ARTIGO

CARACTERIZAÇÃO DE ELEMENTOS CONSTRUTIVOS EM EDIFICAÇÕES MULTIFAMILIARES NA CIDADE DE VITÓRIA: BAIRROS JARDIM DA PENHA, MATA DA PRAIA, BENTO FERREIRA E CENTRO

MULTIFAMILY RESIDENTIAL BUILDINGS: THERMAL PERFORMANCE VERSUS CLIMATE CHANGE ON HOT-HUMID CLIMATE

EDIFICIOS RESIDENCIALES MULTIFAMILARES DESEMPEÑO TÉRMICO VERSUS CAMBIO CLIMÁTICO EN CLIMA CALIENTE E HÚMEDO

Emanuela Oliveira Brunetti[1], Laura Kaneko Vieira[1], Camila dos Santos Eller[1], Nayara Salera Malta[1], Edna Aparecida Nico-Rodrigues[1], Ariane Louzada Sasso Ferrão[1]

RESUMO:

A adoção de estratégias passivas de condicionamento térmico e adaptação dos aspectos projetuais às condicionantes do sítio, desde as fases iniciais de concepção, são essenciais para garantir o conforto térmico e promover a eficiência energética nas edificações. A adequação do sistema de envoltórias possui atuação relevante no desempenho térmico do edifício, sendo aspecto central em edificações de múltiplos pavimentos. Nesse sentido, principalmente frente ao cenário de aumento das temperaturas devido às mudanças climáticas, torna-se imprescindível a análise dos padrões recorrentes na arquitetura habitacional multifamiliar e o papel destes nas condições de conforto térmico. O objetivo foi analisar a influência das características construtivas de Sistemas de Vedações Verticais Externas (SVVE) no desempenho térmico de edificações residenciais multifamiliares, em clima quente e úmido, com ênfase nas mudanças climáticas. A metodologia consistiu em: I) definição do recorte territorial; II) caracterização das envoltórias; III) elaboração do edifício modelo; e IV) análise do desempenho térmico das SVVE de acordo com as características observadas no recorte territorial para cenários presentes e futuros. Os resultados demonstraram que o modelo com características mais recorrentes no espaço amostral apresentou elevado nível de desconforto por calor para o clima de Vitória-ES, atingindo 2.666 horas, resultado que pode ser reduzido em quase 70% com o uso de venezianas nas janelas. Os dados obtidos nas análises futuras revelaram que mesmo os modelos com melhor desempenho térmico no período atual foram ineficientes quanto à manutenção do conforto térmico das edificações frente às mudanças climáticas.

PALAVRAS-CHAVE: conforto térmico; eficiência energética; simulação computacional; envoltórias; mudanças climáticas.

[1]Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)

Fonte de Financiamento:
FAPES – Fundacão de Amparo à Pesquisa e Inovacão do Espírito Santo.

Conflito de Interesse:
Declara não haver.

Ética em Pesquisa:
Declara não haver necessidade.

Submetido em: 16/09/2024
Aceito em: 05/02/2025

How to cite this article:

BRUNETTI, E. B. et al. Desempenho Térmico versus Mudanças Climáticas: sistemas de vedações verticais externas em edifícios residenciais. **Gestão & Tecnologia de Projetos**. São Carlos, v20, n1, 2025. https://doi.org/10.11606/gtp.v20i1.229560

ABSTRACT:

The employment of passive thermal conditioning strategies and the adjustment of design aspects to site conditions, starting from the initial stages of conception, are essential to ensure thermal comfort and promote energy efficiency in buildings. The tailoring of envelope systems plays a significant role in thermal performance of an edifice, being a central aspect in multi-story buildings. In this regard, especially in the face of rising temperatures due to climate change, it becomes crucial to analyze the recurring patterns in multifamily residential architecture and their role in thermal comfort conditions. The objective was to analyze the influence of the constructive characteristics of External Vertical Sealing Systems (EVSS) on the thermal performance of multifamily residential buildings, in hot-humid climate, with emphasis on climate change. The methodology consisted of I) definition of the territorial scope; II) characterization of building envelopes; III) development of the building model; and IV) analysis of thermal performance of EVSS according to characteristics observed on the sample space. The results showed that the model with the most recurring characteristics in the sample space showed a high level of heat discomfort for the climate of Vitória-ES, reaching 2666 hours, a result that can be reduced by almost 70% with the use of shutters on windows. The data obtained from future analyses reveals that even the models with the best current thermal performance were inefficient in maintaining the thermal comfort of buildings in the face of climate change.

KEYWORDS: thermal comfort; energy efficiency; computer simulation; building envelopes; climate change.

RESUMEN:

La adopción de estrategias pasivas de acondicionamiento térmico y la adaptación de los aspectos de diseño a las limitaciones del emplazamiento, desde las fases iniciales de diseño, son esenciales para garantizar el confort térmico y promover la eficiencia energética en los edificios. La adecuación del sistema de la envolvente desempeña un papel relevante en el desempeño térmico del edificio, siendo un aspecto central en edificaciones de varias plantas. En este sentido, especialmente ante el aumento de las temperaturas debido al cambio climático, es fundamental analizar los patrones recurrentes en la arquitectura de edificios con varios pisos y su papel en las condiciones de comodidad térmica. El objetivo fue analizar la influencia de las características constructivas de los Sistemas de Sellado Vertical Exterior (SSVE) en el comportamiento térmico en las edificaciones de varias plantas, en clima caliente e húmedo, con énfasis en el cambio climático. La metodología consistió en: I) definición del corte territorial; II) caracterización de la envolvente; III) elaboración del edificio modelo; y IV) análisis del desempeño térmico de los SSVE en función de las características observadas en el corte territorial para escenarios presentes y futuros. Los resultados mostraron que el modelo con las características más recurrentes en el espacio de muestra presentaba un alto nivel de incomodidad térmica para el clima de Vitória-ES, alcanzando las 2.666 horas, resultado que podría reducirse en casi 70% con el uso de persianas en las ventanas. Los datos obtenidos en futuros análisis muestran que incluso los modelos con mejor desempeño térmico en el periodo actual fueron ineficaces para mantener la comodidad térmica de los edificios frente al cambio climático.

PALABRAS CLAVE: confort térmico; eficiencia energética; simulación computacional; envolvente; cambio climático.

INTRODUÇÃO

O conforto térmico, definido pela ASHRAE (2023), destaca que a sensação térmica está relacionada à condição mental do usuário, na qual vai expressar sua satisfação em relação ao ambiente, e que a aferição é subjetiva, sendo um fator essencial à qualificação dos espaços edificados (CAVALCANTI; MONTEIRO, 2023). Portanto, a concepção de edificações cujos níveis de desempenho térmico sejam satisfatórios, podendo prover condições adequadas de conforto térmico aos ocupantes, caracteriza uma das premissas de um bom projeto arquitetônico (MACHADO et al., 2022; CHANG; CASTRO-LACOURUTE; YAMAGATA, 2020; LAMBERTS et al., 2016).

O desempenho térmico de uma edificação é diretamente influenciado pelo clima do local de inserção, contudo, nas últimas décadas, nota-se o aumento do número de empreendimentos desvinculados do próprio contexto climático, enfatizado por inúmeras pesquisas desde 2019 (IEA, 2023; NUNES; GIGLIO, 2022; MALTA; RABBI; NICO-RODRIGUES, 2022; ABNT, 2021; HENSEN; LAMBERTS; SPITLER, 2019). Requer-se, então, que os ocupantes recorram, com maior frequência, às estratégias corretivas para obtenção de conforto térmico, como o acionamento de aparelhos de ar-condicionado e ventiladores (IEA, 2023). Lamberts et al. (2016) já ressaltavam as condições internas das edificações em relação ao aproveitamento da ventilação natural, destacando que o conforto térmico, em grande parte do ano, especialmente em recortes territoriais de clima quente e úmido, a partir de certa temperatura, passa a conduzir calor por convecção, potencializando a sensação de desconforto térmico.

Assim, a posse de ventiladores ou circuladores de ar no Brasil, por residência, em 2019 já era de 68,29%, e a de aparelhos de ar-condicionado, 17,66%, com estimativa de crescimento desse último em até 306,3% para o ano de 2050 (ENBPar, 2024). E para o período de 2022 a 2032, projeta-se um crescimento de 4 bilhões de kWh no consumo nacional total de eletricidade por aparelhos de ar-condicionado (BRASIL, 2023). Deste modo, percebe-se expressivo crescimento quanto à demanda energética, proveniente de construções que apresentam desempenho térmico insuficiente às condições de ocupação, sobretudo no setor residencial. Segundo o Balanço Energético Nacional de 2023 (BRASIL, 2024), em relação ao ano anterior, o consumo final de energia elétrica do país cresceu 5,2%, sendo o setor residencial o que mais contribuiu, com incremento relativo de 14,1 TWh (9,1%).

O Relatório de Status Global para Edificações e Construção (UNEP, 2024) também enfatiza que o setor construtivo e seus produtos foram responsáveis por 37% das emissões de gás carbônico (CO2) relacionados ao consumo de energia e processos. Desta forma, o ciclo de baixo desempenho térmico e o elevado consumo energético acarretam maiores custos de operação e no aumento de emissões de gases causadores do efeito estufa (GEEs) (BRASIL, 2023), acelerando os impactos negativos das mudanças climáticas antropogênicas (IEA, 2023).

Ademais, considerando a vida útil média de 50 anos dos edifícios, requer-se a avaliação das condições atuais das construções, visando minimizar, dentro dos limites factíveis, o rigor climático e o desconforto térmico projetado para os cenários climáticos futuros, sobretudo frente à intensificação das anomalias do clima global esperadas para as próximas décadas (MENGITSU et al., 2024; IPCC, 2023). Segundo o mais recente relatório de avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), o aquecimento global deverá atingir ou ultrapassar 1,5°C considerando contextos de baixa e alta emissão de GEEs, respectivamente, para o período de 2021-2040. Ainda, nos cenários avaliados para o intervalo de 2081-2100, um nível intermediário de emissões seria suficiente para o aumento de 2,7°C à temperatura média global, bem como um nível alto de emissões de GEEs vincularia um acréscimo de 4,4°C à temperatura (IPCC, 2023).

Em contrapartida, espaços edificados que incorporam parâmetros climáticos desde as fases iniciais de projeto, proporcionando desempenho térmico aceitável (IEA, 2023; IANO; ALLEN, 2020) caracterizam construções energeticamente mais eficientes e com maior potencial de adaptação ao clima futuro (NUNES; GIGLIO, 2022; MACHADO et al., 2022). Nesse contexto, destacam-se as estratégias passivas de condicionamento térmico, fundamentadas nas características climáticas do local e nas propriedades dos materiais empregados para determinação de sistemas construtivos adequados a cada projeto. Dentre estratégias passivas recorrentes, ressalta-se o uso de dispositivos de sombreamento, de materiais isolantes – cujas propriedades térmicas correspondam aos limites do clima do local – e de tipologias de janelas e aberturas que favoreçam a ventilação natural (LAMBERTS et al., 2016).

Costalonga, et al. (2017) relacionam o uso da ventilação natural como alternativa aos aparelhos de ar-condicionado, com maior economia de recursos financeiros referentes à operação de sistemas de condicionamento mecânico ao longo da vida útil do edifício. Machado et al. (2022), expõem que edificações com maior utilização de estratégias passivas de condicionamento térmico e cujos sistemas de envoltórias sejam adequados ao clima presente tendem à melhor adaptação aos cenários climáticos futuros, minimizando os impactos negativos das mudanças climáticas antropogênicas.

Ainda quanto aos sistemas construtivos das edificações residenciais, ressalta-se o papel das envoltórias, compostas por Sistemas de Cobertura (SC) e Sistemas de Vedações Verticais Externas (SVVE) e aberturas (ABNT, 2021). As envoltórias delimitam o espaço interno e o meio externo, controlando grande parte da transferência de calor entre os ambientes (NUNES; GIGLIO, 2022; CHANG; CASTRO-LACOUTURE; YAMAGATA, 2020). D'Agostino et al. (2024) concluíram que a envoltória é o aspecto central a ser investigado na análise de desempenho térmico do edifício, vinculada a cerca de 50% do consumo energético proveniente da operação da edificação (CHANG; CASTRO-LACOUTURE; YAMAGATA, 2020).

A incorporação de tendências arquitetônicas e à flexibilização de parâmetros da legislação urbanística tem exercido significativa influência sobre o consumo energético, principalmente relacionado à operação de edificações. Barros et al. (2018) e Maioli et al. (2016) exemplificam esse fenômeno, por meio da análise do aumento no número de varandas, influenciado por concessões existentes no primeiro Plano Diretor Urbano (PDU) de Vitória, e da observação de fatores com efeito negativo como o percentual de abertura envidraçada e o baixo uso efetivo de elementos de sombreamento.

Na avaliação de edificações de múltiplos pavimentos, o SVVE – essencialmente composto por paredes e aberturas –, exposto ao meio externo, caracteriza um subsistema de grande relevância, podendo sua adequada concepção otimizar significativamente o consumo energético do edifício. Este efeito é demonstrado por Lee et al. (2025), que, por meio de adaptações nas envoltórias obtiveram uma redução de 62% na demanda energética para resfriamento de edificações residenciais multifamiliares em clima quente.

Diante do exposto, a pesquisa objetivou analisar a influência das características construtivas de Sistemas de Vedações Verticais Externas (SVVE) no desempenho térmico de edificações residenciais multifamiliares em clima quente e úmido com ênfase nas mudanças climáticas.

MÉTODO

Os procedimentos metodológicos deste estudo foram desenvolvidos em 4 etapas principais:

- Definição do recorte territorial;
- Caracterização das envoltórias das edificações;

- Elaboração do edifício modelo; e
- Análise do desempenho térmico dos SVVE de acordo com as características observadas no recorte territorial para cenários climático presente e futuros.

DEFINIÇÃO DO RECORTE TERRITORIAL

Vitória (LAT 20º 19 '10 "S; LONG 40º 20' 16" W), capital do estado do Espírito Santo, possui território em porções continental e insular no litoral sudeste brasileiro. A cidade recebe ventos predominantes nordeste (NE), de velocidade entre 2,1 e 3,6 m/s, ocorrendo também ventos sul-sudeste (S-SE) e sul-sudoeste (S-SW) (MATTIUZZI; MARCHIORO, 2012). Segundo a caracterização da NBR 15220-3 (ABNT, 2005), Vitória faz parte da Zona Bioclimática 8 (ZB 8), para a qual são recomendadas vedações externas leves refletoras, bem como grandes aberturas sombreadas.

Dentre os 79 bairros da cidade de Vitória/ES (PREFEITURA MUNICIPAL DE VITÓRIA, 2013), a escolha dos bairros de Jardim Camburi e da Praia do Canto, destacados na Figura 1, como locais para caracterização construtivas de Sistemas de Vedações Verticais Externas foi por configurarem duas regiões de diferentes contextos históricos, sociais e econômicos. Destaca-se que o desenvolvimento de Vitória inclui um processo de verticalização significativo a partir da década de 1960, iniciado no bairro do Centro e logo expandido para o bairro da Praia do Canto e suas proximidades. Entretanto, o bairro Jardim Camburi evidencia um crescimento acelerado na virada para o século XXI, superando os anteriores no número de edificações residenciais multifamiliares (GOMES, 2009; BARROS et al., 2020).

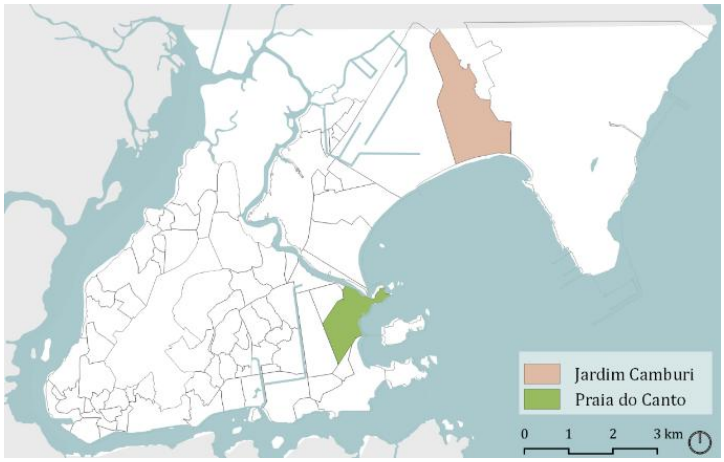


Figura 1. Mapa da cidade de Vitória, com identificação dos bairros.

Fonte: os autores.

Estabelecido na costa da porção insular de Vitória, o bairro da Praia do Canto possui mais de 15 mil residentes e se destaca pela infraestrutura urbana desenvolvida, pelo crescimento planejado e pela intensa atividade comercial (IBGE, 2022). O bairro surgiu como parte do planejamento urbano do projeto Novo Arrabalde e, pelo impacto de obras urbanísticas de grande expressão para a capital, com cenário crescente de valorização.

Desde a concepção do projeto urbanístico, a região, visada como área nobre da capital, é alvo de grandes investimentos imobiliários, motivando o surgimento expressivo de edificações multifamiliares de alto custo (MENDONÇA, 2009; GOMES, 2009). Atualmente, o bairro reflete um processo de verticalização consolidado, mantendo o *status* adquirido por meio dos edifícios de alto padrão, precursores de certas tendências arquitetônicas – replicadas, até mesmo, em habitações de menor custo –, influenciando, tipologicamente, diversos bairros em seu entorno.

Outrossim, o bairro de Jardim Camburi já ultrapassa a marca de 48 mil habitantes e é o bairro mais populoso do estado (IBGE, 2022). A localização o caracteriza como o mais distante do centro da cidade, estando próximo de importantes polos industriais – como unidades das

multinacionais Vale e ArcelorMittal – e do Complexo Portuário de Tubarão. Assim, refletindo evidente desenvolvimento econômico e urbano nas últimas décadas, o bairro tem sido cenário de crescentes investimentos imobiliários e passa por constantes transformações - como no processo de verticalização.

O mais recente Censo Imobiliário, referente ao período de julho a dezembro de 2023, indica que quase 39% das 2.696 unidades residenciais em produção em Vitória se localizam em Jardim Camburi (SINDUSCON-ES, 2024). Como consequência desse processo, o bairro conta com uma diversidade temporal e socioeconômica que se expressa, inclusive, no âmbito arquitetônico – edificações de diferentes períodos, com diferentes padrões, tipologias e características construtivas.

Observou-se, portanto, que os dois bairros apresentam processos de crescimento e verticalização, vinculando transformações quanto às tipologias arquitetônicas neles implantadas, especialmente por meio de edificações residenciais multifamiliares, que compõem grande parte do estoque de edifícios residenciais da cidade de Vitória (SINDUSCON, 2024), consolidando-se como amostra significativa aos objetivos da pesquisa.

CARACTERIZAÇÃO DAS ENVOLTÓRIAS DAS EDIFICAÇÕES

A fim de caracterizar as construções locais, os dados utilizados foram pautados nos resultados apresentados por Vieira et al. (2024), para o bairro Praia do Canto, e Eller et al. (2024), para o bairro Jardim Camburi. Foram observadas 955 edificações residenciais multifamiliares, nos dois bairros. Apesar das diferenças no processo histórico de desenvolvimento, identificou-se que os elementos construtivos das fachadas se assemelham em ambos os bairros.

A Tabela 1 apresenta uma síntese dos resultados obtidos nas pesquisas Vieira et al. (2024), e Eller et al. (2024), expondo, para cada parâmetro considerado, a característica predominante e sua frequência.

Parâmetro	Característica predominante	Frequência (%)		
		Jardim Camburi	Praia do Canto	Média nos dois bairros
Tipologia janelas	Correr - 2 folhas	93,50%	93,50%	93,50%
Presença de varanda	Presente	81,69%	81,35%	81,57%
Vidro	Incolor	47,93%	54,43%	50,16%
Revestimentos externos	Fachada frontal: Cerâmica de cor clara	44,27%	46,79%	45,13%
	Fachada lateral: Pintura de cor clara	76,89%	68,18%	74,01%
	Fachada posterior: Pintura de cor clara	80,04%	76,60%	79,77%
Presença de dispositivos de sombreamento	Ausente	90,92%	74,92%	85,45%

Tabela 1. Síntese dos resultados dos levantamentos do recorte territorial.

Fonte: adaptado de Vieira et al. (2024) e Eller et al. (2024).

Diante dos resultados apresentados na Tabela 1, o modelo de edificação recorrente nos dois bairros em análise é caracterizado pela presença de varanda; aplicação de revestimento cerâmico na fachada frontal e de pintura nas fachadas laterais e posterior, em cores claras;

utilizando janelas com 2 folhas em vidro incolor no sistema de abertura de correr; e ausência de dispositivos de sombreamento externos nas áreas envidraçadas (Figura 2).

Figura 2. Edíficio em conformidade com o padrão mais recorrente.

Fonte:
os autores.

ELABORAÇÃO DO EDIFÍCIO MODELO

O modelo de edificação adotado no estudo foi elaborado a partir do modelo de referência 'Multifamiliar Formato H' pré-2023 disponibilizado pelo HabLabEEE (LabEEE et al., 2024) e adaptado às condicionantes e tendências da cidade de Vitória. Com base em Machado et al. (2022) e Nico-Rodrigues et al. (2015), reduziu-se a quantidade de unidades habitacionais (UHs) por pavimento, do modelo multifamiliar linear para quatro e substituiu-se os apartamentos do pavimento térreo por pilotis.

Para adequar às exigências mínimas do Código de Edificações do edifício, o pé-direito das unidades foi alterado para 2,60m e as janelas dos Ambientes de Permanência Prolongadas (APPs) foram redimensionadas para corresponder a 12,5% da área do compartimento (PREFEITURA MUNICIPAL DE VITÓRIA, 1998). Para as janelas considerou a tipologia com 2 folhas envidraçadas com sistema de abertura corrediço, sem elementos de sombreamento, pois o mesmo não foi observado no levantamento efetuado nos dois bairros.

Como mostrado na Figura 2, o edifício modelo residencial multifamiliar foi caracterizado por 3 pavimentos sobre pilotis, com 4 UHs por pavimento e cada unidade - composta por sala e cozinha integradas, banheiro e 2 dormitórios.

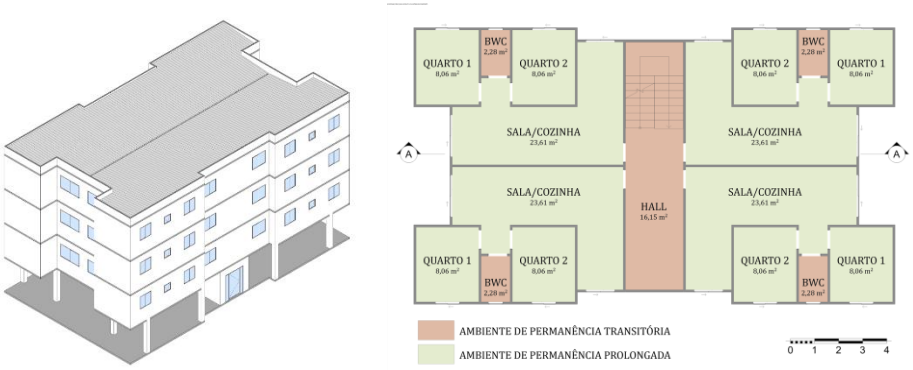


Figura 2. Perspectiva e planta tipo do edifício modelo.

Fonte:
os autores.

Tendo em vista que o objeto de estudo é o SVVE, a análise do desempenho térmico foi realizada em um ambiente do pavimento intermediário, considerando que os pavimentos inferior (térreo) e superior (cobertura) são diretamente influenciados pelas trocas térmicas com o piso e a cobertura, respectivamente. Ambientes localizados no térreo tendem a apresentar menores cargas térmicas devido ao contato com o solo, que possui elevada inércia térmica (SOUZA; MELO; LAMBERTS, 2023; FERREIRA; BATISTA, 2019). Ainda, a circulação de ar promovida

pelo uso de pilotis tende a melhorar o conforto térmico no primeiro pavimento, como apontado no trabalho de Giacomin et al. (2019).

No pavimento superior, as temperaturas internas tendem a ser mais elevadas devido à maior área de superfície exposta à radiação solar direta proveniente da cobertura (CAVALCANTI; MONTEIRO, 2023), ressaltados nos estudos de Souza, Melo e Lamberts (2023), a carga térmica para resfriamento de uma zona no pavimento superior foi maior que a do pavimento intermediário em 30,66 kWh/(m^2/ano).

Analogamente a pesquisa de Machado et al. (2022), realizou a simulação de todo o edifício e, dentre os ambientes da unidade habitacional (UH), selecionou-se o dormitório 1 (destacado no Quadro1) para a análise dos resultados. Por estar na extremidade do edifício, a zona avaliada apresenta mais faces de vedação vertical em contato com o meio externo, intensificando os efeitos do SVVE no seu desempenho térmico. Como identificação da orientação do edifício, considerou-se a orientação da parede com janela do dormitório 1 da unidade habitacional 8 (UH8), demonstrado na Figura 3.

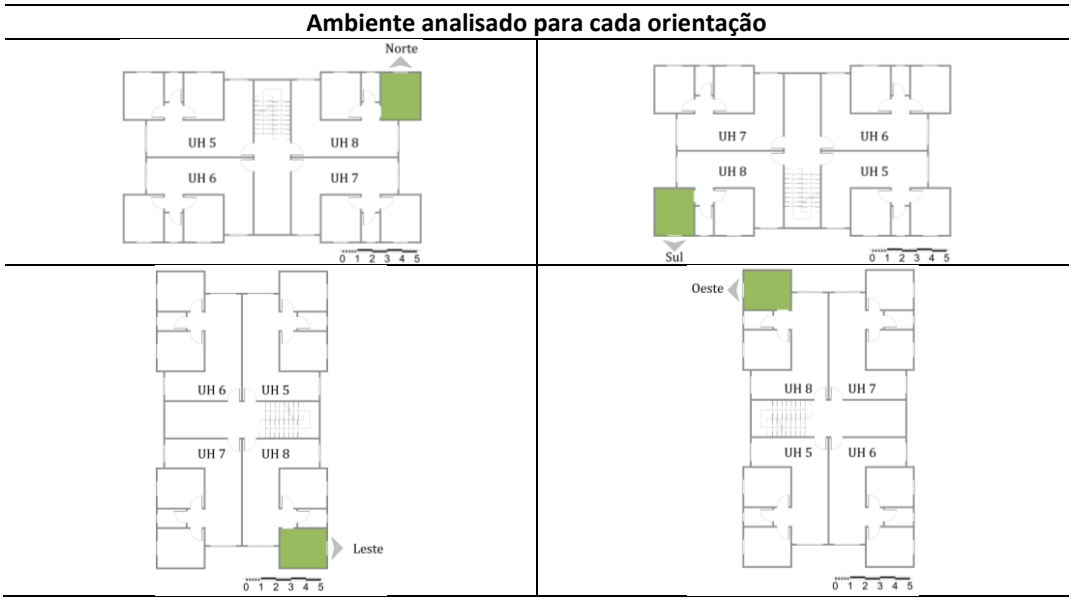


Figura 3. Ambiente analisadocom destaque em verde para cada orientação.

Fonte: os autores

ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DAS SVVE

Foram realizadas 4 fases de análises comparativas:

1ª. Materiais construtivos resultantes do levantamento;

2ª. Modelo com o pior resultado obtido na 1ª fase com variação de revestimentos externos;

3ª. O melhor resultado obtido na 2ª fase com dispositivos sombreamento (varandas, brises e janelas com venezianas); e

4ª. Modelos avaliados na 3ª fase para cenário futuro.

Foram analisados 36 diferentes cenários sequenciais que culminaram na avaliação do desempenho térmico proporcionado por cada variável na elaboração de dois modelos otimizados e na comparação destes e do modelo inicial em cenário futuro. Os resultados foram requisitados a cada hora para um período de um ano, totalizando 8.760 horas, nas orientações norte, sul, leste e oeste, e calculado o percentual de horas em que o ambiente de permanência prolongada se encontrou dentro da faixa de temperatura operativa ($PHFT_{APP}$). A Figura 4 apresenta o fluxograma das etapas de trabalho.

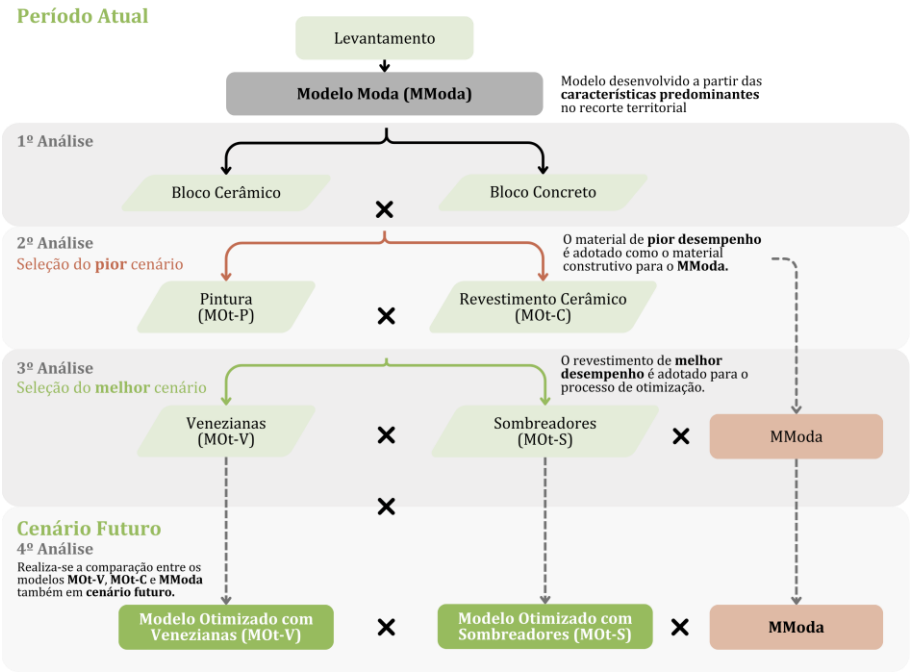


Figura 4. Fluxograma do método empírico.

Fonte: os autores.

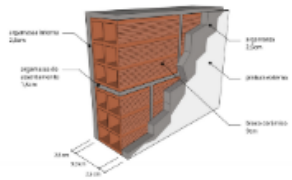
Foram utilizados para a simulação do 'período atual' os arquivos climáticos no modelo TMYx, equivalentes a série histórica de 1973-2021, desenvolvidos e disponibilizados pela plataforma *ClimateOneBuilding* (CRAWLEY; LAWRIE, 2023).

1ª ANÁLISE: MATERIAIS CONSTRUTIVOS RESULTANTES DO LEVANTAMENTO

A primeira etapa de simulações consistiu em analisar o material construtivo das paredes, tendo como materiais os blocos cerâmicos e os blocos de concreto - por serem os materiais mais comumente empregados em edificações recentes na região (MICHEL, LARANJA, NICO-RODRIGUES, 2018). Fiegenbaum e Ferreira (2018) elaboraram protótipos em que o modelo construído com bloco cerâmico apresentou umidade e temperatura mais baixas do que o de bloco de concreto, fato que seria explicado pela menor transmitância térmica do primeiro. Entretanto, esses resultados podem ser influenciados pelas características da edificação e do clima onde está inserida. Isso foi comprovado por Machado et al. (2022), que, em todos os casos analisados, encontrou maior desconforto térmico com o uso dos blocos cerâmicos, o que pode ser justificado pela maior dificuldade destes em dissipar o calor do ambiente interno, especialmente quando o ganho de calor pelas aberturas é elevado.

A simulação dos dois materiais constitutivos das vedações verticais, bloco cerâmico e bloco de concreto, foi realizada conforme as composições descritas nos Quadros 1 e 2, com adição dos revestimentos predominantes no levantamento, objetivando a análise de desempenho térmico do modelo mais encontrado na região (MModa), considerando as orientações norte, sul, leste e oeste, pavimento intermediário e 8.760 horas.

Detalhes da parede externa (bloco cerâmico)
Espessura total = 14cm

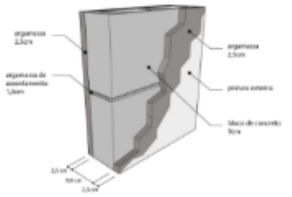


Camada	Material	Espessura (m)	Condutividade térmica (W/m*K)	Densidade (kg/m³)	Calor específico	Resistência térmica (m².K/w)
1º	Reboco	0,025	1,15	2000	1000	-
2º	Cerâmica	0,01	0,9	1600	920	-
3º	Ar	0,03	-	-	-	0,16
4º	Cerâmica	0,01	0,9	1600	920	-
5º	Ar	0,03	-	-	-	0,16
6º	Cerâmica	0,01	0,9	1600	920	-
7º	Reboco	0,025	1,15	2000	1000	-

Quadro 1. Composição de parede com bloco cerâmico.

Fonte: adaptado de ABNT (2005), INMETRO (2022a) e Machado et al. (2022).

Detalhes da parede externa (bloco concreto)
Espessura total = 14cm



Camada	Material	Espessura (m)	Condutividade térmica (W/m*K)	Densidade (kg/m³)	Calor específico	Resistência térmica (m².K/w)
1º	Reboco	0,025	1,15	2000	1000	-
2º	Concreto	0,02	1,75	2200	100	-
3º	Ar	0,05	-	-	-	0,16
4º	Concreto	0,02	1,75	2200	100	-
5º	Reboco	0,025	1,15	2000	1000	-

Quadro 2. Composição de parede com bloco de concreto.

Fonte: adaptado de ABNT (2005) e INMETRO (2022a).

Considerando os tipos de revestimentos predominantes, foi empregado cerâmica na fachada frontal e argamassado com pintura nas fachadas laterais e posterior, ambos na cor branca. Os materiais de acabamento configuram a camada mais externa das paredes e, portanto, definem as absortâncias das superfícies. As características das camadas estão definidas no Quadro 3.

Material	Espessura (m)	Condutividade térmica (W/m*K)	Densidade (kg/m³)	Calor específico
Pintura (branca)	-	-	-	-
Revestimento Cerâmico (branco)	0,01	0,9	1600	920

Material	Resistência térmica (m².K/w)	Absortância térmica	Absortância solar	Absortância visível
Pintura (branca)	-	-	0,158	0,116
Revestimento Cerâmico (branco)	-	0,825	0,282	0,242

Quadro 3. Propriedades dos revestimentos aplicados.

Fonte: adaptado de ABNT (2005), INMETRO (2022b), Dornelles (2008) e Barbosa; et al. (2023).

Em concordância com o objetivo do trabalho, as paredes internas foram mantidas no material do modelo de referência da norma ABNT 15575 (2024). Os materiais da cobertura, das portas e das janelas também foram mantidas tal qual descritas no modelo referencial para a Zona Bioclimática 8, como ilustrado na Figura 5. Visando obter melhor desempenho térmico da

edificação para as 1ª e 2ª fases, foi selecionado o material com pior desempenho (bloco cerâmico ou bloco de concreto).

Figura 5 Síntese dos parâmetros adotados com base na NBR15575-1 e adaptações descritas.

Fonte: os autores.

O modelo para simulações energéticas foi elaborado por meio do *plugin* OpenStudio e do software SketchUp, considerando cada cômodo uma zona térmica, exceto o ambiente integrado sala-cozinha, conforme procedimentos descritos na NBR 15.575-1 (ABNT, 2024). A Figura 6 ilustra o resultado da modelagem do edifício base (MModa).

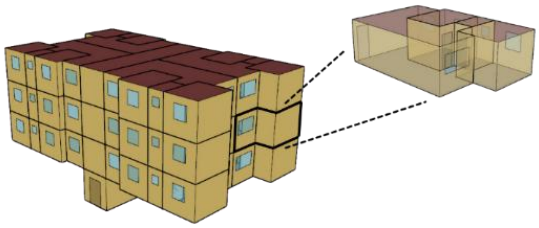


Figura 6. Modelagem energética com destaque da unidade habitacional analisada.

Fonte: os autores.

2ª ANÁLISE: MATERIAL DE REVESTIMENTO

Nesta etapa de análise considerou-se a pior condição obtida na primeira fase da análise em relação a utilização de blocos cerâmicos e de concreto. Nesta fase foram simulados 3 modelos: MModa (pior situação), MOt-P (modelo otimizado com todas as fachadas com argamassa e pintura) e o modelo MOt-C (modelo otimizado com todas as fachadas em cerâmica). Objetivou obter o produto das simulações de cada material de forma independente, possibilitando a determinação do melhor desempenho térmico de cada material. Considerou-se o período de 8.760 horas, para as orientações norte, sul, leste oeste.

Os levantamentos de Eller et al. (2024) e Vieira et al. (2024), sintetizados na Tabela 1, mostram que, tanto em Jardim Camburi quanto na Praia do Canto, a pintura e o uso de revestimentos cerâmicos de cores claras são as soluções mais recorrentes no contexto das edificações residenciais. Castello et al. (2023) apontam que somente a variação nas tonalidades de revestimento cerâmico pode representar uma diferença de até 18,9°C nas temperaturas superficiais. Diante disto, buscou-se avaliar o desempenho térmico de ambos os materiais no contexto climático de Vitória, a fim de adotar no modelo otimizado a alternativa com melhores resultados.

3ª ANÁLISE: DISPOSITIVOS DE SOMBREAMENTO

Nesta etapa das simulações utilizou-se o modelo que obteve melhor desempenho na 2ª fase de análise com a inserção de dispositivos de sombreamento. Nesta fase foram simulados 3 modelos: o modelo referência (MModa), o modelo com varanda e brises (MOt-V) e o modelo com varanda e venezianas na composição das janelas (MOt-S). Teve como objetivo compreender o efeito dos mesmos sobre a diminuição da carga térmica da edificação, estratégia pontuadas por diversos autores como eficaz. Costa, Alvarez e Martino (2021) citaram o sombreador como uma das três variáveis de maior significância estatística para otimização do projeto. E Elaouzy e El Fadar (2023) constataram que o uso de venezianas reduz significativamente o consumo energético para resfriamento em regiões mais quentes.

O levantamento pontuado na Tabela 01 evidenciou um número de edifícios avarandados nos bairros de Praia do Canto e de Jardim Camburi (cerca de 82%), possível reflexo do incentivo da legislação municipal a seu uso. Estratégia tradicional e eficiente para regiões de clima quente e úmido, as varandas influenciam a velocidade e o fluxo de ar nos ambientes e atuam como dispositivos de sombreamento para as aberturas, bloqueando o excesso de radiação solar (RIBEIRO; RAMOS; FLORES-COLEN, 2020), o que justifica a adoção desse elemento como uma das estratégias para otimizar o desempenho térmico da edificação.

Seguindo a prática usual em Vitória, a varanda foi associada ao ambiente da sala, com área aproximada a 20% da área do apartamento, limite estabelecido no PDU para não inclusão das varandas no cálculo do coeficiente de aproveitamento (PREFEITURA MUNICIPAL DE VITÓRIA, 2018). Como mostrado na Figura 8, a varanda foi distribuída ao longo de toda a fachada que abrange a sala e o quarto 1, tendo sua menor dimensão igual a 0,80 m, mínimo exigido pelo Código de Edificações (PREFEITURA MUNICIPAL DE VITÓRIA, 1998).

Para acesso às varandas, a janela da sala foi substituída por uma porta de mesma largura. Sabendo-se, porém, que a área envidraçada é um dos parâmetros mais relevantes no desempenho térmico de edificações na Zona Bioclimática 8 (SOUZA; MELO; LAMBERTS, 2023), a porta foi configurada com a mesma área de vidro da janela e a superfície restante, com material opaco. Mesmo sendo avaliado apenas o dormitório 1, esta configuração é importante, pois são consideradas nas simulações as trocas térmicas entre ambientes. A determinação de brises foi realizada com auxílio da carta solar do município de Vitória, sendo aplicados nas janelas dos dormitórios. Considerando que as legislações municipais limitam o avanço de saliências sobre os afastamentos a 0,50 m e buscando soluções viáveis no contexto da legislação local, os brises limitaram a largura de 0,50 cm. Na Figura 7 observa-se as máscaras de sombreamento para o sítio em estudo.

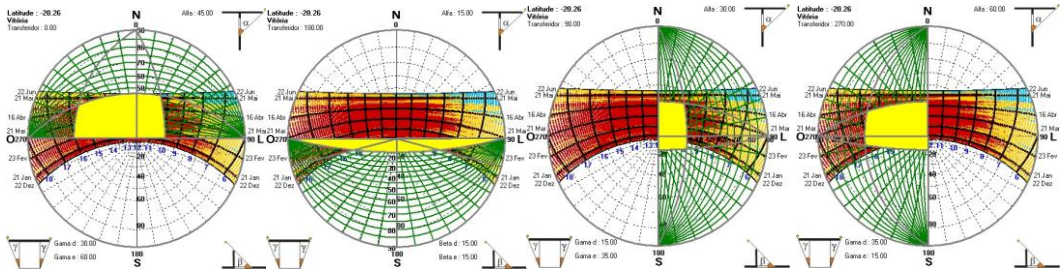
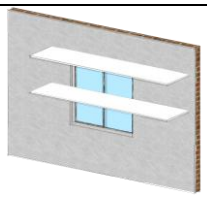
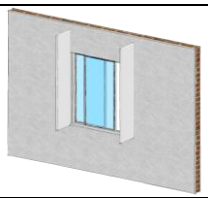
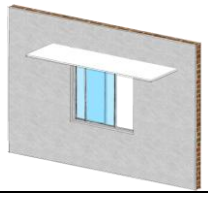
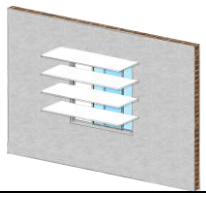


Figura 7. Carta solar e a máscara para cada orientação.

Fonte: os autores.

As angulações encontradas resultaram nos brises mostrados no Quadro 4. Nota-se que o dispositivo vertical, solução mais encontrada no levantamento, é relevante apenas para a fachada sul, que apresenta menor incidência solar. E, nas fachadas norte e oeste, devido ao ângulo elevado e, consequentemente, a grande projeção necessária para o sombreamento definido, o dispositivo horizontal foi dividido em 2 e 4 planos, respectivamente.

Fachada Norte	Fachada Sul	Fachada Leste	Fachada Oeste
			

Quadro 4. Brises adotados para cada orientação de fachada.

Fonte: os autores.

O modelo da Figura 8, definidos como MOt-V, possuem varandas e brises destacados na cor roxo. Ressalta-se que o prolongamento da varanda para as paredes cegas é em decorrência do uso deste espaço para área técnica, elemento caracterizado no levantamento, e utilizado como dispositivo de sombreamento, mesmo em paredes cegas, pois possibilita menor carga térmica nas mesmas.

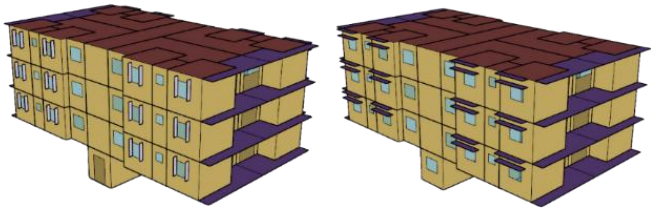


Figura 8. Modelagem energética com dispositivos de sombreamento.

Fonte: os autores.

Os parâmetros de ocupação, cargas internas, de operação e relativos a ventilação natural foram definidos conforme orientação da NBR 15.575-1 (ABNT, 2024). O padrão operativo das janelas sem venezianas foi definido a partir do modelo de conforto adaptativo 'ASHRAE55 *Adaptative*', apresentado na Figura 5.

O Modelo (MOt-S) possui as janelas com venezianas nos quartos e varanda na sala, sem a adição de brises. As operações das janelas com venezianas foram adaptadas para refletir um padrão de uso mais próximo ao real. Foram consideradas ativas durante todo o período de simulação, com o propósito de proporcionar, no modelo aplicado, a melhor situação de conforto térmico, tendo a folha de veneziana estanque e a folha de vidro do mesmo lado da metade do vão da janela, possibilitando sombreamento e a ventilação natural constante por meio da folha com venezina vazante configurada na outra metade do vão da janela (Figura 9).

A Figura 9 ilustra a configuração e o dimensionamento das lâminas que compõe o dispositivo. Entretanto, o software utilizado para análise não considera o impacto de venezianas e dispositivos de sombreamento na ventilação. Por tal motivo, definiu-se o coeficiente de abertura das janelas como 10%, buscando reproduzir a redução na circulação de ar imposta pelas venezianas.

Considerando que as venezianas são elementos que permitem um maior controle sobre a ventilação e a incidência solar, optou-se por seu uso nas janelas dos dormitórios para otimização do desempenho térmico do edifício.

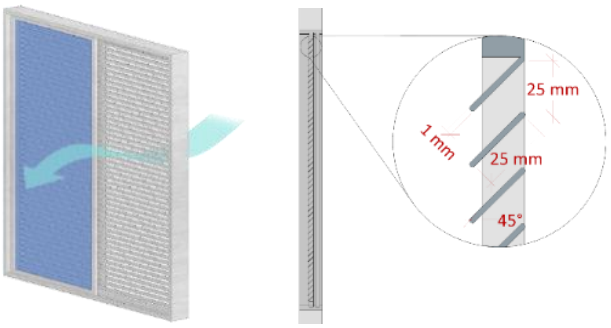


Figura 9. Modelo de janela com veneziana e dimensionamento das lâminas.

Fonte: os autores.

4ª ANÁLISE: CENÁRIO FUTURO 2080S

A última fase de análise consistiu na comparação do desempenho térmico entre o modelo inicial (MModa) e os modelos otimizados (MOt-S, com brises e varanda), e MOt-V, janelas com venezianas e varanda) frente às mudanças climáticas.

Para a simulação do 'período futuro' adotou-se o cenário A2 do quarto relatório de avaliação do IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2007), por ser representativo da situação mais pessimista de anomalias climáticas, conforme projeções do modelo HadCM3. Ademais, foi selecionado para avaliação o ano de 2080, equivalente a série 2060-2100, por representar as diferenças climáticas mais drásticas observáveis e a longevidade das edificações produzidas no período atual. A geração de arquivos climáticos futuros foi permitida pela ferramenta CCWorldWeatherGen (versão 1.9), desenvolvida em concordância com a metodologia proposta por Jentsch et al. (2013), conforme procedimentos descritos no manual da ferramenta (JENTSCH et al., 2021).

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO: INDICADOR HORAS DE DESCONFORTO

A análise dos resultados obtidos nas simulações em relação ao desempenho térmico foi baseada no indicador Horas de Desconforto. O limite de conforto térmico foi definido conforme o disposto na norma ASHRAE Standard 55 (2023), considerando ambientes naturalmente ventilados e baseia-se na temperatura neutra (Tn), a qual deriva da temperatura externa (Te). A temperatura externa, nesta pesquisa, foi obtida por meio dos arquivos climáticos sendo, posteriormente, aplicada à seguinte equação para determinação de Tn:

$$Tn=0,31(Te)+17,8$$

A norma determina 2 limites de conforto térmico adaptativo, um que é aceitável por 80% da população e aplicada nos cenários normais/típicos; e o segundo é um limite com 90% de aceitabilidade, sendo mais restritivo e aplicado quando necessário um padrão de conforto térmico mais elevado. O valor desses limites para 80% e 90% de aceitabilidade é determinado por uma variação em torno de Tn de 3,5 °C ou 2,5 °C, respectivamente. Para quantificação das horas de desconforto por calor nos resultados, adotou-se o limite de 80% de aceitabilidade (+3,5°C).

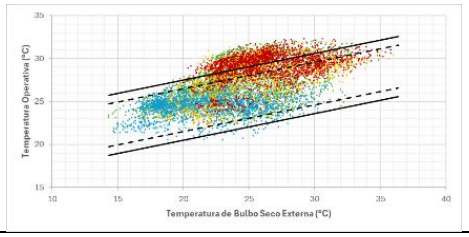
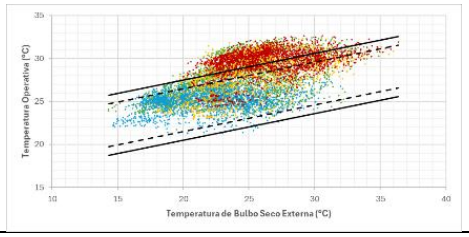
RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados das simulações foram expostos na mesma sequência das fases de análise descritas na metodologia, compreendendo: blocos cerâmicos e de concreto (MModa cerâmico e MModa concreto); revestimentos externos (MModa, MOt-C e MOt-P); dispositivos de sombreamento (MModa, MOt-V e MOt-S); e cenário futuro (MModa, MOt-V e MOt-S). Os dados

foram apresentados para cada orientação em quadros com gráficos de dispersão - classificados conforme as estações do ano - e tabelas com o quantitativo total das horas de desconforto térmico por calor.

I. BLOCOS CERÂMICOS E DE CONCRETO

A avaliação do material construtivo das vedações verticais externas (com bloco cerâmico e bloco de concreto) no Modelo moda (MModa), materiais observados no levantamento de campo, pontuado na Tabela 01, revelou o desempenho inferior do bloco cerâmico em todas as orientações, sendo o pior caso (fachada oeste) exposto no Quadro 5 e Tabela 2. No cenário de maiores diferenças, sendo ele resultante da orientação norte, o uso dessa alternativa proporcionou a diminuição em 10,7% do $PHFT_{APP}$ em relação ao bloco de concreto, como demonstra a Tabela 2. Também é notável a presença de horas em desconforto por calor em todas as estações, mesmo durante os meses mais frios. Este resultado é consonante com o estudo de Machado et al. (2022) e valida as configurações adotadas.

MModa (B. Concreto)	MModa (B. Cerâmico)
Oeste	Oeste
	

LEGENDA

Outono Inverno Primavera Verão Limite de 80% de aceitabilidade Limite de 90% de aceitabilidade

Quadro 5. Gráficos de dispersão das temperaturas operativas do ano comparando o modelo de bloco de concreto com o modelo de bloco cerâmico na pior situação.

Fonte: os autores

Orientação	MModa (B. Concreto) $PFHT_{APP}$ (%)	MModa (B. Cerâmico) $PFHT_{APP}$ (%)
Norte	66,6	55,9
Sul	69,5	61,2
Leste	66,0	57,5
Oeste	63,5	55,8

Tabela 2. $PFHT_{APP}$ em cada orientação para o modelo de bloco de concreto e para o modelo de bloco cerâmico.

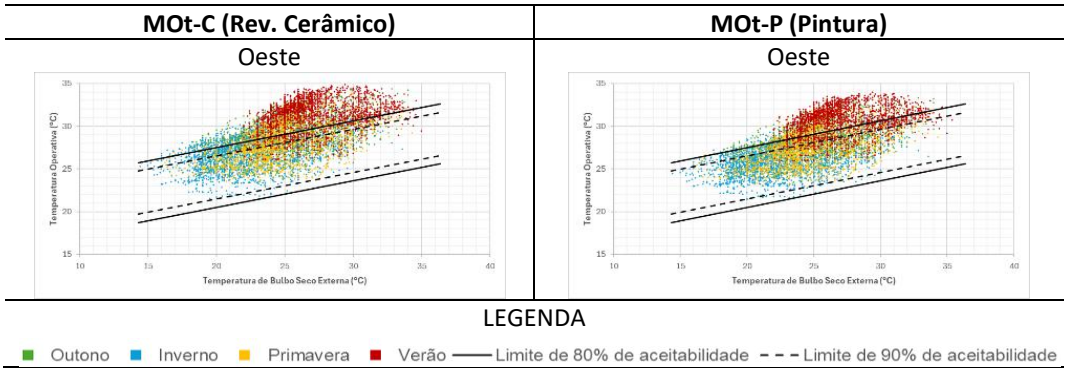
Fonte: os autores

Analisando os gráficos de dispersão, ambos os materiais obtiveram muitos pontos excedendo os limites de aceitabilidade, correspondendo a uma média geral do $PFHT_{APP}$ de 67%, com maior desconforto principalmente durante o verão. A simulação de melhor resultado, com uso do bloco de concreto foi para a orientação sul, porém com valor reduzido do $PFHT_{APP}$ de 69,5%. Diante disso, faz-se necessário o uso de outras adaptações para proporcionar o conforto térmico.

II. REVESTIMENTOS EXTERNOS

Para a análise da influência do revestimento no desempenho térmico, utilizou-se o pior resultado obtido com o material construtivo, ou seja, bloco cerâmico. A análise comparativa dos revestimentos externos se deu a partir dos modelos para otimização com revestimento cerâmico (MOt-C) e com pintura (MOt-P) inseridos em todas as 4 fachadas, cujos materiais foram definidos no Quadro 3. O MOt-P, em todas as orientações, apresentou melhor

desempenho em comparação ao modelo com fachadas revestidas por cerâmica (MOt-C), como revelam o Quadro 6 e a Tabela 3.



Quadro 6. Gráficos de dispersão das temperaturas operativas do ano comparando o modelo com revestimento cerâmico (MOt-C) com o modelo com revestimento cerâmico (MOt-P) na pior situação do modelo moda.

Fonte: os autores

Orientação	MModa (B. Cerâmico) PFHT$_{APP}$ (%)	MOt-C (Rev. Cerâmico) PFHT$_{APP}$ (%)	MOt-P (Pintura) PFHT$_{APP}$ (%)
Norte	55,9	47,0	61,7
Sul	61,2	64,4	73,0
Leste	57,5	61,6	68,6
Oeste	55,8	39,7	55,1

Tabela 3. PFHT$_{APP}$ em cada orientação para o modelo de bloco cerâmico (MModa), para o modelo com revestimento cerâmico (MOt-C) e para o modelo com pintura (MOt-P).

Fonte: os autores.

Os dados obtidos das simulações do modelo MOt-P resultaram em um maior percentual de horas de ocupação em conforto (PFHT$_{APP}$) em relação aos modelos com aplicação de revestimento cerâmico, tanto em todas as fachadas, quanto apenas na fachada frontal (MOt-C e MModa), sendo as diferenças médias de 11,4% e 7%, respectivamente. Na orientação norte, a qual apresentou maior discrepância entre as alternativas com aplicação dos materiais na totalidade das fachadas, o uso da pintura resultou no aumento de 14,7% do PFHT$_{APP}$, em relação à parede com cerâmica. Ademais, excetuando a fachada sul, já não se observam horas de desconforto por frio, nem mesmo durante o inverno, enquanto durante o verão notam-se mais horas fora do limite de conforto (Quadro 6).

Esses resultados demonstram que a aplicação do acabamento adequado possui impactos relevantes na capacidade da edificação de promover conforto térmico e não deve ser atada a razões exclusivamente estéticas. Observa-se, também, que as maiores diferenças se fazem presentes nas fachadas norte e oeste, que recebem maior insolação, evidenciando a importância do fator de absortância solar dos materiais aplicados às vedações verticais externas, dado que o revestimento cerâmico possui maior absortância solar do que a pintura.

III. DISPOSITIVOS DE SOMBREAMENTO

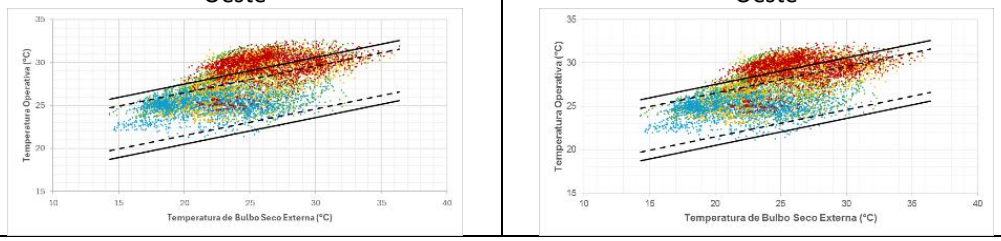
A. Dispositivos de sombreamento fixos – brises e varandas

Os resultados das simulações com os dispositivos de sombreamento fixos horizontais confirmam o uso desses elementos como uma estratégia positiva para diminuição das temperaturas internas e como uma das principais recomendações para a ZB8 (NBR 15220-3, 2005). A implementação dos brises nas superfícies externas da edificação apresentou impacto positivo em todas as orientações simuladas (Quadro 7 e Tabela 4).

No caso de menor diferença entre o percentual de horas de ocupação em conforto (PFHT$_{APP}$) - orientação leste - o modelo com dispositivos de sombreamento (MOt-S) demonstrou um aumento de 2,3% em comparação aos 57,5% resultantes no modelo sem dispositivos (MModa).

Na simulação orientada para norte, o resultado também foi um aumento das horas de ocupação em conforto, totalizando o $PFHT_{APP}$ de 70,4%, comparado ao MModa - com $PFHT_{APP}$ de 55,9%, um acréscimo de 14,6% de horas em conforto. Exclusivamente no verão, período que resulta em mais horas de desconforto por calor, a diferença entre o MOt-S e o MModa, para a orientação norte, foi de 9% de horas de ocupação em conforto.

MModa	MOt-S
Oeste	Oeste



LEGENDA

Outono Inverno Primavera Verão Limite de 80% de aceitabilidade Limite de 90% de aceitabilidade

Quadro 7. Gráficos de dispersão das temperaturas operativas comparando o modelo sem dispositivos de sombreamento (MModa) com o uso de venezianas (MOt-V) para a pior situação do modelo moda.

Fonte: os autores

Orientação	MModa (B. Cerâmico) $PFHT_{APP}$ (%)	MOt-S $PFHT_{APP}$ (%)
Norte	55,9	70,5
Sul	61,2	74,6
Leste	57,5	59,8
Oeste	55,8	59,1

Tabela 4. $PFHT_{APP}$ em cada orientação para os modelos sem dispositivos de sombreamento (MModa) e com o uso de dispositivos de sombreamento fixos (MOt-S).

Fonte: os autores.

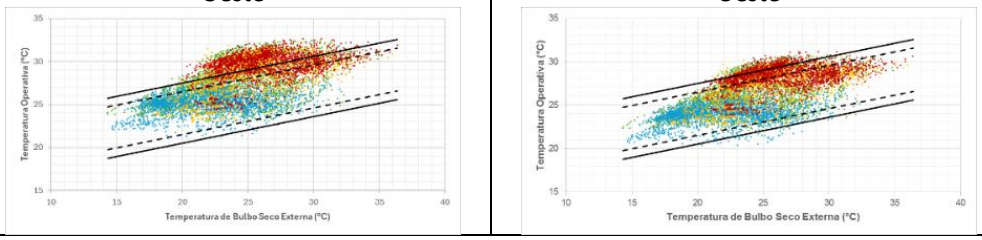
Mesmo propondo dispositivos de sombreamento (brises) com a largura limitada ao permitido pela legislação local em relação as saliências na vedação vertical externa e o uso de varandas, os resultados demonstraram positivos e de grande importância para a melhoria das condições internas do ambiente.

B. Venezianas nas janelas e varandas

O modelo em que foram empregadas venezianas nas janelas dos APPs (MOt-V) apresentou significativa melhora no desempenho térmico em todas as orientações e em todas as estações. Pelos dados mostrados no Quadro 8, nota-se que, dos casos simulados, os gráficos com a implementação dessa alternativa apresentam mais pontos dentro dos limites de aceitabilidade, representando menor ocorrência de desconforto.

Comparando com o modelo sem nenhum dispositivo de sombreamento (MModa), o aumento do $PFHT_{APP}$ da edificação orientada à norte foi de 29,6%, correspondendo a um $PFHT_{APP}$ total de 85,5%, sendo o valor mais expressivo entre os casos simulados (Tabela 5). Resultados semelhantes foram encontrados na orientação oeste, com aumento de 26%, e na orientação leste, com 25,2%. Para a orientação sul, as venezianas tiveram menor impacto, com aumento de 22,5% do $PFHT_{APP}$, mas sendo ainda assim uma estratégia mais eficaz em comparação ao uso de dispositivos de sombreamento fixos, como os brises (Tabela 4 e Tabela 5). Essa menor relevância na fachada sul pode ser explicada pelo modo como atuam as venezianas, que bloqueiam completamente a incidência solar direta, e nesta orientação os raios solares incidem quase que paralelamente à superfície da janela, não demonstrando a eficiência do elemento veneziana.

MModa	MOt-V
Oeste	Oeste



LEGENDA

Outono Inverno Primavera Verão Limite de 80% de aceitabilidade Limite de 90% de aceitabilidade

Quadro 8. Gráficos de dispersão das temperaturas operativas comparando o modelo sem dispositivos de sombreamento (MModa) com o uso de venezianas (MOt-V) para a pior situação do modelo moda.

Fonte: os autores

Orientação	MModa (B. Cerâmico) $PFHT_{APP}$ (%)	MOt-V $PFHT_{APP}$ (%)
Norte	55,9	85,5
Sul	61,2	83,7
Leste	57,5	82,7
Oeste	55,8	81,8

Tabela 5. $PFHT_{APP}$ em cada orientação para os modelos sem dispositivos de sombreamento (MModa) e com o uso de veneziana (MOt-V).

Fonte: os autores

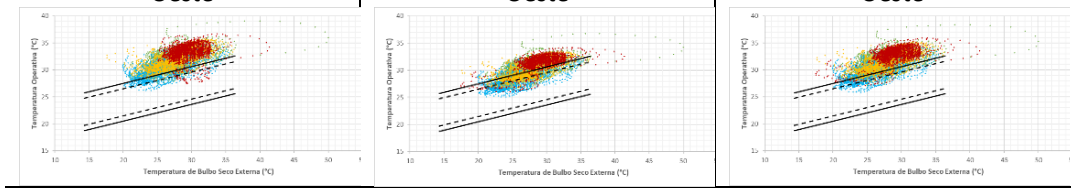
III. CENÁRIO FUTURO: 2080 (2060-2100)

A simulação dos modelos MModa, MOt-V e MOt-S, com o arquivo climático para o ano de 2080, revelou um pior desempenho térmico em todos os casos analisados, sem ocorrência de horas em desconforto por frio, mesmo em períodos de menores temperaturas. Pelos gráficos do Quadro 9, percebe-se que, durante o inverno, a temperatura operativa do ambiente se aproxima ao limite superior da faixa de conforto, enquanto no período do verão, quase não houveram horas dentro da faixa de conforto térmico.

Nas Tabelas 6, 7 e 8 estão apresentados o percentual de horas em que o ambiente de permanência prolongada se encontrou ocupado e dentro de uma faixa de temperatura operativa ($PHFT_{APP}$). O nível de desconforto térmico estimado para a edificação é elevado. O pior caso - modelo sem estratégias de otimização (MModa) orientado para norte - apresentou um $PHFT_{APP}$ de apenas 4,79%. E mesmo na melhor situação - modelo com venezianas (MOt-V) orientado para leste - o conforto térmico é reduzido, apenas 35,48% das horas de ocupação do APP no ano. Esses resultados demonstram que, confirmando-se as previsões das mudanças climáticas, a ventilação natural não será suficiente para garantir um nível aceitável de conforto térmico nas edificações, implicando na necessidade de climatização artificial.

No entanto, ainda que o desempenho térmico estimado para o MOt-V em 2080 seja inferior ao desejado, os resultados em que foram empregados dispositivos de sombreamento são significativamente melhores que o modelo sem essas estratégias. Em média, o modelo sem dispositivos de sombreamento apresentou 8,9% de $PHFT_{APP}$ no período futuro. Enquanto o modelo com uso de dispositivos de sombreamento fixos e com venezianas em 2080, obtiveram uma média de 12,9% e 31,5% de $PFHT_{APP}$ respectivamente. Ademais, o modelo com o uso de venezianas (MOt-V), ainda no cenário futuro, apresentou $PFHT_{APP}$ até 23,4% maior que o modelo sem dispositivos de sombreamento (MModa). Ou seja, o uso de elementos de sombreamento constitui ferramenta importante para reduzir o desconforto térmico frente as mudanças climáticas.

MModa(2080)	MOt-V (2080)	MOt-S (2080)
Oeste	Oeste	Oeste



LEGENDA

Outono Inverno Primavera Verão —— Limite de 80% de aceitabilidade - - - Limite de 90% de aceitabilidade

Quadro 9. Gráficos de dispersão das temperaturas no cenário de 2080 comparando o modelo sem dispositivos de sombreamento (MModa) com o uso de venezianas (MOt-V) e dispositivos de sombreamento fixos (MOt-S) para a pior situação do modelo moda.

Fonte: os autores

Orientação	MModa – cenário atual (B. Cerâmico) $PFHT_{APP}$ (%)	MModa - 2080 $PFHT_{APP}$ (%)
Norte	55,9	4,8
Sul	61,2	13,7
Leste	57,5	12,1
Oeste	55,8	5,0

Tabela 6. $PFHT_{APP}$ em cada orientação para o modelo moda (MModa) no cenário atual e no de 2080.

Fonte: os autores

Orientação	MOt-S – cenário atual $PFHT_{APP}$ (%)	MOt-S - 2080 $PFHT_{APP}$ (%)
Norte	70,5	9,8
Sul	74,6	18,1
Leste	59,8	15,4
Oeste	59,1	8,4

Tabela 7. $PFHT_{APP}$ em cada orientação para o modelo com o uso de dispositivos de sombreamento fixos (MOt-S) no cenário atual e no de 2080.

Fonte:

Orientação	MOt-V – cenário atual $PFHT_{APP}$ (%)	MOt-V - 2080 $PFHT_{APP}$ (%)
Norte	85,5	28,2
Sul	83,7	35,0
Leste	82,7	35,5
Oeste	81,8	26,9

Tabela 8. $PFHT_{APP}$ em cada orientação para o modelo com o uso de venezianas (MOt-V) no cenário atual e no de 2080.

Fonte: os autores

CONCLUSÃO

O cenário das edificações residenciais multifamiliares em Vitória revela uma padronização construtiva, de adoção e replicação de modelos, desconsiderando, frequentemente, as particularidades de desenvolvimento de cada projeto e a aplicação de princípios bioclimáticos. Ainda, é observável a influência dos documentos legislativos locais, como o Plano Diretor Urbano (PREFEITURA MUNICIPAL DE VITÓRIA, 2018) e o Código de edificações (PREFEITURA MUNICIPAL DE VITÓRIA, 1998), sobre as decisões projetuais. Entretanto, a exigência e o incentivo à avaliação termo energética e o uso de estratégias passivas ainda são escassos. Por esse ângulo, a consequência é o surgimento de construções desvinculadas do contexto climático local e energeticamente ineficientes.

As análises realizadas a partir das simulações comprovam, além da influência expressiva do sistema de vedações verticais externas (SVVE) e de suas características, a deficiência das estratégias construtivas utilizadas de forma recorrente no contexto do espaço amostral estudado. Considerando o cenário climático atual, os resultados indicam que estes métodos de

construção são insuficientes em proporcionar conforto térmico aos ocupantes em parcela expressiva do período anual, chegando a apenas 39,7% de horas de ocupação em conforto – modelo de otimização com revestimento cerâmico em todas as fachadas (MOt-C).

A possível exceção é o modelo otimizado com uso de venezianas nas janelas (MOt-V), que demonstra aumento de 29,6% no PHFT, entretanto o uso das estratégias aplicadas nessa simulação ainda é infrequente no atual contexto. Dessa forma, é essencial destacar a atuação dos dispositivos de sombreamento enquanto alternativas com grande potencial na redução das temperaturas internas em ambientes construídos e que devem ser consideradas durante a elaboração de projetos.

Por outro lado, o estudo do período futuro denuncia um estado de alerta para as possíveis condições a serem enfrentadas. As simulações realizadas para o intervalo de 2060-2100 revelam maior atenção com a temática das mudanças climáticas e da projeção do aquecimento terrestre. Isso se torna explícito uma vez que mesmo os modelos otimizados, com implementação de dispositivos de sombreamento ou venezianas, que apresentaram resultados mais satisfatórios na redução das horas em desconforto no contexto atual, tiveram expressivo aumento dessas horas no cenário futuro - alcançando $PFHT_{APP}$ de apenas 35,5%, mesmo no melhor caso.

Os resultados deste estudo e de outros demonstram que ações responsáveis dos projetistas e análise aprofundada da resiliência de resfriamento de edifícios são mecanismos para melhorar as condições internas e entender o comportamento do sistema construtivo e assim, propor soluções e combinações com o propósito de aumentar o $PFHT_{APP}$ para condições extremas.

Diante dessas circunstâncias, a pesquisa evidencia a necessidade de reconsiderar as tipologias construtivas replicadas em grande escala na cidade de Vitória/ES. Almejando melhores condições de ocupação e habitabilidade nos ambientes residenciais, as legislações municipais devem incorporar diretrizes que visem ao bom desempenho térmico dos edifícios. Ademais, torna-se imprescindível a elaboração de projetos com atenção às propriedades térmicas dos materiais, adequação das construções às condições oferecidas pelo sítio e adoção de estratégias passivas de condicionamento térmico.

Agradecimentos

Agradecemos à Universidade Federal do Espírito Santo, ao Laboratório de Planejamento e Projetos/UFES e à FAPES pelo incentivo às pesquisas e inovação do Espírito Santo.

Referências Bibliográficas

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações habitacionais: desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

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

ASHRAE. AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **Standard 55 – Thermal Environmental Conditions for HumanOccupancy.** Atlanta: ASHRAE, 2023.

BARBOSA, M. M.; et al. Revestimentos cerâmicos de fachada: análise e caracterização de propriedades térmicas e ópticas. In: **ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, 17., 2023. Anais [...]. [S. l.], 2023. p. 1–10. DOI: https://doi.org/10.46421/encac.v17i1.3851.

BARROS, M. C. S. L. S. B.; et al. A verticalização das moradias em Vitória/ES e as transformações das fachadas nos edifícios residenciais multifamiliares. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2020. p. 1–8. DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v18i.933.

BARROS, M. C. S. L. S B., et al. A influência da legislação urbana no uso de varandas em edifícios residenciais multifamiliares em Vitória- ES. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO,17 2018, Paraná. **Anais**... Foz do Iguaçu: ANTAC, 2018. DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v17i1.1570.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço Energético Nacional 2024:** Ano Base 2023. Rio de Janeiro, 2024. Disponível em:https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2024. Acesso em: 26 jun. 2024.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2032**: Demanda e Eficiência Energética. Rio de Janeiro, 2023. Disponível em:https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2032. Acesso em: 26 jun. 2024.

CASTELLO, A. J. P.; et al. Comportamento térmico de fachadas urbanas com diferentes revestimentos cerâmicos. In: **ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, 17., 2023. Anais [...]. [S. l.], 2023. p. 1–8. DOI: https://doi.org/10.46421/encac.v17i1.4117.

CAVALCANTI, F. S.; MONTEIRO, L. M. Desemprenho térmico de edificações multifamiliares naturalmente ventiladas considerando as mudanças climáticas para Maceió-AL. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2023. **Anais [...]**. [S. l.], 2023. p. 1–10. DOI:https://doi.org/10.46421/encac.v17i1.4174.

COSTA, L. M.; ALVAREZ, C. E.; MARTINO, J. A.Proposta de método de projeto baseado no desempenho para edifícios energeticamente eficientes. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 21, n. 2, p. 409-433, abr./jun. 2021. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212021000200533409

COSTALONGA, F. G.; et al. Economia de energia em edifícios multi-familiares utilizando diferentes modelos de janelas em Vitória-ES. In: **ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, 14., 2017. Anais XIV ENCAC | X ELACAC. Balneário Camboriú, 2017.

CRAWLEY, D.B.; LAWRIE, L.K. **Climate.OneBuilding.Org**. [s.l.], 2023. Base de dados climáticos. Disponível em: http://climate.onebuilding.org. Acesso em: 18 jun. 2024.

D'AGOSTINO, D.; et al. Impact of climate change on the energy performance of building envelopes and implications on energy regulations across Europe. In: **Energy**, v. 288, 2024, 129886. DOI: https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.129886.

DORNELLES, K. A. **Absortância solar de superfícies opacas**: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA. 2008. 160p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008. DOI: https://doi.org/10.47749/T/UNICAMP.2008.429167.

ELAOUZY Y., EL FADAR A. Sustainability of building-integrated bioclimatic design strategies depending on energy affordability. Renewable & Sustainable Energy Reviews, v. 179, p. 113295–113295, jun. 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113295.

ELLER, C. S., et al. Analisar tipos de elementos construtivos inseridos em fachadas de edifícios residenciais: Jardim Camburi/Vitória. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024. **Anais** [...]. Maceió: ANTAC, 2024.

ENBPar. Empresa Brasileira de Participações em Energia Nuclear e Binacional. **Relatório da análise dos resultados da PPH 2019**. [s.l.], 2024. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/ee/publicacoes-e-estudos/RelatorioP3_Final.pdf. Acesso em: 02 jul. 2024.

FERREIRA, M.; BATISTA, J. Desempenho térmico de habitação multifamiliar de interesse social: estudo de caso em Maceió/AL. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15., 2019. **Anais [...]**. [S. l.], 2019. p. 1766–1775. Disponível em: https://eventos.antac.org.br/index.php/encac/article/view/4208. Acesso em: 14 jun. 2024.

FIEGENBAUM, A. C.; FERREIRA, M. F. Análise comparativa de isolamento térmico entre painéis pré-moldados, alvenaria de vedação de blocos de concreto e blocos cerâmicos, para atender a NBR15575, para fins de conforto térmico. **Revista Destaques Acadêmicos**, [S. l.], v. 10, n. 4, 2018. DOI: https://doi.org/10.22410/issn.2176-3070.v10i4a2018.2009.

GIACOMIN, R. et al. Characterization of Representative Residential Buildings within a Neighborhood and Their Energy Efficiency Levels According to RTQ-R. **Applied Sciences**, v. 9, n. 18, p. 3832–3832, 2019. DOI: https://doi.org/10.3390/app9183832

GOMES, E. **A geografia da verticalização litorânea em Vitória**: o bairro Praia do Canto. Vitória, ES: GSA: Prefeitura Municipal de Vitória, 2009. 267 p.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Panorama do Censo 2022. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/mapas.html?localidade=3205309&recorte=subdistritos. Acesso em: 17 jun. 2024.

IEA. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Building – Energy System**. OECD/IEA: Paris, 2023. Disponível em: https://www.iea.org/energy-system/buildings. Acesso em: 02 set. 2024.

INMETRO. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (INI-R)**. Brasília: INMETRO, 2022a. 71 p. (Anexo da portaria INMETRO Nº 309/2022). Disponível em: https://pbeedifica.com.br/sites/default/files/ANEXO%20II_INIR_Portaria%20309_2022_COM%20CAPA.pdf. Acesso em: 18 jun. 2024.

INMETRO. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Manual RAC**: catálogo de propriedades térmicas. Brasília: INMETRO, 2022b. 20 p. (Anexo da portaria INMETRO Nº 309/2022). Disponível em: https://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/Manual%20RAC_Cat%C3%A1logo%20de%20propriedades_DEZ-22.pdf. Acesso em: 18 jun. 2024.

IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate change 2007:** Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: 2007. Disponível em: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_full_report.pdf. Acesso em: 18 jun. 2024.

IPCC, 2023: Summary for Policymakers. In: **Climate Change 2023**: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34, DOI: https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001

JENTSCH, M. F. **Manual de referência técnica do *CCWorldWeatherGen***. Tradução adaptada por Gustavo Henrique Nunes e Thalita Gorban Ferreira Giglio. UniversidadeEstadual de Londrina, Londrina, 2021. Título original: *Climate Change Weather File Generators: Technical reference manual for the CCWeatherGen and CCWorldWeatherGen tools - Version 1.2*. Disponível em:https://www.researchgate.net/publication/353632265_Manual_de_referencia_tecnica_do_CCWorldWeatherGen. Acesso em 18 jun. 2024.

LABEEE et al. **Reference Models for Brazilian Social Housing Pre-2023**. Zenodo, 2024. DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.12209191

LAMBERTS, R. et al. **Desempenho térmico das edificações**. Florianópolis: [s.n.], 2016, 239p. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ApostilaECV5161_v2016.pdf.

MACHADO, J. M.; et al. Impacts of climate change on the thermal and energy performance of Brazilian residential buildings. **PARC Pesq. em Arquit. e Constr.**, Campinas, SP, v. 13, p. e022025, 2022. DOI: https://doi.org/10.20396/parc.v13i00.8665832.

MAIOLI, R. et al. A transformação da fachada na tipologia construtiva de edifícios comerciais verticais em Vitória-ES e sua relação com o conforto ambiental. In: **ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

MATTIUZZI, H. V.; MARCHIORO, E. O Comportamento dos Ventos em Vitória (ES): a gestão e interpretação dos dados climatológicos. **Revista Geonorte**, v. 2, n. 4, p. 983-993, 2012.

MENDONÇA, E. M. S; et al. **Cidade Prospectiva**: o projeto de Saturnino de Brito para Vitória. Vitória: Edufes; São Paulo: Annablume, 2009, 116 p.

MENGITSU, A. G; et al. Assessing the impact of climate change on future extreme temperature events in major South African cities. **Theoretical and Applied Climatology,** 2024, v. 155, p. 1807–1819 DOI: https://doi.org/10.1007/s00704-023-04712-w.

MICHEL, M. V.; LARANJA, A. C.; NICO-RODRIGUES, E. A. Paredes utilizadas recentemente em edifícios residenciais em Vitória. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE SUSTENTABILIDADE URBANA - 14ª Jornada Urbenere e 2ª Jornada Cires, 2018, Vila Velha. **Anais eletrônicos…** Disponível em:https://www.dropbox.com/s/z5ulz7nary69fho/Vol_2%20%20Sustentabilidade%20Urbana.pdf?dl=0 Acesso em: 24 jun. 2024.

PREFEITURA MUNICIPAL DE VITÓRIA. **Lei nº 4821, de 30 de dezembro de 1998**. Institui o Código de Edificações do Município de Vitória e dá outras providências. Vitória, ES, 1998.

PREFEITURA MUNICIPAL DE VITÓRIA. Secretaria Municipal de Gestão Estratégica (SEGES). **Vitória Bairro a Bairro**, 2013.

PREFEITURA MUNICIPAL DE VITÓRIA. **Lei nº 9271, de 21 de maio de 2018**. Aprova o Plano Diretor Urbano do Município de Vitória e dá outras providências. Diário Oficial do município de Vitória, ES, 2018.

RIBEIRO, C.; RAMOS, M. N.; FLORES-COLEN, I. 2020. A Review of Balcony Impacts on the Indoor Environmental Quality of Dwellings. **Sustainability** 12, no. 16: 6453. DOI: https://doi.org/10.3390/su12166453.

SINDUSCON-ES. **42° Censo Imobiliário**: 2° semestre de 2023. Vitória, 2024. Disponível em: https://www.sinduscon-es.com.br/v2/cgi-bin/conteudo.asp?menu2=55. Acesso em: 13 junho 2024.

SOUZA, L. P.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. Parameters that influence the thermal performance of commercial buildings: an exploratory analysis. In: **ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO**

AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2023. Anais XVII ENCAC | XIII ELACAC. [*S.l.*], p. 1–9, 2023. https://doi.org/10.46421/encac.v17i1.3773

UNEP. **Global Status Report for Buildings and Construction**: Beyond foundations: Mainstreaming sustainable solutions to cut emissions from the buildings sector. Nairobi, 2024. DOI: https://doi.org/10.59117/20.500.11822/45095.

VIEIRA, L. K., et al. Caracterização de elementos construtivos em fachadas de edificações multifamiliares: Praia do Canto/Vitória. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024. **Anais** [...]. Maceió: ANTAC, 2024.

Emanuela Brunetti
Autor principal
emanuela.brunetti@edu.ufes.br

Laura Vieira
Autor principal
laura.k.vieira@edu.ufes.br

Camila Eller
Autor principal
camila.s.eller@edu.ufes.br

Nayara Malta
Autor principal
nayarasalera@hotmail.com

Ariane Ferrão
Autor principal
arq.ariane@gmail.com

Dr. Edna Aparecida Nico-Rodrigues
Supervisora e orientadora
edna.rodrigues@ufes.br