AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE DIFERENTES SISTEMAS CONSTRUTIVOS NO DESEMPENHO TÉRMICO DE UMA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL

Amanda Keiko Nagahama (1); Bianca Miki Orita (2); Rosilene Regolão Brugnera (3); Marieli Azoia Lukiantchuki (4);
(1) Graduanda de Arquitetura e Urbanismo, ra107499@uem.br, Universidade Estadual de Maringá, Maringá-PR, Tel.: (44) 3011 5812.
(2) Graduanda de Arquitetura e Urbanismo, ra107903@uem.br, Universidade Estadual de Maringá, Maringá-PR, Tel.: (44) 3011 5812.
(3) Doutorado, Professora do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, rrbrugnera2@uem.br, Universidade Estadual de Maringá, Maringá-PR, Tel.: (44) 3011 5812.
(4) Doutorado, Professora do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, malukiantchuki2@uem.br, Universidade Estadual de Maringá, Maringá-PR, Tel.: (44) 3011 5812.

RESUMO

O desempenho térmico de uma edificação depende de diversos fatores, sendo a especificação dos materiais da envoltória externa um dos principais aspectos a serem considerados. No entanto, muitas vezes a escolha dos sistemas construtivos em Habitações de Interesse Social (HIS) é realizada em função do baixo custo e não dos aspectos térmicos. Em um projeto de HIS as características das superfícies da envoltória externa e as estratégias de ventilação são os principais elementos que influenciam no conforto, uma vez que dificilmente esta tipologia apresenta sistema de ar condicionado. Diante disso, o objetivo deste artigo é analisar a influência de diferentes sistemas construtivos no desempenho térmico das envoltórias externas de uma HIS. A pesquisa baseia-se em simulações paramétricas de desempenho térmico através do *software* Energyplus®, utilizando como estudo de caso uma tipologia padrão de HIS na cidade de Maringá-PR. Os resultados foram analisados através dos critérios de análise estabelecidos pela NBR 15575 (2013), para as condições de verão e inverno. Os resultados mostram que os diferentes sistemas construtivos opacos e transparentes, quando combinados para simulações paramétricas, apresentaram ambientes pouco satisfatórios de acordo com parâmetros da norma. Em contrapartida, a escolha de sistemas construtivos variados, permitiu a introdução de materialidades pouco aplicadas para o padrão de habitação social, possibilitando analisar as propriedades térmicas que mais influenciam para os valores de temperaturas obtidas nos dias típicos de verão e inverno para Maringá-PR.
Palavras-chave: Desempenho térmico; sistemas construtivos; simulação computacional; HIS.

ABSTRACT

The thermal performance of a building depends on several factors, and the specification of the materials for the external envelope is one of the main aspects to be considered. However, the choice of construction systems in Social Interest Housing (HIS) is often made due to low cost and not about thermal aspects. In an HIS project, the characteristics of the surfaces of the external envelope and the ventilation strategies are the main elements that influence comfort, since this typology hardly has an air conditioning system. Therefore, the objective of this article is to analyze the influence of different constructive systems on the thermal performance of the external envelopes of an HIS. The research is based on parametric simulations of thermal performance using the Energyplus® software, using as a case study a standard HIS typology in the city of Maringá-PR. The results were analyzed using the analysis criteria established by NBR 15575 (2013), for summer and winter conditions. According to the results, it was verified that the different opaque and transparent constructive systems, when combined for parametric simulations, presented unsatisfactory environments according to the normative parameters. On the other hand, the choice of varied construction systems allowed the introduction of little applied materialities for the social housing pattern, making it possible to analyze the thermal properties that most influence the temperature values obtained on typical summer and winter days for the city of Maringá - PR.
Keywords: Thermal performance; constructive systems; computational simulation; HIS.

1. INTRODUÇÃO

Com as novas técnicas construtivas e a descoberta de novos materiais, a construção civil evoluiu rapidamente nos últimos anos. No entanto, muitos sistemas construtivos são empregados de forma incompatível com a realidade local. Com relação às Habitações de Interesse Social (HIS), diversas pesquisas ressaltam a baixa qualidade ambiental dessas edificações na realidade brasileira (REIS e LAY, 2010; MORAES e LABAKI, 2017; CARVALHO e SPOSTO, 2012). Isso ocorreu claramente no Brasil devido ao crescimento significativo do número de HIS, aliado à especulação imobiliária e as leis urbanas restritivas. Segundo Marafon *et al.* (2014) o contexto em que essas habitações estão inseridas caracteriza-se por políticas públicas que não consideram os aspectos de conforto ambiental das edificações, reproduzindo-as em larga escala sem analisar as diversidades regionais dos locais onde estas edificações são implantadas. Dessa forma, têm-se edificações com baixo desempenho térmico e, consequentemente, usuários em desconforto térmico.

Apesar do Brasil apresentar uma ampla diversidade climática, quase que a totalidade do território brasileiro está sujeita à intensa e abundante insolação na maior parte do ano. Esse dado é importante, uma vez que a radiação solar é um dos elementos de grande importância no estudo da eficiência energética na arquitetura, tanto como fonte de calor como fonte de luz, principalmente em regiões tropicais e de baixas latitudes. Existem normativas brasileiras que têm por objetivo melhorar o desempenho térmico das HIS, como a NBR 15.220 (ABNT, 2005) e a NBR 15.575 (ABNT, 2013). As referidas normativas trazem recomendações para o projeto de HIS para a escolha dos sistemas construtivos das envoltórias externas. Segundo Dilkin e Schneider (1999), a especificação das características térmicas do envelope das edificações, reunidas em forma de normas, é fundamental para garantir condições adequadas de conforto aos ocupantes e proporcionar economia de energia.

Segundo Lamberts *et al.* (2014) os materiais e elementos construtivos se comportam termicamente em função de suas propriedades térmicas. Sabendo que a parcela da radiação transmitida para o interior é a principal fração dos ganhos térmicos em ambientes e atua diretamente nas condições internas de conforto, o arquiteto pode dimensionar e especificar corretamente as aberturas e os materiais a serem empregados na edificação, a partir de um entendimento dos conceitos de transmissão de calor e o comportamento térmico dos fechamentos. A intensidade das trocas térmicas através desses fechamentos será função da radiação solar incidente; da condutividade, resistência, transmitância, difusidade, efusidade e capacidade térmica dos materiais da envoltória; da absortância e refletância dos fechamentos opacos e das temperaturas interna e externa da edificação.

Por fim, com relação ao comportamento dos materiais de fechamento da edificação, Givoni (1976) destaca que a maneira natural mais efetiva de evitar que a ação da radiação solar aqueça os ambientes internos é controlar e minimizar a radiação solar que atinge o envelope construtivo ou reduzir sua absorção pelo edifício.

2. OBJETIVO

O objetivo principal dessa pesquisa é analisar a influência de diferentes sistemas construtivos no desempenho térmico de uma Habitação de Interesse Social (HIS).

3. MÉTODO

3.1. Caracterização e escolha do clima analisado

A cidade de Maringá está situada ao Norte do Estado do Paraná, a qual na classificação de Köppen, possui um clima tipo Cfa, subtropical úmido de altitude, com verões quentes e geadas pouco frequentes, concentração das chuvas nos meses de verão e sem estação de seca definida, além de um alto nível de radiação solar durante o ano todo (TAMANINI, 2002).

Para as zonas bioclimáticas 1 a 5, segundo a NBR 15575 (ABNT, 2013b) a avaliação deve ser realizada para os dias climáticos típicos de verão e de inverno. Para as zonas restantes, é dispensada a avaliação de inverno. A referida norma apresenta os dias típicos para diversas cidades, mas não inclui todas as cidades analisadas neste trabalho. Assim, para o verão, foram utilizados os arquivos climáticos dos dias típicos (*.ddy*) fornecidos pelo Labeee (2018). No caso de Maringá, que se localiza na ZB03 a análise foi realizada para o verão e para o inverno. Ressalta-se que a seleção dos dias típicos disponibilizados pelo Labeee (2018), para as diferentes cidades, apresentou o mesmo tipo e tratamento estatístico (4% CONDNS DB=>MCWB). Essa escolha se baseia nas recomendações da NBR 15575 (ABNT, 2013b), as quais definem que esses dados devem ter sido gerados por instituições de reconhecida capacitação técnica e devem ser dados de domínio público (LABEEE, 2018).

3.2. Caso de referência e escolha do ambiente analisado;

A tipologia selecionada para a realização das análises corresponde a uma habitação térrea representativa para a cidade de Maringá, PR. O projeto foi obtido na Secretaria Municipal de Planejamento e Urbanismo de Maringá – SEPLAN, através da pesquisa de Sarvezuk (2020). A tipologia da unidade habitacional unifamiliar possui área útil de 42 m², com dimensões de 5,46 m x 7,68 m e pé direito de 2,50 m. Todas as fachadas estão expostas ao exterior, ou seja, sem geminação. A edificação é composta de dois dormitórios, um banheiro e sala e cozinha conjugada. A cobertura da edificação é composta de duas águas com inclinação de 35%, resultando em uma altura total de 1,35m. Os beirais da edificação possuem 0,60 m de largura em todas as fachadas da edificação, seguindo a inclinação do telhado. Internamente a casa apresenta uma laje limitando a um pé-direito interno de 2,50m. O ambiente analisado será o dormitório 01, devido ao fato de possuir uma dimensão mais regular (2,62m x 3,02m) e duas de suas quatro paredes serem externas. Além disso, esse ambiente se caracteriza como de longa permanência, segundo a classificação da NBR 15575 (ABNT, 2013b).

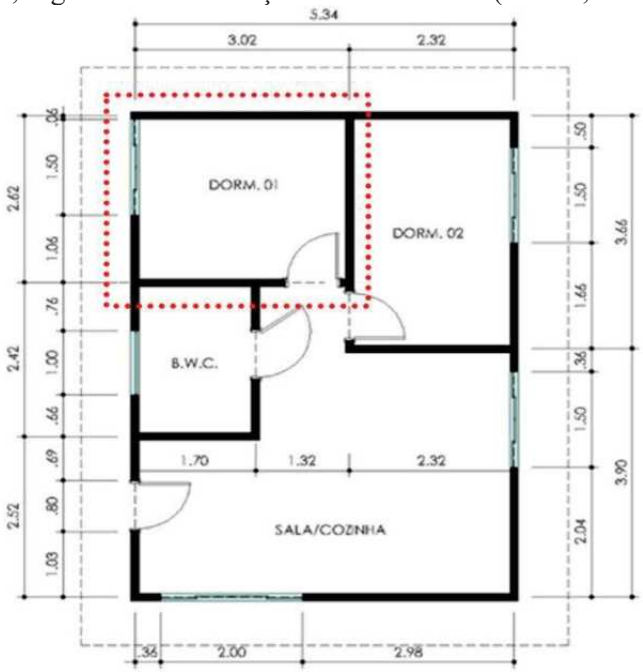


Figura 1 - Planta baixa do modelo de HIS com a delimitação do dormitório 01 escolhido para a análise.
Fonte: SARVEZUK (2020).

Os sistemas construtivos são variados, a fim de analisar o desempenho térmico da envoltória externa da edificação. O caso de referência leva em consideração o projeto original da edificação, cujos sistemas construtivos são detalhados a seguir:

1. Paredes internas e externas: bloco cerâmico de 6 furos (9 x 14 x 19 cm) com 2,5 cm de argamassa nas faces internas e externas, totalizando paredes com espessura de 14 cm.
2. Piso da edificação: em contato com o solo e é constituído por lastro de concreto e piso cerâmico
3. Cobertura: composta por telha cerâmica com espessura de 10 mm. O sistema de forro das unidades é de laje pré-fabricada em concreto (espessura de 10 cm), configurando um ático não ventilado.
4. Aberturas: perfis de ferro com vidro incolor liso de 3 mm e as portas internas são de madeira e a externa metálica, todas com acabamento em pintura esmalte.

3.3. Caracterização dos sistemas construtivos;

Considerando o modelo padrão de habitação social unifamiliar da Secretaria Municipal de Planejamento e Urbanismo de Maringá – SEPLAN escolhido como o modelo de estudo, foi especificado a materialidade para os elementos que constituem a parte estrutural e de vedação da habitação, atribuindo variáveis específicas para a posterior análise do desempenho térmico dos sistemas construtivos opacos e transparentes escolhidos. Desse modo, a Tabela 1 apresenta as propriedades térmicas dos materiais existentes em cada componente da referida habitação, possibilitando o estudo da espessura do material, condutividade (λ), densidade (ρ), calor específico (c), absortância térmica e absortância solar e visível. Esses dados foram inseridos posteriormente no *software* EnergyPlus®, para o processamento das simulações e a obtenção dos resultados.

Tabela 1 - Propriedades térmicas dos materiais.

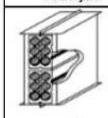
COMPONENTES CONSTRUTIVOS	MATERIAIS	ESPESSURA (m)	λ (W/m.K)	ρ (kg/m³)	c (J/kg.K)	ABSORTÂNCIA TÉRMICA	ABSORTÂNCIA SOLAR/VISÍVEL
PISO	Brita	0.03	0.7	1300	800	0.9	-
	Laje de Concreto	0.03	1.75	2400	1000	0.9	-
	Argamassa	0.025	1.15	2000	1000	0.9	-
	Piso cerâmico	0.005	1.05	1600	920	0.9	-
TETO - FORRO - TELHADO	Laje de Concreto	0.1	1.75	2200	1000	0.9	-
	Telha Cerâmica	0.01	1.05	2000	920	0.9	0.75
PAREDES INTERNAS	Argamassa interna	0.025	1.15	2000	1000	0.9	-
	Bloco Cerâmico	0.017	0.9	1600	920	0.9	-
	Espaço de Ar*	0.056					-
	Bloco Cerâmico	0.017	0.9	1600	920	0.9	-
	Argamassa interna	0.025	1.15	2000	1000	0.9	-
	Concreto Maciço	0.1	1.75	2200	1000	0.9	0.65
	Pinus Externo	0.022	0.15	500	1340	0.9	0.5
	Espaço de Ar*	0.05					-
	Pinus Interno	0.022	0.15	500	1340	0.9	-
PAREDES EXTERNAS	Argamassa externa	0.025	1.15	2000	1000	0.9	0.2
	Bloco Cerâmico	0.017	0.9	1600	920	0.9	-
	Espaço de Ar*	0.056					-
	Bloco Cerâmico	0.017	0.9	1600	920	0.9	-
	Argamassa interna	0.025	1.15	2000	1000	0.9	-
	Concreto Maciço	0.1	1.75	2200	1000	0.9	0.65
	Pinus Externo	0.022	0.15	500	1340	0.9	0.5
	Espaço de Ar*	0.05					-
	Pinus Interno	0.022	0.15	500	1340	0.9	-

Fonte: NBR 15220-2 (2005 a), adaptado pelas autoras (2020).

Para obtenção dos dados dispostos na Tabela 1, usou-se como base a norma NBR 15220-2 (ABNT, 2005) Anexo B, atribuindo a especificidade dos espaços de ar, presentes nos fechamentos opacos de alvenaria e de painel de madeira, em 0,16 m².K/W, na grandeza térmica de Resistência Térmica. A caracterização dos componentes construtivos da HIS demonstra três tipologias de sistemas construtivos de fechamento opaco, os quais possibilitam uma avaliação comparativa do desempenho de cada um deles.

Desse modo, a materialidade do caso de referência utilizado apresenta as paredes internas e externas sendo em: bloco cerâmico (9 cm x 14 cm x 20 cm) de seis furos circulares, com espessura total de 14 cm (NBR 15220-3); concreto maciço simples de espessura 10 cm (NBR 15220-3); e painel duplo em madeira pinus com câmara de ar interna, totalizando uma espessura de 9,4 cm (GIGLIO, 2005). Para os tipos de vedação vertical citados acima, a Tabela 2 apresenta as principais propriedades térmicas dos fechamentos opacos escolhidos para análise, possibilitando a comparação dos valores de Transmitância Térmica (U), Capacidade Térmica (CT), Atraso Térmico (φ), Resistência Térmica Total (Rt) e Fator Solar (FS).

Tabela 2 - Propriedades térmicas dos componentes construtivos opacos escolhidos para a vedação.

Vedação	Descrição	U W/(m².K)	CT kJ/(m2.K)	φ h	RT (m².K)/W	FS %
	Parede de tijolos de 6 furos circulares, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 9 cm x 14,0 cm x 20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 2,5 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 14,0 cm	2,46	150	3,7	0,4065	
	Parede de concreto maciço Espessura total da parede: 10,0 cm	4,4	240	2,7	0,2273	
	Painel formado por tábua de pinus de 2,2 cm (exterior) + câmara de ar não ventilada de 5 cm + tábua de pinus de 2,2 cm (interior).	1,55	33	2,4	0,6442	1,9

Fonte: NBR 15220-3 (2005c); Projeteee (2020); GIGLIO (2005).

Para as superfícies transparentes da fachada, foram selecionados três tipos de vidro, com características próprias e divergentes entre eles: 1) Vidro simples incolor de espessura 3mm (tido como o vidro mais comum) (CB3E, ABIVIDRO, 2015), 2) Vidro monolítico reflexível de espessura 6mm (CB3E, ABIVIDRO, 2015) e 3) Vidro laminado duplo com baixo Fator Solar de espessura total 24mm (BRUGNERA, 2018). Tais vidros foram

selecionados para possibilidades de análises térmicas para os fechamentos transparentes, desde o vidro simples e comum, até os vidros com maior capacidade tecnológica e número de camadas, sendo possível o estudo comparativo destes fechamentos atrelados à variação dos sistemas construtivos opacos. As principais propriedades térmicas dos vidros utilizados são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Propriedades térmicas dos fechamentos transparentes escolhidos para a análise.

Vidro	Descrição	U W/(m2.K)	Condutividade W/mK	FS %	TsoL	Rsol1	Rsol2	Tvis	Rvis1	Rvis2	Emis1	Emis2
	Vidro simples incolor 3mm	5,7	0,9	0,87	0,837	0,075	0,075	0,898	0,081	0,081	0,84	0,84
	Vidro reflexível da linha Reflectasol incolor monolítica 6mm, do fabricante CEBRACE.	5,792	1	0,545	0,479	0,295	0,373	0,316	0,453	0,535	0,837	0,837
	Vidro laminado duplo com baixo Fator Solar, composto por vidro externo 6mm + ar 12mm + vidro interno 6mm Espessura total 24mm	2,79	1	0,28	0,19	0,1	0,22	0,39	0,15	0,22	0,84	0,84

Fonte: Adaptado de CB3E (2015); BRUGNERA (2018).

3.4. Simulações computacionais

A construção da geometria foi executada no *software* SketchUp, aliado ao *plugin* Euclid 9.3®, em que foi desenhado o modelo tridimensional, conforme as dimensões do dormitório 01, classificando cada uma de suas faces de acordo com suas características. Deste modo, o modelo foi dividido em duas Zonas térmicas: a primeira sendo o conjunto de paredes externas, o piso e o forro; e a segunda o conjunto da cobertura, beirais e oitões (Figura 2).

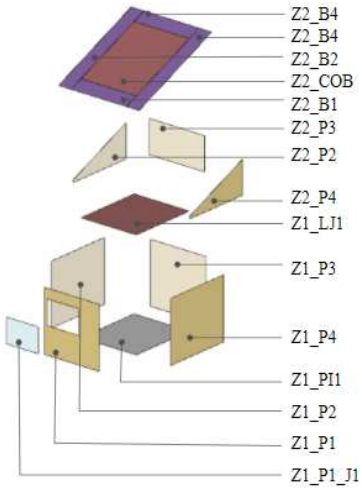


Figura 2 - Nomenclatura de cada face do modelo no plugin Euclid 9.3, conforme as Zonas térmicas caracterizadas no EnergyPlus®.

Fonte: Autoras (2020).

A NBR 15575-1 (ABNT, 2013b) estabelece que as simulações de verão e inverno sejam feitas para ambientes de maior permanência, de tal maneira que pelo menos um desses ambientes tenha duas paredes expostas e em orientações críticas específicas. Assim, foram adotadas as seguintes orientações: Verão com a janela da sala voltada para Oeste e outra parede exposta voltada para Norte; Inverno com a janela da sala voltada para Sul e outra parede exposta voltada para Leste (Figura 3).

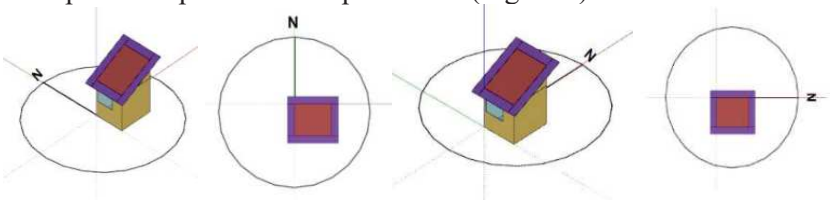


Figura 3 - Esquema da posição no Norte 0º e no Norte 90º, respectivamente, do modelo tridimensional no software SketchUp.

Fonte: Autoras (2020).

Os dados de entrada (*inputs*), inseridos no Energyplus®, basearam-se nas propriedades térmicas e parâmetros gerais definidos na norma NBR 15220 (ABNT, 2005) e em títulos bibliográficos que auxiliaram em sua definição, sintetizados na Tabela 4 a seguir.

Tabela 4 - Dados dos parâmetros gerais inseridos no *software* EnergyPlus®.

PARÂMETROS GERAIS		
VERSÃO	EnergyPlus	8,7
	Euclid	9,3
LOCALIZAÇÃO	Cidade	Maringá
	Estado	Paraná
	Latitude	-23,42
	Longitude	-51,94
	Fuso horário	-3
	Altitude	542
DIMENSÕES	Modelo	3.02 x 6.02 m
	Pé-Direito	2,5 m
	Área	7,91 m²
MATERIAIS	Laje de piso	Laje de concreto
	Piso	Cerâmico
	Teto	Laje de concreto
	Parede Externa 1	Alvenaria
	Parede Externa 2	Concreto maciço
	Parede Externa 3	Madeira Pinus
	Vidro 1	Clear 3mm
	Vidro 2	Reflecta 6mm
	Vidro 3	Double Laminated 24mm
ZONAS TÉRMICAS	Zona 1	Paredes Externas
	Zona 2	Teto/Telhado
ABERTURAS	Janela 1	1,00 x 1,00 x 1,10 m (AxLxP)

Fonte: LABEE (2018), adaptado pelas Autoras (2020).

Como a pesquisa se baseia em análises paramétricas, com 3 tipos de fechamentos opacos e 3 fechamentos transparentes, buscou-se alternativas práticas para a obtenção dos resultados com um número menor de arquivos. Sendo assim, os dados da construção foram parametrizados no *software* Energyplus®, de modo que, só foi preciso um total de 6 arquivos IDF gerados, para todas as combinações demonstradas nas figuras 4 e 5. Para isso, foram agrupados os parâmetros, fixando as orientações e, posteriormente, fixou-se o sistema construtivo opaco, variando, assim, as análises com os 3 tipos de vidro.

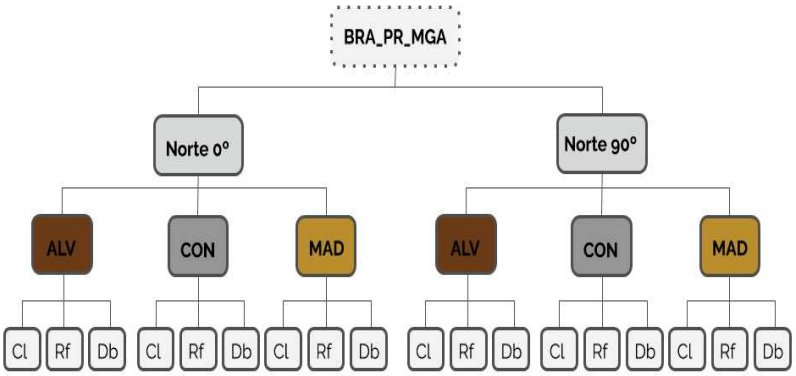


Figura 4 - Fluxograma da parametrização dos dados em relação a variação dos vidros em cada sistema construtivo de vedação.
Fonte: Autoras (2020).

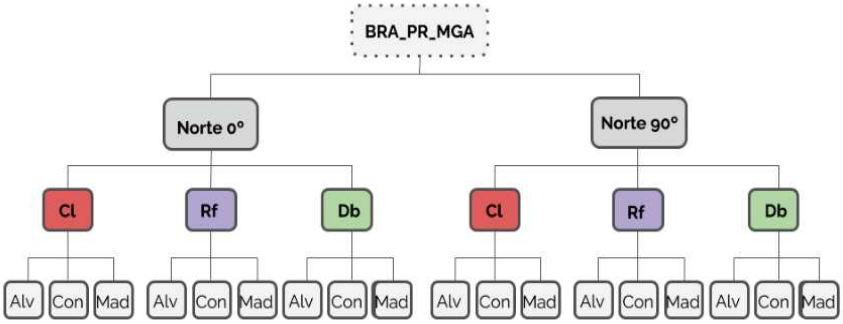


Figura 5 - Fluxograma da parametrização dos dados em relação a variação dos sistemas construtivos em cada vidro.
Fonte: Autoras (2020).

3.5. Forma e análise dos resultados

A forma de análise dos resultados, obtidos através dos dados de saída no "*software*" EnergyPlus®, tem como base o Anexo E da norma NBR 15575 (ABNT, 2013), o qual determina os valores máximos e mínimos que a temperatura do ar interno de um ambiente estudado deve atingir no dia típico de verão e de inverno. Estas temperaturas são baseadas na temperatura máxima externa no verão e na temperatura mínima externa no inverno (Tabelas 5 e 6).

Tabela 5 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão.

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
Insuficiente	$T_{i,max} > T_{e,max}$	$T_{i,max} > T_{e,max}$
Mínimo	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$
Intermediário	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2^{o}\,C)$	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 1^{o}\,C)$
Superior	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 4^{o}\,C)$	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2^{o}\,C)$ e $T_{i,min} \leq (T_{e,min} + 1^{o}\,C)$

Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2013).

Tabela 6 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno.

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 5	Zonas 6, 7 e 8
Insuficiente	$T_{i,min} < (T_{e,min} + 3^{o}\,C)$	Nestas zonas, este critério não precisa ser verificado.
Mínimo	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 3^{o}\,C)$	
Intermediário	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 5^{o}\,C)$	
Superior	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 7^{o}\,C)$	

$T_{i,max}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus centígrados;
$T_{e,max}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus centígrados;
$T_{i,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus centígrados;
$T_{e,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus centígrados.
Nota: As Zonas Bioclimáticas são estabelecidas pela NBR 15220-3 (ABNT, 2005).

Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2013).

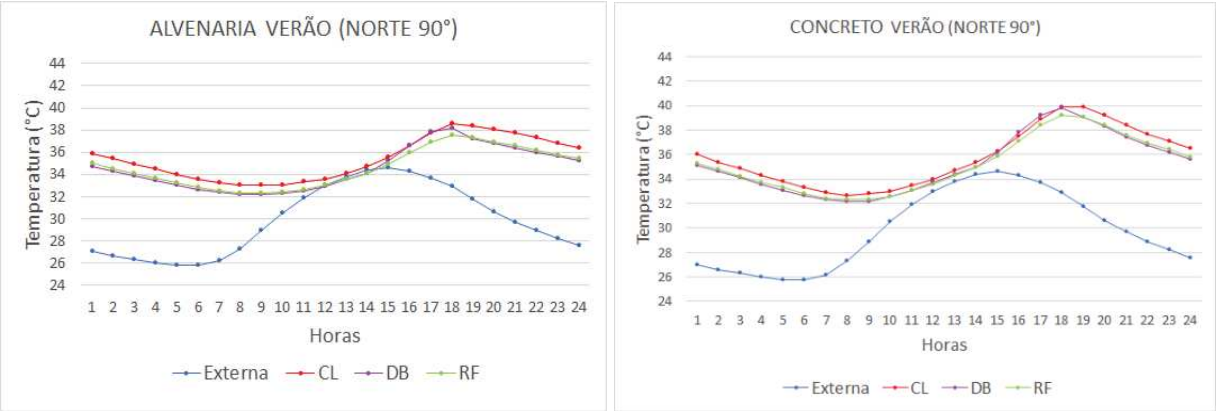
4. RESULTADOS

Os resultados das análises de desempenho térmico, demonstrados na Tabela 7, evidenciaram o atendimento parcial dos critérios apresentados pela norma NBR 15575 (ABNT, 2013), considerando as temperaturas internas dos diferentes sistemas construtivos atendidas à um nível intermediário apenas para a situação de inverno, sendo que na condição de verão todas as temperaturas internas foram insuficientes com relação ao desempenho térmico. O critério não atendido para os sistemas construtivos no verão é justificado pela orientação crítica da abertura transparente, a orientação oeste, visto que mesmo para os vidros *Reflecta* e *Double Laminated*, que apresentaram temperaturas inferiores ao vidro *Clear* 3mm, a diferença torna-se insignificante para consideração de uma melhora na condição térmica.

Isso reforça o impacto significativo que as superfícies envidraçadas apresentam no desempenho térmico da edificação. Além disso, nota-se claramente pelos gráficos 1a, 1b e 2 a grande diferença entre a temperatura máxima interna (próximo de 40ºC) em relação a temperatura máxima externa (34ºC), registrando uma diferença da temperatura interna, em relação a temperatura externa, de quase 6 ºC. Isso pode ser melhor visualizado através da tabela 7 que apresenta a síntese dos resultados obtidos com as diferenças de temperaturas e as classificações de acordo com a NBR 15575 (2013). Sobre isso é importante ressaltar que as simulações consideração a ventilação natural com a taxa de renovação de ar de 1 ren/hora, conforme recomendado pela NBR 15575 (2013). Essa taxa não pode ser considerada como ventilação natural, mas como taxa de infiltração, que possui influência significativa nos ganhos internos de calor.

Além disso, os resultados da Madeira Pinus associada aos demais sistemas transparentes, apresentaram uma temperatura máxima mais elevada que os demais sistemas construtivos no dia típico de verão, registrando uma temperatura próxima dos 44°C no dia típico de verão (Gráfico 03). Isso se justifica pelo fato do sistema construtivo em madeira pinus se enquadrar em uma vedação isolante e leve, apresentando baixos valores de capacidade térmica e de transmitância térmica. Com isso, a amplitude térmica da madeira pinus é considerada maior que os demais sistemas construtivos, apresentando uma maior variação de temperaturas e, assim, uma temperatura média com valores elevados. No entanto, ressalta-se novamente as condições de ventilação em que a simulação foi realizada, o que influencia no desempenho térmico da edificação. Assim, reforça-se a importância de que novos sistemas construtivos, que não apenas os convencionais, possam ser testados e utilizados nas Habitações de Interesse Social.

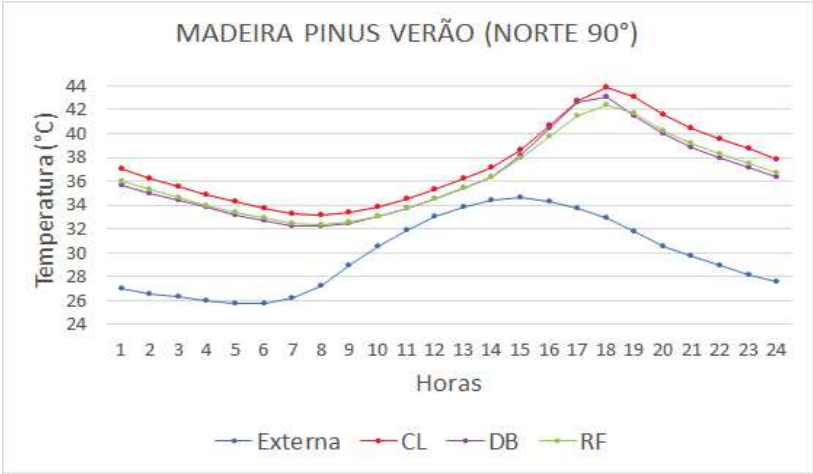
Gráfico 1: Temperaturas internas do sistema de (a) Alvenaria e (b) concreto maciço em relação aos 3 tipos de vidro no Norte 90º.



(a) (b)

Fonte: Autoras (2020).

Gráfico 2: Temperaturas internas do sistema de Madeira Pinus em relação aos 3 tipos de vidro no Norte 90º.



Fonte: Autoras (2020).

Tabela 7 - Síntese dos resultados obtidos com análise de desempenho térmico conforme a NBR 15575.

SISTEMAS CONSTRUTIVOS	TEMPERATURA EXTERNA			TEMPERATURAS INTERNAS - INVERNO NORTE 0°			TEMPERATURAS INTERNAS - VERÃO NORTE 90°			ANÁLISE DE DESEMPENHO TÉRMICO NBR 15575 - ANEXO E.1/E.2	
	Tmín	Tmáx	Tmédia	Tmín	Tmáx	Tmédia	Tmín	Tmáx	Tmédia	INVERNO	VERÃO
Alvenaria, Vidro Clear 3mm	25.8	34.6	30.2	31.5	36.1	33.8	33	38.6	35.75	Intermediário	Insuficiente
Alvenaria, Vidro Double Laminated				31.4	35.7	33.5	32.2	38.2	35.2	Intermediário	Insuficiente
Alvenaria, Vidro Reflecta				31.3	35.8	33.5	32.3	37.5	34.9	Intermediário	Insuficiente
Concreto, Vidro Clear 3mm				32.3	39.8	36.05	32.7	39.9	36.3	Intermediário	Insuficiente
Concreto, Vidro Double Laminated				32.2	39	35.9	32.2	39.8	36	Intermediário	Insuficiente
Concreto, Vidro Reflecta				32.2	39.6	35.9	32.3	39.2	35.75	Intermediário	Insuficiente
Madeira Pinus, Vidro Clear 3mm				31.6	40.8	36.2	33.2	43.9	38.55	Intermediário	Insuficiente
Madeira Pinus, Vidro Double Laminated				31.5	40.4	35.95	32.3	43.1	37.7	Intermediário	Insuficiente
Madeira Pinus, Vidro Reflecta				31.4	40.4	35.9	32.4	42.4	37.4	Intermediário	Insuficiente

Fonte: Autoras (2020).

5. CONCLUSÕES

Os resultados das simulações computacionais mostram desempenho térmico, segundo os critérios apresentados pela norma NBR 15575 (ABNT, 2013), a nível intermediário para a situação de inverno, sendo que na condição de verão todas as temperaturas internas foram elevadas, demonstrando um desempenho térmico insuficiente da HIS. Dado que a temperatura externa máxima analisada foi de 34,6ºC, no caso da combinação entre a vedação de Madeira pinus e o vidro *Clear* 3mm, a temperatura alcança o valor de 43,9ºC no verão, ou seja, a diferença entre a temperatura máxima interna e a máxima externa é bastante significativa. O ambiente com melhor resultado dentre as combinações testadas, foi o ambiente com vedação em alvenaria e vidro *Reflecta*, com a temperatura máxima interna de 37,5ºC no verão em um dia típico.

Desse modo, a pesquisa foi de grande importância para a compreensão e interpretação das propriedades térmicas dos materiais introduzidos e a influência direta no conforto térmico da porção interna da edificação, possibilitando a comparação dos dados térmicos e o reconhecimento da função essencial que as simulações computacionais apresentam na formulação de pesquisas. Assim, espera-se que esta pesquisa possa ser uma discussão inicial aos arquitetos na especificação dos sistemas construtivos visando o desempenho térmico das edificações, além de servir como base para próximos trabalhos que se aprofundarão no tema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-1**: Desempenho térmico de edificações: parte 1: definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005a

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2**: 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, 2005b.

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, 2005c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações Habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERANT AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE Handbook of Fundamentals**. Atlanta, USA, 2009.

BARON, C. M. P. A produção da habitação e os conjuntos habitacionais dos institutos de aposentadorias e pensões - IAPS. **Revista Tópos**, Presidente Prudente, v. 5, n.2, p.102-127, dez. 2011.

BONDUKI, N. **Origens da Habitação Social no Brasil**. São Paulo: Estação Liberdade, 1998.

BRUGNERA, Rosilene R. **Análise integrada de desempenho energético, impacto ambiental e custo: Estudo de soluções de fachada para edifícios de escritório no Brasil.** Instituto de Arquitetura e Urbanismo - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

BRUGNERA, R. R.; MATEUS, R.; ROSSIGNOLO, J. A.; CHVATAL, K. M. S. Escritórios de planta livre: o impacto de diferentes soluções de fachada na eficiência energética. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 19, n. 3, p. 295-315, jul./set. 2019.

CARVALHO, M. T. M.; SPOSTO, R. M. Metodologia para avaliação da sustentabilidade de habitações de interesse social com foco no projeto. **Revista Ambiente Construído**. Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 207-225, jan./mar. 2012.
CB3E; ABIVIDRO. **Catálogo de Propriedades Térmicas e Óticas de Vidros Comercializados no Brasil.** Universidade Federal de Santa Catarina. Centro tecnológico. Departamento de Engenharia Civil, Florianópolis, 2015. Disponível em: <http://www.pbeedifica.com.br/etiquetagem/residencial/planilhas-catalogos>.

CB3E - **Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações Nota Técnica Referente À Alteração Da Zona Bioclimática De Maringá/Pr Determinada Pela Nbr15220- 3.** Equipe Núcleo de Edificações Comerciais, 2011. Nº 05/2011. Disponível em: <http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/Nota_Tecnica_05_ZonaBioclim%C3%A1ticaMaring%C3%A1_20151029.pdf>. Acesso em: 24 de agosto de 2020.

COMPANHIA DE HABITAÇÃO DO PARANÁ – COHAPAR. **A Cohapar.** Disponível em: <http://www.cohapar.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=1>. Acesso em: 07 de setembro de 2020.

DILKIN, P.; SCHNEIDER, P. S. Revisão de Normas Térmicas para edificações térreas residenciais. In: **V Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído**, 1999. Fortaleza, 1999.

DUTRA L. **Um metodologia para a determinação de fator solar desejável em aberturas**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Florianópolis, 1994.

EERE, **Office Of Energy Efficiency & Renewable Energy**. Disponível em: <www.energy.gov>. Acesso em 24 de agosto de 2020.

FERREIRA, C. C.; SOUZA, H. A. de; ASSIS, E. S. de. Discussão dos limites das propriedades térmicas dos fechamentos opacos segundo as normas de desempenho térmico brasileiras. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 183- 200, jan./mar. 2017. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.

FILHO, A. T. **Habitação popular no Brasil: Análise do modelo operacional de financiamento pelas agências oficiais.** 2006. 154f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília, Universidade de Arquitetura e Urbanismo, 2006.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico: arquitetura, urbanismo.** 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

GOOGLE. **Google SketchUp Make**, 2018.

GIGLIO, Thalita G. F. **Avaliação do desempenho térmico de painéis de vedação em madeira para o clima de Londrina - PR.** Tese (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) - Departamento de Construção Civil, Universidade Estadual de Londrina. Londrina, 2005.

GIVONI, B. **Man, climate and architecture.** London: Applied Science Publishers, 1976.

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

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; FERREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura.** 3. ed. Eletrobras/Procel Editora, 2014.

MARAFON, C.; LACO, M.; SANCHES, J. C.; LEÃO, M.; LEÃO, E. F. T. B. Estratégias bioclimáticas em avaliação de desempenho térmico nas habitações de interesse social em Sinop/MT. **Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas - UFSM, Santa Maria. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental - REGET.** v. 18, n. 3, Set-Dez 2014, p.1008-1021.

MARICATO, E. **O impasse da política urbana no Brasil**. 3. ed. Petrópolis, Rio de Janeiro. 2014.

MELO A. P.; WESTPHAL F. S.; MATOS M. **Apostila de Curso Básico do Programa EnergyPlus.** Universidade Federal de Santa Catarina. Centro tecnológico. Departamento de Engenharia Civil. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Florianópolis, set. 2009.

_____. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMERCIO EXTERIOR - MDIC. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL - INMETRO. Portaria no 372, de 17 de setembro de 2010. **Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos.** Rio de Janeiro, 2010.

MORAIS, J. S. C.; GALVÃO, C. O.; LABAKI, L. C. Velho edifício, novas aberturas: simulação de ventilação natural por meio de CFD. **Anais do XIV ENCAC e X ELACAC.** Balneário Camboriú-SC, 2017.

PBE, Edifica. **Diretrizes para Obtenção de Classificação Nível A para Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas Comercial, de Serviço e Público 2014 Com base na Portaria: nº 372/2010.** Disponível em: <http://pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/downloads/Manual-A.pdf>. Acesso em: 28 de setembro de 2020.

PROJETEE. **Componentes Construtivos.** LabEEE - Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: <http://projeteee.mma.gov.br/componentes-construtivos/#vidros>.

REIS, A. T. da L.; LAY, M. C. D. O projeto da habitação de interesse social e a sustentabilidade social. **Revista Ambiente Construído**. Porto Alegre, v. 10, n. 3, p. 99-119, jul.;set. 2010.

SARVEZUK, Laiana C. **Análise bioclimática em projetos de Habitação de Interesse Social: contribuições ao Zoneamento Bioclimático Brasileiro ZB3.** Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Estadual de Maringá, 2020.

TAMANINI, C. A. M. **Avaliação de desempenho térmico de três sistemas construtivos de edificações escolares na cidade de Maringá - PR.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

UNIVERSITY OF CALIFORNIA, LOS ANGELES (UCLA). **Energy Design Tools Group (2020)**. Climate Consultant (Version 6.0). Software. Disponível em: <http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu/>. Acesso em: 27 de outubro de 2020.

WESTPHAL F. S. **Curso: Introdução ao EnergyPlus.** Universidade Federal de Santa Catarina. Centro tecnológico. Departamento de Engenharia Civil. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Florianópolis, jun. 2006.