

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
DIRETORIA ACADÊMICA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO
NÍVEL MESTRADO

RAMOM FELIPE BIAZUS

DESEMPENHO TÉRMICO DE FACHADA VENTILADA

São Leopoldo

2024

RAMOM FELIPE BIAZUS

DESEMPENHO TÉRMICO DE FACHADA VENTILADA

Dissertação apresentada 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

Orientador: Prof. Dr. Marco Aurélio Stumpf Gonzalez

São Leopoldo

2024

B579d

Biazus, Ramom Felipe

Desempenho térmico de fachada ventilada. / Ramom Felipe Biazus. São Leopoldo, 2024.

140 f. : il. ; color. ; 30cm.

Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) -- Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, São Leopoldo, RS, 2024.

Orientação: Prof. Dr. Marco Aurélio Stumpf Gonzalez.

1. Arquitetura - Isolamento térmico. 2. Fachada ventilada. 3. Desempenho térmico. 4. Simulação computacional. I. Gonzalez, Marco Aurélio Stumpf. II. Título.

CDU 72:699.86

AGRADECIMENTOS

A trajetória percorrida desde o meu ingresso até a apresentação final não foi algo que posso dizer tranquila, mas sim repleta de desafios, como: sair de casa e ir morar com minha namorada, trocar de cidade, ir e voltar toda semana de uma cidade para outra, conciliar o trabalho do dia a dia, a tentativa frustrada de encontrar equilíbrio entre o desenvolvimento da dissertação e a minha presença com meus amigos e familiares (aqui já vale um pedido de desculpas e um forte agradecimento pela paciência que tiveram comigo), noites mal dormidas, pois fiquei horas a mais lutando para escrever um pouquinho mais, e isso, conseqüentemente, trouxe desgaste físico e mental, além das idas e vindas da vontade de ficar na frente da tela do computador, etc. Por isso tudo, eu só gostaria de agradecer a todas as pessoas que participaram de alguma forma dessa minha trajetória.

Obrigado aos meus professores e orientadores. Em especial para meu orientador, Prof. Dr. Marco Aurélio Stumpf Gonzalez e para a Prof^a Dra Maria Fernanda de Oliveira.

Obrigado aos meus amigos.

Obrigado à minha família por serem meu porto seguro.

E, por último, não menos importante, obrigado à minha namorada Carol, a pessoa que mais me ajudou nisso tudo.

RESUMO

A busca por soluções construtivas que atendam aos requisitos de conforto térmico tem se tornado cada vez mais relevante na área da construção civil. Nesse contexto, a fachada ventilada tem despertado interesse como uma alternativa eficiente para controlar o desempenho térmico dos edifícios. A fachada ventilada é um sistema de revestimento externo que permite a circulação de ar entre a camada externa e a parede de suporte, contribuindo para o controle térmico do ambiente interno. O desempenho térmico de uma fachada ventilada é influenciado por diversos fatores, como a composição e espessura dos materiais utilizados, a geometria da câmara de ar ventilada e a configuração do sistema como um todo. Compreender como esses fatores interagem e impactam o desempenho térmico é fundamental para projetar fachadas ventiladas eficientes. O objetivo deste estudo é analisar o desempenho térmico de fachadas ventiladas, investigando a relação entre as variáveis e fornecendo subsídios para o desenvolvimento de soluções construtivas mais eficientes. Para isso, foram realizadas simulações computacionais considerando diferentes configurações de fachadas ventiladas, variando parâmetros como a espessura da câmara de ar, materiais de revestimento e espaçamentos. A compreensão dos mecanismos envolvidos no desempenho térmico das fachadas ventiladas permitirá a seleção adequada de materiais e a configuração do sistema, visando o melhor aproveitamento das propriedades térmicas oferecidas por esse tipo de fachada. Além disso, o conhecimento adquirido poderá contribuir para a otimização de projetos e para a criação de edifícios mais confortáveis e sustentáveis, promovendo a qualidade de vida dos ocupantes e a redução do consumo de energia.

Palavras-chave: Fachada ventilada. Desempenho Térmico. Simulação Computacional.

ABSTRACT

The search for constructive solutions that meet thermal comfort requirements has become increasingly relevant in the field of civil construction. In this context, the ventilated facade has garnered interest as an efficient alternative for controlling the thermal performance of buildings. A ventilated facade is an external cladding system that allows air circulation between the outer layer and the support wall, contributing to the thermal control of the internal environment. The thermal performance of a ventilated facade is influenced by various factors, such as the composition and thickness of the materials used, the geometry of the ventilated air chamber, and the overall system configuration. Understanding how these factors interact, and impact thermal performance is fundamental for designing efficient ventilated facades. The objective of this study is to analyze the thermal performance of ventilated facades, investigating the relationship between variables and providing insights for the development of more efficient constructive solutions. For this purpose, computational simulations were conducted considering different configurations of ventilated facades, varying parameters such as air chamber thickness, cladding materials, and spacings. Understanding the mechanisms involved in the thermal performance of ventilated facades will allow for the appropriate selection of materials and system configuration, aiming to make the best use of the thermal properties offered by this type of facade. Additionally, the knowledge gained can contribute to the optimization of projects and the creation of more comfortable and sustainable buildings, promoting the quality of life for occupants and reducing energy consumption.

Keywords: Ventilated Facade. Thermal Performance. Computational Simulation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Steiff Factory	19
Figura 2 - Detalhe da fachada do Steiff Factory	20
Figura 3 - Evolução da Fachada Ventilada ao longo da história	20
Figura 4 - Edifício Narkomfin	21
Figura 5 - Corte do Edifício Narkomfin	21
Figura 6 - Hooker Building	22
Figura 7 - Corte do Hooker Building	23
Figura 8 - Edifício IRCAM	24
Figura 9 - Detalhe da fachada	24
Figura 10 - Corte fachada	25
Figura 11 – Detalhe esquemático de fachada ventilada	26
Figura 12 - Detalhe fachada ventilada	26
Figura 13 - Diferença na transferência de calor - fachada cortina e fachada ventilada	27
Figura 14 - Corte da fachada ventilada com juntas seladas (esq.) e com juntas abertas (dir.)	28
Figura 15 - Diferença uma fachada com cavidade selada (esq.) com FVJA (dir.)	28
Figura 16 - Tipos de juntas em fachadas ventiladas	29
Figura 17 - Classificação das fachadas ventiladas	29
Figura 18 – Corte esquemático da fachada ventilada	31
Figura 19 - Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas	35
Figura 20 - Eficiência da segunda pele conforme ao características de projeto.	36
Figura 21 - Corte esquemático de uma parede com segunda pele	37
Figura 22 - Planta de situação	43
Figura 23 - Imagem do Edifício de referência	44
Figura 24 - Planta do Térreo	45
Figura 25 - Planta do Tipo	45
Figura 26 - Imagem da Fachada Lateral	46
Figura 27 - Caso Base	47
Figura 28 - Modelo CER1	53
Figura 29 - Modelo CER2	54
Figura 30 - Modelo CER3	55

Figura 31 - Modelo CER4.....	56
Figura 32 - modelo CER5.....	57
Figura 33 - Modelo CER6.....	58
Figura 34 - Modelo CER7.....	59
Figura 35 - Modelo CER8.....	60
Figura 36 - Modelo CER9.....	61
Figura 37 - Modelo CER10.....	62
Figura 38 - modelo CER11.....	63
Figura 39 - modelo CER12.....	64
Figura 40 - Modelo ACM1	65
Figura 41 - modelo ACM2	66
Figura 42 - Modelo ACM3	67
Figura 43 - Modelo ACM4	68
Figura 44 - Modelo ACM5	69
Figura 45 - Modelo ACM6	70
Figura 46 - Modelo ACM7	71
Figura 47 - Modelo ACM8	72
Figura 48 - Modelo ACM9	73
Figura 49 - Modelo ACM10	74
Figura 50 - Modelo ACM11	75
Figura 51 - Modelo ACM12	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Fluxograma das Etapas.....	40
Tabela 2 - Dados climáticos de Porto Alegre	41
Tabela 3 - Composição das paredes externas	47
Tabela 4 - Propriedades ópticas dos vidros utilizados na simulação computacional	48
Tabela 5 - Configuração do entepiso	48
Tabela 6 - Composições da cobertura	49
Tabela 7 – Composições do terraço.....	49
Tabela 8 - Componentes construtivos	50
Tabela 9 - Configuração computacional software EnergyPlus	51
Tabela 10 - Modelos para análise térmico com revestimento cerâmico	51
Tabela 11 - Modelos para análise térmico com revestimento de ACM	52
Tabela 12 - Dia Típico de Verão CER	79
Tabela 13 - Dia Típico de Verão da Temperatura Externa.....	80
Tabela 14 - Dia Típico de Verão ACM.....	83
Tabela 15 - Dia Típico de Verão da Temperatura Externa.....	83
Tabela 16 - Dia Típico de Verão CERxACM	86
Tabela 17 - Dia Típico de Verão da Temperatura Externa.....	87
Tabela 18 - Dia Típico de Inverno CER.....	89
Tabela 19 - Dia Típico de Inverno da Temperatura externa.....	90
Tabela 20 - Dia Típico de Inverno ACM	93
Tabela 21 - Dia Típico de Inverno da Temperatura externa.....	93
Tabela 22 - Dia Típico de Inverno CERxACM	96
Tabela 23 - Dia Típico de Inverno da Temperatura externa.....	97
Tabela 24 - 9 dias mais quentes CER	99
Tabela 25 - 9 dias mais quentes ACM	102
Tabela 26 - 9 dias mais quentes CERxACM	105
Tabela 27 - 9 dias mais frios CER.....	108
Tabela 28 - 9 dias mais frios ACM	110
Tabela 29 - 9 dias mais frios CERxACM	113
Tabela 30 - Verão CER	116
Tabela 31 - Verão ACM.....	118
Tabela 32 - Verão CERxACM	121

Tabela 33 - Inverno CER.....	124
Tabela 34 - Inverno ACM	126
Tabela 35 - Inverno CERxACM	129
Tabela 36 - Análise Comparativa entre os Modelos.....	134

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACM	Aluminium Composite Material
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
BTU	British Thermal Unit
CBCS	Conselho Brasileiro de Construção Sustentável
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CER	Painel em Cerâmica para Fachadas ventilada
CFD	Computational Fluid Dynamics
DSF	Double Skin Façade
ISO	International Organization for Standardization
NBR	Normas Brasileiras de Regulação
PIB	Produto Interno Bruto

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivos	15
1.1.1	Objetivo Geral	15
1.1.2	Objetivos Específicos	16
1.2	Justificativa	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1	Histórico de Desenvolvimento de Fachadas Ventiladas	19
2.2	Caracterização das Fachadas Ventiladas	25
2.3	Desempenho Térmico	30
3	MÉTODO	39
3.1	Caracterização Climática	41
3.2	Estudo de Referência	42
3.3	Caracterização dos modelos de referência	46
3.3.1	Modelo CER1	52
3.3.2	Modelo CER2	54
3.3.3	Modelo CER3	55
3.3.4	Modelo CER4:	56
3.3.5	Modelo CER5	56
3.3.6	Modelo CER6	57
3.3.7	Modelo CER7	58
3.3.8	Modelo CER8	59
3.3.9	Modelo CER9	60
3.3.10	Modelo CER10:	61
3.3.11	Modelo CER11	62
3.3.12	Modelo CER12	63
3.3.13	Modelo ACM1	64
3.3.14	Modelo ACM2	65
3.3.15	Modelo ACM3	66
3.3.16	Modelo ACM4:	67
3.3.17	Modelo ACM5	68
3.3.18	Modelo ACM6	69
3.3.19	Modelo ACM7	70

3.3.20	Modelo ACM8	71
3.3.21	Modelo ACM9	72
3.3.22	Modelo ACM10:	73
3.3.23	Modelo ACM11	74
3.3.24	Modelo ACM12	75
3.4	Simulações computacionais	76
4	RESULTADOS	79
4.1	Dia Típico de Verão	79
4.1.1	CER	79
4.1.2	ACM	82
4.1.3	Comparativo entre CER e ACM	86
4.2	Dia Típico de Inverno	89
4.2.1	CER	89
4.2.2	ACM	92
4.2.3	Comparação entre CER e ACM	96
4.3	Avaliação de 9 dias mais quentes	99
4.3.1	ACM	101
4.3.2	Comparação entre CER e ACM	104
4.4	Avaliação de 9 dias mais frios	107
4.4.1	CER	107
4.4.2	ACM	110
4.4.3	Comparação entre CER e ACM	112
4.5	Verão	115
4.5.1	CER	115
4.5.2	ACM	118
4.5.3	Comparação entre CER e ACM	120
4.6	Inverno	123
4.6.1	CER	123
4.6.2	ACM	126
4.6.3	Comparação entre CER e ACM	128
5	DISCUSSÃO	131
6	CONCLUSÃO	135
	REFERÊNCIAS	137

1 INTRODUÇÃO

As fachadas ventiladas se apresentam como uma alternativa para diminuir a carga térmica dos edifícios, principalmente no verão. Pesquisadores de países mediterrâneos comprovaram o seu potencial em reduzir a demanda por refrigeração na Europa. Porém, a ideia de criá-las surgiu em países frios e úmidos (Atem, 2016).

A fachada ventilada se tornou uma das principais soluções para o aproveitamento racional dos recursos naturais em edifícios. Esta solução tem se mostrado como uma alternativa eficiente, não somente para resolver problemas energéticos, mas também para tratar aspectos arquitetônicos e funcionais. O uso de fachadas ventiladas, que consiste na instalação de sistemas de painéis estruturais revestidos, voltadas para o exterior de edifícios, auxilia na redução dos custos de energia do momento do arranque à operação, melhorando a qualidade de vida dos seus usuários, para além de fornecer benefícios ambientais, que estão envolvidos na conservação do clima (Sanjuan et al., 2011).

A câmara de ar da fachada ventilada é o lugar onde o vento é direcionado, criando uma zona de convecção entre a fachada e o ambiente exterior. Esta zona ajuda na manutenção da temperatura interna, garantindo que a superfície exterior da fachada mantenha seu potencial térmico, ajudando a reduzir o consumo de energia e ao mesmo tempo, proporcionar um espaço aconchegante dentro de edifícios. A câmara de ar tem diferentes profundidades, dependendo dos materiais usados para construí-la (Balter et al., 2017).

O desempenho térmico de uma edificação é fundamental para alcançar a melhor habitabilidade possível no interior do edifício. Quando um ambiente interno não se ajusta às necessidades de conforto térmico dos usuários, é necessário fazer uma análise dos requisitos de desempenho dessa edificação para encontrar a forma mais adequada de garantir a qualidade de vida dos seus ocupantes.

No entanto, o sucesso destes sistemas depende da capacidade de manter um equilíbrio entre as variáveis como orientação solar, geometria e materiais da fachada. Sendo assim, é necessário considerar todas essas variáveis de acordo com o contexto de cada edificação para garantir o melhor desempenho deste sistema (Sanjuan et al., 2011).

Fachadas ventiladas são revestimentos externos que facilitam a circulação de ar, com o intuito de otimizar o controle de temperatura interna e, conseqüentemente,

diminuir os gastos com energia. Esta dissertação se propõe a investigar o desempenho térmico dessas fachadas, por meio do estudo de sistemas já existentes, modelos de avaliação de desempenho térmico e análise de casos práticos. Após a discussão dos resultados obtidos, serão tiradas conclusões sobre a eficácia das fachadas ventiladas. Além disso, a estrutura e a metodologia empregadas para a avaliação também serão detalhadas

A indústria da construção civil ocupa uma posição de destaque na economia brasileira, sendo responsável por cerca de 6,2% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional. Segundo a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC), o mercado de construção civil representa 34% do total da indústria brasileira, destacando-se também o grande contingente de mão de obra empregada, sendo considerada a maior indústria empregadora do país (CBIC, 2022).

O maior potencial na geração de riqueza está na construção de edifícios cujo valor agregado encontra-se em cerca de R\$ 74 bilhões. Apesar de ser responsável por grande parte desse indicador econômico, atrelado à sua capacidade de desenvolvimento socioeconômico, existe uma grande parcela de responsabilidade na degradação ambiental, que ocorre, principalmente, em três vias distintas: na extração e fabricação de insumos para a construção civil, na execução das obras e na destinação de resíduos por ela gerados. Estima-se que as construções consumam de 50 a 75% dos recursos naturais do mundo considerando todo o seu ciclo de vida. Segundo dados do Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS), edifícios consomem cerca de 40% da energia mundial além de o setor ser responsável por 30 a 40% das emissões de CO₂ e ser o maior gerador de resíduos do planeta, acrescentando-se a isso a poluição atmosférica e sonora gerada pelos canteiros de obra, responsáveis pela diminuição da qualidade de vida em seus arredores (CBCS, 2022).

O aumento da densidade populacional em áreas urbanas desencadeou uma maior demanda por edificações essas, em sua maioria, realizadas de maneira desordenada e inconsequente ao seu entorno, repercutem em diversos efeitos negativos ao ambiente e a sociedade. Entre as atividades desenvolvidas pela sociedade, onde não há o planejamento construtivo adequado, como resultado podem ser citados o aumento de emissões atmosféricas de gases de efeito estufa na atmosfera, devido ao uso de energias não renováveis para avaliar o desempenho térmico (Silva et al., 2016).

Além disso, a abordagem deve levar em consideração as preocupações ambientais, como a seleção de materiais sustentáveis, a redução do consumo de energia e a minimização dos impactos durante o ciclo de vida da fachada. A maximização do conforto térmico também é fundamental para garantir um ambiente interno agradável e produtivo.

Segundo López e Santiago (2015), as fachadas ventiladas mais populares são aquelas que utilizam revestimentos cerâmicos, porcelanatos ou pedras naturais como granito, mármore e calcário. No entanto, as fachadas ventiladas também podem ser encontradas em outros materiais, como o metal, incluindo os materiais compostos de alumínio (ACM). A escolha do revestimento dependerá de vários fatores como estilo arquitetônico, clima local e orçamento disponível.

Ao avaliar o desempenho térmico das fachadas ventiladas, é fundamental entender como esses sistemas podem ser otimizados para equilibrar a eficiência energética e a viabilidade econômica. Aspectos como a seleção de materiais para o revestimento, a estrutura da câmara de ar e o impacto dos componentes estruturais são fundamentais para alcançar a performance ideal.

É importante destacar que nem toda fachada cortina é uma fachada ventilada, uma vez que o sistema de fachada ventilada possui características específicas que o diferenciam dos demais sistemas de fachada cortina. Porém, toda fachada ventilada é uma fachada cortina, pois compartilha as características básicas desse sistema de revestimento de fachadas externas (Maciel, 2018).

Portanto, a questão central é encontrar soluções eficientes que integrem o desempenho térmico das fachadas ventiladas, considerando aspectos econômicos, ambientais e de conforto. Isso requer a investigação de modelos de avaliação, estudos de caso e a análise cuidadosa de diferentes variáveis e critérios para fornecer diretrizes e orientações que permitam o projeto e a construção de fachadas ventiladas de alta performance.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar o desempenho térmico de fachadas ventiladas, com o intuito de compreender e aprimorar suas características e contribuir para o desenvolvimento de

soluções construtivas eficientes. Através de uma abordagem multidisciplinar, serão investigados os principais fatores que influenciam o controle térmico proporcionado por esses sistemas.

1.1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são.

- a) Analisar as diferentes configurações de fachadas ventiladas, variando parâmetros como a espessura da câmara de ar, materiais de revestimento e espaçamentos;
- b) Sistematizar os dados levantados do desempenho térmico dos sistemas de vedações verticais externos com fachada ventilada;

1.2 Justificativa

Observa-se um incentivo na indústria da construção civil para a adoção de tecnologias que minimizem o impacto ambiental causado pelo setor. Essas tecnologias são frequentemente abordadas em certificações específicas para a indústria. Além da redução do impacto ambiental, há também uma conscientização dos usuários do edifício sobre a sustentabilidade, que está associada ao desempenho térmico obtido por meio de estratégias de projeto.

O desenvolvimento sustentável e os edifícios verdes têm sido cada vez mais procurados nos últimos anos, o que levou à criação de sistemas de avaliação de edifícios verdes para estimar o desempenho do ciclo de vida dos edifícios. Esses programas de certificação transformam a forma como as cidades e as comunidades são planejadas, desenvolvidas e operadas, visando melhorar a qualidade de vida das pessoas em todo o mundo. Leadership in Energy and Environmental Design (LEED), que é um dos sistemas de avaliação de edifícios verdes mais conhecidos e utilizados, é desenvolvido pelo U.S. Green Building Council (USGBC, 2018; Wu et al., 2017) e, portanto, sua aplicação em projeto, análise de crédito e documentação, devem ser apresentados para obter o tipo de certificação desejado (Eastman et al., 2008).

LEED usa um sistema de classificação online, que atribui pontuações na escolha do local, eficiência hídrica, energia e atmosfera, materiais e recursos,

qualidade ambiental interna, localização e conexões, inovação no design e prioridade regional. Quando os resultados são combinados, os projetos bem-sucedidos são classificados como Certificado, Prata, Ouro ou Platina (Alwan, Greenwood, & Gledson, 2015).

A fachada ventilada pode contribuir significativamente para a obtenção do selo LEED em projetos arquitetônicos sustentáveis, pois melhora o desempenho energético, reduz o consumo de recursos, e aumenta o conforto e a saúde dos ocupantes dos edifícios.

Os benefícios socioambientais são antecipados através da diminuição da emissão de poluentes, que são originários de fontes de energia não renováveis. Além disso, a melhoria no desempenho térmico das edificações também contribui para esses impactos positivos.

No setor econômico se refere à diminuição de gastos com energia elétrica, com manutenção da fachada. É pertinente destacar o investimento recorrente nas fachadas das edificações, sendo esses elementos passíveis de deterioração por estarem expostos às intempéries, os quais, ao longo da sua vida útil, podem sofrer impactos deletérios ao seu desempenho.

A fachada ventilada apresenta diversas vantagens em termos de desempenho, entre as quais se destacam a redução de problemas de umidade e o melhor desempenho energético em relação às fachadas convencionais. A ventilação proporcionada pela câmara de ar presente na fachada ventilada permite a circulação do ar e a dissipação do calor, o que reduz o acúmulo de umidade e evita problemas de condensação e mofo nas paredes internas do edifício. Além disso, a ventilação contribui para o conforto térmico interno, reduzindo a necessidade de uso de sistemas de climatização, o que resulta em economia de energia (Sanjuan et al., 2011).

No entanto, existem algumas desvantagens a se considerar. Em fachadas de vários andares, o ambiente da cavidade não é fácil de controlar, pois o ar quente se acumula no topo da cavidade (o efeito chaminé) e, se não for ventilado, cria desconforto térmico nos andares superiores. Além disso, este tipo de câmara de ar permite uma elevada transmissão sonora entre os espaços interiores. A dificuldade reside no controle da umidade, sujeira e condensação, que se tornam desafios a menos que a câmara esteja adequadamente selada. Além disso, a manutenção pode ser complexa (Spastri, et al., 2015).

Da mesma forma, algumas pesquisas relataram várias deficiências dependendo dos componentes da fachada ventilada. Por exemplo, a estrutura da pele do edifício adiciona mais custo e peso. Outro fator, a cavidade ventilada reduz a área útil, portanto, o valor econômico da edificação pode mudar. Com relação a isso, se o fluxo de ar não for controlado, as câmaras podem causar muitos problemas, como a transferência de fogo ou fumaça entre salas e diferenças de temperatura e pressão entre diferentes andares. Além disso, no verão, o superaquecimento da cavidade leva a um efeito estufa, que aumenta a carga de resfriamento. As persianas podem causar superaquecimento quando localizadas na cavidade, pois se tornam o elemento mais quente do sistema; além disso, seu material refletivo pode impactar negativamente nos problemas de ofuscamento (Vaglio, 2016).

Portanto torna-se fundamental a otimização dos mecanismos utilizados nas edificações. A aplicação de fachadas ventiladas integrando diferentes tecnologias podem promover ganhos em eficiência energética, durabilidade, desempenho térmico, aumentando a eficiência; dessa forma, transformando a vida urbana através de práticas sustentáveis, estimulando a consciência ambiental e ressignificando as empenas cegas de maneira estética e funcional, elencando uma série de benefícios nos âmbitos urbano, econômico, ambiental e social além de agregar valor ao edifício.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Na fundamentação teórica foram abordados os principais conceitos relacionados ao desempenho térmico das fachadas ventiladas.

2.1 Histórico de Desenvolvimento de Fachadas Ventiladas

De acordo com Saelens (2002), foi em 1849, Jean-Baptiste Jobard, na época diretor do Museu Industrial de Bruxelas, descreveu uma das primeiras versões de uma fachada de pele múltipla mecanicamente ventilada. Ele menciona como no inverno o ar quente deve circular entre dois vidros, enquanto no verão deve ser ar frio.

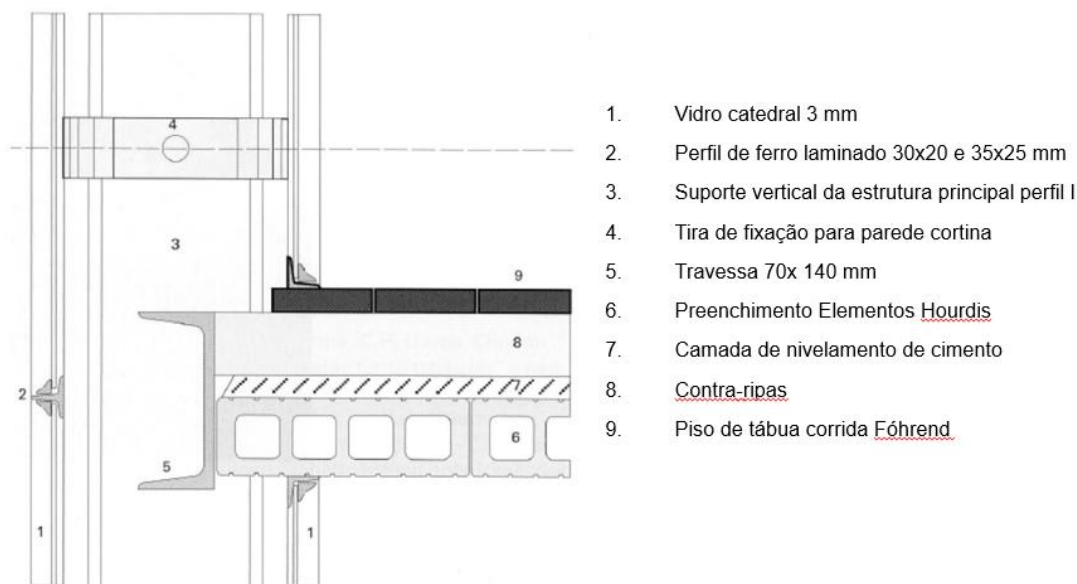
Fissabre (2009) afirma que a primeira instância de uma parede de cortina dupla surgiu em 1903 na Steiff Factory em Giengen, Alemanha (Figura 1). Segundo ele, as prioridades eram maximizar a iluminação natural, considerando o clima frio e os ventos fortes da região. A solução foi uma estrutura de três pavimentos, com um térreo para depósito e dois pavimentos superiores para áreas de trabalho. O edifício foi um sucesso, e duas adições foram construídas em 1904 e 1908 com o mesmo sistema de fachadas duplas (Figura 2), mas usando madeira em vez de aço na estrutura por razões de orçamento. Todos os edifícios ainda estão em uso.

Figura 1 - Steiff Factory



Fonte: facadesconfidential.blogspot.com/2011/11/steiff-factory-and-birth-of-curtain.html /

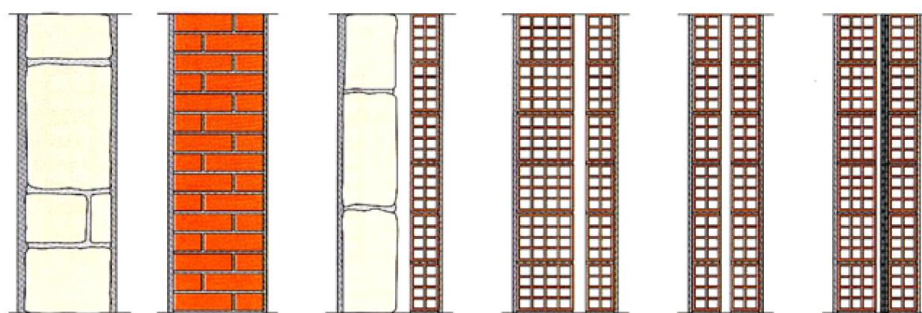
Figura 2 - Detalhe da fachada do Steiff Factory



Fonte: facadesconfidential.blogspot.com/2011/11/steiff-factory-and-birth-of-curtain.html /

O método de construção conhecido como "cavity wall" foi introduzido no Reino Unido durante o século 19 e, posteriormente, ganhou ampla utilização na década de 1920. Inicialmente, o sistema era baseado na utilização de pedras para conectar as duas camadas da parede cavidade. No início, a espessura da cavidade era bastante reduzida e sua principal finalidade era evitar a entrada de umidade no interior do edifício. (Adjemian Oria, 2011).

Figura 3 - Evolução da Fachada Ventilada ao longo da história



Fonte: Apud Adjemian Oria (2011).

No final da década de 1920, as peles duplas estavam sendo desenvolvidas com outras prioridades em mente. Dois casos podem ser claramente identificados. Na Rússia, Moisei Ginzburg experimentou com listras duplas de pele nos blocos habitacionais comunitários de seu edifício Narkomfin (1928). Também Le Corbusier

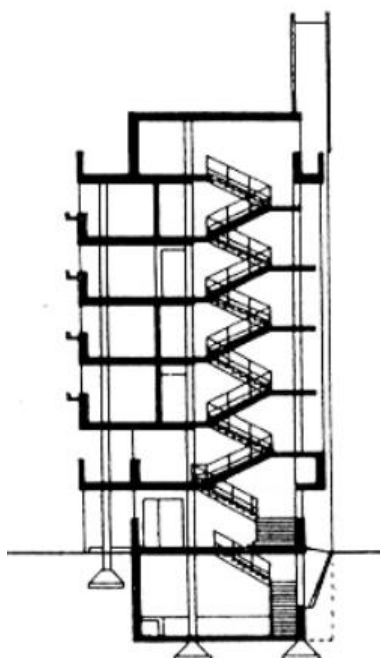
estava projetando o Centrosoyus, também em Moscou. Um ano depois, ele iniciaria o projeto da Cite de Refuge (1929) e da Immeuble Clarte (1930) em Paris.

Figura 4 - Edifício Narkomfin



Fonte: <https://casa-abierta.com/images/post/1515431064.jpg>.

Figura 5 - Corte do Edifício Narkomfin



Fonte: <https://casa-abierta.com/images/post/1515431064.jpg>.

As fachadas ventiladas têm sido usadas há décadas em diferentes partes do mundo. No entanto, o desenvolvimento moderno dessas fachadas começou na

Europa na década de 1950, quando os arquitetos começaram a explorar novas soluções para melhorar o desempenho térmico dos edifícios (Velloso, 2012).

Enquanto até o momento a preocupação principal era a ventilação dos edifícios, com o passar dos anos, foi desenvolvido o sistema “Rainscreen”, que basicamente se trata da fachada ventilada como hoje em dia é conhecida. A razão dos estudos então realizados foi arranjar uma forma de impedir que as condições atmosféricas, principalmente a chuva, comprometessem a estrutura dos edifícios, danificando-a ao longo do tempo (Velloso, 2012).

Nos anos 60 e 70, a tecnologia de fachadas ventiladas se desenvolveu rapidamente na Europa. Nessa época, os arquitetos começaram a usar materiais como vidro, alumínio e painéis de concreto pré-fabricados para criar fachadas ventiladas (Souza et al., 2011).

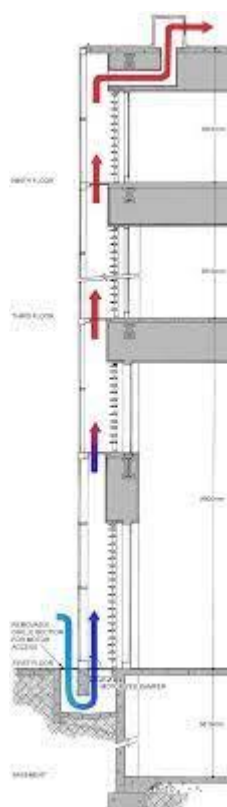
O Hooker Building, também conhecido como Occidental Chemical Center, é um edifício comercial construído em Nova Iorque, Estados Unidos, em 1980. Projetado pelo grupo Cannon Design, em parceria com o grupo HOK, é considerado o primeiro edifício na América do Norte a usar uma fachada dupla ventilada de vidro, tornando-o um dos edifícios comerciais mais eficientes do mundo. O edifício é composto por nove andares e possui uma planta quadrangular. Os dois primeiros andares são ocupados por espaços comerciais, enquanto os outros andares são destinados a escritórios. A circulação vertical está localizada no centro. A fachada foi projetada com o sistema Buffer, que permite a entrada de luz natural, ao mesmo tempo em que reforça o isolamento térmico. O ar entra na caixa de ar por uma grelha motorizada no piso térreo e percorre toda a fachada até chegar ao topo superior e sair por condutas (Boake, 2002).

Figura 6 - Hooker Building



Fonte: Boake (2002).

Figura 7 - Corte do Hooker Building



Fonte: Boake (2002).

Na década de 1980, as fachadas ventiladas se tornaram populares em diferentes países. Começando em edifícios comerciais e de escritórios, essa tecnologia logo se expandiu para edifícios residenciais. (Boake, 2002).

O arquiteto italiano Renzo Piano destaca-se na história do sistema da fachada ventilada. O IRCAM (Instituto de Pesquisa e Coordenação Musical/Acústica) que fica em Paris é um dos edifícios que utiliza esse sistema de fachada ventilada. O projeto foi composto por duas fases de construção. A primeira foi iniciada em 1971, em parceria com o arquiteto ítalo-britânico Richard Rogers, e concluída em 1977. Esta fase contou com três andares subterrâneos para pesquisa e experiências, e fazia parte do Centro Pompidou, também projetado pelos mesmos arquitetos. A segunda fase começou em 1988 e terminou em 1990, com seis andares sendo adicionados ao edifício, destinados a escritórios. (RPBW, 2023).

Figura 8 - Edifício IRCAM



Fonte: RPBW (2023).

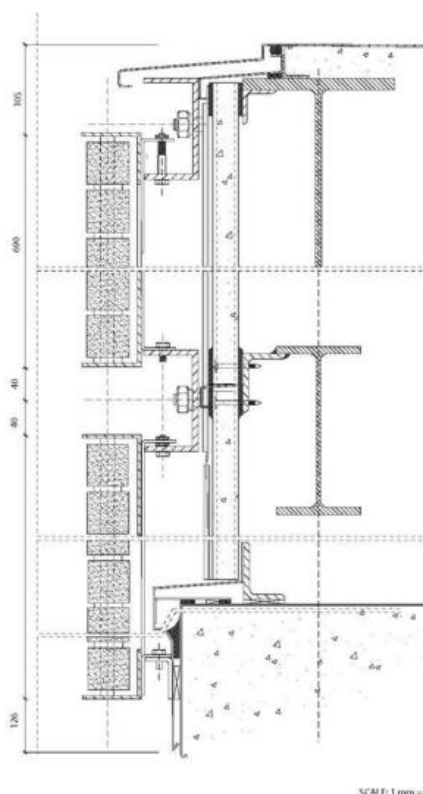
Para a fachada, Renzo Piano optou por adoptar o sistema “Rainscreen”, para proteger o edifício da chuva, figura 9 e 10. A fachada é composta por painéis pré-fabricados metálicos preenchidos com peças de tijolo cerâmico (RPBW, 2023).

Figura 9 - Detalhe da fachada



Fonte: RPBW (2023).

Figura 10 - Corte fachada



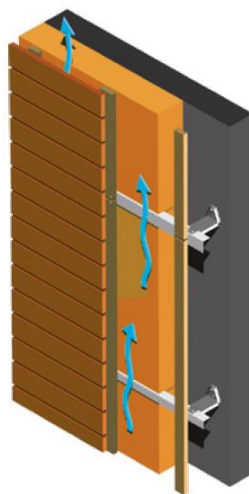
Fonte: RPBW (2023).

Nos anos 90, a tecnologia de fachadas ventiladas continuou a evoluir, com o desenvolvimento de novos materiais e sistemas de fixação que tornaram as fachadas mais eficientes e fáceis de instalar. Além disso, a crescente preocupação com a sustentabilidade levou a um aumento na demanda por fachadas ventiladas, pois elas ajudam a reduzir o consumo de energia dos edifícios. (Mela; Tibúrcio, 2019).

2.2 Caracterização das Fachadas Ventiladas

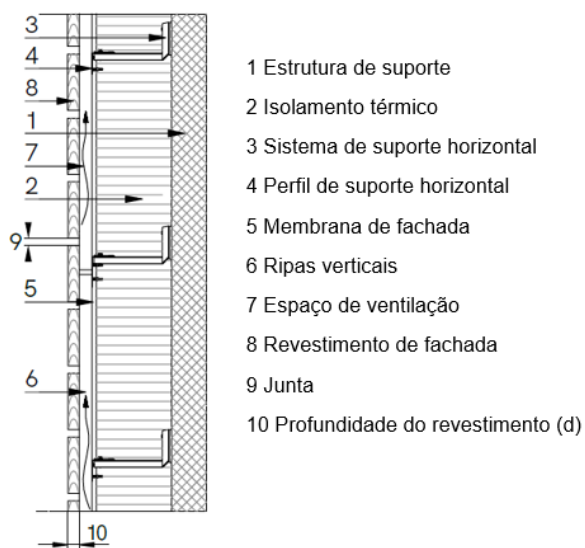
Conforme Aparício-Fernández et al. (2014) e Ilbañes-Puy et al. (2017), o termo "fachada ventilada" é utilizado para descrever uma ampla variedade de sistemas de parede externa que possuem um espaço de ar ventilado entre a camada externa da parede e a estrutura principal do edifício, podendo incluir fachadas duplas de vidro, fotovoltaicas, chaminés solares, paredes solares e outros tipos de fachadas que utilizam o espaço de ar para melhorar o desempenho térmico do edifício.

Figura 11 – Detalhe esquemático de fachada ventilada



Fonte: <https://sfhf.ch/>

Figura 12 - Detalhe fachada ventilada



Fonte: <https://sfhf.ch/>

A tipologia fachada ventilada pode ser aplicada a muitos tipos diferentes, mas dois termos são facilmente confundidos: fachada cortina e fachada ventilada. O sistema de fachada ventilada é uma vertente do sistema fachada cortina, que é um sistema de revestimento de fachadas externas caracterizado por ser não aderido à estrutura do edifício. A fachada cortina é composta por painéis fixados a uma subestrutura metálica que, por sua vez, é fixada à estrutura do edifício por meio de inserts metálicos. Além da subestrutura metálica e dos painéis, existe uma câmara de ar entre a subestrutura e a fachada externa, o que permite a ventilação natural e a renovação constante do ar. Essa ventilação é importante para o controle da

temperatura e umidade internas do edifício, além de proporcionar economia de energia (Siqueira Junior, 2003).

O tipo de fachada ventilada escolhida tem uma profunda influência no desempenho térmico do edifício. A seleção adequada dos materiais, a disposição da câmara de ar, e considerações adicionais, como a área do edifício, a pressão de vento e a resistência ao fogo, são alguns dos requisitos que precisam ser atendidos para garantir o desempenho ideal.

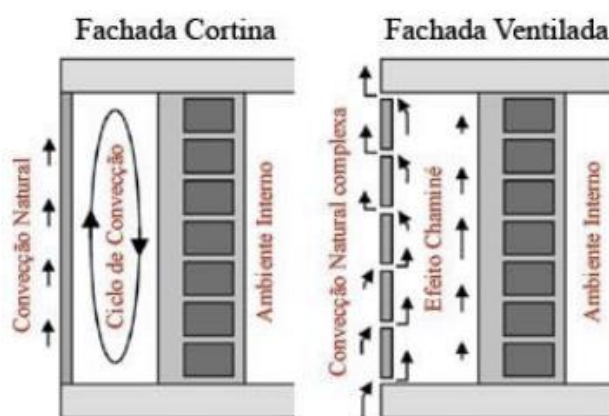
Fachadas ventiladas classificam-se, portanto, em dois tipos principais de fachadas externas: as fachadas translúcidas e as fachadas opacas.

As Fachadas Translúcidas, também conhecidas como fachadas duplas de vidro (*Double Skin Facade*), são caracterizadas por possuírem uma câmara de ar ventilada e fechamento em vidro. Esse tipo de fachada permite a passagem de luz natural para o interior do edifício, além de oferecer melhor isolamento térmico. (Maciel, 2018).

As Fachadas opacas dividem-se em três subtipos, de acordo com as suas características específicas: fachada cortina, fachada de juntas seladas e a fachada de juntas abertas.

A Fachada cortina é uma fachada com câmara de ar fechada, juntas seladas e revestimento opaco, é comumente utilizada em edifícios comerciais.

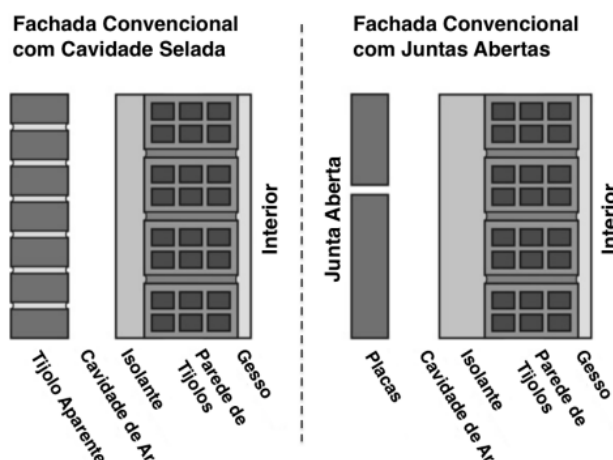
Figura 13 - Diferença na transferência de calor - fachada cortina e fachada ventilada



Fonte: Adaptado de Sanjuan et al. (2011)

A fachada ventilada de juntas seladas é uma fachada cuja câmara de ar é aberta na parte inferior e superior, com revestimento opaco e juntas entre revestimentos seladas. Oferece boa ventilação e isolamento térmico, sendo ideal para regiões com clima quente.

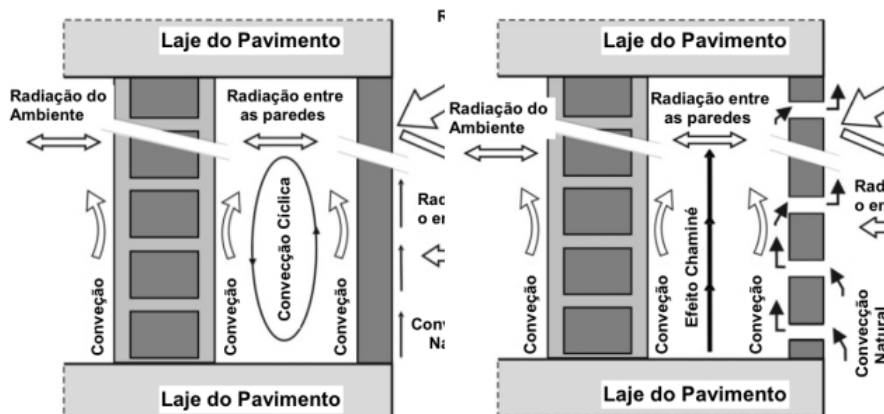
Figura 14 - Corte da fachada ventilada com juntas seladas (esq.) e com juntas abertas (dir.)



Fonte: Adaptado de Sanjuan et al. (2011b)

Por fim, a fachada ventilada de juntas abertas é uma fachada com câmara de ar aberta na parte inferior e superior, revestimento opaco e juntas entre revestimentos abertas, permitindo uma maior circulação de ar e podendo ser utilizada em edifícios residenciais e comerciais (Maciel, 2018).

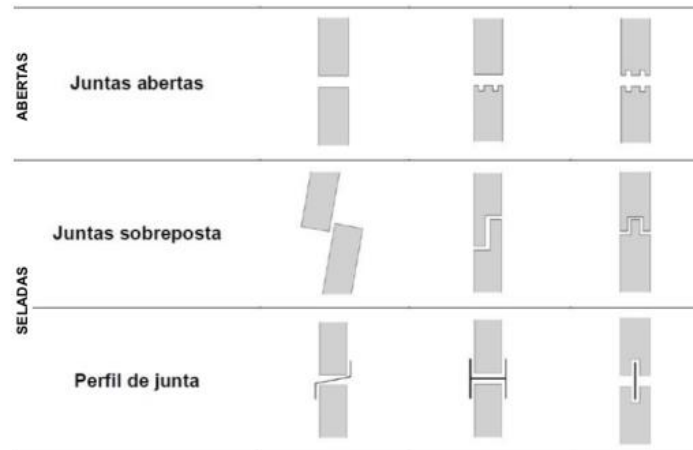
Figura 15 - Diferença uma fachada com caverna selada (esq.) com FVJA (dir.)



Fonte: Adaptado de Suárez et al. (2012)

As juntas podem ser diferenciadas pela entrada de ar externo na caverna ventilada. Nas juntas seladas, o ar é tomado pela base do plano ventilado e é liberado pela parte superior, criando um efeito de chaminé. Esse sistema permite o controle da abertura da caverna de ar e pode ser completamente fechado em condições climáticas adversas, especialmente em países com invernos longos (Penso, 2017).

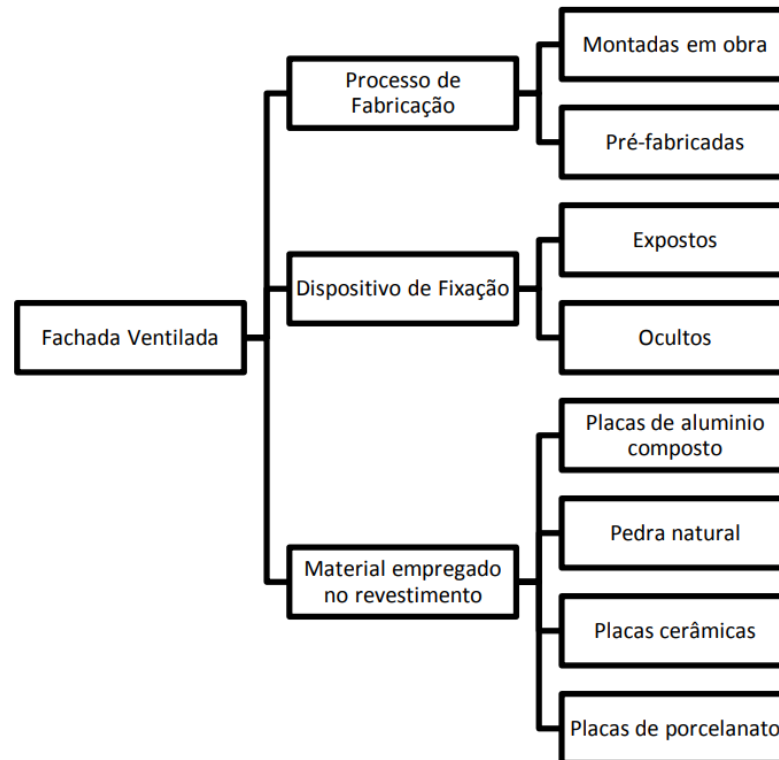
Figura 16 - Tipos de juntas em fachadas ventiladas



Fonte: (Sousa, 2010)

Outra distinção que é possível fazer sobre as fachadas ventiladas é sua classificação (Figura 17) de acordo com o seu processo de fabricação e montagem, segundo os seus dispositivos de fixação e segundo o material empregado no revestimento (Cunha, 2006).

Figura 17 - Classificação das fachadas ventiladas



Fonte: (Cunha, 2006)

2.3 Desempenho Térmico

A eficiência energética e o desempenho térmico das edificações são aspectos fundamentais para a construção sustentável. Na fase de projeto, é importante considerar a relação entre esses dois fatores. É fundamental também levar em conta o comportamento do usuário em relação aos equipamentos, especialmente o ar-condicionado. Ao integrar essas variáveis, é possível criar modelos mais realistas de análise de desempenho térmico e eficiência energética, permitindo avanços significativos no futuro (Dekay; Brown, 2014).

O conceito de edificação sustentável é abordado por diversas definições formais, que possuem em comum a presença de componentes essenciais. Arquitetos concordam que, para ser considerada sustentável, uma edificação precisa abordar mais de um problema ambiental, como o esgotamento dos recursos naturais e as emissões de carbono. Embora não possa solucionar todos os problemas, uma edificação sustentável deve buscar a conservação de energia e a eficiência no consumo de energia para alimentar sistemas de calefação, refrigeração, iluminação e força. Como a construção de edificações é um dos principais emissores de dióxido de carbono (CO_2), a redução dessas emissões é um grande desafio e, em breve, se tornará uma obrigação social e política inegociável (Keeler; Burke, 2010).

O desempenho térmico de uma edificação depende, entre outros fatores, da volumetria da edificação, da orientação de suas fachadas, do posicionamento e do sombreamento das aberturas, dos sistemas construtivos das envoltórias externas (paredes e coberturas) e de suas propriedades termo físicas (Lamberts; Dutra; Pereira, 2014). O efeito conjugado destes diversos parâmetros, em conjunto com as características climáticas do local onde o edifício está inserido, são responsáveis pelos valores das temperaturas nos ambientes internos.

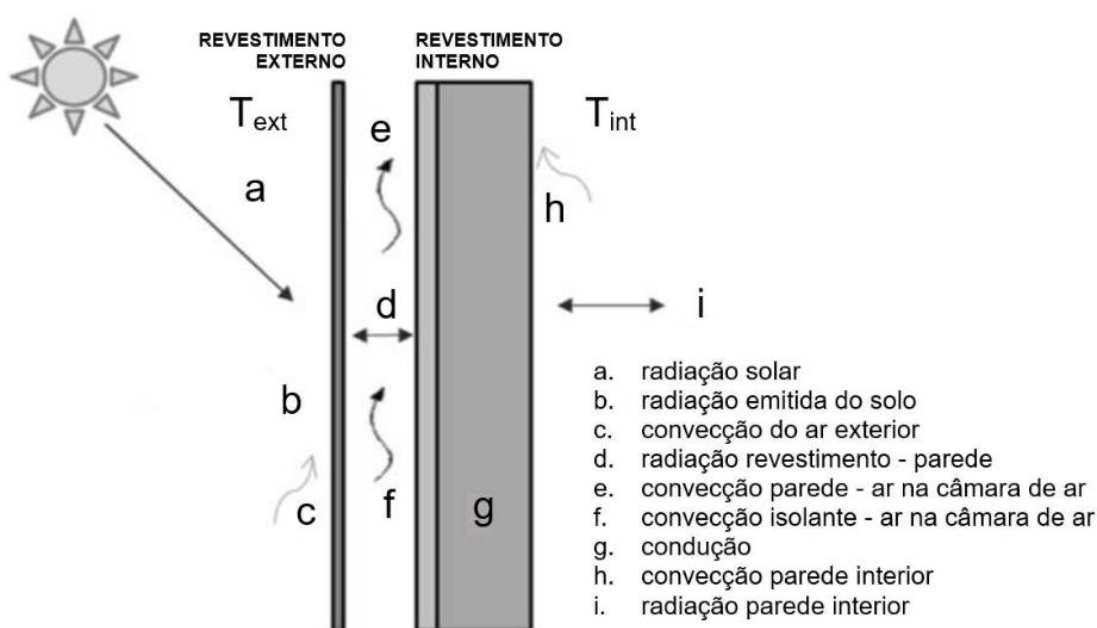
Além disso, é importante destacar que o conforto térmico dos usuários de um edifício está diretamente relacionado ao desempenho térmico da edificação. Quando o ambiente interno apresenta uma temperatura desconfortável, seja ela muito alta ou muito baixa, pode causar desconforto, fadiga e até mesmo problemas de saúde aos ocupantes. Dessa forma, é fundamental que as construções sejam projetadas levando em consideração não somente a eficiência energética, mas também o conforto térmico dos usuários. A compreensão do conceito de calor é relevante para entender como

ocorrem as trocas de energia térmica nos sistemas e como isso impacta no consumo de energia dos edifícios (Keeler; Burke, 2010).

O calor é uma forma de energia medida em Joules (J) no Sistema Internacional de Unidades e em BTUs (unidades térmicas britânicas) no Sistema Imperial (ou norte-americano). O fluxo de calor ocorre sempre do local ou massa mais quente para o mais frio. Objetos quentes em um ambiente mais frio perdem calor até atingir a temperatura ambiente, enquanto objetos frios em um ambiente quente absorvem calor até alcançar a temperatura ambiente. Durante o inverno, o calor de um edifício aquecido passa pela vedação externa para o exterior, que é mais frio, e o oposto ocorre no verão, quando o ar do exterior está mais quente. A transferência térmica natural só ocorre quando há um diferencial de temperatura. (Keeler; Burke, 2010).

Os materiais e elementos construtivos se comportam termicamente em função de suas propriedades térmicas. As propriedades dos materiais construtivos que interferem nas formas de transmissão de calor são: absorvância à radiação solar, refletância e emissividade, condutividade térmica e calor específico. Essas propriedades são fundamentais para os cálculos de resistência e transmitância térmica e capacidade térmica.

Figura 18 – Corte esquemático da fachada ventilada



Fonte: (Atem, 2016)

O impacto da carga térmica dos edifícios, resultante da incidência de radiação solar, dependerá, entre outros fatores, de uma propriedade denominada absorvância solar. Além da composição dos materiais de construção, a cor das superfícies externas da edificação também desempenha um papel importante nos ganhos de calor proveniente do sol. Isso ocorre porque a cor está diretamente relacionada com a absorvância solar, que é uma propriedade superficial dos revestimentos externos que determina a quantidade de energia radiante absorvida pela radiação solar. Dessa forma, o controle da absorvância solar é uma estratégia fundamental para garantir o desempenho térmico adequado de uma edificação, já que essa propriedade determina o impacto térmico da radiação solar sobre as superfícies externas da construção. É importante ressaltar que a cor externa da edificação pode ser alterada através da aplicação de tintas ou outros revestimentos especiais, a fim de controlar a absorvância solar e garantir o conforto térmico no interior da construção. (Dornelles, 2008).

A radiação é uma das formas de transferência de calor, ocorrendo na forma de ondas eletromagnéticas. A temperatura do objeto influencia a quantidade de energia radiante emitida ou absorvida, assim como a frequência da radiação. No entanto, a intensidade de energia radiante emitida por um objeto quente é maior do que a absorvida pelos objetos frios ao seu redor. O sol, por exemplo, emite radiação com comprimento de onda relativamente curto, como ondas ultravioletas e ondas infravermelhas curtas. Por outro lado, objetos quentes ou à temperatura ambiente emitem ondas infravermelhas longas. A radiação é transmitida, absorvida, refletida e emitida quando incide sobre um objeto. A intensidade de energia radiante em uma superfície é medida em Watts por metro quadrado (W/m^2). Quando a radiação solar passa por um material transparente ou translúcido, parte dela é absorvida e aquece o material, enquanto outra parte é refletida de volta. O comprimento de onda transmitido depende das propriedades do material. (Keeler; Burke, 2010).

A emissividade é uma propriedade importante do material utilizado no revestimento, pois influencia a quantidade de calor que a superfície pode irradiar livremente. Um material com alta emissividade é capaz de dissipar energia térmica com facilidade, enquanto um com baixa emissividade tem sua capacidade de irradiar calor limitada. É importante ressaltar que a emissividade é influenciada por diferentes tratamentos superficiais. Um painel de metal polido, por exemplo, tem emissividade infravermelha mais baixa do que um que não é polido. Ao considerar a eficiência energética do revestimento externo, é necessário levar em conta a capacidade de

refletir a radiação solar. O índice de refletância solar (IRS) é uma medida que combina a refletância e a emissividade de raios infravermelhos, e indica a capacidade do material de rejeitar calor solar. Uma vidraça com alta refletância solar pode ter sua emissividade reduzida por meio da aplicação de revestimentos, como películas, melhorando a eficiência energética do edifício. (Keeler; Burke, 2010).

A condutividade térmica é um fenômeno importante na construção civil, especialmente quando se trata da transferência de calor através das fachadas dos edifícios. Quando dois objetos com temperaturas diferentes estão em contato direto, o calor é transferido por condução, e essa transferência ocorre não apenas dentro de um objeto ou material, mas também entre dois objetos que estão em contato. A taxa pela qual o calor é transferido por condução através de um material é medida pela condutividade térmica (k). Um valor k mais baixo indica uma taxa de transferência de calor reduzida, o que é importante para limitar a transferência térmica por condução entre o interior e o exterior de um prédio. (Keeler; Burke, 2010).

Materiais, como aqueles utilizados em paredes espessas de alvenaria, são comumente utilizados na arquitetura tradicional para fornecer uma maior capacidade térmica por sua elevada massa e maior resistência térmica por sua elevada espessura. Além disso, é importante escolher materiais com baixa condutividade térmica para as fachadas, a fim de limitar a transferência de calor do exterior para o interior e vice-versa. A escolha dos materiais corretos e o uso da tecnologia adequada podem reduzir significativamente os custos de energia de um edifício, além de aumentar o conforto térmico de seus ocupantes. (DEKAY; BROWN, 2014; KEELER; BURKE, 2010).

A resistência térmica é caracterizada pela capacidade dos materiais de resistir à transferência de calor, e é indicada pelo valor R_T . Materiais com maior isolamento térmico, têm maior resistência térmica e reduzem a transferência de calor. Isso é especialmente útil em fachadas de edifícios, quando a capacidade térmica ajuda a manter uma temperatura mais estável dentro do edifício. (Sorgato; Melo; Lamberts, 2016).

A transmitância térmica U é uma medida da facilidade com que o calor é transmitido através de um material. Em edificações, essa propriedade é especialmente importante para os fechamentos opacos, que não permitem a passagem da radiação solar direta para o ambiente interno. A resistência térmica de cada camada do fechamento (incluindo as superfícies interna e externa) contribui para

a resistência total do sistema construtivo, que por sua vez é o inverso da transmitância térmica (U). A transmitância térmica é, portanto, uma medida importante do desempenho térmico de um fechamento opaco, pois permite avaliar sua capacidade de reduzir a transmissão de calor através dele. Com base na transmitância térmica, é possível comparar diferentes opções de fechamentos opacos e avaliar o impacto do desgaste ou envelhecimento das camadas sobre o desempenho térmico ao longo do tempo. (Lamberts; Dutra; Pereira, 2014).

No caso do vidro, a radiação solar nos comprimentos de onda visíveis é transmitida em sua maioria. No entanto, a radiação emitida pelos objetos terrestres, em ondas longas, não é transmitida através do vidro. Assim, quando a radiação solar entra em um espaço através de uma janela envidraçada, a radiação emitida pelos objetos no interior não é transmitida, criando um efeito estufa.

É importante ressaltar que a escolha de materiais com propriedades adequadas pode influenciar na transmissão de radiação e, conseqüentemente, no controle da temperatura em um ambiente. O uso de vidros especiais, por exemplo, pode reduzir a entrada de radiação solar no interior de um edifício, reduzindo a necessidade de resfriamento em sistemas de ar-condicionado.

Na construção civil, é importante considerar a convecção como um fator que influencia na transferência de calor. A convecção ocorre quando um fluido entra em contato com um sólido em temperatura diferente. Quando o fluido é aquecido, torna-se menos denso e tem um movimento ascendente, transferindo o calor para cima. Esse processo também pode ser desencadeado por vento ou pelo uso de bombas. Nos prédios, a convecção indesejada pode ocorrer através de vedações externas mal projetadas, causando infiltração de ar. Para evitar essa transferência de calor indesejada, é fundamental utilizar materiais de revestimento externo que possuam uma barreira de ar eficiente e detalhes construtivos bem desenhados. Dessa forma, é possível reduzir as perdas de calor por convecção e manter um ambiente interno mais confortável. (Keeler; Burke, 2010).

A convecção pode ter trocas de calor diferentes de acordo com a direção do fluxo de calor. A resistência térmica de câmaras de ar depende da emissividade das superfícies internas da câmara de ar e de sua espessura. Conforme apresentado na Figura 19 a resistência térmica aumenta com o aumento da espessura da câmara de ar, mas espessuras maiores que 5 cm não alteram a capacidade de isolamento térmico do sistema. Por outro lado, a utilização de uma das superfícies internas da

câmara de ar com superfície com baixa emissividade aumenta significativamente o desempenho térmico de um sistema.

Figura 19 - Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas

Natureza da superfície da câmara de ar	Espessura da câmara de ar (mm)	Resistência térmica do ar R_{AR} (m ² K/W)		
		DIREÇÃO DO FLUXO DE CALOR		
				
Superfície não refletora (caso geral) $\epsilon > 0,8$	10 – 20	0,14	0,13	0,15
	20 – 50	0,16	0,14	0,18
	> 50	0,17	0,14	0,21
Uma superfície refletora $\epsilon > 0,2$	10 – 20	0,29	0,23	0,29
	20 – 50	0,37	0,25	0,43
	> 50	0,34	0,27	0,61

Fonte: (Lamberts; Dutra; Pereira, 2014).

A convecção natural do ar ocorre por efeito chaminé quando a entrada e a saída de ar são separadas por uma distância vertical adequada, e a estratificação do ar no cômodo cria uma corrente de ar ascendente. Ele pode ser explorado na arquitetura para aumentar a eficiência energética dos edifícios. Uma estratégia comum é a utilização de aberturas no alto e embaixo das fachadas para criar uma ventilação cruzada que permita a circulação do ar quente para fora e do ar frio para dentro. Esse processo pode ser utilizado para resfriar o interior do edifício em climas quentes, reduzindo a necessidade de sistemas de ar-condicionado, ou para ventilar o espaço em climas mais frios, ajudando a reduzir o acúmulo de umidade e melhorar a qualidade do ar. (Keeler; Burke, 2010).

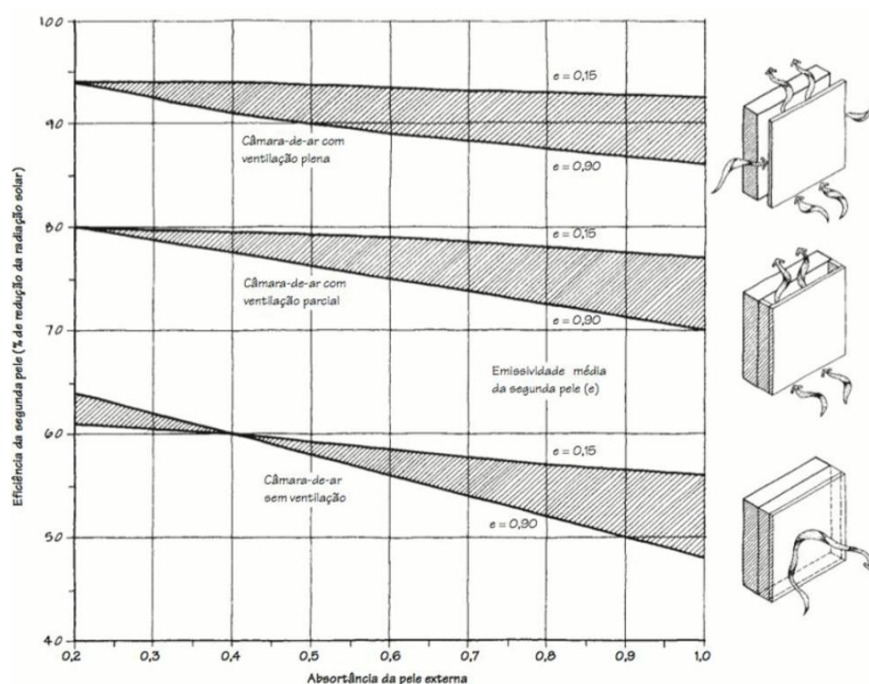
Contudo, embora o efeito chaminé de fato crie uma ventilação mesmo na ausência do vento, ele é um efeito fraco, e o movimento do ar é lento. As chaminés solares e os ventiladores de exaustão podem ser utilizados para reforçar o efeito chaminé. É necessária uma velocidade do ar superior a 0,8 km/h para que o usuário note qualquer mudança na temperatura equivalente. Se o ar estiver quente, mas não úmido, poderá ser necessária uma velocidade de ar superior a 3,7 km/h, mas em climas quentes e úmidos, serão precisos mais de 7,2 km/h. (Keeler; Burke, 2010).

A relação da espessura da cavidade é relacionada com a velocidade do ar na cavidade proveniente do efeito chaminé. Quanto maior a largura da cavidade, menor é a velocidade do ar por efeitos da convecção do ar. Para uma dada quantidade de

calor que é transferida para dentro da cavidade, o aumento da largura da cavidade afeta no gradiente de temperatura e fenômenos físicos que envolvem o efeito chaminé e, quando observado os aspectos relacionados à convecção.

A Figura 20 mostra as relações entre as trocas por convecção e por radiação que podem ocorrer em fachadas ventiladas e, pode-se observar que quanto menor a absorptância da camada externa, o que representa uma cor clara, maior a eficiência do sistema em relação ao desempenho térmico.

Figura 20 - Eficiência da segunda pele conforme ao características de projeto.



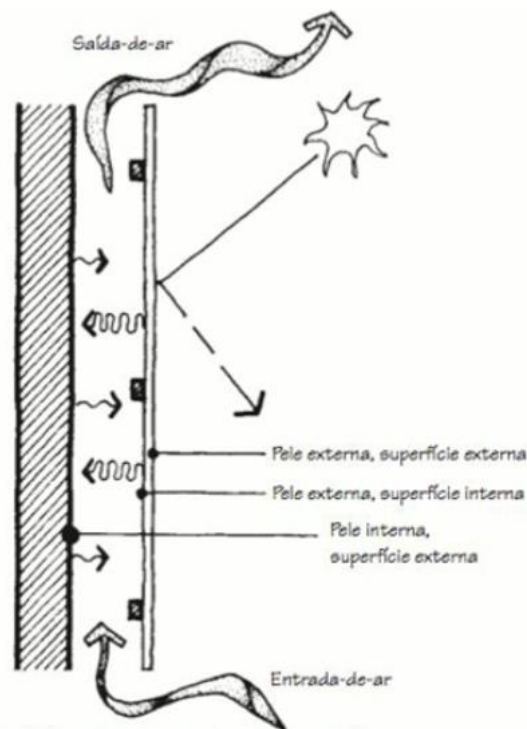
Fonte: (Dekay; Brown, 2014)

Conforme Lamberts, Dutra e Pereira (2014), a ventilação natural desempenha um papel fundamental como estratégia passiva no contexto brasileiro. Em temperaturas situadas entre 20°C e 32°C, ocorrem ganhos térmicos por convecção que podem funcionar mais como aquecimento do ambiente do que como resfriamento. Além disso, a eficiência da ventilação nesse intervalo de temperatura está relacionada a uma umidade relativa do ar entre 15% e 75%. Independentemente da estação do ano, a ventilação é uma necessidade constante no ambiente construído, embora as demandas sejam distintas. No verão, a ventilação é essencial para questões térmicas e higiênicas, enquanto no inverno, seu propósito é puramente higiênico.

Sanjuan et al. (2011) explicam que o fluxo de ar na câmara de ar das fachadas ventiladas é ascendente em toda a largura e não forma um círculo convectivo, e sendo

essas duas características que favorecem a remoção de calor das paredes da cavidade e produzem vantagem significativa das fachadas ventiladas sob condições de radiação solar, conforme apresentado na Figura 21.

Figura 21 - Corte esquemático de uma parede com segunda pele.



Fonte: (Dekay; Brown, 2014)

A geometria da cavidade compreende a profundidade e a altura da fachada ventilada, bem como a forma das camadas de construção individuais, e esses parâmetros têm influência direta sobre a ventilação e o desempenho térmico. Um estudo do início do século 21 determinou que um canal mais largo era necessário no verão para um efeito de resfriamento solar sensível, denotado por uma redução de 27,5% no superaquecimento com largura de 35 centímetros (cm) em comparação com apenas 7% com largura de 7cm. Da mesma forma, a vazão mássica no canal aumenta com a largura da cavidade e o efeito chaminé aumenta, com impacto máximo quando a largura da cavidade é de 20-30 cm (Balocco, 2002).

Alguns dos estudos mais recentes confirmam ainda mais esta relação exata entre a profundidade da cavidade e o desempenho da fachada ventilada. Saroglou et al. (2020) descobriram que para uma fachada ventilada para edifícios altos em Tel-Aviv, Israel, aumentando a largura da cavidade de 0,2 metros (m) para 0,5m, as cargas de resfriamento diminuem significativamente, mas ainda há reduções substanciais com 0,5m a 1,0m e 1,0m a 2,0m. Da mesma forma, utilizando o EnergyPlus, Alberto

et al. (2017) descobriram que aumentar a profundidade da cavidade de 0,25m para 1,0m resultou em uma diminuição na demanda de energia de 9,5% no modo de ventilação de cortina de ar interno.

Wen et al. (2017) realizaram análise CFD (Computational Fluid Dynamics) e testes experimentais de um edifício com fachada ventilada em Wuhan, China e descobriram que quando a dimensão da saída é 0,3-0,45m, a velocidade do ar da saída atinge a velocidade máxima de 4m/s para uma altura de abertura de 0,05 m. No entanto, quando a altura da saída aumenta ainda mais para 0,6 m, a velocidade do ar na saída diminui para cerca de 2,5-3 m/s. Para um edifício totalmente envidraçado nos Emirados Árabes Unidos, Radhi et al. (2013) usaram CFD para avaliar o desempenho térmico de um Sistema de Fachada Responsivo ao Clima em cargas de resfriamento. Os resultados sugeriram que os coeficientes de transferência de calor aumentam em níveis mais altos do edifício porque o fluxo fica mais quente à medida que sobe em direção ao topo da cavidade, de modo que os pisos em níveis mais altos ganham mais calor.

Tao et al. (2022) avançaram nos estudos computacionais de uma fachada ventilada, onde os autores observaram como a mudança da área, altura e proporção da cavidade afeta a taxa de fluxo de ventilação e a qualidade do ar interno na sala adjacente para as estações de transição, outono e primavera. A maior taxa de ventilação natural é alcançada com maior tamanho de ventilação de suprimento de ar, menor altura de instalação e relação de aspecto mais estreita.

Yoon et al. (2022) também analisou a importância da relação de aspecto no desempenho da fachada ventilada, mas também parâmetros como a relação entre abertura e envidraçamento e coeficiente de ganho de calor solar para uma fachada ventilada em um prédio de escritórios na Coreia. Os resultados para condições de verão indicam que um coeficiente de ganho de calor solar mais alto aumenta a taxa de fluxo de ar de entrada e um efeito de resfriamento é maior quando a profundidade da cavidade aumenta para 0,9m. No inverno, quando as taxas de ventilação foram mantidas dentro dos requisitos mínimos, as temperaturas do ar interno foram 2°C mais altas.

3 MÉTODO

Para avaliar o desempenho térmico de fachadas ventiladas em edifícios comerciais, foi adotado um estudo de caso como parte do desenvolvimento do estudo proposto. A simulação computacional dinâmica, realizada através do software EnergyPlus, foi escolhida como método de análise.

Revisão Bibliográfica: Nesta etapa, foram selecionados trabalhos relevantes sobre o tema em bases de dados importantes da área. A seleção desses estudos foi baseada em critérios que incluíam a escolha de publicações dos últimos dez anos que continham pelo menos uma das palavras-chave de busca: “fachadas ventiladas”, “desempenho térmico” e “desempenho de fachadas”.

Na primeira etapa, foi realizada a caracterização do clima de Porto Alegre, considerando as principais características climáticas da região, como temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar. Essa etapa é fundamental para a escolha de estratégias de projeto que se adequem ao clima da região.

Seleção do Estudo de Caso: Aqui, foi escolhido um estudo de caso que serviu como Caso Base para as avaliações das diferentes tipologias de fachadas.

Definição dos Casos de Referência: Esta etapa envolveu a definição dos Casos de Referência, que representaram a adição, remoção ou substituição de alguns componentes da fachada do Caso Base. Esses parâmetros, presentes na arquitetura contemporânea, poderiam melhorar o desempenho térmico do edifício.

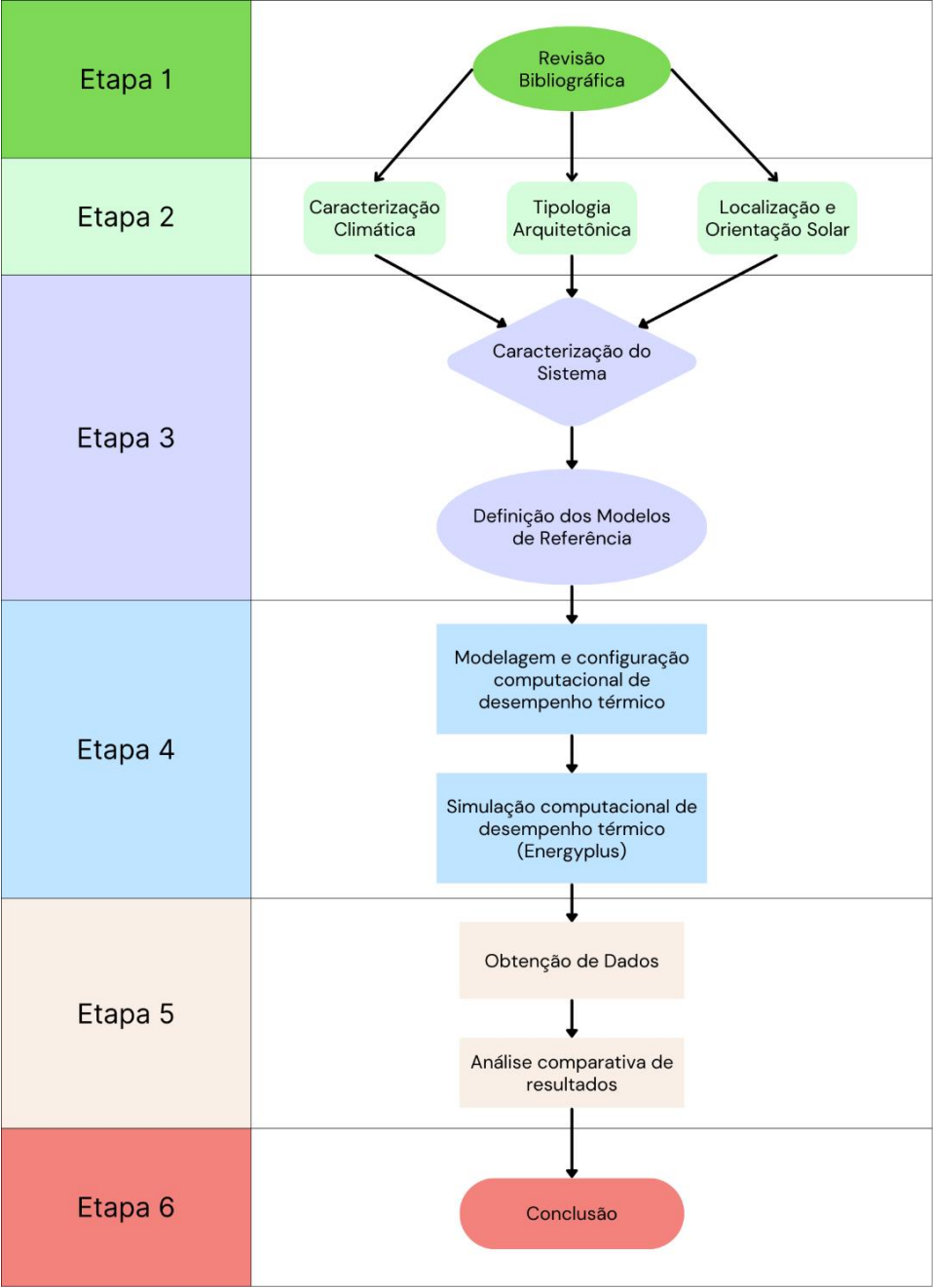
Modelagem e Configuração Computacional: Esta fase envolveu a modelagem e configuração computacional para a avaliação térmica do Caso Base.

Simulações Computacionais: Nesta etapa, foram realizadas simulações computacionais para avaliar as variáveis de 24 modelos de fachadas ventiladas com diferentes espessuras de câmara de ar e materiais de substrato (vidro laminado, vidro insulado e alvenaria), considerando a absorvância referente ao material (ACM e cerâmico). Esses modelos foram simulados para avaliar o desempenho térmico nas condições climáticas do ano na cidade de Porto Alegre.

Análise de Resultados: os resultados obtidos pelas simulações computacionais foram processados e comparados. O objetivo era identificar quais tipologias de fachadas apresentaram o melhor desempenho térmico.

Conclusão: Por fim, esta etapa envolve a conclusão da pesquisa e a elaboração do texto final. Todas essas etapas e seus estágios são apresentados de forma esquemática na tabela 1.

Tabela 1 – Fluxograma das Etapas



Fonte: (autor, 2024)

Com a realização dessas etapas, espera-se obter um conjunto de informações relevantes para a escolha adequada de estratégias de projeto para fachadas ventiladas em edifícios de Porto Alegre, buscando garantir o conforto térmico dos usuários e a eficiência energética dos edifícios.

3.1 Caracterização Climática

Este estudo é proposto para analisar a influência da radiação solar no desempenho térmico de fachadas ventiladas, com um foco específico na cidade de Porto Alegre, localizada na região sul do Brasil. A escolha de Porto Alegre como objeto de estudo deve-se à sua localização geográfica e características climáticas, que desempenham um papel fundamental na incidência dos raios solares e, conseqüentemente, no desempenho térmico de edifícios com fachadas ventiladas.

Conforme os dados apresentados na Tabela 2, Porto Alegre, localizada na região sul do Brasil, possui uma latitude maior em comparação com algumas outras cidades analisadas. Esta latitude influencia a incidência dos raios solares, resultando em variações na quantidade de radiação solar recebida, o que é corroborado pelos dados climáticos.

Tabela 2 - Dados climáticos de Porto Alegre

Localização	No Brasil		Região Sul		
	No Estado		Região Leste		
	Latitude		-30,033		
	Longitude		-51,23		
	Altitude		3m		
Classificação climática	Köppen		Cfa		
	IBGE		Temperado, mesotérmico branco, super úmido, sem seca		
Médias anuais	Temperatura média		19,3 °C		
	Variação de temp.		10,9 °C		
	Umidade Relativa		82%		
	Precipitação (média acumulada)		1168mm		
	Radiação solar		197,9 (Wh/m²)		
Inverno (médias mensais)	Meses mais frios		Mai	Jun	Jul
	Temp. do ar (°C)		14,8	14,9	13,7
	Amplit. Térmica (°C)		12,3	7,5	8,1
	Precipitação (mm)		171	62	77
	Umidade rel. (%)		83,9	89,6	87,7
	Rad. solar (Wh/m2)		133	116	113
Verão (médias mensais)	Meses mais quentes		Jan	Fev	Mar
	Temp. do ar (°C)		24,6	24,3	23,4
	Amplit. Térmica (°C)		10,9	9,1	9,8
	Precipitação (mm)		153	123	78
	Umidade rel. (%)		80	81,6	81
	Rad. solar (Wh/m2)		260	241	220

Fonte: Dados INMET 2016, adaptado pelo autor.

De acordo com a classificação do IBGE (2002), Porto Alegre não se enquadra na definição de clima mesotérmico brando, pois sua média de temperatura não está entre 10°C e 15°C. No período de inverno, Porto Alegre tem a menor temperatura média mensal, chegando a 13,7°C no mês mais frio. Em seu mês mais frio (julho), Porto Alegre apresenta a menor amplitude térmica.

Segundo a classificação climática de Köppen (1948), Porto Alegre apresenta um clima temperado úmido com verão quente (Cfa), ou seja, estações de verão e inverno bem definidas, ocorrência de precipitação em todos os meses do ano, inexistência de estação seca definida, temperaturas médias do ar nos três meses mais frios entre -3°C e 18°C e no mês mais quente maior que 22°C).

Os dados climáticos de temperatura, precipitação e umidade relativa do ar confirmam essa classificação. Portanto, a análise climática de Porto Alegre é fundamental para entender o impacto da radiação solar no desempenho térmico das fachadas ventiladas na cidade.

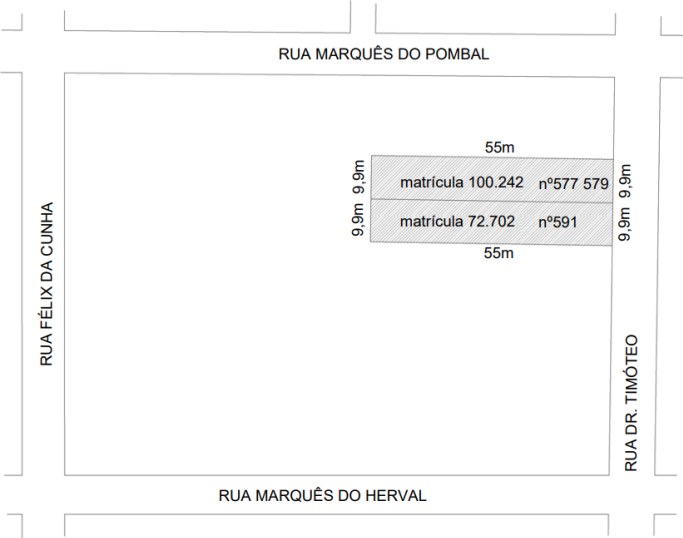
3.2 Estudo de Referência

O edifício objeto do estudo de referência está localizado próximo ao centro de Porto Alegre-RS, no bairro Moinhos de Vento, especificamente na Rua Dr. Timóteo, 577 (Figura 22). Este bairro é um dos mais históricos de Porto Alegre, conhecido por sua arquitetura charmosa e rica história cultural.

O projeto do hotel Park Plaza Moinhos 1903 enfrentou o desafio de criar uma estrutura que pudesse não apenas acomodar o Grêmio Foot-Ball Porto Alegrense, mas também atender ao público em geral. A concepção do edifício levou em consideração a necessidade de integrar funcionalidade e estética, proporcionando um espaço que fosse ao mesmo tempo prático e acolhedor para os hóspedes.

Além disso, o projeto teve que harmonizar com o entorno histórico do bairro, respeitando as características arquitetônicas locais e contribuindo para a preservação do patrimônio cultural. O resultado foi um edifício que se destaca pela sua elegância e pela capacidade de atender a diversas necessidades, desde a hospedagem de equipes esportivas até a recepção de turistas e visitantes da cidade (OSPA, 2024).

Figura 22 - Planta de situação



 **PLANTA DE SITUAÇÃO**
S/ESC.

Fonte: (autor, 2024)

Através de uma forma sóbria e atemporal, a estrutura do edifício é projetada como um prisma retangular que cria um balanço na sua entrada principal. Dois planos laterais definem o volume: as fachadas frontal e traseira apresentam grandes aberturas recuadas, com seus andares destacados por beirais de concreto e brises em tons de cinza dispostos alternadamente. Nas faces laterais, as janelas são posicionadas de maneira variada, oferecendo diferentes tipos de iluminação para os apartamentos.

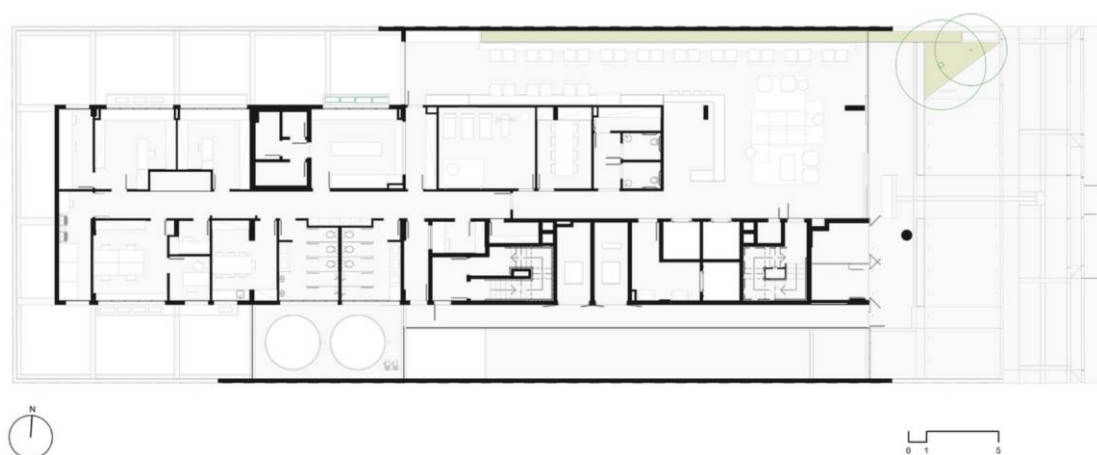
Figura 23 - Imagem do Edifício de referência



Fonte: (OSPA, 2024)

O programa de necessidades do edifício é organizado de maneira lógica: a base e o topo são destinados a áreas sociais e de suporte, enquanto oito andares padrão acomodam um total de 144 apartamentos. No nível do térreo, próximo à entrada, existe um restaurante e um bar que proporcionam uma atividade constante na escala do pedestre.

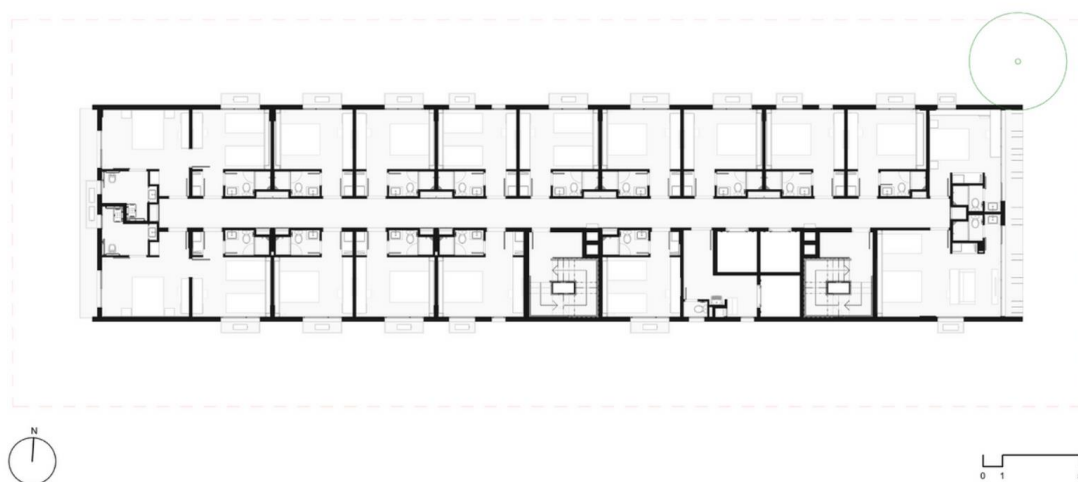
Figura 24 - Planta do Térreo



Fonte: (autor, 2024)

Os apartamentos da fachada leste são considerados os principais apartamentos do edifício. Estes apartamentos são privilegiados com uma vista panorâmica, graças à sua orientação estratégica. A luz do sol da manhã inunda esses apartamentos, proporcionando um ambiente luminoso e acolhedor. Além disso, o design inteligente desses apartamentos maximiza a ventilação natural, criando um ambiente confortável durante todo o ano.

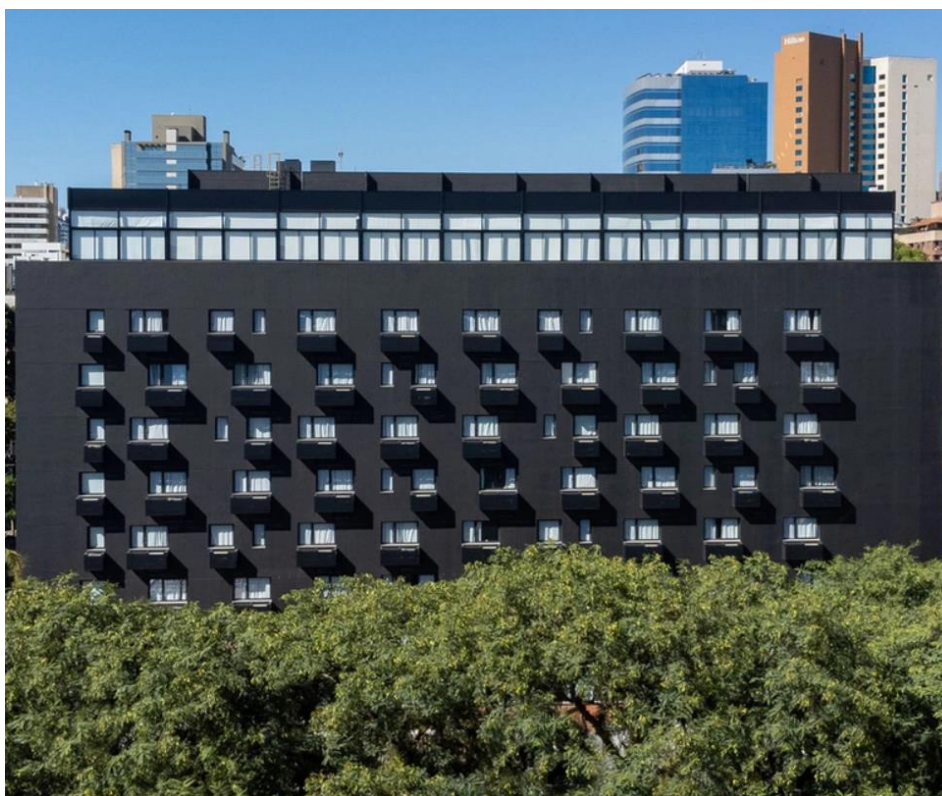
Figura 25 - Planta do Tipo



Fonte: (autor, 2024)

No topo do edifício, um espaço ideal para socialização em dias de jogo complementa o projeto: um bar com um museu temático do clube, que oferece vistas panorâmicas da cidade e possui aberturas zenitais móveis que permitem a transformação do espaço em uma área ao ar livre, quando desejado.

Figura 26 - Imagem da Fachada Lateral



Fonte: (OSPA, 2024)

Este estudo se dedica à análise da fachada de um edifício, deixando de lado a base do mesmo para evitar qualquer distorção nos resultados da avaliação de desempenho térmico. A fachada é caracterizada por uma camada inicial de brises em tons de cinza dispostos de forma alternada, seguida por uma esquadria de vidro insulado absorvente cinza com uma persiana interna acoplada.

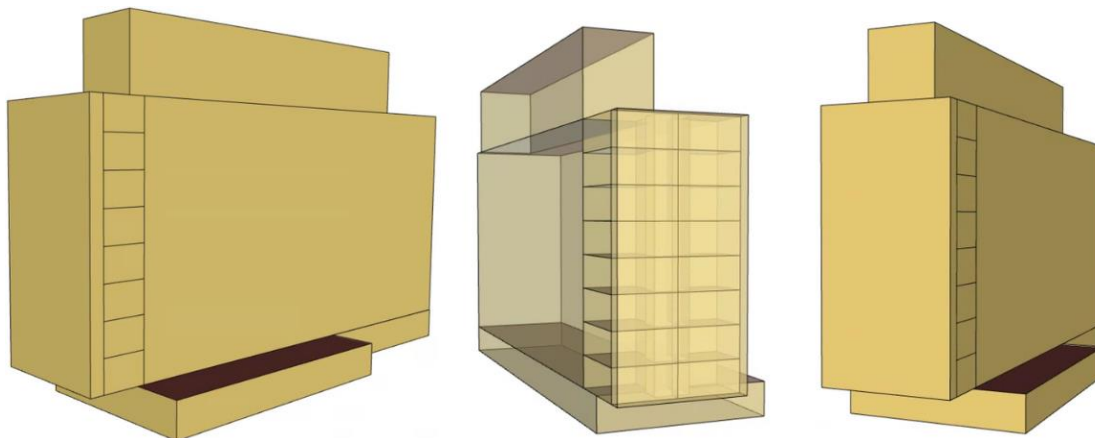
A edificação foi escolhida como objeto de estudo devido ao seu sistema construtivo, aos materiais utilizados e às estratégias de controle solar empregadas, além da evidente qualidade construtiva. Isso é demonstrado pela presença de um dispositivo de sombreamento acoplado aos vidros, um forro de perfis metálicos rebaixado para a passagem de cabos de instalações e lã de vidro para isolamento térmico e acústico entre os andares, refletindo a preocupação com o conforto dos usuários.

3.3 Caracterização dos modelos de referência

Para permitir a comparação dos desempenhos térmicos de diferentes tipos de fachadas ventiladas, foi definido um modelo chamado Caso Base. Este modelo é

semelhante ao objeto do estudo de caso, mas simplificado, conforme ilustrado na Figura 28.

Figura 27 - Caso Base



Fonte: (autor, 2024)

Na Tabela 3, são detalhadas a composição das paredes externas e as propriedades térmicas dos materiais utilizados em sua construção. Essas propriedades incluem espessura (e), condutividade térmica (λ), densidade de massa aparente (p), calor específico (c), resistência térmica (R), capacidade térmica (CT) e transmitância térmica (U).

Tabela 3 - Composição das paredes externas

Composição das paredes externas	e (m)	λ (W/mK)	p (kg/m ³)	c (kJ/kgK)	R (m ² /WK)	CT (KJ/m ² . k)	U [W/(m ² k)]
Reboco externo	0,025	1,15	2000	1000			
Cerâmica	0,16	0,9	784,65	920	0,39	215,5	2,56
Reboco interno	0,025	1,15	2000	1000			

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 15220-2:2005 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005)

As propriedades ópticas do vidro utilizado como revestimento externo, bem como dos demais presentes nas esquadrias, estão apresentadas na Tabela 4 e foram configuradas no campo “Window Material: Glazing” no software EnergyPlus. Todas as esquadrias das janelas do Caso Base são de alumínio do tipo maxim-ar, compostas por vidro laminado (vidro laminado cinza de 6 mm + câmara de ar de 13 mm + vidro

laminado incolor de 6 mm) e vidro insulado (vidro absorvente cinza de 6 mm + câmara de ar de 13 mm + vidro incolor de 6 mm).

Tabela 4 - Propriedades ópticas dos vidros utilizados na simulação computacional

Propriedades ópticas dos vidros	Vidro absorvente cinza 6mm	Vidro laminado incolor 6mm
Espessura (mm)	6mm	6mm
Transmitância a radiação solar (incidência normal)	0,493	0,769
Refletância a radiação solar na face 1 (incidência normal)	0,06	0,074
Refletância a radiação solar na face 2 (incidência normal)	0,063	0,073
Transmitância a radiação solar no espectro visível (incidência normal)	0,437	0,892
Refletância a radiação visível na face 1 (incidência normal)	0,058	0,084
Refletância a radiação visível na face 2 (incidência normal)	0,062	0,083
Transmitância em ondas longas (incidência normal)	0	0
Emissividade em ondas longas na face 1 (incidência normal)	0,84	0,84
Emissividade em ondas longas na face 2 (incidência normal)	0,84	0,84
Condutividade (W/m². k)	0,68	0,68

Fonte: LBNL, 2024

O entrepiso é constituído por uma laje de concreto com 10 cm de espessura, revestida com piso cerâmico, conforme especificado na Tabela 5.

Tabela 5 - Configuração do entrepiso

Composição do piso	e (m)	λ (W/mK)	p (kg/m³)	c (kJ/kgK)	R (m²/WK)	U [W/(m²k)]
Piso cerâmico	0,012	0,9	1600	920		
Argamassa de assentamento	0,01	1,15	2000	1000	0,241	4,146
Laje de concreto	0,1	1,75	2200	1000		

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 15220-2:2005 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005)

A cobertura da edificação possui dois tipos de fechamentos: uma parte é composta por telhas de fibrocimento e a outra por um terraço. A configuração detalhada do telhado está apresentada na Tabela 6. A configuração detalhada do terraço está apresentada na Tabela 7.

Tabela 6 - Composições da cobertura

Composição - Telhado	e (m)	λ (W/mK)	p (kg/m ³)	c (kJ/kgK)	R (m ² /WK)	U [W/(m ² k)]
Telha de fibrocimento	0,007	0,95	1900	840		
Câmara de ar	0,21	-	-	-		
Laje de concreto	0,1	1,75	2200	1000	2,652	0,377
Reboco	0,025	1,15	2000	1000		
Lã de vidro	0,1	0,045	50	700		
Forro	0,015	230	2700	880		

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 15220-2:2005 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005)

Tabela 7 – Composições do terraço

Composição - Terraço	e (m)	λ (W/mK)	p (kg/m ³)	c (kJ/kgK)	R (m ² /WK)	U [W/(m ² k)]
Piso cerâmico	0,012	0,9	1600	920		
Argamassa de assentamento	0,01	1,15	2000	1000		
Laje de concreto	0,1	1,75	2200	1000	2,652	0,406
Reboco	0,025	1,15	2000	1000		
Lã de vidro	0,1	0,045	50	700		
Forro	0,015	230	2700	880		

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 15220-2:2005 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005)

As características construtivas do edifício estão detalhadas na Tabela 8. Durante a modelagem, as superfícies foram consideradas planas para permitir a posterior configuração dos elementos construtivos com suas respectivas propriedades térmicas.

Tabela 8 - Componentes construtivos

Parâmetros construtivos do edifício	
Estrutura	Concreto armado. Laje de 10cm de espessura
Paredes externas	Alvenaria de tijolo comum (9cm) + reboco (2,5cm) em ambos os lados
	Vidro insulado 6mm + alvenaria de tijolo comum (9cm) + reboco (2,5cm) em ambos os lados
	Vidro laminado 6mm + alvenaria de tijolo comum (9cm) + reboco (2,5cm) em ambos os lados
Cobertura	Laje impermeabilizada e telha de fibrocimento
Forro	Perfis de alumínio para passagem de instalações + preenchimento de lã de vidro
Piso	Piso cerâmico

Fonte: (autor, 2024)

Os modelos mantiveram a configuração do Caso Base em relação aos padrões de ocupação, iluminação, equipamentos, climatização e parâmetros construtivos. As únicas modificações realizadas foram nas características da fachada, com o objetivo de analisar o desempenho térmico das diferentes tipologias. A Tabela 9 apresenta um resumo da configuração computacional no EnergyPlus, comum a todos os modelos analisados. Os dados computacionais específicos das diferentes tipologias de fachadas são apresentados posteriormente.

Tabela 9 - Configuração computacional software EnergyPlus

Localização	Porto Alegre-RS (Latitude: -30°05', Longitude: -51°16')
	Arquivo climático de Porto Alegre (INMET, 2018)
Divisão das zonas térmicas	A divisão interna das zonas térmicas manteve-se constante em todas as simulações. No entanto, os parâmetros da fachada variaram, incluindo as dimensões das aberturas, a presença ou ausência de revestimento de vidro, cavidades ventiladas, entre outros.
Envelope construtivo	Constante
	Estrutura de concreto armado, laje de 10cm de espessura
	Cobertura - fibrocimento e terraço
	Forro
	Piso - revestimento cerâmico-
	Varável
	Paredes externa
	Janelas (tipo de vidro)
	Dimensão da cavidade ventilada
	Fachada Ventilada

Fonte: (autor, 2024)

Neste estudo, foram desenvolvidos 24 modelos de fachadas ventiladas, variando em espessuras de câmara de ar e tipos de materiais de substrato, incluindo vidro laminado, vidro insulado e alvenaria. Além disso, será considerada a absorvância dos materiais, tanto em tonalidades claras quanto escuras, especificamente para os materiais ACM e cerâmico.

Tabela 10 - Modelos para análise térmico com revestimento cerâmico

	CER1	CER2	CER3	CER4	CER5	CER6	CER7	CER8	CER9	CER10	CER11	CER12
ALFA 1	X	X	X	X	X	X						
ALFA 2							X	X	X	X	X	X
ESP1	X	X	X				X	X	X			
ESP2				X	X	X				X	X	X
ALVENARIA	X			X			X			X		
VIDRO 1		X			X			X			X	
VIDRO 2			X			X			X			X

Fonte: (autor, 2024)

Tabela 11 - Modelos para análise térmico com revestimento de ACM

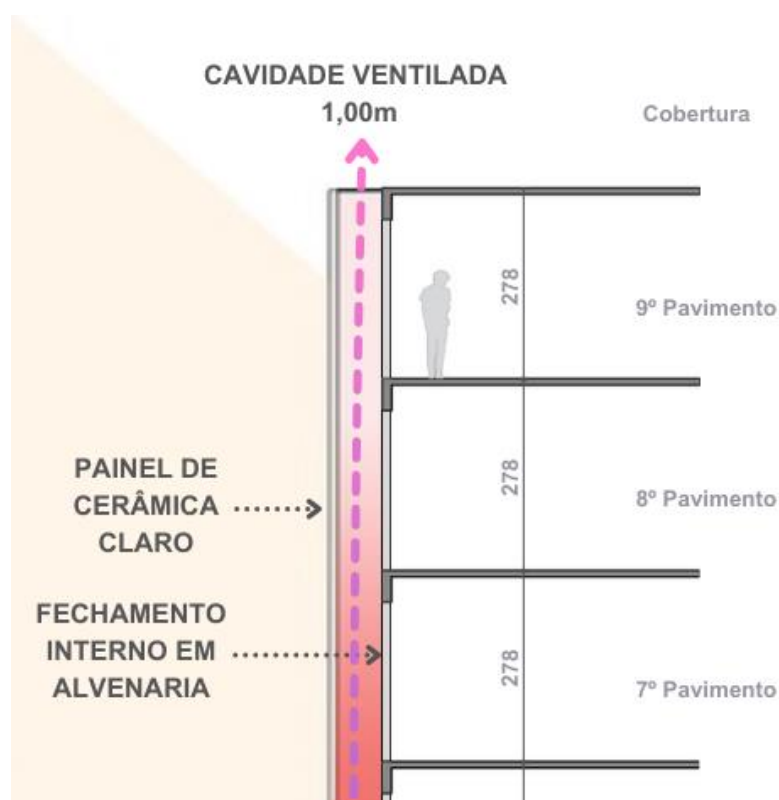
	ACM1	ACM2	ACM3	ACM4	ACM5	ACM6	ACM7	ACM8	ACM9	ACM10	ACM11	ACM12
ALFA 1	X	X	X	X	X	X						
ALFA 2							X	X	X	X	X	X
ESP1	X	X	X				X	X	X			
ESP2				X	X	X				X	X	X
ALVENARIA	X			X			X			X		
VIDRO 1		X			X			X			X	
VIDRO 2			X			X			X			X

Fonte: (autor, 2024)

3.3.1 Modelo CER1

No modelo CER1, a fachada é completamente fechada, sem aberturas. As paredes externas são feitas de tijolos furados, medindo 9x14x19 cm, dispostos à cutelo. Essas paredes são revestidas com uma camada de reboco de 2,5 cm de espessura em ambos os lados. Entre a parede e a fachada ventilada, há uma camada de ar que serve como espaço para a fixação dos perfis que sustentam a fachada ventilada. A fachada ventilada é revestida externamente com cerâmica clara, que possui um coeficiente de absorção de 0,2. Esta camada cerâmica é separada da estrutura principal por uma câmara de ar de 1 metro de largura.

Figura 28 - Modelo CER1



Fonte: (autor, 2024)

Os tijolos furados utilizados nas paredes externas têm uma boa capacidade de isolamento térmico devido ao ar preso em seus furos, o que reduz a transferência de calor. Além disso, a camada de reboco de 2,5 cm aplicada em ambos os lados das paredes contribui para melhorar o isolamento térmico, proporcionando uma barreira adicional contra a transferência de calor.

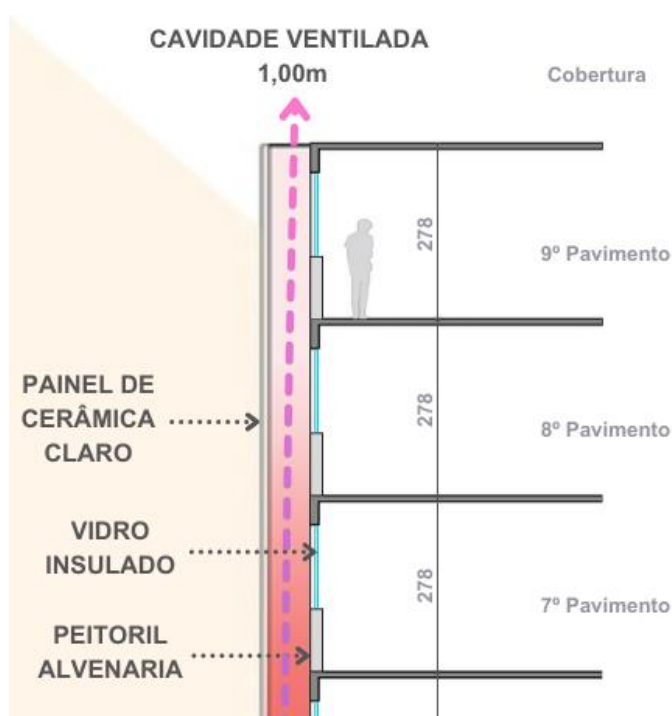
A cerâmica clara utilizada na fachada ventilada possui um coeficiente de absorção de 0,2, o que significa que ela absorve apenas 20% da radiação solar incidente, refletindo os outros 80%. Isso ajuda a manter a superfície externa da fachada mais fria, reduzindo a carga térmica sobre o edifício.

A câmara de ar de 1 metro de largura entre a fachada ventilada e a estrutura principal atua como uma barreira térmica, reduzindo a transferência de calor por condução. Além disso, a ventilação natural dentro da câmara de ar pode ajudar a dissipar o calor acumulado, melhorando ainda mais o desempenho térmico do sistema de fachada ventilada.

3.3.2 Modelo CER2

No modelo CER2, a fachada é composta por uma parte envidraçada e um peitoril em alvenaria. Todas as esquadrias das janelas são de alumínio do tipo maxim-ar, com vidro insulado (vidro absorvente cinza de 6 mm + câmara de ar de 13 mm + vidro incolor de 6 mm). Entre a parede e a fachada ventilada, há uma camada de ar que serve como espaço para a fixação dos perfis que sustentam a fachada ventilada. A fachada ventilada é revestida externamente com cerâmica clara, que possui um coeficiente de absorção de 0,2. Esta camada cerâmica é separada da estrutura principal por uma câmara de ar de 1 metro de largura.

Figura 29 - Modelo CER2



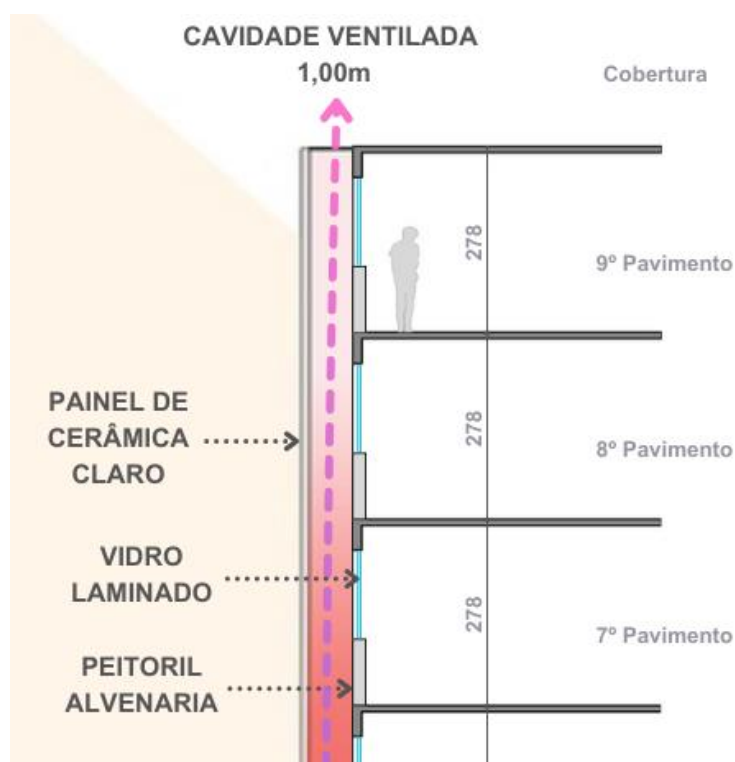
Fonte: (autor, 2024)

As esquadrias de alumínio do tipo maxim-ar, com vidro insulado, oferecem um excelente desempenho térmico. O vidro insulado, composto por vidro absorvente cinza de 6 mm, uma câmara de ar de 13 mm e vidro incolor de 6 mm, reduz significativamente a transferência de calor, mantendo o ambiente interno mais confortável e eficiente em termos de energia.

3.3.3 Modelo CER3

O modelo CER3 apresenta uma fachada composta por uma parte envidraçada e um peitoril em alvenaria. Todas as esquadrias das janelas são de alumínio do tipo maxim-ar, com vidro laminado (vidro laminado absorvente cinza de 6 mm + câmara de ar de 13 mm + vidro laminado incolor de 6 mm). Entre a parede e a fachada ventilada, há uma camada de ar que serve como espaço para a fixação dos perfis que sustentam a fachada ventilada. A fachada ventilada é revestida externamente com cerâmica clara, que possui um coeficiente de absorção de 0,2. Esta camada cerâmica é separada da estrutura principal por uma câmara de ar de 1 metro de largura.

Figura 30 - Modelo CER3



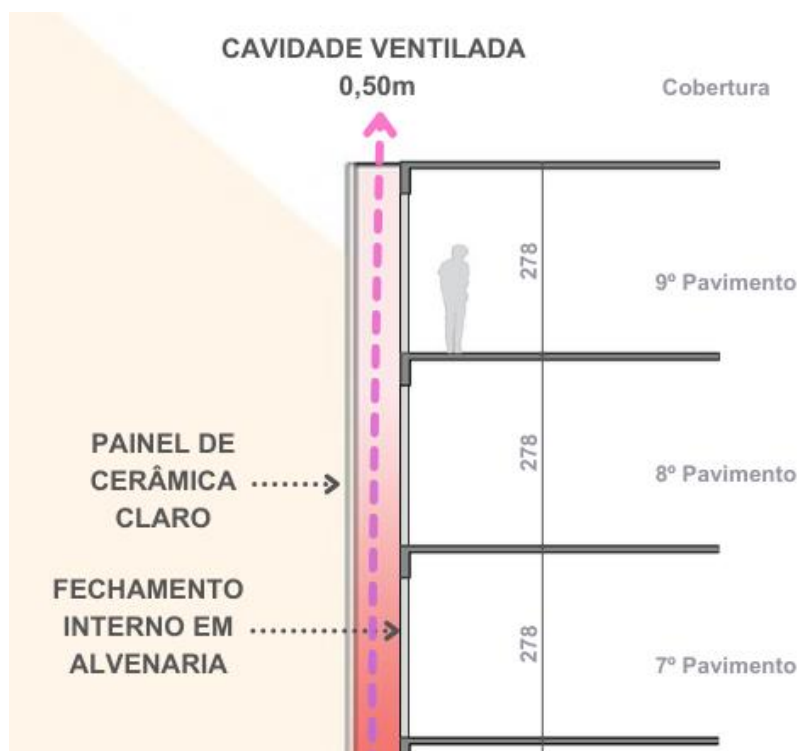
Fonte: (autor, 2024)

As esquadrias de alumínio do tipo maxim-ar, com vidro laminado, oferecem um excelente desempenho térmico. O vidro laminado, composto por vidro absorvente cinza de 6 mm, uma câmara de ar de 13 mm e vidro laminado incolor de 6 mm, reduz significativamente a transferência de calor, mantendo o ambiente interno mais confortável e eficiente em termos de energia.

3.3.4 Modelo CER4:

No modelo CER4, a fachada é completamente fechada, sem aberturas, assim como no modelo CER1. A fachada ventilada também é revestida externamente com cerâmica clara, semelhante ao Caso Base 1. A única diferença é que, no Caso Base 4, a câmara de ar tem 0,5 metro de largura.

Figura 31 - Modelo CER4



Fonte: (autor, 2024)

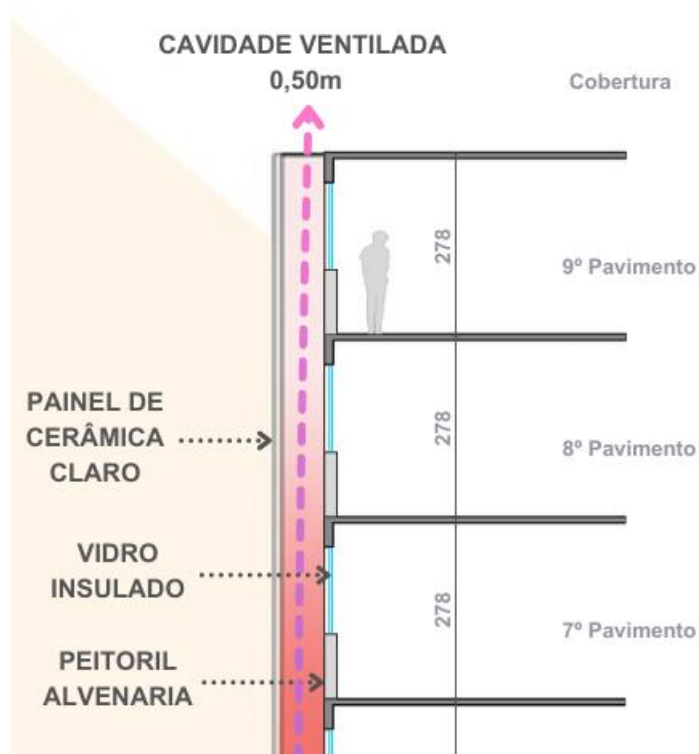
A câmara de ar de 0,5 metro de largura entre a fachada ventilada e a estrutura principal atua como uma barreira térmica, reduzindo a transferência de calor por condução. Embora uma câmara de ar de 1 metro de largura possa oferecer uma barreira térmica ainda mais eficaz, a de 0,5 metro já proporciona uma ventilação natural suficiente para dissipar o calor acumulado, melhorando significativamente o desempenho térmico do sistema de fachada ventilada.

3.3.5 Modelo CER5

No modelo CER5, apresenta uma fachada composta por uma parte envidraçada e um peitoril em alvenaria. As paredes externas são feitas de tijolos furados, medindo 9x14x19 cm, dispostos à cutelo, e revestidas com uma camada de

reboco de 2,5 cm de espessura em ambos os lados. Entre a parede e a fachada ventilada, há uma câmara de ar de 0,5 metro de largura. A fachada ventilada é revestida externamente com cerâmica clara, com coeficiente de absorção de 0,2. O fechamento interno inclui um peitoril em alvenaria e vidro insulado, proporcionando uma combinação de materiais que melhora o isolamento térmico.

Figura 32 - modelo CER5

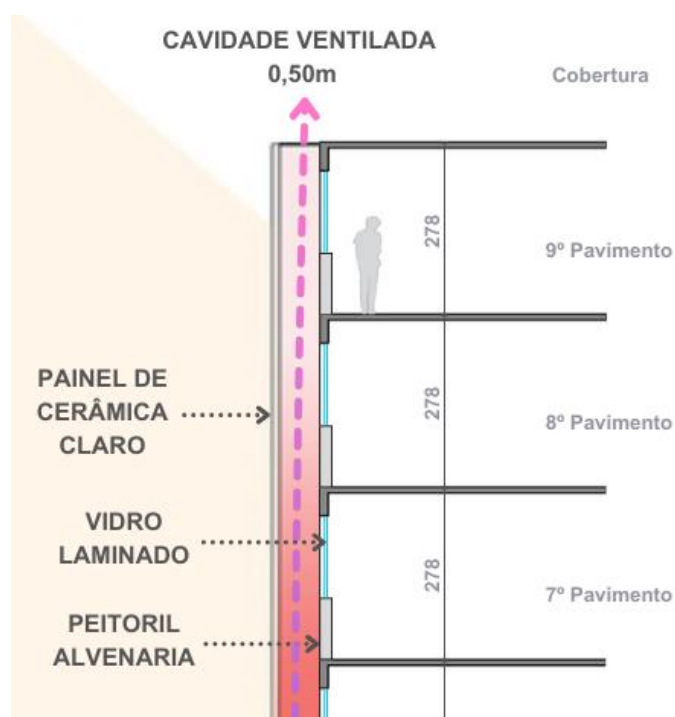


Fonte: (autor, 2024)

3.3.6 Modelo CER6

No modelo CER6, apresenta uma fachada composta por uma parte envidraçada e um peitoril em alvenaria. As paredes externas são feitas de tijolos furados, medindo 9x14x19 cm, dispostos à cutelo, e revestidas com uma camada de reboco de 2,5 cm de espessura em ambos os lados. Entre a parede e a fachada ventilada, há uma câmara de ar de 0,5 metro de largura. A fachada ventilada é revestida externamente com cerâmica escura, com coeficiente de absorção de 0,8. O fechamento interno inclui uma fachada composta por uma parte envidraçada e um peitoril em alvenaria. Todas as esquadrias das janelas são de alumínio do tipo maxim-ar, com vidro laminado (vidro laminado absorvente cinza de 6 mm + câmara de ar de 13 mm + vidro laminado incolor de 6 mm).

Figura 33 - Modelo CER6

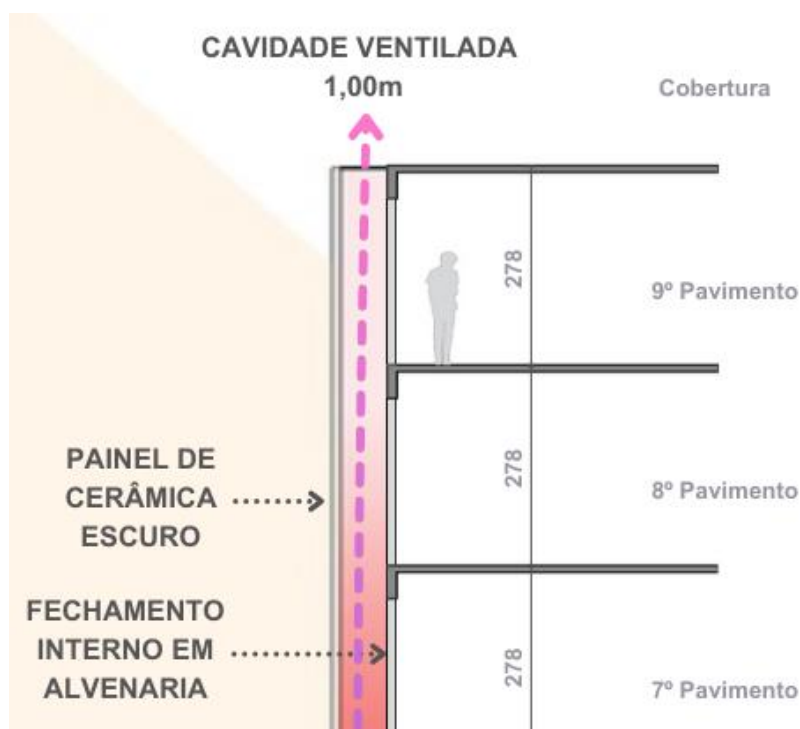


Fonte: (autor, 2024)

3.3.7 Modelo CER7

No modelo CER7, a fachada é completamente fechada, sem aberturas. As paredes externas são feitas de tijolos furados, medindo 9x14x19 cm, dispostos à cutelo, e revestidas com uma camada de reboco de 2,5 cm de espessura em ambos os lados. Entre a parede e a fachada ventilada, há uma câmara de ar de 1 metro de largura, que serve como espaço para a fixação dos perfis que sustentam a fachada ventilada. A fachada ventilada é revestida externamente com cerâmica escura, com coeficiente de absorção de 0,8.

Figura 34 - Modelo CER7

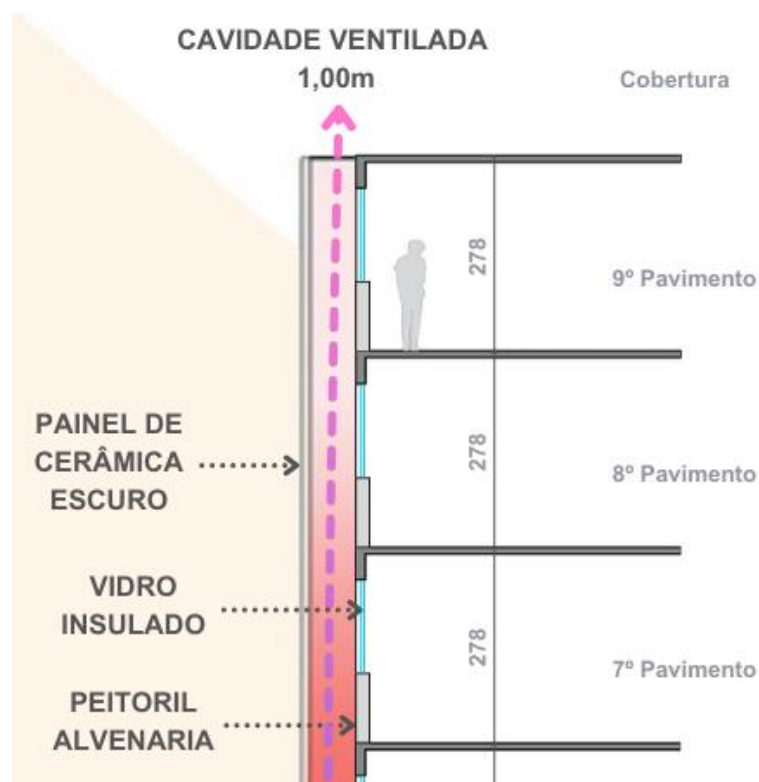


Fonte: (autor, 2024)

3.3.8 Modelo CER8

No modelo CER8, a fachada é composta por uma parte envidraçada e um peitoril em alvenaria. As paredes externas são feitas de tijolos furados, medindo 9x14x19 cm, dispostos à cutelo, e revestidas com uma camada de reboco de 2,5 cm de espessura em ambos os lados. Entre a parede e a fachada ventilada, há uma câmara de ar de 1 metro de largura. A fachada ventilada é revestida externamente com cerâmica escura, com coeficiente de absorção de 0,8. O fechamento interno inclui uma fachada composta por uma parte envidraçada e um peitoril em alvenaria. Todas as esquadrias das janelas são de alumínio do tipo maxim-ar, com vidro insulado (vidro absorvente cinza de 6 mm + câmara de ar de 13 mm + vidro incolor de 6 mm).

Figura 35 - Modelo CER8

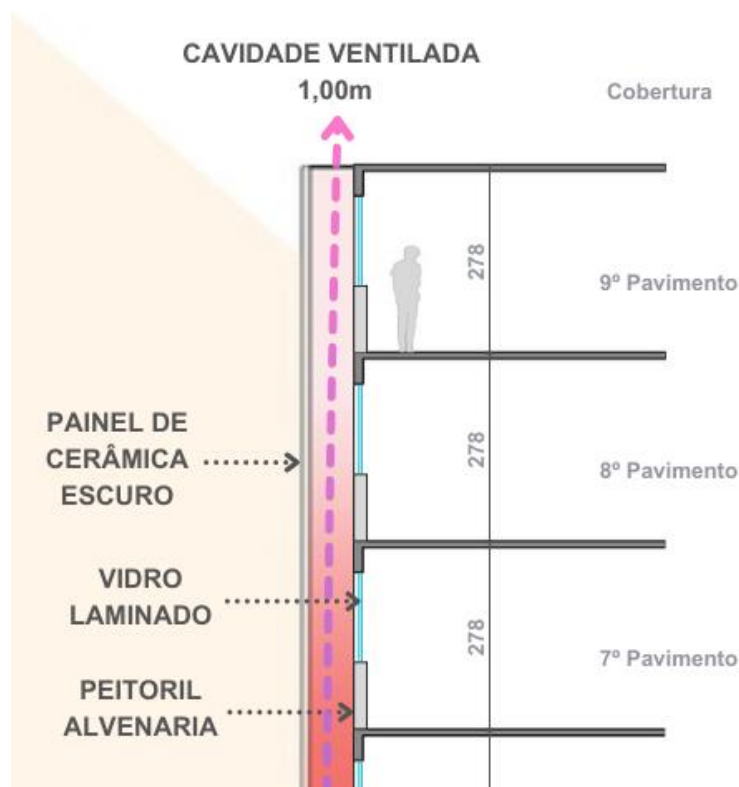


Fonte: (autor, 2024)

3.3.9 Modelo CER9

No modelo CER9, a fachada é completamente fechada, sem aberturas. As paredes externas são feitas de tijolos furados, medindo 9x14x19 cm, dispostos à cutelo, e revestidas com uma camada de reboco de 2,5 cm de espessura em ambos os lados. Entre a parede e a fachada ventilada, há uma câmara de ar de 1 metro de largura. A fachada ventilada é revestida externamente com cerâmica escura, com coeficiente de absorção de 0,8. O fechamento interno inclui uma fachada composta por uma parte envidraçada e um peitoril em alvenaria. Todas as esquadrias das janelas são de alumínio do tipo maxim-ar, com vidro laminado (vidro laminado absorvente cinza de 6 mm + câmara de ar de 13 mm + vidro laminado incolor de 6 mm).

Figura 36 - Modelo CER9

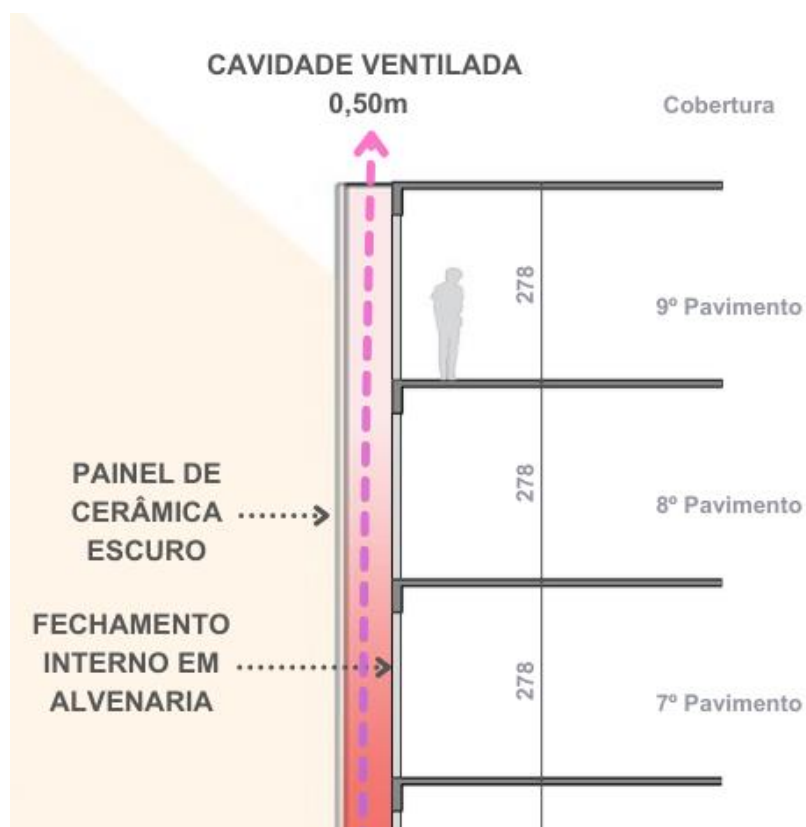


Fonte: (autor, 2024)

3.3.10 Modelo CER10:

No modelo CER10, a fachada é completamente fechada, sem aberturas. As paredes externas são feitas de tijolos furados, medindo 9x14x19 cm, dispostos à cutelo, e revestidas com uma camada de reboco de 2,5 cm de espessura em ambos os lados. Entre a parede e a fachada ventilada, há uma câmara de ar de 0,5 metro de largura, que serve como espaço para a fixação dos perfis que sustentam a fachada ventilada. A fachada ventilada é revestida externamente com cerâmica escura, com coeficiente de absorção de 0,8.

Figura 37 - Modelo CER10

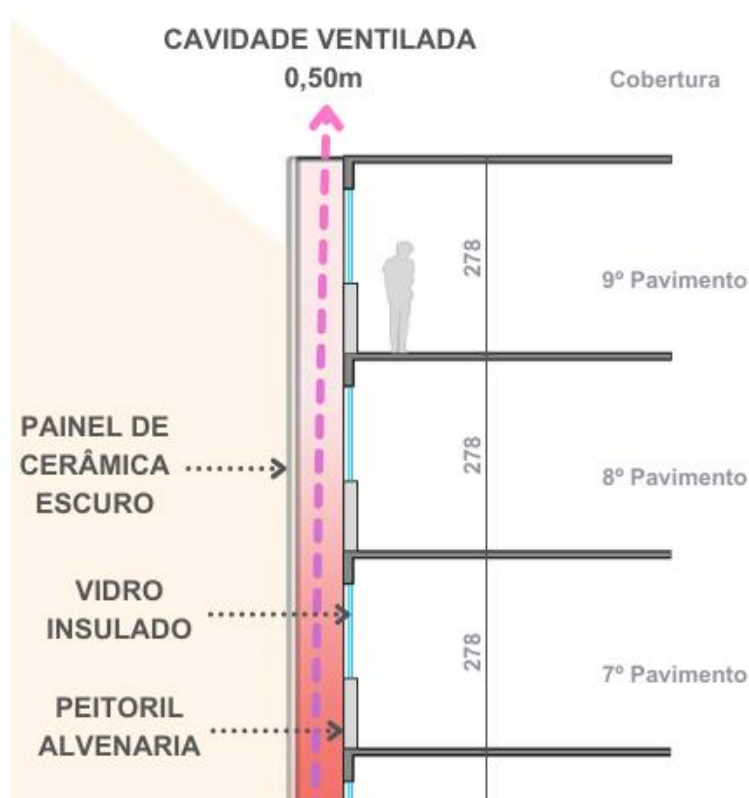


Fonte: (autor, 2024)

3.3.11 Modelo CER11

No modelo CER11, apresenta uma fachada composta por uma parte envidraçada e um peitoril em alvenaria. As paredes externas são feitas de tijolos furados, medindo 9x14x19 cm, dispostos à cutelo, e revestidas com uma camada de reboco de 2,5 cm de espessura em ambos os lados. Entre a parede e a fachada ventilada, há uma câmara de ar de 0,5 metro de largura. A fachada ventilada é revestida externamente com cerâmica escura, com coeficiente de absorção de 0,8. O fechamento interno inclui uma fachada composta por uma parte envidraçada e um peitoril em alvenaria. Todas as esquadrias das janelas são de alumínio do tipo maximar, com vidro insulado (vidro absorvente cinza de 6 mm + câmara de ar de 13 mm + vidro incolor de 6 mm).

Figura 38 - modelo CER11

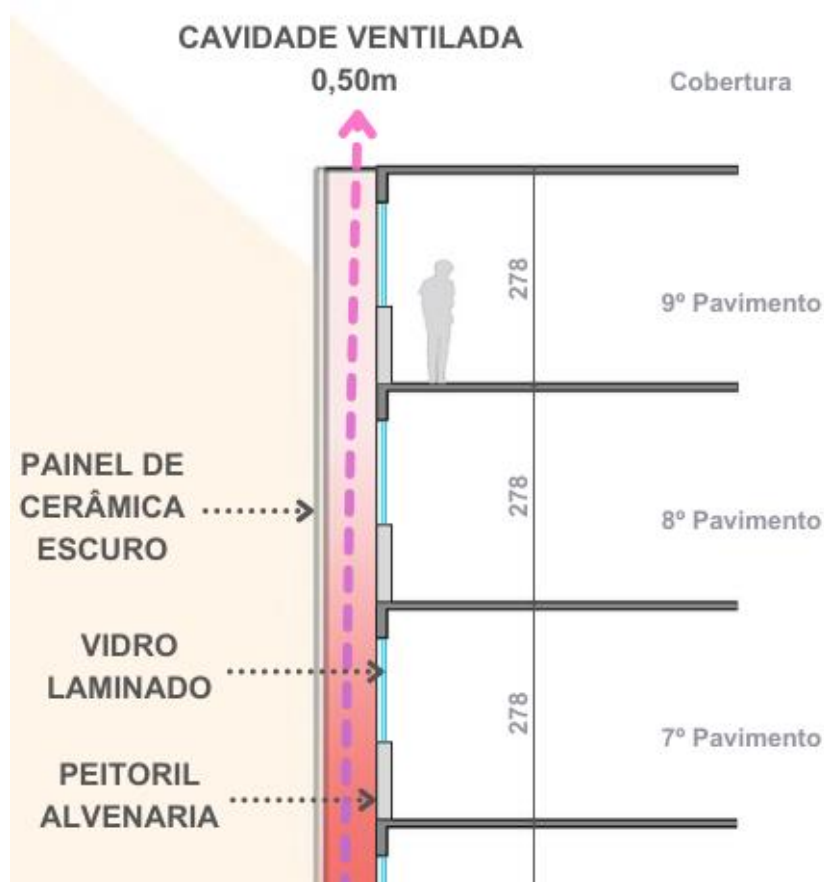


Fonte: (autor, 2024)

3.3.12 Modelo CER12

No modelo CER12, apresenta uma fachada composta por uma parte envidraçada e um peitoril em alvenaria. As paredes externas são feitas de tijolos furados, medindo 9x14x19 cm, dispostos à cutelo, e revestidas com uma camada de reboco de 2,5 cm de espessura em ambos os lados. Entre a parede e a fachada ventilada, há uma câmara de ar de 0,5 metro de largura. A fachada ventilada é revestida externamente com cerâmica escura, com coeficiente de absorção de 0,8. O fechamento interno inclui uma fachada composta por uma parte envidraçada e um peitoril em alvenaria. Todas as esquadrias das janelas são de alumínio do tipo maxim-ar, com vidro laminado (vidro laminado absorvente cinza de 6 mm + câmara de ar de 13 mm + vidro laminado incolor de 6 mm).

Figura 39 - modelo CER12

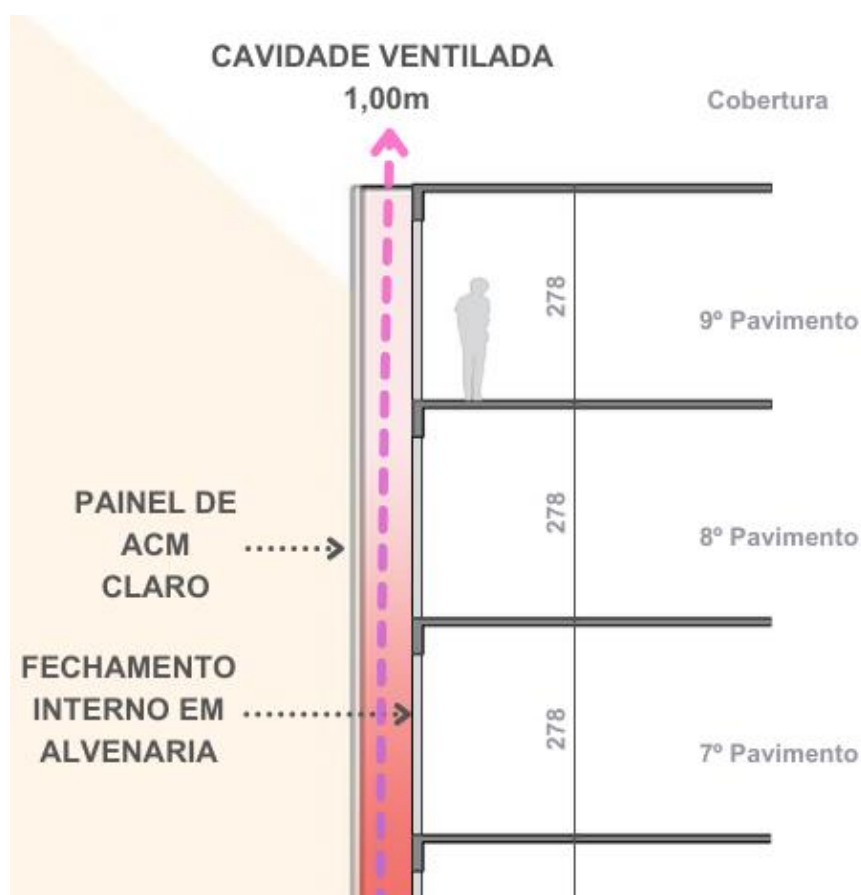


Fonte: (autor, 2024)

3.3.13 Modelo ACM1

No modelo ACM1, a fachada é completamente fechada, sem aberturas. As paredes externas são feitas de tijolos furados, medindo 9x14x19 cm, dispostos à cutelo, e revestidas com uma camada de reboco de 2,5 cm de espessura em ambos os lados. Entre a parede e a fachada ventilada, há uma câmara de ar de 1 metro de largura, que serve como espaço para a fixação dos perfis que sustentam a fachada ventilada. A fachada ventilada é revestida externamente com ACM claro, com coeficiente de absorção de 0,2.

Figura 40 - Modelo ACM1

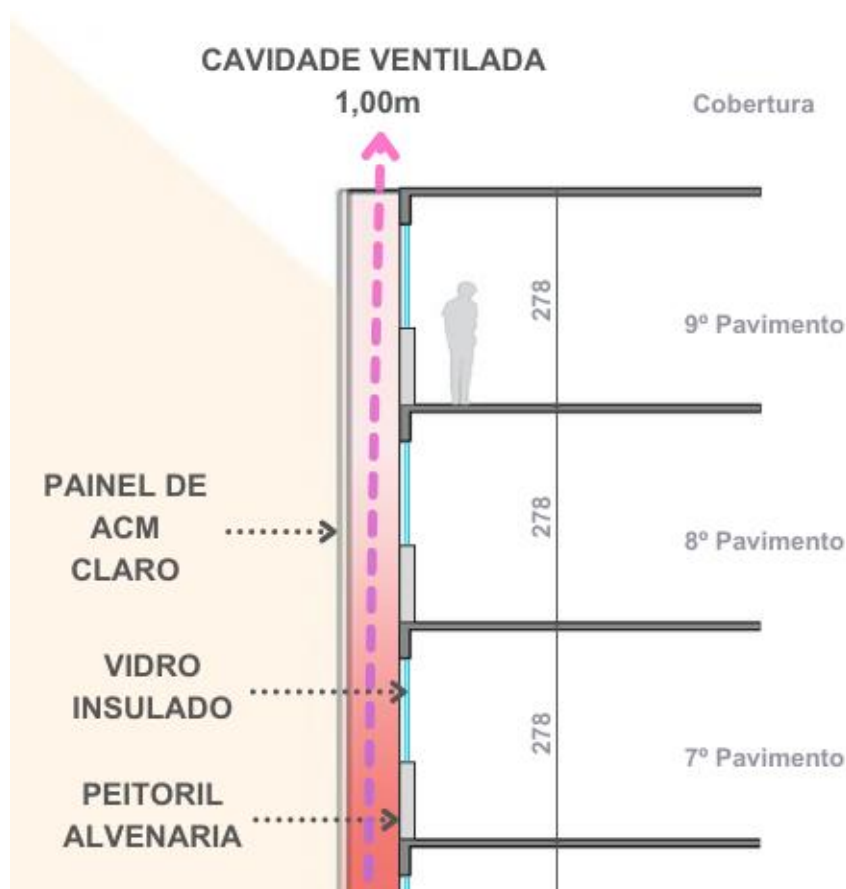


Fonte: (autor, 2024)

3.3.14 Modelo ACM2

No modelo ACM2, a fachada é composta por uma parte envidraçada e um peitoril em alvenaria. As paredes externas são feitas de tijolos furados, medindo 9x14x19 cm, dispostos à cutelo, e revestidas com uma camada de reboco de 2,5 cm de espessura em ambos os lados. Entre a parede e a fachada ventilada, há uma câmara de ar de 1 metro de largura. A fachada ventilada é revestida externamente com ACM claro, com coeficiente de absorção de 0,2. O fechamento interno inclui uma fachada composta por uma parte envidraçada e um peitoril em alvenaria. Todas as esquadrias das janelas são de alumínio do tipo maxim-ar, com vidro insulado (vidro absorvente cinza de 6 mm + câmara de ar de 13 mm + vidro incolor de 6 mm).

Figura 41 - modelo ACM2

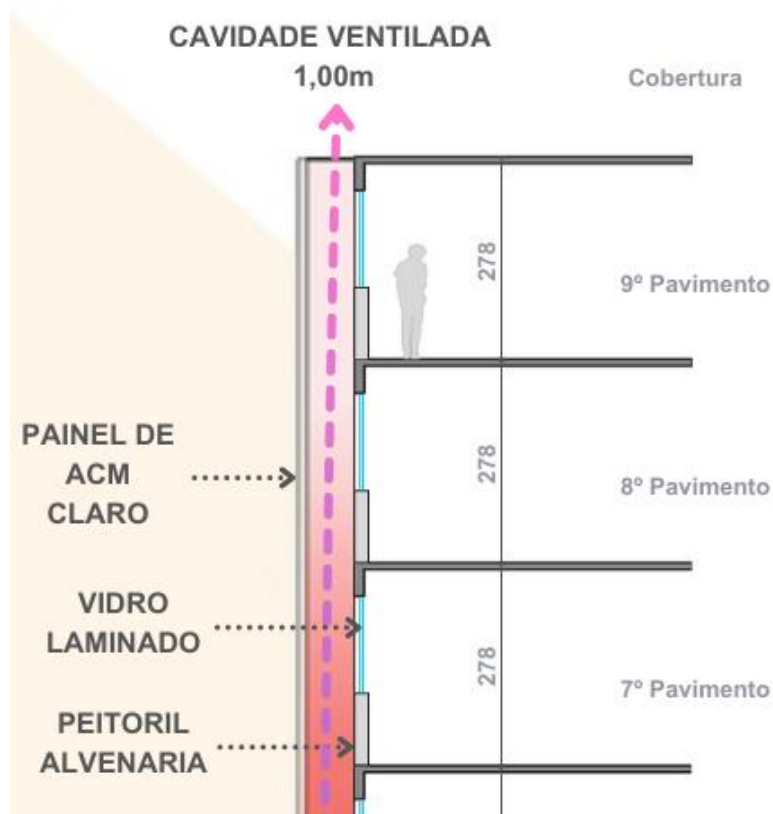


Fonte: (autor, 2024)

3.3.15 Modelo ACM3

O modelo ACM3 apresenta uma fachada composta por uma parte envidraçada e um peitoril em alvenaria. As paredes externas são feitas de tijolos furados, medindo 9x14x19 cm, dispostos à cutelo, e revestidas com uma camada de reboco de 2,5 cm de espessura em ambos os lados. Entre a parede e a fachada ventilada, há uma câmara de ar de 1 metro de largura. A fachada ventilada é revestida externamente com ACM claro, com coeficiente de absorção de 0,2. O fechamento interno inclui uma fachada composta por uma parte envidraçada e um peitoril em alvenaria. Todas as esquadrias das janelas são de alumínio do tipo maxim-ar, com vidro laminado (vidro laminado absorvente cinza de 6 mm + câmara de ar de 13 mm + vidro laminado incolor de 6 mm).

Figura 42 - Modelo ACM3

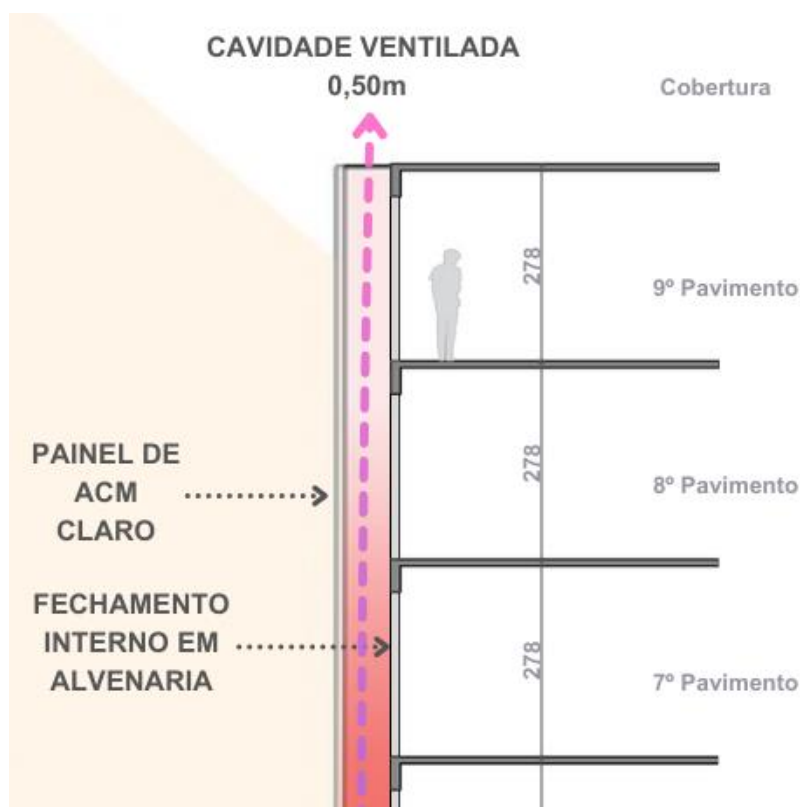


Fonte: (autor, 2024)

3.3.16 Modelo ACM4:

No modelo ACM4, a fachada é completamente fechada, sem aberturas. As paredes externas são feitas de tijolos furados, medindo 9x14x19 cm, dispostos à cutelo, e revestidas com uma camada de reboco de 2,5 cm de espessura em ambos os lados. Entre a parede e a fachada ventilada, há uma câmara de ar de 0,5 metro de largura, que serve como espaço para a fixação dos perfis que sustentam a fachada ventilada. A fachada ventilada é revestida externamente com ACM claro, com coeficiente de absorção de 0,2.

Figura 43 - Modelo ACM4

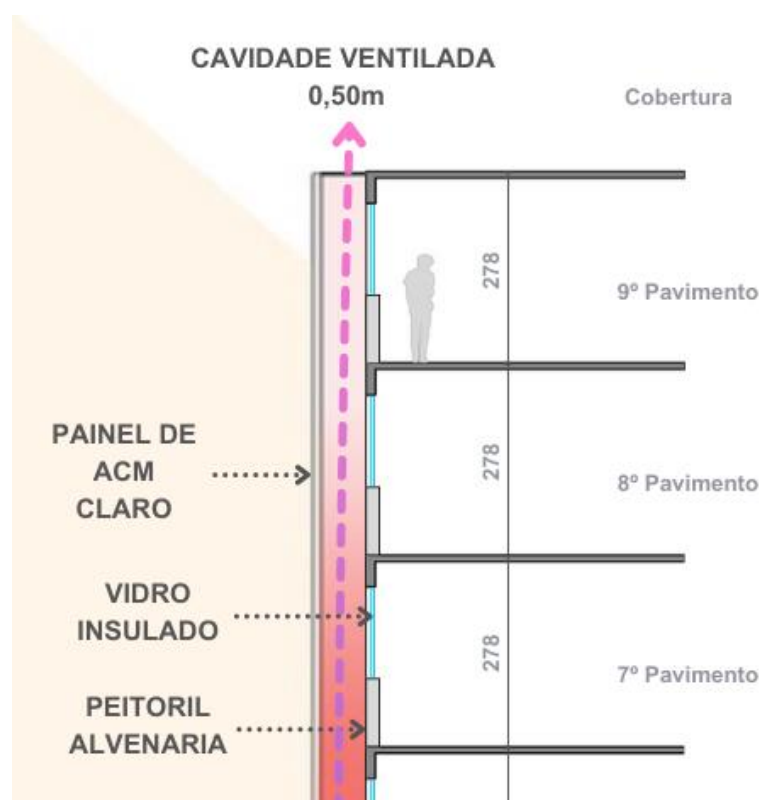


Fonte: (autor, 2024)

3.3.17 Modelo ACM5

No modelo ACM5, apresenta uma fachada composta por uma parte envidraçada e um peitoril em alvenaria. As paredes externas são feitas de tijolos furados, medindo 9x14x19 cm, dispostos à cutelo, e revestidas com uma camada de reboco de 2,5 cm de espessura em ambos os lados. Entre a parede e a fachada ventilada, há uma câmara de ar de 0,5 metro de largura. A fachada ventilada é revestida externamente com ACM claro, com coeficiente de absorção de 0,2. O fechamento interno inclui uma fachada composta por uma parte envidraçada e um peitoril em alvenaria. Todas as esquadrias das janelas são de alumínio do tipo maxim-ar, com vidro insulado (vidro absorvente cinza de 6 mm + câmara de ar de 13 mm + vidro incolor de 6 mm).

Figura 44 - Modelo ACM5

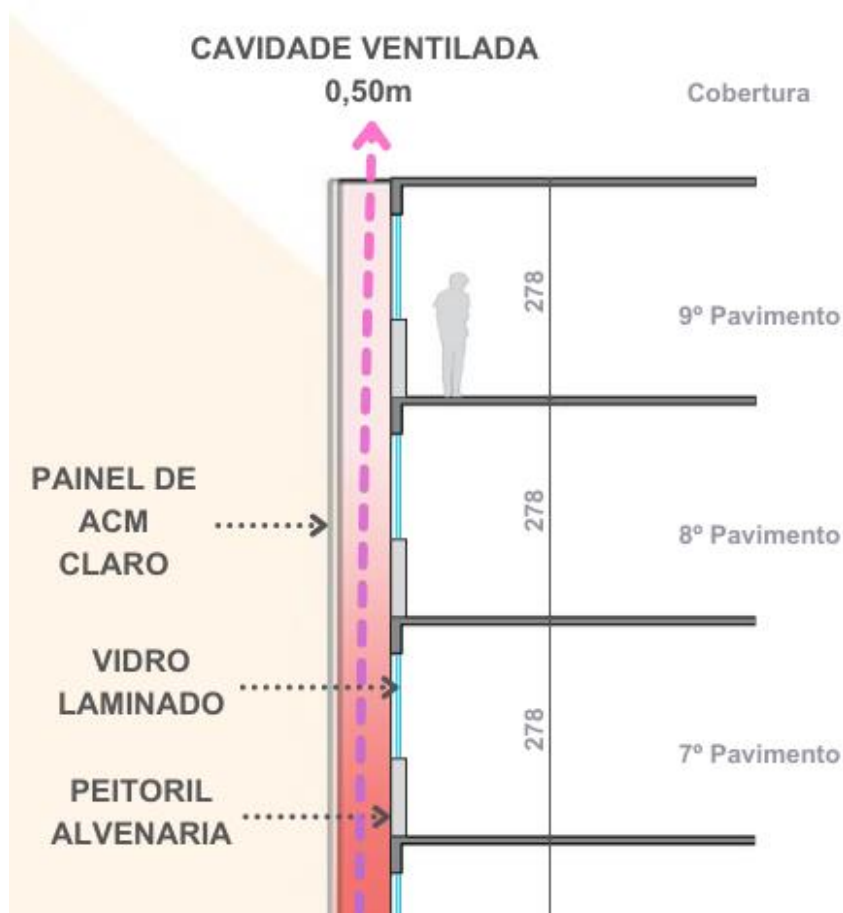


Fonte: (autor, 2024)

3.3.18 Modelo ACM6

No modelo ACM6, apresenta uma fachada composta por uma parte envidraçada e um peitoril em alvenaria. As paredes externas são feitas de tijolos furados, medindo 9x14x19 cm, dispostos à cutelo, e revestidas com uma camada de reboco de 2,5 cm de espessura em ambos os lados. Entre a parede e a fachada ventilada, há uma câmara de ar de 0,5 metro de largura. A fachada ventilada é revestida externamente com ACM escuro, com coeficiente de absorção de 0,8. O fechamento interno inclui uma fachada composta por uma parte envidraçada e um peitoril em alvenaria. Todas as esquadrias das janelas são de alumínio do tipo maxim-ar, com vidro laminado (vidro laminado absorvente cinza de 6 mm + câmara de ar de 13 mm + vidro laminado incolor de 6 mm).

Figura 45 - Modelo ACM6

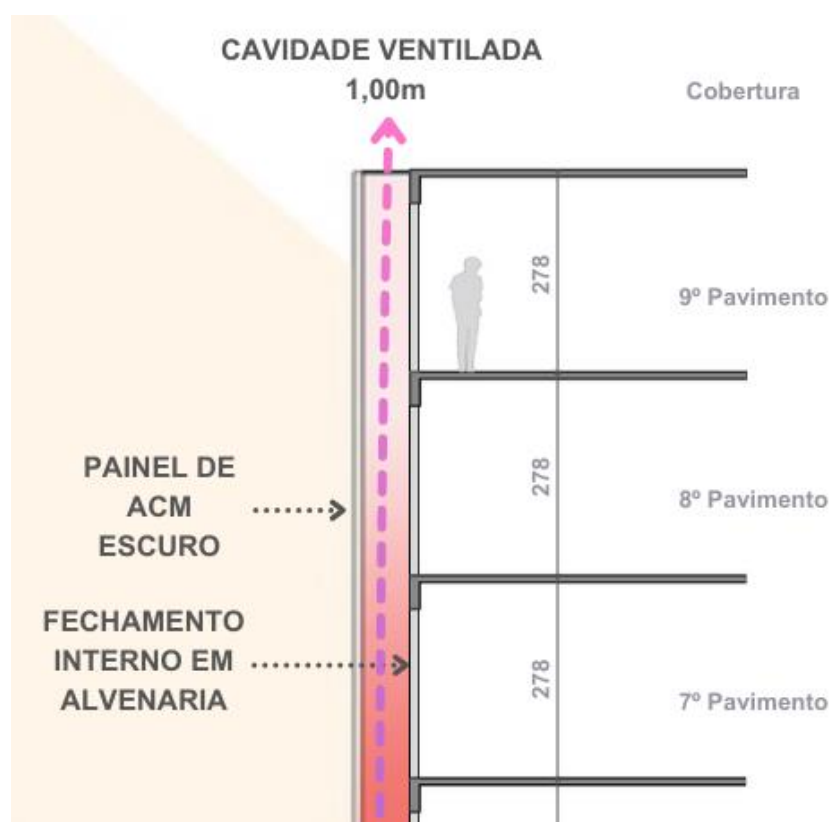


Fonte: (autor, 2024)

3.3.19 Modelo ACM7

No modelo ACM7, a fachada é completamente fechada, sem aberturas. As paredes externas são feitas de tijolos furados, medindo 9x14x19 cm, dispostos à cutelo, e revestidas com uma camada de reboco de 2,5 cm de espessura em ambos os lados. Entre a parede e a fachada ventilada, há uma câmara de ar de 1 metro de largura, que serve como espaço para a fixação dos perfis que sustentam a fachada ventilada. A fachada ventilada é revestida externamente com ACM escuro, com coeficiente de absorção de 0,8.

Figura 46 - Modelo ACM7

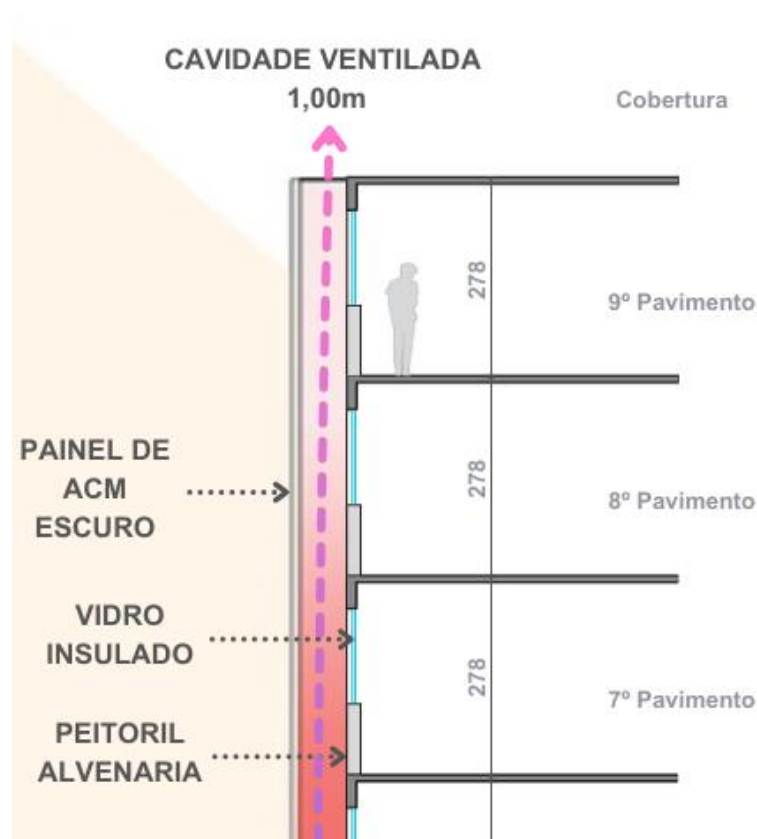


Fonte: (autor, 2024)

3.3.20 Modelo ACM8

No modelo ACM8, a fachada é composta por uma parte envidraçada e um peitoril em alvenaria. As paredes externas são feitas de tijolos furados, medindo 9x14x19 cm, dispostos à cutelo, e revestidas com uma camada de reboco de 2,5 cm de espessura em ambos os lados. Entre a parede e a fachada ventilada, há uma câmara de ar de 1 metro de largura. A fachada ventilada é revestida externamente com cerâmica escura, com coeficiente de absorção de 0,8. O fechamento interno inclui uma fachada composta por uma parte envidraçada e um peitoril em alvenaria. Todas as esquadrias das janelas são de alumínio do tipo maxim-ar, com vidro insulado (vidro absorvente cinza de 6 mm + câmara de ar de 13 mm + vidro incolor de 6 mm).

Figura 47 - Modelo ACM8

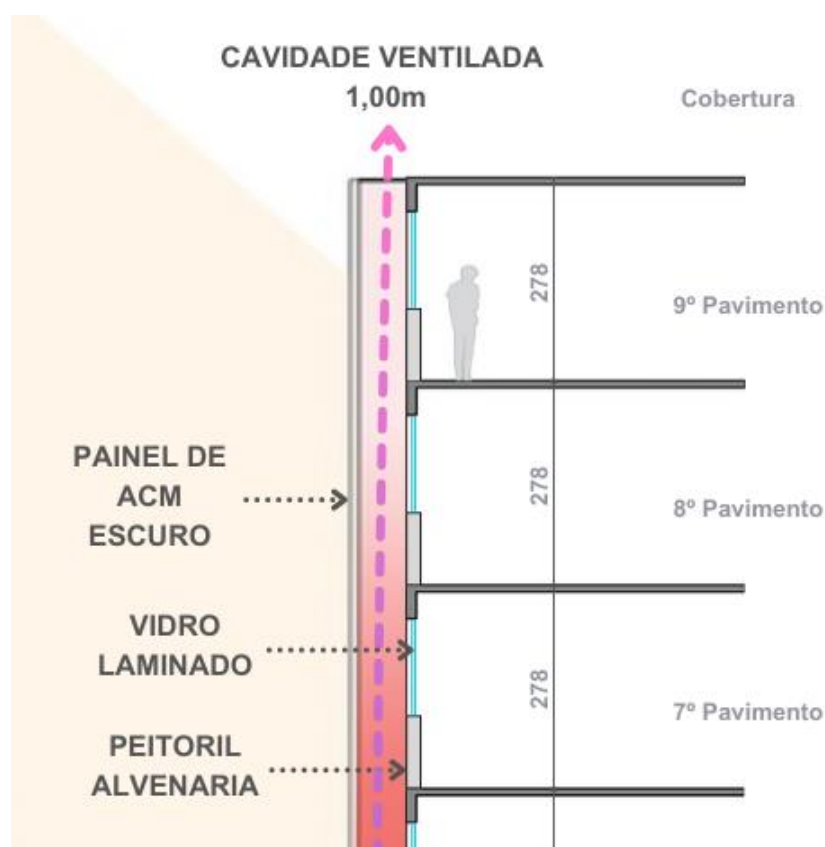


Fonte: (autor, 2024)

3.3.21 Modelo ACM9

No modelo ACM9, a fachada é completamente fechada, sem aberturas. As paredes externas são feitas de tijolos furados, medindo 9x14x19 cm, dispostos à cutelo, e revestidas com uma camada de reboco de 2,5 cm de espessura em ambos os lados. Entre a parede e a fachada ventilada, há uma câmara de ar de 1 metro de largura. A fachada ventilada é revestida externamente com ACM escuro, com coeficiente de absorção de 0,8. O fechamento interno inclui uma fachada composta por uma parte envidraçada e um peitoril em alvenaria. Todas as esquadrias das janelas são de alumínio do tipo maxim-ar, com vidro laminado (vidro laminado absorvente cinza de 6 mm + câmara de ar de 13 mm + vidro laminado incolor de 6 mm).

Figura 48 - Modelo ACM9

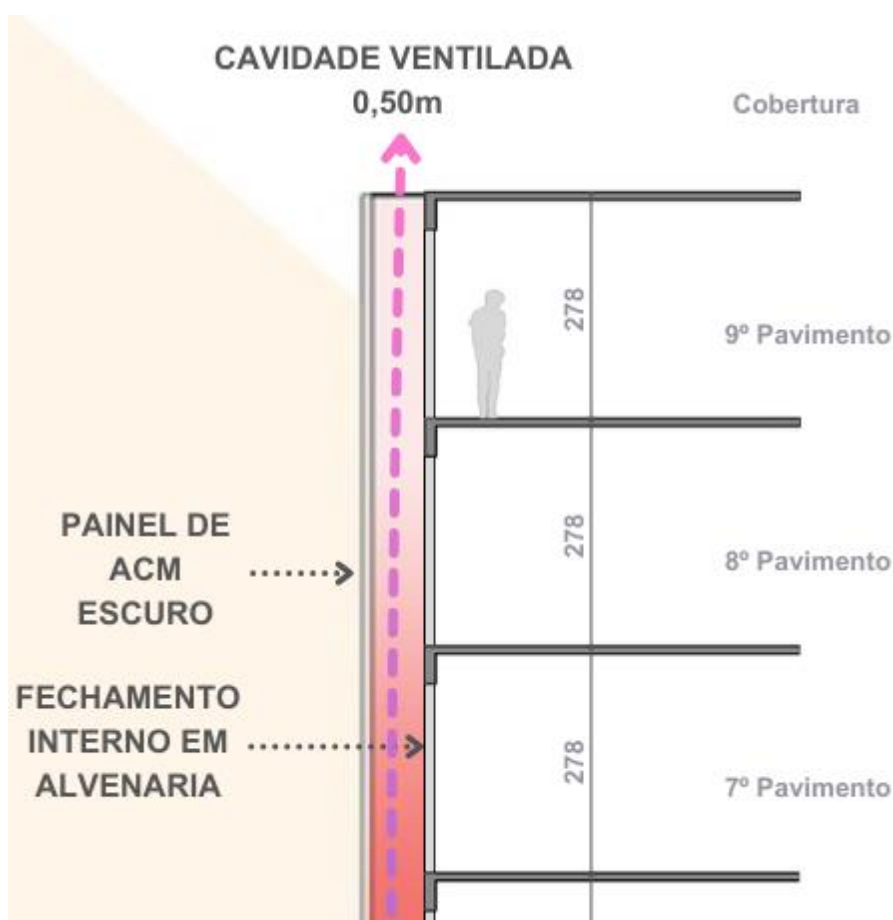


Fonte: (autor, 2024)

3.3.22 Modelo ACM10:

No modelo ACM10, a fachada é completamente fechada, sem aberturas. As paredes externas são feitas de tijolos furados, medindo 9x14x19 cm, dispostos à cutelo, e revestidas com uma camada de reboco de 2,5 cm de espessura em ambos os lados. Entre a parede e a fachada ventilada, há uma câmara de ar de 0,5 metro de largura, que serve como espaço para a fixação dos perfis que sustentam a fachada ventilada. A fachada ventilada é revestida externamente com ACM escuro, com coeficiente de absorção de 0,8.

Figura 49 - Modelo ACM10

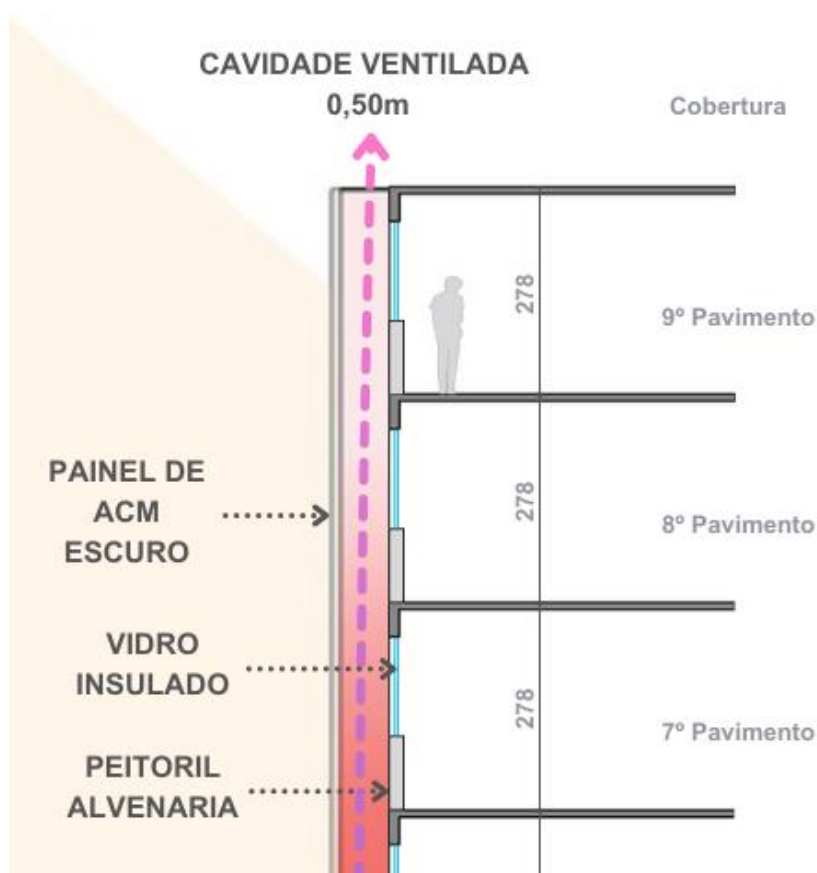


Fonte: (autor, 2024)

3.3.23 Modelo ACM11

No modelo ACM11, apresenta uma fachada composta por uma parte envidraçada e um peitoril em alvenaria. As paredes externas são feitas de tijolos furados, medindo 9x14x19 cm, dispostos à cutelo, e revestidas com uma camada de reboco de 2,5 cm de espessura em ambos os lados. Entre a parede e a fachada ventilada, há uma câmara de ar de 0,5 metro de largura. A fachada ventilada é revestida externamente com ACM escuro, com coeficiente de absorção de 0,8. O fechamento interno inclui uma fachada composta por uma parte envidraçada e um peitoril em alvenaria. Todas as esquadrias das janelas são de alumínio do tipo maximar, com vidro insulado (vidro absorvente cinza de 6 mm + câmara de ar de 13 mm + vidro incolor de 6 mm).

Figura 50 - Modelo ACM11

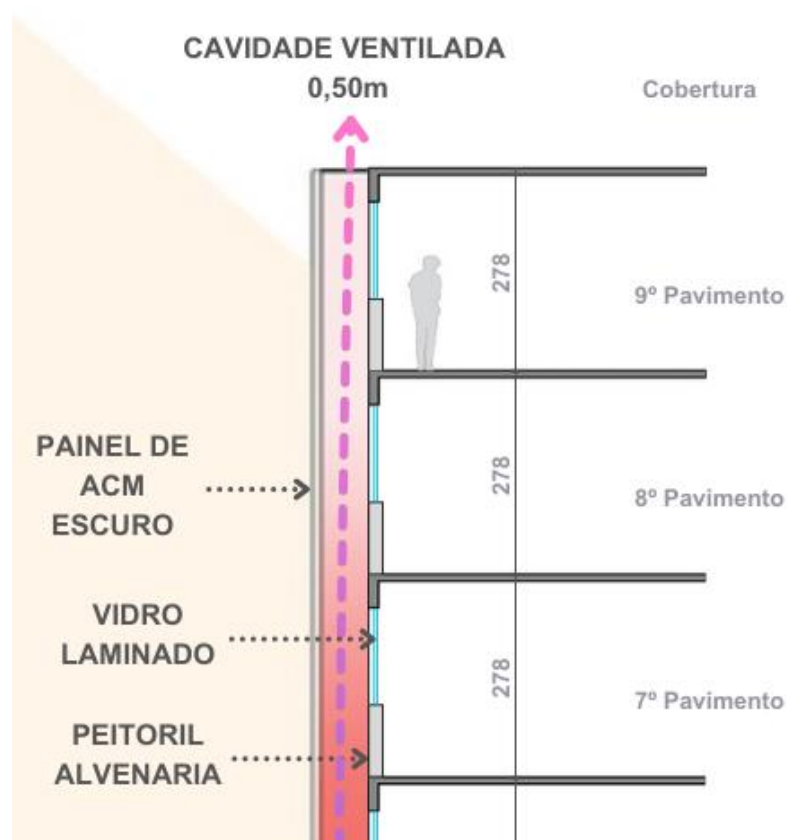


Fonte: (autor, 2024)

3.3.24 Modelo ACM12

No modelo ACM12, apresenta uma fachada composta por uma parte envidraçada e um peitoril em alvenaria. As paredes externas são feitas de tijolos furados, medindo 9x14x19 cm, dispostos à cutelo, e revestidas com uma camada de reboco de 2,5 cm de espessura em ambos os lados. Entre a parede e a fachada ventilada, há uma câmara de ar de 0,5 metro de largura. A fachada ventilada é revestida externamente com ACM escuro, com coeficiente de absorção de 0,8. O fechamento interno inclui uma fachada composta por uma parte envidraçada e um peitoril em alvenaria. Todas as esquadrias das janelas são de alumínio do tipo maxim-ar, com vidro laminado (vidro laminado absorvente cinza de 6 mm + câmara de ar de 13 mm + vidro laminado incolor de 6 mm).

Figura 51 - Modelo ACM12



Fonte: (autor, 2024)

3.4 Simulações computacionais

O primeiro procedimento para as simulações de desempenho térmico envolve a modelagem dos Modelos de Referência, conforme descrito anteriormente.

O edifício do estudo de caso está orientado para o leste. Para tornar as análises mais abrangentes, os modelos foram orientados no eixo Leste-Oeste, com suas maiores faces voltadas para o norte e sul.

Para as simulações computacionais de desempenho térmico, o edifício foi modelado no software SketchUp Pro 19 com o plugin Euclid versão 9.4. Foram considerados os nove pavimentos do edifício com fachadas ventiladas, pois não é possível avaliar a influência da fachada dupla no desempenho térmico apenas em um pavimento. A geometria multipavimentos da cavidade ventilada influencia a quantidade de radiação solar transmitida para o ambiente interno, bem como a velocidade do fluxo de ar no interior da cavidade, impactando diretamente os resultados de desempenho térmico (ALBERTO; RAMOS; ALMEIDA, 2017).

Na análise, durante a etapa de simulação computacional, foi utilizado o arquivo climático de Porto Alegre, RS (Latitude: 30°033'S, Longitude: 51°23'W), cidade que pertence à zona bioclimática 3, conforme a NBR 15220-3 (ABNT, 2005), e que possui a mesma classificação climática de Köppen-Geiger (KOTTEK et al., 2006). O arquivo climático utilizado foi elaborado por Maurício Roriz, com base em dados horários registrados em 411 estações climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) entre 2000 e 2010, resultando em um ano de referência para o local (RORIZ, 2012). Este arquivo, no formato .epw, teve seus dados atualizados em 2018 (LABEEE, 2018).

A modelagem do edifício e a definição das zonas térmicas começaram a partir do segundo pavimento do edifício estudo de caso, onde se inicia a fachada ventilada. Assim, o edifício foi dividido em 18 zonas térmicas, classificadas em zonas de uso transitório, que incluem circulações verticais, áreas técnicas e banheiros, e zonas de uso permanente, destinadas aos dormitórios. Do segundo ao nono pavimento, a edificação foi dividida em duas zonas de uso permanente e uma de uso transitório, com pé-direito livre de 2,78 m.

Para a análise de desempenho térmico dos sistemas estudados, foram empregados três métodos distintos, que se dividem entre verificações simplificadas e simulações detalhadas. No procedimento simplificado, foram calculadas as temperaturas externas e interna dos 24 sistemas, e esses valores foram comparados com os critérios estabelecidos. A seguir, são descritos os métodos utilizados:

Simulação de Dias Típicos: Neste método, a edificação é simulada e os resultados obtidos são comparados com as condições de um dia típico de verão e um dia típico de inverno. Essa abordagem permite avaliar o desempenho térmico dos sistemas em condições climáticas representativas das estações mais extremas do ano.

Método de Santo et al. (2013): Este método propõe a simulação de todo o período de verão e inverno. No entanto, para uma análise mais prática e focada, é selecionada uma amostra de dados representativos, consistindo em 9 dias do período de verão e 9 dias do período de inverno. Essa seleção permite uma avaliação detalhada sem a necessidade de simular cada dia individualmente.

Simulação Completa de Períodos: Neste método, é realizada a simulação completa de todo o período de verão e inverno. Essa abordagem oferece uma visão abrangente do desempenho térmico dos sistemas ao longo de todas as variações

climáticas que ocorrem durante essas estações, proporcionando uma análise detalhada e contínua.

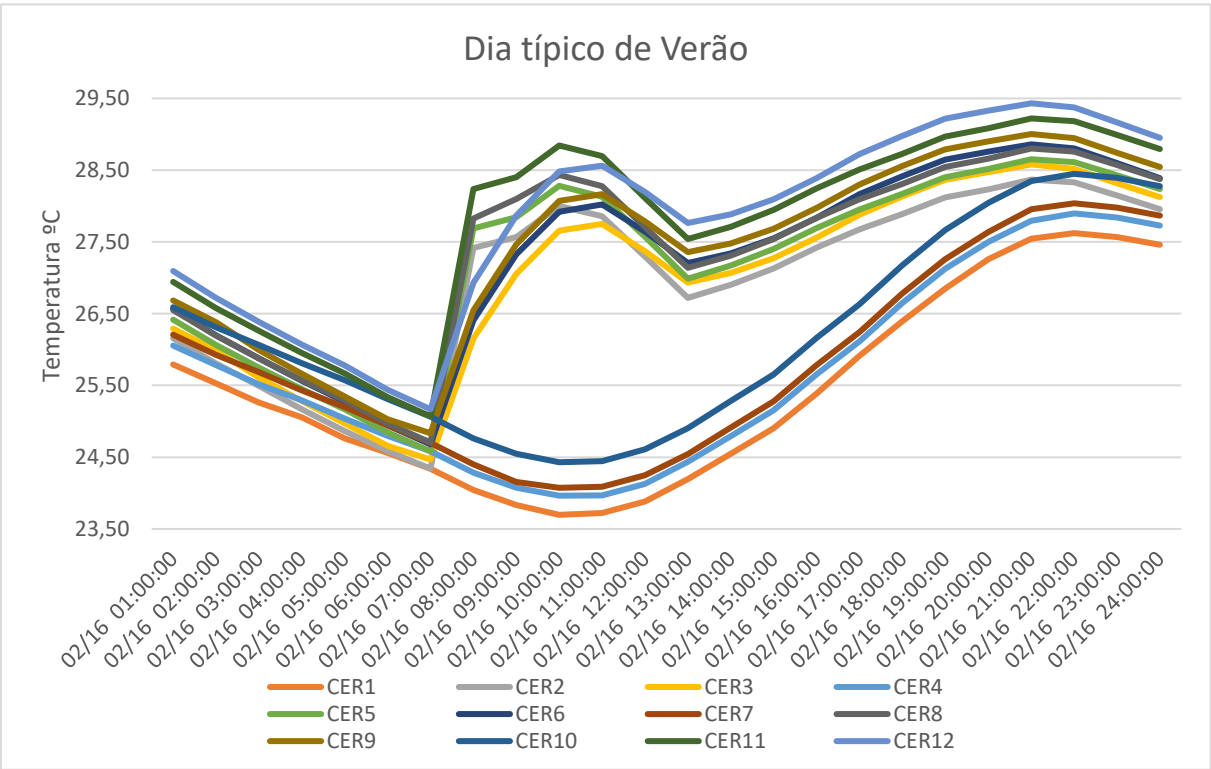
4 RESULTADOS

4.1 Dia Típico de Verão

4.1.1 CER

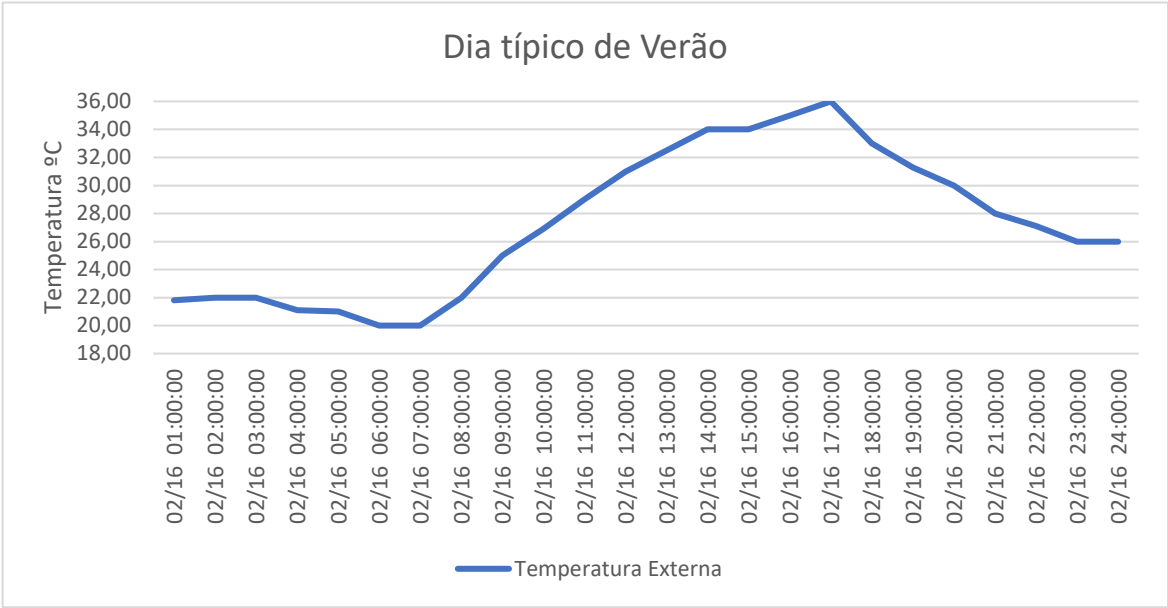
O comportamento térmico de edificações é um fator fundamental para o conforto dos ocupantes e a eficiência energética dos edifícios. Este estudo analisa a variação de temperatura interna ao longo de um dia típico de verão em doze modelos diferentes, identificadas como CER1 a CER12. As medições foram realizadas em intervalos regulares, comparando as temperaturas internas e externas em três períodos distintos: madrugada, dia e noite. A análise revela padrões comuns de variação térmica, bem como diferenças significativas entre os modelos, que podem estar relacionadas à eficiência térmica e ao isolamento de cada construção. A seguir, são apresentados os dados detalhados de cada modelo e uma comparação entre elas, destacando as principais observações e conclusões.

Tabela 12 - Dia Típico de Verão CER



Fonte: (autor, 2024)

Tabela 13 - Dia Típico de Verão da Temperatura Externa



Fonte: (autor, 2024)

O modelo CER1 apresenta uma variação de temperatura interna ao longo do dia típico de verão. Às 01:00, a temperatura interna é de 25.79°C, enquanto a temperatura externa é de 21.8°C. Observa-se que a temperatura interna se mantém relativamente estável durante a madrugada, com pequenas variações. Às 06:00, a temperatura interna é de 24.56°C, enquanto a externa é de 20°C. Durante o dia, a temperatura interna aumenta gradualmente, atingindo 26.39°C às 18:00, quando a temperatura externa é de 33°C. À noite, a temperatura interna volta a cair, chegando a 27.46°C às 24:00, com a externa em 26°C.

O modelo CER2 mostra um comportamento similar ao da CER1, com a temperatura interna começando em 26.16°C às 01:00 e a externa em 21.8°C. A temperatura interna diminui ligeiramente durante a madrugada, atingindo 24.58°C às 06:00. Durante o dia, a temperatura interna aumenta, chegando a 27.89°C às 18:00. À noite, a temperatura interna cai novamente, atingindo 27.96°C às 24:00.

No modelo CER3, a temperatura interna às 01:00 é de 26.29°C, com a externa em 21.8°C. A temperatura interna diminui durante a madrugada, atingindo 24.65°C às 06:00. Durante o dia, a temperatura interna aumenta gradualmente, chegando a 28.13°C às 18:00. À noite, a temperatura interna cai para 28.12°C às 24:00.

O modelo CER4 apresenta uma temperatura interna de 26.05°C às 01:00, com a externa em 21.8°C. A temperatura interna diminui durante a madrugada, atingindo

24.79°C às 06:00. Durante o dia, a temperatura interna aumenta, chegando a 26.64°C às 18:00. À noite, a temperatura interna cai para 27.72°C às 24:00.

No modelo CER5, a temperatura interna às 01:00 é de 26.42°C, com a externa em 21.8°C. A temperatura interna diminui durante a madrugada, atingindo 24.85°C às 06:00. Durante o dia, a temperatura interna aumenta gradualmente, chegando a 28.17°C às 18:00. À noite, a temperatura interna cai para 28.23°C às 24:00.

O modelo CER6 apresenta uma temperatura interna de 26.57°C às 01:00, com a externa em 21.8°C. A temperatura interna diminui durante a madrugada, atingindo 24.94°C às 06:00. Durante o dia, a temperatura interna aumenta, chegando a 28.41°C às 18:00. À noite, a temperatura interna cai para 28.39°C às 24:00.

No modelo CER7, a temperatura interna às 01:00 é de 26.20°C, com a externa em 21.8°C. A temperatura interna diminui durante a madrugada, atingindo 24.69°C às 06:00. Durante o dia, a temperatura interna aumenta gradualmente, chegando a 27.26°C às 18:00. À noite, a temperatura interna cai para 27.86°C às 24:00.

O modelo CER8 apresenta uma temperatura interna de 26.55°C às 01:00, com a externa em 21.8°C. A temperatura interna diminui durante a madrugada, atingindo 24.97°C às 06:00. Durante o dia, a temperatura interna aumenta, chegando a 28.30°C às 18:00. À noite, a temperatura interna cai para 28.37°C às 24:00.

No modelo CER9, a temperatura interna às 01:00 é de 26.68°C, com a externa em 21.8°C. A temperatura interna diminui durante a madrugada, atingindo 25.02°C às 06:00. Durante o dia, a temperatura interna aumenta gradualmente, chegando a 28.55°C às 18:00. À noite, a temperatura interna cai para 28.54°C às 24:00.

O modelo CER10 apresenta uma temperatura interna de 26.59°C às 01:00, com a externa em 21.8°C. A temperatura interna diminui durante a madrugada, atingindo 25.31°C às 06:00. Durante o dia, a temperatura interna aumenta, chegando a 27.18°C às 18:00. À noite, a temperatura interna cai para 28.28°C às 24:00.

No modelo CER11, a temperatura interna às 01:00 é de 26.94°C, com a externa em 21.8°C. A temperatura interna diminui durante a madrugada, atingindo 25.34°C às 06:00. Durante o dia, a temperatura interna aumenta gradualmente, chegando a 28.72°C às 18:00. À noite, a temperatura interna cai para 28.79°C às 24:00.

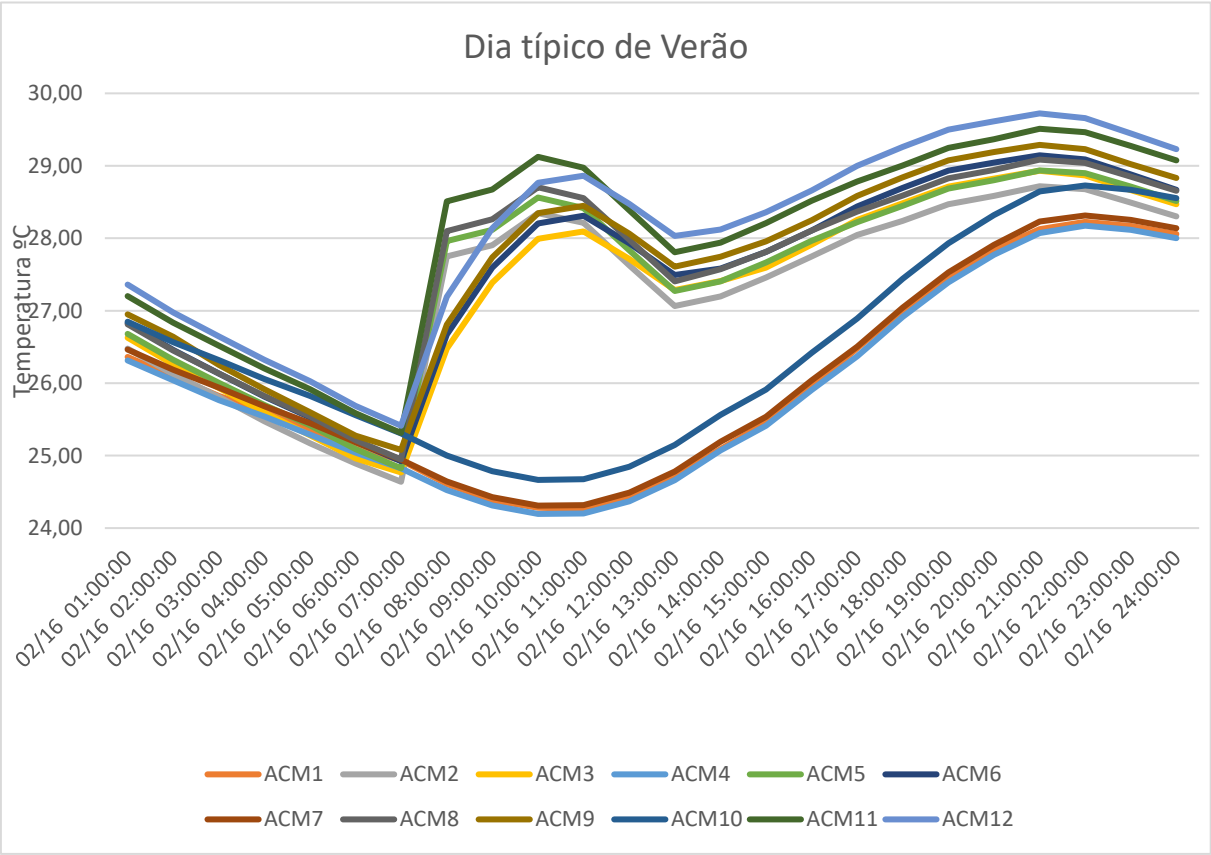
O modelo CER12 apresenta uma temperatura interna de 27.09°C às 01:00, com a externa em 21.8°C. A temperatura interna diminui durante a madrugada, atingindo 25.44°C às 06:00. Durante o dia, a temperatura interna aumenta, chegando a 28.97°C às 18:00. À noite, a temperatura interna cai para 28.95°C às 24:00.

Ao comparar os modelos, observa-se que todas apresentam um comportamento similar, com a temperatura interna diminuindo durante a madrugada e aumentando gradualmente durante o dia. No entanto, algumas diferenças podem ser destacadas. Os modelos CER1 a CER3 apresentam temperaturas internas ligeiramente mais baixas durante a madrugada e o dia, em comparação com os outros modelos. Já os modelos CER10 a CER12 têm temperaturas internas mais altas durante a madrugada e o dia, o que pode indicar uma maior eficiência térmica ou isolamento. Durante a madrugada (01:00 a 06:00), todos os modelos apresentam uma queda na temperatura interna, com as menores temperaturas internas observadas às 06:00. Durante o dia (06:00 a 18:00), a temperatura interna aumenta gradualmente, atingindo o pico às 18:00. À noite (18:00 a 24:00), a temperatura interna começa a cair novamente.

4.1.2 ACM

O comportamento térmico dos modelos é um aspecto fundamental para garantir o conforto térmico dos ocupantes e a eficiência energética dos edifícios. Este estudo examina a variação de temperatura interna ao longo de um dia típico de verão em doze edificações diferentes, identificadas como ACM1 a ACM12. As medições foram realizadas em intervalos regulares, comparando as temperaturas internas e externas em três períodos distintos: madrugada, dia e noite. A análise revela padrões comuns de variação térmica, bem como diferenças sutis entre os modelos, que podem estar relacionadas à eficiência térmica e ao isolamento de cada construção. A seguir, são apresentados os dados detalhados de cada modelo e uma comparação entre elas, destacando as principais observações e conclusões.

Tabela 14 - Dia Típico de Verão ACM



Fonte: (autor, 2024)

Tabela 15 - Dia Típico de Verão da Temperatura Externa



Fonte: (autor, 2024)

O modelo ACM1 apresenta uma variação de temperatura interna ao longo do dia típico de verão. Às 01:00, a temperatura interna é de 26.36°C, enquanto a temperatura externa é de 21.8°C. A temperatura interna mantém-se relativamente estável durante a madrugada, com uma leve queda até 24.94°C às 07:00. Durante o dia, a temperatura interna aumenta gradualmente, atingindo 26.48°C às 17:00, quando a temperatura externa é de 36°C. À noite, a temperatura interna diminui ligeiramente, fechando o dia em 28.06°C às 24:00.

O modelo ACM2 mostra um comportamento similar ao ACM1, com temperaturas internas começando em 26.48°C às 01:00 e caindo para 24.64°C às 07:00. Durante o dia, a temperatura interna aumenta, alcançando 28.04°C às 17:00. À noite, a temperatura interna diminui novamente, terminando o dia em 28.30°C às 24:00.

A temperatura interna do modelo ACM3 inicia em 26.63°C às 01:00 e cai para 24.77°C às 07:00. Durante o dia, a temperatura interna aumenta, atingindo 28.25°C às 17:00. À noite, a temperatura interna diminui ligeiramente, fechando o dia em 28.47°C às 24:00.

O modelo ACM4 apresenta uma temperatura interna de 26.31°C às 01:00, que cai para 24.83°C às 07:00. Durante o dia, a temperatura interna aumenta, alcançando 26.37°C às 17:00. À noite, a temperatura interna diminui ligeiramente, terminando o dia em 28.00°C às 24:00.

A temperatura interna do modelo ACM5 inicia em 26.68°C às 01:00 e cai para 24.83°C às 07:00. Durante o dia, a temperatura interna aumenta, atingindo 28.39°C às 17:00. À noite, a temperatura interna diminui ligeiramente, fechando o dia em 28.47°C às 24:00.

O modelo ACM6 apresenta uma temperatura interna de 26.83°C às 01:00, que cai para 24.92°C às 07:00. Durante o dia, a temperatura interna aumenta, alcançando 28.44°C às 17:00. À noite, a temperatura interna diminui ligeiramente, terminando o dia em 28.67°C às 24:00.

A temperatura interna do modelo ACM7 inicia em 26.46°C às 01:00 e cai para 24.94°C às 07:00. Durante o dia, a temperatura interna aumenta, atingindo 28.25°C às 17:00. À noite, a temperatura interna diminui ligeiramente, fechando o dia em 28.14°C às 24:00.

O modelo ACM8 apresenta uma temperatura interna de 26.81°C às 01:00, que cai para 24.95°C às 07:00. Durante o dia, a temperatura interna aumenta, alcançando

28.37°C às 17:00. À noite, a temperatura interna diminui ligeiramente, terminando o dia em 28.66°C às 24:00.

A temperatura interna do modelo ACM9 inicia em 26.95°C às 01:00 e cai para 25.08°C às 07:00. Durante o dia, a temperatura interna aumenta, atingindo 28.58°C às 17:00. À noite, a temperatura interna diminui ligeiramente, fechando o dia em 28.83°C às 24:00.

O modelo ACM10 apresenta uma temperatura interna de 26.85°C às 01:00, que cai para 25.31°C às 07:00. Durante o dia, a temperatura interna aumenta, alcançando 28.78°C às 17:00. À noite, a temperatura interna diminui ligeiramente, terminando o dia em 29.07°C às 24:00.

A temperatura interna do modelo ACM11 inicia em 27.20°C às 01:00 e cai para 25.31°C às 07:00. Durante o dia, a temperatura interna aumenta, atingindo 28.78°C às 17:00. À noite, a temperatura interna diminui ligeiramente, fechando o dia em 29.23°C às 24:00.

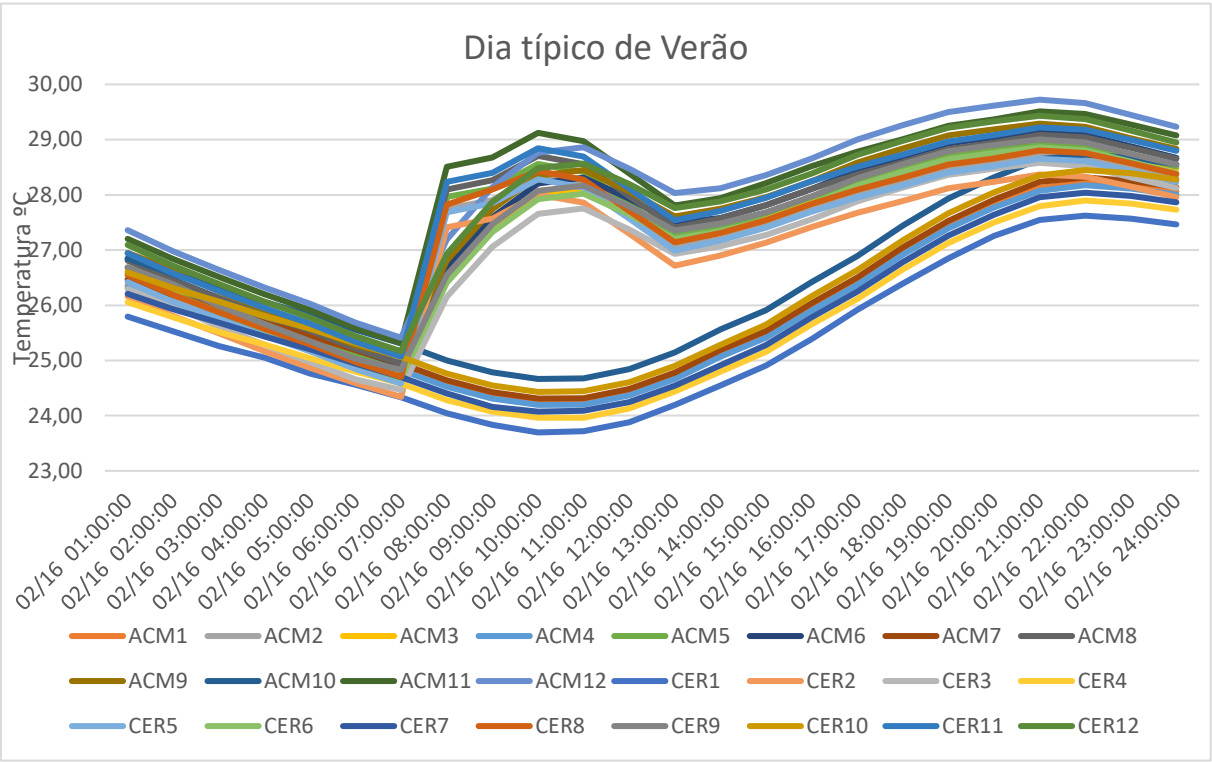
O modelo ACM12 apresenta uma temperatura interna de 27.36°C às 01:00, que cai para 25.41°C às 07:00. Durante o dia, a temperatura interna aumenta, alcançando 28.99°C às 17:00. À noite, a temperatura interna diminui ligeiramente, terminando o dia em 29.23°C às 24:00.

Ao comparar os modelos, observa-se que todas apresentam um comportamento similar de variação de temperatura interna ao longo do dia típico de verão. No entanto, algumas diferenças sutis podem ser destacadas: ACM1 a ACM9 têm temperaturas internas mais altas em comparação com ACM10 a ACM12. Isso pode indicar uma melhor eficiência térmica ou isolamento. ACM10 a ACM12 apresentam temperaturas internas mais baixas, especialmente durante a madrugada e início da manhã. Isso pode sugerir uma menor eficiência térmica ou isolamento em comparação com os outros modelos. Durante a madrugada (01:00 a 07:00), todos os modelos apresentam uma queda na temperatura interna, com as menores temperaturas internas observadas por volta das 07:00. Durante o dia (07:00 a 17:00), as temperaturas internas aumentam gradualmente, atingindo o pico por volta das 17:00. À noite (17:00 a 24:00), as temperaturas internas diminuem ligeiramente.

4.1.3 Comparativo entre CER e ACM

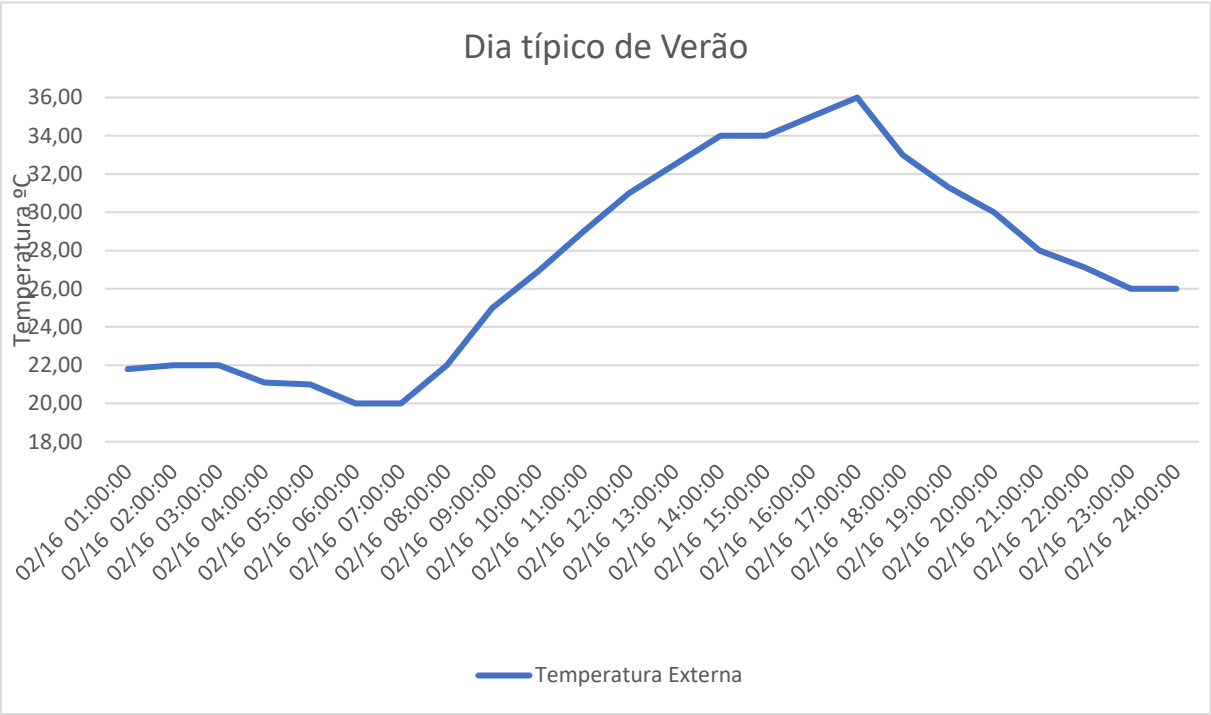
Ao examinar os dados de temperatura interna dos modelos ACM1 a ACM12 e CER1 a CER12 durante um dia típico de verão, podemos identificar várias tendências e padrões que fornecem informações valiosas sobre o desempenho térmico dessas construções.

Tabela 16 - Dia Típico de Verão CERxACM



Fonte: (autor, 2024)

Tabela 17 - Dia Típico de Verão da Temperatura Externa



Fonte: (autor, 2024)

Sobretudo, é fundamental destacar a diferença entre as fachadas ventiladas em cerâmica clara (CER1 a CER5) e cerâmica escura (CER6 a CER12). As fachadas em cerâmica clara, com uma absorvância de 0,2, tendem a refletir mais a radiação solar, resultando em temperaturas internas ligeiramente mais baixas. Por outro lado, as fachadas em cerâmica escura, com uma absorvância de 0,8, absorvem mais calor, o que se traduz em temperaturas internas mais elevadas. Essa diferença de comportamento térmico é fundamental para o conforto dos ocupantes e para a eficiência energética dos modelos.

Ademais, a configuração da cavidade ventilada também desempenha um papel significativo. Os modelos com cavidade ventilada de 1,0m (CER1, CER2, CER3, CER7, CER8 e CER9) apresentam temperaturas internas mais estáveis e ligeiramente mais altas em comparação com aquelas com cavidade de 0,5m. A maior profundidade da cavidade permite uma melhor circulação de ar, o que ajuda a dissipar o calor acumulado e a manter uma temperatura interna mais uniforme. Isso é particularmente benéfico durante o verão, quando a dissipação de calor é desejável para manter o ambiente interno confortável.

Assim como os modelos com fachadas em ACM claro (ACM1 a ACM5) e ACM escuro (ACM6 a ACM12), observa-se um padrão semelhante ao das fachadas em

cerâmica. Os modelos com ACM claro, devido à sua menor absorção, tendem a ter temperaturas internas mais baixas, enquanto aquelas com ACM escuro apresentam temperaturas internas mais altas. Essa diferença é acentuada pela capacidade do ACM escuro de absorver mais calor, o que pode ser vantajoso em climas frios, mas pode representar um desafio em climas quentes.

Outro aspecto fundamental a ser levado em conta é o tipo de fechamento interno. Os modelos com fechamento interno em alvenaria e vidro insulado (como ACM2, ACM5, ACM8 e ACM11) mostram uma melhor retenção de calor, resultando em temperaturas internas mais altas. O vidro insulado oferece uma barreira térmica eficaz, reduzindo a perda de calor e contribuindo para um ambiente interno mais confortável. Em comparação, os modelos com vidro laminado ou apenas alvenaria tendem a ter uma menor capacidade de retenção de calor, o que pode resultar em temperaturas internas mais baixas.

Outrossim, a combinação de materiais e configurações pode influenciar significativamente o desempenho térmico dos modelos. Por exemplo, um modelo com fachada em cerâmica escura, cavidade ventilada de 1,0m e fechamento interno com vidro insulado (como CER8) provavelmente terá uma temperatura interna mais alta e estável em comparação com um modelo com fachada em cerâmica clara, cavidade ventilada de 0,5m e fechamento interno em alvenaria (como CER4). Essa combinação de fatores deve ser cuidadosamente considerada durante o processo de design para otimizar o conforto térmico e a eficiência energética.

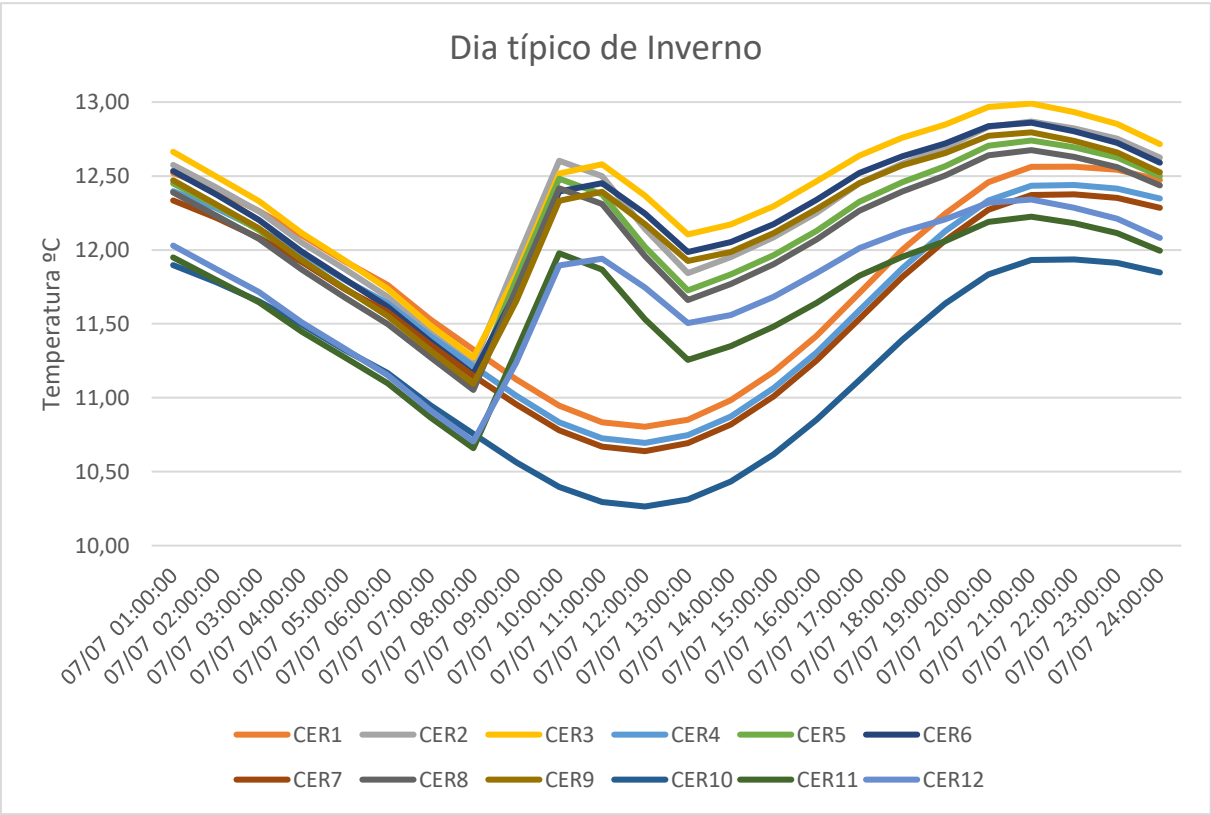
Dessa forma, a análise dos dados de temperatura interna dos modelos ACM1 a ACM12 e CER1 a CER12 revela que a cor e o material da fachada, a configuração da cavidade ventilada e o tipo de fechamento interno são fatores fundamentais que influenciam significativamente o desempenho térmico das construções. As fachadas escuras e os materiais com maior capacidade de isolamento tendem a proporcionar ambientes internos mais quentes, enquanto as fachadas claras e os materiais com menor absorção resultam em temperaturas internas mais baixas. A compreensão dessas interações é essencial para o desenvolvimento de estratégias de design que promovam o conforto térmico e a eficiência energética em diferentes condições climáticas.

4.2 Dia Típico de Inverno

4.2.1 CER

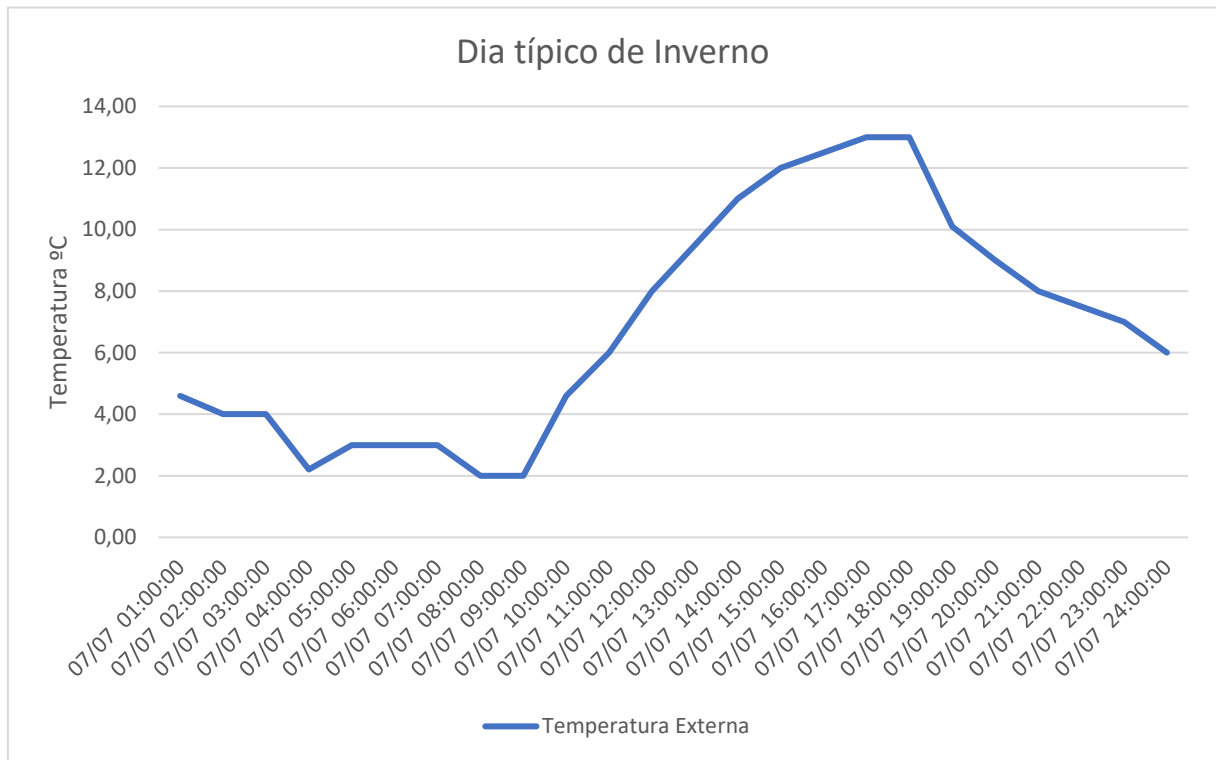
O comportamento térmico dos modelos durante o inverno é essencial para garantir o conforto dos ocupantes e a eficiência energética dos edifícios. Este estudo analisa a variação de temperatura interna ao longo de um dia típico de inverno em doze edificações diferentes, identificadas como CER1 a CER12. As medições foram realizadas em intervalos regulares, comparando as temperaturas internas e externas em três períodos distintos: madrugada, dia e noite. A análise revela padrões comuns de variação térmica, bem como diferenças significativas entre os modelos, que podem estar relacionadas à eficiência térmica e ao isolamento de cada construção. A seguir, são apresentados os dados detalhados de cada modelo e uma comparação entre elas, destacando as principais observações e conclusões.

Tabela 18 - Dia Típico de Inverno CER



Fonte: (autor, 2024)

Tabela 19 - Dia Típico de Inverno da Temperatura externa



Fonte: (autor, 2024)

O modelo CER1 apresenta uma variação de temperatura interna ao longo do dia típico de inverno. Às 01:00, a temperatura interna é de 12.52°C, enquanto a temperatura externa é de 4.6°C. Observa-se que a temperatura interna se mantém relativamente estável durante a madrugada, com pequenas variações. Às 06:00, a temperatura interna é de 11.76°C, enquanto a externa é de 3°C. Durante o dia, a temperatura interna aumenta gradualmente, atingindo 12.00°C às 18:00, quando a temperatura externa é de 13°C. À noite, a temperatura interna volta a cair, chegando a 12.47°C às 24:00, com a externa em 6°C.

O modelo CER2 mostra um comportamento similar ao da CER1, com a temperatura interna começando em 12.58°C às 01:00 e a externa em 4.6°C. A temperatura interna diminui ligeiramente durante a madrugada, atingindo 11.68°C às 06:00. Durante o dia, a temperatura interna aumenta, chegando a 12.69°C às 18:00. À noite, a temperatura interna cai novamente, atingindo 12.63°C às 24:00.

No modelo CER3, a temperatura interna às 01:00 é de 12.66°C, com a externa em 4.6°C. A temperatura interna diminui durante a madrugada, atingindo 11.74°C às

06:00. Durante o dia, a temperatura interna aumenta gradualmente, chegando a 12.76°C às 18:00. À noite, a temperatura interna cai para 12.71°C às 24:00.

O modelo CER4 apresenta uma temperatura interna de 12.40°C às 01:00, com a externa em 4.6°C. A temperatura interna diminui durante a madrugada, atingindo 11.64°C às 06:00. Durante o dia, a temperatura interna aumenta, chegando a 12.33°C às 18:00. À noite, a temperatura interna cai para 12.35°C às 24:00.

No modelo CER5, a temperatura interna às 01:00 é de 12.45°C, com a externa em 4.6°C. A temperatura interna diminui durante a madrugada, atingindo 11.74°C às 06:00. Durante o dia, a temperatura interna aumenta gradualmente, chegando a 12.57°C às 18:00. À noite, a temperatura interna cai para 12.50°C às 24:00.

O modelo CER6 apresenta uma temperatura interna de 12.53°C às 01:00, com a externa em 4.6°C. A temperatura interna diminui durante a madrugada, atingindo 11.62°C às 06:00. Durante o dia, a temperatura interna aumenta, chegando a 12.63°C às 18:00. À noite, a temperatura interna cai para 12.59°C às 24:00.

No modelo CER7, a temperatura interna às 01:00 é de 12.33°C, com a externa em 4.6°C. A temperatura interna diminui durante a madrugada, atingindo 11.50°C às 06:00. Durante o dia, a temperatura interna aumenta gradualmente, chegando a 12.50°C às 18:00. À noite, a temperatura interna cai para 12.28°C às 24:00.

O modelo CER8 apresenta uma temperatura interna de 12.39°C às 01:00, com a externa em 4.6°C. A temperatura interna diminui durante a madrugada, atingindo 11.55°C às 06:00. Durante o dia, a temperatura interna aumenta, chegando a 12.64°C às 18:00. À noite, a temperatura interna cai para 12.43°C às 24:00.

No modelo CER9, a temperatura interna às 01:00 é de 12.47°C, com a externa em 4.6°C. A temperatura interna diminui durante a madrugada, atingindo 11.55°C às 06:00. Durante o dia, a temperatura interna aumenta gradualmente, chegando a 12.65°C às 18:00. À noite, a temperatura interna cai para 12.53°C às 24:00.

O modelo CER10 apresenta uma temperatura interna de 11.90°C às 01:00, com a externa em 4.6°C. A temperatura interna diminui durante a madrugada, atingindo 11.10°C às 06:00. Durante o dia, a temperatura interna aumenta, chegando a 12.06°C às 18:00. À noite, a temperatura interna cai para 11.85°C às 24:00.

No modelo CER11, a temperatura interna às 01:00 é de 11.95°C, com a externa em 4.6°C. A temperatura interna diminui durante a madrugada, atingindo 11.10°C às 06:00. Durante o dia, a temperatura interna aumenta gradualmente, chegando a 12.12°C às 18:00. À noite, a temperatura interna cai para 11.99°C às 24:00.

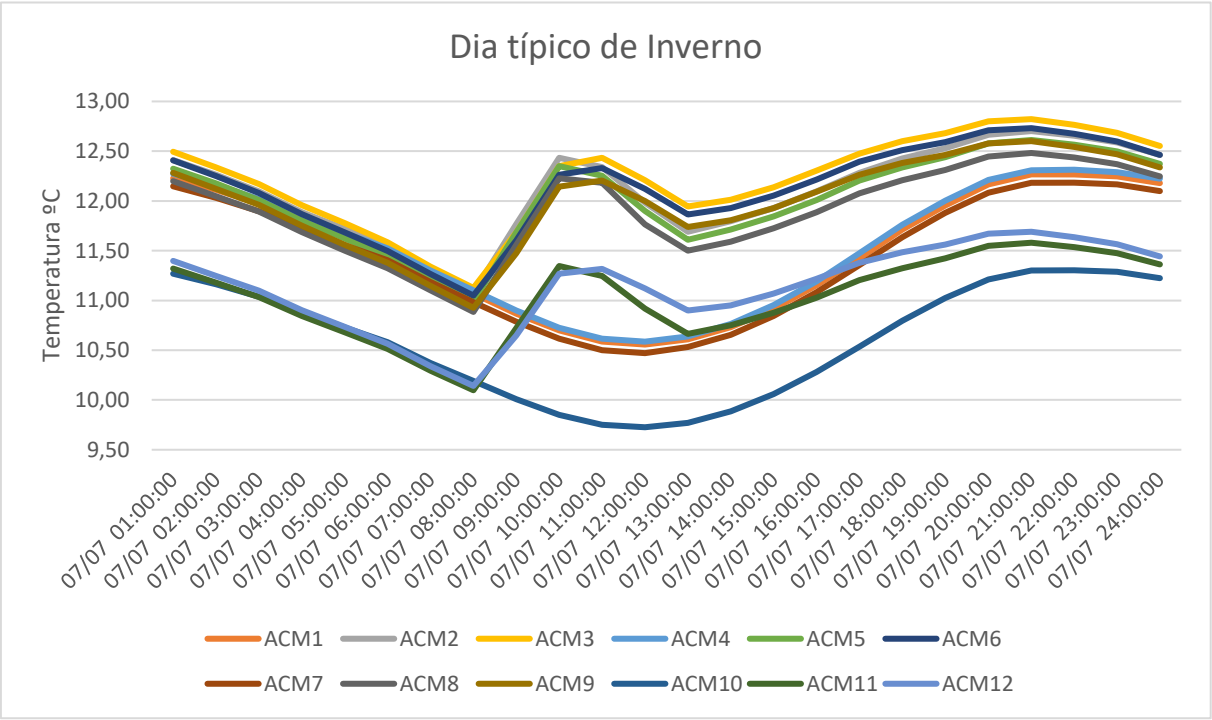
O modelo CER12 apresenta uma temperatura interna de 12.03°C às 01:00, com a externa em 4.6°C. A temperatura interna diminui durante a madrugada, atingindo 11.15°C às 06:00. Durante o dia, a temperatura interna aumenta, chegando a 12.12°C às 18:00. À noite, a temperatura interna cai para 12.08°C às 24:00.

Ao comparar os modelos, observa-se que todos apresentam um comportamento similar, com a temperatura interna diminuindo durante a madrugada e aumentando gradualmente durante o dia. No entanto, algumas diferenças podem ser destacadas. Os modelos CER1 a CER3 apresentam temperaturas internas ligeiramente mais altas durante a madrugada e o dia, em comparação com os outros modelos. Já os modelos CER10 a CER12 têm temperaturas internas mais baixas durante a madrugada e o dia, o que pode indicar uma menor eficiência térmica ou isolamento. Durante a madrugada (01:00 a 06:00), todos os modelos apresentam uma queda na temperatura interna, com as menores temperaturas internas observadas às 06:00. Durante o dia (06:00 a 18:00), a temperatura interna aumenta gradualmente, atingindo o pico às 18:00. À noite (18:00 a 24:00), a temperatura interna começa a cair novamente.

4.2.2 ACM

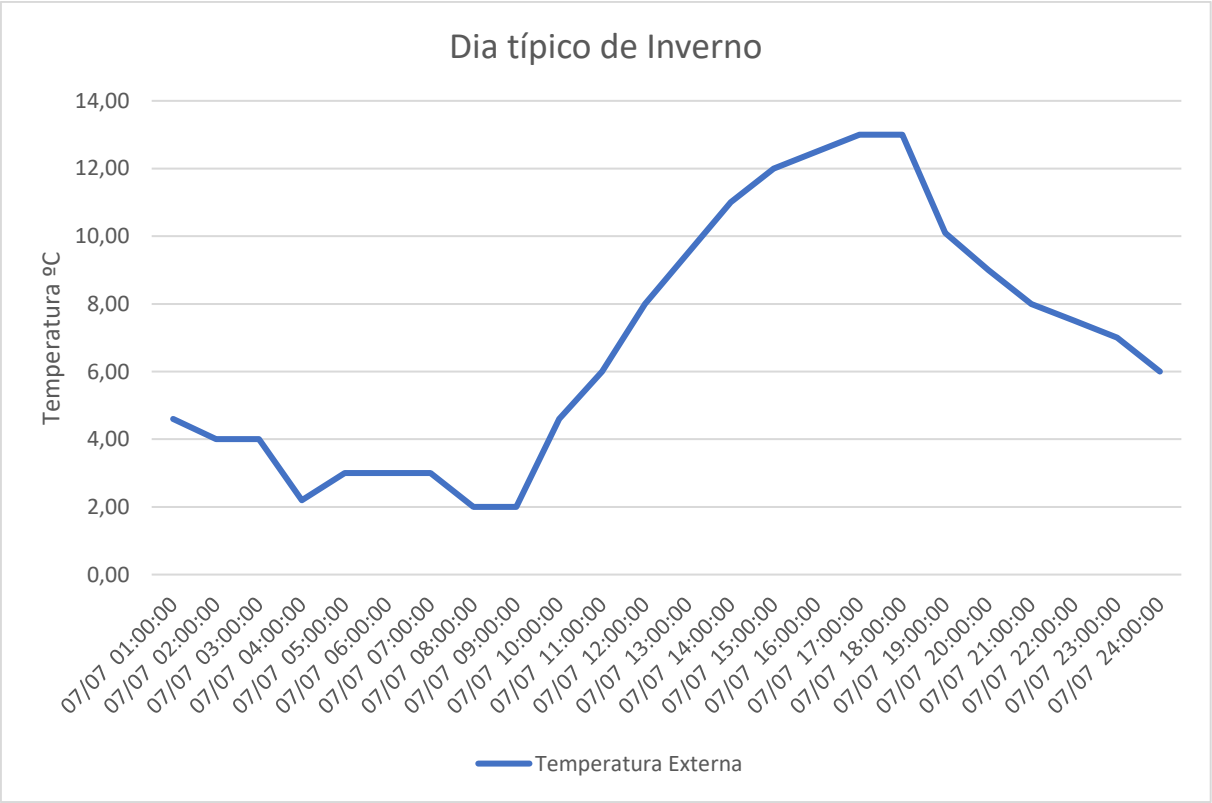
O comportamento térmico dos modelos durante o inverno é essencial para garantir o conforto dos ocupantes e a eficiência energética dos edifícios. Este estudo examina a variação de temperatura interna ao longo de um dia típico de inverno em doze edificações diferentes, identificadas como ACM1 a ACM12. As medições foram realizadas em intervalos regulares, comparando as temperaturas internas e externas em três períodos distintos: madrugada, dia e noite. A análise revela padrões comuns de variação térmica, bem como diferenças sutis entre os modelos, que podem estar relacionadas à eficiência térmica e ao isolamento de cada construção. A seguir, são apresentados os dados detalhados de cada modelo e uma comparação entre elas, destacando as principais observações e conclusões.

Tabela 20 - Dia Típico de Inverno ACM



Fonte: (autor, 2024)

Tabela 21 - Dia Típico de Inverno da Temperatura externa



Fonte: (autor, 2024)

O modelo ACM1 apresenta uma variação de temperatura interna ao longo do dia típico de inverno. Às 01:00, a temperatura interna é de 12.23°C, enquanto a temperatura externa é de 4.6°C. A temperatura interna mantém-se relativamente estável durante a madrugada, com uma leve queda até 11.27°C às 07:00. Durante o dia, a temperatura interna aumenta gradualmente, atingindo 12.23°C às 17:00, quando a temperatura externa é de 13°C. À noite, a temperatura interna diminui ligeiramente, fechando o dia em 12.18°C às 24:00.

O modelo ACM2 mostra um comportamento similar ao ACM1, com temperaturas internas começando em 12.41°C às 01:00 e caindo para 11.29°C às 07:00. Durante o dia, a temperatura interna aumenta, alcançando 12.28°C às 17:00. À noite, a temperatura interna diminui novamente, terminando o dia em 12.46°C às 24:00.

A temperatura interna do modelo ACM3 inicia em 12.50°C às 01:00 e cai para 11.34°C às 07:00. Durante o dia, a temperatura interna aumenta, atingindo 12.47°C às 17:00. À noite, a temperatura interna diminui ligeiramente, fechando o dia em 12.55°C às 24:00.

O modelo ACM4 apresenta uma temperatura interna de 12.27°C às 01:00, que cai para 11.22°C às 07:00. Durante o dia, a temperatura interna aumenta, alcançando 12.20°C às 17:00. À noite, a temperatura interna diminui ligeiramente, terminando o dia em 12.37°C às 24:00.

A temperatura interna do modelo ACM5 inicia em 12.33°C às 01:00 e cai para 11.26°C às 07:00. Durante o dia, a temperatura interna aumenta, atingindo 12.39°C às 17:00. À noite, a temperatura interna diminui ligeiramente, fechando o dia em 12.46°C às 24:00.

O modelo ACM6 apresenta uma temperatura interna de 12.41°C às 01:00, que cai para 11.26°C às 07:00. Durante o dia, a temperatura interna aumenta, alcançando 12.51°C às 17:00. À noite, a temperatura interna diminui ligeiramente, terminando o dia em 12.46°C às 24:00.

A temperatura interna do modelo ACM7 inicia em 12.15°C às 01:00 e cai para 11.10°C às 07:00. Durante o dia, a temperatura interna aumenta, atingindo 12.21°C às 17:00. À noite, a temperatura interna diminui ligeiramente, fechando o dia em 12.10°C às 24:00.

O modelo ACM8 apresenta uma temperatura interna de 12.20°C às 01:00, que cai para 11.10°C às 07:00. Durante o dia, a temperatura interna aumenta, alcançando

12.31°C às 17:00. À noite, a temperatura interna diminui ligeiramente, terminando o dia em 12.25°C às 24:00.

A temperatura interna do modelo ACM9 inicia em 12.28°C às 01:00 e cai para 11.15°C às 07:00. Durante o dia, a temperatura interna aumenta, atingindo 12.38°C às 17:00. À noite, a temperatura interna diminui ligeiramente, fechando o dia em 12.34°C às 24:00.

O modelo ACM10 apresenta uma temperatura interna de 11.27°C às 01:00, que cai para 10.29°C às 07:00. Durante o dia, a temperatura interna aumenta, alcançando 11.20°C às 17:00. À noite, a temperatura interna diminui ligeiramente, terminando o dia em 11.22°C às 24:00.

A temperatura interna do modelo ACM11 inicia em 11.32°C às 01:00 e cai para 10.29°C às 07:00. Durante o dia, a temperatura interna aumenta, atingindo 11.38°C às 17:00. À noite, a temperatura interna diminui ligeiramente, fechando o dia em 11.36°C às 24:00.

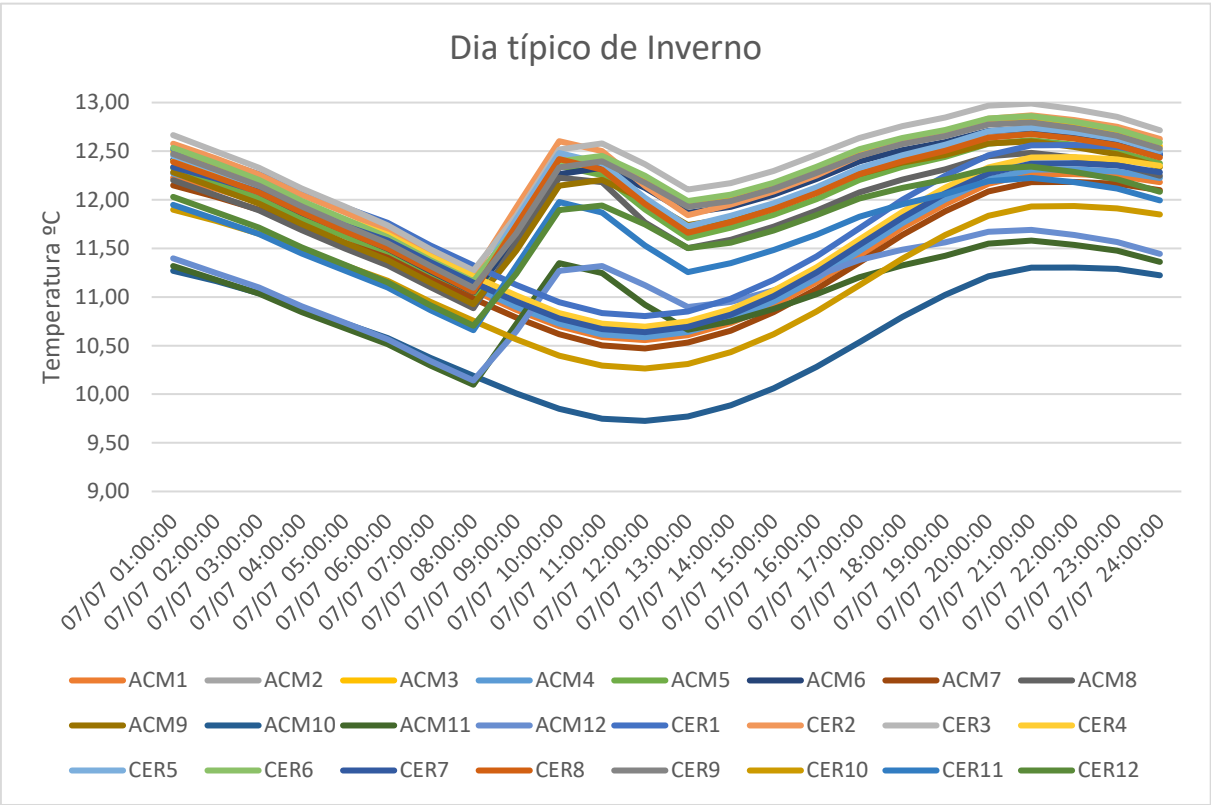
O modelo ACM12 apresenta uma temperatura interna de 11.40°C às 01:00, que cai para 10.34°C às 07:00. Durante o dia, a temperatura interna aumenta, alcançando 11.44°C às 17:00. À noite, a temperatura interna diminui ligeiramente, terminando o dia em 11.44°C às 24:00.

Ao comparar os modelos, observa-se que todas apresentam um comportamento similar de variação de temperatura interna ao longo do dia típico de inverno. No entanto, algumas diferenças sutis podem ser destacadas: ACM1 a ACM9 têm temperaturas internas mais altas em comparação com ACM10 a ACM12. Isso pode indicar uma melhor eficiência térmica ou isolamento. ACM10 a ACM12 apresentam temperaturas internas mais baixas, especialmente durante a madrugada e início da manhã. Isso pode sugerir uma menor eficiência térmica ou isolamento em comparação com os outros modelos. Durante a madrugada (01:00 a 07:00), todos os modelos apresentam uma queda na temperatura interna, com as menores temperaturas internas observadas por volta das 07:00. Durante o dia (07:00 a 17:00), as temperaturas internas aumentam gradualmente, atingindo o pico por volta das 17:00. À noite (17:00 a 24:00), as temperaturas internas diminuem ligeiramente.

4.2.3 Comparação entre CER e ACM

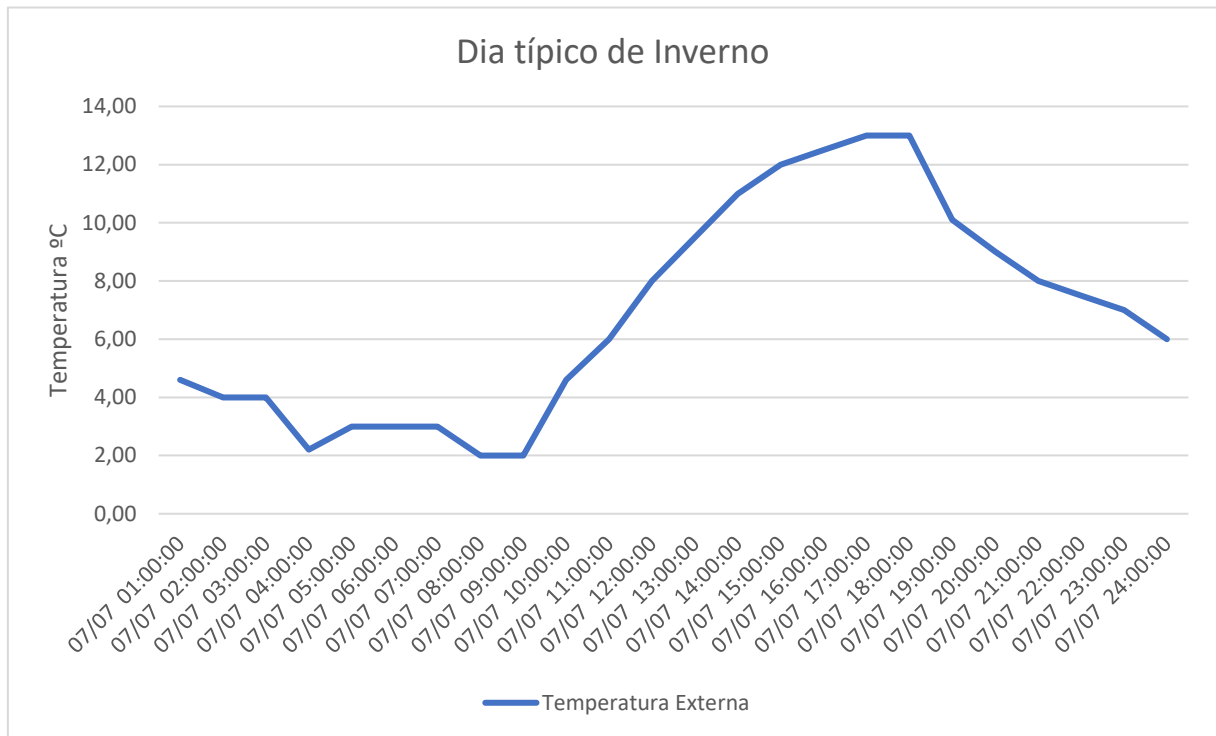
Analisando os dados de temperatura interna dos modelos ACM1 a ACM12 e CER1 a CER12 durante um dia típico de inverno, podemos observar várias tendências e padrões que fornecem insights valiosos sobre o desempenho térmico dessas construções.

Tabela 22 - Dia Típico de Inverno CERxACM



Fonte: (autor, 2024)

Tabela 23 - Dia Típico de Inverno da Temperatura externa



Fonte: (autor, 2024)

Primeiramente, é importante destacar a diferença entre as fachadas ventiladas em cerâmica clara (CER1 a CER5) e cerâmica escura (CER6 a CER12). As fachadas em cerâmica clara, com uma absorvância de 0,2, tendem a refletir mais a radiação solar, resultando em temperaturas internas ligeiramente mais baixas. Em contraste, as fachadas em cerâmica escura, com uma absorvância de 0,8, absorvem mais calor, o que se traduz em temperaturas internas mais elevadas. Essa diferença de comportamento térmico é fundamental para o conforto térmico dos ocupantes e para a eficiência energética dos modelos.

Além da cor da fachada, a configuração da cavidade ventilada também desempenha um papel significativo. Os modelos com cavidade ventilada de 1,0m (CER1, CER2, CER3, CER7, CER8 e CER9) apresentam temperaturas internas mais estáveis e ligeiramente mais altas em comparação com aquelas com cavidade de 0,5m. A maior profundidade da cavidade permite uma melhor circulação de ar, o que ajuda a dissipar o calor acumulado e a manter uma temperatura interna mais uniforme. Isso é particularmente benéfico durante o inverno, quando a retenção de calor é desejável para manter o ambiente interno confortável.

Ao comparar os modelos com fachadas em ACM claro (ACM1 a ACM5) e ACM escuro (ACM6 a ACM12), identifica-se um padrão semelhante ao das fachadas em cerâmica. Os modelos com ACM claro, devido à sua menor absorvência, tendem a ter temperaturas internas mais baixas, enquanto aquelas com ACM escuro apresentam temperaturas internas mais altas. Essa diferença é acentuada pela capacidade do ACM escuro de absorver mais calor, o que pode ser vantajoso em climas frios, mas pode representar um desafio em climas quentes.

Outro fator importante a ser considerado é o tipo de fechamento interno. Os modelos com fechamento interno em alvenaria e vidro insulado (como ACM2, ACM5, ACM8 e ACM11) mostram uma melhor retenção de calor, resultando em temperaturas internas mais altas. O vidro insulado oferece uma barreira térmica eficaz, reduzindo a perda de calor e contribuindo para um ambiente interno mais confortável. Em comparação, os modelos com vidro laminado ou apenas alvenaria tendem a ter uma menor capacidade de retenção de calor, o que pode resultar em temperaturas internas mais baixas.

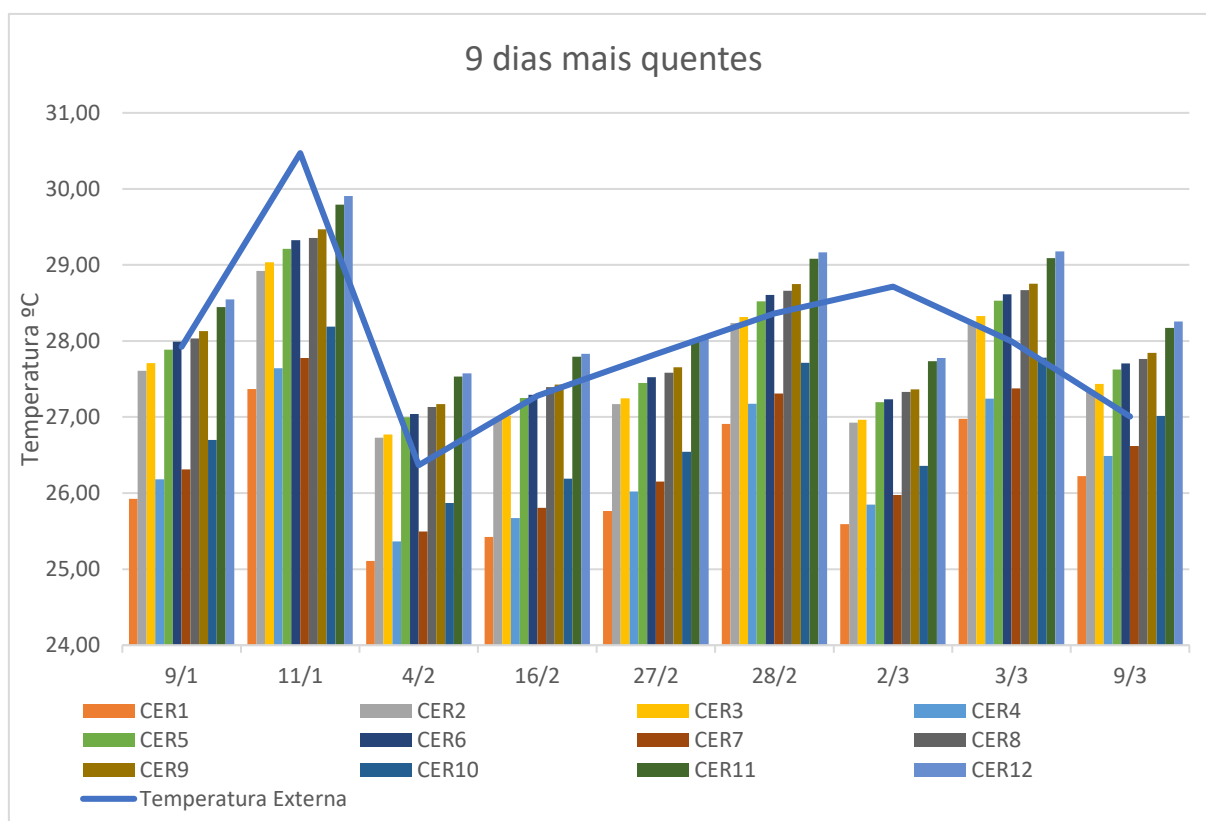
Além disso, a combinação de materiais e configurações pode influenciar significativamente o desempenho térmico dos modelos. Por exemplo, um modelo com fachada em cerâmica escura, cavidade ventilada de 1,0m e fechamento interno com vidro insulado (como CER8) provavelmente terá uma temperatura interna mais alta e estável em comparação com um modelo com fachada em cerâmica clara, cavidade ventilada de 0,5m e fechamento interno em alvenaria (como CER4). Essa combinação de fatores deve ser cuidadosamente considerada durante o processo de design para otimizar o conforto térmico e a eficiência energética.

Em resumo, a análise dos dados de temperatura interna dos modelos ACM1 a ACM12 e CER1 a CER12 revela que a cor e o material da fachada, a configuração da cavidade ventilada e o tipo de fechamento interno são fatores fundamentais que influenciam significativamente o desempenho térmico das construções. As fachadas escuras e os materiais com maior capacidade de isolamento tendem a proporcionar ambientes internos mais quentes, enquanto as fachadas claras e os materiais com menor absorvência resultam em temperaturas internas mais baixas. A compreensão dessas interações é essencial para o desenvolvimento de estratégias de design que promovam o conforto térmico e a eficiência energética em diferentes condições climáticas.

4.3 Avaliação de 9 dias mais quentes

O comportamento térmico dos modelos durante os dias mais quentes é um aspecto fundamental para garantir o conforto dos ocupantes e a eficiência energética dos edifícios. Este estudo analisa a variação de temperatura interna ao longo dos nove dias mais quentes em doze edificações diferentes, identificadas como CER1 a CER12. As medições foram realizadas em intervalos regulares, comparando as temperaturas internas e externas. A análise revela padrões comuns de variação térmica, bem como diferenças significativas entre os modelos, que podem estar relacionadas à eficiência térmica e ao isolamento de cada construção. A seguir, são apresentados os dados detalhados de cada modelo e uma comparação entre elas, destacando as principais observações e conclusões.

Tabela 24 - 9 dias mais quentes CER



Fonte: (autor, 2024)

O modelo CER1 apresenta uma variação de temperatura interna ao longo dos 9 dias mais quentes. A temperatura interna varia de 25,11°C a 26,98°C, enquanto a temperatura externa varia de 26,37°C a 30,47°C. Observa-se que a temperatura

interna se mantém relativamente estável durante os dias mais quentes, com pequenas variações.

O modelo CER2 mostra uma variação de temperatura interna de 26.73°C a 28.92°C, enquanto a temperatura externa varia de 26.37°C a 30.47°C. A temperatura interna aumenta gradualmente durante os dias mais quentes, atingindo picos mais altos em comparação com a CER1.

No modelo CER3, a temperatura interna varia de 26.77°C a 29.04°C, com a temperatura externa variando de 26.37°C a 30.47°C. A temperatura interna apresenta um comportamento similar ao da CER2, com picos mais altos durante os dias mais quentes.

O modelo CER4 apresenta uma variação de temperatura interna de 25.36°C a 27.64°C, enquanto a temperatura externa varia de 26.37°C a 30.47°C. A temperatura interna se mantém relativamente estável, com variações menores em comparação com outros modelos.

No modelo CER5, a temperatura interna varia de 26.99°C a 29.21°C, com a temperatura externa variando de 26.37°C a 30.47°C. A temperatura interna apresenta picos mais altos, similar à CER2 e CER3.

O modelo CER6 apresenta uma variação de temperatura interna de 27.04°C a 29.33°C, enquanto a temperatura externa varia de 26.37°C a 30.47°C. A temperatura interna se mantém relativamente estável, com picos mais altos durante os dias mais quentes.

No modelo CER7, a temperatura interna varia de 25.49°C a 27.78°C, com a temperatura externa variando de 26.37°C a 30.47°C. A temperatura interna se mantém relativamente estável, com variações menores em comparação com outros modelos.

O modelo CER8 apresenta uma variação de temperatura interna de 27.13°C a 29.36°C, enquanto a temperatura externa varia de 26.37°C a 30.47°C. A temperatura interna se mantém relativamente estável, com picos mais altos durante os dias mais quentes.

No modelo CER9, a temperatura interna varia de 27.17°C a 29.47°C, com a temperatura externa variando de 26.37°C a 30.47°C. A temperatura interna se mantém relativamente estável, com picos mais altos durante os dias mais quentes.

O modelo CER10 apresenta uma variação de temperatura interna de 25.87°C a 28.19°C, enquanto a temperatura externa varia de 26.37°C a 30.47°C. A

temperatura interna se mantém relativamente estável, com variações menores em comparação com outros modelos.

No modelo CER11, a temperatura interna varia de 27.53°C a 29.79°C, com a temperatura externa variando de 26.37°C a 30.47°C. A temperatura interna se mantém relativamente estável, com picos mais altos durante os dias mais quentes.

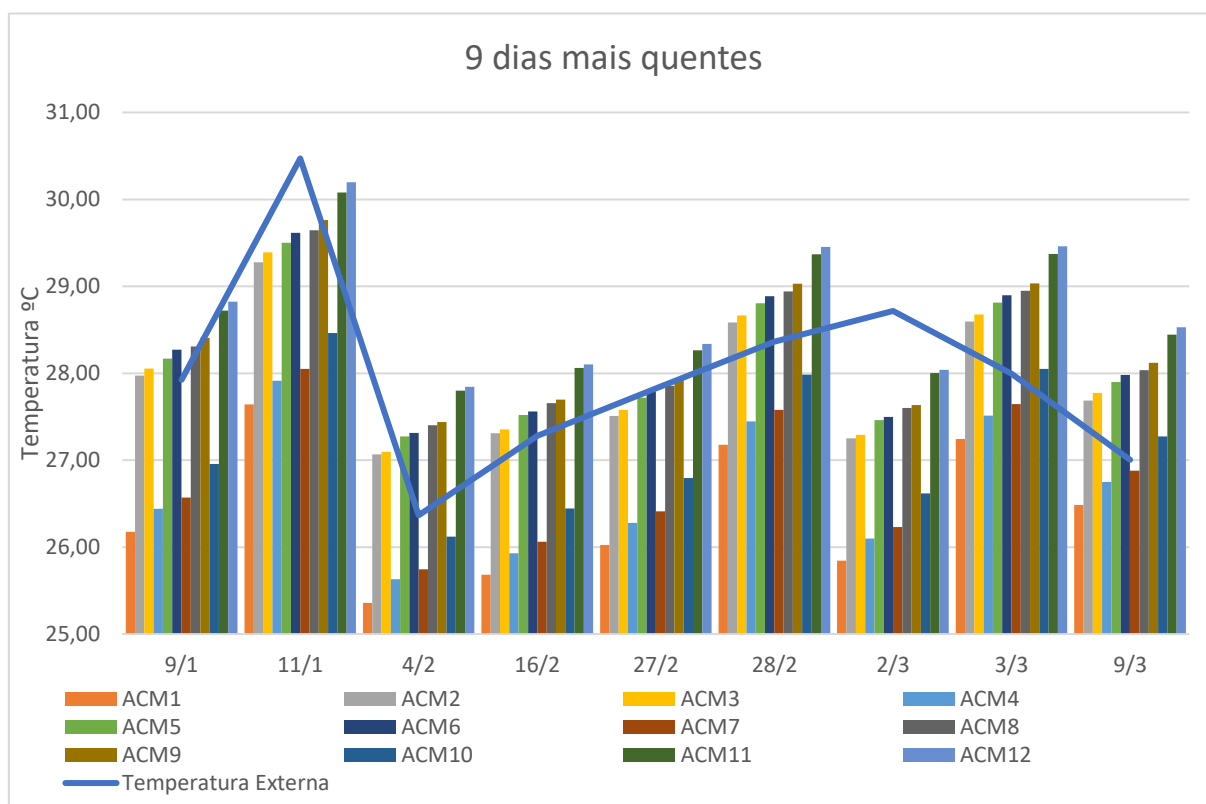
O modelo CER12 apresenta uma variação de temperatura interna de 27.57°C a 29.91°C, enquanto a temperatura externa varia de 26.37°C a 30.47°C. A temperatura interna se mantém relativamente estável, com picos mais altos durante os dias mais quentes.

Ao comparar os modelos, observa-se que todos apresentam um comportamento similar, com a temperatura interna variando de acordo com a temperatura externa. No entanto, algumas diferenças podem ser destacadas. Os modelos CER1 a CER4 apresentam temperaturas internas ligeiramente mais baixas durante os dias mais quentes, em comparação com os outros modelos. Já os modelos CER5 a CER12 têm temperaturas internas mais altas durante os dias mais quentes, o que pode indicar uma menor eficiência térmica ou isolamento. Durante os dias mais quentes, todos os modelos apresentam um aumento na temperatura interna, com os picos mais altos observados durante a tarde. À noite, a temperatura interna começa a cair novamente.

4.3.1 ACM

O comportamento térmico dos modelos durante os dias mais quentes é um fator determinante para o conforto dos ocupantes e a eficiência energética dos edifícios. Este estudo analisa a variação de temperatura interna ao longo dos nove dias mais quentes em doze edificações diferentes, identificadas como ACM1 a ACM12. As medições foram realizadas em intervalos regulares, comparando as temperaturas internas e externas. A análise revela padrões comuns de variação térmica, bem como diferenças sutis entre os modelos, que podem estar relacionadas à eficiência térmica e ao isolamento de cada construção. A seguir, são apresentados os dados detalhados de cada modelo e uma comparação entre elas, destacando as principais observações e conclusões.

Tabela 25 - 9 dias mais quentes ACM



Fonte: (autor, 2024)

O modelo ACM1 apresenta variações de temperatura interna ao longo dos 9 dias mais quentes. A temperatura interna varia de 25,36°C a 27,64°C, com a menor temperatura registrada em 26/06 e a maior em 02/06. A temperatura externa nesses dias varia de 26,37°C a 30,47°C. O modelo mostra uma boa capacidade de manter a temperatura interna relativamente estável, apesar das variações externas.

O modelo ACM2 tem temperaturas internas variando de 27,07°C a 29,28°C. A menor temperatura interna é registrada em 26/06 e a maior em 02/06. A temperatura externa nesses dias varia de 26,37°C a 30,47°C. O modelo ACM2 também demonstra uma boa estabilidade térmica interna.

A temperatura interna do modelo ACM3 varia de 27,10°C a 29,39°C. A menor temperatura interna é registrada em 26/06 e a maior em 02/06. A temperatura externa nesses dias varia de 26,37°C a 30,47°C. O modelo ACM3 mantém uma temperatura interna estável, similar às outros modelos.

O modelo ACM4 apresenta temperaturas internas variando de 25,63°C a 27,92°C. A menor temperatura interna é registrada em 26/06 e a maior em 02/06. A

temperatura externa nesses dias varia de 26.37°C a 30.47°C. O modelo ACM4 mostra uma boa capacidade de manter a temperatura interna estável.

A temperatura interna do modelo ACM5 varia de 27.27°C a 29.50°C. A menor temperatura interna é registrada em 26/06 e a maior em 02/06. A temperatura externa nesses dias varia de 26.37°C a 30.47°C. O modelo ACM5 mantém uma temperatura interna estável.

O modelo ACM6 apresenta temperaturas internas variando de 27.32°C a 29.62°C. A menor temperatura interna é registrada em 26/06 e a maior em 02/06. A temperatura externa nesses dias varia de 26.37°C a 30.47°C. O modelo ACM6 demonstra uma boa estabilidade térmica interna.

A temperatura interna do modelo ACM7 varia de 25.75°C a 28.05°C. A menor temperatura interna é registrada em 26/06 e a maior em 02/06. A temperatura externa nesses dias varia de 26.37°C a 30.47°C. O modelo ACM7 mantém uma temperatura interna estável.

O modelo ACM8 apresenta temperaturas internas variando de 27.40°C a 29.65°C. A menor temperatura interna é registrada em 26/06 e a maior em 02/06. A temperatura externa nesses dias varia de 26.37°C a 30.47°C. O modelo ACM8 demonstra uma boa estabilidade térmica interna.

A temperatura interna do modelo ACM9 varia de 27.44°C a 29.76°C. A menor temperatura interna é registrada em 26/06 e a maior em 02/06. A temperatura externa nesses dias varia de 26.37°C a 30.47°C. O modelo ACM9 mantém uma temperatura interna estável.

O modelo ACM10 apresenta temperaturas internas variando de 26.12°C a 28.46°C. A menor temperatura interna é registrada em 26/06 e a maior em 02/06. A temperatura externa nesses dias varia de 26.37°C a 30.47°C. O modelo ACM10 mostra uma menor eficiência térmica em comparação com os outros modelos.

A temperatura interna do modelo ACM11 varia de 27.80°C a 30.08°C. A menor temperatura interna é registrada em 26/06 e a maior em 02/06. A temperatura externa nesses dias varia de 26.37°C a 30.47°C. O modelo ACM11 mantém uma temperatura interna estável.

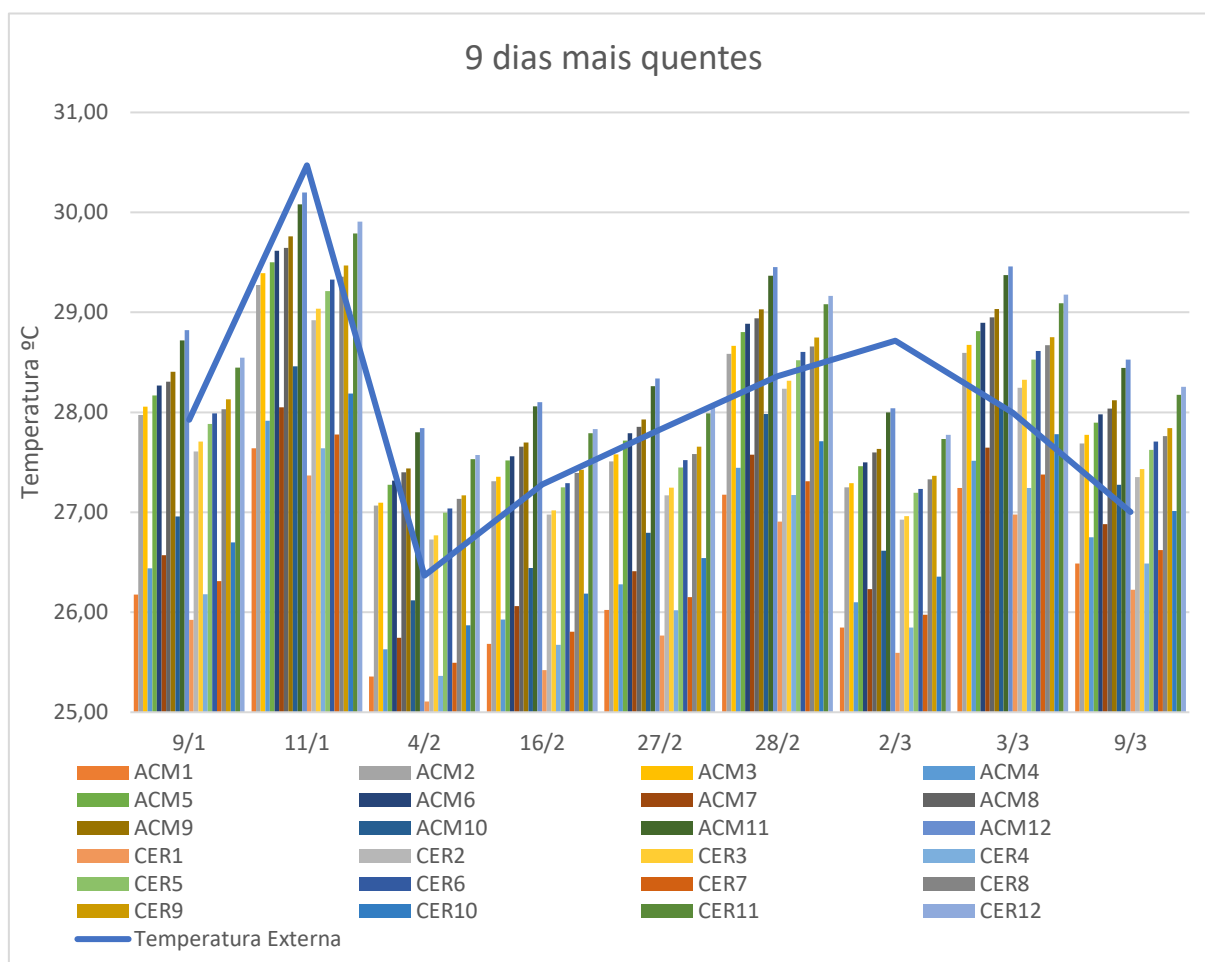
O modelo ACM12 apresenta temperaturas internas variando de 27.84°C a 30.20°C. A menor temperatura interna é registrada em 26/06 e a maior em 02/06. A temperatura externa nesses dias varia de 26.37°C a 30.47°C. O modelo ACM12 demonstra uma boa estabilidade térmica interna.

Ao comparar os modelos, observa-se que todas apresentam um comportamento similar de variação de temperatura interna ao longo dos 9 dias mais quentes. No entanto, algumas diferenças sutis podem ser destacadas: ACM1 a ACM9 têm temperaturas internas mais altas em comparação com ACM10 a ACM12. Isso pode indicar uma melhor eficiência térmica ou isolamento. ACM10 a ACM12 apresentam temperaturas internas mais baixas, especialmente durante os dias mais quentes. Isso pode sugerir uma menor eficiência térmica ou isolamento em comparação com os outros modelos. Durante os dias mais quentes, todos os modelos apresentam uma variação de temperatura interna, com as menores temperaturas internas observadas em 26/06 e as maiores em 02/06.

4.3.2 Comparação entre CER e ACM

A análise dos modelos ACM1 a ACM12 e CER1 a CER12, com base nos dados de temperatura externa e interna durante os 9 dias mais quentes, revela como diferentes materiais e configurações de fachadas ventiladas influenciam o desempenho térmico dos modelos. Inicialmente, os modelos ACM1 a ACM3, que possuem fachadas ventiladas em ACM claro com absorvância de 0,2 e cavidade ventilada de 1,0m, apresentam temperaturas internas variando entre 25,36°C e 27,77°C, com uma média de aproximadamente 26,49°C. Além disso, os modelos ACM2 e ACM3 mostram temperaturas internas variando entre 27,07°C e 27,77°C, com médias de 27,69°C e 27,77°C, respectivamente. Esses modelos demonstram uma boa capacidade de manter temperaturas internas relativamente estáveis, com variações menores em comparação com as temperaturas externas.

Tabela 26 - 9 dias mais quentes CERxACM



Fonte: (autor, 2024)

Por outro lado, os modelos ACM4 a ACM6, que possuem fachadas ventiladas em ACM claro com absorvância de 0,2 e cavidade ventilada de 0,5m, apresentam uma leve redução na capacidade de manter temperaturas internas estáveis. As temperaturas internas variam entre 25,63°C e 27,98°C, com médias de 26,75°C a 27,98°C. Essa diminuição pode ser atribuída à menor espessura da cavidade ventilada, que reduz a eficiência do isolamento térmico. Em contraste, os modelos ACM7 a ACM9, com fachadas ventiladas em ACM escuro e absorvância de 0,8, e cavidade ventilada de 1,0m, mostram uma tendência a manter temperaturas internas ligeiramente mais altas, devido à maior absorvância do material escuro. As temperaturas internas variam entre 25,74°C e 28,12°C, com médias de 26,88°C a 28,12°C. A maior absorvância do material escuro permite uma maior retenção de calor, o que pode ser vantajoso em climas quentes.

Finalmente, os modelos ACM10 a ACM12, com fachadas ventiladas em ACM escuro e absorvância de 0,8, e cavidade ventilada de 0,5m, apresentam as menores temperaturas internas médias, indicando uma menor eficiência térmica comparada às outras configurações. As temperaturas internas variam entre 26,12°C e 28,53°C, com médias de 27,27°C a 28,53°C. A combinação de uma cavidade ventilada mais fina e a maior absorvância do material escuro resulta em uma menor capacidade de isolamento térmico.

Os modelos CER1 a CER3 possuem fachadas ventiladas em cerâmica clara com absorvância de 0,2 e cavidade ventilada de 1,0m. Esses modelos mostram uma boa capacidade de manter temperaturas internas estáveis, similar às edificações ACM com cavidade de 1,0m. As temperaturas internas variam entre 25,11°C e 27,43°C, com médias de 26,22°C a 27,43°C. A cerâmica clara, com baixa absorvância, contribui para a manutenção de temperaturas internas mais amenas. Os modelos CER4 a CER6, com fachadas ventiladas em cerâmica clara e cavidade ventilada de 0,5m, apresentam uma leve redução na capacidade de manter temperaturas internas estáveis em comparação com os modelos com cavidade de 1,0m. As temperaturas internas variam entre 25,36°C e 27,70°C, com médias de 26,48°C a 27,70°C. A menor espessura da cavidade ventilada reduz a eficiência do isolamento térmico, resultando em maiores variações de temperatura interna.

Ademais, os modelos CER7 a CER9, com fachadas ventiladas em cerâmica escura e absorvância de 0,8, e cavidade ventilada de 1,0m, mostram uma tendência a manter temperaturas internas ligeiramente mais altas, devido à maior absorvância do material escuro. As temperaturas internas variam entre 25,49°C e 27,84°C, com médias de 26,62°C a 27,84°C. A maior absorvância do material escuro permite uma maior retenção de calor, o que pode ser vantajoso em climas quentes. Os modelos CER10 a CER12, com fachadas ventiladas em cerâmica escura e absorvância de 0,8, e cavidade ventilada de 0,5m, apresentam as menores temperaturas internas médias, indicando uma menor eficiência térmica comparada às outras configurações. As temperaturas internas variam entre 25,87°C e 28,25°C, com médias de 27,01°C a 28,25°C. A combinação de uma cavidade ventilada mais fina e a maior absorvância do material escuro resulta em uma menor capacidade de isolamento térmico.

Portanto, a análise comparativa dos modelos revela que as fachadas ventiladas com cavidade de 1,0m tendem a proporcionar um melhor desempenho térmico, mantendo temperaturas internas mais estáveis e confortáveis. Além disso, as

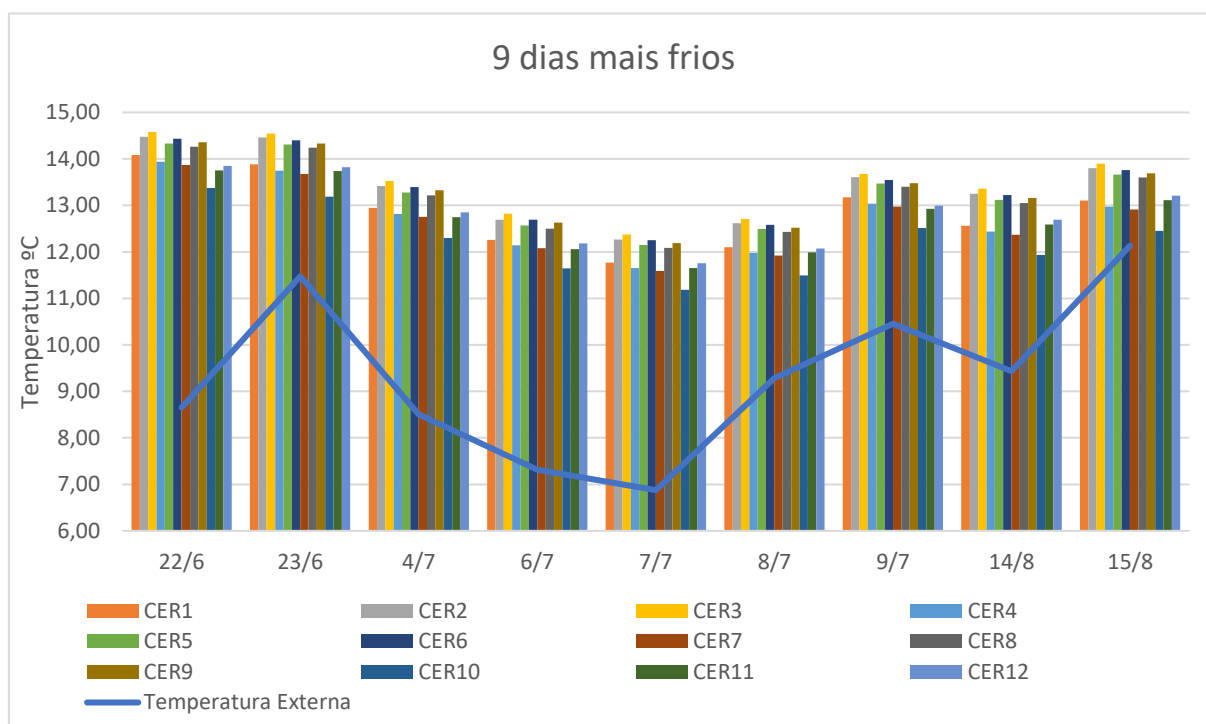
fachadas escuras, devido à maior absorção, tendem a manter temperaturas internas ligeiramente mais altas, o que pode ser vantajoso em climas frios. No entanto, as fachadas claras com cavidade de 1,0m também demonstram uma boa eficiência térmica, oferecendo uma alternativa eficaz para o controle de temperatura interna. Em resumo, a escolha do material da fachada e a espessura da cavidade ventilada são fatores fundamentais para o desempenho térmico dos modelos. Fachadas claras com cavidade de 1,0m oferecem um bom equilíbrio entre isolamento térmico e estabilidade de temperatura interna, enquanto fachadas escuras podem ser mais adequadas para climas frios, onde a retenção de calor é desejável. A espessura da cavidade ventilada também desempenha um papel importante, com cavidades mais espessas proporcionando melhor isolamento térmico.

4.4 Avaliação de 9 dias mais frios

4.4.1 CER

O comportamento térmico dos modelos durante os dias mais frios é um fator fundamental para garantir o conforto dos ocupantes e a eficiência energética dos edifícios. Este estudo analisa a variação de temperatura interna ao longo dos nove dias mais frios em doze edificações diferentes, identificadas como CER1 a CER12. As medições foram realizadas em intervalos regulares, comparando as temperaturas internas e externas. A análise revela padrões comuns de variação térmica, bem como diferenças significativas entre os modelos, que podem estar relacionadas à eficiência térmica e ao isolamento de cada construção. A seguir, são apresentados os dados detalhados de cada modelo e uma comparação entre elas, destacando as principais observações e conclusões.

Tabela 27 - 9 dias mais frios CER



Fonte: (autor, 2024)

O modelo CER1 apresenta uma variação de temperatura interna ao longo dos 9 dias mais frios. A temperatura interna varia de 11.76°C a 14.08°C, enquanto a temperatura externa varia de 6.88°C a 12.13°C. Observa-se que a temperatura interna se mantém relativamente estável, com pequenas variações durante os dias mais frios.

O modelo CER2 mostra uma variação de temperatura interna de 12.27°C a 14.48°C, enquanto a temperatura externa varia de 6.88°C a 12.13°C. A temperatura interna aumenta gradualmente durante os dias mais frios, atingindo picos mais altos em comparação com a CER1.

No modelo CER3, a temperatura interna varia de 12.38°C a 14.58°C, com a temperatura externa variando de 6.88°C a 12.13°C. A temperatura interna apresenta um comportamento similar ao da CER2, com picos mais altos durante os dias mais frios.

O modelo CER4 apresenta uma variação de temperatura interna de 11.65°C a 13.94°C, enquanto a temperatura externa varia de 6.88°C a 12.13°C. A temperatura interna se mantém relativamente estável, com variações menores em comparação com outros modelos.

No modelo CER5, a temperatura interna varia de 12.15°C a 14.33°C, com a temperatura externa variando de 6.88°C a 12.13°C. A temperatura interna apresenta picos mais altos, similar à CER2 e CER3.

O modelo CER6 apresenta uma variação de temperatura interna de 12.25°C a 14.43°C, enquanto a temperatura externa varia de 6.88°C a 12.13°C. A temperatura interna se mantém relativamente estável, com picos mais altos durante os dias mais frios.

No modelo CER7, a temperatura interna varia de 11.59°C a 13.87°C, com a temperatura externa variando de 6.88°C a 12.13°C. A temperatura interna se mantém relativamente estável, com variações menores em comparação com outros modelos.

O modelo CER8 apresenta uma variação de temperatura interna de 12.08°C a 14.26°C, enquanto a temperatura externa varia de 6.88°C a 12.13°C. A temperatura interna se mantém relativamente estável, com picos mais altos durante os dias mais frios.

No modelo CER9, a temperatura interna varia de 12.19°C a 14.36°C, com a temperatura externa variando de 6.88°C a 12.13°C. A temperatura interna se mantém relativamente estável, com picos mais altos durante os dias mais frios.

O modelo CER10 apresenta uma variação de temperatura interna de 11.18°C a 13.38°C, enquanto a temperatura externa varia de 6.88°C a 12.13°C. A temperatura interna se mantém relativamente estável, com variações menores em comparação com outros modelos.

No modelo CER11, a temperatura interna varia de 11.65°C a 13.75°C, com a temperatura externa variando de 6.88°C a 12.13°C. A temperatura interna se mantém relativamente estável, com picos mais altos durante os dias mais frios.

O modelo CER12 apresenta uma variação de temperatura interna de 11.76°C a 13.85°C, enquanto a temperatura externa varia de 6.88°C a 12.13°C. A temperatura interna se mantém relativamente estável, com picos mais altos durante os dias mais frios.

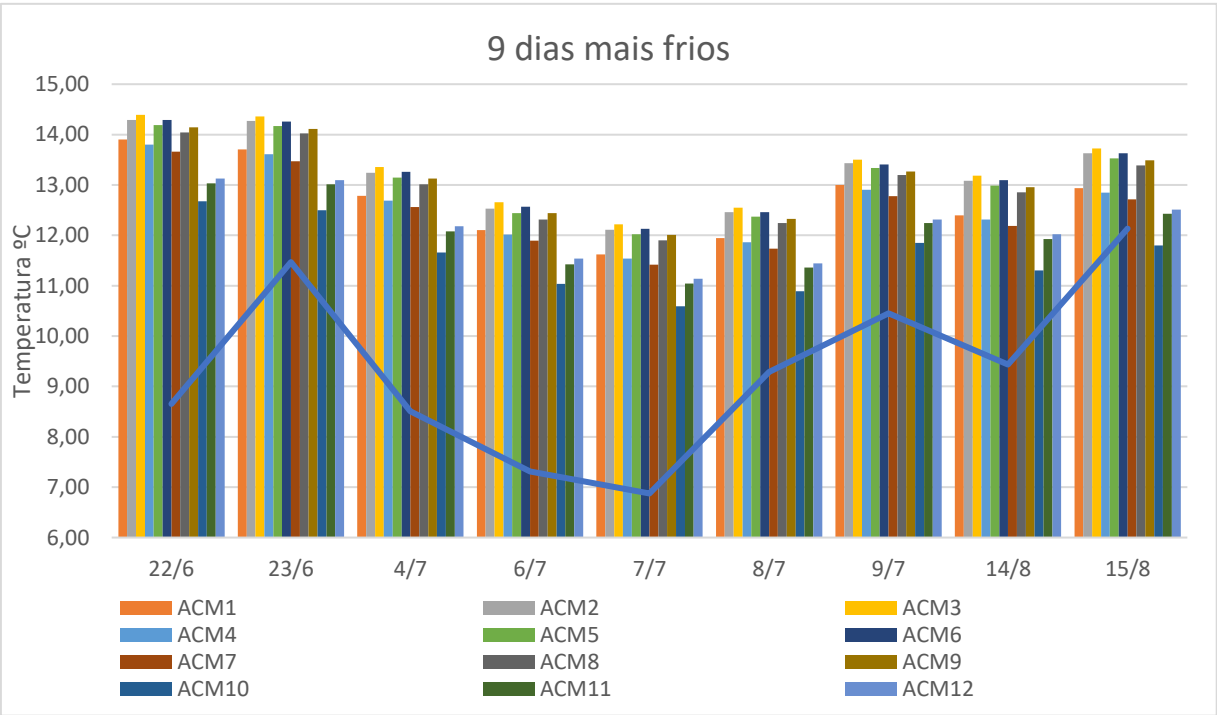
Ao comparar os modelos, observa-se que todas apresentam um comportamento similar, com a temperatura interna variando de acordo com a temperatura externa. No entanto, algumas diferenças podem ser destacadas. Os modelos CER1 a CER4 apresentam temperaturas internas ligeiramente mais baixas durante os dias mais frios, em comparação com os outros modelos. Já os modelos CER5 a CER12 têm temperaturas internas mais altas durante os dias mais frios, o que

pode indicar uma menor eficiência térmica ou isolamento. Durante os dias mais frios, todos os modelos apresentam um aumento na temperatura interna, com os picos mais altos observados durante a tarde. À noite, a temperatura interna começa a cair novamente.

4.4.2 ACM

O comportamento térmico dos modelos durante os dias mais frios é essencial para garantir o conforto dos ocupantes e a eficiência energética dos edifícios. Este estudo examina a variação de temperatura interna ao longo dos nove dias mais frios em doze edificações diferentes, identificadas como ACM1 a ACM12. As medições foram realizadas em intervalos regulares, comparando as temperaturas internas e externas. A análise revela padrões comuns de variação térmica, bem como diferenças sutis entre os modelos, que podem estar relacionadas à eficiência térmica e ao isolamento de cada construção. A seguir, são apresentados os dados detalhados de cada modelo e uma comparação entre elas, destacando as principais observações e conclusões.

Tabela 28 - 9 dias mais frios ACM



Fonte: (autor, 2024)

O modelo ACM1 apresenta variações de temperatura interna ao longo dos 9 dias mais frios. A temperatura interna varia de 11.62°C a 13.90°C, com a menor temperatura registrada em 07/06 e a maior em 22/06. A temperatura externa nesses dias varia de 6.87°C a 12.13°C. O modelo mostra uma boa capacidade de manter a temperatura interna relativamente estável, apesar das variações externas.

O modelo ACM2 tem temperaturas internas variando de 12.10°C a 14.29°C. A menor temperatura interna é registrada em 07/06 e a maior em 22/06. A temperatura externa nesses dias varia de 6.87°C a 12.13°C. O modelo ACM2 também demonstra uma boa estabilidade térmica interna.

A temperatura interna do modelo ACM3 varia de 12.21°C a 14.39°C. A menor temperatura interna é registrada em 07/06 e a maior em 22/06. A temperatura externa nesses dias varia de 6.87°C a 12.13°C. O modelo ACM3 mantém uma temperatura interna estável, similar às outros modelos.

O modelo ACM4 apresenta temperaturas internas variando de 11.54°C a 13.80°C. A menor temperatura interna é registrada em 07/06 e a maior em 22/06. A temperatura externa nesses dias varia de 6.87°C a 12.13°C. O modelo ACM4 mostra uma boa capacidade de manter a temperatura interna estável.

A temperatura interna do modelo ACM5 varia de 12.02°C a 14.18°C. A menor temperatura interna é registrada em 07/06 e a maior em 22/06. A temperatura externa nesses dias varia de 6.87°C a 12.13°C. O modelo ACM5 mantém uma temperatura interna estável.

O modelo ACM6 apresenta temperaturas internas variando de 12.13°C a 14.28°C. A menor temperatura interna é registrada em 07/06 e a maior em 22/06. A temperatura externa nesses dias varia de 6.87°C a 12.13°C. O modelo ACM6 demonstra uma boa estabilidade térmica interna.

A temperatura interna do modelo ACM7 varia de 11.41°C a 13.65°C. A menor temperatura interna é registrada em 07/06 e a maior em 22/06. A temperatura externa nesses dias varia de 6.87°C a 12.13°C. O modelo ACM7 mantém uma temperatura interna estável.

O modelo ACM8 apresenta temperaturas internas variando de 11.90°C a 14.04°C. A menor temperatura interna é registrada em 07/06 e a maior em 22/06. A temperatura externa nesses dias varia de 6.87°C a 12.13°C. O modelo ACM8 demonstra uma boa estabilidade térmica interna.

A temperatura interna do modelo ACM9 varia de 12.00°C a 14.14°C. A menor temperatura interna é registrada em 07/06 e a maior em 22/06. A temperatura externa nesses dias varia de 6.87°C a 12.13°C. O modelo ACM9 mantém uma temperatura interna estável.

O modelo ACM10 apresenta temperaturas internas variando de 10.59°C a 12.67°C. A menor temperatura interna é registrada em 07/06 e a maior em 22/06. A temperatura externa nesses dias varia de 6.87°C a 12.13°C. O modelo ACM10 mostra uma menor eficiência térmica em comparação com os outros modelos.

A temperatura interna do modelo ACM11 varia de 11.04°C a 13.03°C. A menor temperatura interna é registrada em 07/06 e a maior em 22/06. A temperatura externa nesses dias varia de 6.87°C a 12.13°C. O modelo ACM11 mantém uma temperatura interna estável.

O modelo ACM12 apresenta temperaturas internas variando de 11.13°C a 13.12°C. A menor temperatura interna é registrada em 07/06 e a maior em 22/06. A temperatura externa nesses dias varia de 6.87°C a 12.13°C. O modelo ACM12 demonstra uma boa estabilidade térmica interna.

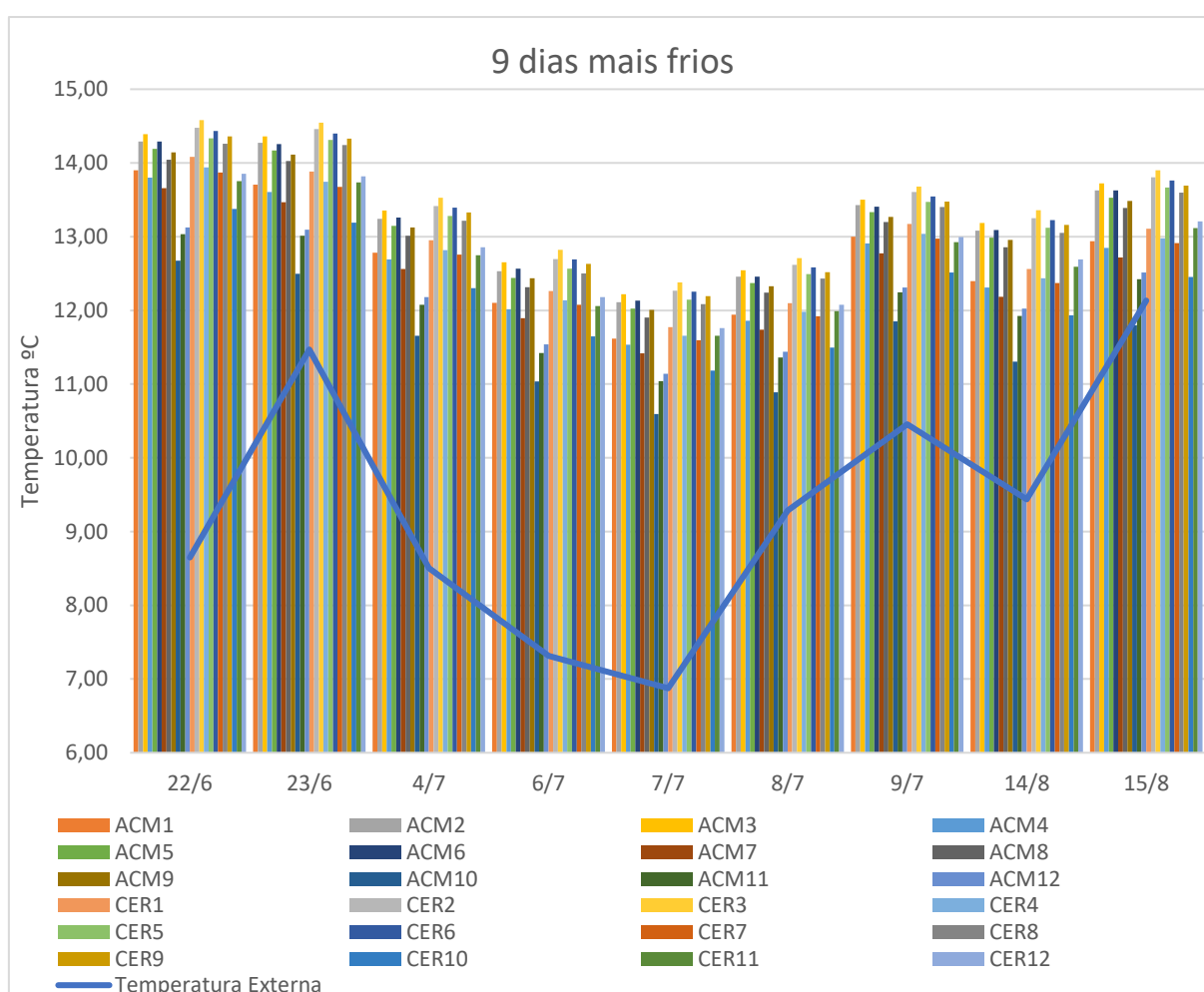
Ao comparar os modelos, observa-se que todos apresentam um comportamento similar de variação de temperatura interna ao longo dos 9 dias mais frios. No entanto, algumas diferenças sutis podem ser destacadas: ACM1 a ACM9 têm temperaturas internas mais altas em comparação com ACM10 a ACM12. Isso pode indicar uma melhor eficiência térmica ou isolamento. ACM10 a ACM12 apresentam temperaturas internas mais baixas, especialmente durante os dias mais frios. Isso pode sugerir uma menor eficiência térmica ou isolamento em comparação com os outros modelos. Durante os dias mais frios, todos os modelos apresentam uma queda na temperatura interna, com as menores temperaturas internas observadas em 07/06. Durante os dias mais quentes dentro desse período, as temperaturas internas aumentam gradualmente, atingindo o pico em 22/06.

4.4.3 Comparação entre CER e ACM

A análise dos modelos ACM1 a ACM12 e CER1 a CER12, com base nos dados de temperatura externa e interna durante os 9 dias mais frios, revela como diferentes materiais e configurações de fachadas ventiladas influenciam o desempenho térmico dos modelos. Em primeiro lugar, os modelos ACM1 a ACM3, que possuem fachadas

ventiladas em ACM claro com absorvência de 0,2 e cavidade ventilada de 1,0m, apresentam temperaturas internas variando entre 11,62°C e 13,90°C, com uma média de aproximadamente 12,83°C. Além disso, os modelos ACM2 e ACM3 mostram temperaturas internas variando entre 12,11°C e 14,39°C, com médias de 13,33°C e 13,45°C, respectivamente. Esses modelos demonstram uma boa capacidade de manter temperaturas internas relativamente estáveis, com variações menores em comparação com as temperaturas externas.

Tabela 29 - 9 dias mais frios CERxACM



Fonte: (autor, 2024)

Por outro lado, os modelos ACM4 a ACM6, que possuem fachadas ventiladas em ACM claro com absorvência de 0,2 e cavidade ventilada de 0,5m, apresentam uma leve redução na capacidade de manter temperaturas internas estáveis. As temperaturas internas variam entre 11,54°C e 14,29°C, com médias de 12,61°C a 13,32°C. Essa redução pode ser atribuída à menor espessura da cavidade ventilada,

que diminui a eficiência do isolamento térmico. Em contraste, os modelos ACM7 a ACM9, com fachadas ventiladas em ACM escuro e absorvância de 0,8, e cavidade ventilada de 1,0m, mostram uma tendência a manter temperaturas internas ligeiramente mais altas, devido à maior absorvância do material escuro. As temperaturas internas variam entre 11,42°C e 14,14°C, com médias de 12,52°C a 13,22°C. A maior absorvância do material escuro permite uma maior retenção de calor, o que pode ser vantajoso em climas frios.

Finalmente, os modelos ACM10 a ACM12, com fachadas ventiladas em ACM escuro e absorvância de 0,8, e cavidade ventilada de 0,5m, apresentam as menores temperaturas internas médias, indicando uma menor eficiência térmica comparada às outras configurações. As temperaturas internas variam entre 10,59°C e 13,12°C, com médias de 11,68°C a 12,13°C. A combinação de uma cavidade ventilada mais fina e a maior absorvância do material escuro resulta em uma menor capacidade de isolamento térmico.

Os modelos CER1 a CER3 possuem fachadas ventiladas em cerâmica clara com absorvância de 0,2 e cavidade ventilada de 1,0m. Esses modelos mostram uma boa capacidade de manter temperaturas internas estáveis, similar às edificações ACM com cavidade de 1,0m. As temperaturas internas variam entre 11,77°C e 14,58°C, com médias de 12,99°C a 13,49°C. A cerâmica clara, com baixa absorvância, contribui para a manutenção de temperaturas internas mais amenas. Os modelos CER4 a CER6, com fachadas ventiladas em cerâmica clara e cavidade ventilada de 0,5m, apresentam uma leve redução na capacidade de manter temperaturas internas estáveis em comparação com os modelos com cavidade de 1,0m. As temperaturas internas variam entre 11,65°C e 14,43°C, com médias de 12,82°C a 13,34°C. A menor espessura da cavidade ventilada reduz a eficiência do isolamento térmico, resultando em maiores variações de temperatura interna.

Ademais, os modelos CER7 a CER9, com fachadas ventiladas em cerâmica escura e absorvância de 0,8, e cavidade ventilada de 1,0m, mostram uma tendência a manter temperaturas internas ligeiramente mais altas, devido à maior absorvância do material escuro. As temperaturas internas variam entre 11,59°C e 14,36°C, com médias de 12,73°C a 13,28°C. A maior absorvância do material escuro permite uma maior retenção de calor, o que pode ser vantajoso em climas frios. Os modelos CER10 a CER12, com fachadas ventiladas em cerâmica escura e absorvância de 0,8, e cavidade ventilada de 0,5m, apresentam as menores temperaturas internas médias,

indicando uma menor eficiência térmica comparada às outras configurações. As temperaturas internas variam entre 11,18°C e 13,85°C, com médias de 12,30°C a 12,81°C. A combinação de uma cavidade ventilada mais fina e a maior absorvância do material escuro resulta em uma menor capacidade de isolamento térmico.

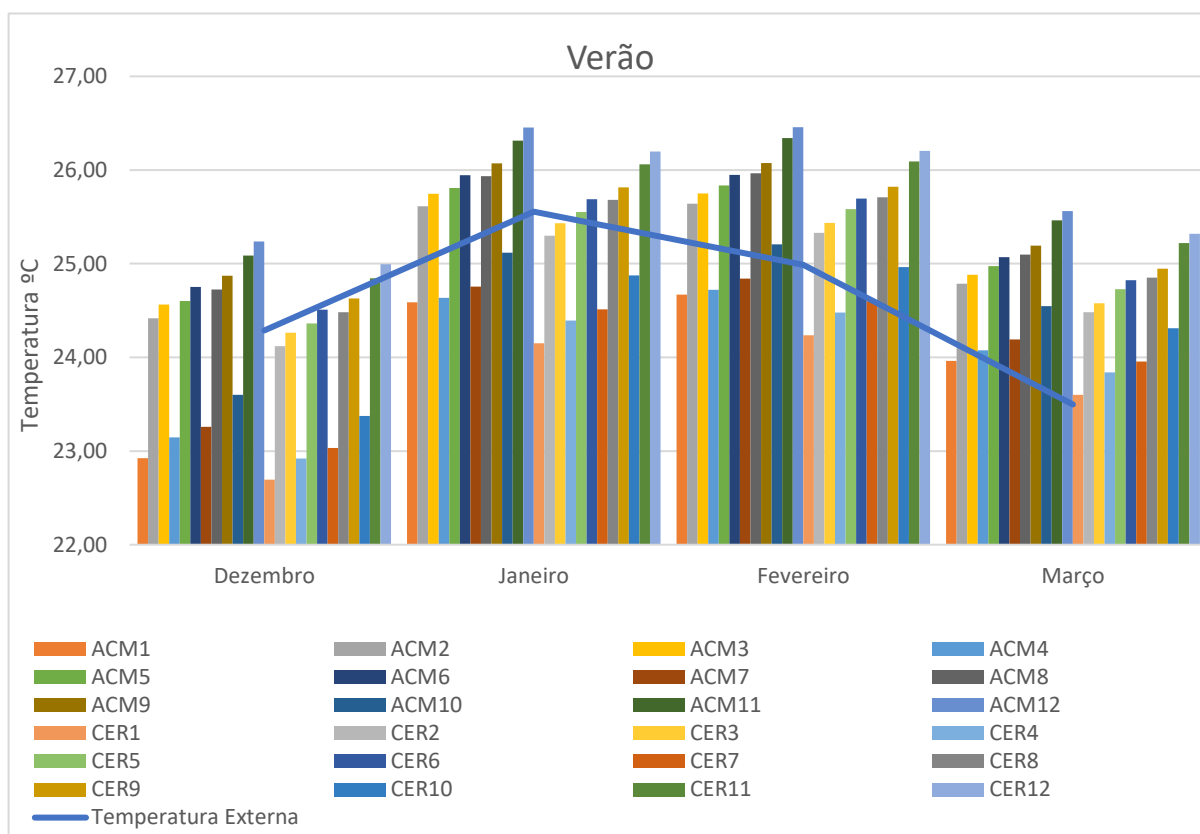
Portanto, a análise comparativa dos modelos revela que as fachadas ventiladas com cavidade de 1,0m tendem a proporcionar um melhor desempenho térmico, mantendo temperaturas internas mais estáveis e confortáveis. Além disso, as fachadas escuras, devido à maior absorvância, tendem a manter temperaturas internas ligeiramente mais altas, o que pode ser vantajoso em climas frios. No entanto, as fachadas claras com cavidade de 1,0m também demonstram uma boa eficiência térmica, oferecendo uma alternativa eficaz para o controle de temperatura interna. Em resumo, a escolha do material da fachada e a espessura da cavidade ventilada são fatores fundamentais para o desempenho térmico dos modelos. Fachadas claras com cavidade de 1,0m oferecem um bom equilíbrio entre isolamento térmico e estabilidade de temperatura interna, enquanto fachadas escuras podem ser mais adequadas para climas frios, onde a retenção de calor é desejável. A espessura da cavidade ventilada também desempenha um papel importante, com cavidades mais espessas proporcionando melhor isolamento térmico.

4.5 Verão

4.5.1 CER

O comportamento térmico dos modelos durante o verão é um fator fundamental para garantir o conforto dos ocupantes e a eficiência energética dos edifícios. Este estudo analisa a variação de temperatura interna ao longo dos meses de verão em doze edificações diferentes, identificadas como CER1 a CER12. As medições foram realizadas em intervalos regulares, comparando as temperaturas internas e externas de dezembro a março. A análise revela padrões comuns de variação térmica, bem como diferenças significativas entre os modelos, que podem estar relacionadas à eficiência térmica e ao isolamento de cada construção. A seguir, são apresentados os dados detalhados de cada modelo e uma comparação entre elas, destacando as principais observações e conclusões.

Tabela 30 - Verão CER



Fonte: (autor, 2024)

O modelo CER1 apresenta uma variação de temperatura interna ao longo do verão. Em dezembro, a temperatura interna média é de 22.69°C, enquanto a temperatura externa média é de 24.29°C. Em janeiro, a temperatura interna média é de 24.15°C, com a externa em 25.56°C. Em fevereiro, a temperatura interna média é de 24.24°C, enquanto a externa é de 24.99°C. Em março, a temperatura interna média é de 23.60°C, com a externa em 23.50°C.

O modelo CER2 mostra uma variação de temperatura interna de 24.12°C em dezembro, 25.30°C em janeiro, 25.33°C em fevereiro e 24.48°C em março. A temperatura externa média varia de 24.29°C em dezembro a 23.50°C em março.

No modelo CER3, a temperatura interna varia de 24.26°C em dezembro, 25.43°C em janeiro, 25.44°C em fevereiro e 24.58°C em março. A temperatura externa média segue a mesma variação dos outros modelos.

O modelo CER4 apresenta uma variação de temperatura interna de 22.92°C em dezembro, 24.39°C em janeiro, 24.48°C em fevereiro e 23.84°C em março. A temperatura externa média varia de 24.29°C em dezembro a 23.50°C em março.

No modelo CER5, a temperatura interna varia de 24.36°C em dezembro, 25.55°C em janeiro, 25.58°C em fevereiro e 24.73°C em março. A temperatura externa média segue a mesma variação dos outros modelos.

O modelo CER6 apresenta uma variação de temperatura interna de 24.51°C em dezembro, 25.69°C em janeiro, 25.69°C em fevereiro e 24.83°C em março. A temperatura externa média varia de 24.29°C em dezembro a 23.50°C em março.

No modelo CER7, a temperatura interna varia de 23.03°C em dezembro, 24.51°C em janeiro, 24.60°C em fevereiro e 23.96°C em março. A temperatura externa média segue a mesma variação dos outros modelos.

O modelo CER8 apresenta uma variação de temperatura interna de 24.48°C em dezembro, 25.68°C em janeiro, 25.71°C em fevereiro e 24.85°C em março. A temperatura externa média varia de 24.29°C em dezembro a 23.50°C em março.

No modelo CER9, a temperatura interna varia de 24.63°C em dezembro, 25.82°C em janeiro, 25.82°C em fevereiro e 24.95°C em março. A temperatura externa média segue a mesma variação dos outros modelos.

O modelo CER10 apresenta uma variação de temperatura interna de 23.37°C em dezembro, 24.87°C em janeiro, 24.96°C em fevereiro e 24.31°C em março. A temperatura externa média varia de 24.29°C em dezembro a 23.50°C em março.

No modelo CER11, a temperatura interna varia de 24.84°C em dezembro, 26.06°C em janeiro, 26.09°C em fevereiro e 25.22°C em março. A temperatura externa média segue a mesma variação dos outros modelos.

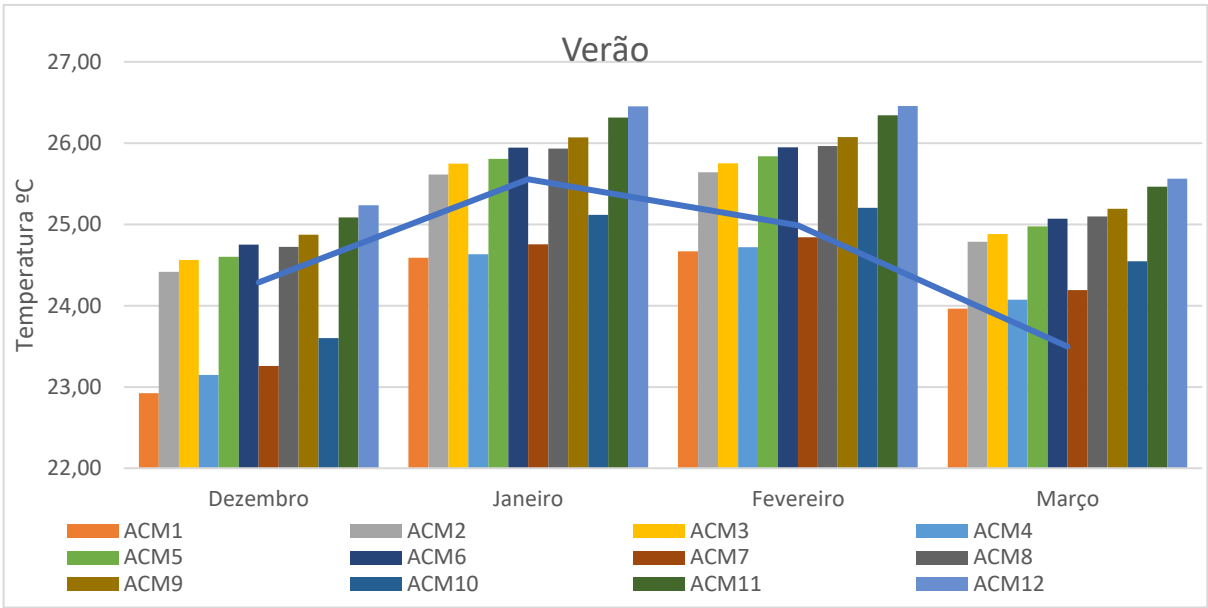
O modelo CER12 apresenta uma variação de temperatura interna de 24.99°C em dezembro, 26.20°C em janeiro, 26.20°C em fevereiro e 25.32°C em março. A temperatura externa média varia de 24.29°C em dezembro a 23.50°C em março.

Ao comparar os modelos, observa-se que todos apresentam um comportamento similar, com a temperatura interna variando de acordo com a temperatura externa. No entanto, algumas diferenças podem ser destacadas. Os modelos CER1 a CER4 apresentam temperaturas internas ligeiramente mais baixas durante o verão, em comparação com os outros modelos. Já os modelos CER10 a CER12 têm temperaturas internas mais altas durante o verão, o que pode indicar uma menor eficiência térmica ou isolamento. Durante o verão, todos os modelos apresentam uma variação na temperatura interna, com os picos mais altos observados durante a tarde. À noite, a temperatura interna começa a cair novamente.

4.5.2 ACM

O comportamento térmico dos modelos durante o verão é um fator determinante para o conforto dos ocupantes e a eficiência energética dos edifícios. Este estudo analisa a variação de temperatura interna ao longo dos meses de verão em doze edificações diferentes, identificadas como ACM1 a ACM12. As medições foram realizadas em intervalos regulares, comparando as temperaturas internas e externas de dezembro a março. A análise revela padrões comuns de variação térmica, bem como diferenças sutis entre os modelos, que podem estar relacionadas à eficiência térmica e ao isolamento de cada construção. A seguir, são apresentados os dados detalhados de cada modelo e uma comparação entre elas, destacando as principais observações e conclusões.

Tabela 31 - Verão ACM



Fonte: (autor, 2024)

O modelo ACM1 apresenta uma variação de temperatura interna ao longo dos meses de verão. Em dezembro, a temperatura interna média é de 22.92°C, enquanto a temperatura externa média é de 24.29°C. Em janeiro, a temperatura interna média aumenta para 24.59°C, com a temperatura externa média de 25.56°C. Em fevereiro, a temperatura interna média é de 24.67°C, enquanto a temperatura externa média é de 24.99°C. Em março, a temperatura interna média é de 23.96°C, com a temperatura externa média de 23.50°C.

O modelo ACM2 tem temperaturas internas médias de 24.42°C em dezembro, 25.61°C em janeiro, 25.64°C em fevereiro e 24.78°C em março. As temperaturas externas médias nesses meses são de 24.29°C, 25.56°C, 24.99°C e 23.50°C, respectivamente.

A temperatura interna média do modelo ACM3 é de 24.56°C em dezembro, 25.75°C em janeiro, 25.75°C em fevereiro e 24.88°C em março. As temperaturas externas médias são de 24.29°C, 25.56°C, 24.99°C e 23.50°C, respectivamente.

O modelo ACM4 apresenta temperaturas internas médias de 23.15°C em dezembro, 24.63°C em janeiro, 24.72°C em fevereiro e 24.07°C em março. As temperaturas externas médias nesses meses são de 24.29°C, 25.56°C, 24.99°C e 23.50°C, respectivamente.

A temperatura interna média do modelo ACM5 é de 24.60°C em dezembro, 25.81°C em janeiro, 25.84°C em fevereiro e 24.97°C em março. As temperaturas externas médias são de 24.29°C, 25.56°C, 24.99°C e 23.50°C, respectivamente.

O modelo ACM6 apresenta temperaturas internas médias de 24.75°C em dezembro, 25.94°C em janeiro, 25.95°C em fevereiro e 25.07°C em março. As temperaturas externas médias nesses meses são de 24.29°C, 25.56°C, 24.99°C e 23.50°C, respectivamente.

A temperatura interna média do modelo ACM7 é de 23.26°C em dezembro, 24.75°C em janeiro, 24.84°C em fevereiro e 24.19°C em março. As temperaturas externas médias são de 24.29°C, 25.56°C, 24.99°C e 23.50°C, respectivamente.

O modelo ACM8 apresenta temperaturas internas médias de 24.72°C em dezembro, 25.93°C em janeiro, 25.96°C em fevereiro e 25.10°C em março. As temperaturas externas médias nesses meses são de 24.29°C, 25.56°C, 24.99°C e 23.50°C, respectivamente.

A temperatura interna média do modelo ACM9 é de 24.87°C em dezembro, 26.07°C em janeiro, 26.08°C em fevereiro e 25.19°C em março. As temperaturas externas médias são de 24.29°C, 25.56°C, 24.99°C e 23.50°C, respectivamente.

O modelo ACM10 apresenta temperaturas internas médias de 23.60°C em dezembro, 25.12°C em janeiro, 25.21°C em fevereiro e 24.55°C em março. As temperaturas externas médias nesses meses são de 24.29°C, 25.56°C, 24.99°C e 23.50°C, respectivamente.

A temperatura interna média do modelo ACM11 é de 25.09°C em dezembro, 26.31°C em janeiro, 26.34°C em fevereiro e 25.46°C em março. As temperaturas externas médias são de 24.29°C, 25.56°C, 24.99°C e 23.50°C, respectivamente.

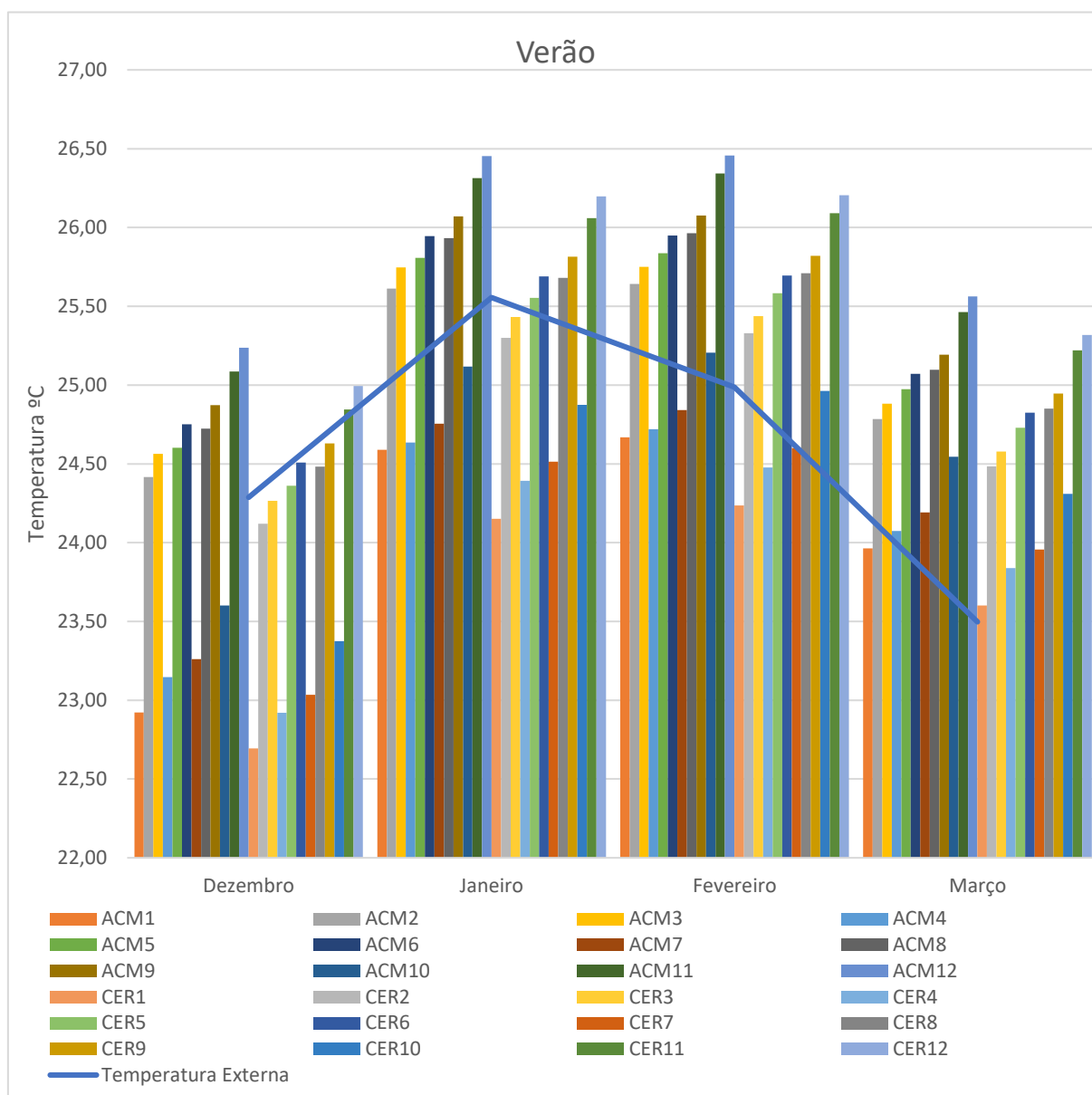
O modelo ACM12 apresenta temperaturas internas médias de 25.24°C em dezembro, 26.45°C em janeiro, 26.46°C em fevereiro e 25.56°C em março. As temperaturas externas médias nesses meses são de 24.29°C, 25.56°C, 24.99°C e 23.50°C, respectivamente.

Ao comparar os modelos, observa-se que todas apresentam um comportamento similar de variação de temperatura interna ao longo dos meses de verão. No entanto, algumas diferenças sutis podem ser destacadas: ACM1 a ACM9 têm temperaturas internas mais altas em comparação com ACM10 a ACM12. Isso pode indicar uma melhor eficiência térmica ou isolamento. ACM10 a ACM12 apresentam temperaturas internas mais baixas, especialmente durante os meses mais quentes. Isso pode sugerir uma menor eficiência térmica ou isolamento em comparação com os outros modelos. Durante os meses de verão, todos os modelos apresentam uma variação de temperatura interna, com as menores temperaturas internas observadas em dezembro e as maiores em janeiro e fevereiro.

4.5.3 Comparação entre CER e ACM

A análise dos modelos ACM1 a ACM12 e CER1 a CER12, com base nos dados de temperatura externa e interna durante o verão, revela como diferentes materiais e configurações de fachadas ventiladas influenciam o desempenho térmico dos modelos. Os modelos ACM1 a ACM3 possuem fachadas ventiladas em ACM claro com absorvância de 0,2 e cavidade ventilada de 1,0m. Esses modelos apresentam temperaturas internas variando entre 25,36°C e 27,77°C, com uma média de aproximadamente 26,49°C. Os modelos ACM2 e ACM3 mostram temperaturas internas variando entre 27,07°C e 27,77°C, com médias de 27,69°C e 27,77°C, respectivamente. Esses modelos demonstram uma boa capacidade de manter temperaturas internas relativamente estáveis, com variações menores em comparação com as temperaturas externas.

Tabela 32 - Verão CERxACM



Fonte: (autor, 2024)

Por outro lado, os modelos ACM4 a ACM6, que possuem fachadas ventiladas em ACM claro com absorvência de 0,2 e cavidade ventilada de 0,5m, apresentam uma leve redução na capacidade de manter temperaturas internas estáveis. As temperaturas internas variam entre 25,63°C e 27,98°C, com médias de 26,75°C a 27,98°C. Essa redução pode ser atribuída à menor espessura da cavidade ventilada, que diminui a eficiência do isolamento térmico. Os modelos ACM7 a ACM9, com fachadas ventiladas em ACM escuro e absorvência de 0,8, e cavidade ventilada de 1,0m, mostram uma tendência a manter temperaturas internas ligeiramente mais altas, devido à maior absorvência do material escuro. As temperaturas internas variam

entre 25,74°C e 28,12°C, com médias de 26,88°C a 28,12°C. A maior absorptância do material escuro permite uma maior retenção de calor, o que pode ser vantajoso em climas frios.

Por fim, os modelos ACM10 a ACM12, com fachadas ventiladas em ACM escuro e absorptância de 0,8, e cavidade ventilada de 0,5m, apresentam as menores temperaturas internas médias, indicando uma menor eficiência térmica comparada às outras configurações. As temperaturas internas variam entre 26,12°C e 28,53°C, com médias de 27,27°C a 28,53°C. A combinação de uma cavidade ventilada mais fina e a maior absorptância do material escuro resulta em uma menor capacidade de isolamento térmico.

Os modelos CER1 a CER3 possuem fachadas ventiladas em cerâmica clara com absorptância de 0,2 e cavidade ventilada de 1,0m. Esses modelos mostram uma boa capacidade de manter temperaturas internas estáveis, similar às edificações ACM com cavidade de 1,0m. As temperaturas internas variam entre 25,11°C e 27,43°C, com médias de 26,22°C a 27,43°C. A cerâmica clara, com baixa absorptância, contribui para a manutenção de temperaturas internas mais amenas. Os modelos CER4 a CER6, com fachadas ventiladas em cerâmica clara e cavidade ventilada de 0,5m, apresentam uma leve redução na capacidade de manter temperaturas internas estáveis em comparação com os modelos com cavidade de 1,0m. As temperaturas internas variam entre 25,36°C e 27,70°C, com médias de 26,48°C a 27,70°C. A menor espessura da cavidade ventilada reduz a eficiência do isolamento térmico, resultando em maiores variações de temperatura interna.

Os modelos CER7 a CER9, com fachadas ventiladas em cerâmica escura e absorptância de 0,8, e cavidade ventilada de 1,0m, mostram uma tendência a manter temperaturas internas ligeiramente mais altas, devido à maior absorptância do material escuro. As temperaturas internas variam entre 25,49°C e 27,84°C, com médias de 26,62°C a 27,84°C. A maior absorptância do material escuro permite uma maior retenção de calor, o que pode ser vantajoso em climas frios. Os modelos CER10 a CER12, com fachadas ventiladas em cerâmica escura e absorptância de 0,8, e cavidade ventilada de 0,5m, apresentam as menores temperaturas internas médias, indicando uma menor eficiência térmica comparada às outras configurações. As temperaturas internas variam entre 25,87°C e 28,25°C, com médias de 27,01°C a 28,25°C. A combinação de uma cavidade ventilada mais fina e a maior absorptância do material escuro resulta em uma menor capacidade de isolamento térmico.

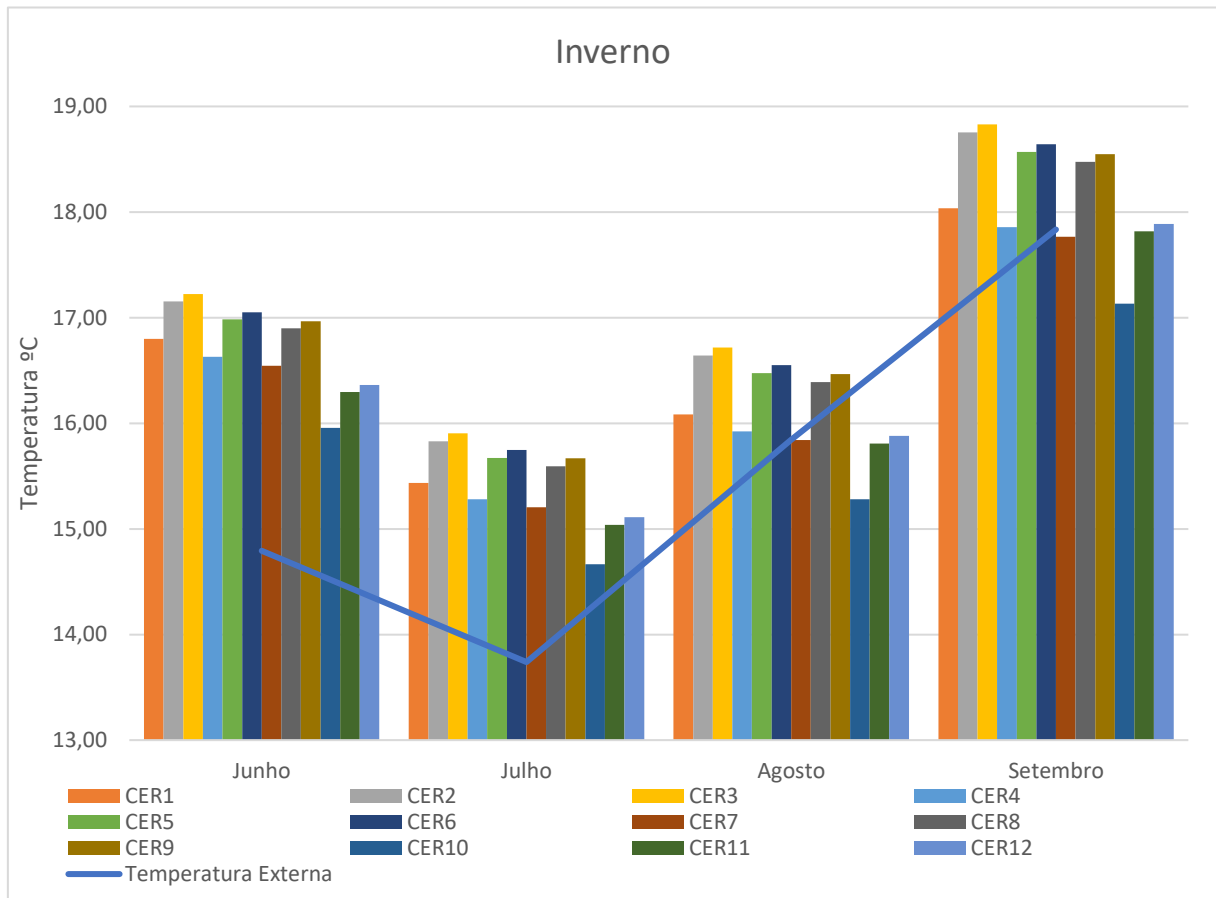
A análise comparativa dos modelos revela que as fachadas ventiladas com cavidade de 1,0m tendem a proporcionar um melhor desempenho térmico, mantendo temperaturas internas mais estáveis e confortáveis. Além disso, as fachadas escuras, devido à maior absorção, tendem a manter temperaturas internas ligeiramente mais altas, o que pode ser vantajoso em climas frios. No entanto, as fachadas claras com cavidade de 1,0m também demonstram uma boa eficiência térmica, oferecendo uma alternativa eficaz para o controle de temperatura interna. Em resumo, a escolha do material da fachada e a espessura da cavidade ventilada são fatores fundamentais para o desempenho térmico dos modelos. Fachadas claras com cavidade de 1,0m oferecem um bom equilíbrio entre isolamento térmico e estabilidade de temperatura interna, enquanto fachadas escuras podem ser mais adequadas para climas frios, onde a retenção de calor é desejável. A espessura da cavidade ventilada também desempenha um papel importante, com cavidades mais espessas proporcionando melhor isolamento térmico.

4.6 Inverno

4.6.1 CER

O comportamento térmico dos modelos durante o inverno é essencial para garantir o conforto dos ocupantes e a eficiência energética dos edifícios. Este estudo analisa a variação de temperatura interna ao longo dos meses de inverno em doze edificações diferentes, identificadas como CER1 a CER12. As medições foram realizadas em intervalos regulares, comparando as temperaturas internas e externas de junho a setembro. A análise revela padrões comuns de variação térmica, bem como diferenças significativas entre os modelos, que podem estar relacionadas à eficiência térmica e ao isolamento de cada construção. A seguir, são apresentados os dados detalhados de cada modelo e uma comparação entre elas, destacando as principais observações e conclusões.

Tabela 33 - Inverno CER



Fonte: (autor, 2024)

O modelo CER1 apresenta uma variação de temperatura interna ao longo do inverno. Em junho, a temperatura interna média é de 16.80°C, enquanto a temperatura externa média é de 14.79°C. Em julho, a temperatura interna média é de 15.44°C, com a externa em 13.74°C. Em agosto, a temperatura interna média é de 16.08°C, enquanto a externa é de 15.85°C. Em setembro, a temperatura interna média é de 18.04°C, com a externa em 17.83°C.

O modelo CER2 mostra uma variação de temperatura interna de 17.15°C em junho, 15.83°C em julho, 16.64°C em agosto e 18.76°C em setembro. A temperatura externa média varia de 14.79°C em junho a 17.83°C em setembro.

No modelo CER3, a temperatura interna varia de 17.22°C em junho, 15.91°C em julho, 16.72°C em agosto e 18.83°C em setembro. A temperatura externa média segue a mesma variação das outros modelos.

O modelo CER4 apresenta uma variação de temperatura interna de 16.63°C em junho, 15.28°C em julho, 15.92°C em agosto e 17.86°C em setembro. A temperatura externa média varia de 14.79°C em junho a 17.83°C em setembro.

No modelo CER5, a temperatura interna varia de 16.98°C em junho, 15.67°C em julho, 16.47°C em agosto e 18.57°C em setembro. A temperatura externa média segue a mesma variação dos outros modelos.

O modelo CER6 apresenta uma variação de temperatura interna de 17.05°C em junho, 15.75°C em julho, 16.55°C em agosto e 18.64°C em setembro. A temperatura externa média varia de 14.79°C em junho a 17.83°C em setembro.

No modelo CER7, a temperatura interna varia de 16.55°C em junho, 15.20°C em julho, 15.84°C em agosto e 17.77°C em setembro. A temperatura externa média segue a mesma variação dos outros modelos.

O modelo CER8 apresenta uma variação de temperatura interna de 16.90°C em junho, 15.59°C em julho, 16.39°C em agosto e 18.47°C em setembro. A temperatura externa média varia de 14.79°C em junho a 17.83°C em setembro.

No modelo CER9, a temperatura interna varia de 16.96°C em junho, 15.67°C em julho, 16.47°C em agosto e 18.55°C em setembro. A temperatura externa média segue a mesma variação dos outros modelos.

O modelo CER10 apresenta uma variação de temperatura interna de 15.96°C em junho, 14.66°C em julho, 15.28°C em agosto e 17.13°C em setembro. A temperatura externa média varia de 14.79°C em junho a 17.83°C em setembro.

No modelo CER11, a temperatura interna varia de 16.30°C em junho, 15.04°C em julho, 15.81°C em agosto e 17.82°C em setembro. A temperatura externa média segue a mesma variação dos outros modelos.

O modelo CER12 apresenta uma variação de temperatura interna de 16.36°C em junho, 15.11°C em julho, 15.88°C em agosto e 17.89°C em setembro. A temperatura externa média varia de 14.79°C em junho a 17.83°C em setembro.

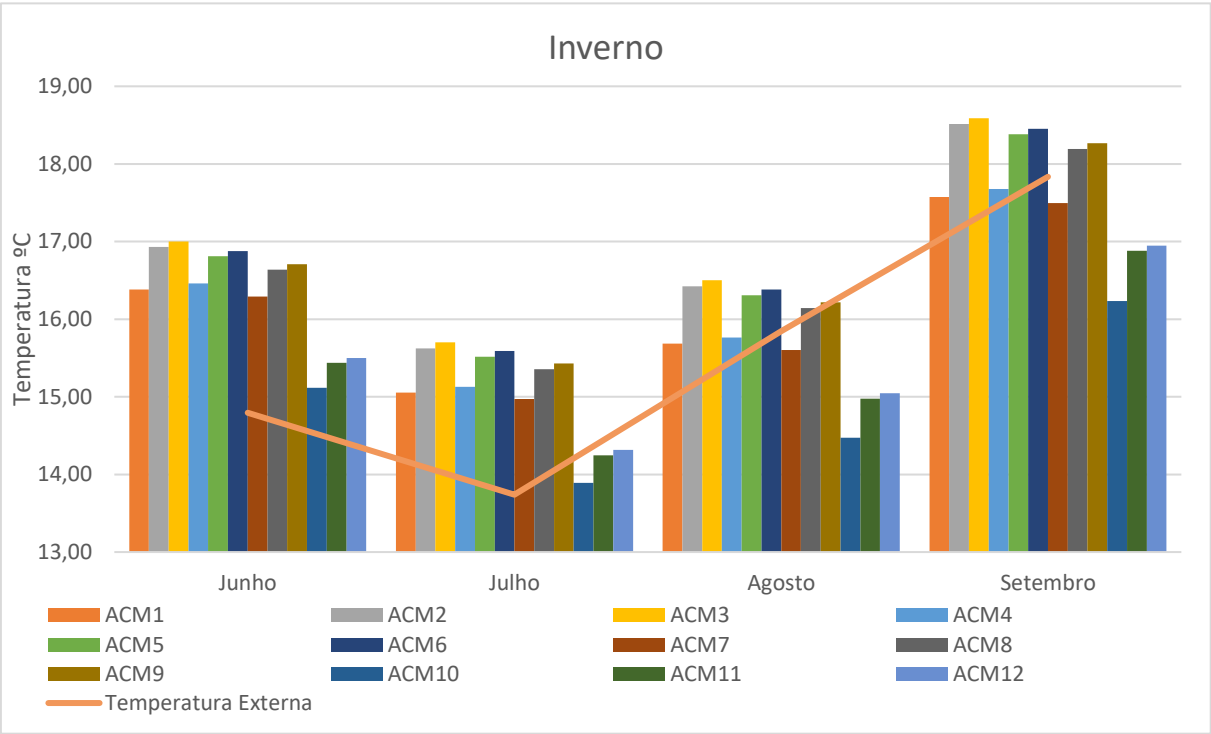
Ao comparar os modelos, observa-se que todos apresentam um comportamento similar, com a temperatura interna variando de acordo com a temperatura externa. No entanto, algumas diferenças podem ser destacadas. Os modelos CER1 a CER3 apresentam temperaturas internas ligeiramente mais altas durante o inverno, em comparação com os outros modelos. Já os modelos CER10 a CER12 têm temperaturas internas mais baixas durante o inverno, o que pode indicar uma menor eficiência térmica ou isolamento. Durante o inverno, todos os modelos

apresentam uma variação na temperatura interna, com os picos mais altos observados durante a tarde. À noite, a temperatura interna começa a cair novamente.

4.6.2 ACM

O comportamento térmico dos modelos durante o inverno é essencial para garantir o conforto dos ocupantes e a eficiência energética dos edifícios. Este estudo examina a variação de temperatura interna ao longo dos meses de inverno em doze edificações diferentes, identificadas como ACM1 a ACM12. As medições foram realizadas em intervalos regulares, comparando as temperaturas internas e externas de junho a setembro. A análise revela padrões comuns de variação térmica, bem como diferenças sutis entre os modelos, que podem estar relacionadas à eficiência térmica e ao isolamento de cada construção. A seguir, são apresentados os dados detalhados de cada modelo e uma comparação entre elas, destacando as principais observações e conclusões.

Tabela 34 - Inverno ACM



Fonte: (autor, 2024)

O modelo ACM1 apresenta uma variação de temperatura interna ao longo dos meses de inverno. Em junho, a temperatura interna média é de 16.38°C, enquanto a

temperatura externa média é de 14.79°C. Em julho, a temperatura interna média cai para 15.06°C, com a temperatura externa média de 13.74°C. Em agosto, a temperatura interna média é de 15.68°C, enquanto a temperatura externa média é de 15.85°C. Em setembro, a temperatura interna média aumenta para 17.57°C, com a temperatura externa média de 17.83°C.

O modelo ACM2 tem temperaturas internas médias de 16.93°C em junho, 15.63°C em julho, 16.42°C em agosto e 18.51°C em setembro. As temperaturas externas médias nesses meses são de 14.79°C, 13.74°C, 15.85°C e 17.83°C, respectivamente.

A temperatura interna média do modelo ACM3 é de 17.00°C em junho, 15.70°C em julho, 16.50°C em agosto e 18.59°C em setembro. As temperaturas externas médias são de 14.79°C, 13.74°C, 15.85°C e 17.83°C, respectivamente.

O modelo ACM4 apresenta temperaturas internas médias de 16.46°C em junho, 15.13°C em julho, 15.76°C em agosto e 17.68°C em setembro. As temperaturas externas médias nesses meses são de 14.79°C, 13.74°C, 15.85°C e 17.83°C, respectivamente.

A temperatura interna média do modelo ACM5 é de 16.81°C em junho, 15.51°C em julho, 16.31°C em agosto e 18.38°C em setembro. As temperaturas externas médias são de 14.79°C, 13.74°C, 15.85°C e 17.83°C, respectivamente.

O modelo ACM6 apresenta temperaturas internas médias de 16.88°C em junho, 15.59°C em julho, 16.38°C em agosto e 18.45°C em setembro. As temperaturas externas médias nesses meses são de 14.79°C, 13.74°C, 15.85°C e 17.83°C, respectivamente.

A temperatura interna média do modelo ACM7 é de 16.29°C em junho, 14.97°C em julho, 15.60°C em agosto e 17.49°C em setembro. As temperaturas externas médias são de 14.79°C, 13.74°C, 15.85°C e 17.83°C, respectivamente.

O modelo ACM8 apresenta temperaturas internas médias de 16.64°C em junho, 15.36°C em julho, 16.14°C em agosto e 18.19°C em setembro. As temperaturas externas médias nesses meses são de 14.79°C, 13.74°C, 15.85°C e 17.83°C, respectivamente.

A temperatura interna média do modelo ACM9 é de 16.71°C em junho, 15.43°C em julho, 16.22°C em agosto e 18.27°C em setembro. As temperaturas externas médias são de 14.79°C, 13.74°C, 15.85°C e 17.83°C, respectivamente.

O modelo ACM10 apresenta temperaturas internas médias de 15.12°C em junho, 13.89°C em julho, 14.47°C em agosto e 16.23°C em setembro. As temperaturas externas médias nesses meses são de 14.79°C, 13.74°C, 15.85°C e 17.83°C, respectivamente.

A temperatura interna média do modelo ACM11 é de 15.44°C em junho, 14.25°C em julho, 14.98°C em agosto e 16.88°C em setembro. As temperaturas externas médias são de 14.79°C, 13.74°C, 15.85°C e 17.83°C, respectivamente.

O modelo ACM12 apresenta temperaturas internas médias de 15.50°C em junho, 14.32°C em julho, 15.04°C em agosto e 16.95°C em setembro. As temperaturas externas médias nesses meses são de 14.79°C, 13.74°C, 15.85°C e 17.83°C, respectivamente.

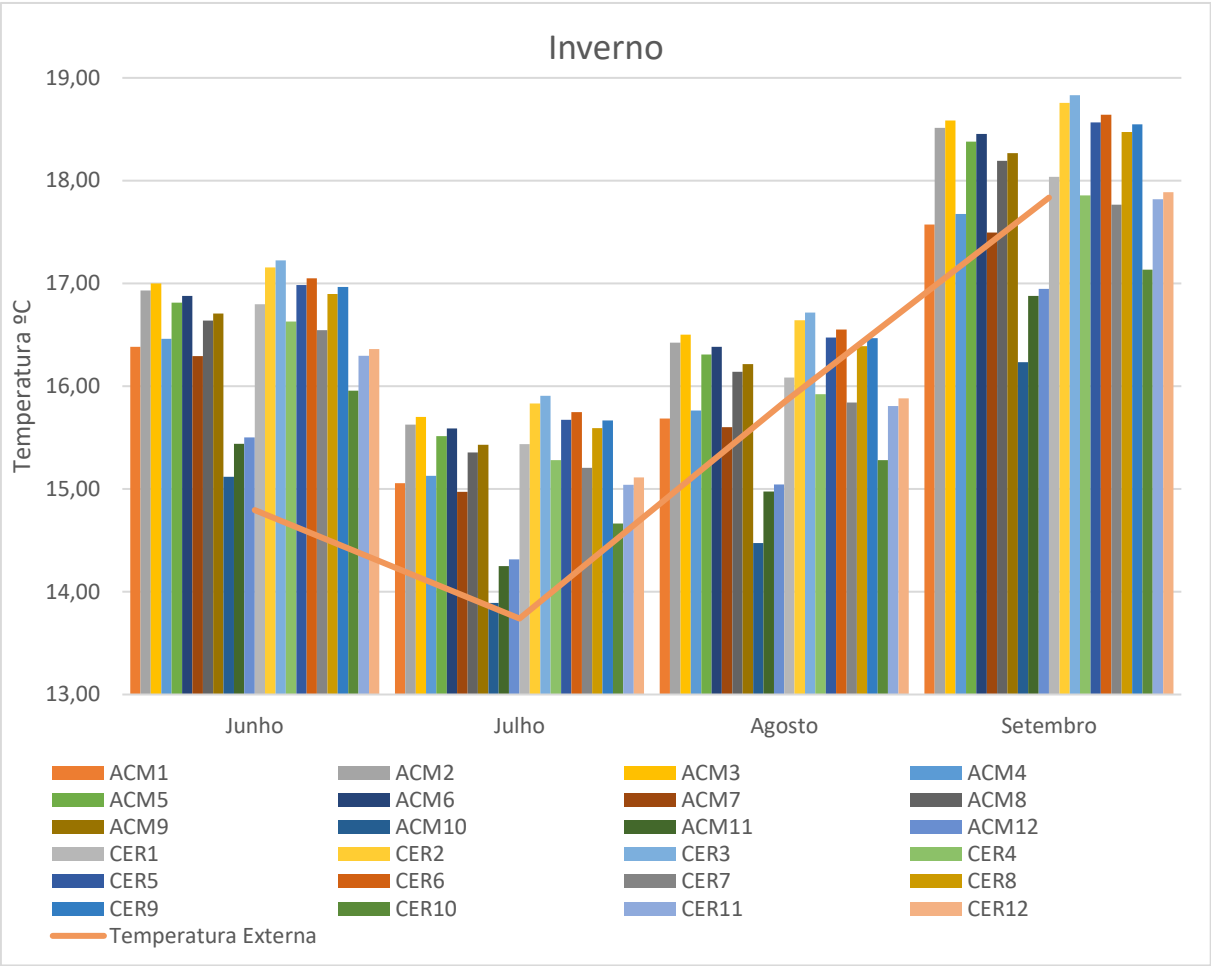
Ao comparar os modelos, observa-se que todos apresentam um comportamento similar de variação de temperatura interna ao longo dos meses de inverno. No entanto, algumas diferenças sutis podem ser destacadas: ACM1 a ACM9 têm temperaturas internas mais altas em comparação com ACM10 a ACM12. Isso pode indicar uma melhor eficiência térmica ou isolamento. ACM10 a ACM12 apresentam temperaturas internas mais baixas, especialmente durante os meses mais frios. Isso pode sugerir uma menor eficiência térmica ou isolamento em comparação com os outros modelos. Durante os meses de inverno, todos os modelos apresentam uma queda na temperatura interna, com as menores temperaturas internas observadas em julho. Durante os meses mais quentes dentro desse período, as temperaturas internas aumentam gradualmente, atingindo o pico em setembro.

4.6.3 Comparação entre CER e ACM

A análise dos modelos ACM1 a ACM12 e CER1 a CER12, com base nos dados de temperatura externa e interna durante o inverno, revela como diferentes materiais e configurações de fachadas ventiladas influenciam o desempenho térmico dos modelos. Os modelos ACM1 a ACM3 possuem fachadas ventiladas em ACM claro com absorvância de 0,2 e cavidade ventilada de 1,0m. Esses modelos apresentam temperaturas internas variando entre 11,62°C e 13,90°C, com uma média de aproximadamente 12,83°C. Os modelos ACM2 e ACM3 mostram temperaturas internas variando entre 12,11°C e 14,39°C, com médias de 13,33°C e 13,45°C, respectivamente. Esses modelos demonstram uma boa capacidade de manter

temperaturas internas relativamente estáveis, com variações menores em comparação com as temperaturas externas.

Tabela 35 - Inverno CERxACM



Fonte: (autor, 2024)

Por outro lado, os modelos ACM4 a ACM6, que possuem fachadas ventiladas em ACM claro com absorvência de 0,2 e cavidade ventilada de 0,5m, apresentam uma leve redução na capacidade de manter temperaturas internas estáveis. As temperaturas internas variam entre 11,54°C e 14,29°C, com médias de 12,61°C a 13,32°C. Essa redução pode ser atribuída à menor espessura da cavidade ventilada, que diminui a eficiência do isolamento térmico. Os modelos ACM7 a ACM9, com fachadas ventiladas em ACM escuro e absorvência de 0,8, e cavidade ventilada de 1,0m, mostram uma tendência a manter temperaturas internas ligeiramente mais altas, devido à maior absorvência do material escuro. As temperaturas internas variam entre 11,42°C e 14,14°C, com médias de 12,52°C a 13,22°C. A maior absorvência do

material escuro permite uma maior retenção de calor, o que pode ser vantajoso em climas frios.

Por fim, os modelos ACM10 a ACM12, com fachadas ventiladas em ACM escuro e absorvância de 0,8, e cavidade ventilada de 0,5m, apresentam as menores temperaturas internas médias, indicando uma menor eficiência térmica comparada às outras configurações. As temperaturas internas variam entre 10,59°C e 13,12°C, com médias de 11,68°C a 12,13°C. A combinação de uma cavidade ventilada mais fina e a maior absorvância do material escuro resulta em uma menor capacidade de isolamento térmico.

Os modelos CER1 a CER3 possuem fachadas ventiladas em cerâmica clara com absorvância de 0,2 e cavidade ventilada de 1,0m. Esses modelos mostram uma boa capacidade de manter temperaturas internas estáveis, similar às edificações ACM com cavidade de 1,0m. As temperaturas internas variam entre 11,77°C e 14,58°C, com médias de 12,99°C a 13,49°C. A cerâmica clara, com baixa absorvância, contribui para a manutenção de temperaturas internas mais amenas. Os modelos CER4 a CER6, com fachadas ventiladas em cerâmica clara e cavidade ventilada de 0,5m, apresentam uma leve redução na capacidade de manter temperaturas internas estáveis em comparação com os modelos com cavidade de 1,0m. As temperaturas internas variam entre 11,65°C e 14,43°C, com médias de 12,82°C a 13,34°C. A menor espessura da cavidade ventilada reduz a eficiência do isolamento térmico, resultando em maiores variações de temperatura interna.

Os modelos CER7 a CER9, com fachadas ventiladas em cerâmica escura e absorvância de 0,8, e cavidade ventilada de 1,0m, mostram uma tendência a manter temperaturas internas ligeiramente mais altas, devido à maior absorvância do material escuro. As temperaturas internas variam entre 11,59°C e 14,36°C, com médias de 12,73°C a 13,28°C. A maior absorvância do material escuro permite uma maior retenção de calor, o que pode ser vantajoso em climas frios. Os modelos CER10 a CER12, com fachadas ventiladas em cerâmica escura e absorvância de 0,8, e cavidade ventilada de 0,5m, apresentam as menores temperaturas internas médias, indicando uma menor eficiência térmica comparada às outras configurações. As temperaturas internas variam entre 11,18°C e 13,85°C, com médias de 12,30°C a 12,81°C. A combinação de uma cavidade ventilada mais fina e a maior absorvância do material escuro resulta em uma menor capacidade de isolamento térmico.

5 DISCUSSÃO

Os resultados obtidos para os diferentes modelos de fachadas destacam a importância de uma análise criteriosa dos materiais e das características construtivas para otimizar o desempenho térmico das edificações. Este capítulo discute os resultados obtidos a partir da análise dos 24 modelos de fachadas ventiladas, divididos entre revestimentos cerâmicos (CER1 ao CER12) e ACM (ACM1 ao ACM12). A reflexão sobre os dados será orientada para recomendações práticas sobre o impacto das estratégias de desempenho térmico, comparando os modelos com fechamento interno de alvenaria e os modelos com fechamento em vidro.

Os modelos CER com fechamento interno de alvenaria (CER1, CER4, CER7, CER10) apresentaram um desempenho térmico variado, influenciado principalmente pela espessura da câmara de ar e pela cor do revestimento cerâmico. Observou-se que CER1 e CER4, com câmara de ar de 1 metro e 0,5 metro, respectivamente, ambos com revestimento cerâmico claro, apresentaram temperaturas internas mais baixas durante o verão, devido à menor absorção do material. No inverno, a diferença de espessura da câmara de ar resultou em uma leve variação na retenção de calor, com CER1 mantendo temperaturas internas ligeiramente mais estáveis. Já CER7 e CER10, com revestimento cerâmico escuro, mostraram temperaturas internas mais altas no verão, devido à maior absorção de calor. No inverno, a câmara de ar de 1 metro (CER7) proporcionou uma melhor retenção de calor comparada à de 0,5 metro (CER10).

Os modelos ACM com fechamento interno de alvenaria (ACM1, ACM4, ACM7, ACM10) também apresentaram variações significativas. ACM1 e ACM4, com revestimento ACM claro, mostraram temperaturas internas mais baixas no verão, similar aos modelos CER claros. No inverno, a câmara de ar de 1 metro (ACM1) manteve uma temperatura interna mais estável em comparação à de 0,5 metro (ACM4). ACM7 e ACM10, com revestimento ACM escuro, apresentaram temperaturas internas mais altas no verão. No inverno, a câmara de ar de 1 metro (ACM7) foi mais eficaz na retenção de calor do que a de 0,5 metro (ACM10).

Os modelos CER com fechamento interno em vidro (CER2, CER3, CER5, CER6, CER8, CER9, CER11, CER12) mostraram um desempenho térmico influenciado pela combinação de materiais e pela configuração da câmara de ar. CER2, CER3, CER5 e CER6, com vidro insulado, apresentaram uma melhor retenção

de calor no inverno e temperaturas internas mais controladas no verão. A câmara de ar de 1 metro (CER2 e CER3) foi mais eficaz na dissipação de calor no verão e na retenção no inverno, comparada à de 0,5 metro (CER5 e CER6). CER8, CER9, CER11 e CER12, com vidro laminado, mostraram uma menor eficiência térmica em comparação aos modelos com vidro insulado. A câmara de ar de 1 metro (CER8 e CER9) proporcionou uma melhor estabilidade térmica do que a de 0,5 metro (CER11 e CER12).

Os modelos ACM com fechamento interno em vidro (ACM2, ACM3, ACM5, ACM6, ACM8, ACM9, ACM11, ACM12) seguiram padrões semelhantes aos modelos CER. ACM2, ACM3, ACM5 e ACM6, com vidro insulado, apresentaram um desempenho térmico superior, com melhor controle de temperatura interna tanto no verão quanto no inverno. A câmara de ar de 1 metro (ACM2 e ACM3) foi mais eficaz na dissipação de calor no verão e na retenção no inverno, comparada à de 0,5 metro (ACM5 e ACM6). ACM8, ACM9, ACM11 e ACM12, com vidro laminado, mostraram uma menor eficiência térmica em comparação aos modelos com vidro insulado. A câmara de ar de 1 metro (ACM8 e ACM9) proporcionou uma melhor estabilidade térmica do que a de 0,5 metro (ACM11 e ACM12).

Para climas quentes, recomenda-se o uso de revestimentos claros (tanto cerâmica quanto ACM) devido à sua menor absorção, resultando em temperaturas internas mais baixas. Em climas frios, revestimentos escuros podem ser vantajosos para aumentar a absorção de calor. A câmara de ar de 1 metro mostrou-se mais eficaz na dissipação de calor no verão e na retenção no inverno, proporcionando uma maior estabilidade térmica. Portanto, é recomendada para regiões com grandes variações sazonais de temperatura. Vidros insulados oferecem uma melhor eficiência térmica em comparação aos vidros laminados, sendo recomendados para melhorar o desempenho térmico das edificações. Em regiões com invernos rigorosos, o uso de vidro insulado pode contribuir significativamente para a retenção de calor. A combinação de fachadas ventiladas com outras tecnologias de eficiência energética, como isolamento térmico adicional e sistemas de sombreamento, pode otimizar ainda mais o desempenho térmico das edificações.

A análise dos modelos CER e ACM revela que a escolha dos materiais de revestimento, a configuração da câmara de ar e o tipo de fechamento interno são fatores cruciais para o desempenho térmico das edificações. As recomendações

apresentadas visam orientar a aplicação de estratégias de desempenho térmico, promovendo edificações mais confortáveis e eficientes energeticamente.

Em resumo (tabela 36), a escolha do material da fachada e a espessura da cavidade ventilada são fatores fundamentais para o desempenho térmico dos modelos. Fachadas claras com cavidade de 1,0m oferecem um bom equilíbrio entre isolamento térmico e estabilidade de temperatura interna, enquanto fachadas escuras podem ser mais adequadas para climas frios, onde a retenção de calor é desejável. A espessura da cavidade ventilada também desempenha um papel importante, com cavidades mais espessas proporcionando melhor isolamento térmico. Essas recomendações sublinham a importância de selecionar materiais de fachada com menor absorvância térmica e de considerar a profundidade da cavidade ventilada para otimizar o desempenho térmico das edificações. A escolha adequada dessas variáveis pode reduzir significativamente o consumo energético para resfriamento, especialmente em regiões de clima quente. Profissionais da área devem considerar essas estratégias ao projetar edificações, visando garantir um ambiente interno mais confortável e energeticamente eficiente.

Tabela 36 - Análise Comparativa entre os Modelos

Modelo	Material Fachada	Absortância	Fechamento Interno	Cavidade Ventilada	Desempenho Térmico
CER1	Cerâmica clara	0.2	Alvenaria	1.0m	Excelente
CER2	Cerâmica clara	0.2	Alvenaria + Vidro Insulado	1.0m	Bom
CER3	Cerâmica clara	0.2	Alvenaria + Vidro Laminado	1.0m	Bom
CER4	Cerâmica clara	0.2	Alvenaria	0.5m	Excelente
CER5	Cerâmica clara	0.2	Alvenaria + Vidro Insulado	0.5m	Bom
CER6	Cerâmica escura	0.8	Alvenaria + Vidro Laminado	0.5m	Regular
CER7	Cerâmica escura	0.8	Alvenaria	1.0m	Regular
CER8	Cerâmica escura	0.8	Alvenaria + Vidro Insulado	1.0m	Regular
CER9	Cerâmica escura	0.8	Alvenaria + Vidro Laminado	1.0m	Regular
CER10	Cerâmica escura	0.8	Alvenaria	0.5m	Regular
CER11	Cerâmica escura	0.8	Alvenaria + Vidro Insulado	0.5m	Regular
CER12	Cerâmica escura	0.8	Alvenaria + Vidro Laminado	0.5m	Regular
ACM1	ACM claro	0.2	Alvenaria	1.0m	Excelente
ACM2	ACM claro	0.2	Alvenaria + Vidro Insulado	1.0m	Bom
ACM3	ACM claro	0.2	Alvenaria + Vidro Laminado	1.0m	Bom
ACM4	ACM claro	0.2	Alvenaria	0.5m	Excelente
ACM5	ACM claro	0.2	Alvenaria + Vidro Insulado	0.5m	Bom
ACM6	ACM escuro	0.8	Alvenaria + Vidro Laminado	0.5m	Regular
ACM7	ACM escuro	0.8	Alvenaria	1.0m	Regular
ACM8	ACM escuro	0.8	Alvenaria + Vidro Insulado	1.0m	Regular
ACM9	ACM escuro	0.8	Alvenaria + Vidro Laminado	1.0m	Regular
ACM10	ACM escuro	0.8	Alvenaria	0.5m	Regular
ACM11	ACM escuro	0.8	Alvenaria + Vidro Insulado	0.5m	Regular
ACM12	ACM escuro	0.8	Alvenaria + Vidro Laminado	0.5m	Regular

Fonte: (autor, 2024)

6 CONCLUSÃO

O estudo do desempenho térmico de fachadas ventiladas em Porto Alegre, utilizando diferentes materiais e configurações, é essencial para entender como essas variáveis influenciam a temperatura interna dos modelos. A análise foi realizada com base em dados de temperatura externa e interna para diferentes tipos de fachadas ventiladas, categorizadas como Alumínio Composto (ACM 1 a 12) e Cerâmica (CER 1 a 12), com variações de absorvância, fechamento interno e profundidade da cavidade ventilada.

Os dados dos 9 dias mais quentes mostram a variação de temperatura externa e interna para cada configuração de fachada. Observa-se que as fachadas com materiais de alta absorvância (0,8) tendem a apresentar temperaturas internas mais elevadas em comparação com aquelas de baixa absorvância (0,2). Além disso, a profundidade da cavidade ventilada (0,5m vs. 1,0m) também influencia a temperatura interna, com cavidades mais profundas geralmente proporcionando melhor desempenho térmico.

Durante um dia típico de verão, as temperaturas internas variam significativamente entre as diferentes configurações de fachadas. As fachadas ventiladas em cerâmica clara (CER1 a CER5) apresentam temperaturas internas mais baixas em comparação com as fachadas em cerâmica escura (CER6 a CER12). Similarmente, as fachadas em ACM claro (ACM1 a ACM5) também mostram melhor desempenho térmico em relação às fachadas em ACM escuro (ACM6 a ACM12).

A análise das estações de verão revela que as temperaturas internas médias são consistentemente mais baixas para fachadas com materiais de baixa absorvância. As fachadas ventiladas em cerâmica clara e ACM claro mantêm temperaturas internas mais confortáveis durante os meses de verão, destacando a importância da escolha do material e da cor da fachada para o desempenho térmico.

Nos 9 dias mais frios, as fachadas ventiladas em cerâmica e ACM com alta absorvância (0,8) apresentam temperaturas internas mais elevadas, o que pode ser benéfico para o conforto térmico durante o inverno. A profundidade da cavidade ventilada também desempenha um papel fundamental, com cavidades mais profundas ajudando a manter temperaturas internas mais estáveis.

Durante um dia típico de inverno, as fachadas ventiladas em cerâmica escura (CER6 a CER12) e ACM escuro (ACM6 a ACM12) mostram melhor retenção de calor,

resultando em temperaturas internas mais altas. Isso sugere que fachadas com alta absorvência são mais eficazes em climas frios para manter o conforto térmico interno.

A análise das estações de inverno confirma que fachadas com materiais de alta absorvência e cavidades ventiladas mais profundas proporcionam melhor desempenho térmico, mantendo temperaturas internas mais elevadas durante os meses mais frios. As fachadas ventiladas em cerâmica escura e ACM escuro são particularmente eficazes em reter calor.

A absorvência do material da fachada tem um impacto significativo no desempenho térmico. Materiais de baixa absorvência (0,2) são mais eficazes em reduzir a temperatura interna durante o verão, enquanto materiais de alta absorvência (0,8) ajudam a manter temperaturas internas mais altas durante o inverno. A profundidade da cavidade ventilada também é fundamental. Cavidades mais profundas (1,0m) geralmente proporcionam melhor desempenho térmico, ajudando a regular a temperatura interna de forma mais eficaz. O tipo de fechamento interno (alvenaria, vidro insulado, vidro laminado) influencia a temperatura interna, com fechamentos em vidro insulado e laminado mostrando variações menores de temperatura interna em comparação com alvenaria.

A escolha do material da fachada, sua absorvência, o tipo de fechamento interno e a profundidade da cavidade ventilada são fatores críticos que influenciam o desempenho térmico dos modelos. Fachadas ventiladas em cerâmica clara e ACM claro são mais eficazes em climas quentes, enquanto fachadas em cerâmica escura e ACM escuro são mais adequadas para climas frios. A profundidade da cavidade ventilada também desempenha um papel importante na regulação da temperatura interna, com cavidades mais profundas proporcionando melhor desempenho térmico.

Para futuros trabalhos, sugere-se investigar a influência da diferença de nível entre a entrada e a saída do ar na cavidade ventilada das fachadas. Este estudo poderia explorar como variações na altura dessas aberturas afetam o fluxo de ar e, conseqüentemente, o desempenho térmico do sistema. A análise poderia incluir simulações computacionais e experimentos em escala real para avaliar a eficiência da ventilação natural e seu impacto na redução de cargas térmicas. Além disso, seria interessante examinar como diferentes configurações de abertura podem otimizar a ventilação e contribuir para o conforto térmico interno e a eficiência energética dos edifícios.

REFERÊNCIAS

ADJEMIAN, A. **La Evolución de la Fachada Ventilada**: Nuevos materiales y sistemas constructivos. 277 p. Universitat Politècnica de València, Valencia, 2011.

ALBERTO, A., RAMOS, N. M. & ALMEIDA, R. M. Parametric study of double-skin facades performance in mild climate countries. **Journal of Building Engineering**, July, Volume 12, pp. 87-98, 2017.

APARICIO-FERNÁNDEZ, C. et al. Energy performance of a ventilated façade by simulation with experimental validation. **Applied Thermal Engineering**, v. 66, n. 1–2, p. 563–570, maio 2014.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005

ATEM, C. G. **Fachadas ventiladas: hacia un diseño eficiente en Brasil. 2016**. Thesis (Doctoral), Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona, 2016.

BALOCCO, C. A simple model to study ventilated facades energy performance. **Energy and Buildings**, June, 34(5), pp. 469-475, 2002.

BALTER, J.; PARDAL, C.; COCH, H.; PARICIO, I.; GANEM, C. Movimiento del aire en la cámara de la fachada ventilada. estudio de casos existentes en la ciudad de Barcelona, España. In: XIV ENCAC - Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído; X ELACAC - Encontro Latinoamericano de Conforto no Ambiente Construído. **Anais [...]**. Balneário Camboriu, 2017.

BOAKE, Terri M. et al. The tectonics of the double skin. **Waterloo: School of Architecture**, 2002.

CBIC. CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Construção civil superou todas as expectativas e cresceu 9,7% em 2021**. 2022. Disponível em: <https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2022/03/informativo-economico-pib-04-marco-2022.pdf>.

CBCS. Conselho Brasileiro de Construção Sustentável. **Aspectos da Construção Sustentável no Brasil. 2022**. Disponível em: <http://www.cbcs.org.br/website/aspectosconstrucao-sustentavel/>.

CUNHA, M. M. F. **Desenvolvimento de um sistema construtivo para fachadas ventiladas**. 2006. Dissertação de mestrado. Universidade do Minho. Porto, 183p, 2006.

DEKAY, M.; BROWN, G. Z. **Sun, Wind & Light - Architectural Design Strategies**. 3. ed. Hoboken: Wiley, 2014.

DORNELLES, Kelen Almeida. **Absortancia solar de superficies opacas**: metodos de determinação e base de dados para tintas latex acrilica e PVA. 2008. 160p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, SP. Disponível em: <https://hdl.handle.net/20.500.12733/1607471>.

FISSABRE, A.; NIETHAMMER, B. The Invention of glazed Curtain Wall in 1903 -The Steiff Toy Factory. Proceedings of the Third International Congress on Construction History. **Proceedings [...]**, 2009, p. 1-8.

IBAÑEZ-PUY, M. et al. Opaque Ventilated Façades: Thermal and energy performance review. **Renewable and Sustainable Energy Review**, v. 79, p. 180–191, 2017.

INMET - LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. Arquivos climáticos INMET 2018. **LabEEE**. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/inmet2018>

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 6241: performance standards in building: principles for their preparation and factors to be considered. Geneva, 1984.

KEELER, M.; BURKE, B. **Fundamentos de projeto de edificações sustentáveis**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

KÖPPEN, W. O sistema geográfico de climas. In: KÖPPEN, W.; GEIGER, R. (Eds.). **Manual de climatologia**. Berlim, Alemanha: Gebruder Borntrager, 1936. p. 1-44.

KOTTEK, M.; GRIESER, J.; BECK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 15, p. 259-263, 2006. Disponível em: http://koeppengeiger.vuwien.ac.at/pdf/Paper_2006.pdf.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3ª Edição, revisada. São Paulo: Pro Livros, 2014.

LBNL - Lawrence Berkeley National Laboratory. **Windows & Daylighting Software: Building Technology & Urban Systems**. 2023.

LÓPEZ, F. P.; SANTIAGO, R. de A. Sensitivity study of an opaque ventilated façade in the winter season in different climate zones in Spain. **Renewable Energy**, v. 75, p. 524-533. Elsevier Ltd.: 2015.

MACIEL, A. C. F. **Análise da Demanda Energética para Climatização de Fachadas Ventiladas para Regiões Climáticas Brasileiras**. 2018. Tese de Doutorado em Estruturas e Construção Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 264p. 2018.

MELA, D.; TIBÚRCIO, T. M. S. Mapeamento de fachadas duplas no brasil: tecnologias e materiais aplicados. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 6., 2019, Uberlândia. **Anais [...]** Uberlândia: PPGAU/FAUeD/UFU, 2019. p 679-691. DOI <https://doi.org/10.14393/sbqp19063>.

OSPA. OSPA Arquitetura & Urbanismo. Disponível em: <http://https://www.ospa.com.br/hotel-moinhos-1903>.

PENSO, E. A. **Análise do desempenho térmico da fachada ventilada em edifícios de escritório**. 2017. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo - Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação Universidade Federal de Santa Catarina em Arquitetura e Urbanismo, Florianópolis, SC, 144p. 2017

RADHI, H., SHARPLES, S. & FIKIRY, F. Will multi-facade systems reduce cooling energy in fully glazed buildings? A scoping study of UAE buildings. **Energy and Buildings**, January, Volume 56, pp. 179-188, 2013.

RORIZ, M. **Arquivos Climáticos de Municípios Brasileiros**. São Carlos, SP: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações, 2012.

RPBW architects - Renzo Piano building workshop. Disponível em: <http://www.rpbw.com/project/ircam>.

SAELENS, Dirk. **Energy performance assessment of single storey multiple-skin facades**. 2002. Tese (Doutorado em Ciências Aplicadas). Katholieke Universiteit Leuven, Leuven, 272p, 2002.

SANJUAN, C. et al. Energy performance of an open-joint ventilated façade compared with a conventional sealed cavity façade. **Solar Energy** 85, p. 1851-1863. Elsevier Science Ltd. 2011.

SANTO A. D.; ALVAREZ C. A.; NICO-RODRIGUES E. A. Conforto e desempenho térmico em contradição na NBR 15.575. **Cadernos PROARQ**, 20. 2013

SAROGLOU, T., THEODOSIOU, T., GIVONI, b. & MEIR, A. I. Studies on the optimum double- skin curtain wall design for high-rise buildings in the Mediterranean climate. **Energy and Buildings**, February, Volume 208, p. 109641, 2020.

SILVA, G.J.A. da; Silva, S. E. Silva; Nome, C. A. Densidade, dispersão e forma urbana. Dimensões e limites da sustentabilidade habitacional. **Arquitextos** - São Paulo. 189.07 urbanismo ano 16, fev. 2016.

SIQUEIRA JUNIOR, Amaury Antunes de. **Tecnologia de Fachada-Cortina com Placas de Grês Porcelanato**. 2003. Dissertação de Mestrado de Engenharia Civil e Urbana. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 220p. 2003.

SORGATO, M. J.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. The effect of window opening ventilation control on residential building energy consumption. **Energy and Buildings**, v. 133, p. 1-13, 2016.

SOUSA, F. M. F. - **Fachadas ventiladas em edifícios: Tipificação de soluções e interpretação do funcionamento conjunto suporte/acabamento**. 2010. Dissertação de mestrado - Faculdade de engenharia da Universidade do Porto. Porto. 24p. 2010.

SOUZA, H. A. de; AMPARO, L. R.; GOMES, A. P. Influência da inércia térmica do solo e da ventilação natural no desempenho térmico: um estudo de caso de um projeto residencial em light steel framing. **Ambiente Construído**, v. 11, n. 4, p. 113-128, dez. 2011.

SPASTRI et al. The use of Dynamic Environmental Control Systems (DECS) in Cavities of Double Skin Facades for Energy Savings. **Procedia Engineering**. v. 118, p. 833-841, 2015.

SUÁREZ, M. J. et al. Energy evaluation of na horizontal open joint ventilated façade. **Applied Thermal Engineering**. V. 37, p.302-313, 2012.

Tao, Y. et al. Ventilation performance of a naturally ventilated double-skin façade in buildings. **Renewable Energy**, V. 167, p. 184-198, 2021.

VAGLIO, Jeffrey Craig. **Aerophysics of double-skin facades| Simulation-based determination of pressure coefficients for multi-story double-skin facades**. 2016. Thesis — University of Southern California, 2016. Disponível em: <http://pqdtopen.proquest.com/#viewpdf?dispub=10124488>. Acesso em: 15 mar. 2023.

VELLOSO, Joana Geraldi. **Diretrizes para construções em madeira no sistema plataforma**. 2010. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2010.

WEN, Y., GUO, Q., XIAO, P.-a. & MING, T. The Impact of Opening Sizing on the Airflow Distribution of Double-skin Facade. **Procedia Engineering**, Volume 205, pp. 4111-4116, 2017.

YOON, B. Y., SEO, B., KOH, B. B. & CHO, S. Performance analysis of a double-skin façade system installed at different floor levels of high-rise apartment building. **Journal of Building Engineering**, v.26, 2019.