

## USO DO BIM PARA ESTUDO DE DESEMPENHO TÉRMICO ALIADO À ANÁLISE ORÇAMENTÁRIA DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS EM EDIFICAÇÕES

VARETO, Luís Filipe<sup>1</sup> ([luis.vareto@aluno.ufop.edu.br](mailto:luis.vareto@aluno.ufop.edu.br)); CARVALHO, Aldo Ribeiro de<sup>1</sup> ([aldo.carvalho@engenharia.ufjf.br](mailto:aldo.carvalho@engenharia.ufjf.br)); CASTRO, Júlia Assumpção de<sup>1</sup> ([julia.assumpcao@aluno.ufop.edu.br](mailto:julia.assumpcao@aluno.ufop.edu.br)); MENDES, Vítor Freitas<sup>1,3</sup> ([freitasv.eng@gmail.com](mailto:freitasv.eng@gmail.com)); MENDES, Júlia Castro<sup>2</sup> ([juliacaastro.mendes@ufjf.br](mailto:juliacaastro.mendes@ufjf.br))

<sup>1</sup>Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), Brasil

<sup>2</sup>Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), Brasil

<sup>3</sup>Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG – Santa Luzia), Brasil

**Palavras-chave:** Desempenho térmico; Análise térmica; Análise orçamentária; BIM.

### Resumo

O desempenho térmico da edificação está diretamente ligado ao conforto térmico dos seus usuários e ao consumo sustentável de energia para o condicionamento do ambiente interno. Além do desempenho, no âmbito da construção civil, deve-se considerar o custo do empreendimento e, assim, garantir sua viabilidade financeira. Nesse sentido, a utilização de softwares BIM permite criar modelos detalhados e atribuir propriedades aos seus elementos, tornando possível realizar diversas análises em cada um dos sistemas que compõem edificações. Assim, este trabalho estudou 64 combinações de envoltória de 3 residências distintas, através da variação de 4 tipos de pisos, 4 de paredes e 4 de coberturas, a fim de identificar a consequência da variação dos sistemas construtivos para a eficiência energética e orçamentária. Para o desenvolvimento e análise dos modelos, foi adotado o software Autodesk Revit 2021. Para a composição e análise dos custos foram utilizadas as tabelas da SINAPI e SBC. Dessa forma, foram identificados os diferentes desempenhos dos sistemas de parede, piso e cobertura do ponto de vista térmico e financeiro. Dentre os resultados encontrados, foi observado que a envoltória vertical é o sistema que mais influencia nas características térmicas e orçamentárias das edificações. Nos sistemas com melhores custo-benefício destacam-se a cobertura com telha de fibrocimento com manta de fibra de vidro sobre o forro, o piso com porcelanato e, principalmente, as paredes de gesso acartonado. Já os sistemas com piores resultados de custo-benefício são compostos por parede de concreto ou bloco de concreto. Por fim, constatou-se que a análise térmica e financeira é fundamental desde a etapa de projeto, uma vez que auxilia na tomada de decisões para garantir o maior custo-benefício para os usuários e promovendo edificações mais sustentáveis.

### 1 INTRODUÇÃO

O desempenho térmico de uma edificação se refere ao fenômeno do processamento de energia da edificação equacionando entre os ambientes internos e os seus arredores (JOSEPH, JOSÉ e HABEED, 2015). O desempenho térmico se relaciona diretamente com o conforto térmico e a eficiência energética da edificação, sendo a envoltória dos edifícios um dos principais fatores que influenciam no desempenho (MOHAMMAD e SHEA, 2013).

O conceito de conforto térmico se refere ao estado mental, ou seja, à satisfação do homem com o ambiente circundante, sendo essa uma avaliação subjetiva (ASHRAE, 2017). A temperatura, umidade,

1

velocidade do ar e radiação solar incidente são umas das principais variáveis ambientais do conforto térmico (LAMBERTS *et al.*, 2006). A eficiência energética trata-se da capacidade de uma edificação proporcionar conforto aos usuários com baixo consumo de energia, característica essa singular, para cada edificação (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014). Estudos revelam que uma edificação com eficiência energética possui, principalmente, um bom desempenho térmico, de modo a proporcionar conforto térmico aos que a utilizam com o mínimo uso possível de equipamentos elétricos. Edificações que não possuem um desempenho térmico adequado podem afetar o bem-estar, a saúde e o conforto dos usuários, que acabam buscando, como remediação, o uso desequilibrado de sistemas elétricos de aquecimento, ventilação e condicionamento de ar. Essas ações resultam num aumento considerável do consumo de energia, sendo reflexo da baixa eficiência energética da edificação (PIEIDADE, RODRIGUES e RORIZ, 2003). Mendes *et. Al* (2022), por exemplo, fizeram um estudo identificando as propriedades termofísicas do reboco das paredes de duas edificações que maximizam o seu desempenho térmico e a sua eficiência energética com base na temperatura de conforto dos ocupantes.

Entre as tecnologias existentes para projetar e avaliar o desempenho térmico de edificações tem-se a *Building Information Modeling* (BIM). O BIM possibilita, em um único modelo, gerar relatórios, checar inconsistências, determinar quantitativos de materiais, planilhas orçamentárias e diversas outras análises, entre elas a de desempenho térmico (EASTMAN, TEICHOLZ, *et al.*, 2008). Posto isso, o objetivo deste trabalho é realizar estudos de desempenho térmico e orçamentário em 64 combinações de sistemas construtivos de parede, piso e cobertura em 3 edificações residenciais, buscando encontrar a combinação com melhor custo-benefício entendendo, pois, a relação do custo dos materiais com os benefícios para o desempenho térmico das edificações.

## 2 METODOLOGIA

Este trabalho consiste em um estudo de caso de 3 edificações, sendo duas Habitações de Interesse Social (HIS), (Figura 1) e uma de alto padrão (Figura 2). Ele se divide em 3 etapas: 1) Modelagens arquitetônicas da HIS adaptada da Vila Sustentável de Franco *et al.* (2019) e das advindas da empresa Engeplena Engenharia Ltda (Itabirito/MG), usando o software Autodesk Revit 2021, com a inclusão dos custos dos insumos e serviços a partir dos valores dispostos no Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) e Stabile SBC Sistemas e Consultoria de Custos (SBC). 2) Variação dos sistemas construtivos para as paredes, coberturas e pisos das edificações. 3) Análise de custo e desempenho térmico para cada combinação construtiva analisada, considerando o período de um ano na cidade de São Paulo, localizada na zona bioclimática 3 (ABNT, 2022).

Figura 1. Modelos de Habitações Sociais estudados.

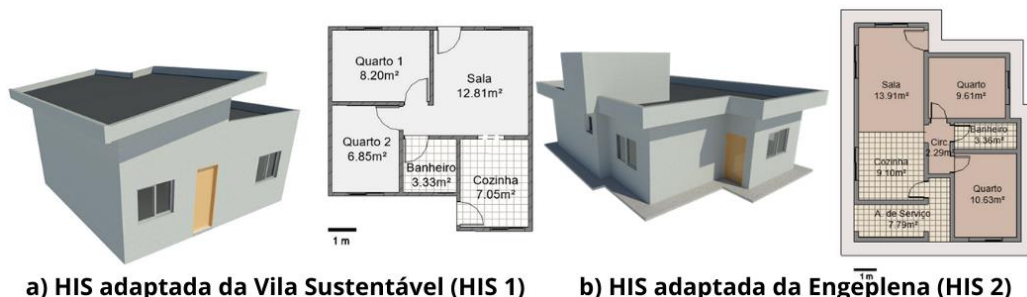


Figura 2. Modelo estudado de edificação de alto padrão.



## 2.1 Composição dos sistemas construtivos

Foram definidos 4 sistemas construtivos para as paredes, 4 para os pisos e mais 4 para a cobertura (Quadro 1), totalizando 64 combinações para implementar em cada edificação. A escolha dos sistemas foi em função do amplo conhecimento das técnicas de aplicação na construção civil. Previu-se uma pintura nos elementos verticais, considerando uma absorvância de 0,5 (ABNT, 2022).

**Quadro 1.** Especificações termofísicas e códigos SINAPI e SBC dos materiais dos sistemas construtivos, sendo “e” a espessura, “ρ” a massa específica, “λ” a condutividade térmica e “c” o calor específico.

Identificação dos Sistema Construtivos	Descrição do sistema do exterior para o interior (código SINAPI do material)	e (cm)	ρ (kg/m <sup>3</sup> )	λ (W/(m·K))	c (kJ/(kg·K))	
1.1	1.1 Bloco cerâmico 9cm + Argamassa	Argamassa de revestimento (87529)	2	1950	1,15	1
		Bloco furado cerâmico <sup>(a)</sup> (103356)	9	459,82	0,47	0,93

Identificação dos Sistema Construtivos		Descrição do sistema do exterior para o interior (código SINAPI do material)	e (cm)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (W/(m·K))	c (kJ/(kg·K))	
	U = 2,5 W/(m <sup>2</sup> ·K) CT = 116,5 kJ/(m <sup>2</sup> ·K)	Argamassa de revestimento (87529)	2	1950	1,15	1	
	1.2 Bloco de concreto 14cm + Argamassa U = 2,9 W/(m <sup>2</sup> ·K) CT = 195,7 kJ/(m <sup>2</sup> ·K)	Argamassa de revestimento (87529)	2	1950	1,15	1	
		Bloco furado de concreto <sup>(a)</sup>	14	840,79	1,01	1	
		Argamassa de revestimento (87529)	2	1950	1,15	1	
	1.3 Paredes de concreto U = 4,4 W/(m <sup>2</sup> ·K) CT = 230,0 kJ/(m <sup>2</sup> ·K)	Parede de concreto (100067+99235)	10	2300	1,75	1	
	1.4 Paredes de gesso acartonado U = 2,4 W/(m <sup>2</sup> ·K) CT = 18,4 kJ/(m <sup>2</sup> ·K)	Painel de gesso acartonado (96361)	1,25	875	0,35	0,84	
		Caixa de ar	15	-	-	-	
		Painel de gesso (96361)	1,25	875	0,35	0,84	
	2. Cobertura	2.1 Telha de fibrocimento sobre laje sem manta isolante sobre forro de gesso U = 1,4 W/(m <sup>2</sup> ·K) CT = 248,3 kJ/(m <sup>2</sup> ·K)	Telha de fibrocimento (92543+942210)	0,6	1800	0,95	0,84
			Caixa de ar	15	-	-	-
Laje maciça (92769+103681)			10	2300	1,75	1	
Caixa de ar			15	-	-	-	
Forro de gesso (96109)			1,25	875	0,35	0,84	
2.2 Laje impermeabilizada com manta isolante sobre forro de gesso U = 0,6 W/(m <sup>2</sup> ·K) CT = 248,2 kJ/(m <sup>2</sup> ·K)		Impermeabilizante (98546)	0,5	1000	0,17	1,46	
		Laje maciça (92769+103681)	10	2300	1,75	1	
		Caixa de ar	13	-	-	-	
		Lã de vidro (70367 <sup>(b)</sup> )	5	50	0,045	0,7	
		Forro de gesso (96109)	1,25	875	0,35	0,84	
2.3 Laje impermeabilizada sem manta isolante sobre forro de gesso U = 1,8 W/(m <sup>2</sup> ·K) CT = 246,5 kJ/(m <sup>2</sup> ·K)		Impermeabilizante (98546)	0,5	1000	0,17	1,46	
		Laje maciça (92769+103681)	10	2300	1,75	1	
		Caixa de ar	15	-	-	-	
		Forro de gesso (96109)	1,25	875	0,35	0,84	
2.4 Telha de fibrocimento sobre laje com manta isolante sobre forro de gesso U = 0,5 W/(m <sup>2</sup> ·K) CT = 250 kJ/(m <sup>2</sup> ·K)		Telha de fibrocimento (92543+942210)	0,6	1800	0,95	0,84	
		Caixa de ar	15	-	-	-	
		Laje maciça (92769+103681)	10	2300	1,75	1	
		Caixa de ar	13	-	-	-	
		Lã de vidro (70367 <sup>(b)</sup> )	5	50	0,045	0,7	
3. Piso		3.1 Porcelanato U = 4,8 W/(m <sup>2</sup> ·K) CT = 259,9 kJ/(m <sup>2</sup> ·K)	Lastro de concreto e contrapiso de argamassa (87765)	10	2300	1,75	1
	Porcelanato (87259)		1	2300	0,84	1,30	
	3.2 Vinílico U = 4,5 W/(m <sup>2</sup> ·K) CT = 244,95 kJ/(m <sup>2</sup> ·K)	Lastro de concreto e contrapiso de argamassa (87765)	10	2300	1,75	1	
		Piso Vinílico (101727)	0,5	1300	0,2	2,3	
	3.3 Laminado U = 4,5 W/(m <sup>2</sup> ·K)	Lastro de concreto e contrapiso de argamassa (87765)	10	2300	1,75	1	

Identificação dos Sistema Construtivos	Descrição do sistema do exterior para o interior (código SINAPI do material)	e (cm)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (W/(m·K))	c (kJ/(kg·K))
CT = 240,6375 kJ/(m <sup>2</sup> ·K)	Piso Laminado (170333)	0,5	925	0,2	2,3
3.4 Taco U = 3,8 W/(m <sup>2</sup> ·K) CT = 254,12 kJ/(m <sup>2</sup> ·K)	Lastro de concreto e contrapiso de argamassa (87765)	10	2300	1,75	1
	Taco de madeira (101751)	2	900	0,29	1,34

(a) Materiais que não são homogêneos na direção do fluxo de calor e que, por isso, tiveram suas propriedades termofísicas calculadas conforme NBR 15220 (ABNT, 2022).

(b) Código SBC. Demais códigos sem superinscrição referem-se aos dados SINAPI.

## 2.2 Análise de custo

Posto isto, realizou-se a modelagem do anteprojeto estrutural no Revit e se obteve o volume de concreto necessário para cada edificação. Para estimar o peso da armação e das áreas de fôrmas foi considerado uma taxa de aço de 83 kg por metro cúbico de concreto e uma taxa de fôrmas de 12m<sup>2</sup> por metro cúbico de concreto (MATTOS, 2019). Ressalta-se que o sistema construtivo de paredes de concreto é de natureza estrutural, o que não requer a execução de pilares e vigas, reduzindo o custo total da obra.

Os quantitativos de materiais foram cotados segundo seus custos, de acordo com a tabela SINAPI e SBC. Para este trabalho, as tabelas adotadas são as de referência de outubro de 2022 e os códigos das composições são apresentados no Quadro 1. Por fim, foram inseridos os dados de custo por unidade de metro quadrado e quantitativo total no Revit, o qual realizou de forma automática os cálculos orçamentários de cada edificação.

## 2.3 Análise de desempenho térmico

A simulação de desempenho térmico ocorreu no Revit 2021 (AUTODESK, 2022) em conjunto com o software EnergyPlus, versão 9.1 (ENERGYPLUS, 2022). Após a modelagem das edificações, os cômodos foram caracterizados com o padrão de uso e ocupação, conforme NBR 15220 (ABNT, 2022). Em seguida foram definidas zonas térmicas separadas para cada ambiente fechado das edificações, o que permitiu configurar quais espaços estão sujeitos a aclimação mecânica. Esta que ocorreu somente nas zonas térmicas de longa permanência, i.e., quartos e salas (ABNT, 2022).

A análise do desempenho térmico se deu pela carga térmica que a edificação necessita para ajustar a temperatura interna dentro da faixa operativa 21 °C – 23 °C determinada pela NBR 15575 (ABNT, 2021). A localização e os dados climáticos foram extraídos da estação meteorológica 838846 do Autodesk Climate Server. A partir do momento em que a temperatura do interior ultrapassasse um dos limites da faixa operativa, o sistema mecânico era acionado para aquecer ou resfriar o ambiente e, assim, o programa media a energia (em kWh) gasta para retornar a temperatura interna aos padrões operativos (MENDES, FARDIN, *et al.*, 2022).

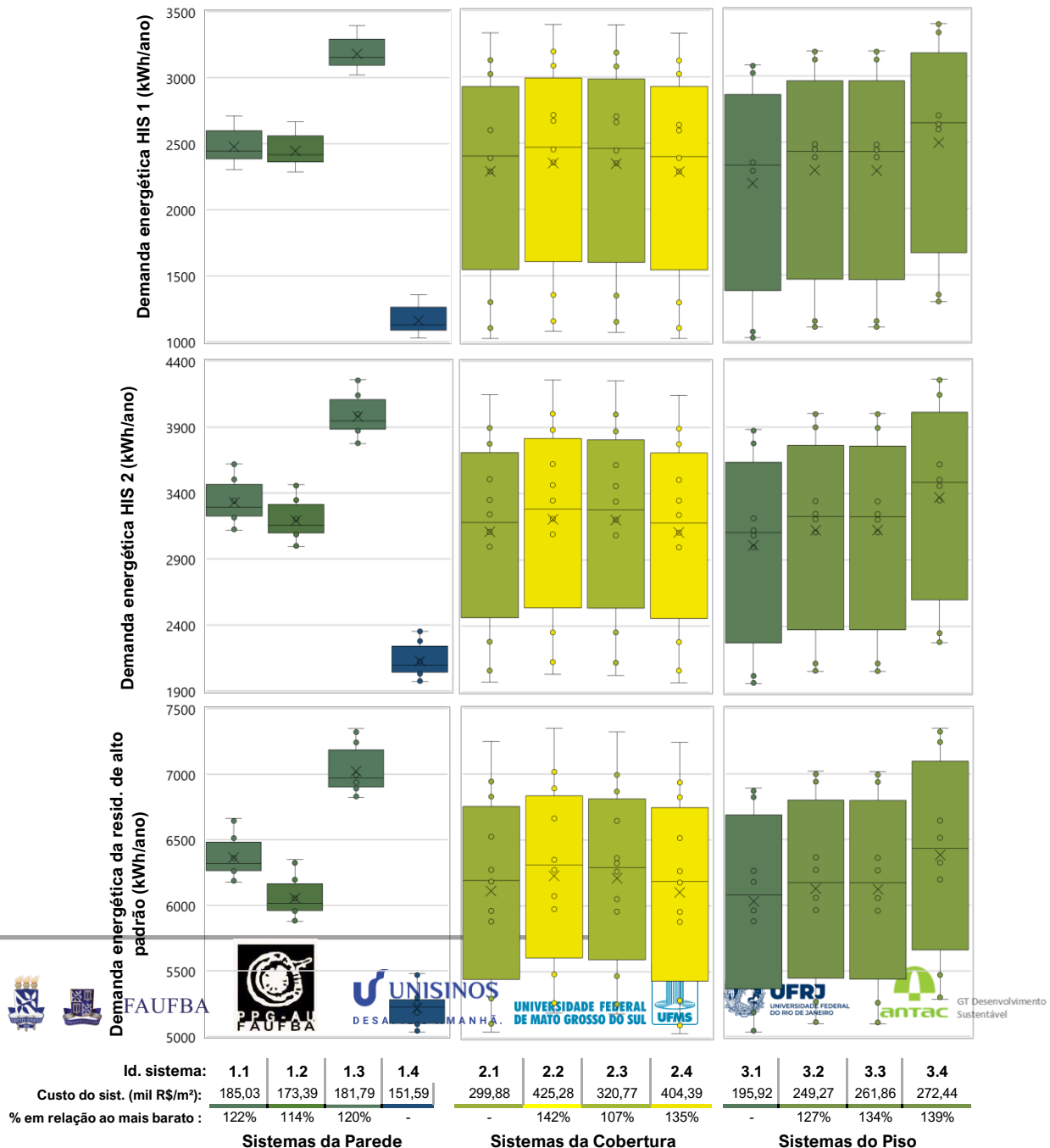
Salienta-se que, para cada combinação de sistemas investigada, foi gerado um modelo energético para simulação, obtendo resultados diferentes de demanda de energia em cada combinação construtiva adotada. Quanto maior a demanda de carga térmica, menor o desempenho térmico da residência. Para

esse trabalho foi desconsiderada a possibilidade de ventilação natural das edificações por meio da abertura de janelas e portas.

### 3 RESULTADOS

A síntese das análises térmicas e orçamentárias são apresentadas na Figura 3, em um conjunto de gráficos de vela. Nota-se que os comportamentos energéticos são semelhantes entre os sistemas construtivos, sob a ótica do tipo e tamanho da edificação, variando apenas nos custos atrelados. A residência de alto padrão possui maior consumo de energia em função da maior área dos espaços climatizados, que totaliza 115 m<sup>2</sup>. A HIS 1, que possui menor área climatizada, 28 m<sup>2</sup>, foi a edificação que consumiu menos energia. Em relação aos custos por metro quadrado atrelados às edificações, o sistema de coberturas é mais dispendioso, seguido do sistema de pisos e paredes.

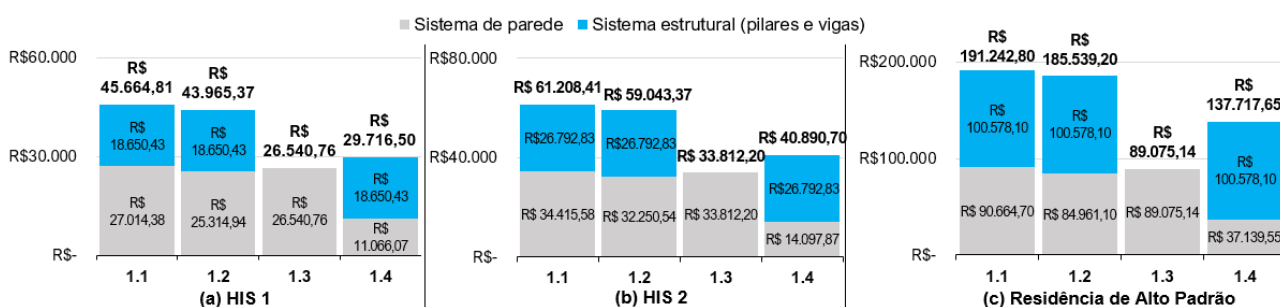
Figura 3. Síntese das análises térmica e orçamentária.



Observa-se que as paredes são a melhor estratégia para otimizar o desempenho térmico das edificações e possuem o menor custo quando dissociadas da necessidade de construção do sistema estrutural das residências. Além disso, nota-se que os sistemas de fechamento vertical são determinantes para o desempenho térmico das edificações. As velas dos gráficos do sistema de paredes são menores, o que representa uma maior concentração dos resultados em uma menor faixa de valor de demanda energética. Os sistemas de piso e cobertura possuem menor importância, quanto ao desempenho térmico, uma vez que as velas desses sistemas são extensas, possuindo grande variação entre os resultados de carga térmica. Esse comportamento é característico de baixa relevância dos resultados de eficiência energética.

As análises realizadas considerando as residências com paredes de gesso acartonado (sistema 1.4) foram as que obtiveram maior eficiência energética ao menor custo de implementação (R\$ 151,59/m<sup>2</sup>), desconsiderando o sistema estrutural. Se considerado a necessidade de sistema estrutural, as paredes de gesso acartonado são o segundo menor custo entre as edificações (Figura 4). O consumo médio das combinações com esse sistema para as residências HIS 1 foi de 1159,75 kWh/ano, para a HIS 2, o consumo foi de 2126,19 kWh/ano e, para a residência de alto, 5215 kWh/ano. As edificações com sistema construtivo 1.3 (paredes de concreto) são as de pior eficiência energética, possuindo um elevado consumo energético, de 3180,63 kWh/ano para a HIS 1, de 3980,94 kWh/ano para a HIS 2 e, de 7023 kWh/ano para a residência de alto padrão.

**Figura 4.** Comparação do custo de construção dos sistemas de parede e do sistema estrutural.

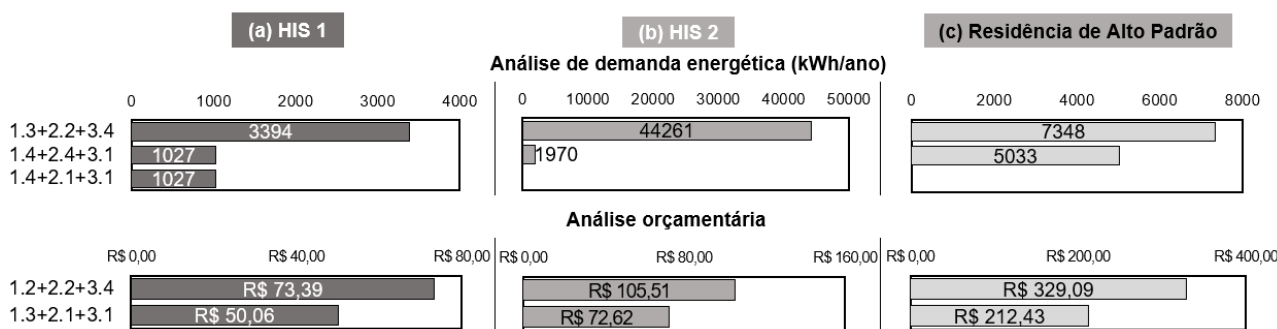


Os sistemas de cobertura possuem pouca variação entre os resultados de carga térmica. O sistema de telha de fibrocimento, laje, lã de vidro e forro (sistema 2.4) foi o de melhor desempenho, enquanto o sistema de laje impermeabilizada, lã de vidro e forro (sistema 2.2), o de pior eficiência energética. A variação entre o melhor e pior sistema de cobertura resulta em uma economia máxima de R\$ 40,44 R\$ 65,05 e R\$ 82,38 no gasto anual de energia da HIS 1, HIS 2 e residência de alto padrão, respectivamente, segundo valores da tarifa local (ENEL, 2023). Já os custos do sistema construtivo do piso foram medianos, ao comparar com os outros sistemas. Nas análises de eficiência energética, o sistema de piso cerâmico (3.1) apresentou os melhores resultados médios em todas as edificações, e foi o sistema mais barato (R\$ 195,00/m<sup>2</sup>). As médias de demanda energética foram de 2061,00 kWh/ano na HIS 1, 3009,88 kWh/ano para a HIS 2 e 6028,75 kWh/ano referente a residência de alto padrão. Os sistemas com piso vinílico (3.2) e piso laminado (3.3) tiveram comportamentos praticamente idênticos, apresentando diferenças médias de demanda energética abaixo de 4,2 kWh/ano para todas as residências. Também se notou pouca diferença em relação aos custos dos sistemas 3.2 (R\$ 249,27/m<sup>2</sup>) e 3.3 (R\$ 261,86/m<sup>2</sup>), cerca de 5%. Já o piso de taco

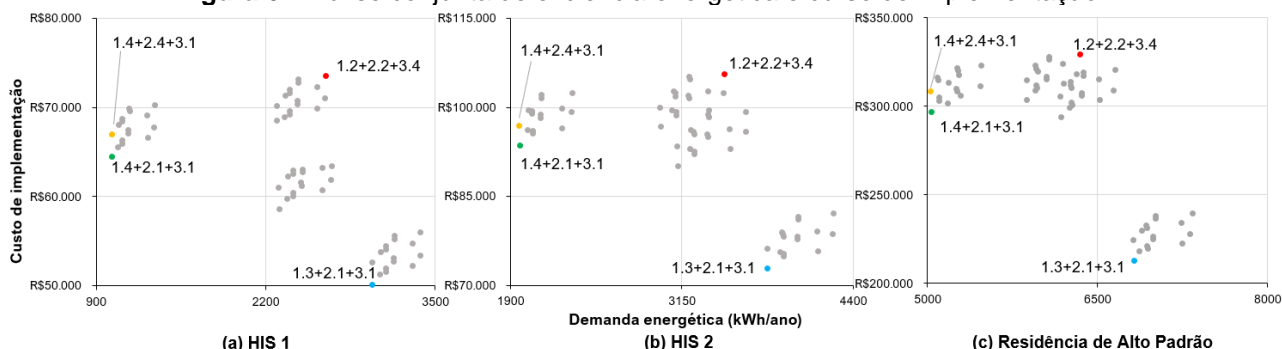
(sistema 3.4) apresentou o pior resultado na análise de desempenho térmico de todas as edificações, além de ser o sistema com custo mais elevado (R\$ 272,44/m<sup>2</sup>). Ele é 39% mais caro se comparado com sistema com piso cerâmico (3.1), que é o mais barato. As médias de desempenho térmico do sistema 3.4 foi de 2350,2 kWh/ano para a HIS 1, 3371 kWh/ano para a HIS 2 e 6381,81 kWh/ano para a residência de alto padrão.

Esses resultados vão de encontro com os apresentados na Figura 5, que mostra as combinações construtivas que obtiveram melhor e pior resultados nas análises de desempenho térmico e custo de implementação. Já a Figura 6 apresenta uma abordagem conjunta dos dois parâmetros. Verifica-se que a melhor combinação para o desempenho térmico da edificação foi a mesma (1.4+2.4+3.1), tendo, na HIS 1, uma outra combinação que obteve a mesma demanda energética (1.4+2.1+3.1). Por sua vez, em todas as edificações analisadas, a pior combinação para o desempenho térmico foi a 1.3+2.2+3.4. Nas 3 edificações, também foi verificada que a combinação 1.3+2.1+3.1 apresentou o menor custo de implementação, enquanto a combinação 1.2+2.2+3.4 o pior. Quanto aos sistemas de piso e cobertura, não se observa um padrão muito bem definido na sua contribuição para a melhoria/piora do desempenho térmico das edificações, reforçando, mais uma vez, a importância do sistema de parede nesse quesito.

**Figura 5.** Melhores e piores combinações segundo análises de desempenho térmico (cima) e custo (baixo).



**Figura 6.** Análise conjunta de eficiência energética e curso de implementação.



Assim, cruzando os dados, percebe-se que a parede de painel de gesso acartonado (sistema 1.4) possui o menor valor de transmitância térmica: 2,4 W/(m<sup>2</sup>·K) (Quadro 1), i.e., trata-se da envoltória que transmite calor de uma superfície para outra com mais dificuldade, atuando como isolante (Lamberts, *et al.*, 2014). Entende-se, portanto, que esse sistema potencializou a capacidade da



edificação de reduzir os custos com o sistema de climatização mecânica, deixando o interior menos influenciado termicamente pelo exterior da edificação. Além disso, percebe-se que a transmitância térmica foi mais influente no sistema do que a capacidade térmica, pois estudos indicam que valores maiores de capacidade térmica reduziram a amplitude térmica interna, favorecendo ao desempenho térmico da edificação (Lamberts, *et al.*, 2014; Mendes, *et al.*, 2022).

Conforme o Quadro 1, a parede de concreto (sistema 1.3) possui o maior valor de transmitância térmica,  $4,4 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ , e a maior capacidade térmica,  $230 \text{ kJ}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ . Como já percebido, a capacidade térmica não foi significativa para a análise dos sistemas de parede, mas a alta transmitância térmica do sistema 1.3 o deixa menos isolante, transferindo mais calor entre o interior e o exterior da edificação, demandando mais energia para fazer a edificação se resfriar (em dias de altas temperaturas) ou se aquecer (em dias de baixas temperaturas). Contudo, ressalta-se que, de acordo com a NBR 15220 (ABNT, 2022), sistemas construtivos com esses valores de transmitância térmica ( $\leq 3,6 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ) devem ser desconsiderados para regiões como a de São Paulo, devido ao grande prejuízo no desempenho térmico. Entretanto, sem atenção às questões de desempenho térmico, a envoltória de paredes de concreto vem sendo amplamente utilizadas na execução de HIS, incentivada também por políticas governamentais como Programa Minha Casa Minha Vida e Casa Verde e Amarela (SILVA, LORENZON, *et al.*, 2013).

Assim, descartando as combinações com o sistema 1.3, em uma análise visual na Figura 6, nota-se que a combinação com melhor custo-benefício (ponto verde na Figura 6) é 1.4+2.1+3.1, que obteve o melhor custo e menos de 1% de diferença da combinação de melhor desempenho térmico. Já a combinação de maior custo de execução (1.2+2.2+3.4, ponto vermelho) é que se mostrou pior na análise de custo-benefício. Em síntese, nota-se que a escolha por materiais e sistemas construtivos mais caros (os quais são comumente assimilados a um maior controle tecnológico envolvido) podem não refletir em um melhor desempenho térmico à edificação. Em contrassenso, percebe-se que sistemas construtivos mais baratos podem oferecer o melhor desempenho térmico.

#### 4 CONCLUSÕES

O desempenho térmico influencia o bem estar e conforto dos usuários das edificações, além de impactar no consumo de energia com uso de equipamentos elétricos para aquecer ou resfriar os ambientes. A envoltória é um dos principais responsáveis pelo desempenho térmico de uma edificação. Diante disso, o presente estudo analisou, do ponto de vista térmico e financeiro, 64 combinações construtivas que variaram entre 4 tipos de parede, 4 tipos de cobertura e 4 tipos de piso.

De forma geral, a área das residências influenciou o maior consumo de energia; a residência de alto padrão por possuir uma maior área obteve maior consumo, enquanto a HIS 1, de menor área, foi a edificação com menor gasto de energia. Notou-se que as paredes são o sistema de envoltória de maior impacto no desempenho térmico das residências analisadas. Relativo à análise financeira, notou-se que os sistemas de cobertura são os mais dispendiosos, seguido dos sistemas de piso e de parede. Ou seja, as envoltórias com os sistemas mais caros não garantem, necessariamente, o melhor desempenho térmico à edificação. Entre as melhores eficiências térmicas detectadas, tem-se as combinações com parede de gesso acartonado, que também são apontadas com melhor custo-benefício (análise térmica e financeira). Os piores resultados de desempenho térmico, por sua vez,

foram do sistema de parede de concreto, contraindicado pela NBR 15220. Dentro dos limites da NBR 15220, a parede com bloco de concreto se destaca com o pior custo-benefício.

A partir dos dados levantados, compreende-se que é fundamental a análise térmica e financeira das edificações desde a fase de projeto, uma vez que auxilia na tomada de decisões para garantir a alternativa de maior custo-benefício para os usuários. Por meio de análises como essas, pode-se assegurar o conforto dos usuários e o uso racional dos recursos financeiros e energético, viabilizando edificações mais sustentáveis.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15575 - Edifícios Residenciais - Desempenho. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro. 2021.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15220 - Desempenho térmico em edificações. Rio de Janeiro. 2022.

Ashrae. 55 - Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. [S.l.]. 2017.

Autodesk. Revit: software BIM para projetistas, construtores e desenvolvedores, 2022. Disponível em: <<https://www.autodesk.com.br/products/revit/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>>. Acesso em: 09 out. 2022.

Eastman, Chuck et al. Manual de BIM: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores. 2021.

ENEL. Tarifa de Energia Elétrica. ENEL, 2023. Disponível em: <[https://www.enel.com.br/pt-saopaulo/Para\\_Voce/tarifa-energia-eletrica.html](https://www.enel.com.br/pt-saopaulo/Para_Voce/tarifa-energia-eletrica.html)>. Acesso em: 25 fev. 2023.

ENERGYPLUS. EnergyPlus, 2022. Disponível em: <<https://energyplus.net/>>. Acesso em: 20 Outubro 2022.

Franco, Luiza C. et al. Design and thermal evaluation of a social housing model conceived with bioclimatic principles and recycled aggregates. Elsevier, Ouro Preto, Julho 2019.

Joseph, Mathew ; JOSE, Victor; HABEEB, Anjuman. Thermal Performance of Buildings: Case Study and Experimental Validation of Educational Building. Int. J. of Adv. Res. Electrical, Electronics and Inst. Eng., v. 4, n. 6, p. 8, Junho 2015.

Lamberts, Roberto; Dutra, Luciano; Pereira, Fernando O. R. Eficiência Energética na Arquitetura. 3. ed.

Leroy Merlin. Leroy Merlin, 2023. Disponível em: <<https://www.leroymerlin.com.br/>>. Acesso em: 13 jan. 2023.

Mattos, Aldo D. Como preparar orçamento de obras. 3ª. ed. 2019.

Mendes, Vítor F. et al. Sensitivity analysis of coating mortars according to their specific heat, specific gravity, thermal conductivity, and thickness in contribution to the global thermal performance of buildings. Sustain. Mater. and Technol., v. 31, p. e00381, 2022.

Mohammad, Shaghayegh; SHEA, Andrew. Performance evaluation of modern building thermal envelope designs in the semi-arid continental climate of Tehran. Buildings, v. 3, n. 4, p. 674-688, Outubro 2013. ISSN 10.3390/buildings3040674.

Morishita, Claudia et al. Catálogo de propriedades térmicas de paredes e coberturas. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Florianópolis, p. 13. 2010.

Piedade, António C. D.; Rodrigues, António M.; Roriz, Luís F. Climatização em edifícios: envolvente e comportamento térmico. 2. ed. 2000.

Silva, Nayara N.; Lorenzo, Itamar A.; Serra, Sheyla M.B.; Paliari, José C. Levantamento de soluções tecnológicas em concreto para habitações de interesse social. 3º Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em Concreto Pré-moldado, p.14. 2014.