

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

LUÍS OTÁVIO CONCIANCI DE MELLO

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE VEDAÇÃO VERTICAL DE
EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS EM DIFERENTES ZONAS BIOCLIMÁTICAS
BRASILEIRAS**

GUARAPUAVA/PR

2025

LUÍS OTÁVIO CONCIANCI DE MELLO

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE VEDAÇÃO VERTICAL DE
EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS EM DIFERENTES ZONAS BIOCLIMÁTICAS
BRASILEIRAS**

**EVALUATION OF THERMAL PERFORMANCE OF VERTICAL SEALING OF
RESIDENTIAL BUILDINGS IN DIFFERENT BRAZILIAN BIOCLIMATIC ZONES**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentada como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Nome do COECI da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador(a): Rodrigo Scoczynski Ribeiro.

GUARAPUAVA/PR

2025



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

LUÍS OTÁVIO CONCIANCI DE MELLO

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE VEDAÇÃO VERTICAL DE
EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS EM DIFERENTES ZONAS BIOCLIMÁTICAS
BRASILEIRAS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Nome do COECI da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 03/julho/2025

Dr. Rodrigo Scoczynski Ribeiro
Doutorado em Engenharia Civil
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dyorgge Alves Silva
Mestre em Engenharia Civil
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Rodrigo de Souza Nogueira
Doutor em Engenharia Civil
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

GUARAPUAVA/PR

2025

AGRADECIMENTOS

Certamente, estas palavras não serão suficientes para expressar toda a minha gratidão àqueles que fizeram parte dessa importante fase da minha vida. Desde já, peço desculpas àqueles que não estão mencionados, mas saibam que fazem parte do meu pensamento e da minha sincera gratidão.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Rodrigo Scoczynski Ribeiro, pela sabedoria, paciência e dedicação ao longo desta trajetória, sempre contribuindo com conhecimento e apoio fundamental para a realização deste trabalho.

Expresso também meu profundo agradecimento aos meus pais, Marcelo Eloino Batajara de Mello e Patrícia Fernanda Concienci de Mello, pelo amor incondicional, pelo incentivo diário e pelo apoio inestimável em todos os momentos da minha vida acadêmica e pessoal. Às minhas irmãs, Ana Luísa Concienci de Mello e Anelise Concienci de Mello, por estarem sempre ao meu lado, compartilhando alegrias e desafios, e me motivando a seguir em frente.

A minha namorada, Maria Aparecida Sidor dos Santos, sou grato por sua paciência, apoio e compreensão durante essa jornada, sendo uma fonte constante de incentivo e motivação.

Agradeço ao meu chefe e mentor profissional, Eng. Me. Júlio César Maia Daudt, pelo suporte técnico e incentivo contínuo, auxiliando-me com sua experiência e dedicação

Agradeço ainda aos meus colegas de sala, que tornaram essa caminhada mais leve e enriquecedora com a troca de conhecimento e companheirismo. À Secretaria do Curso, pela cooperação e pelo suporte ao longo da graduação.

Enfim, a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização desta pesquisa, deixo aqui meu mais sincero reconhecimento e gratidão.

A construção civil é um campo no qual a inovação e a aplicação de conhecimentos técnicos são fundamentais para garantir eficiência, durabilidade e conforto aos usuários. O estudo criterioso dos materiais e das técnicas construtivas é essencial para melhorar o desempenho térmico das edificações.
(SOUZA; CARDOSO, 2020).

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho térmico de diferentes sistemas de vedação vertical externa (SVVE) em três edificações residenciais situadas em distintas zonas bioclimáticas brasileiras, com base nos critérios da ABNT NBR 15575-4. A metodologia adotada envolveu o método simplificado de projeto térmico, com cálculo da transmitância térmica (U) e da capacidade térmica (C) das vedações, utilizando dados reais das edificações e, quando necessário, valores de referência da ABNT NBR ISO 10456. Os resultados indicaram que a espessura do emboço e a composição das camadas de revestimento exercem influência significativa sobre o desempenho térmico, especialmente em regiões com exigências climáticas mais severas. A análise demonstrou que ajustes nos materiais e nas espessuras podem reduzir a transmitância térmica e melhorar a inércia térmica das paredes, contribuindo para o conforto ambiental e a eficiência energética. Os achados reforçam a importância de considerar as características climáticas regionais no dimensionamento das vedações e fornecem subsídios técnicos para projetistas e profissionais da construção civil.

Palavras-chave: Desempenho; Fachadas; Materiais; Térmico; Revestimento.

ABSTRACT

This study aims to evaluate the thermal performance of different external vertical enclosure systems (EVES) in three residential buildings located in distinct Brazilian bioclimatic zones, based on the criteria of ABNT NBR 15575-4. The methodology adopted involved the simplified thermal design method, calculating the thermal transmittance (U) and thermal capacity (C) of the enclosures, using real building data and, when necessary, reference values from ABNT NBR ISO 10456. The results indicated that the thickness of the plaster and the composition of the coating layers have a significant influence on thermal performance, especially in regions with more severe climatic requirements. The analysis demonstrated that adjustments in materials and thicknesses can reduce thermal transmittance and improve the thermal inertia of the walls, contributing to environmental comfort and energy efficiency. The findings reinforce the importance of considering regional climatic characteristics in the dimensioning of enclosures and provide technical support for designers and construction professionals.

Keywords: Performance; Facades; Materials; Thermal; Coating.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ilustração da condutividade térmica	15
Figura 2 - Simulação térmica Energy Plus	20
Figura 3 - Projeto arquitetônico renderizado do edifício Grandiflora	31
Figura 4 - Projeto arquitetônico renderizado do edifício Lá Tenê.....	33
Figura 5 - Projeto arquitetônico renderizado da edificação Dover Montain.....	35
Figura 6 - Sistema de revestimento Grandiflora	38
Figura 7 - Divisão das subáreas e dimensões edifício Grandiflora	38
Figura 8 - Sistema de revestimento Lá Tenê.....	44
Figura 9 - Divisão das subáreas e dimensões edifício Lá Tenê	45
Figura 10 - Sistema de revestimento Dover Montain	51
Figura 11 - Divisão das subáreas e dimensões edifício Dover	52
Figura 12 - Malha do SVVE do edifício Grandiflora	61
Figura 13 - Fluxo de calor do SVVE do edifício Grandiflora	62
Figura 14 - Malha do SVVE do edifício Lá Tenê	62
Figura 15 - Fluxo de calor do SVVE do edifício Lá Tenê.....	63
Figura 16 - Malha do SVVE do edifício Dover Montain	63
Figura 17 - Fluxo de calor do SVVE do edifício Dover Montain	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades físicas e térmicas dos materiais do Edifício Grandiflora	32
Tabela 2 - Propriedades físicas e térmicas dos materiais do Lá Tenê	34
Tabela 3 - Propriedades físicas e térmicas dos materiais do Dover Montain	36
Tabela 4 - Resistências térmicas convencionais adotadas conforme a ABNT NBR 15220-2:2022	37
Tabela 5 – Comparação dos resultados obtidos	66

SUMÁRIO

1	Introdução	12
2	Fundamentação teórica	14
2.1	Introdução ao desempenho térmico das edificações	14
2.2	Propriedades térmicas dos materiais de construção	15
2.3	Influência nos componentes de vedação no desempenho térmico	16
2.4	Estratégias e Ferramentas para avaliação e otimização de desempenho térmico	18
2.5	Influência do desempenho térmico com o conforto do usuário	20
2.6	Adequação entre os materiais de construção, com execução e desempenho	22
2.7	Integração entre Normas, pesquisa e boas Práticas para o desempenho térmico das edificações.....	23
3	Metodologia	25
3.1	Conceito	25
3.2	Limitações.....	25
3.3	Procedimento de cálculo e avaliação	26
3.4	Therm	29
3.5	Edificações e dados utilizados.....	31
4	Resultados e discussões.....	37
4.1	Aplicação do Método Simplificado nas Edificações Estudadas	37
4.1.1	Edifício Grandiflora	37
4.1.2	Edifício Lá Tenê.....	44
4.1.3	Edifício Dover Montain	50
4.2	Simulação e resultados do Therm	60
4.2.1	Edifício Grandiflora	61
4.2.2	Edifício Lá Tenê.....	62
4.2.3	Edifício Dover Montain	63
4.3	Discussões dos resultados - critérios normativos.....	64
4.3.1	Edificação Grandiflora	64
4.3.2	Edificação Lá Tenê.....	65
4.3.3	Edificação Dover Montain.....	65
4.4	Síntese comparativa e discussão geral.....	66
5	Conclusão	67

5.1	Análise geral	67
5.2	Resumo das descobertas	69
5.3	Implicações para o setor	69
5.4	Limitações do estudo.....	70
5.5	Sugestões para estudos futuros	70
	Referências	71

1 INTRODUÇÃO

Com o aumento da exigência por eficiência energética e conforto térmico nas edificações, o desempenho térmico das vedações verticais se destaca como um fator essencial no setor da construção civil. A busca por edificações mais eficientes, confortáveis e sustentáveis tem impulsionado a necessidade de um maior controle sobre os parâmetros térmicos dos edifícios, influenciando diretamente a escolha dos materiais e das soluções construtivas empregadas. Neste contexto, as vedações verticais externas desempenham um papel fundamental, pois atuam como a principal barreira entre os ambientes internos e externos, influenciando diretamente a temperatura interna, a umidade e a necessidade de climatização artificial.

Desde setembro de 2021, a norma de desempenho ABNT NBR 15575-4 está em vigor no Brasil, estabelecendo diretrizes claras para o desempenho de sistemas de vedação vertical, incluindo sua capacidade de contribuir para o conforto térmico dos usuários. Essa regulamentação se tornou um marco na normatização do setor, pois define critérios objetivos para avaliação do desempenho térmico das edificações habitacionais, o que impacta diretamente o projeto e a execução das construções. A necessidade de atender a esses requisitos é especialmente relevante em um país com grande diversidade climática, onde a ampla extensão territorial abrange diferentes zonas bioclimáticas. Como resultado, diferentes métodos e materiais construtivos são necessários para que as edificações garantam um desempenho térmico adequado, respeitando as condições específicas de cada região.

A recente vigência da NBR 15575 evidencia a necessidade de mais pesquisas que validem e aprimorem os processos de avaliação do desempenho térmico das edificações, dada a carência de estudos específicos na área. No Brasil, a construção civil ainda enfrenta desafios quanto à padronização dos processos de avaliação térmica, o que pode dificultar a aplicação prática das normas e comprometer a qualidade do desempenho das edificações. Em um setor em constante crescimento e com grande impacto ambiental, é fundamental que pesquisas contribuam para a otimização dos processos construtivos, promovendo edificações mais eficientes e sustentáveis. O desenvolvimento de métodos confiáveis de análise do desempenho térmico não apenas permite uma maior previsibilidade dos resultados, mas também reduz custos operacionais ao diminuir a dependência de sistemas artificiais de climatização, como ar-condicionado e aquecedores.

Dessa forma, compreender e aplicar métodos adequados para avaliar o desempenho térmico das vedações verticais é essencial para garantir não apenas a conformidade normativa, mas também construções mais confortáveis e com menor consumo energético. Além disso, no Brasil, as normas ABNT NBR possuem força de lei, tornando obrigatória a execução dos sistemas conforme os requisitos e métodos estabelecidos, a fim de evitar não conformidades técnicas. A falta de atendimento às diretrizes normativas pode resultar em edificações com desempenho térmico inadequado, o que compromete o conforto dos usuários e pode gerar custos adicionais para correções futuras.

Este estudo tem como objetivo avaliar o desempenho térmico de três tipos diferentes de vedações verticais em edificações reais situadas em distintas zonas bioclimáticas do Brasil. A metodologia empregada segue o método simplificado de projeto térmico, conforme estabelecido pela NBR 15575-4 (2021), abrangendo o cálculo da transmitância térmica e da capacidade térmica dos sistemas analisados. Esses cálculos consideram tanto valores reais dos materiais utilizados na construção quanto valores de referência indicados em normas técnicas, permitindo uma análise comparativa dos desempenhos obtidos.

Além das contribuições práticas, este trabalho busca responder à seguinte questão de pesquisa: como diferentes tipos de vedações verticais influenciam o desempenho térmico de edificações em zonas bioclimáticas específicas e até que ponto os sistemas analisados atendem aos requisitos da NBR 15575? Ao responder essa questão, o estudo busca fornecer subsídios técnicos para a tomada de decisões no setor da construção civil, auxiliando projetistas, engenheiros e arquitetos na escolha das melhores soluções construtivas para cada contexto climático.

O estudo também considera normas complementares, como a ABNT NBR 13755, que orienta a execução de fachadas com revestimento cerâmico, e a ABNT NBR 13281-1, que especifica os requisitos das argamassas utilizadas. Ao estabelecer diretrizes para o cálculo do desempenho térmico e analisar diferentes soluções construtivas, a pesquisa busca contribuir para a padronização dos métodos de projeto térmico no setor da construção civil, otimizando processos e minimizando retrabalhos.

Espera-se que, com a padronização das práticas de avaliação de desempenho térmico, os resultados deste estudo contribuam para o aumento da eficiência energética das edificações e para a sustentabilidade na construção civil.

Além disso, a melhoria na qualidade dos projetos resultará em edificações mais confortáveis e saudáveis para os usuários, ao mesmo tempo em que promove a redução dos impactos ambientais. A adoção de critérios técnicos bem definidos permitirá que o setor da construção avance em direção a práticas mais responsáveis, alinhadas às demandas contemporâneas por construções mais eficientes, seguras e sustentáveis.

A relevância deste estudo está atrelada à crescente demanda por edificações que proporcionem conforto ambiental aliado à eficiência energética, especialmente em um país de clima predominantemente tropical como o Brasil. As vedações verticais externas representam uma parcela significativa da área de trocas térmicas entre o ambiente interno e externo, sendo determinantes para o desempenho térmico das edificações.

Considerando as diretrizes da Norma de Desempenho (ABNT NBR 15575) e a diversidade climática do território brasileiro, torna-se fundamental compreender como diferentes sistemas construtivos se comportam nas distintas zonas bioclimáticas. A escolha de edificações reais como objeto de análise confere aplicabilidade prática aos resultados, contribuindo para o aperfeiçoamento de soluções de fachada e para a adoção de estratégias projetuais mais eficazes no contexto da construção civil brasileira.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

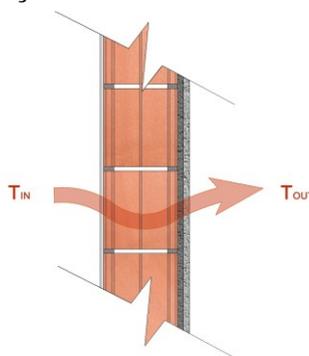
2.1 Introdução ao desempenho térmico das edificações

O desempenho térmico das edificações é um fator determinante para a eficiência energética e o conforto ambiental, especialmente em países de grande extensão territorial e diversidade climática, como o Brasil. De acordo com o dicionário Houaiss (2021), o conceito de conforto abrange tanto uma experiência subjetiva de prazer e plenitude quanto a satisfação decorrente de condições materiais favoráveis, como aconchego, comodidade física e bem-estar. Já especificamente no que diz respeito as edificações, para Lamberts, Dutra e Pereira (2014), o conforto ambiental pode ser compreendido como o resultado de um conjunto de condições físicas que promovem o bem-estar do ser humano nos aspectos térmico, visual, acústico, antropométrico e olfativo, estando diretamente relacionado à qualidade do ambiente construído.

Segundo a ABNT (2021), o desempenho pode ser compreendido como o comportamento de uma edificação ou de seus sistemas quando submetidos a determinadas condições de uso, visando atender aos requisitos essenciais de segurança, habitabilidade e sustentabilidade ao longo de sua vida útil.

Estudos na área têm demonstrado que os sistemas de vedação vertical externa (SVVE) desempenham um papel crucial na redução da carga térmica e no consumo energético de edificações, influenciando diretamente o conforto térmico dos usuários. A norma ABNT NBR 15575 estabelece requisitos mínimos de desempenho térmico para unidades habitacionais, considerando a capacidade dos SVVE de atuar como barreiras térmicas eficazes.

Figura 1 - Ilustração da condutividade térmica



Fonte: Franco (2018)

2.2 Propriedades térmicas dos materiais de construção

De acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (2014), a escolha criteriosa dos materiais de construção, considerando suas propriedades térmicas, como a condutividade e a inércia térmica, é essencial para a eficiência energética das edificações. Essa adequação permite minimizar variações de temperatura no ambiente interno, contribuindo para o conforto térmico passivo e reduzindo a necessidade de climatização artificial. Nesse sentido, a eficiência térmica das edificações está diretamente associada às características dos materiais empregados nas vedações verticais, especialmente sua capacidade de isolamento e troca de calor com o ambiente externo.

Segundo Barbosa, Aguilár e Sales (2021), o conhecimento das propriedades térmicas dos materiais, especialmente da difusividade térmica, proporciona aos projetistas uma maior capacidade de promover o conforto térmico nas edificações,

reforçando sua responsabilidade na escolha de soluções construtivas que considerem as condições climáticas e reduzam a dependência de sistemas artificiais.

Dessa forma, a seleção criteriosa dos componentes das vedações verticais não apenas impacta o consumo energético para climatização, mas também reforça a importância do desenvolvimento de estratégias construtivas que considerem as especificidades climáticas regionais e os requisitos normativos de desempenho térmico.

2.3 Influência nos componentes de vedação no desempenho térmico

A influência da argamassa no desempenho térmico das vedações verticais vai além da espessura das juntas de assentamento e emboço, abrangendo também a composição e as características do revestimento externo. Nesse sentido, as propriedades térmicas têm sido amplamente investigadas em estudos recentes. Fontes et al. (2022) demonstraram que a substituição parcial de agregados convencionais por argila expandida em diferentes proporções (até 50%) reduziu significativamente a condutividade térmica das argamassas, com ganhos de isolamento térmico sem comprometer suas propriedades mecânicas. De maneira complementar, Fonseca et al. (2023) observaram que a adição de vermiculita e incorporador de ar em argamassas com areia de britagem proporcionou reduções de até 64% na condutividade térmica, evidenciando o potencial desses materiais como agentes de eficiência energética. Já Brocardo Junior et al. (2020) confirmaram que a incorporação de materiais porosos, como argila expandida e vermiculita, resultou em reduções significativas de temperatura interna em protótipos experimentais — até 8,29 °C no caso da vermiculita — reforçando o papel desses insumos na melhoria do conforto térmico e no atendimento aos requisitos da NBR 15575.

Assim, esses estudos, ao abordar diferentes materiais e metodologias, convergem na conclusão de que a composição e a porosidade das argamassas são determinantes para seu desempenho térmico, apontando caminhos promissores para soluções sustentáveis na construção civil brasileira.

Dando continuidade à análise dos componentes de vedação, observa-se que, além das argamassas, outros aspectos construtivos, como a espessura dos revestimentos e a composição superficial das fachadas, também exercem influência significativa sobre o desempenho térmico das edificações. A esse respeito, a literatura

especializada apresenta discussões amplas, especialmente no que diz respeito à relação entre espessura e transmitância térmica. Estudos como os de Gouveia e Sposto (2016) e Baldissera e Lovato (2020) evidenciam que a espessura dos revestimentos e dos elementos de vedação impacta de forma relevante a transmitância térmica das paredes.

Gouveia e Sposto (2016) demonstraram que o aumento da espessura do revestimento, especialmente em blocos cerâmicos e de concreto, pode reduzir substancialmente a transmitância térmica, contribuindo para o atendimento às exigências da NBR 15575-4(2021). De modo complementar, Baldissera e Lovato (2020) constataram que composições com espessura total de revestimento superior a 8,5 cm são necessárias para que alvenarias de blocos de concreto alcancem desempenho mínimo em determinadas zonas bioclimáticas brasileiras.

Além da espessura, é fundamental considerar as características superficiais dos materiais de acabamento, como a cor e a refletância solar, que desempenham um papel crucial na modulação da carga térmica incidente sobre as fachadas. O estudo experimental de Castello et al. (2023) evidencia que os revestimentos cerâmicos aplicados em fachadas urbanas exercem influência significativa sobre o desempenho térmico das edificações, especialmente em função da refletância solar dos materiais. Os autores constataram que diferenças de até 18,9°C na temperatura superficial podem ocorrer entre amostras de revestimentos com refletâncias distintas, como entre as cores azul escuro (3,7%) e branca (50,5%), sobretudo em fachadas voltadas para o oeste. Essa variação térmica, associada à orientação solar, reforça, portanto, a importância da escolha criteriosa dos acabamentos cerâmicos, tanto em relação à cor quanto ao tipo de acabamento, como estratégia de mitigação de ganhos térmicos e de promoção do conforto ambiental nas edificações.

Nesse mesmo sentido, destaca-se ainda a influência da absorvância superficial — diretamente relacionada à cor e à composição das superfícies externas — como fator relevante no desempenho térmico. Cavalcanti e Monteiro (2023) verificaram, por meio de simulações computacionais, que superfícies de cores claras mantêm comportamento térmico satisfatório ao longo do tempo, mesmo diante de cenários climáticos futuros e do envelhecimento natural das fachadas. Por outro lado, superfícies escuras apresentaram maior elevação da temperatura operativa, podendo comprometer o conforto térmico dos ambientes internos.

Adicionalmente, os mesmos autores ressaltam que as práticas projetuais devem considerar não apenas o desempenho térmico inicial das fachadas, mas também sua deterioração ao longo da vida útil, especialmente com relação à alteração da absorvância por exposição às intempéries. Esse fator pode comprometer a eficiência ao longo do tempo e requer planejamento adequado de manutenção. Dessa forma, a escolha dos revestimentos finais deve considerar não apenas fatores estéticos, mas também suas propriedades no geral, contribuindo para um maior conforto ambiental e eficiência energética das edificações.

Por fim, ao tratar do papel das tintas no desempenho térmico das superfícies, observa-se que, além da composição do material, aspectos como o número de demãos também exercem influência significativa. Nesse contexto, o estudo de Gonçalves, Marinoski e Guths (2024) destaca que a composição e o número de demãos das tintas influenciam diretamente a emitância térmica das superfícies, com impacto relevante no comportamento térmico das edificações. Os autores verificaram que tintas de cor prata, por conterem pigmentos metálicos, apresentaram as maiores reduções nos valores de emitância, com variações de até 0,65 em relação à referência, enquanto tintas de cor branca e verde mostraram variações reduzidas, dentro da faixa de incerteza da medição para substratos como cerâmica e fibrocimento. Observou-se ainda que substratos metálicos, como o alumínio, potencializam os efeitos da composição da tinta, sendo capazes de alterar significativamente o comportamento térmico da superfície, mesmo com a mesma cor aplicada.

2.4 Estratégias e Ferramentas para avaliação e otimização de desempenho térmico

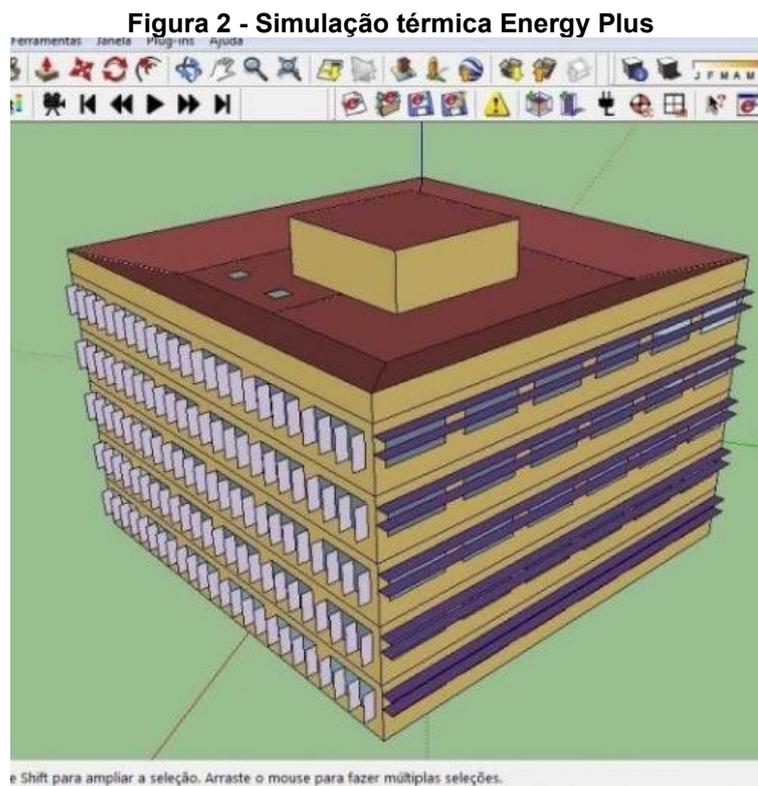
Estudos recentes reforçam a importância da simulação computacional para a avaliação do desempenho térmico das edificações. Araujo e Silva (2024) destacam que essa é uma ferramenta essencial nesse processo, especialmente quando aplicada ainda na fase preliminar do projeto. Os autores demonstram que pequenas alterações nos materiais e métodos construtivos, analisadas por meio de simulações com o software LadyBug Tools, resultaram em variações significativas da temperatura operativa, permitindo decisões mais assertivas que promovem o conforto térmico e reduzem o consumo energético.

Complementando essa perspectiva, Zanoni et al. (2020) ressaltam que o uso de ferramentas como o software WUFI Pro permite simular o comportamento higrotérmico de componentes da envoltória das edificações em condições reais de exposição. Tal abordagem fornece subsídios técnicos fundamentais para a análise do desempenho térmico e da durabilidade dos materiais. Assim, a simulação numérica, quando aliada a medições de campo, viabiliza a identificação de soluções construtivas mais adequadas, contribuindo significativamente para o aprimoramento do conforto e da eficiência energética.

Dessa forma, a partir dessas simulações e estudos, torna-se possível avaliar o impacto de diferentes composições de vedações verticais na eficiência térmica da edificação, o que auxilia diretamente no cumprimento das exigências normativas e na promoção do conforto e da qualidade de utilização por parte do usuário.

Além das vantagens proporcionadas pelas ferramentas normativas e computacionais, é importante destacar que a sustentabilidade na construção civil também se configura como um fator relevante na escolha dos materiais e sistemas de vedação. Ao otimizar variáveis como as propriedades térmicas dos materiais e as estratégias de sombreamento, é possível alcançar condições de conforto com menor impacto ambiental. Nesse contexto, o uso de materiais recicláveis, técnicas de construção modular e estratégias de resfriamento passivo despontam como alternativas que alinham eficiência energética e responsabilidade ambiental.

Corroborando essa visão, estudos demonstram que a utilização de sistemas de vedação vertical eficientes podem reduzir significativamente o consumo energético das edificações, contribuindo de forma direta para a sustentabilidade ambiental. De acordo com Cardoso et al. (2020), por meio de simulações computacionais realizadas no software BIM EcoDesigner STAR em um edifício do programa Minha Casa Minha Vida, constatou-se que a escolha de materiais com melhores propriedades térmicas impacta diretamente a eficiência energética. O modelo analisado revelou que o uso de vedações otimizadas reduziu a demanda por climatização artificial, resultando em menor consumo de energia e melhor conforto térmico para os moradores.



MMC Lab (2025)

2.5 Influência do desempenho térmico com o conforto do usuário

A adequação dos materiais utilizados nos SVVE, aliada à correta execução das práticas construtivas, é determinante para garantir o conforto e o desempenho térmico das edificações, especialmente em regiões com condições climáticas extremas. Um exemplo emblemático dessa realidade foi evidenciado em um estudo conduzido em Curitiba, que demonstrou que a utilização de materiais inadequados em habitações de baixa renda agrava significativamente o desconforto térmico, resultando em uma maior amplitude térmica interna e temperaturas inferiores a 10°C durante o inverno. Essa condição expõe os moradores a riscos de saúde e compromete o bem-estar dos usuários, evidenciando, assim, a necessidade de adotar técnicas construtivas apropriadas para cada contexto climático (Feltrim, Roseghini & Trevizani, 2021).

Reforçando essa constatação, a inadequação dos materiais empregados nos sistemas de vedação vertical externo (SVVE) e a ausência de técnicas construtivas adequadas podem comprometer significativamente o desempenho térmico das habitações, sobretudo em regiões de clima mais rigoroso. Nesse sentido, um estudo realizado por Simões e Leder (2022), com base em medições térmicas e avaliação

pós-ocupação de habitações sociais em João Pessoa (PB), identificou que o uso de esquadrias de baixa qualidade e reformas realizadas sem orientação técnica resultaram em condições críticas de desconforto térmico. As habitações apresentaram temperaturas internas até 5,5 °C acima do recomendado, agravadas pela má ventilação e pelo confinamento dos ambientes, o que exigiu dos moradores estratégias adaptativas como o uso constante de ventiladores ou até mesmo a necessidade de dormir em outros cômodos. Esses fatores impactam diretamente a qualidade de vida dos moradores, que, muitas vezes, não dispõem de recursos para climatização artificial, evidenciando, mais uma vez, a importância de materiais e sistemas construtivos mais eficientes para garantir o conforto térmico e a eficiência energética das edificações.

Corroborando essas evidências, Cruz (2020) ressalta que a adequação entre materiais, técnicas construtivas e as condições climáticas locais é essencial para garantir o conforto térmico das edificações. A autora destaca que o comportamento térmico das envoltórias deve ser pensado de forma integrada ao clima e à orientação solar, pois a ineficiência nesse aspecto pode comprometer tanto o bem-estar dos usuários quanto a sustentabilidade da edificação. Dentro dessas diretrizes, recomenda-se, por exemplo, o uso de paredes com alta inércia térmica em regiões de grande amplitude térmica e, por outro lado, materiais de baixa capacidade térmica em climas quentes e úmidos.

Complementando essa perspectiva, o estudo de Santos, Porto e Silva (2020) reforça a correlação entre o desempenho térmico de edificações e o conforto dos usuários. A pesquisa demonstra que a escolha dos materiais e das propriedades construtivas da envoltória, como a absorvância solar e o tipo de vedação, influencia significativamente tanto o desempenho térmico quanto o conforto térmico percebido. Dessa forma, a adoção de soluções adequadas pode mitigar variações internas de temperatura e reduzir a dependência de sistemas artificiais de climatização.

Assim, a adoção de estratégias construtivas que priorizam vedações verticais eficientes se apresenta como uma solução viável para a redução do impacto ambiental das edificações, ao mesmo tempo em que se alinha às diretrizes de sustentabilidade e eficiência energética.

2.6 Adequação entre os materiais de construção, com execução e desempenho

A escolha criteriosa dos materiais que compõem uma edificação é fundamental não apenas para garantir o desempenho térmico, mas também para assegurar sua durabilidade, reduzir custos com manutenções e evitar retrabalho.

A falta de um planejamento adequado na seleção de materiais pode resultar em degradação precoce, comprometendo a vida útil da edificação e elevando os custos operacionais. Nesse sentido, Possan e Demoliner (2013) alertam que a degradação prematura das edificações, frequentemente causada pela baixa qualidade dos materiais, falhas de projeto e execução, e ausência de manutenção, compromete não apenas a durabilidade estrutural, mas também a segurança, o conforto dos usuários e o desempenho térmico das construções.

Assim, a adoção de materiais compatíveis com o ambiente e a consideração do custo do ciclo de vida desde a fase de projeto configuram-se como estratégias fundamentais para aumentar a eficiência das edificações, reduzir manifestações patológicas e garantir maior vida útil às estruturas. Dessa forma, a análise criteriosa dos materiais não se limita apenas à eficiência energética, mas se estende também à segurança, sustentabilidade e à economia ao longo do tempo.

No entanto, além da escolha adequada dos materiais, a correta execução das etapas construtivas é igualmente essencial para assegurar o desempenho da edificação e evitar custos adicionais com retrabalho e manutenções corretivas. Nesse aspecto, Carraro e Oliveira (2015) enfatizam que falhas no processo de projeto, como a ausência de detalhamento técnico, incompatibilidades entre disciplinas e improvisações em obra, comprometem não apenas a estanqueidade e a durabilidade das fachadas, mas também seu comportamento térmico e acústico. Os autores ressaltam ainda que a falta de coordenação e de especificações adequadas, aliada à execução sem controle de qualidade, pode resultar em anomalias como fissuras, infiltrações e perda de eficiência dos sistemas construtivos.

Nesse contexto, evidencia-se a importância da compatibilidade entre materiais, da precisão no projeto e da qualificação da mão de obra como fatores essenciais para garantir a eficiência térmica, estrutural e funcional das edificações ao longo de sua vida útil. Assim, a qualidade da execução torna-se um fator determinante para assegurar edificações duráveis, eficientes e economicamente viáveis ao longo do tempo.

2.7 Integração entre Normas, pesquisa e boas Práticas para o desempenho térmico das edificações

No geral, a busca por edificações mais eficientes, duráveis e confortáveis exige a adoção de um conjunto integrado de estratégias, que envolvem a correta escolha de materiais, a aplicação de boas práticas construtivas, a adesão a normas técnicas e a realização contínua de estudos e pesquisas na área da construção civil.

Nesse contexto, Puntel, Carvalho e Silva (2023) destacam que a NBR 15575 estabelece requisitos mínimos de desempenho que asseguram a qualidade térmica, acústica e luminosa das edificações, promovendo ambientes mais eficientes e confortáveis para os usuários. Embora sua implementação ainda enfrente obstáculos, como a falta de conhecimento técnico e os custos para adaptações, sua aplicação é essencial para garantir durabilidade, segurança e eficiência energética. Complementando essa visão, Nunes et al. (2021) ressaltam que a norma também orienta a compatibilização dos sistemas construtivos e dos materiais empregados, contribuindo para evitar falhas como infiltrações, fissuras e sobrecargas térmicas, que impactam negativamente o desempenho global da edificação.

Paralelamente ao papel das normas técnicas, a pesquisa científica desempenha uma função essencial na evolução da construção civil, permitindo o desenvolvimento de novos materiais e tecnologias que otimizam o desempenho das edificações.

Nesse sentido, Carbonari, Toralles e Giglio (2024) enfatizam que a pesquisa científica tem sido fundamental para o aprimoramento do comportamento térmico na construção civil, especialmente com o avanço de tecnologias como a impressão 3D, que possibilitam novas geometrias e materiais com propriedades térmicas otimizadas. De maneira complementar, Verussa (2022) destaca o uso de células-teste em estudos de campo como importante metodologia para a avaliação térmica de soluções construtivas em condições reais.

Ainda nesse campo, Mendes et al. (2008) apontam que o uso de ferramentas computacionais para análise termoenergética de edificações tem se intensificado desde os anos 1980, sendo impulsionado pela regulamentação nacional de eficiência energética a partir de 2001. Tais abordagens têm contribuído significativamente para o desenvolvimento de técnicas e materiais mais eficientes, promovendo conforto ambiental e redução do consumo de energia nas edificações.

Além dos avanços tecnológicos e científicos, a qualificação da mão de obra e a implementação de boas práticas construtivas são igualmente fundamentais para garantir que os materiais e sistemas construtivos desempenhem suas funções conforme projetado.

Sobre esse aspecto, Gimenez e Quaresma (2021) afirmam que trabalhadores qualificados são mais ágeis, contribuem para a resolução de problemas durante a execução das obras e ajudam a garantir maior qualidade nos resultados, reduzindo retrabalhos e a insatisfação do cliente. De forma semelhante, Holanda (2003) ressalta que a introdução de novas tecnologias na construção civil requer, necessariamente, a capacitação adequada da mão de obra, sendo o treinamento um fator essencial para o sucesso dos processos produtivos. Já Leão (2016) destaca que, apesar dos obstáculos, como custos e falta de interesse inicial por parte de empresas e profissionais, observa-se um crescimento no interesse dos trabalhadores da construção civil por qualificação, impulsionado por perspectivas de melhores salários e aumento de produtividade.

Nesse sentido, a integração entre estudos científicos, inovação tecnológica, normatização e boas práticas construtivas constitui um caminho essencial para a evolução do setor, garantindo edificações mais eficientes, sustentáveis e alinhadas às necessidades dos usuários e às exigências ambientais contemporâneas.

Contudo, a literatura aponta que, para garantir edificações mais eficientes e confortáveis, é necessário integrar de forma efetiva abordagens normativas, tecnológicas e sustentáveis na avaliação dos sistemas de vedação vertical externos. O aprofundamento das pesquisas nesse campo permite aprimorar métodos de análise e estabelecer diretrizes mais precisas para o desenvolvimento de projetos térmicos eficientes. Assim, a continuidade dos estudos sobre o desempenho térmico das vedações verticais em diferentes zonas bioclimáticas brasileiras revela-se fundamental para a evolução das práticas construtivas e para a melhoria do ambiente construído.

Por fim, é importante ressaltar que a construção de edificações com maior eficiência térmica impacta diretamente na qualidade de vida de seus usuários, proporcionando ambientes mais confortáveis e equilibrados ao longo do ano. Espaços internos com temperaturas adequadas reduzem o estresse térmico, melhoram o bem-estar e favorecem a produtividade e o descanso, seja em residências ou em locais de

trabalho. Além disso, edificações que mantêm um conforto térmico satisfatório diminuem a necessidade de climatização artificial, contribuindo para um ambiente interno mais saudável, com melhor qualidade do ar e menores variações de umidade. Dessa forma, investir em soluções construtivas que promovam o desempenho térmico adequado não apenas otimiza o consumo energético, mas também influencia positivamente a saúde e a satisfação dos ocupantes.

3 METODOLOGIA

3.1 Conceito

O método simplificado de cálculo do desempenho térmico, conforme estabelecido na NBR 15575-4(2021), avalia a adequação das fachadas e coberturas de edificações habitacionais às condições climáticas locais, garantindo o atendimento a requisitos mínimos de desempenho térmico. Baseando-se em valores tabelados de transmitância térmica (U) e capacidade térmica (C), esse método se apresenta como uma alternativa ao método detalhado, que exige simulações computacionais e/ou medições in loco.

Esse método deve ser aplicado em situações que demandam uma avaliação preliminar do comportamento térmico da edificação, sem a necessidade de modelagens computacionais complexas. Ele é indicado principalmente para projetos de Habitação de Interesse Social (HIS), onde sistemas construtivos padronizados permitem uma análise rápida e eficiente; etapas iniciais de projetos arquitetônicos, possibilitando a validação dos materiais empregados nas fachadas e coberturas antes da execução da obra; avaliação de sistemas construtivos tradicionais, como alvenaria de blocos cerâmicos ou de concreto, cujos valores de U e C já são amplamente documentados; e regiões com condições climáticas estáveis, onde as oscilações térmicas diárias são reduzidas, tornando o método simplificado uma opção viável.

3.2 Limitações

Apesar de sua aplicabilidade, o método simplificado possui limitações que devem ser consideradas. Ele não contempla variáveis dinâmicas, como sombreamento externo, ventilação natural e efeitos sazonais, que influenciam significativamente o conforto térmico e a eficiência energética da edificação ao longo do tempo. Além disso, seu uso pode ser inadequado para edificações com geometrias

complexas ou soluções inovadoras, como fachadas ventiladas e materiais compósitos, pois simplifica os cálculos e pode não refletir com precisão o comportamento térmico real do edifício.

Outro fator limitante é que, caso os valores de U e C não atendam aos requisitos normativos, o método simplificado não permite ajustes detalhados, exigindo a complementação da análise por meio do método detalhado. Este, por sua vez, utiliza simulações térmicas para prever o desempenho da edificação em diferentes cenários climáticos e avaliar estratégias complementares, como proteções solares, materiais de alta inércia térmica e ventilação cruzada.

Diante dessas limitações, a escolha do método de avaliação deve considerar as características do projeto e os objetivos da análise. O método simplificado é útil para avaliações preliminares e aprovação de projetos convencionais, mas edificações de alto desempenho energético ou situadas em climas mais desafiadores podem exigir metodologias mais detalhadas para garantir além do desempenho térmico adequado, o conforto térmico alinhado às diretrizes normativas.

3.3 Procedimento de cálculo e avaliação

O desempenho térmico das vedações verticais externas pode ser avaliado com base em dois parâmetros principais: a transmitância térmica (U) e a capacidade térmica (C). A ABNT NBR 15575-4:2021 estabelece os critérios de desempenho para esses parâmetros nas Tabelas 13 e 14 da norma, que definem os níveis mínimo, de desempenho térmico exigido para os sistemas de vedação.

Já o procedimento de cálculo dos valores de U e C é regulamentado pela ABNT NBR 15220-2:2022, que apresenta as equações e condições para análise da transferência de calor por condução e da inércia térmica dos elementos construtivos (ABNT, 2022). A transmitância térmica (U) indica a taxa de transferência de calor através da vedação, enquanto a capacidade térmica (C) reflete a capacidade do sistema em armazenar e liberar calor ao longo do tempo. A correta determinação desses parâmetros é essencial para estimar a eficiência térmica das vedações e sua contribuição para o conforto térmico dos usuários. A seguir, descreve-se detalhadamente o procedimento para realizar esse cálculo.

O primeiro passo consiste na coleta de dados dos materiais que compõem a vedação vertical externa. É necessário obter as propriedades térmicas de cada

material, como condutividade térmica (λ), densidade (ρ) e calor específico (c), que podem ser encontradas em tabelas normativas ou nos catálogos dos fabricantes. Com esses dados, é possível calcular os coeficientes necessários para determinar os parâmetros de desempenho.

Nos procedimentos de cálculo do limite superior da resistência térmica e da capacidade térmica da vedação, a área total da seção analisada é subdividida em porções correspondentes aos diferentes materiais constituintes. Para cada componente, determina-se sua fração de área relativa, representada pela seguinte equação genérica:

$$f_{Ai} = \frac{A_{Ai}}{A_{tot}}$$

Equação 1

Onde:

- f_{Ai} é a fração da área ocupada pelo componente i ;
- A_{Ai} é a área correspondente ao componente i ;
- A_{tot} é a área total da seção considerada.

Para calcular a resistência térmica, e conseqüentemente a transmitância térmica, a equação genérica utilizada é:

$$R = \sum \frac{e_{material}}{\lambda_{material}}$$

Equação 2

Onde:

- $e_{material}$ é a espessura do material em questão;
- $\lambda_{material}$ é a condutividade térmica do material em questão (W/m·K).

Para o cálculo da resistência térmica do limite superior, após o cálculo de cada subáreas, é utilizado a seguinte equação:

$$R_{tot,sup} = \left(\sum n * \frac{f_{Ai}}{R_{Ai}} \right)^{-1}$$

Equação 3

Onde:

- n são o número de vezes em que se repete a respectiva área;
- f_{Ai} é a fração da área ocupada pelo componente i ;
- A_{Ai} é a área correspondente ao componente i ;

A resistência térmica total (R_T) é calculada somando as resistências de todas as camadas da vedação, além das resistências de superfície (R_{si} e R_{se}) que

representam as trocas de calor por convecção e radiação entre o ar ambiente e a parede. Os valores típicos dessas resistências são fornecidos pela ABNT NBR 15220:2022.

Para a transmitância térmica (U), o cálculo segue a equação:

$$U = \frac{1}{R_T}$$

Equação 4

É importante destacar que, para a determinação da resistência térmica média do sistema, é necessário realizar previamente o cálculo dos limites superior e inferior de resistência térmica. A partir desse valor médio, torna-se possível calcular a transmitância térmica da vedação.

Já a capacidade térmica (C), que expressa a inércia térmica da parede e sua capacidade de armazenar calor, é calculada pela seguinte equação:

$$C = \sum (e_i * \rho_i * c_i)$$

Equação 5

onde:

- e_i é a espessura da camada (m);
- ρ_i é a densidade do material (kg/m³);
- c_i representa o calor específico do material (J/kg·K).

Como a capacidade térmica é calculada individualmente para cada razão de área, para se obter o valor final de todo o sistema, utiliza-se a seguinte equação:

$$C_{TOT} = \frac{A_{tot}}{\sum n * \frac{f_{Ai}}{C_{Ai}}}$$

Equação 6

O resultado desse cálculo permite classificar a vedação como leve, intermediária ou pesada, de acordo com os critérios estabelecidos na NBR 15575. Quanto maior a capacidade térmica, maior a inércia térmica da parede, favorecendo a estabilidade das temperaturas internas e reduzindo picos de calor.

Após calcular U e C, os valores obtidos devem ser comparados com os requisitos normativos. Para atender ao desempenho mínimo, a transmitância térmica deve ser inferior a um valor-limite específico para cada zona bioclimática, enquanto a capacidade térmica deve atender aos critérios estabelecidos para a inércia térmica da edificação.

O último passo envolve a interpretação dos resultados e a tomada de decisões para adequação ao desempenho térmico desejado. Se os valores calculados não atenderem aos requisitos da norma, pode ser necessário modificar a composição da parede, alterando materiais, espessuras ou adicionando camadas de isolamento térmico.

A aplicação desse método simplificado permite avaliar preliminarmente a eficiência térmica da edificação de forma ágil. No entanto, para edificações mais complexas ou que requerem uma avaliação detalhada do comportamento térmico ao longo do tempo, pode ser necessário recorrer a simulações computacionais para complementar a análise.

3.4 Therm

O THERM é um software desenvolvido pelo Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL), amplamente utilizado para modelar e analisar a transferência de calor bidimensional em componentes de edificações. Seu principal objetivo é avaliar o desempenho térmico de elementos construtivos, como janelas, paredes, fachadas, e especialmente os pontos de junção entre materiais com diferentes condutividades térmicas.

A interface do THERM permite ao usuário criar um modelo geométrico 2D da seção de interesse, representando os diversos materiais que compõem o sistema construtivo. Para cada material inserido na geometria, são atribuídas propriedades térmicas específicas, como condutividade térmica ($W/m \cdot K$), densidade, e capacidade térmica, geralmente obtidas de bibliotecas internas do software ou inseridas manualmente com base em dados técnicos confiáveis.

A construção do modelo no THERM ocorre em etapas:

1. Modelagem geométrica: o usuário desenha ou importa o perfil 2D da seção da vedação ou do elemento a ser analisado.
2. Atribuição de materiais: cada região é preenchida com um material, cujas propriedades térmicas são definidas ou escolhidas de uma biblioteca.
3. Definição das condições de contorno: o usuário aplica as temperaturas nas superfícies externas, define fluxos de calor conhecidos ou aplica condições ambientais específicas. Também é possível simular a presença de convecção superficial e radiação térmica entre superfícies.

4. Geração de malha (mesh): o software subdivide a geometria em pequenos elementos finitos para permitir a análise numérica dos fluxos de calor.
5. Cálculo e simulação: com os dados inseridos, o THERM executa o cálculo da distribuição de temperatura e do fluxo de calor ao longo da seção analisada.

Os resultados fornecidos pelo THERM são diversos e fundamentais para a análise do desempenho térmico de elementos construtivos. Um dos principais *outputs* gerados é a distribuição de temperatura ao longo da seção analisada, apresentada por meio de mapas coloridos que facilitam a visualização das variações térmicas entre os materiais. Além disso, o software gera linhas de fluxo de calor (*flux lines*), que indicam graficamente a direção e a intensidade com que o calor se propaga por entre os diferentes componentes do sistema.

Através desses dados, é possível identificar gradientes térmicos e reconhecer pontos de concentração de calor ou de perdas térmicas, fenômenos muitas vezes associados à presença de pontes térmicas em juntas construtivas ou interfaces de materiais com propriedades distintas. Quando utilizado em conjunto com o módulo THERM Boundary Conditions (THERM BC), o programa também permite o cálculo da transmitância térmica linear (Ψ – psi), parâmetro essencial para quantificar as perdas térmicas em detalhes construtivos mais complexos.

Por fim, o THERM oferece a possibilidade de exportação de informações e resultados, que podem ser integrados a softwares complementares, como o WINDOW, voltado especificamente para o estudo térmico de janelas e sistemas de envidraçamento. Também é possível utilizar os dados gerados em ferramentas mais amplas de simulação energética de edificações, tornando o THERM um recurso estratégico na avaliação e otimização do desempenho térmico em projetos arquitetônicos e construtivos.

Seu uso é particularmente relevante em estudos de vedações verticais externas, onde materiais com diferentes características térmicas se encontram e interagem com o ambiente externo. A possibilidade de simular cenários distintos contribui significativamente para a tomada de decisões em projetos sustentáveis, com foco na eficiência energética e no conforto térmico dos usuários.

3.5 Edificações e dados utilizados

Para a análise do desempenho térmico das vedações verticais externas utilizando o método simplificado da NBR 15575-4 (2021), foram selecionadas três edificações situadas em diferentes regiões do sul do Brasil, cada uma pertencente a sua zona bioclimática específica.

Os valores das propriedades térmicas foram obtidos prioritariamente a partir de dados reais dos produtos efetivamente utilizados na edificação. Na ausência dessas informações, recorreu-se aos valores estabelecidos pela norma técnica NBR ISO ABNT 10456:2022.

A primeira edificação analisada foi o Edifício Grandiflora, localizado em Canela, Rio Grande do Sul, pertencente à Zona Bioclimática 1R, caracterizada por temperaturas mais baixas ao longo do ano e a necessidade de estratégias construtivas que favoreçam o aproveitamento da radiação solar e a inércia térmica. A Figura 3, mostra uma imagem renderizada do edifício.

Figura 3 - Projeto arquitetônico renderizado do edifício Grandiflora



Fonte: Paludo incorporações (2025)

A edificação Grandiflora é composta por estrutura em concreto armado e vedações em alvenaria, seguindo um sistema construtivo convencional. O sistema de revestimento externo é constituído por camadas de argamassa de emboço aplicadas tanto na face interna quanto na face externa das vedações. Internamente, o revestimento final é realizado com pintura convencional, enquanto o revestimento externo apresenta variação de materiais, incluindo molduras decorativas em EPS, painéis de madeira natural e revestimento texturizado.

Para fins deste estudo, a análise foi direcionada especificamente à área com acabamento em textura, considerada representativa do comportamento térmico predominante da fachada.

Para a aplicação do método simplificado de avaliação do desempenho térmico, foram utilizados dados reais obtidos junto aos fornecedores de materiais da construtora responsável pela edificação. Nos casos em que não foi possível obter essas informações diretamente, adotaram-se valores de referência provenientes da NBR ISO 10456:2022. A Tabela 1 apresenta as propriedades térmicas e físicas dos materiais que compõem o sistema de fachada, acompanhadas da respectiva fonte dos dados utilizados. Entre os parâmetros considerados, destacam-se a espessura dos elementos (e), a condutividade térmica (λ), a capacidade térmica específica (c), densidade (ρ) e outros dados essenciais à correta aplicação do método, assegurando a representatividade dos resultados obtidos.

Tabela 1 - Propriedades físicas e térmicas dos materiais do Edifício Grandiflora

Material	Densidade ρ (Kg/m ³)	Fonte	Cond.		Calor		espessura	
			Térmica λ (W/m.K)	Fonte	especí. c (J/Kg.K)	Fonte	(mm) (int/ext)	
Cerâmica (bloco)	1600	Norma	0,9	Norma	920	Norma	-	-
Chapisco	1800	Norma	1	Norma	1000	Norma	5	5
Arg. Emboço	1750	MF.	1	Norma	1000	norma	15	15
Arg. Assentamento	1750	MF.	1	Norma	1000	norma	5	

Legenda: MF = Média do Fornecedor; Int: interno; Ext: externo.

Fonte: Autor (2025)

Importante destacar que, no caso da edificação Grandiflora, as propriedades térmicas da camada de tinta/textura foram desconsideradas nos cálculos, uma vez que sua espessura é reduzida e sua influência no desempenho térmico é desprezível. Assim, foram consideradas apenas as propriedades do tijolo cerâmico, da argamassa de assentamento, do chapisco e do emboço.

A segunda edificação estudada foi o Residencial La Tenê, situado na cidade de Gramado, Rio Grande do Sul, também classificado dentro da Zona Bioclimática 1R. Assim como em Canela, as condições climáticas exigem soluções construtivas que minimizem perdas térmicas e favoreçam o conforto dos usuários, especialmente durante o inverno rigoroso.

A edificação Lá Tenê é um empreendimento multifamiliar de múltiplos pavimentos, com sistema estrutural em concreto armado e vedações executadas em alvenaria convencional. O sistema de acabamento é composto por camadas de

argamassa de emboço aplicadas tanto nas superfícies internas quanto externas do envelope da edificação, abrangendo não apenas as alvenarias, mas também os elementos estruturais aparentes. No ambiente interno, o revestimento final é realizado com pintura acrílica, enquanto a face externa apresenta variações de acabamento, como revestimento texturizado e placas de EPS fixadas. Para a presente análise, foi considerada especificamente a região com acabamento em placas de EPS para estudo. Figura 4, mostra uma imagem renderizada do projeto arquitetônico do edifício.

Figura 4 - Projeto arquitetônico renderizado do edifício Lá Tenê



Fonte: Vougan Incorporações (2023)

No caso da edificação Lá Tenê, foram utilizados dados reais fornecidos pela construtora, complementados por valores de propriedades térmicas conforme especificado na norma ABNT NBR ISO 10456:2021, que apresenta valores médios de condutividade térmica e capacidade térmica de materiais de construção. Para a argamassa colante do tipo AC-III, foram adotados os valores obtidos no trabalho de conclusão de curso de Mendes (2019), que analisou o desempenho térmico de habitações de interesse social no semiárido nordestino, em condições construtivas semelhantes às deste estudo.

A Tabela 2 apresenta os materiais que compõem o sistema de fachada adotado nesta edificação, com destaque na região com revestimento de placas de EPS, objeto desta análise. Assim como anteriormente, foram considerados parâmetros como espessura (e), condutividade térmica (λ), capacidade térmica

específica (c), densidade (ρ), além da respectiva fonte dos dados, garantindo a fidelidade dos resultados obtidos por meio do método simplificado.

Tabela 2 - Propriedades físicas e térmicas dos materiais do Lá Tenê

Material	Densidade ρ (Kg/m ³)	Fonte	Cond.		Calor especí. c (J/Kg.K)	Fonte	espessura (mm) (int/ext)	
			Térmica λ (W/m.K)	Fonte				
Cerâmica (bloco)	1600	Norma	0,9	Norma	920	Norma	-	-
Chapisco	1800	Norma	1	Norma	1000	Norma	10	10
Arg. Emboço	1750	MF	1	Norma	1000	Norma	20	30
Arg. Assentamento	1750	MF	1	Norma	1000	Norma	10	
Arg. colante	2100	Acad.	1,15	Acad.	1000	Acad.	10	
Placa EPS	18	norma	0,038	norma	1420	Norma	10	

Legenda: MF = Média do Fornecedor; Acad. = Estudo acadêmico; Int: Interno; Ext: externo.

Fonte: Autoria Própria (2025)

É importante ressaltar que, assim como na edificação Grandiflora, as propriedades térmicas da camada de tinta foram desconsideradas nas análises, uma vez que sua reduzida espessura exerce influência desprezível no desempenho térmico global do sistema de vedação. Dessa forma, foram consideradas apenas as propriedades térmicas dos seguintes componentes: tijolo cerâmico, argamassa de assentamento, chapisco, argamassa de emboço, argamassa colante utilizada na fixação da placa de EPS e a própria placa de EPS.

Por fim, a terceira edificação analisada é o Dover Mountain, localizada no município de Itapema, em Santa Catarina, pertencente à Zona Bioclimática 3A, conforme classificação do Zoneamento Bioclimático Brasileiro. Essa região apresenta temperaturas mais amenas ao longo do ano, acompanhadas de altos índices de umidade relativa do ar, o que demanda estratégias construtivas que combinem ventilação natural eficiente e materiais com baixa condutividade térmica, visando o conforto térmico dos ocupantes. Como mencionado anteriormente, trata-se de uma região litorânea, caracterizada por baixa amplitude térmica diária, mas com intensa ação de maresia salina, fator relevante na escolha dos materiais de fachada.

A edificação adota um sistema construtivo convencional, com estrutura em concreto armado e vedações em alvenaria, revestidas com camadas de argamassa de emboço tanto nas faces internas quanto externas. O acabamento interno é realizado com pintura convencional, enquanto o revestimento externo apresenta variação de materiais, incluindo revestimento texturizado, pastilhas cerâmicas e peças cerâmicas assentadas com argamassa colante do tipo AC-III, adequada para ambientes externos e de alta exposição. O foco deste estudo recai sobre a região de

transição entre o revestimento texturizado e as pastilhas cerâmicas, cuja junta de transição é preenchida com selante elastomérico, elemento relevante para o desempenho térmico e estanqueidade da fachada. A Figura 5 apresenta a imagem renderizada do projeto arquitetônico da edificação Dover Mountain, ilustrando a composição da fachada e destacando a região analisada.

Figura 5 - Projeto arquitetônico renderizado da edificação Dover Mountain



Fonte: Itapuí (2025)

Para a edificação Dover Mountain, o levantamento dos dados necessários à aplicação do método simplificado de avaliação do desempenho térmico seguiu a mesma abordagem adotada nos estudos anteriores. foram priorizadas informações fornecidas diretamente pela construtora e seus fornecedores, complementadas, quando necessário, por valores de propriedades térmicas obtidos na norma ABNT NBR ISO 10456:2021. Para a argamassa colante do tipo AC-III, adotaram-se os valores apresentados no trabalho de conclusão de curso de Mendes (2019), por apresentarem características compatíveis com os sistemas de revestimento adotados nesta edificação. A Tabela 3 apresenta as propriedades térmicas e físicas dos materiais empregados no sistema de fachada, com ênfase na região de transição entre o revestimento texturizado e as pastilhas cerâmicas, foco desta análise. Os parâmetros considerados incluem espessura (e), condutividade térmica (λ),

capacidade térmica específica (c), densidade (ρ), entre outros dados relevantes, todos acompanhados de suas respectivas fontes de referência, a fim de assegurar a precisão nos resultados.

Tabela 3 - Propriedades físicas e térmicas dos materiais do Dover Montain

Material	Densidade ρ (Kg/m ³)	Fonte	Cond. Térmica λ		Calor especí. c (J/Kg.K)	Fonte	espessura (mm)	
			(W/m.K)	Fonte			(int/ext)	
Cerâmica (bloco)	1600	Norma	0,9	Norma	920	Norma	-	
Chapisco	1800	Norma	1	Norma	1000	Norma	5	5
Arg. Emboço	1661	Forn.	1	Norma	1000	Norma	25	35
Arg. Assentamento	1661	Forn.	1	Norma	1000	Norma	10	
Textura	1050	Norma	0,20	Norma	1500	Norma	1	
Selante (PU)	1200	Norma	0,25	Norma	1800	Norma	10	
Arg. colante	2100	Acad.	1,15	Acad.	1000	Acad.	4	
Pastilha cerâmica	2000	Norma	1,2	Norma	750	Norma	6	

Legenda: Forn = fornecedor; Acad. = Estudo acadêmico; Int: Interno; Ext: externo.

Fonte: Autoria Própria (2025).

No caso da edificação Dover Montain, foi desconsiderada apenas o material tinta interna, uma vez que, assim como nas edificações anteriores, sua espessura é reduzida e sua influência nos resultados é pouco significativa.

Para a correta aplicação do método simplificado de avaliação do desempenho térmico, é necessário considerar, além das propriedades dos materiais de construção, os valores padronizados de resistência térmica superficial e de camadas de ar, conforme estabelecido pela ABNT NBR 15220-2:2022 – Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Componentes e elementos construtivos das edificações — Resistência e transmitância térmica — Métodos de cálculo. Esses valores representam resistências adicionais que influenciam no fluxo de calor através do sistema de vedação vertical, contribuindo para uma estimativa mais precisa da transmitância térmica total.

A resistência térmica superficial interna (R_{si}) adotada é de 0,13 m²·K/W, enquanto a resistência superficial externa (R_{se}) é de 0,04 m²·K/W, conforme valores recomendados pela referida norma para condições típicas de trocas convectivas e radiativas nas superfícies internas e externas das paredes. Adicionalmente, no caso específico de vedações que incorporam camadas de ar estático, como os vãos internos dos blocos cerâmicos de alvenaria, foi considerada uma resistência térmica do ar de 0,16 m²·K/W, também com base nos parâmetros normativos.

A Tabela 4 apresenta esses valores padronizados utilizados nos cálculos de resistência térmica total das fachadas analisadas.

Tabela 4 - Resistências térmicas convencionais adotadas conforme a ABNT NBR 15220-2:2022

Resistências térmicas do ambiente (m ² .K/W)	
Resistência Externa	0,04
Resistência Interna	0,13
Resistência do ar (vão do bloco)	0,16

Fonte: Autor (2025)

Após a coleta dos dados referentes às propriedades físicas e térmicas dos materiais, procede-se com o cálculo individual da transmitância térmica e da capacidade térmica para cada uma das três edificações. Esses valores foram utilizados para realizar uma análise comparativa com os resultados obtidos por meio do software THERM, permitindo avaliar o atendimento aos requisitos estabelecidos pelo normativo brasileiro.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

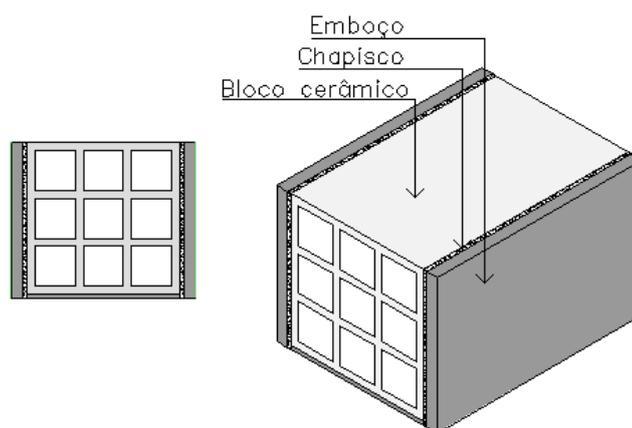
4.1 Aplicação do Método Simplificado nas Edificações Estudadas

4.1.1 Edifício Grandiflora

Para dar início aos cálculos do método simplificado, é indispensável a obtenção de um corte representativo do sistema de vedação vertical da edificação, contendo todas as camadas e componentes construtivos relevantes. Esse corte deve incluir as dimensões e a disposição sequencial dos materiais, de modo a possibilitar a correta caracterização térmica do sistema.

A Figura 6 apresenta o corte longitudinal da fachada analisada no edifício Grandiflora, evidenciando os elementos construtivos que compõem o sistema de vedação vertical externa, os quais servem de base para os cálculos subsequentes.

Figura 6 - Sistema de revestimento Grandiflora

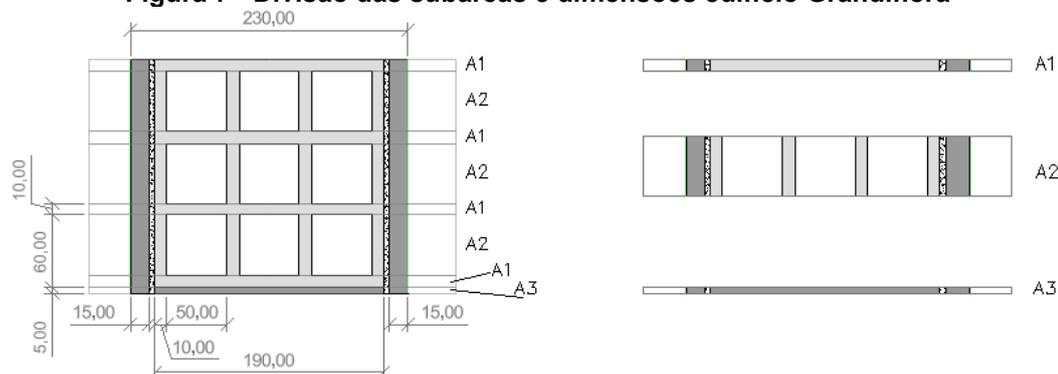


Fonte: Autor (2025)

Após a análise detalhada do corte do sistema de vedação vertical, procede-se à subdivisão da fachada em subáreas, de acordo com a variação dos materiais presentes nas diferentes regiões do sistema. Essa etapa é fundamental, pois permite a individualização das propriedades térmicas de cada segmento da vedação. A definição dessas subáreas possibilita a aplicação dos critérios estabelecidos pela NBR 15220-2, especialmente no que se refere ao cálculo do Limite Superior de Resistência Térmica (R_{sup}) (para a obtenção da transmitância térmica global) e da capacidade térmica (c) do sistema.

A correta delimitação das subáreas garante maior precisão nos resultados e representatividade na avaliação do desempenho térmico da edificação. Conforme mencionado anteriormente no item 3.5, as camadas internas e externas de tinta/textura foram desconsideradas nos procedimentos de cálculo, devido à sua baixa relevância nos resultados. A Figura 7 mostra como as áreas da edificação Grandiflora foram divididas.

Figura 7 - Divisão das subáreas e dimensões edifício Grandiflora



Fonte: Autor (2025)

Para garantir a precisão na definição das subáreas equivalentes, realiza-se inicialmente o cálculo da área total da fachada analisada. Em seguida, determina-se a fração de área correspondente a cada subárea, expressa como a razão entre a área individual e a área total do sistema. Essa verificação é essencial para assegurar que a representatividade de cada material ou conjunto de materiais seja corretamente ponderada nas etapas subsequentes de cálculo. A correta proporção entre as áreas garante a fidelidade dos resultados térmicos obtidos, tanto para a determinação da transmitância térmica quanto para a capacidade térmica do sistema. O cálculo das subáreas e frações de áreas, e a validação dos resultados correspondentes ao edifício Grandiflora são apresentadas a seguir:

$$A_{TOT} = 0,195 \text{ m} * 0,295 \text{ m} = 0,0575 \text{ m}^2$$

$$A_{A1} = 0,01 \text{ m} * 0,290 \text{ m} = 0,0029 \text{ m}^2$$

$$f_{A1} = \frac{A_{A1}}{A_{TOT}} = 0,0504$$

(Equação 1)

$$A_{A2} = 0,05 \text{ m} * 0,290 \text{ m} = 0,0145 \text{ m}^2$$

$$f_{A2} = \frac{A_{A2}}{A_{TOT}} = 0,2521$$

(Equação 1)

$$A_{A3} = 0,005 \text{ m} * 0,290 \text{ m} = 0,0014 \text{ m}^2$$

$$f_{A3} = \frac{A_{A3}}{A_{TOT}} = 0,0252$$

(Equação 1)

$$A_{lateral} = 0,005 \text{ m} * 0,195 \text{ m} = 0,001 \text{ m}^2$$

$$f_{lateral} = \frac{A_{lateral}}{A_{TOT}} = 0,0169$$

(Equação 1)

$$4 * f_{A1} + 3 * f_{A2} + f_{A3} + f_{lateral} = 1$$

Esse somatório do produto entre o número de repetições e a fração de área correspondente igual a 1, válida os resultados da fração de área, garantindo a veracidade da conta e consequentemente dos resultados obtidos subsequentes.

4.1.1.1 Cálculo da Transmitância Térmica

Após a execução das etapas iniciais — levantamento do corte, subdivisão por materiais e determinação das frações de área — dá-se início ao cálculo dos Limites Inferior e Superior da Resistência Térmica da parede. A partir desses valores, é possível obter a resistência térmica final média, calculada por meio da média aritmética simples entre os dois limites. Em seguida, determina-se a transmitância térmica do sistema (U), definida como o inverso da resistência térmica média total, conforme estabelecido pela ABNT NBR 15220-2.

O cálculo do Limite Superior da Resistência Térmica baseia-se no somatório das razões entre a espessura (e) de cada material constitutivo das subáreas e sua respectiva condutividade térmica (λ), acrescido dos valores padronizados da resistência térmica superficial interna (0,13 m²·K/W) e externa (0,04 m²·K/W). Para os trechos que contenham vãos de blocos cerâmicos, deve-se incluir na equação o produto entre o número de vãos presentes na subárea e o valor da resistência térmica equivalente do ar (0,16 m²·K/W). A aplicação correta desses parâmetros garante a representatividade do comportamento térmico real da fachada. A seguir, apresentam-se as equações utilizadas e os resultados obtidos de subáreas para o edifício Grandiflora.

$$R_{A1} = 2 * \frac{e_{chap}}{\lambda_{chap}} + \frac{e_{emb,int} + e_{emb,ext}}{\lambda_{emb}} + \frac{x_{bloco,cer}}{\lambda_{bloco,cer}} + R_{int} + R_{ext} = 0,4211 \frac{K * m^2}{W}$$

(Equação 2)

$$R_{A2} = 2 * \frac{e_{chap}}{\lambda_{chap}} + \frac{e_{emb,int} + e_{emb,ext}}{\lambda_{emb}} + \frac{10 mm * 4}{\lambda_{bloco,cer}} + 3 * R_{ar}$$

$$+ R_{int} + R_{ext} = 0,7344 \frac{K * m^2}{W}$$

(Equação 2)

$$R_{A3} = 2 * \frac{e_{chap}}{\lambda_{chap}} + \frac{e_{emb,int} + e_{emb,ext} + x_{bloco,cer}}{\lambda_{emb}} + R_{int} + R_{ext} = 0,4 \frac{K * m^2}{W}$$

(Equação 2)

$$R_{lat} = R_{A3} = 0,4 \frac{K * m^2}{W}$$

(Equação 2)

Após o cálculo da resistência térmica superior individual de cada subárea, procede-se ao cálculo da resistência térmica total superior ($R_{TOT,sup}$). Essa etapa

consiste em aplicar uma média harmônica ponderada, que considera tanto a quantidade de repetições de cada subárea quanto a razão entre a fração de área (f_{Ai}) e a resistência térmica correspondente (R_{Ai}). O somatório ponderado é então elevado a -1 , conforme preconiza o método simplificado descrito na NBR 15220-2, resultando no valor consolidado da resistência térmica total superior para o sistema de vedação vertical.

A equação utilizada e o respectivo resultado numérico podem ser visualizados nas equações a seguir, que demonstra a aplicação prática desse cálculo para o edifício Grandiflora.

$$R_{tot,sup} = \left(4 * \frac{f_{A1}}{R_{A1}} + 3 * \frac{f_{A2}}{R_{A2}} + \frac{f_{A3}}{R_{A3}} + \frac{f_{Lat}}{R_{Lat}} \right)^{-1} = 0,6196 \frac{K * m^2}{W}$$

(Equação 3)

Para o cálculo do limite inferior da resistência térmica ($R_{TOT,inf}$), o procedimento segue lógica semelhante à do limite superior, mas com uma abordagem distinta em relação à segmentação dos elementos. Nesse caso, considera-se cada camada individual do sistema construtivo, em vez de tratar as subáreas de forma separada. O cálculo é feito com base na resistência térmica equivalente de cada material, adotando-se uma abordagem unidimensional da transferência de calor.

É importante destacar que, no caso do bloco cerâmico de vedação, por se tratar de um material não homogêneo (devido à presença de vazados internos), é necessário calcular sua resistência térmica equivalente, levando em conta essas descontinuidades. A equação final para o limite inferior resulta da soma das razões entre a espessura (e) de cada camada e sua respectiva condutividade térmica (λ), acrescida dos valores padronizados de resistência térmica superficial interna e externa, conforme definidos pela NBR 15220-2:2022. As equações e os respectivos resultados aplicados ao sistema analisado são apresentados a seguir.

Cálculo da resistência equivalente do bloco:

$$R_{B1} = \frac{x_{bloco,cer}}{\lambda_{bloco,cer}} = 0,211 \frac{K * m^2}{W}$$

$$R_{B2} = \frac{4 * 10 \text{ mm}}{\lambda_{bloco,cer}} + 3 * R_{ar} = 0,5244 \frac{K * m^2}{W}$$

$$R_{B3} = \frac{x_{bloco,cer}}{\lambda_{emb}} = 0,19 \frac{K * m^2}{W}$$

(Equação 2)

$$R_{bloco} = \left(4 * \frac{f_{A1}}{R_{B1}} + 3 * \frac{f_{A2}}{R_{B2}} + \frac{f_{A3}}{R_{B3}} \right)^{-1} = 0,3953 \frac{K * m^2}{W}$$

(Equação 3)

$$R_{lat,2} = R_{B3} = 0,19 \frac{K * m^2}{W}$$

(Equação 2)

$$f_{bloco,cer} = \frac{0,290m}{0,295m} = 0,9831 \quad f_{argamassa} = \frac{0,005m}{0,295m} = 0,0169$$

(Equação 1)

$$R_{tot,inf} = R_{int} + 2 * \frac{e_{chap}}{\lambda_{chap}} + \frac{e_{emb,int} + e_{emb,ext}}{\lambda_{emb}} + \frac{1}{\frac{f_{bloco}}{R_{bloco}} + \frac{f_{argamassa}}{R_{lat,2}}} + R_{ext} = 0,5982 \frac{K * m^2}{W}$$

(Equação 2)

De posse dos valores dos limites inferior e superior da resistência térmica do sistema de vedação, procede-se ao cálculo da resistência térmica final, obtida por meio da média aritmética simples entre os dois limites, conforme descrito anteriormente. A partir desse valor, calcula-se a transmitância térmica (U) do sistema, definida como o inverso da resistência térmica total.

As expressões matemáticas empregadas e os respectivos resultados obtidos são apresentados a seguir.

$$R_{TOT} = \frac{R_{tot,sup} + R_{tot,inf}}{2} = 0,6089 \frac{K * m^2}{W}$$

$$U_{par} = \frac{1}{R_{TOT}} = 1,6423 \frac{W}{K * m^2}$$

(Equação 4)

4.1.1.2 Cálculo da capacidade térmica

Para o cálculo da capacidade térmica do sistema de vedação, realiza-se uma análise individualizada de cada uma das subáreas, conforme o procedimento adotado anteriormente no cálculo do limite superior da resistência térmica. A capacidade térmica de cada subárea é determinada pelo produto entre a espessura (e) do material, a densidade (ρ) e o calor específico (c).

Cabe destacar que, por questões de coerência dimensional, quando o calor específico for fornecido em J/(kg·K), deve-se realizar sua conversão para kJ/(kg·K), dividindo o valor por 1000, a fim de garantir consistência nas unidades e viabilizar os cálculos.

As equações e os resultados obtidos para a capacidade térmica de cada uma das subáreas estão apresentados a seguir.

$$C_{A1} = x_{bloco,cer} * \frac{c_{bloco,cer}}{1000} * \rho_{bloco,cer} + 2 * e_{chap} * \frac{c_{chap}}{1000} * \rho_{chap} + (e_{emb,int} + e_{emb,ext}) * \frac{c_{emb}}{1000} * \rho_{emb} = 350,18 \frac{J}{K * m^2}$$

(Equação 5)

$$C_{A2} = 10 \text{ mm} * \frac{c_{bloco,cer}}{1000} * \rho_{bloco,cer} * 4 + 2 * e_{chap} * \frac{c_{chap}}{1000} * \rho_{chap} + (e_{emb,int} + e_{emb,ext}) * \frac{c_{emb}}{1000} * \rho_{emb} = 129,38 \frac{J}{K * m^2}$$

(Equação 5)

$$C_{A3} = 2 * e_{chap} * \frac{c_{chap}}{1000} * \rho_{chap} + (e_{emb,int} + e_{emb,ext} + x_{bloco,cer}) * \frac{c_{emb}}{1000} * \rho_{emb} = 403 \frac{J}{K * m^2}$$

(Equação 5)

$$C_{lat} = C_{A3} = 403 \frac{J}{K * m^2}$$

(Equação 5)

Após o cálculo da capacidade térmica individual de cada uma das subáreas, determina-se o valor total da capacidade térmica do sistema de vedação vertical. Esse valor é obtido por meio da razão entre a área total do sistema e o somatório ponderado das subáreas, considerando o número de repetições e a respectiva relação entre a fração de área e a capacidade térmica de cada trecho.

A equação a seguir lustra o procedimento adotado para o cálculo, bem como o valor final obtido para a capacidade térmica do sistema como um todo.

$$c_{tot} = \frac{A_{tot}}{4 * \frac{A_{A1}}{C_{A1}} + 3 * \frac{A_{A2}}{C_{A2}} + \frac{A_{A3}}{C_{A3}} + \frac{A_{lat}}{C_{lat}}} = 153,252 \frac{J}{K * m^2}$$

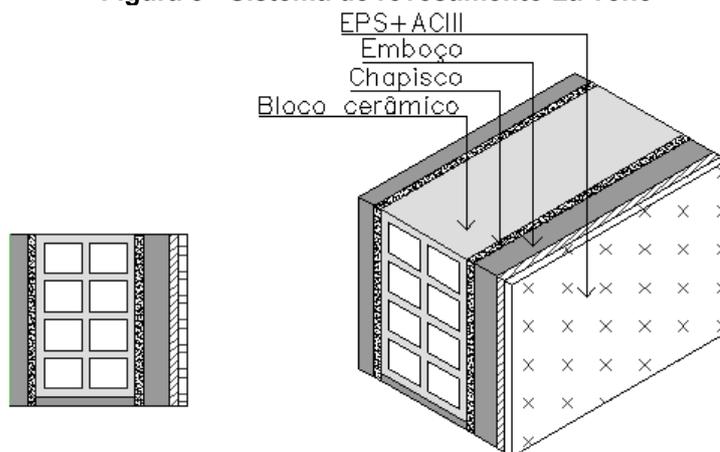
(Equação 6)

4.1.2 Edifício Lá Tenê

Para o edifício Lá Tenê, o procedimento de início dos cálculos pelo método simplificado segue a mesma lógica adotada no Grandiflora, exigindo a obtenção de um corte representativo do sistema de vedação vertical externa. Esse corte deve conter todas as camadas envolvidas, com suas respectivas dimensões, espessuras e sequência construtiva, assegurando a correta caracterização térmica do conjunto.

A Figura 8 apresenta o corte longitudinal da fachada analisada, no qual se destaca, como principal diferença em relação ao edifício anterior, a presença de revestimento final em placas de EPS aderidas com argamassa colante, bem como espessuras diferenciadas das camadas de emboço e variação no tipo de bloco cerâmico utilizado na alvenaria de vedação. Essas distinções, embora pontuais, influenciam diretamente nos valores de entrada para os cálculos, ainda que os procedimentos permaneçam os mesmos.

Figura 8 - Sistema de revestimento Lá Tenê



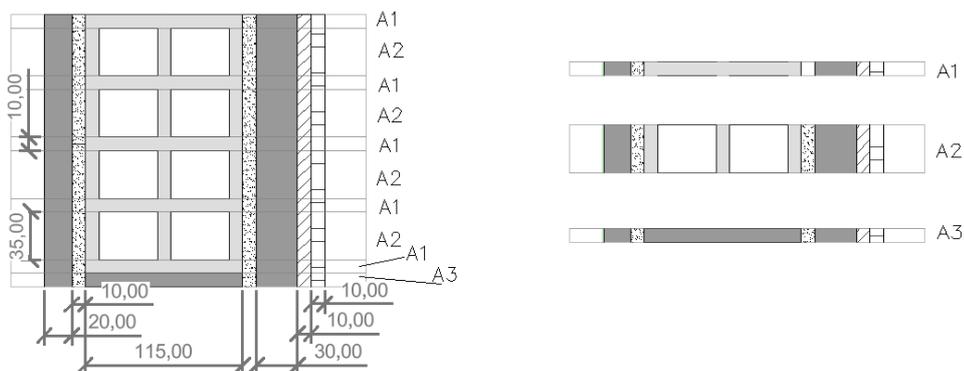
Fonte: Autor (2025)

Assim como no edifício anterior, após a análise do corte representativo da fachada do edifício Lá Tenê, foi realizada a subdivisão do sistema de vedação vertical em subáreas, conforme a variação dos materiais presentes. Essa etapa é essencial para individualizar as propriedades térmicas de cada trecho e aplicar adequadamente os critérios estabelecidos pela NBR 15220-2, especialmente no que se refere ao cálculo do Limite Superior de Resistência Térmica (R_{sup}) e da capacidade térmica (c) do sistema.

No caso do edifício Lá Tenê, o fator que influencia na definição das subáreas foi o modelo do bloco cerâmico adotado na alvenaria de vedação, que difere daquele

utilizado no edifício Grandiflora. O revestimento final externo, embora afete os cálculos térmicos, não interfere no processo de subdivisão das áreas. A Figura 9 apresenta a divisão adotada para a fachada analisada, a qual serviu como base para os cálculos subsequentes.

Figura 9 - Divisão das subáreas e dimensões edifício Lá Tenê



Fonte: Autor (2025)

Para garantir a precisão na definição das subáreas equivalentes no edifício Lá Tenê, adotou-se o mesmo procedimento descrito anteriormente. Inicialmente, calculou-se a área total da fachada analisada, e em seguida, foi determinada a fração de área de cada subárea, obtida pela razão entre sua área individual e a área total do sistema de vedação vertical.

Embora a metodologia seja idêntica à aplicada no edifício Grandiflora, os valores numéricos e o número de repetições das subáreas diferem, refletindo as especificidades construtivas do sistema analisado.

Essa etapa é fundamental para assegurar que as propriedades térmicas de cada componente sejam corretamente ponderadas nas análises posteriores de transmitância e capacidade térmica.

A seguir, são apresentadas as equações e resultados referentes à divisão proporcional das subáreas no edifício Lá Tenê.

$$A_{TOT} = 0,2 \text{ m} * 0,2 \text{ m} = 0,04 \text{ m}^2$$

$$A_{A1} = 0,01 \text{ m} * 0,190 \text{ m} = 0,0019 \text{ m}^2$$

$$f_{A1} = \frac{A_{A1}}{A_{TOT}} = 0,0475$$

(Equação 1)

$$A_{A2} = 0,035 \text{ m} * 0,19 \text{ m} = 0,0066 \text{ m}^2$$

$$f_{A2} = \frac{A_{A2}}{A_{TOT}} = 0,1662$$

(Equação 1)

$$A_{A3} = 0,010 \text{ m} * 0,190 \text{ m} = 0,0019 \text{ m}^2$$

$$f_{A3} = \frac{A_{A3}}{A_{TOT}} = 0,0475$$

(Equação 1)

$$A_{lateral} = 0,01 \text{ m} * 0,2 \text{ m} = 0,05 \text{ m}^2$$

$$f_{lateral} = \frac{A_{lateral}}{A_{TOT}} = 0,0169$$

(Equação 1)

$$5 * f_{A1} + 4 * f_{A2} + f_{A3} + f_{lateral} = 1$$

4.1.2.1 Cálculo da Transmitância Térmica

Após a execução das etapas iniciais — levantamento do corte, subdivisão conforme a variação de materiais e cálculo das frações de área — inicia-se o cálculo dos Limites Inferior e Superior de Resistência Térmica do sistema de vedação vertical da edificação Lá Tenê. A metodologia aplicada segue rigorosamente os mesmos critérios estabelecidos pela ABNT NBR 15220-2, já descritos no estudo do edifício Grandiflora. A principal diferença entre as edificações está nos valores das espessuras dos materiais de revestimento e no modelo do bloco cerâmico adotado na alvenaria, o que altera diretamente os resultados das resistências térmicas parciais de cada subárea.

O cálculo do Limite Superior de Resistência Térmica ($R_{TOT,sup}$) considera o somatório das razões entre a espessura (e) de cada material presente nas subáreas e sua condutividade térmica (λ), acrescido das resistências térmicas superficiais interna e externa (0,13 e 0,04 $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$, respectivamente). Para subáreas que contenham vãos no interior do bloco cerâmico, também é adicionado o termo correspondente à resistência equivalente do ar (0,16 $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$) multiplicado pelo número de vãos na região analisada. A seguir, são apresentadas as equações e os resultados obtidos para o cálculo da resistência térmica superior do sistema de fachada do edifício Lá Tenê.

$$R_{A1} = 2 * \frac{e_{chap}}{\lambda_{chap}} + \frac{e_{emb,int} + e_{emb,ext}}{\lambda_{emb}} + \frac{x_{bloco,cer}}{\lambda_{bloco,cer}} + \frac{e_{AC}}{\lambda_{AC}} + \frac{e_{EPS}}{\lambda_{EPS}}$$

$$+ R_{int} + R_{ext} = 0,6396 \frac{K * m^2}{W}$$

(Equação 2)

$$R_{A2} = 2 * \frac{e_{chap}}{\lambda_{chap}} + \frac{e_{emb,int} + e_{emb,ext}}{\lambda_{emb}} + \frac{10 \text{ mm} * 3}{\lambda_{bloco,cer}} + \frac{e_{AC}}{\lambda_{AC}} + \frac{e_{EPS}}{\lambda_{EPS}} +$$

$$2 * R_{ar} + R_{int} + R_{ext} = 0,8652 \frac{K * m^2}{W}$$

(Equação 2)

$$R_{A3} = 2 * \frac{e_{chap}}{\lambda_{chap}} + \frac{e_{emb,int} + e_{emb,ext} + x_{bloco,cer}}{\lambda_{emb}} + \frac{e_{AC}}{\lambda_{AC}} + \frac{e_{EPS}}{\lambda_{EPS}}$$

$$+ R_{int} + R_{ext} = 0,6273 \frac{K * m^2}{W}$$

(Equação 2)

$$R_{lat} = R_{A3} = 0,6269 \frac{K * m^2}{W}$$

(Equação 2)

Após o cálculo da resistência térmica superior individual de cada subárea do sistema de vedação vertical, procede-se ao cálculo da resistência térmica total superior ($R_{TOT,sup}$). Essa etapa utiliza uma média harmônica ponderada, na qual se considera tanto o número de repetições de cada subárea quanto a razão entre sua fração de área (f_{Ai}) e a resistência térmica correspondente (R_{Ai}).

O somatório ponderado resultante é, então, elevado a -1 , conforme estabelece o método simplificado da ABNT NBR 15220-2:2021, permitindo a consolidação de um único valor representativo da resistência térmica total superior do sistema analisado.

A equação empregada e o respectivo resultado obtido para o edifício Lá Tenê são apresentados a seguir, ilustrando a aplicação prática do procedimento descrito.

$$R_{tot,sup} = \left(5 * \frac{f_{A1}}{R_{A1}} + 4 * \frac{f_{A2}}{R_{A2}} + \frac{f_{A3}}{R_{A3}} + \frac{f_{Lat}}{R_{Lat}} \right)^{-1} = 0,7719 \frac{K * m^2}{W}$$

(Equação 3)

Para o cálculo do limite inferior da resistência térmica ($R_{TOT,inf}$) do sistema de vedação vertical do edifício Lá Tenê, aplica-se uma lógica semelhante à utilizada no limite superior, porém com foco nas camadas individuais do sistema construtivo, e não

nas subáreas. A abordagem considera a transferência de calor em regime unidimensional, admitindo que o fluxo ocorra perpendicularmente às camadas.

No caso do bloco cerâmico, por apresentar geometria interna não homogênea, é necessário utilizar a resistência térmica equivalente do bloco, considerando seus vazios internos, conforme recomendado pela NBR 15220-2:2022.

A equação geral do limite inferior é composta pela soma das razões entre a espessura (e) de cada camada e sua condutividade térmica (λ), somadas às resistências térmicas superficiais internas e externas, estabelecidas pela norma (0,13 e 0,04 $m^2 \cdot K/W$, respectivamente). As equações e os valores obtidos para o edifício Lá Tenê são apresentados a seguir.

$$R_{B1} = \frac{x_{bloco,cer}}{\lambda_{bloco,cer}} = 0,1278 \frac{K * m^2}{W}$$

$$R_{B2} = \frac{3 * 10 \text{ mm}}{\lambda_{bloco,cer}} + 2 * R_{ar} = 0,3533 \frac{K * m^2}{W}$$

$$R_{B3} = \frac{x_{bloco,cer}}{\lambda_{emb}} = 0,115 \frac{K * m^2}{W}$$

(Equação 2)

$$R_{bloco} = \left(5 * \frac{f_{A1}}{R_{B1}} + 4 * \frac{f_{A2}}{R_{B2}} + \frac{f_{A3}}{R_{B3}} \right)^{-1} = 0,2407 \frac{K * m^2}{W}$$

(Equação 3)

$$R_{lat,2} = R_{B3} = 0,115 \frac{K * m^2}{W}$$

(Equação 2)

$$f_{bloco,cer} = \frac{0,190m}{0,200m} = 0,95 \quad f_{argamassa} = \frac{0,01m}{0,2m} = 0,05$$

(Equação 1)

$$R_{tot,inf} = +2 * \frac{e_{chap}}{\lambda_{chap}} + \frac{e_{emb,int} + e_{emb,ext}}{\lambda_{emb}} + \frac{1}{\frac{f_{bloco}}{R_{bloco}} + \frac{f_{argamassa}}{R_{lat,2}}} + \frac{e_{AC}}{\lambda_{AC}} + \frac{e_{EPS}}{\lambda_{EPS}} + R_{int} + R_{ext} = 0,7401 \frac{K * m^2}{W}$$

(Equação 2)

Com os valores dos limites inferior e superior de resistência térmica obtidos para o sistema de vedação do edifício Lá Tenê, determina-se a resistência térmica

média ($R_{TOT,médio}$) por meio da média aritmética simples entre os dois extremos, conforme estabelecido pela ABNT NBR 15220-2.

A transmitância térmica (U) do sistema é então calculada como o inverso da resistência térmica média, sendo este o parâmetro utilizado na análise de conformidade com os requisitos normativos de desempenho térmico.

As expressões empregadas e os respectivos resultados obtidos para o edifício Lá Tenê são apresentados nas equações a seguir.

$$R_{TOT} = \frac{R_{tot,sup} + R_{tot,inf}}{2} = 0,756 \frac{K * m^2}{W}$$

$$U_{par} = \frac{1}{R_{TOT}} = 1,3227 \frac{W}{K * m^2}$$

(Equação 4)

4.1.2.2 Cálculo da capacidade térmica

O cálculo da capacidade térmica do sistema de vedação do edifício Lá Tenê segue exatamente a mesma metodologia aplicada no edifício Grandiflora, com a diferença concentrada nas propriedades térmicas e físicas dos materiais utilizados, além da variação no modelo do bloco cerâmico.

Cada subárea é analisada individualmente, sendo sua capacidade térmica determinada pelo produto entre a espessura (e) do material, sua densidade (ρ) e o calor específico (c).

Ressalta-se que, para garantir a coerência dimensional nas unidades utilizadas, o calor específico fornecido em J/(kg·K) deve ser convertido para kJ/(kg·K) por meio da divisão por 1000.

As equações aplicadas e os resultados numéricos obtidos para cada subárea do sistema estão apresentados a seguir.

$$C_{A1} = x_{bloco,cer} * \frac{c_{bloco,cer}}{1000} * \rho_{bloco,cer} + 2 * e_{chap} * \frac{c_{chap}}{1000} * \rho_{chap} +$$

$$(e_{emb,int} + e_{emb,ext}) * \frac{c_{emb}}{1000} * \rho_{emb} + e_{AC} * \frac{c_{AC}}{1000} * \rho_{AC} +$$

$$e_{EPS} * \frac{c_{EPS}}{1000} * \rho_{EPS} = 314,04 \frac{J}{K * m^2}$$

(Equação 5)

$$C_{A2} = 10 \text{ mm} * \frac{c_{bloco,cer}}{1000} * \rho_{bloco,cer} * 3 + 2 * e_{chap} * \frac{c_{chap}}{1000} * \rho_{chap} +$$

$$\begin{aligned} & (e_{emb,int} + e_{emb,ext}) * \frac{c_{emb}}{1000} * \rho_{emb} + e_{AC} * \frac{c_{AC}}{1000} * \rho_{AC} \\ & + e_{EPS} * \frac{c_{EPS}}{1000} * \rho_{EPS} = 188,92 \frac{J}{K * m^2} \end{aligned}$$

(Equação 5)

$$\begin{aligned} C_{A3} = & 2 * e_{chap} * \frac{c_{chap}}{1000} * \rho_{chap} + (e_{emb,int} + e_{emb,ext} + x_{bloco,cer}) * \frac{c_{emb}}{1000} * \rho_{emb} + \\ & e_{AC} * \frac{c_{AC}}{1000} * \rho_{AC} + e_{EPS} * \frac{c_{EPS}}{1000} * \rho_{EPS} = 346,01 \frac{J}{K * m^2} \end{aligned}$$

(Equação 5)

$$C_{lat} = C_{A3} = 346,01 \frac{J}{K * m^2}$$

(Equação 5)

Com as capacidades térmicas individuais já determinadas para cada subárea, realiza-se o cálculo da capacidade térmica total do sistema de vedação vertical do edifício Lá Tenê. Esse valor é obtido por meio da razão entre a área total da fachada e o somatório ponderado das subáreas, levando em conta o número de repetições e a razão entre a fração de área e a capacidade térmica correspondente.

A equação e o resultado desse cálculo são apresentados a seguir.

$$c_{tot} = \frac{A_{tot}}{5 * \frac{A_{A1}}{C_{A1}} + 4 * \frac{A_{A2}}{C_{A2}} + \frac{A_{A3}}{C_{A3}} + \frac{A_{lat}}{C_{lat}}} = 218,68 \frac{J}{K * m^2}$$

(Equação 6)

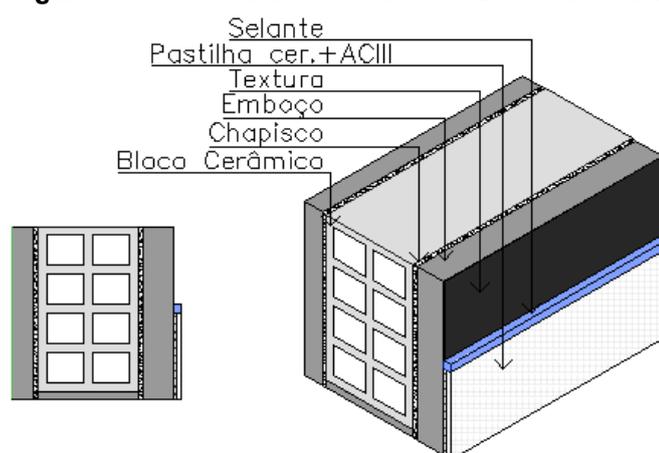
4.1.3 Edifício Dover Montain

Para dar início aos cálculos do método simplificado, é indispensável a obtenção de um corte representativo do sistema de vedação vertical da edificação, contendo todas as camadas e componentes construtivos relevantes. Esse corte deve incluir as dimensões e a disposição sequencial dos materiais, de modo a possibilitar a correta caracterização térmica do sistema.

No caso do edifício Dover Montain, além da identificação das camadas convencionais, destaca-se a complexidade do revestimento externo, que apresenta uma variação entre textura e pastilhas cerâmicas fixadas com argamassa colante, separadas por uma junta de transição em selante de poliuretano.

Conforme mencionado no item 3.5, no caso dessa edificação, a camada de tinta interna foi desconsiderada nos procedimentos de cálculo, por apresentar espessura reduzida e baixa relevância nos resultados. A Figura 10 apresenta o corte longitudinal da fachada analisada, evidenciando os elementos construtivos que compõem o sistema de vedação vertical externa e que servirão de base para os cálculos subsequentes.

Figura 10 - Sistema de revestimento Dover Mountain



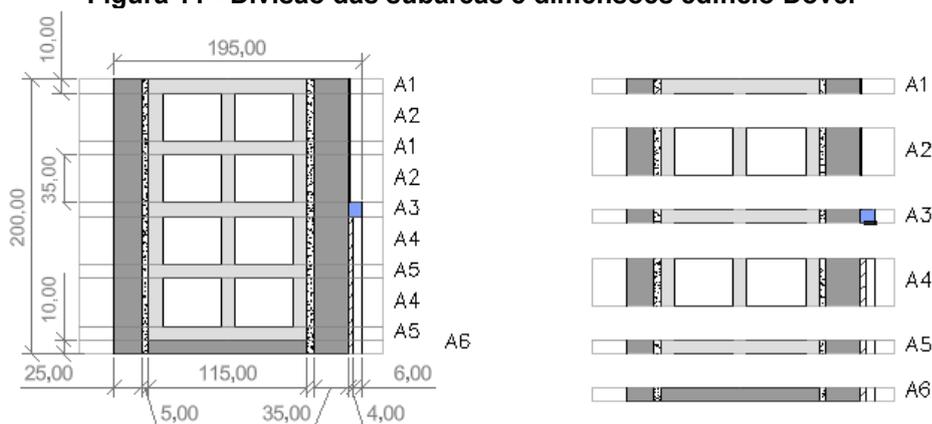
Fonte: Autor (2025)

Após a análise detalhada do corte do sistema de vedação vertical, procede-se à subdivisão da fachada em subáreas, com base nas variações dos materiais presentes nas diferentes regiões do sistema. No caso do edifício Dover Mountain, essa subdivisão não se restringe apenas ao modelo de bloco cerâmico utilizado, mas também se dá em função da composição heterogênea do revestimento externo, que alterna entre textura e pastilhas cerâmicas fixadas com argamassa colante, separadas por uma junta de transição em selante de poliuretano.

Essa variação demanda uma individualização mais criteriosa das propriedades térmicas de cada trecho, garantindo maior representatividade na avaliação do desempenho térmico.

A definição das subáreas permite a aplicação adequada dos critérios estabelecidos pela NBR 15220-2, especialmente no que se refere ao cálculo do Limite Superior de Resistência Térmica (R_{sup}) e da Capacidade Térmica (C) do sistema. A Figura 11 apresenta a divisão adotada para o edifício Dover Mountain.

Figura 11 - Divisão das subáreas e dimensões edifício Dover



Fonte: Autor (2025)

Para garantir a precisão na definição das subáreas equivalentes, realiza-se inicialmente o cálculo da área total da fachada analisada. Em seguida, determina-se a fração de área correspondente a cada subárea, expressa como a razão entre a área individual e a área total do sistema. Essa verificação é fundamental para assegurar que a representatividade de cada conjunto de materiais seja corretamente ponderada nas etapas subsequentes de cálculo.

No caso do edifício Dover Montain, embora o procedimento adotado seja o mesmo aplicado nas edificações anteriores, destaca-se a existência de um número maior de subáreas, decorrente da maior complexidade do sistema de revestimento externo.

Ainda assim, a aplicação das frações de área segue o mesmo princípio, sendo essencial para garantir a fidelidade dos resultados térmicos obtidos, tanto na determinação da transmitância térmica quanto na capacidade térmica do sistema. A divisão e validação das subáreas para o edifício Dover Montain são apresentadas a seguir:

$$A_{TOT} = 0,2 \text{ m} * 0,2 \text{ m} = 0,04 \text{ m}^2$$

$$A_{A1} = 0,010 \text{ m} * 0,190 \text{ m} = 0,0019 \text{ m}^2$$

$$f_{A1} = \frac{A_{A1}}{A_{TOT}} = 0,0475$$

(Equação 1)

$$A_{A2} = 0,035 \text{ m} * 0,190 \text{ m} = 0,0066 \text{ m}^2$$

$$f_{A2} = \frac{A_{A2}}{A_{TOT}} = 0,1662$$

(Equação 1)

$$A_{A3} = 0,010 \text{ m} * 0,190 \text{ m} = 0,0019 \text{ m}^2$$

$$f_{A3} = \frac{A_{A3}}{A_{TOT}} = 0,0475$$

(Equação 1)

$$A_{A4} = 0,035 \text{ m} * 0,190 \text{ m} = 0,0019 \text{ m}^2$$

$$f_{A4} = \frac{A_{A3}}{A_{TOT}} = 0,1662$$

(Equação 1)

$$A_{A5} = 0,010 \text{ m} * 0,190 \text{ m} = 0,0019 \text{ m}^2$$

$$f_{A5} = \frac{A_{A3}}{A_{TOT}} = 0,0475$$

(Equação 1)

$$A_{A6} = 0,010 \text{ m} * 0,190 \text{ m} = 0,0019 \text{ m}^2$$

$$f_{A6} = \frac{A_{A3}}{A_{TOT}} = 0,0475$$

(Equação 1)

$$A_{lateral} = 0,010 \text{ m} * 0,120 \text{ m} = 0,002 \text{ m}^2$$

$$f_{lateral} = \frac{A_{lateral}}{A_{TOT}} = 0,05$$

(Equação 1)

$$2 * f_{A1} + 2 * f_{A2} + f_{A3} + 2 * f_{A4} + 2 * f_{A5} + f_{A6} + f_{lateral} = 1$$

O fato de o somatório do produto entre o número de repetições e a respectiva fração de área resultar em 1 confirma a consistência dos dados utilizados, assegurando a correção dos cálculos e, conseqüentemente, a confiabilidade dos resultados obtidos.

4.1.3.1 Cálculo da Transmitância Térmica

Após a execução das etapas iniciais — levantamento do corte, subdivisão por materiais e determinação das frações de área — dá-se início ao cálculo dos Limites Inferior e Superior da Resistência Térmica da parede. A partir desses valores, obtém-se a resistência térmica final média, por meio da média aritmética simples entre os dois limites. Em seguida, calcula-se a transmitância térmica (U) do sistema, definida

como o inverso da resistência térmica média total, conforme preconizado pela ABNT NBR 15220-2:2022.

O cálculo do Limite Superior da Resistência Térmica é realizado individualmente para cada subárea, independentemente de seus materiais constitutivos, aplicando-se o somatório das razões entre a espessura (e) de cada camada e a respectiva condutividade térmica (λ). Esse valor é somado às resistências térmicas superficiais internas ($0,13 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$) e externas ($0,04 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$). No caso de subáreas com blocos cerâmicos vazados, considera-se ainda o acréscimo da resistência térmica do ar, representado pelo produto entre o número de vazios e o valor equivalente de resistência ($0,16 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$).

Apesar da complexidade do Dover Montain, com variações relevantes nos acabamentos externos, o procedimento de cálculo mantém-se inalterado, uma vez que todas as subáreas são tratadas separadamente.

As equações utilizadas e os resultados obtidos para cada subárea do edifício Dover Montain são apresentadas a seguir:

$$R_{A1} = 2 * \frac{e_{chap}}{\lambda_{chap}} + \frac{e_{emb,int} + e_{emb,ext}}{\lambda_{emb}} + \frac{x_{bloco,cer}}{\lambda_{bloco,cer}} + \frac{e_{text,ext}}{\lambda_{text,ext}} + R_{int} + R_{ext} = 0,372 \frac{K * m^2}{W}$$

(Equação 2)

$$R_{A2} = 2 * \frac{e_{chap}}{\lambda_{chap}} + \frac{e_{emb,int} + e_{emb,ext}}{\lambda_{emb}} + \frac{10 \text{ mm} * 3}{\lambda_{bloco,cer}} + \frac{e_{text,ext}}{\lambda_{text,ext}} + 3 * R_{ar} +$$

$$+ R_{int} + R_{ext} = 0,597 \frac{K * m^2}{W}$$

(Equação 2)

$$R_{A3} = 2 * \frac{e_{chap}}{\lambda_{chap}} + \frac{e_{emb,int} + e_{emb,ext}}{\lambda_{emb}} + \frac{x_{bloco,cer}}{\lambda_{bloco,cer}} + \frac{e_{sel}}{\lambda_{sel}} + R_{int} + R_{ext} = 0,413 \frac{K * m^2}{W}$$

(Equação 2)

$$R_{A4} = 2 * \frac{e_{chap}}{\lambda_{chap}} + \frac{e_{emb,int} + e_{emb,ext}}{\lambda_{emb}} + \frac{10 \text{ mm} * 3}{\lambda_{bloco,cer}} + \frac{e_{AC}}{\lambda_{AC}} + \frac{e_{past,cer}}{\lambda_{past,cer}} + 3 * R_{ar} +$$

$$+ R_{int} + R_{ext} = 0,771 \frac{K * m^2}{W}$$

(Equação 2)

$$R_{A5} = 2 * \frac{e_{chap}}{\lambda_{chap}} + \frac{e_{emb,int} + e_{emb,ext}}{\lambda_{emb}} + \frac{x_{bloco,cer}}{\lambda_{bloco,cer}} + \frac{e_{AC}}{\lambda_{AC}} + \frac{e_{past,cer}}{\lambda_{past,cer}} +$$

$$R_{int} + R_{ext} = 0,545 \frac{K * m^2}{W}$$

(Equação 2)

$$R_{A6} = 2 * \frac{e_{chap}}{\lambda_{chap}} + \frac{e_{emb,int} + e_{emb,ext} + x_{bloco,cer}}{\lambda_{emb}} + \frac{e_{AC}}{\lambda_{AC}} + \frac{e_{past,cer}}{\lambda_{past,cer}} +$$

$$R_{int} + R_{ext} = 0,533 \frac{K * m^2}{W}$$

(Equação 2)

$$R_{lat} = R_{A6} = 0,533 \frac{K * m^2}{W}$$

(Equação 2)

Após o cálculo da resistência térmica superior individual de cada subárea, procede-se ao cálculo da resistência térmica total superior ($R_{TOT,sup}$) para o edifício Dover Montain. Essa etapa consiste na aplicação de uma média harmônica ponderada, que considera tanto a quantidade de repetições de cada subárea quanto a razão entre a fração de área (f_{Ai}) e a resistência térmica correspondente (R_{Ai}). O somatório ponderado obtido é, então, elevado a -1 , conforme estabelecido pelo método simplificado descrito na NBR 15220-2, resultando no valor consolidado da resistência térmica total superior do sistema de vedação vertical.

A equação utilizada, bem como o resultado numérico correspondente, é apresentada nas expressões a seguir, demonstrando a aplicação prática do cálculo para a edificação Dover Montain.

$$R_{tot,sup} = \left(2 * \frac{f_{A1}}{R_{A1}} + 2 * \frac{f_{A2}}{R_{A2}} + \frac{f_{A3}}{R_{A3}} + 2 * \frac{f_{A4}}{R_{A4}} + 2 * \frac{f_{A5}}{R_{A5}} + \frac{f_{A6}}{R_{A6}} + \frac{f_{Lat}}{R_{Lat}} \right)^{-1} = 0,583 \frac{K * m^2}{W}$$

(Equação 3)

Para o cálculo do limite inferior da resistência térmica ($R_{TOT,inf}$), no edifício Dover Montain, adota-se um procedimento conceitualmente semelhante ao utilizado no cálculo do limite superior, porém com diferenças significativas na forma de segmentação dos elementos e no tratamento das camadas do sistema de vedação vertical.

Neste caso, cada camada individual do sistema construtivo é considerada separadamente, utilizando-se uma abordagem unidimensional da transferência de

calor. No entanto, devido à complexidade e à não homogeneidade do revestimento final — composto por diferentes materiais (textura acrílica, selante de poliuretano, argamassa colante e pastilha cerâmica) — torna-se necessário calcular uma resistência térmica equivalente específica para cada um desses componentes, proporcionalmente às suas respectivas áreas de aplicação na fachada.

Adicionalmente, como o bloco cerâmico de vedação também apresenta características não homogêneas, em virtude da presença de vazios internos, sua resistência térmica equivalente deve ser determinada com base nas proporções de material sólido e de vazado, conforme previsto na NBR 15220-2:2022.

A equação final que representa o cálculo do limite inferior é obtida pela soma das razões entre a espessura (e) de cada camada e sua condutividade térmica (λ), acrescida das resistências térmicas superficiais internas e externas padronizadas. Essa formulação permite consolidar o comportamento térmico do sistema como um todo, considerando adequadamente as descontinuidades e variações dos materiais.

As equações e os respectivos resultados aplicados ao sistema construtivo do edifício Dover Montain são apresentados a seguir.

1º) *Resistencia equivalente do bloco cerâmico:*

$$R_{B1} = \frac{x_{bloco,cer}}{\lambda_{bloco,cer}} = 0,128 \frac{K * m^2}{W}$$

$$R_{B2} = \frac{4 * 10 \text{ mm}}{\lambda_{bloco,cer}} + 3 * R_{ar} = 0,353 \frac{K * m^2}{W}$$

$$R_{B3} = \frac{x_{bloco,cer}}{\lambda_{emb}} = 0,115 \frac{K * m^2}{W}$$

(Equação 2)

$$R_{bloco} = \left(4 * \frac{f_{A1}}{R_{B1}} + 3 * \frac{f_{A2}}{R_{B2}} + \frac{f_{A3}}{R_{B3}} \right)^{-1} = 0,241 \frac{K * m^2}{W}$$

(Equação 3)

$$R_{lat,2} = R_{B3} = 0,115 \frac{K * m^2}{W}$$

(Equação 2)

$$f_{bloco,cer} = \frac{0,29m}{0,30m} = 0,967$$

$$f_{argamassa} = \frac{0,01m}{0,30m} = 0,033$$

(Equação 1)

2º) revestimento externo final (textura, selante e Argamassa colante + Pastilha):

No procedimento de cálculo da resistência térmica equivalente do revestimento externo, os sistemas foram divididos em duas etapas, com base na espessura de cada um. A primeira etapa corresponde à textura, com espessura de 1 mm, e a segunda etapa inclui o conjunto formado pelo selante e pela pastilha cerâmica aderida com argamassa AC-III, com espessura total de 10 mm. A partir dessa divisão, os cálculos seguiram com as respectivas equações e resultados, conforme descrito a seguir:

I) Textura

$$R_{fin,text(11)} = \frac{e_{text}}{\lambda_{text}} = 0,004 \frac{K * m^2}{W} \quad \text{(Equação 2)}$$

$$f_{fin,tex(11)} = \frac{90 \text{ mm}}{200 \text{ mm}} = 0,45 \quad \text{(Equação 1)}$$

II) Selante e ACIII + Pastilha cerâmica:

$$R_{fin,sel(21)} = \frac{e_{sel}}{\lambda_{sel}} = 0,0455 \frac{K * m^2}{W} \quad \text{(Equação 2)}$$

$$f_{fin,sel(21)} = \frac{10 \text{ mm}}{200 \text{ mm}} = 0,05 \quad \text{(Equação 1)}$$

$$R_{fin,AC+cer(22)} = \left(\frac{e_{AC}}{\lambda_{AC}} + \frac{e_{past,cer}}{\lambda_{past,cer}} \right) = 0,178 \frac{K * m^2}{W} \quad \text{(Equação 2)}$$

$$f_{fin,AC+cer(22)} = \frac{100 \text{ mm}}{200 \text{ mm}} = 0,5 \quad \text{(Equação 1)}$$

Assim, antes de se obter o valor final do limite inferior da resistência térmica, calcula-se inicialmente a resistência térmica da segunda região, que é composta por mais de um material no sistema: selante, argamassa AC-III e pastilha cerâmica. Essa composição exige um cálculo específico, considerando a associação dos materiais em camadas sucessivas. As equações e os resultados são apresentados a seguir:

$$R_{fin(2),sel,cer} = \left(\frac{f_{fin,sel(21)}}{R_{fin,sel(21)}} + \frac{f_{fin,AC+cer(22)}}{R_{fin,AC+cer(22)}} \right)^{-1} = 0,256 \frac{K * m^2}{W} \quad \text{(Equação 3)}$$

$$f_{fin,sel+cer(2)} = \frac{110 \text{ mm}}{200 \text{ mm}} = 0,55$$

(Equação 1)

Com esses valores obtidos, é possível determinar o limite inferior da resistência térmica do sistema.

$$R_{tot,inf} = R_{int} + R_{ext} + 2 * \frac{e_{chap}}{\lambda_{chap}} + \frac{e_{emb,int} + e_{emb,ext}}{\lambda_{emb}} +$$

$$\frac{1}{\frac{f_{bloco}}{R_{bloco}} + \frac{f_{argamassa}}{R_{lat,2}}} + \frac{1}{\frac{f_{fin,tex(11)}}{R_{fin,tex(11)}} + \frac{f_{fin,sel+cer(2)}}{R_{fin(2),sel,cer}}} = 0,476 \frac{K * m^2}{W}$$

(Equação 2)

De posse dos valores dos limites inferior e superior da resistência térmica do sistema de vedação vertical do edifício Dover Montain, procede-se ao cálculo da resistência térmica final, obtida por meio da média aritmética simples entre os dois limites, conforme metodologia previamente descrita. Com base nesse valor médio, é então determinado o valor da transmitância térmica (*U*) do sistema, definida como o inverso da resistência térmica total.

As expressões matemáticas empregadas, bem como os respectivos resultados obtidos para o sistema de vedação analisado, são apresentadas a seguir.

$$R_{TOT} = \frac{R_{tot,sup} + R_{tot,inf}}{2} = 0,529 \frac{K * m^2}{W}$$

$$U_{par} = \frac{1}{R_{TOT}} = 1,889 \frac{W}{K * m^2}$$

(Equação 4)

4.1.3.2 Cálculo da capacidade térmica

Para o cálculo da capacidade térmica do sistema de vedação do edifício Dover Montain, realiza-se uma análise individualizada de cada uma das subáreas, seguindo o mesmo procedimento adotado anteriormente no cálculo do limite superior da resistência térmica e nas demais edificações estudadas. A capacidade térmica de cada subárea é determinada pelo produto entre a espessura do material (*e*), a densidade (*ρ*) e o calor específico (*c*).

Cabe destacar que, por uma questão de coerência dimensional, quando o valor do calor específico for fornecido em J/(kg·K), deve-se realizar sua conversão

para kJ/(kg·K), dividindo-se o valor por 1000. Essa conversão garante a consistência das unidades adotadas e viabiliza o correto desenvolvimento dos cálculos.

As equações utilizadas e os resultados obtidos para a capacidade térmica de cada subárea da fachada do edifício Dover Montain estão apresentadas a seguir.

$$C_{A1} = x_{bloco,cer} * \frac{C_{bloco,cer}}{1000} * \rho_{bloco,cer} + 2 * e_{chap} * \frac{C_{chap}}{1000} * \rho_{chap} + (e_{emb,int} + e_{emb,ext}) * \frac{C_{emb}}{1000} * \rho_{emb} + e_{text,ext} * \frac{C_{text,ext}}{1000} * \rho_{text,ext} = 288,515 \frac{J}{K * m^2}$$

(Equação 5)

$$C_{A2} = 10 \text{ mm} * \frac{C_{bloco,cer}}{1000} * \rho_{bloco,cer} * 3 + 2 * e_{chap} * \frac{C_{chap}}{1000} * \rho_{chap} + (e_{emb,int} + e_{emb,ext}) * \frac{C_{emb}}{1000} * \rho_{emb} + e_{text,ext} * \frac{C_{text,ext}}{1000} * \rho_{text,ext} = 163,395 \frac{J}{K * m^2}$$

(Equação 5)

$$C_{A3} = x_{bloco,cer} * \frac{C_{bloco,cer}}{1000} * \rho_{bloco,cer} + 2 * e_{chap} * \frac{C_{chap}}{1000} * \rho_{chap} + (e_{emb,int} + e_{emb,ext}) * \frac{C_{emb}}{1000} * \rho_{emb} + e_{sel} * \frac{C_{sel}}{1000} * \rho_{sel} = 304,94 \frac{J}{K * m^2}$$

(Equação 5)

$$C_{A4} = 10 \text{ mm} * \frac{C_{bloco,cer}}{1000} * \rho_{bloco,cer} * 3 + 2 * e_{chap} * \frac{C_{chap}}{1000} * \rho_{chap} + (e_{emb,int} + e_{emb,ext}) * \frac{C_{emb}}{1000} * \rho_{emb} + e_{AC} * \frac{C_{AC}}{1000} * \rho_{AC} + e_{past,cer} * \frac{C_{past,cer}}{1000} * \rho_{past,cer} = 197,913 \frac{J}{K * m^2}$$

(Equação 5)

$$C_{A5} = x_{bloco,cer} * \frac{C_{bloco,cer}}{1000} * \rho_{bloco,cer} + 2 * e_{chap} * \frac{C_{chap}}{1000} * \rho_{chap} + (e_{emb,int} + e_{emb,ext}) * \frac{C_{emb}}{1000} * \rho_{emb} + e_{AC} * \frac{C_{AC}}{1000} * \rho_{AC} + e_{past,cer} * \frac{C_{past,cer}}{1000} * \rho_{past,cer} = 293,033 \frac{J}{K * m^2}$$

(Equação 5)

$$C_{A6} = 2 * e_{chap} * \frac{C_{chap}}{1000} * \rho_{chap} + (e_{emb,int} + e_{emb,ext} + x_{bloco,cer}) * \frac{C_{emb}}{1000} * \rho_{emb} + e_{AC} * \frac{C_{AC}}{1000} * \rho_{AC} + e_{past,cer} * \frac{C_{past,cer}}{1000} * \rho_{past,cer} = 314,768 \frac{J}{K * m^2}$$

(Equação 5)

$$C_{lat} = C_{A6} = 314,768 \frac{J}{K * m^2}$$

(Equação 5)

Após o cálculo da capacidade térmica individual de cada uma das subáreas, determina-se o valor total da capacidade térmica do sistema de vedação vertical do edifício Dover Mountain. Esse valor é obtido por meio da razão entre a área total do sistema e o somatório ponderado das subáreas, considerando-se o número de repetições e a respectiva relação entre a fração de área e a capacidade térmica de cada trecho analisado.

A equação apresentada a seguir ilustra o procedimento adotado para esse cálculo, bem como o valor final obtido para a capacidade térmica do sistema de vedação como um todo.

$$c_{tot} = \frac{A_{tot}}{2 * \frac{A_{A1}}{C_{A1}} + 2 * \frac{A_{A2}}{C_{A2}} + \frac{A_{A3}}{C_{A3}} + 2 * \frac{A_{A4}}{C_{A4}} + 2 * \frac{A_{A6}}{C_{A5}} + \frac{A_{A6}}{C_{A6}} + \frac{A_{lat}}{C_{lat}}} = 194,775 \frac{J}{K * m^2}$$

(Equação 6)

4.2 Simulação e resultados do Therm

Como forma de complementar a avaliação do desempenho térmico dos sistemas de vedação vertical analisados, foi empregada a modelagem computacional bidimensional por meio do software THERM, desenvolvido pelo Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL). Esse programa permite a simulação do fluxo de calor em elementos construtivos a partir da análise de geometrias bidimensionais, considerando as propriedades térmicas dos materiais envolvidos e suas respectivas interfaces.

Para a utilização do software, foi realizada a modelagem geométrica detalhada de cada sistema de vedação, tomando como referência os cortes construtivos representativos de cada fachada. A modelagem foi realizada em duas dimensões, replicando com precisão a espessura, a disposição e a sequência das camadas de materiais que compõem os sistemas analisados.

A cada elemento do modelo foram atribuídas as propriedades térmicas correspondentes, principalmente a condutividade térmica (λ) e a emissividade superficial, cujos valores foram previamente definidos com base nos valores reais e em fontes normativas e bibliográficas, conforme apresentado no item 3.5 deste

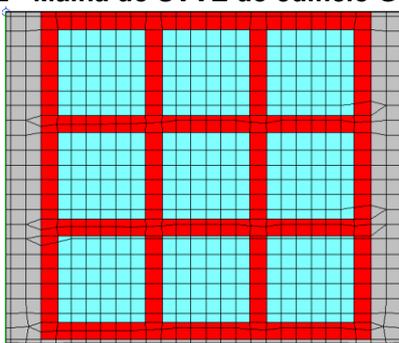
trabalho. A correta definição desses parâmetros é essencial para a simulação fidedigna do comportamento térmico dos componentes construtivos.

Após a construção e parametrização do modelo, o software executa os cálculos baseados na solução numérica da equação da condução de calor em regime estacionário. Como resultado, o THERM fornece distribuições de temperatura, fluxos de calor e mapas de isótopos térmicos ao longo das seções modeladas, permitindo identificar zonas críticas de perda de calor, pontes térmicas e variações no desempenho entre os diferentes materiais e camadas do sistema. Essa etapa fornece subsídios importantes para a interpretação dos resultados obtidos por meio das análises normativas e permite uma compreensão visual e quantitativa do comportamento térmico dos sistemas de vedação vertical.

4.2.1 Edifício Grandiflora

Após a realização das simulações no software, foram obtidos os seguintes resultados para os parâmetros analisados: resistência térmica de $0,589 \text{ (K}\cdot\text{m}^2\text{)/W}$ e transmitância térmica de $1,6979 \text{ W}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$. Esses valores apresentaram boa concordância com os resultados obtidos por meio dos métodos de cálculo analíticos descritos anteriormente, o que contribui para validar a consistência e a confiabilidade das simulações realizadas. Na Figura 12, é possível observar a malha gerada para o sistema simulado, a qual desempenha papel essencial na precisão dos resultados.

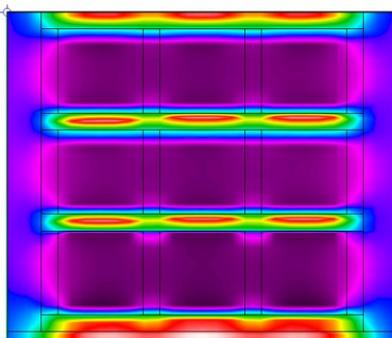
Figura 12 - Malha do SVVE do edifício Grandiflora



Fonte: Autor (2025)

Na Figura 13, observa-se o comportamento do fluxo de calor no sistema de vedação vertical, permitindo a análise dos pontos de maior e menor resistência térmica.

Figura 13 - Fluxo de calor do SVVE do edifício Grandiflora



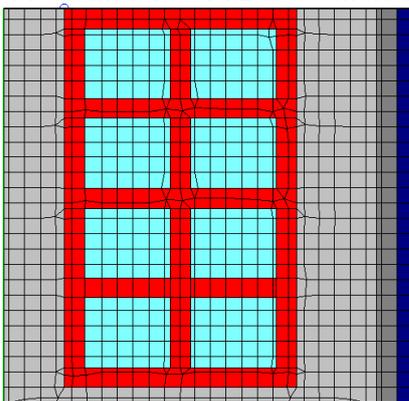
Fonte: Autor (2025)

4.2.2 Edifício Lá Tenê

Após a simulação computacional, os valores obtidos para a resistência térmica e a transmitância térmica da vedação vertical do edifício Lá Tenê foram, respectivamente, $0,7199 \text{ (K}\cdot\text{m}^2\text{)/W}$ e $1,3891 \text{ W}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$. Os resultados mantiveram boa correspondência com os valores previamente determinados pelos métodos analíticos, reforçando a confiabilidade do modelo adotado.

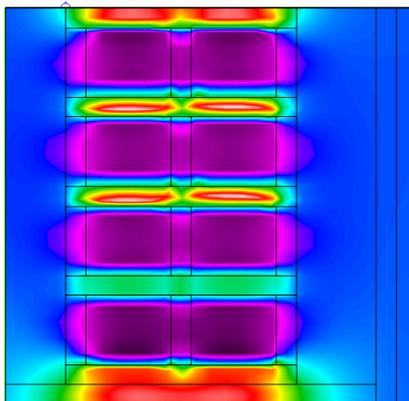
A Figura 14 exibe a estrutura da malha aplicada ao modelo do edifício Lá Tenê, que permitiu a obtenção dos resultados numéricos com maior detalhamento e precisão.

Figura 14 - Malha do SVVE do edifício Lá Tenê



Fonte: Autor (2025)

A Figura 15 apresenta o comportamento do fluxo de calor através do sistema de vedação vertical do edifício Lá Tenê, permitindo a visualização das áreas com maior transmissão térmica.

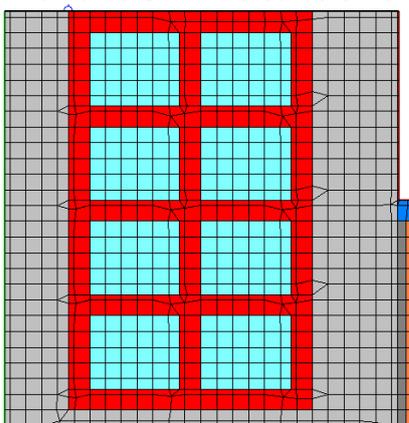
Figura 15 - Fluxo de calor do SVVE do edifício Lá Tenê

Fonte: Autor (2025).

4.2.3 Edifício Dover Montain

Para o edifício Dover Montain, a simulação computacional resultou em valores de $0,4515 \text{ (K}\cdot\text{m}^2\text{)/W}$ para resistência térmica e $2,215 \text{ W}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$ para transmitância térmica. Observa-se que esses resultados apresentaram uma diferença um pouco mais significativa em relação aos obtidos pelos métodos de cálculo simplificado. Essa divergência pode ser atribuída, principalmente, à maior complexidade construtiva do sistema de vedação vertical, que envolve diferentes materiais e transições de acabamento, dificultando uma representação fiel nos modelos analíticos.

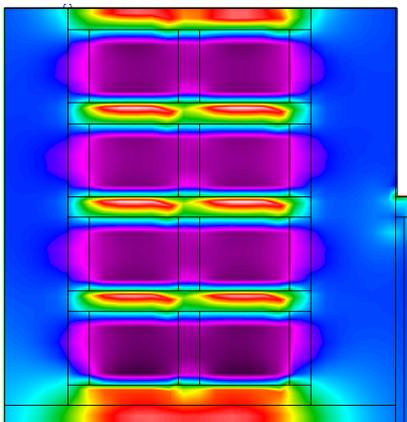
A Figura 16 ilustra a malha gerada para a simulação térmica do Dover Montain, destacando o refinamento adotado para representar adequadamente as transições entre os diferentes acabamentos de fachada.

Figura 16 - Malha do SVVE do edifício Dover Montain

Fonte: Autor (2025)

A Figura 17 mostra a distribuição do fluxo de calor na fachada do edifício Dover Montain, permitindo identificar possíveis pontos de concentração de perda térmica devido à heterogeneidade dos materiais aplicados.

Figura 17 - Fluxo de calor do SVVE do edifício Dover Montain



Fonte: Autor (2025)

4.3 Discussões dos resultados - critérios normativos

4.3.1 Edificação Grandiflora

Ao comparar os resultados obtidos por meio do método de cálculo simplificado com os gerados pela simulação no software THERM para a edificação Grandiflora, observa-se que os valores são próximos e seguem a mesma ordem de grandeza, o que torna válido a consistência do modelo analítico utilizado. Embora pequenas variações sejam esperadas, principalmente devido à forma como o THERM considera aspectos mais detalhados como pontes térmicas e a geometria real das camadas, a proximidade dos resultados demonstra que o método simplificado é eficaz para estimativas iniciais de desempenho térmico de vedações verticais.

Considerando os critérios estabelecidos pela NBR 15575:2021, o valor de transmitância térmica obtido pelo método simplificado foi de $1,6423 \text{ W}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$, enquanto o requisito mínimo exigido para a zona bioclimática 1R é de que o valor deve ser menor que $2,7 \text{ W}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$. Já o valor da Capacidade térmica obtido foi de $153,252 \text{ J}/\text{K}\cdot\text{m}^2$, enquanto o valor normativamente precisa ser maior do que $130 \text{ J}/\text{K}\cdot\text{m}^2$. Isso demonstra que o sistema de vedação da edificação atende às exigências normativas em relação ao desempenho térmico, indicando que a composição utilizada apresenta um comportamento adequado frente às condições climáticas da região.

4.3.2 Edificação Lá Tenê

A análise comparativa entre os resultados obtidos pelo método de cálculo simplificado e aqueles gerados por meio da simulação no software THERM para a edificação Lá Tenê evidencia uma boa aproximação entre os valores. Ambos os métodos apresentaram resultados na mesma ordem de grandeza, o que mostra a consistência do modelo analítico adotado. As pequenas diferenças observadas são justificáveis, considerando que o THERM leva em conta fatores adicionais como a geometria real das camadas e a presença de pontes térmicas. Ainda assim, essa convergência de dados indica que o método simplificado é eficiente para avaliações iniciais de desempenho térmico em vedações verticais.

De acordo com os parâmetros definidos pela NBR 15575:2021, a transmitância térmica obtida pelo método simplificado foi de $1,3227 \text{ W}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$, valor inferior ao limite máximo permitido para a zona bioclimática 1R, que é de $2,7 \text{ W}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$. A capacidade térmica calculada foi de $218,68 \text{ J}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$, superando o valor mínimo normativo de $130 \text{ J}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$. Esses resultados confirmam que o sistema de vedação da edificação atende aos requisitos de desempenho térmico estabelecidos, sendo adequado para as condições climáticas da região.

4.3.3 Edificação Dover Mountain

Na comparação entre os valores obtidos pelo método de cálculo simplificado e aqueles provenientes da simulação no software THERM, aplicados à edificação Dover Mountain, verifica-se uma maior diferença comparando com as demais edificações. Ainda assim, os valores estão alinhados em magnitude e comportamento, o que reforça a confiabilidade do modelo analítico. É natural que ocorram pequenas discrepâncias, ainda mais em sistemas com geometria mais complexa, como no caso deste, uma vez que o THERM oferece uma análise mais detalhada, incorporando fatores como pontes térmicas e a modelagem tridimensional das camadas.

Com base nos critérios da NBR 15575:2021, o valor de transmitância térmica obtido pelo método simplificado foi de $1,889 \text{ W}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$, atendendo ao limite máximo de $2,5 \text{ W}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$ para a zona bioclimática 3A. Quanto à capacidade térmica, o valor alcançado foi de $194,775 \text{ J}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$, também em conformidade com o mínimo exigido de $130 \text{ J}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$. Esses resultados demonstram que o desempenho térmico do sistema

de vedação é satisfatório, indicando que os materiais e a composição adotada contribuem para o conforto térmico da edificação em seu contexto climático.

4.4 Síntese comparativa e discussão geral

A seguir, apresenta-se uma tabela comparativa entre os resultados obtidos para as três edificações analisadas, com foco nos parâmetros de desempenho térmico das vedações verticais externas. Os valores de transmitância térmica (U) e capacidade térmica (C) alternam entre os casos estudados, refletindo as diferenças entre os sistemas construtivos, os materiais empregados, suas espessuras e acabamentos. Essa comparação permite visualizar com maior clareza a influência das características construtivas no desempenho térmico final de cada vedação, considerando as distintas zonas bioclimáticas e as condições específicas de cada projeto.

Tabela 5 – Comparação dos resultados obtidos

Edifício	Descrição	Therm	Método Simplificado	
		U (W/m ² .K)	U (W/m ² .K)	C (J/m ² .K)
Grandi. (ZR1)	Revestimento argamassado tradicional	1,6979	1,6427	153,252
Lá Tenê (ZR1)	Placa EPS aderida com AC-III	1,3891	1,3227	218,68
Dover M.(Z3A)	Textura, selante e pastilha aderida com AC-III	2,215	1,889	194,775

Fonte: Autor (2025)

A análise apresentada em formato de tabela (Tabela 5) possibilita uma leitura crítica dos resultados obtidos, ao facilitar a comparação direta entre os valores calculados para cada edificação. Esse formato contribui para identificar, de forma objetiva, quais soluções construtivas se mostram mais adequadas em função das exigências térmicas específicas de cada zona bioclimática.

Embora os sistemas de vedação avaliados neste estudo tenham atendido aos limites máximos de transmitância térmica estabelecidos pela ABNT NBR 15575 para suas respectivas zonas bioclimáticas, é importante refletir sobre cenários em que esse parâmetro fosse ultrapassado. Nesse caso, o sistema de vedação deixaria de cumprir os requisitos mínimos de desempenho térmico, comprometendo o conforto dos usuários e possivelmente elevando o consumo energético com climatização artificial. A correção dessa deficiência poderia ser realizada por meio de diferentes estratégias, como o aumento da espessura da vedação, a inserção de camadas de isolamento térmico (interno ou externo), a substituição por materiais de menor condutividade

térmica, ou ainda pela adoção de sistemas de fachada ventilada, que contribuem para o desacoplamento térmico entre o ambiente externo e interno.

Além disso, é relevante considerar que o estudo concentrou-se em edificações localizadas nos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, inseridas em zonas bioclimáticas 1R e 3A. Entretanto, em outras regiões brasileiras — como no Centro-Oeste ou no Nordeste — as exigências de desempenho térmico mudam significativamente, tanto pela intensidade do calor quanto pelas características de insolação e umidade. Nessas regiões, uma baixa transmitância térmica pode ser prejudicial, e a adoção de estratégias passivas se torna mais crítica. Portanto, soluções que foram eficazes no sul do país poderiam se mostrar insuficientes em outras zonas, exigindo ajustes no sistema construtivo. Isso reforça a importância de projetar vedações compatíveis com a realidade climática local, em alinhamento com as recomendações da NBR 15220-3 e os parâmetros de conforto definidos para cada bioclima.

5 CONCLUSÃO

5.1 Análise geral

Embora os sistemas de vedação analisados tenham apresentado resultados compatíveis com os critérios estabelecidos pela ABNT NBR 15575:2021 – Edificações habitacionais – Desempenho, é fundamental adotar uma abordagem crítica quanto aos reais significados dessa aprovação. O atendimento normativo, embora importante, não é sinônimo de garantia de conforto térmico pleno para os usuários. Os parâmetros prescritos na norma — como resistência térmica (R) e transmitância térmica (U) — representam indicadores técnicos relevantes, mas reduzem o conceito de conforto a uma lógica quantitativa, que não contempla a complexidade das condições reais de uso e ocupação. Fatores como a variação de temperatura ao longo do dia, a ventilação natural, a radiação solar, a umidade do ar e até mesmo a iluminação natural influenciam diretamente a sensação térmica nos ambientes internos, mas não são plenamente considerados pelo método simplificado de cálculo previsto na norma vigente.

Todos os sistemas de vedação analisados neste trabalho utilizam materiais reconhecidos como eficientes e compatíveis com a tecnologia construtiva atual, demonstrando ser soluções tecnicamente viáveis e coerentes com as práticas da

construção civil contemporânea. No entanto, embora esses sistemas atendam aos requisitos de desempenho térmico estabelecidos pela norma, ainda é necessário que sejam estudados de forma mais aprofundada, com foco em critérios que vão além da simples aprovação normativa.

É preciso compreender como essas soluções se comportam em relação ao conforto do usuário, o que implica considerar variáveis mais complexas e subjetivas do que aquelas previstas no escopo atual das normas técnicas. Considerando a grande extensão territorial do Brasil e sua imensa diversidade climática, torna-se evidente que diferentes regiões apresentam necessidades variadas de desempenho térmico e conforto ambiental. Por esse motivo, é necessário um refinamento contínuo dos valores normativos, com o objetivo de aprimorar os critérios de desempenho e aproximar de forma mais precisa os parâmetros técnicos aos reais níveis de conforto esperados para cada zona bioclimática.

Essa heterogeneidade climática reforça a importância de desenvolver métodos de análise e regulamentações que considerem as especificidades regionais, de modo a promover soluções construtivas mais adequadas e eficientes para cada contexto. A própria metodologia simplificada, amplamente utilizada por sua praticidade, possui limitações para representar elementos construtivos com geometrias complexas ou sistemas com múltiplas camadas e materiais distintos, o que pode impactar a precisão das estimativas de desempenho térmico.

Além disso, a busca por edificações termicamente eficientes está diretamente ligada aos benefícios ambientais e à sustentabilidade. Sistemas que proporcionam bom desempenho térmico contribuem para a redução da necessidade de climatização artificial, diminuindo o consumo energético e, conseqüentemente, as emissões de gases de efeito estufa associados à geração de energia. Assim, a adoção de soluções construtivas com melhor desempenho térmico representa um passo importante para a mitigação dos impactos ambientais da construção civil, além de promover economia de energia e maior conforto para os usuários.

Portanto, os resultados obtidos não apenas evidenciam a viabilidade das soluções construtivas analisadas como alternativas tecnicamente aceitáveis, mas também lançam luz sobre a necessidade de um aperfeiçoamento contínuo nos instrumentos de avaliação do desempenho térmico. Isso inclui tanto o fortalecimento dos critérios normativos, com faixas mais criteriosas e regionalizadas, quanto a

adoção de ferramentas de simulação mais robustas na prática de projeto. Nesse contexto, destaca-se a importância de associar a análise técnica com uma visão mais ampla, que considere o usuário final e sua experiência de conforto, especialmente em um país de dimensões e realidades climáticas tão diversas quanto o Brasil.

5.2 Resumo das descobertas

O presente estudo evidenciou que o desempenho térmico das vedações verticais externas está diretamente relacionado às escolhas construtivas adotadas — como espessuras de elementos, tipos de materiais e acabamento superficial — e que tais características variam de forma significativa entre os sistemas analisados.

Foi possível constatar que, embora todas as edificações tenham atendido aos requisitos mínimos da norma de desempenho (ABNT NBR 15575), os resultados de transmitância e capacidade térmica indicaram variações relevantes na eficiência térmica das vedações, sobretudo quando comparadas entre zonas bioclimáticas distintas. A simulação computacional reforçou a importância da continuidade do revestimento, da espessura dos elementos e da inércia térmica como fatores determinantes na retenção ou dissipação do calor.

5.3 Implicações para o setor

Os resultados obtidos apontam para a necessidade de maior atenção à etapa de projeto das vedações verticais externas, especialmente em regiões com exigências térmicas mais severas.

A adoção de sistemas construtivos mais adequados ao clima local pode contribuir significativamente para o conforto térmico dos usuários e para a eficiência energética das edificações.

Além disso, o estudo ressalta a importância da compatibilização entre norma técnica e prática construtiva, destacando que decisões aparentemente simples, como o tipo de acabamento ou a qualidade da argamassa colante, impactam diretamente o desempenho térmico do edifício.

O uso de ferramentas como o THERM e o cálculo normativo reforça a viabilidade da análise técnica na fase de projeto, inclusive para edificações de pequeno porte.

Outro ponto relevante é que um sistema eficiente para as condições da região Sul nem sempre será adequado para regiões como o Norte e o Nordeste, onde predominam temperaturas elevadas ao longo do ano. Nesses locais, a elevada resistência térmica de determinadas vedações — desejável no Sul — pode resultar em acúmulo de calor e gerar desconforto térmico para os usuários das unidades habitacionais.

5.4 Limitações do estudo

Entre as limitações do presente trabalho, destaca-se a dependência de informações fornecidas pelas construtoras e fornecedores, o que pode restringir a precisão de alguns dados sobre propriedades térmicas dos materiais.

Embora os valores tenham sido complementados com base em normas técnicas e referências acadêmicas, pequenas variações podem ocorrer em função de condições reais de aplicação e execução.

Além disso, a análise restringiu-se às vedações verticais externas, sem considerar as trocas térmicas com cobertura, esquadrias ou pisos, que também interferem no desempenho térmico global da edificação. Por fim, as simulações foram realizadas com base em condições representativas e estáticas, não contemplando variações de uso ou ocupação.

5.5 Sugestões para estudos futuros

Recomenda-se que futuros trabalhos aprofundem a análise térmica das vedações verticais incorporando variáveis como ventilação cruzada, sombreamento por elementos arquitetônicos, e comportamento sazonal (verão/inverno) em diferentes zonas bioclimáticas.

Além disso, a investigação de sistemas inovadores de fachada — como painéis pré-fabricados, elementos com isolamento térmico integrado e materiais de mudança de fase (PCM) — pode ampliar o leque de soluções viáveis. Outra sugestão é a aplicação de métodos experimentais em campo, com instrumentação de células-teste ou monitoramento de edificações reais ao longo do tempo, a fim de validar e calibrar os resultados obtidos por simulação.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, Carolina Ventura Ribeiro; SILVA, Luciano Falcão da. Aprendendo com o ambiente construído: análise de decisões projetuais baseadas em conforto térmico através da simulação computacional. **Cidades Verdes**, v. 12, n. 34, 2024. ISSN 2317-8604.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos Gerais**. Rio de Janeiro, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas**. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 10456: Materiais de construção — propriedades térmicas — valores tabulados e procedimentos para determinação de valores térmicos declarados e de projeto**. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

BALDISSERA, Vívian Cezimbra; LOVATO, Adriana Vicenzi. Análise do desempenho térmico de sistema de vedação em alvenaria de blocos de concreto em atendimento à NBR 15575. In: **ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO – ENTAC**, 18., 2020, Porto Alegre. *Anais [...]*. Porto Alegre: ANTAC, 2020. p. 1–10.

BROCARDI JUNIOR, Marcos Antônio; SPIAZZI, Luana Vanessa; PEREIRA FILHO, José Ilo. Análise do efeito da substituição parcial de areia por argila expandida e vermiculita no desempenho térmico de argamassas. In: **ENTAC**, 18., 2020, Porto Alegre. *Anais [...]*. Porto Alegre: ANTAC, 2020.

CARBONARI, L. T.; TORALLES, B. M.; GIGLIO, T. G. F. Impressão 3D na construção civil: uma revisão sistemática com foco no desempenho termoenergético. In: **ENTAC**, 20., 2024, Maceió. *Anais [...]*. Maceió: ANTAC, 2024.

CASTELLO, Ana Júlia Pilon et al. Comportamento térmico de fachadas urbanas com diferentes revestimentos cerâmicos. In: **ENCAC**, 17., 2023, São Paulo. *Anais [...]*. São Paulo: ANTAC, 2023. p. 1–8.

CAVALCANTI, Fernando Sá; MONTEIRO, Leonardo Marques. Projeto de edificações resilientes nas zonas bioclimáticas 1 a 4: impacto do envelhecimento das fachadas e mudanças climáticas no desempenho térmico. In: **SBQP**, 8., 2023, Pelotas. *Anais [...]*. Pelotas: PROGRAU/UFPEL, 2023. p. 1–10. DOI: <https://doi.org/10.46421/sbqp.v3i.3285>.

CRUZ, Maria Cláudia Lima da. Conforto térmico nas edificações: materiais e técnicas construtivas. Um estudo comparativo entre a cidade de Ouro Preto – Brasil e Porto – Portugal. **Revista Arq.Urb**, São Paulo, n. 27, p. 780–792, jan./abr. 2020.

ELIAS PALUDO INCORPORAÇÕES. **Elias Paludo Incorporações**. Disponível em: <https://www.epaludoinc.com.br/>. Acesso em: 5 jul. 2025.

FONSECA, Mariana Garcia de Oliveira; OLIVEIRA, Diego Machado de; CASTRO, Lúcio Flávio de Oliveira. Estudo de argamassas de revestimento com areia de

britagem e vermiculita para melhoria de propriedades térmicas. In: **SBTA**, 13., 2023, Belo Horizonte. *Anais [...]*. Belo Horizonte: UFMG, 2023.

FONTES, Adna Érica Melo de Sousa et al. Análise mecânica e térmica de argamassas de revestimento com substituição parcial do agregado por argila expandida. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 22, n. 3, p. 299–311, jul./set. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212022000300620>. Acesso em: 31 maio 2025.

FRANCO, José Tomás. Como calcular a transmitância térmica (valor U) na envoltória de um edifício? **ArchDaily Brasil**, 30 jul. 2018. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/899167/como-calculer-a-transmitancia-termica-valor-u-na-envoltoria-de-um-edificio>. Acesso em: 24 jun. 2025.

GIMENEZ, Danúbia de Souza; QUARESMA, José Eduardo. Importância da mão de obra qualificada na engenharia civil. **Recima21**, v. 2, n. 11, 2021. DOI: <https://doi.org/10.47820/recima21.v2i11.949>.

GONÇALVES, João Victor Brochier; MARINOSKI, Deivis Luis; GUTHS, Saulo. Efeito do substrato e número de demãos na medição de emitância térmica de tintas. In: **ENTAC**, 20., 2024, Maceió. *Anais [...]*. Maceió: ANTAC, 2024.

GOUVEIA, Hugo Leonardo; SPOSTO, Rosa Maria. Indicadores de desempenho térmico de vedações verticais externas relacionados com o custo de habitação de interesse social com base na norma de desempenho no Brasil. **Revista Científica de Tecnologias**, Brasília, v. 2, n. 3, p. 1–15, 2016. ISSN 2447-7028.

GRUPO ITAPUI. **Grupo Itapui**. Disponível em: <https://grupoitapui.com.br/>. Acesso em: 5 jul. 2025.

HOLANDA, Erika Paiva Tenório de. **Novas tecnologias construtivas para produção de vedações verticais: diretrizes para o treinamento da mão-de-obra**. 2003. 159 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

LEÃO, Mariana Veríssimo Monção. **Análise da qualificação da mão de obra no setor da construção civil na cidade de Dourados (MS)**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2016.

MENDES, Mateus Veras. **Desempenho térmico de habitações de interesse social: estudo no semiárido nordestino**. 2019. 93 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Crateús, Crateús, 2019.

MENDES, N.; CLEMENTE, A. C. S.; GONÇALVES, J. C. S. Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 8, n. 1, p. 81–96, jan./mar. 2008.

MMC LAB. **Simulação térmica**. São Paulo: MMC Lab, 2025. Disponível em: <https://www.mmclab.com.br/simulacao-termica>. Acesso em: 24 jun. 2025.

NUNES, V. D. L. et al. A implantação da norma NBR 15575 e seu impacto no setor de construção civil. **PARC: Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, v. 12, p. e021010, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.20396/parc.v21i00.8656159>.

POSSAN, Edna; DEMOLINER, Carlos Alberto. Desempenho, durabilidade e vida útil das edificações: abordagem geral. **Revista Técnico-Científica do CREA-PR**, Curitiba, v. 1, p. 1–14, out. 2013. Disponível em: https://revistacrea-crea-pr-production.vercel.app/uploads/ckeditor/attachments/62bb3b13e58b63001fc1e79f/original_Modelo_Artigo_Cientifico.pdf. Acesso em: 31 maio 2025.

PUNTEL, Luísa; CARVALHO, Michele T. M.; SILVA, Caio F. S. Desafios na implementação da NBR 15.575 com enfoque nos parâmetros de desempenho térmico, lumínico e acústico. In: **ENCAC**, 17., 2023, São Paulo. *Anais [...]*. São Paulo: ANTAC, 2023.

SANTOS, Tássio Luiz dos; PORTO, Fernando Henrique Fiirst dos Santos; SILVA, Arthur Santos. Análise da correlação entre conforto e desempenho térmico em habitações de interesse social por simulação computacional. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 20, n. 2, p. 211–229, abr./jun. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212020000200396>. Acesso em: 31 maio 2025.

SIMÕES, Gianna Monteiro Farias; LEDER, Solange Maria. No desconforto do lar. In: **ENTAC**, 19., 2022, Canela. *Anais [...]*. Porto Alegre: ANTAC, 2022.

VERUSSA, J. S. Um panorama sobre a utilização de células-teste para estudos de campo em pesquisas na área da construção civil. **Revista de Arquitetura IMED**, Passo Fundo, v. 8, n. 1, p. 33–51, jan./jun. 2022. DOI: <https://doi.org/10.18256/2318-1109.2022.v8i1.5457>.

VOUGAN INCORPORADORA. **Vougan Incorporadora**. Disponível em: <https://vouganincorporadora.com.br/>. Acesso em: 5 jul. 2025.

ZANONI, V. A. G. et al. Estudo higrotérmico na autoconstrução: simulação computacional e medições em campo. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 20, n. 3, p. 109–120, jul./set. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212020000300420>.