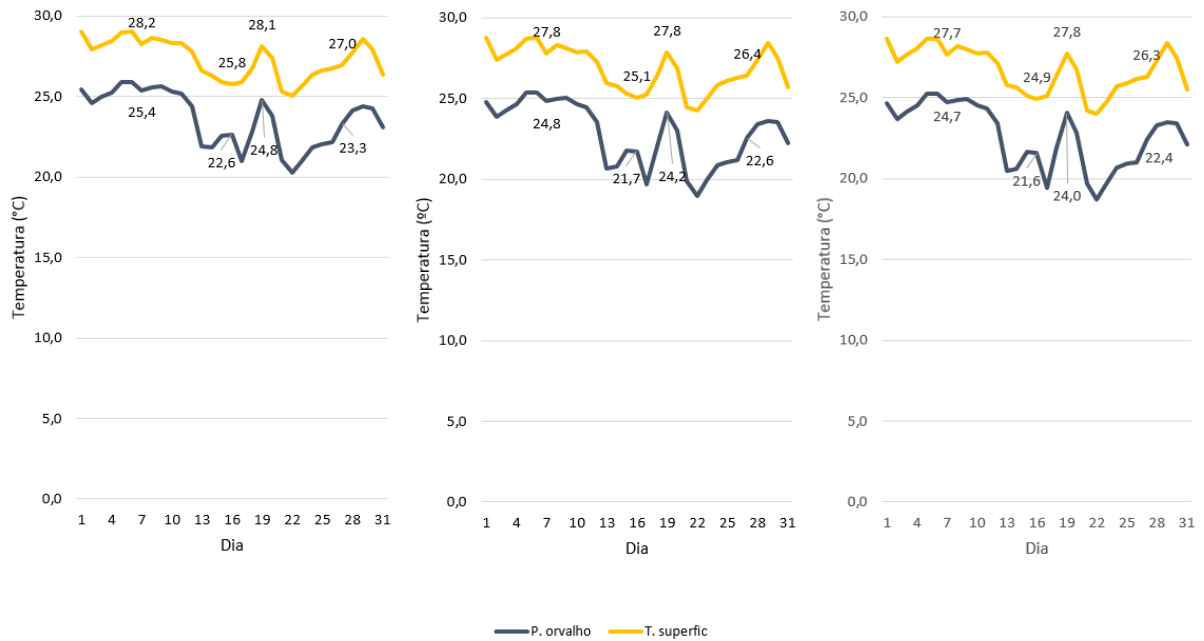
Figura 34: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z3 no mês de MARÇO, MV de BV: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h



Fonte: autora.

Com BV, os modelos não apresentam condensação, e os resultados são muito parecidos nas três taxas de renovação de ar.

Figura 35: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z1 no mês de MARÇO, MV de SL: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h



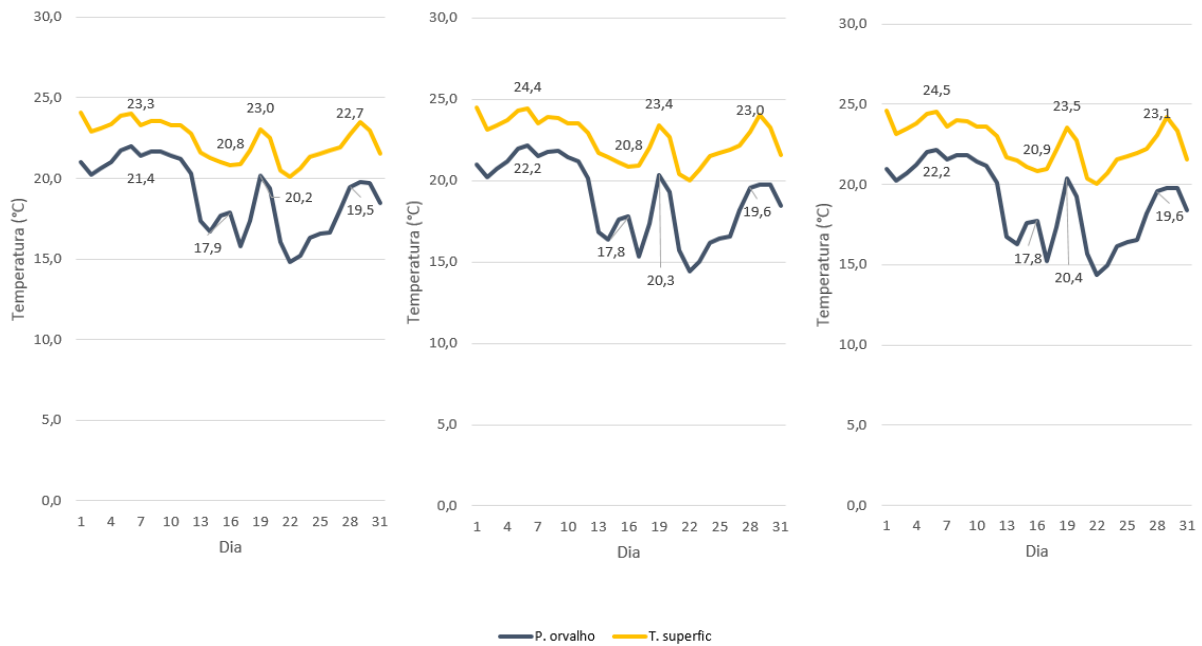
Fonte: autora.

Figura 36: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z2 no mês de MARÇO, MV de SL: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h



Fonte: autora.

Figura 37: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z3 no mês de MARÇO, MV de SL: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h



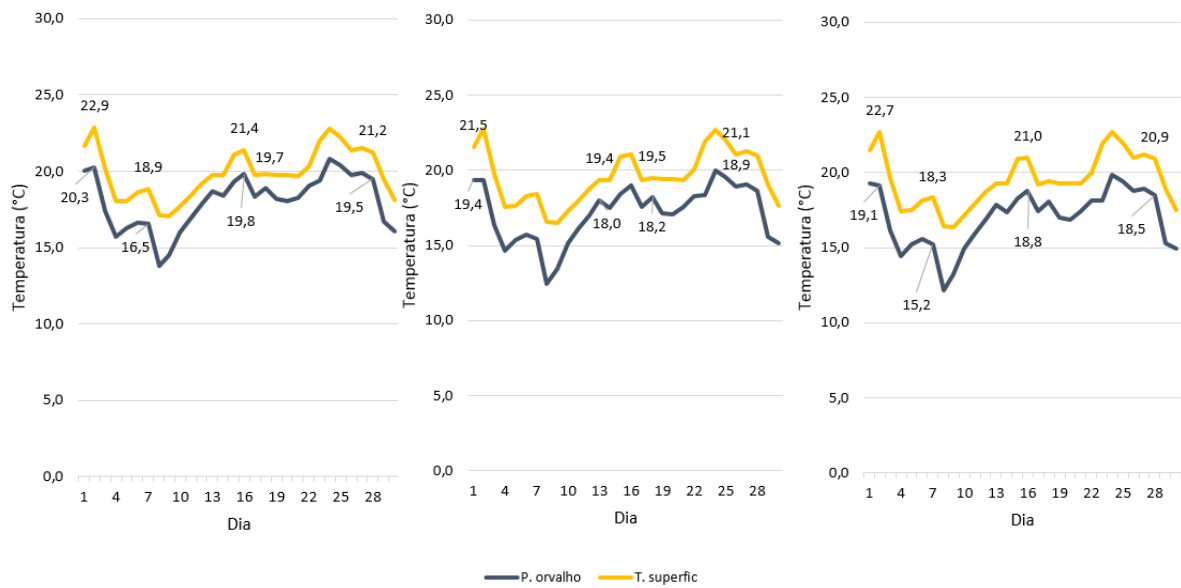
Fonte: autora.

Nenhuma zona apresenta condições para a ocorrência de condensação, e é perceptível um aumento da temperatura do ponto de orvalho na Zona 3 em comparação à Zona 2.

Numa análise geral quanto ao comportamento das temperaturas, a Zona 1 tem as duas variantes acima da média das demais zonas, ficando próximo de 30°C, enquanto as demais têm resultados abaixo de 25°C e outros que ultrapassam essa marca em 2° ou 3°C.

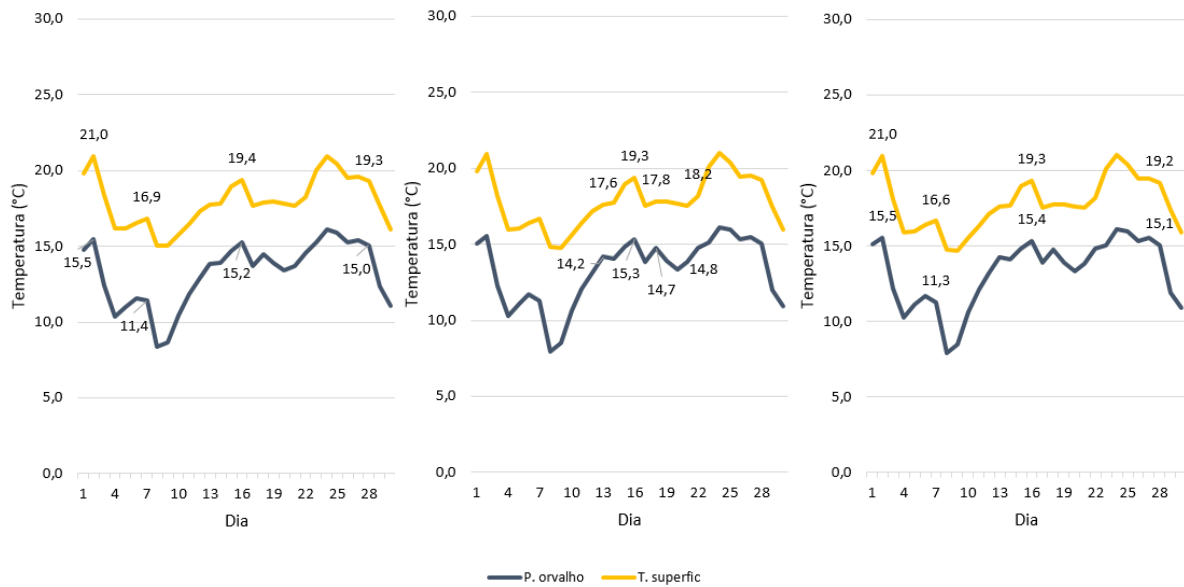
Os gráficos de março não apresentam nenhum caso de condensação quando analisadas as temperaturas das superfícies e do ponto de orvalho, mas, conforme a umidade apresentada no interior das edificações nesse mês, de acordo com os gráficos do capítulo 4.1, a umidade relativa do ar permite o desenvolvimento de algumas espécies de fungos filamentosos. Em busca de investigar se o fenômeno da condensação pode ocorrer em outro período no ano nos modelos estudados, abaixo são apresentados os gráficos comparativos de temperaturas no mês de junho, segundo mês com maior índice de umidade e no período de inverno.

Figura 38: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z1 no mês de JUNHO, MH de CM: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h



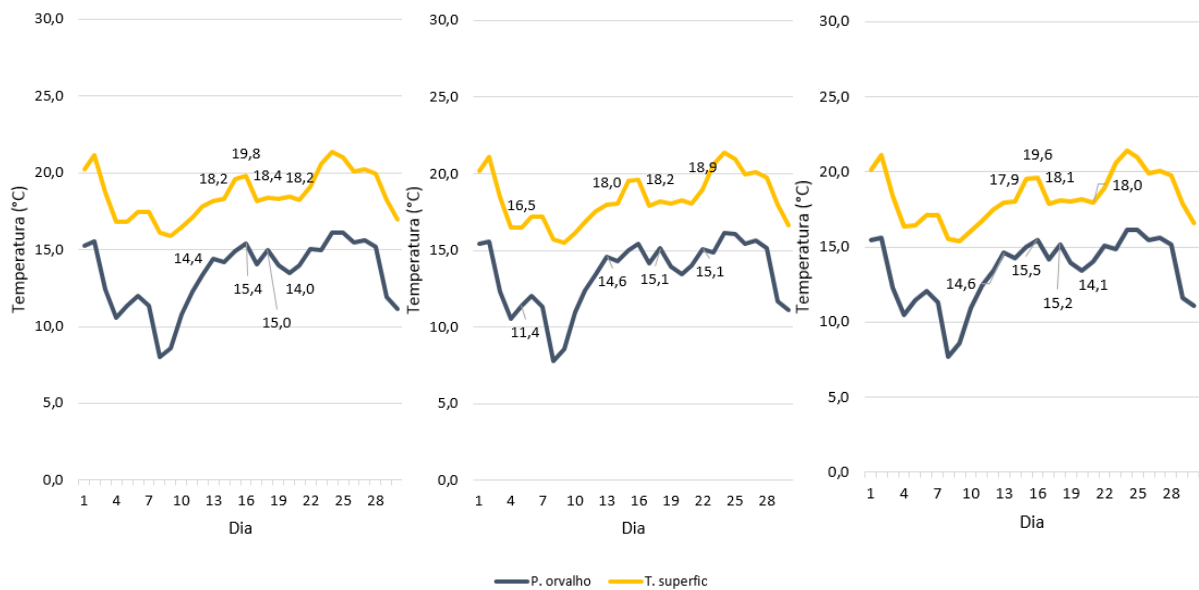
Fonte: autora.

Figura 39: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z2 no mês de JUNHO, MH de CM: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h



Fonte: autora.

Figura 40: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z3 no mês de JUNHO, MH de CM: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h



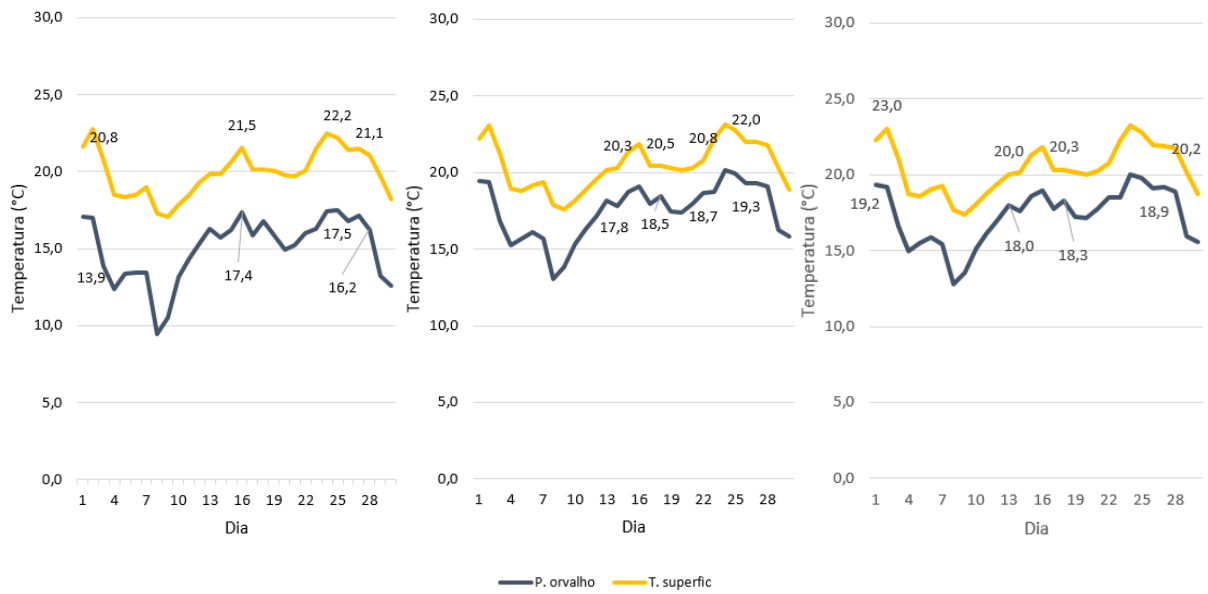
Fonte: autora.

O sistema de fechamento vertical de CM não apresenta situações em que a temperatura da superfície é menor do que a do ponto de orvalho, mas, na metade do mês, é comum a aproximação das linhas das variáveis dos gráficos.

Na Zona 1, as variáveis se apresentam de formas similares com 5 e 12 renovações horárias. Com esse material de fechamento, essa é a zona com maiores chances de condensação, e considerando que existem fungos filamentosos capazes de se reproduzir sobre condições de umidade abaixo de 75%, como as variáveis têm pouca diferença entre seus resultados, seria possível a aparecimento dos mesmos.

As demais zonas do modelo têm maior diferença entre a temperatura de suas superfícies e a do ponto de orvalho, o que diminui as chances de fungos filamentosos, mas algumas espécies ainda podem surgir.

Figura 41: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z1 no mês de JUNHO, MH de BV: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h



Fonte: autora.

Figura 42: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z2 no mês de JUNHO, MH de BV: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h



Fonte: autora.

Figura 43: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z3 no mês de JUNHO, MH de BV: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h



Fonte: autora.

Com o fechamento de BV não ocorre condensação conforme os dados apresentados de temperatura da superfície e temperatura do ponto de orvalho, mas a Zona 1, com 10 ren/h, é o sistema que apresenta maior aproximação entre os dados na maior parte dos dias do mês de junho, o que caracteriza o modelo como aquele com maior probabilidade de condensação dentro desse sistema de construção.

Figura 44: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z1 no mês de JUNHO, MH de SL: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h



Fonte: autora.

Figura 45: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z2 no mês de JUNHO, MH de SL: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h



Fonte: autora.

Figura 46: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z3 no mês de JUNHO, MH de SL: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h.



Fonte: autora.

No SL, não existe situação em que as variáveis indicam condensação, mas a Zona 1 se apresenta como a mais propensa. A partir do dia 15 do mês em análise, ocorre uma aproximação entre as duas variáveis em todas as situações.

A Zona 2 e a Zona 3 têm maior diferença entre a temperatura de superfície e temperatura do ponto de orvalho, o que descarta a condensação nesse período.

Com o modelo nessa orientação solar, Leste e Sul, podemos concluir que a Zona 1 é a mais propensa à condensação e ao surgimento de fungos filamentosos causadores de alergias e problemas respiratórios.

A mesma comparação é possível a ser feita no MV:

Figura 47: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z1 no mês de JUNHO, MV de CM: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h.



Fonte: autora.

Figura 48: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z2 no mês de JUNHO, MV de CM: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h.



Fonte: autora.

Figura 49: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z3 no mês de JUNHO, MV de CM: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h.



Fonte: autora.

Os resultados dos ensaios com fechamento vertical de CM não apresentam situação propensa ao surgimento de fungos filamentosos, mas a Zona 1 é a que tem a menor diferença entre as variáveis analisadas. Nos três fluxos de ventilação considerados, a diferença entre a temperatura da superfície e a temperatura do ponto de orvalho varia entre 1,2 e 1,8% em vários dias, sendo uma diferença que pode indicar chances da ocorrência de condensação no ambiente.

Na Zona 2 e na Zona 3 é possível observar que não existe grande diferença entre os resultados da taxa de 10 ren/h e de 12 ren/h, mas apresentam maior chance de condensação, respectivamente.

Figura 50: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z1 no mês de JUNHO, MV de BV: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h.



Fonte: autora.

Figura 51: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z2 no mês de JUNHO, MV de BV: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h.



Fonte: autora.

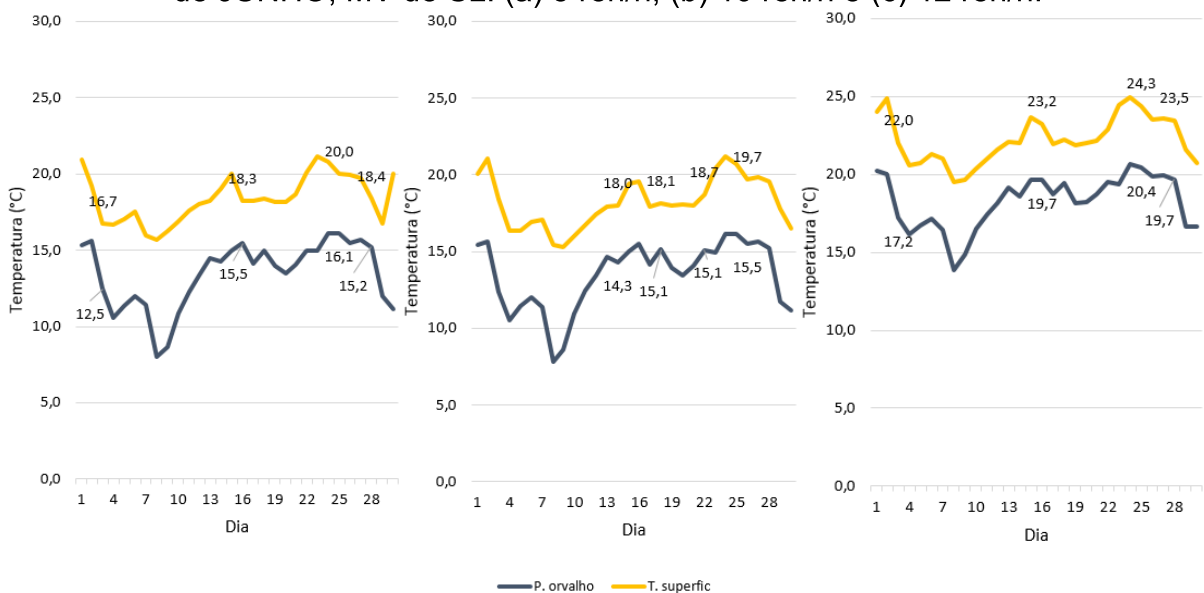
Figura 52: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z3 no mês de JUNHO, MV de BV: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h.



Fonte: autora.

Nesse caso, a Zona 1 tem menor diferença entre os resultados das variáveis, mas os gráficos com taxa de 12 renovações de ar por hora chamam atenção. Nas três zonas, esse modelo é o que apresenta maior aproximação entre a temperatura das superfícies e do ponto de orvalho.

Figura 53: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z1 no mês de JUNHO, MV de SL: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h.



Fonte: autora.

Figura 54: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z2 no mês de JUNHO, MV de SL: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h.



Figura 55: Temperatura das superfícies e do ponto de condensação na Z3 no mês de JUNHO, MV de SL: (a) 5 ren/h, (b) 10 ren/h e (c) 12 ren/h.



Os modelos com SL não têm situação propensa à ocorrência de condensação. Na Zona 1, o modelo com 10 ren/h tem menor chance do aparecimento de fungos filamentosos; e o com 12 ren/h tem as temperaturas elevadas em relação às demais taxas de ventilação.

A partir dos gráficos comparativos de temperatura das superfícies e do ponto de orvalho, é possível perceber que o mês de março tem menores chances de condensação do que junho, apesar de ter umidade relativa do ar mais elevada. Em março, podemos destacar a Figura 20 (a) que se refere à Zona 1 do MH com fechamento vertical de CM, e com taxa de 5 renovações de ar é o gráfico com maiores chances de condensação no interior do modelo. Já, em junho, são 4 modelos que se destacam pelas chances da ocorrência de condensação.

No MH, são dois modelos no mês de junho, sendo eles a Figura 38 (a) (b) (c), (Z1, CM, 5, 10 e 12 ren/h) que tem 1,4°C de diferença entre as duas variáveis no dia mais crítico, e a Figura 41 (b) (c), (Z1, BV, 10 ren/h), com diferença de 2°C entre as variáveis.

No MV, os dois modelos computacionais que podem indicar risco de condensação são a Figura 47 (a) (b) (c) (Z1, CM, 5, 10 e 12 ren/h) com diferença de 1°C entre as variáveis e a Figura 49 (c) (Z1, BV, 12 ren/h) com diferença de 1,8°C.

Com esta análise é possível identificar que, apesar de a umidade ficar acima do recomendado pela OMS, não significa que vai ocorrer condensação já que ela é influenciada por outros fatores, como temperatura. Ainda assim, existem espécies de fungos filamentosos capazes de se desenvolver em condições de menos umidade ou em menor quantidade, por isso, é necessária atenção aos casos em que essas variáveis apresentam resultados próximos, podendo identificar “pontos fracos” no sistema escolhido.

A partir da observação dos resultados dos gráficos e da diferença entre a temperatura das superfícies e do ponto de orvalho nas Zonas, pode-se dizer que o sistema de vedação vertical com maiores chances de desenvolvimento de bolores é o Concreto Maciço, e a taxa de 5 renovações de ar horárias. Por outro lado, o Sistema Leve é o sistema de vedação com menores chances de ocorrer mofo e fungos filamentosos.

A transmitância térmica dos materiais pode ter relação com esses resultados. A parede de vedação de CM tem $U= 4,30$, a de BV $U= 2,55$ e a SL $U=0,64$. A partir desses dados, é possível dizer que devido ao calor transmitido através do CM esse sistema de vedação seja o que apresenta as maiores variações de temperatura e umidade, e da mesma forma, o SL o que tem menores chances de desenvolvimento de fungos filamentosos.

5 CONCLUSÃO

Foram realizadas 54 simulações computacionais que avaliaram as zonas dos modelos quanto a sua posição solar, as três taxas de ventilação às quais foram expostos e os três sistemas de vedação vertical, todos combinados que resultaram na possibilidade de avaliação sobre a influência da taxa de ventilação, da incidência solar e do isolamento térmico dos materiais.

Quanto ao sistema de vedação vertical com as menores chances de condensação, apesar do CM na Zona 2 do MV ser o único material que apresenta índices de umidade dentro do indicado nas três taxas de ventilação de uma zona, o Sistema Leve é o que tem melhores resultados e consegue, com maior facilidade, ter índices de umidade abaixo de 75% durante todo o ano, já que tem maior número de simulações onde o único mês em que apresenta umidade relativa do ar acima de 75% é março, sendo portanto, o sistema de vedação com menores chances de apresentar condensação. A associação de outros métodos para diminuir a concentração de umidade nos ambientes no mês de março, como por exemplo, um sistema mecânico de ventilação, pode se fazer necessário em março.

As três taxas de ventilação estudadas não permitiram conclusão sobre a porcentagem de renovação ideal. Era esperado que quanto maior o índice de renovação do ar, menos umidade existiria no ambiente, mas foi observado que, com 5 e 12 renovações de ar por hora se apresentam os maiores índices de umidade, sendo 10 ren/h a medida que melhor se adaptou às simulações realizadas. Vale ressaltar que o objetivo deste estudo é avaliar o efeito da ventilação natural sobre a umidade nos ambientes, sendo necessários mais estudos para identificar o índice que melhor se adapta à renovação do ar quando se busca a redução de contaminantes.

A zona 3 foi a que apresentou os menores índices de umidade, o que pode ter relação, principalmente, com a distribuição do ar no ambiente e a qualidade da renovação do ar que ocorre nesse ambiente, já que é a única zona, dentre as analisadas, que possui ventilação cruzada.

Quanto a posição solar foi observada mudança nos resultados da Zona 1 com 5 ren/h entre o MH e o MV. Essa diferença pode ser associada a incidência dos ventos dominantes, que são perpendiculares à esquadria do ambiente no MH, no qual o ambiente tem umidade de acordo com a recomendação da OMS, e não

necessariamente influenciados pela incidência do sol. Assim, a partir das análises feitas nesse trabalho não é possível afirmar se existe diminuição dos índices de umidade em função da posição solar.

Diante do exposto, é possível verificar que a umidade no interior das edificações sofre variações de acordo com diversos fatores e nesse trabalho, frente as três variáveis observadas: sistema de vedação vertical, taxa de ventilação e orientação solar, é possível dizer que o material de vedação da edificação tem grande influência sobre as trocas térmicas, da mesma maneira que a ventilação tem forte influência sobre as trocas do meio interno e externo que influenciam na umidade interna, sendo portanto, fatores relevantes na determinação de conforto higrotérmico.

6 REFERÊNCIAS

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, Instituto de Pesquisas Tecnológicas – São Paulo, 2018. Disponível em: <http://cassiopea.ipt.br/teses/2018_HAB_Thiago_Afonso.pdf> . Acesso em: 09/2019.

ALVARES, Clayton A.; STAPE, José L.; SENTELHAS, Paulo C.; GOLÇALVES, José Leonardo de M.; SPAROVEK, Gerd. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, 2014. Disponível em: <http://www.lerf.eco.br/img/publicacoes/Alvares_etal_2014.pdf> . Acesso em: 03/2020.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). **Standard 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Atlanta: 2004. Disponível em: <http://www.ditar.cl/archivos/Normas_ASHRAE/T0080ASHRAE-55-2004-ThermalEnviromCondiHO.pdf> . Acesso em: 03/2020.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). **Psychrometric Chart**. Disponível em: <<https://www.ashrae.org/File%20Library/Technical%20Resources/Bookstore/UP3/SI-1.pdf>> . Acesso em: 05/2020.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). **Standart 62.1-2010: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality**. Atlanta: 2010, 45p. .Disponível em: < http://arco-hvac.ir/wp-content/uploads/2016/04/ASHRAE-62_1-2010.pdf > . Acesso em: 01/2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15220-1: Desempenho térmico de edificações, parte 1: definições, símbolos e unidades**. Rio de Janeiro: 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15220-3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro, 2005.

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

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

BHAGAT, R. K.; LINDEN, P.F. Displacement ventilation: a viable ventilation strategy for makeshift hospitals and public buildings to contain COVID-19 and other airborne diseases. **Royal Society Open Science**, v. 7, 2020. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1098/rsos.200680>>. Acesso em: 03/2021.

BISOLO, Giovani. **Análise do Desempenho Térmico em Edifícios Residenciais: estudo comparativo entre métodos de avaliação para a zona Bioclimática 2**. Dissertação de Mestrado, Universidade do Vale do Rio dos Sinos - RS, 2018. Disponível em: <http://www.repositorio.jesuita.org.br/bitstream/handle/UNISINOS/7426/Giovani%20Bisolo_.pdf?sequence=1&isAllowed=y> . Acesso em: 03/2020.

BOGO, Amilcar; PIETROBON, Claudio E; BARBOSA, Mirian Jeronimo; GOULART, Solange; PITTA, Telma; LAMBERTS, Roberto. **Bioclimatologia aplicada ao projeto de edificações visando o conforto térmico**. Relatório Interno – Núcleo de Pesquisa em Construção, Universidade Federal de Santa Catarina, 1994. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios_pesquisa/RP_Bioclimatologia.pdf> . Acesso em: 05/2020.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. BS 5250:2011+A1:2016. **Code of practice for control of condensation in buildings**. BSI Standards Publication, 2011. Disponível em: <<https://isolergrund.uk/wp-content/uploads/2020/06/BS-5250-2011-A1-2016e.pdf>> . Acesso: 05/2021.

BRITO, Adriana Camargo de. **Contribuição da inércia térmica na eficiência energética de edifícios de escritórios na cidade de São Paulo**. Tese Doutorado - Departamento de Engenharia Mecânica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3150/tde-13062016-102613/publico/AdrianaCamargodeBrito2015.pdf>>. Acesso em: 04/2020.

BROWN, G.Z.; DEKAY, Mark. **Sol, Vento e Luz: Estratégias para o Projeto de Arquitetura**. 2ª. ed. Porto Alegre: Bookman, p. 411, 2007.

BUDAIWI, I; ABDU, A. The impact of thermal conductivity change of moist fibrous insulation on energy performance of buildings under hot–humid conditions. **Energy and Buildings**, v. 60, p. 388–399, 2013.

BUONOCORE, Carolina; VECCHI, Renata De; SCALCO, Veridiana; LAMBERTS, Roberto. Thermal preference and comfort assessment in air-conditioned and naturally-ventilated university classrooms under hot and humid conditions in Brazil. **Energy and Building**, v. 211, 2020.

BUONOCORE, Carolina; VECCHI, Renata De; SCALCO, Veridiana; LAMBERTS, Roberto. Influence of relative air humidity and movement on human thermal perception in classrooms in a hot and humid climate. **Energy and Building**, v. 246, 2018.

CAVALCANTI, André Marques; FILHO, André Marques Cavalcanti; FORTES, Gustavo Passos; NETO, Janaína Karla de Souza; PEREIRA, Leydiana de Sousa. Análise da qualidade do ar interior sob a abordagem da manutenção preditiva e da inovação. **Exacta**, São Paulo, v. 13, n. 1, p. 45-54, 2015. Disponível em: < <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81041502004> >. Acesso em: 05/2021.

CHANG, Seong Jin; KANG, Yujin; WI, Seunghwan; JEONG, Su-Gwang; KIM, Sumin. Hygrothermal performance improvement of the Korean wood frame walls using macro-packed phase change materials (MPPCM). **Thermal Engineering**, v. 114, p. 457–465, 2017.

CHANG, Seong Jin; WI, Seunghwan; KANG, Seog Goo; KIM, Sumin. Moisture risk assessment of cross-laminated timber walls: Perspectives on climate conditions and water vapor resistance performance of building materials. **Building and Environment**, v. 168, 2020.

CHO, Hyun Mi; WI, Seunghwan; CHANG, Seong Jin; KIM, Sumin. Hygrothermal properties analysis of cross-laminated timber wall with internal and external insulation systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 231, p. 1353-1363, 2019.

CÓNSUL, Julia María Díaz CÓNSUL; THIELE, Daniel THIELE; VESES, Renato Cataluña; BAIBICH, Ione Maluf; DALLAGO, Rogério Marcos. **Decomposição catalítica de óxidos de nitrogênio**. *Quím. Nova*, v. 27 (3), 2004. Disponível em: < <https://www.scielo.br/j/qn/a/xsJgtKhdv57gZnVv46v6qKQ/?lang=pt> >. Acesso em: 06/2021.

COSTA, Ennio Cruz da. **Arquitetura Ecológica: condicionamento térmico natural**. 7ª reimpressão. São Paulo: Blucher, p. 272, 2018.

FERREIRA, F. C. **Procedimento de Avaliação de Conforto Ambiental e Eficiência Energética Aplicado a Um Caso Típico da Rede Estadual de Escolas**

Públicas de Minas Gerais. Dissertação de Mestrado – Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, p. 256, 2006. Disponível em: < <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/RAAO-72KH86> >. Acesso em: 04/2021.

FLORES, Michele Gomes. **Geração da Base Climática de Santa Maria – RS – para análise de desempenho térmico e eficiência energética de edificações.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, p. 114, 2014. Disponível em: < <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/7862/FLORES%2c%20MICHELLE%20GOMES.pdf?sequence=1&isAllowed=y> >. Acesso em: 03/2021.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual do Conforto Térmico.** 5ª. ed. São Paulo: Studio Nobel, p. 244, 2001. Disponível em: < <http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/18350/material/ManualConfortoTERMICO.pdf> >. Acesso em: 09/2019.

GROSSI, Marcus Vinícius Fernandes. Análise de Manifestações Patológicas Decorrentes da Condensação de Vapor de Água. **6ª Conferência sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios** – PATORREB, 2018. Disponível em: < <http://www.nppg.org.br/patorreb/files/artigos/79258.pdf> >. Acesso em: 03/2020.

IRVING, Steve; FORD, Brian; ETHERIDGE, David. **Natural Ventilation in Non-domestic Buildings:** CIBSE Applications Manual AM10. Norwic: Page Bros, p. 87, 2005. Disponível em: < http://arco-hvac.ir/wp-content/uploads/2018/04/Natural_ventilation_in_non_domestic.pdf >. Acesso em: 04/2021.

ISRAELI, Eitan; PARDO, Asher. The sick building syndrome as a part of the autoimmune (auto-inflammatory) syndrome induced by adjuvants. **Mod Rheumatol**, v. 21, p. 235-239, 2010. Disponível em: < https://www.researchgate.net/publication/49711913_The_sick_building_syndrome_a_s_a_part_of_the_autoimmune_auto-inflammatory_syndrome_induced_by_adjuvants >. Acesso em: 04/2021.

JOHANSSON, Pernilla. **Critical Moisture Conditions for Mould Growth on Building Materials.** Universidade de Lund - Departamento de Física da Construção, Suécia, p. 120, 2012. Disponível em: < <https://portal.research.lu.se/ws/files/4322025/8054949.pdf> >. Acesso em: 05/2021.

KANG, Yujin; CHANG, Seong Jinn; KIM, Sumin. Hygrothermal behavior evaluation of walls improving heat and moisture performance on gypsum boards by adding porous materials. **Energy & Buildings**, v. 165, p. 431-439, 2018.

KEELER, Marian. **Fundamentos de Projeto de Edificações Sustentáveis**. 2^oed. Porto Alegre: Bookman, p. 357, 2018.

LAMBERTS, Roberto. **Conforto e Stress Térmico**. LabEEE, Universidade Federal de Santa Catarina, p. 87, 2011. Disponível em: < https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV4200_apostila%202011.pdf_2.pdf >. Acesso em: 05/2021.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3^a. ed. ELETROBRAS e PROCEL EDIFICA, p. 366, 2014. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/publicacoes/livros>>. Acesso em: 09/2019.

MARTYNY, John W.; WEEKES, Lan Chi Nguyen, P. **Recognition, Evaluation, and Control of Indoor Mold**. Recurso eletrônico. Estados Unidos da América, American Industrial Hygiene Assn, p. 253, 2009. Disponível em: < https://www.researchgate.net/publication/267625668_Recognition_Evaluation_and_Control_of_Indoor_Air_Mold >. Acesso em 03/2021.

MARTYNY, John; WEEKES, Lan Chi Nguyen. **Recognition, Evaluation, and Control of Indoor Air Mold**. American Industrial Hygiene Association, Austrália, Capítulo 5, p. 43-48, 2009. Disponível em: < https://www.researchgate.net/publication/267625668_Recognition_Evaluation_and_Control_of_Indoor_Air_Mold >. Acesso em: 01/2021.

MONTERO, Jorge Isaac Perén. **Ventilação e iluminação naturais na obra de João Filgueiras Lima, Lelé**: Estudo dos Hospitais das redes Sarah Kubitschek Fortaleza e Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, p. 262, 2006. Disponível em: < <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18141/tde-12032007-225829/publico/dissertacaoPerenJI.pdf> >. Acesso em: 11/2019.

O'BRIEN, Sean M.; PATEL, Amrish K. **Considerations for Controlling Condensation in High-Humidity Buildings**: Lessons Learned. Journal of Testing and Evaluation, v. 39, n^o. 4, 2011. Disponível em: < <https://compass-astm.ez101.periodicos.capes.gov.br/download/JTE102999.3217.pdf> >. Acesso em: 05/2021.

OLGYAY, Victor. **Arquitetura y Clima**: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas. 1^a. ed. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, S.A., p. 203, 1998.

PARK, Ji Hun.; KANG, Yujin; LEE, Jongki.; WI, Seunghwan; CHANG, Jae D.; KIM, Sumin. Analysis of walls of functional gypsum board added with porous material and phase change material to improve hygrothermal performance. **Energy & Buildings**, v. 183, p. 803-816, 2019.

PARK, Ji Hun; KIM, Young Uk; JEON, Jisso; Yun, Beom Yeol; KANG, Yujin; KIM, Sumin. Analysis of biochar-mortar composite as a humidity control material to improve the building energy and hygrothermal performance. **Science of the Total Environment**, v. 775, 2021. Disponível em: < <https://www-sciencedirect.ez101.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0048969721006197?via%3Dihub#bb0020> >. Acesso em: 04/2021.

PAULUZZI PRODUTOS CERÂMICOS LTDA. **Desempenho: Sistemas de alvenaria com bloco cerâmico**. Revisão 3, 2017, 60 p. Disponível em : <https://pauluzzi.com.br/dl/manual_pauluzzi_nbr_15575_download_pdf_03.pdf>. Acesso em: 07/2020.

PECCIA, Jordan; HAVERINEN-SHAUGHNESSY, Ulla; TAUBEL, Martin; GENTNER, Drew R.; SHAUGHNESSY, Richard. Practitioner-driven research for improving the outcomes of mold inspection and remediation. **Science of The Total Environment**, v. 762, 2021. Disponível em: < <https://www-sciencedirect.ez101.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0048969720377214?via=ihub#t0005> >. Acesso em: 05/2021.

RIVERO, Roberto. **Arquitetura e Clima: Acondicionamento Térmico Natural**. 1ª. ed. Porto Alegre: D. C. Luzzato Editores Ltda, p. 420, 1985.

ROAF, Sue; FUENTES, Manuel; THOMAS-REES, Stephanie. **Ecohouse: A Casa Ambiental Sustentável**. 4ª. ed. Porto Alegre: Bookman, p. 484, 2014.

SALES, Gustavo de Luna. **Diagrama de Ventilação Natural: Ferramenta de Análise do Potencial da Ventilação Natural no Estudo Preliminar de Projeto**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, 2016. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/22747/1/2016_GustavodeLunaSales.pdf> . Acesso em: 03/2020.

SANTAMOURIS, Mat; WOUTERS, Peter. **Building Ventilation – The State of the Art**. Earthscan: Londres, p. 309, 2006. Disponível em: < <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=0aCOAwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA247&dq=The+Effect+of+Ventilation+on+Health+and+Other+Human+Responses&ots=97NA8jvEou&sig=ii0HVqLb1VPMTvn> >

7IZmZdeXtDhE#v=onepage&q=The%20Effect%20of%20Ventilation%20on%20Health%20and%20Other%20Human%20Responses&f=false >. Acesso em: 05/2021.

SANTOS, JOAQUIM CESAR PIZZUTTI DOS. **Desempenho térmico e visual de elementos transparentes frente à radiação solar**. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, p. 394, 2002. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/88/88131/tde-22092016-152800/publico/Tese_Santos_JoaquimCP.pdf> Acesso em: 07/2021.

SATISH, Usha; MENDELL, Mark J.; SHEKHAR, Krishnamurthy; HOTCHI, Toshifumi; SULLIVAN, Douglas; STREUFERT, Siegfried; FISK, William J.. Is CO₂ an Indoor Pollutant? Direct Effects of Low-to-Moderate CO₂ Concentrations on Human Decision-Making Performance. **Environ Health Perspect**, v. 125, p. 1671–1677, 2012. Disponível em : < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3548274/> >. Acesso em: 06/2021.

SEDLBAUER, Klaus. **Prediction of mould fungus formation on the surface of and inside building components**. Documento baseado na tese de doutorado. Stuttgart: University of Stuttgart, 2001. Disponível em: < https://www.ibp.fraunhofer.de/content/dam/ibp/en/documents/ks_dissertation_etc1021-30729.pdf> Acesso em: 12/2019.

SEHULSTER, LYNNE, CHINN, R.Y.W., et al; CDC. **Guidelines for Environmental Infection Control In Health-Care Facilities**. Recomendações CDC e HICPAC. U.S. Department of Health and Human Services Centers for Disease Control and Prevention (CDC), Atlanta, p. 241, 2003 revisão 2019. Disponível em:< <https://www.cdc.gov/infectioncontrol/pdf/guidelines/environmental-guidelines-P.pdf> >. Acesso em: 03/2021.

SHIRMER, Waldir Nagel; SZYMANSKI, Mariani Silvia Ester; GAUER, Mayara Ananda. Qualidade do ar interno em ambientes climatizados – verificação dos parametros físicos e concentração de dióxido de carbono em agência bancária. **TECNO-LÓGICA**, Santa Cruz do Sul, v. 13, n. 1, p. 41-45, 2009.

SIQUEIRA, Tulio Cesar Pessoto; AKUTSU, Maria; LOPES, Jarbas. Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações. **Revista Escola de Minas: Ouro Preto**, v. 58, n. 2, p. 133-138, 2005.

SULAIMAN, S. J.; BADRAN, Ali. Moisture and Condensation in Residential Buildings in a Relatively Dry Region. **International Journal of Ventilation**, v. 8 nº 4, p. 313-324, 2016.

TABARELLI, Giceli. **Influência do sistema de cobertura no comportamento térmico de edificações multifamiliares na zona bioclimática brasileira 2.**

Dissertação de Mestrado, UFSM, p. 204, 2017. Disponível em:

<https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/14727/DIS_PPGECC_2017_TABARELLI_GICELI.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 08/2021.

TORTORELLA, María Noel; LABORDE, Amalia. Escenarios de exposición a monóxido de carbono que orientan la sospecha clínica de intoxicación aguda. Montevideo: **Revista Médica del Uruguay**, v. 37, nº 2, 2021.

VERBEKE, S.; AUDENAERT, A. Thermal inertia in buildings: A review of impacts across climate and building use. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, p. 2300-2318, 2018.

WHO. **Guidelines for Indoor Air Quality: Dampness and Mould**. Moser: World Health Organization, p. 248, 2009. Disponível em: <http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0017/43325/E92645.pdf>. Acesso em: 10/2019.

XAVIER, A. A. P. **Condições de Conforto Térmico para Estudantes de 2º Grau na Região de Florianópolis**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 209. 1999.

YNOUE, Rita Y.; REBOITA, Michelle S.; AMBRIZZI, Tércio; SILVA, Gyrlene A. M. da. **Meteorologia: noções básicas**. São Paulo: Oficina de Textos, p. 191, 2017.

YOO, Jiwon; CHANG, Seong Jin; LEE, Jongki; WI, Seunghwan; KIM, Sumin. Numerical analysis of hygrothermal properties and behavior of Korean based cross-laminated timber (CLT) wall system to deduce optimal assemblies. **Journal of Cleaner Production**, v. 213, p. 1217-1227, 2019.