XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável
Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

Impacto do uso de alvenaria e painéis monolíticos de EPS na eficiência energética e desempenho térmico de habitações de interesse social

Impact of the use of masonry and monolithic EPS panels on energy efficiency and thermal performance of social housing

Bruna de Souza Apolinário
Centro Universitário Adventista de São Paulo (UNASP) | Engenheiro Coelho | Brasil | brunasapolinario@gmail.com
Luiz Fernando Kowalski
Centro Universitário Adventista de São Paulo (UNASP) e Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) | Engenheiro Coelho | Brasil | fernando.kowalski@unasp.edu.br

Resumo
A falta de adequação climática impacta negativamente o desempenho térmico e eficiência energética das construções. Portanto, o objetivo deste trabalho é verificar a influência de materiais de fechamento nestas áreas. Para isto, utilizou-se o software EnergyPlus 9.4, para analisar paredes em blocos cerâmicos e em painéis monolíticos de EPS em diversos cenários. Os resultados evidenciaram o impacto negativo da generalização dos materiais, sendo que o melhor caso apresentou desempenho térmico mínimo em três localidades e classificação C de eficiência energética em duas. Por fim, evidenciou-se a diferença na adequação climática destas paredes nas zonas bioclimáticas.

Palavras-chave: Simulação computacional. Adequação climática. Zonas bioclimáticas.

Abstract
The lack of climate suitability negatively impacts the thermal performance and energy efficiency of buildings. Therefore, the objective of this work is to verify the influence of wall materials in these areas. For this, the software EnergyPlus 9.4 was used to analyze walls in ceramic blocks and monolithic EPS panels in different scenarios. The results showed the negative impact of the generalization of materials, with the best case showing minimum thermal performance in three locations and C rating of energy efficiency in two. Finally, the difference in the climatic suitability of these walls in the bioclimatic zones was evidenced.

Keywords: Computational simulation. Climate suitability. Bioclimatic zones.

Como citar:
APOLINÁRIO, B. de S.; KOWALSKI, L. F. Impacto do uso de alvenaria e painéis monolíticos de EPS na eficiência energética e desempenho térmico de habitações de interesse social. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. XXX-XXX.

INTRODUÇÃO

Devido ao alto déficit habitacional existente no Brasil, a necessidade de ações para minimização desta realidade se tornou evidente. O modo escolhido para lidar com esta questão tem sido a aplicação de programas habitacionais.

A metodologia empregada por estes programas se baseia na construção em série, juntamente com a generalização dos sistemas construtivos, desconsiderando as características do clima local [1].

Neste contexto, a envoltória das edificações afeta diretamente o consumo de energia elétrica dos edifícios, ajustando as cargas térmicas de aquecimento e resfriamento por meio de trocas de calor entre os ambientes externos e internos [2]. Assim sendo, o uso generalizado de materiais construtivos pode resultar em edificações com baixa eficiência energética e desempenho térmico.

A fim de reduzir estes problemas, foram desenvolvidos parâmetros relacionados ao desempenho térmico e eficiência energética das edificações. Nestas áreas se destacam dois documentos: a NBR 15575-1:2021 [3], estabelecendo métodos para classificação do desempenho térmico, e o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) [4].

Baseados nestes documentos alguns autores analisaram o desempenho térmico e eficiência energética em habitações de interesse social. Dentre os estudos, encontra-se o de Moreno, Morais e Souza [1], que utilizaram a NBR 15575:2013 [5] e a NBR 15220-3:2003 [6], juntamente com o RTQ-R [4] e o Selo Casa Azul [7], para avaliar sistemas construtivos utilizados no Brasil. Este estudo analisou o impacto da generalização dos sistemas construtivos nas zonas bioclimáticas brasileiras, concluindo que os materiais comumente utilizados em moradias populares não consideram a adequação climática [1].

Lima *et al*. [8], por sua vez, utilizando simulação computacional, também analisaram sistemas construtivos convencionais para a zona bioclimática 2. Os resultados indicaram que estes não apresentavam o nível mínimo de desempenho térmico.

Os estudos citados acima, utilizaram a NBR 15575:2013 [5], a qual foi atualizada em 2021, acrescentando parâmetros ao procedimento de simulação computacional para avaliação do desempenho térmico.

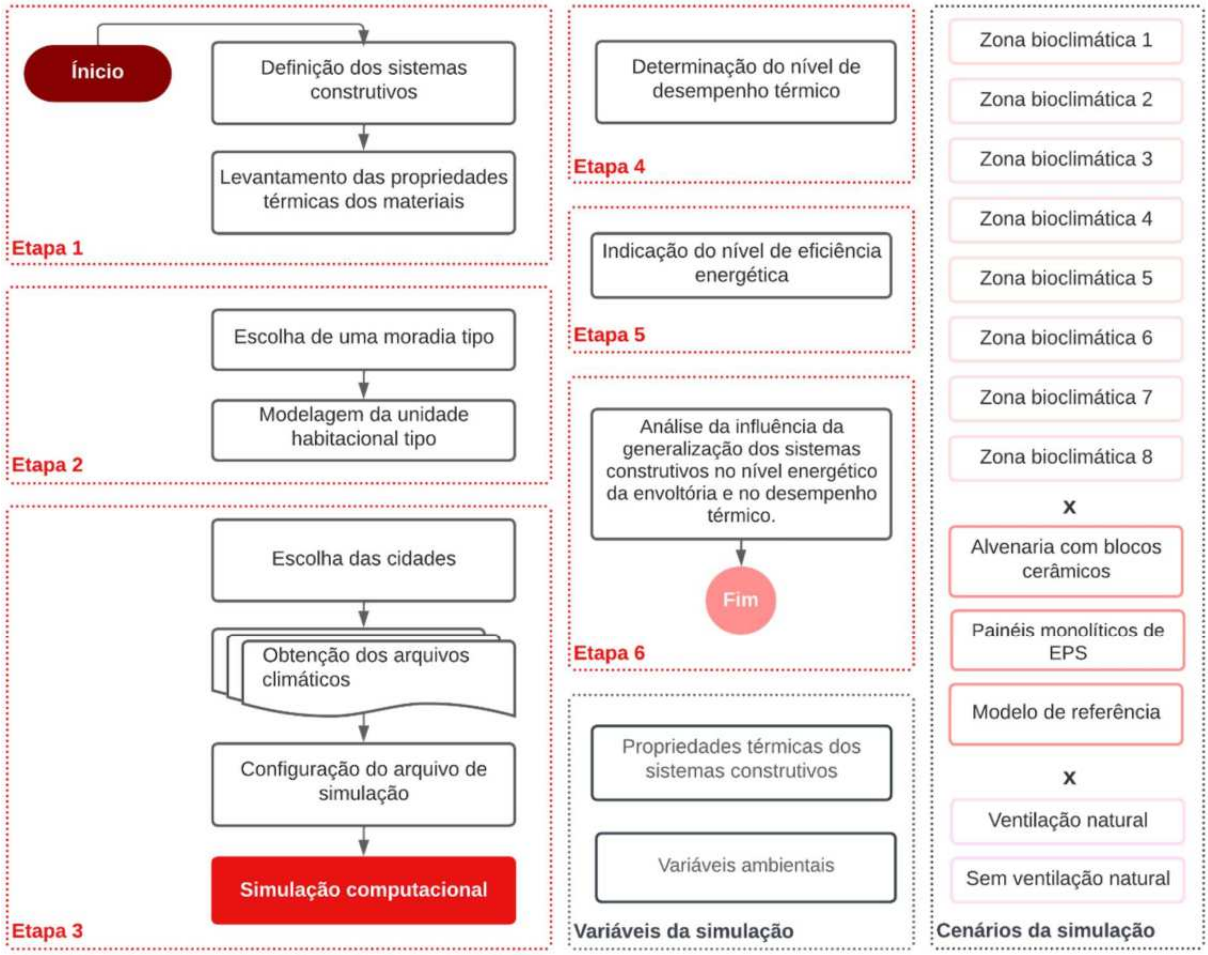
Através da atualização da NBR 15575-1:2021 [3], a proposta de Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (INI-R) [9], desenvolvida para substituir o RTQ-R [4], acrescentou o procedimento de simulação computacional em seu método, estabelecendo parâmetros que relacionam seus dados de saída aos níveis de etiquetagem.

Desta forma, por meio da análise das problemáticas expostas, o objetivo deste trabalho consiste em verificar a influência da generalização de sistemas construtivos no desempenho térmico e nível de eficiência energética da envoltória, utilizando o procedimento de simulação computacional proposto pela NBR 15575-1:2021 [3] e incorporado pela proposta da INI-R de 2021 [9].

MÉTODO

A pesquisa realizada possui caráter experimental, fundamentando-se em simulações computacionais. Seu processo consiste em seis etapas, sendo elas: Etapa 1 - Escolha dos sistemas construtivos; Etapa 2 - Modelagem de uma moradia popular; Etapa 3 - Simulação computacional da edificação para as zonas bioclimáticas (ZN) brasileiras; Etapa 4 - Identificação do nível de desempenho térmico; Etapa 5 - Indicação do nível de eficiência energética da envoltória; Etapa 6 - Análise da influência de paredes em alvenaria e em painéis monolíticos de EPS no desempenho térmico e nível de eficiência energética (Figura 1).

Figura 1: Fluxograma dos procedimentos.



Fonte: os autores.

SISTEMAS CONSTRUTIVOS

As simulações computacionais foram realizadas para dois tipos de paredes, sendo a primeira em blocos cerâmicos (ALV) e a segunda em painéis monolíticos de EPS (EPS) (Quadro 1).

Quadro 1: Características dos sistemas construtivos.

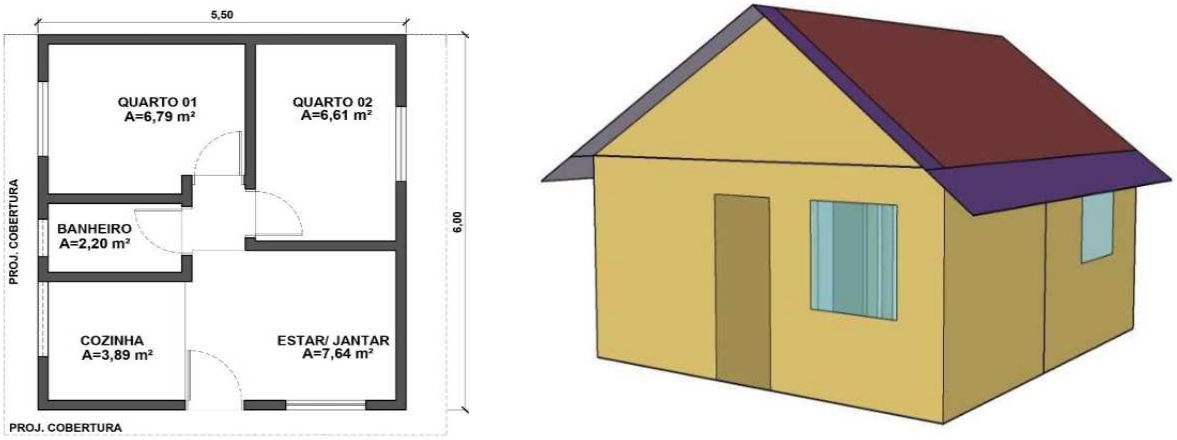
Sistema construtivo	ALV	EPS
Parede	Argamassa interna (2,5cm); Bloco cerâmico (10x15x20cm); Argamassa externa (2,5cm).	Argamassa interna (3cm); Malha de aço; Painel monolítico de EPS (8cm); Malha de aço; Argamassa externa (3cm).
Cobertura	Telha cerâmica; Laje maciça de concreto (10cm).	Telha cerâmica; Laje maciça de concreto (10cm).

Fonte: os autores.

MODELAGEM COMPUTACIONAL

A edificação modelada corresponde a uma casa popular construída na cidade de Curitiba/PR, representando a tipologia de moradias populares térreas edificadas no Brasil. A modelagem foi realizada através do *software* Sketchup Make 2017, juntamente com o OpenStudio (Figura 2).

Figura 2: (à esquerda) Planta baixa da casa tipo. (à direita) Volumetria da modelagem computacional.



Fonte: (à esquerda) COHAB Curitiba, adaptada por autores, (à direita) os autores.

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

A simulação computacional ocorreu através do *software* EnergyPlus 9.4, o qual atende às exigências da NBR 15575-1:2021 [3]. Para as análises foram adotadas oito cidades, as quais representam as diferenças climáticas do território brasileiro (Quadro 2). Os arquivos climáticos foram obtidos através da base de dados do *EnergyPlus* [10].

Quadro 2: Cidades do estudo e tipos de arquivos climáticos utilizados.

Zona bioclimática	Cidade	Tipo de arquivo climático/ano
1	Curitiba/PR	TRY/1963
2	Quaraí/RS	INMET/2008
3	São Paulo/SP	TRY/1963
4	Brasília/DF	TRY/1963
5	Itiruçu/BA	INMET/2010
6	Campo Grande/MS	SWERA/1991
7	Cuiabá/MT	SWERA/1977
8	Recife/PE	TRY/1963

Fonte: os autores.

Aliada às condições climáticas foram inseridas as propriedades térmicas dos materiais, com base no Projeto de norma da ABNT 02:135.07-001/2 [11] e da biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa EnergyPlus [12] (Tabela 1).

Tabela 1: Propriedades térmicas dos materiais.

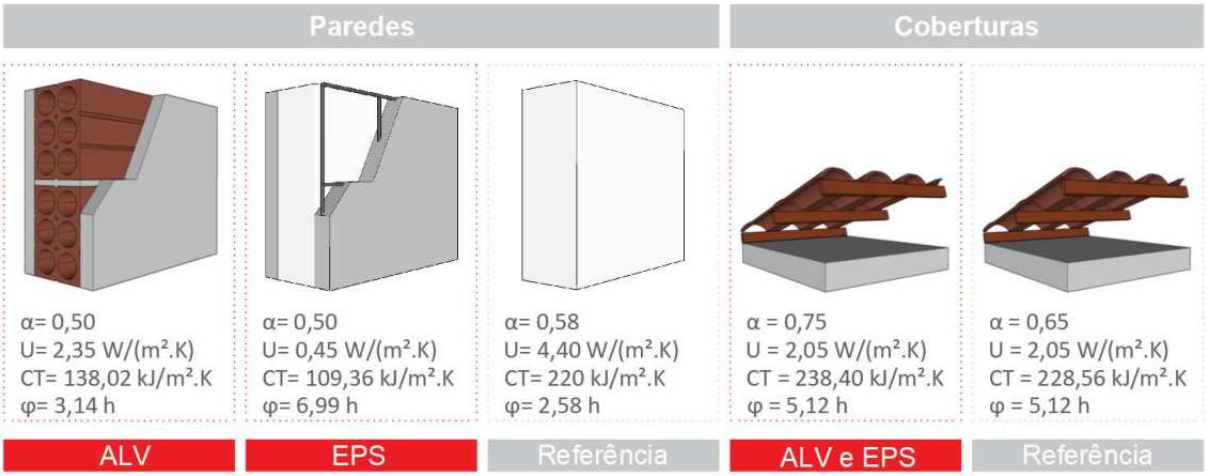
	Sistema construtivo	Material	Espessura (cm)	Condutividade térmica (W/m.K)	Calor específico (J/kg.K)	Absortância solar
Paredes	ALV	Argamassa	2,5	1,15	1000	0,5
		Cerâmica	-	0,90	920	0,65
	EPS	Argamassa	3,0	1,15	1000	0,5
		EPS	8,0	0,040	1420	0,20
	Referência	-	10,0	1,75	1000[1]	0,58[1]
Coberturas	ALV e EPS	Cerâmica	1,0	1,05	920	0,75
		Concreto	10,0	1,75	1000	0,70
	Referência	Telha	0,6	0,65	840	0,65
		Laje	10,0	1,75	1000	0,70[2]
		Isolamento térmico[3]	-	-	-	0,70

[1] Para paredes internas devem ser utilizados os mesmos valores do modelo real;
[2] Deve ser adotado o mesmo valor do modelo real;
[3] Utilizado apenas na zona bioclimática 8.

Fonte: os autores, baseado no projeto de norma da ABNT 02:135.07-001/2 e na biblioteca de componentes construtivos brasileiros para uso no programa EnergyPlus.

Através das propriedades inseridas para os materiais referentes a cada componente da construção foram determinadas as propriedades térmicas das paredes e coberturas utilizadas (Figura 3).

Figura 3: Propriedades térmicas das paredes e coberturas utilizadas nas simulações.



Fonte: os autores.

Após o ajuste dos materiais, foram programadas as cargas internas da edificação, ocupação dos ambientes, taxa metabólica dos habitantes e *schedules* de funcionamentos, conforme a NBR 15575-1:2021 [3].

Para atender às exigências da NBR 15575-1:2021 [3], para cada cidade e sistema construtivo foram realizadas simulações para condição com e sem ventilação natural.

O mesmo foi feito para modelos de referência que tem suas características especificadas por esta norma. Estes procedimentos resultaram em 48 simulações.

Estas simulações geraram dados de saída, sendo eles a temperatura de bulbo seco externa do ar (TBS), velocidade do ar, temperatura operativa (To) de cada ambiente de permanência prolongada, carga térmica total de aquecimento e de resfriamento.

ÍNDICES PARA DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DE DESEMPENHO TÉRMICO DE ACORDO COM A NBR 15575:2021

Todos os procedimentos desta etapa se basearam na NBR 15575-1:2021 [3]. O primeiro passo consistiu na determinação da temperatura operativa anual máxima (TomaxAPP) e mínima (TominAPP) de cada ambiente, do somatório de carga térmica de aquecimento e resfriamento necessárias (CgTTAPP) e do percentual de horas de ocupação dos ambientes de permanência prolongada dentro de uma faixa aceitável de temperatura operativa (PHFTAPP).

Para a definição do PHFTAPP é necessário a identificação do intervalo de temperaturas aceitáveis, os quais variam de acordo com a média anual de temperatura de bulbo seco externa (TBSm) [3]. Desta forma, foram obtidos os intervalos para cada cidade (Tabela 2).

Posteriormente, foi definida a temperatura operativa máxima (TomaxUH) e mínima (TominUH), o percentual de horas de ocupação da unidade habitacional dentro da faixa de temperatura operativa aceitável (PHFTUH) e o somatório anual dos valores de carga térmica (CgTTUH) para as habitações, segundo critérios da NBR 15575-1:2021 [3].

Tabela 2: Faixa de temperatura operativa aceitável.

Cidade	TBSm (°C)	Faixa de temperatura operativa aceitável
Curitiba/PR	16,34	18°C<To<26°C
Quaraí/RS	19,05	18°C<To<26°C
São Paulo/SP	18,81	18°C<To<26°C
Brasília/DF	20,68	18°C<To<26°C
Itiruçu/BA	20,40	18°C<To<26°C
Campo Grande/MS	24,04	18°C<To<26°C
Cuiabá/MT	26,72	To<28°C
Recife/PE	25,88	To<28°C

Fonte: os autores.

A partir destes dados os modelos de referência foram comparados com os modelos reais e estipulado o nível de desempenho térmico, conforme as exigências da NBR 15575-1:2021 [3] quanto ao atendimento a uma porcentagem mínima de PHFTUH e/ou incremento, além da redução de carga térmica.

Além destas questões foram analisadas a variação do percentual de horas dentro da zona operativa (ΔPHFTmin) e a redução de carga térmica total (RedCgTT), as quais variam entre o nível intermediário e superior.

PARÂMETROS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA SEGUNDO A PROPOSTA DA INI-R DE 2021

Por meio da proposta da INI-R de 2021 [9], foi avaliado o nível de eficiência energética. Este é definido a partir dos mesmos parâmetros do desempenho térmico,

diferenciando-se apenas em relação à redução de carga térmica total, a qual na eficiência energética para o desempenho térmico mínimo deve ser superior a limites definidos (Quadro 3).

Quadro 3: Critérios os níveis de eficiência energética da envoltória.

Classe	Desempenho térmico	RedCgTTmín
A	Superior	RedCgTT≥RedCgTTmínA
B	Intermediário	RedCgTT≥RedCgTTmínB
C	Mínimo	RedCgTT ≥ 0%
D	Mínimo	RedCgTT≥RedCgTTmínD
E	Inferior ao mínimo	-

Fonte: os autores, baseado na proposta da INI-R 2021.

Em relação ao critério adicional de redução de carga térmica, são especificados os valores referentes a edificações unifamiliares, aplicáveis a classe D de eficiência (Quadro 4).

Quadro 4: Valores mínimos de redução da carga térmica da Classe D.

Critério	RedCgTTmínD (%)
CgTTUH,refAp,UH<100	-17
CgTTUH,ref/Ap,UH>100	-27

Fonte: os autores, baseado na proposta da INI-R 2021.

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE DIFERENTES PAREDES NO DESEMPENHO TÉRMICO E NO NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Após a definição das classificações de desempenho térmico e eficiência energética, estas foram comparadas avaliando a relação existente entre elas. Em seguida, foi estudada a influência dos sistemas construtivos no nível de desempenho térmico e eficiência energética.

RESULTADOS

A apresentação e discussão dos resultados será dividida em três seções: desempenho térmico, eficiência energética da envoltória e análise conjunta destes fatores. Em cada tópico serão expostos os resultados dos cenários de simulação, verificando o comportamento dos sistemas construtivos nas zonas bioclimáticas. No tópico final, as variáveis serão relacionadas.

DESEMPENHO TÉRMICO

Na classificação do desempenho térmico foram analisados todos os cenários quanto ao atendimento às exigências normativas, sendo obtidos os níveis para cada zona bioclimática (Quadro 5).

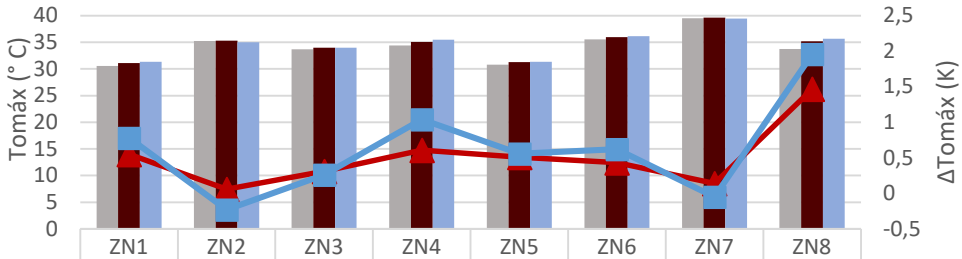
Quadro 5: Nível de desempenho das moradias.

Sistema	Zona Bioclimática	1	2	3	4	5	6	7	8
ALV	Desempenho	M	M	M	-	-	-	-	-
EPS	Desempenho	M	M	-	-	-	-	-	-

Fonte: os autores.

Primeiramente, foi analisada a temperatura operativa máxima para o modelo de referência e os sistemas construtivos (Figura 4).

Figura 4: Temperaturas operativas máximas.



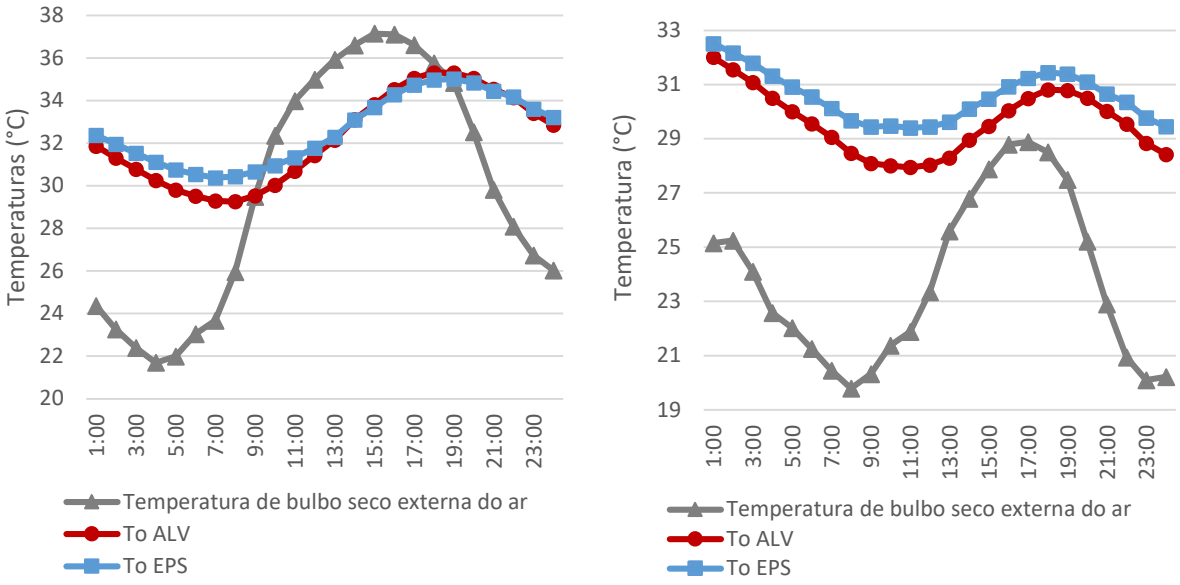
	ZN1	ZN2	ZN3	ZN4	ZN5	ZN6	ZN7	ZN8
TomaxUH,ref (°C)	30,55	35,24	33,71	34,44	30,8	35,54	39,53	33,73
TomaxUH,Alv (°C)	31,1	35,3	34,02	35,05	31,31	35,97	39,67	35,2
TomaxUH,EPS (°C)	31,33	35,01	33,97	35,48	31,36	36,16	39,48	35,69
ΔTomáx,Alv (°C)	0,55	0,06	0,31	0,61	0,51	0,43	0,14	1,47
ΔTomáx,EPS (°C)	0,78	-0,23	0,26	1,04	0,56	0,62	-0,05	1,96

Fonte: os autores.

Ao observar as temperaturas operativas máximas, constatou-se que todas atenderam às exigências normativas. Todavia, os painéis monolíticos de EPS apresentaram valores inferiores ao modelo de referência e blocos cerâmicos nas zonas 2, 3 e 7.

Este comportamento se deve ao fato de que os painéis monolíticos de EPS possuem maiores valores de amortecimento e atraso térmico, por isso, quando ocorre altas amplitudes térmicas, este apresenta menores variações de temperaturas no ambiente interno. Esta questão pode ser observada para a zona 2 em dois dias distintos, o primeiro com amplitude térmica de 15,45 °C e o segundo de 9,09° C (Figura 5).

Figura 5: (à esquerda) Temperaturas no dia 09 de janeiro, em Quaraí/RS. (à direita) Temperaturas no dia 11 de janeiro, em Quaraí/RS.



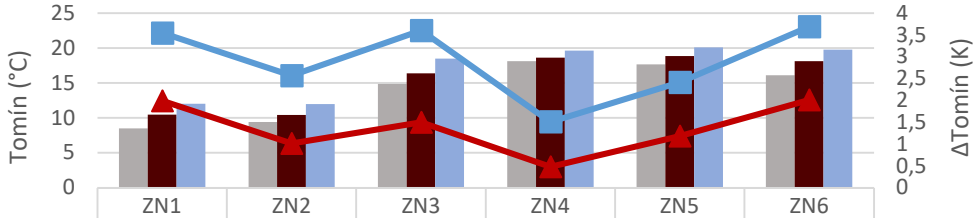
Fonte: Os autores.

Apesar das zonas 2, 3 e 7 apresentarem o maior valor de temperatura operativa no modelo com blocos cerâmicos, destaca-se que, na maior parte do tempo, o modelo

em EPS apresentou as maiores temperaturas operativas sendo que, na zona 2, corresponderam a 7838 h das 8760 h analisadas.

Também foram avaliadas às temperaturas operativas mínimas (Figura 6).

Figura 6: Temperaturas operativas mínimas.



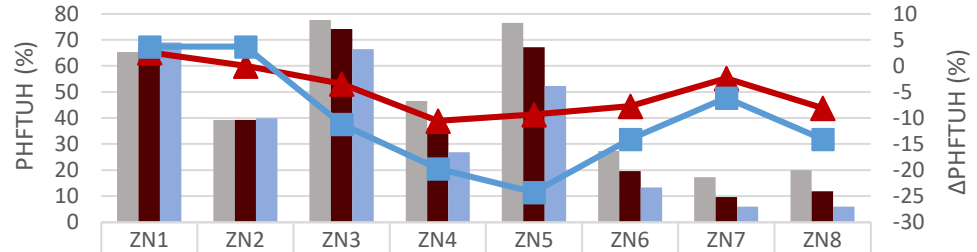
	ZN1	ZN2	ZN3	ZN4	ZN5	ZN6
TominUH,ref (°C)	8,48	9,39	14,85	18,11	17,67	16,08
TominUH,Alv (°C)	10,47	10,4	16,35	18,59	18,85	18,09
TominUH,EPS (°C)	12,02	11,96	18,45	19,62	20,08	19,77
ΔTomín,Alv (°C)	1,99	1,01	1,5	0,48	1,18	2,01
ΔTomín,EPS (°C)	3,54	2,57	3,6	1,51	2,41	3,69

Fonte: os autores.

Neste requisito, ambos os sistemas atenderam às exigências normativas. Todavia, o sistema com painéis monolíticos apresentou valores maiores em todas as zonas, com um acréscimo de 3,69 °C em relação ao valor de referência na zona 6.

Após o atendimento a estes parâmetros, foi verificada a aceitabilidade em relação à porcentagem de horas dentro da faixa de temperatura operativa aceitável (Figura 7).

Figura 7: Porcentagem de horas dentro da faixa temperatura operativa aceitável.



	ZN1	ZN2	ZN3	ZN4	ZN5	ZN6	ZN7	ZN8
PHFTUH,ref (%)	65,31	39,25	77,59	46,59	76,56	27,36	17,3	19,94
PHFTUH,Alv (%)	67,93	39,29	74,2	36,04	67,22	19,65	9,66	11,85
PHFTUH,EPS (%)	69,05	39,84	66,43	26,89	52,32	13,33	5,89	5,91
ΔPHFTUH,Alv (%)	2,62	0,05	-3,39	-10,54	-9,34	-7,72	-2,34	-8,09
ΔPHFTUH,EPS (%)	3,74	3,74	-11,16	-19,70	-24,24	-14,03	-6,12	-14,03

Fonte: Os autores.

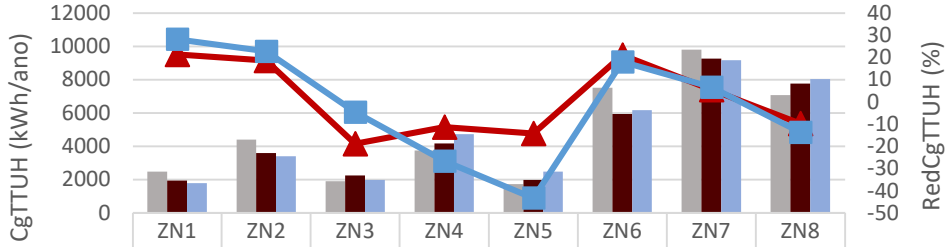
Ao examinar estes dados, observou-se para o modelo com blocos cerâmicos, que as zonas bioclimáticas 1, 3 e 5 atingiram as maiores porcentagens, apresentando mais de 67% do tempo de ocupação dentro da faixa exigida. Porém, as zonas 4 a 8 não foram classificadas com o nível mínimo por sua PHFTUH ser inferior ao exigido.

O sistema em painéis monolíticos de EPS, por sua vez, apresentou melhor desempenho em relação ao sistema em blocos cerâmicos nas zonas 1 e 2, sendo que nas demais não obteve o nível mínimo de desempenho térmico. Deste sistema, vale destacar que

o melhor desempenho se deve aos valores mais elevados de temperaturas operativas, resultando no maior atendimento ao limite inferior de temperatura nestas zonas.

Por fim, foi analisada a redução de carga térmica (Figura 8).

Figura 8: Redução de carga térmica.



	ZN1	ZN2	ZN3	ZN4	ZN5	ZN6	ZN7	ZN8
CgTTUH,ref (kWh/ano)	2479	4405	1897	3741	1731	7516	9806	7070
CgTTUH,Alv (kWh/ano)	1948	3587	2255	4167	1979	5929	9266	7767
CgTTUH,EPS (kWh/ano)	1781	3405	1985	4737	2480	6160	9158	8041
RedCgTTUH,Alv (%)	21,41	18,57	-18,83	-11,37	-14,3	21,11	5,5	-9,84
RedCgTTUH,EPS (%)	28,19	22,72	-4,61	-26,60	-43,23	18,05	6,61	-13,72

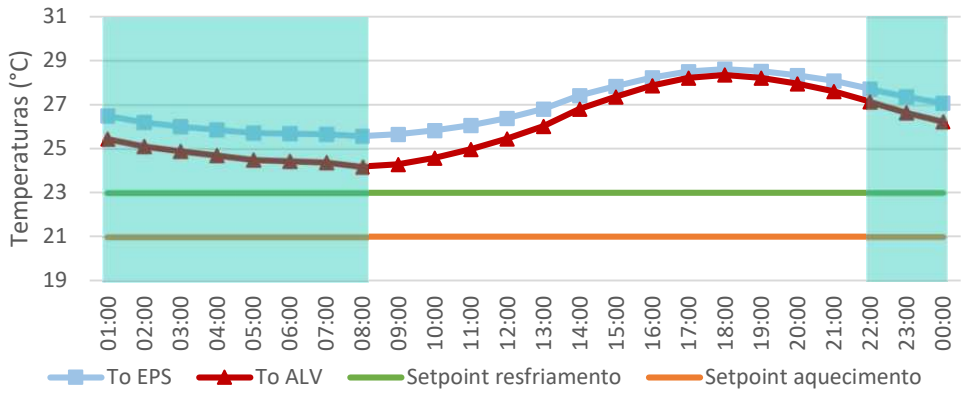
Fonte: os autores.

As informações referentes a carga térmica total, em cada zona bioclimática, evidenciam as diferenças climáticas e de adequação dos sistemas construtivos em cada localidade, sendo que as zonas com menores cargas térmicas necessárias foram a 1, 5 e 3.

Comparando os dois sistemas construtivos, evidencia-se o aumento de carga térmica de resfriamento necessária quando há o uso de painéis monolíticos de EPS, nas zonas 4, 5, 6 e 8. Dentre todas as localidades a zona 5 apresentou o maior acréscimo, correspondente a 28,93%.

Este aumento de carga térmica nas zonas bioclimáticas mais quentes pode ser compreendido ao analisar as propriedades das paredes em alvenaria e em EPS. Ambos os sistemas atingem temperaturas operativas mais altas no período da tarde, porém, devido aos valores de atraso térmico e amortecimento do EPS serem superiores, estas temperaturas se mantem significativamente superiores a ALV no período da noite, quando ocorre a ocupação dos quartos (Figura 9).

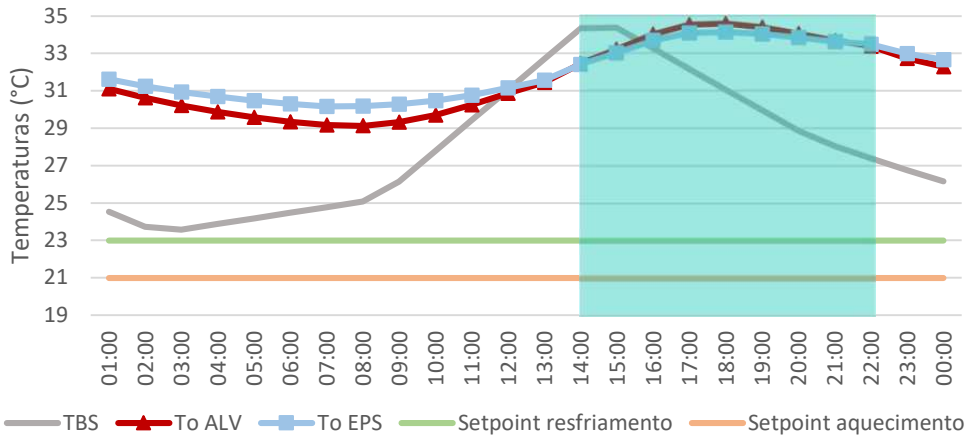
Figura 9: Temperaturas operativas no dia 22 de dezembro na ZN5, no quarto 1 (Faixa verde corresponde ao período de ocupação do ambiente).



Fonte: os autores.

Em contraste com este padrão encontrado nas zonas quentes a ZN7 apresentou maior carga térmica de resfriamento no sistema em alvenaria. Esta questão se deve ao fato da cidade de Cuiabá apresentar durante o período de inverno uma grande amplitude térmica diária, resultando em temperaturas operativas inferiores para o EPS em relação a ALV, no período da tarde quando ocorre a ocupação da sala (Figura 10).

Figura 10: Temperaturas operativas no dia 22 de junho na ZN7, na sala (Faixa verde corresponde ao período de ocupação do ambiente).



Fonte: os autores.

Por outro lado, enquanto o sistema em EPS aumentou as cargas térmicas de resfriamento nas zonas quentes, o seu uso proporcionou uma redução significativa de carga térmica de aquecimento para as zonas 1, 2 e 3, em relação ao bloco cerâmico. Esta questão se deve a diminuição das horas abaixo do limite inferior de temperatura operativa.

Comparando os resultados obtidos com os de Lima *et al*. [8], baseados na NBR 15575:2013 [5], percebe-se uma diferença na classificação de desempenho térmico final da zona 2 em relação ao sistema em blocos cerâmicos. Esta questão pode ser explicada pelas diferenças dos procedimentos da versão antiga e atual desta norma.

As classificações das paredes em blocos cerâmicos também se diferenciaram das de Moreno, Morais e Souza [1], que se basearam no método prescritivo da NBR 15575:2013 [5]. No estudo destes autores este sistema apenas não foi aprovado nas zonas 4, 6 e 7.

Resumidamente, constatou-se que os sistemas construtivos em blocos cerâmicos se adequaram às zonas 1, 2 e 3, sendo que os painéis monolíticos de EPS foram ainda mais viáveis nas zonas 1 e 2, por trazerem resultados superiores em todos os itens avaliados. Entretanto, para as demais localidades, ainda que nenhum dos sistemas tenham atingido o nível mínimo de desempenho térmico, os painéis monolíticos de EPS apresentaram maiores desvantagens por aumentarem significativamente a carga térmica de resfriamento.

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ENVOLTÓRIA

Para a determinação do nível de eficiência energética da envoltória foram analisadas as possíveis classificações para os resultados obtidos de desempenho térmico e

redução de carga térmica. A classificação final correspondeu ao menor nível entre estes dois parâmetros (Quadro 6).

Quadro 6: Classificação para cada critério de eficiência energética.

Zonas bioclimáticas		1	2	3	4	5	6	7	8
ALV	Desempenho térmico	C	C	C	E	E	E	E	E
	RedCgTTmín	B	B	E	D	D	B	B	D
	Classificação final	C	C	E	E	E	E	E	E
EPS	Desempenho térmico	C	C	E	E	E	E	E	E
	RedCgTTmín	B	B	D	D	E	B	B	D
	Classificação final	C	C	E	E	E	E	E	E

Fonte: os autores.

Dentre os níveis de eficiência energética atingidos, percebe-se que para ambos os sistemas construtivos a maior classificação foi a C, obtida nas zonas 1 e 2.

Ao comparar as possíveis classificações devido ao nível de desempenho térmico e a redução de carga térmica, percebe-se que as zonas 1, 2, 6 e 7, por apresentarem cargas térmicas inferiores ao modelo de referência em ambos os sistemas construtivos, poderiam ser classificadas com nível C de eficiência energética, mas devido a classificação de desempenho térmico não atingiram este nível.

Dentro desta questão, o modelo em painéis monolíticos de EPS aumentou a classificação possível da zona 3, devido ao acréscimo de carga térmica de apenas 4,61%, enquanto diminuiu a classificação da zona 5 por resultar em um acréscimo de 43,23%.

Estas informações destacam a baixa eficiência energética destes sistemas construtivos nas zonas 3 à 8, sendo viável o estudo de materiais que possam trazer avanços nesta área.

INFLUÊNCIA DA GENERALIZAÇÃO DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS NA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E NÍVEL DE DESEMPENHO TÉRMICO

A partir das classificações encontradas, foi possível analisar a influência da generalização dos sistemas construtivos nestas áreas, além da relação existente entre elas. Para isso foi realizado um quadro síntese, com os níveis de eficiência energética e desempenho térmico (Quadro 7).

Quadro 7: Síntese das classificações de eficiência energética e desempenho térmico.

Zonas bioclimáticas		1	2	3	4	5	6	7	8
ALV	Desempenho térmico	M	M	M	-	-	-	-	-
	Eficiência energética	C	C	E	E	E	E	E	E
EPS	Desempenho térmico	M	M	-	-	-	-	-	-
	Eficiência energética	C	C	E	E	E	E	E	E

Fonte: os autores.

A respeito da eficiência energética, evidencia-se sua conexão com o desempenho térmico, sendo que obrigatoriamente a não adequação ao nível mínimo impossibilita a classificação energética da envoltória da edificação. Todavia, também se percebe que, devido ao nível mínimo de desempenho térmico não considerar a redução de carga térmica, ele não garante a classificação energética da envoltória.

Estas questões destacam a influência do desempenho térmico na eficiência energética e a importância da análise destes fatores na escolha do sistema construtivo.

Por fim, nota-se que a generalização dos sistemas construtivos impacta negativamente o desempenho térmico e a eficiência energética. Desta maneira, sugere-se uma análise mais cuidadosa dos sistemas construtivos para cada local de implantação, considerando os dois parâmetros analisados.

CONCLUSÕES

Este trabalho buscou verificar a influência da generalização de sistemas construtivos no desempenho térmico e no nível de eficiência energética da envoltória de habitações de interesse social. Para isto, foram realizadas simulações computacionais variando o sistema construtivo, zona bioclimática e condição de ventilação. Através dos dados obtidos foram determinados os níveis de eficiência energética e desempenho térmico.

Quanto à influência da generalização dos sistemas construtivos, acreditava-se que esta prática resultaria em várias localidades com baixo desempenho térmico e nível de eficiência energética. Estas questões foram comprovadas pelos resultados, onde apenas três zonas bioclimáticas atenderam ao desempenho térmico mínimo e duas obtiveram nível de eficiência energética C.

Em relação às composições construtivas, as paredes com blocos cerâmicos se adequaram as zonas bioclimáticas 1 à 3, sendo que o sistema em painéis monolíticos de EPS foi superior nas zonas 1 e 2 e inferior nas demais. Neste contexto, o segundo sistema construtivo aumentou as cargas térmicas nas zonas 4, 5, 6 e 8, chegando a um acréscimo de 28,93% na zona 5, em relação ao em blocos cerâmicos.

É importante ressaltar que esta pesquisa buscou analisar apenas a influência de diferentes paredes nas classificações, a fim de compreender o desempenho destes elementos construtivos. Por esta razão, não foram considerados os impactos dos materiais de coberturas nos parâmetros analisados.

Portanto, este estudo ressalta o impacto negativo da generalização dos sistemas construtivos, destacando a importância da análise destas questões em programas habitacionais, os quais impactam muitos usuários e a área de eficiência energética.

REFERÊNCIAS

[1] MORENO, A. C. R.; MORAIS, I. S. de; SOUZA, R. V. G. de. Thermal Performance of Social Housing - A Study Based on Brazilian Regulations. **Energy Procedia**, Turin, Italy, v. 111, p. 111-120, 2017.

[2] AL-YASIRI, Q.; SZABÓ, M. Incorporation of phase change materials into building envelope for thermal comfort and energy saving: A comprehensive analysis. **Journal of Building engineering**. v. 36, p. 102-122, 2021.

[3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

[4] BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). Portaria n° 163, de 08 de junho de 2009. Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. **Diário Oficial da União**: seção 1: Poder executivo, Brasília, p. 78, 10 jun. 2009.

[5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

[6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

[7] CAIXA ECONÔMICA FEDERAL (CEF). Selo Casa Azul: Boas práticas para habitação mais sustentável. São Paulo: Páginas e Letras Editora e Gráfica, 2010.

[8] LIMA, M. V. de. et al. Análise de desempenho térmico e conforto ambiental de sistemas construtivos em habitação de interesse social. In: VII Seminário internacional de construções sustentáveis, 7. 2018, Passo fundo. **Anais** [...]. Porto Alegre: IMED, 2018, p. 66 – 82.

[9] BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). Consulta pública n° 18, de 12 de jul. de 2021 Proposta de alteração da Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Residenciais, aprovada pela Portaria nº 18, de 16 de janeiro de 2012. **Diário Oficial da União**: seção 1: Poder executivo, Brasília, p. 90 - 108, 12 jul. 2021.

[10] DEPARTMENT OF ENERGY'S (DOE) BUILDING TECHNOLOGIES OFFICE (BTO). ENERGYPLUS, 2022. Weather Data. Disponível em: https://energyplus.net/weather. Acesso em: 12 de jun. 2022.

[11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto 02:135.07-001/2**: Desempenho térmico de edificações Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

[12] WEBER, F. da S. *et al*. **Desenvolvimento de um modelo equivalente de avalição de propriedades térmicas para a elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa EnergyPlus.** Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Núcleo de Pesquisa em construção, Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.