XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais

Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES MULTIFAMILIARES EM *CROSS-LAMINATED TIMBER* (CLT): ANÁLISES PARA OS CLIMAS DE BRASÍLIA E SANTA MARIA[1]

(1) Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Londrina, gustavo.henrique.nunes@uel.br

(2) Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Londrina, gvilela.sanches@uel.br

(3) Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Londrina, thalita@uel.br

RESUMO

O sistema construtivo cross-laminated timber (CLT) vem sendo aplicado com sucesso em edificações do mundo todo, e se apresenta como uma tecnologia promissora no Brasil. O objetivo desta pesquisa foi investigar o desempenho termoenergético de painéis CLT, de medula de eucalipto, para vedações verticais de edificações multifamiliares, considerando os climas de Brasília e Santa Maria. Para tanto, aplicou-se o método de simulação do Regulamento Técnico para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). Os resultados de 12 combinações paramétricas simplificadas indicaram que o sistema construtivo inovador apresenta grande potencial de melhoria termoenergética em edificações multifamiliares sob os climas avaliados. Dentre as composições consideradas, os painéis CLT de 5 camadas associados à baixa absortância solar na envoltória caracterizaram a melhor configuração para se alcançar nível A de eficiência. Conclui-se que a tecnologia é adequada para as situações analisadas, sendo necessárias revisões nas normas brasileiras que limitam a difusão e avanço de sistemas leves e inovadores como o CLT.

Palavras-chave: *Madeira engenheirada, RTQ-R, X-LAM, Zoneamento bioclimático brasileiro.*

ABSTRACT

The cross-laminated timber (CLT) has been successfully applied in buildings around the world, and it is a promising technology in Brazil. The aim of this paper was to investigate the thermo-energetic performance of CLT panels made of eucalyptus heartwood for use in vertical closures of multi-story dwellings under the climatic conditions of Brasilia and Santa Maria. The research was based on the simulation method of the Brazilian Technical Regulation of Quality for the Energy Efficiency Level of Residential Buildings (RTQ-R). The results, based on 12 simplified parametric simulations, proved that the innovative construction system have significant potential for thermo-energetic improvement in multi-story dwelling types under the climatic conditions analyzed. The simulated envelope combinations showed that it is important to associate 5-layered CLT panels with low solar absorptance in the envelope for better performance results (energy efficiency level A). It is concluded that the technology is adequate for the situations analyzed in Brazil, and that is necessary to review the Brazilian

[1] NUNES, Gustavo; SANCHES, Guilherme; GIGLIO, Thalita. Eficiência energética de edificações multifamiliares em *cross-laminated timber* (CLT): análises para os climas de Brasília e Santa Maria. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2020.

standard guidelines that impede the advancement of innovative lightweight construction systems such as CLT.

***Keywords**: Brazilian bioclimatic zoning, Engineered wood, RTQ-R, X-LAM.*

1 INTRODUÇÃO

O *cross-laminated timber* (CLT), ou *cross-lam* (X-LAM), é uma tecnologia construtiva, de madeira massiva, que vem se destacando no mundo todo, devido aos seus benefícios para a indústria da construção civil, explorados em diversas pesquisas (ASDRUBALI et al., 2017; LOPES et al., 2018; NUNES et al., 2020). Esse sistema construtivo, industrializado e inovador, se apresenta como uma tecnologia promissora para a concepção de edificações no Brasil, devido às suas características e ao grande potencial produtivo de madeira que o país possui; dispondo da segunda maior área florestal no mundo (FAO, 2015).

Para suprir o déficit habitacional brasileiro, de cerca de 6 milhões de residências (FJP, 2016), uma alternativa que vem sendo empregada pelo setor é a construção de edificações residenciais com múltiplos pavimentos, otimizando o espaço do terreno. Nesse âmbito, a utilização de sistemas construtivos industrializados é bem vista e, assim sendo, a introdução do CLT é uma alternativa que merece ser considerada.

Embora relativamente recorrente no passado, a utilização de madeira como elemento de vedação de edificações brasileiras é rara atualmente. Segundo Molina e Calil Júnior (2010), a prática mais comum consiste em alvenaria de tijolos, que, apesar de oferecer relativa praticidade, por questões culturais, limita a evolução de técnicas inovadoras. Além disso, a falta de conhecimento acerca do comportamento da madeira sob diferentes condições, bem como da elaboração de projetos adequados, também são fatores que justificam a rara aplicação do material na envoltória de edificações brasileiras atuais.

Vedações com materiais de madeira caracterizam sistemas leves, acarretando paredes com valores de capacidade térmica inferiores ao da alvenaria convencional, o que pode influenciar no desempenho termoenergético do ambiente construído. Ainda, ao aplicar os parâmetros presentes na norma NBR 15575 (ABNT, 2013) e no Regulamento Técnico para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) (BRASIL, 2012), observam-se limitações para análise de tecnologias de vedação em madeira, devido à sua capacidade térmica inferior a 130 kJ/m²K.

O objetivo deste artigo é investigar o desempenho termoenergético de habitações residenciais multifamiliares construídas com CLT de medula de eucalipto – um material com baixo valor agregado –, sob as condições climáticas das cidades de Brasília e Santa Maria, caracterizando, respectivamente, as zonas bioclimáticas 4 e 2 da NBR 15220 (ABNT, 2005). Destaca-se que nas regiões onde as cidades citadas se localizam, o eucalipto representa grande parte da produção florestal (IBÁ, 2015). Este estudo complementa pesquisas anteriores (ALENCAR; MOURA, 2019; NUNES et al., 2020) sobre o desempenho de edificações construídas com CLT no Brasil, e os resultados obtidos relatam informações que contribuem para o desenvolvimento da tecnologia construtiva inovadora no país.

2 MÉTODO

Com base em pesquisas (ALENCAR; MOURA, 2019; NUNES et al., 2020) que investigaram painéis inovadores de CLT de medula de eucalipto, foram simuladas 12

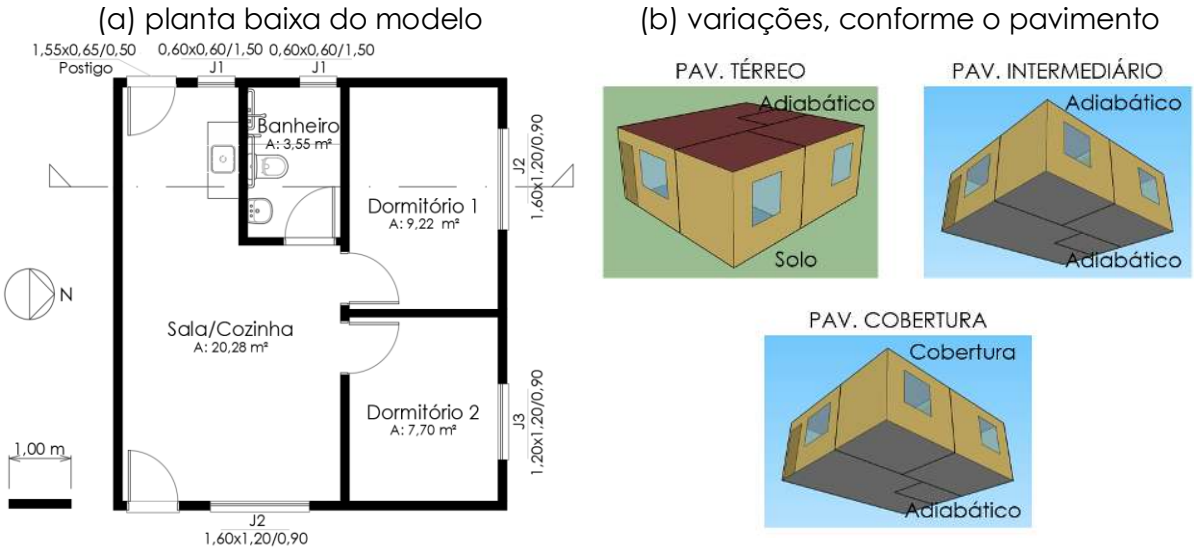
combinações paramétricas, por meio do software *EnergyPlus*, avaliando-se a eficiência energética de quatro configurações de envoltória com fechamento vertical em CLT. Foram consideradas três variações – conforme o pavimento – em edificações multifamiliares, sob as condições climáticas das cidades de Brasília e Santa Maria. A avaliação dos níveis de eficiência energética das diferentes combinações de envoltória seguiu o método de simulação do RTQ-R (BRASIL, 2012).

2.1 Objeto de estudo

O objeto de estudo consiste em uma habitação de interesse social, com área de 40,75 m² e pé direito de 2,55 m, que é dividida em sala/cozinha, dois dormitórios e um banheiro. A partir deste modelo, investigou-se três configurações simplificadas para unidades habitacionais multifamiliares hipotéticas, associadas às trocas de calor conforme o pavimento: em contato com o solo e sem incidência solar na cobertura, que representa o pavimento térreo; sem contato o solo e sem incidência solar na cobertura, que representa o pavimento intermediário; e sem contato o solo e com incidência solar na cobertura, que representa o pavimento cobertura.

Na Figura 1 ilustram-se a planta baixa do modelo simplificado e as variações relacionadas ao nível do pavimento.

Figura 1 – Objeto de estudo



Fonte: os autores; adaptado de projeto disponibilizado pela empresa Tecverde

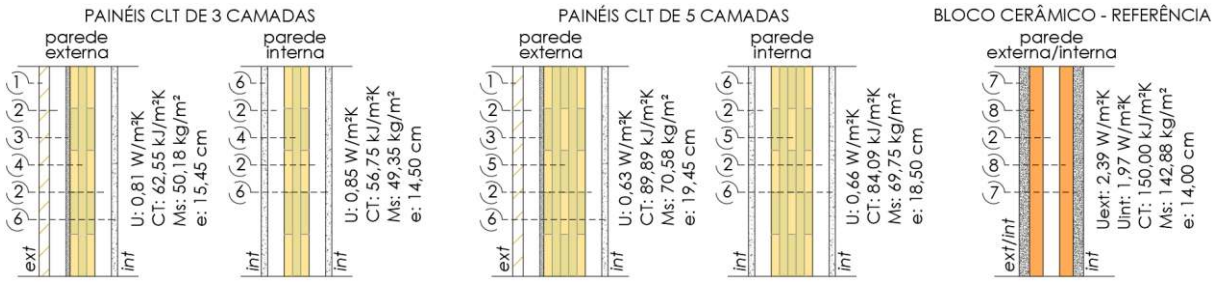
O piso[2] é feito de um radier em concreto armado de 15 cm de espessura, coberto com cerâmica; a cobertura é constituída por telhas cerâmicas, estrutura em madeira, ático não ventilado, lã de rocha de 10 cm de espessura e forro de PVC; e as janelas são formadas por caixilhos de alumínio com duas folhas deslizantes e vidro simples incolor de 3 mm de espessura, sem elementos de sombreamento.

Para o fechamento vertical, investigou-se painéis CLT de medula de eucalipto (ALENCAR; MOURA, 2019; NUNES et al., 2020), compostos por três e cinco camadas. Além disso, o sistema de fechamento de blocos cerâmicos convencional foi considerado como referência. As composições dos fechamentos verticais analisados

[2] Para as trocas de calor pelo piso, a temperatura do solo foi definida por meio do parâmetro "*Site:GroundDomain:Slab*" do *EnergyPlus*, considerando a correlação de Kusuda e Achenbach.

são apresentadas na Figura 2, e as propriedades termofísicas dos materiais utilizados nas composições são apresentadas no Quadro 1. Os valores de absortância solar do caso de referência representam condições usualmente adotadas no tipo de habitação investigada, enquanto as configurações em CLT foram selecionadas com base em resultados para um clima quente – a partir de um estudo preliminar com 72 combinações – disponíveis em Nunes et al. (2020).

Figura 2 – Composições dos fechamentos verticais



U: transmitância térmica; *CT*: capacidade térmica; *Ms*: massa superficial; *e*: espessura; *ext*: face externa; e *int*: face interna

Fonte: os autores

Quadro 1 – Propriedades termofísicas dos materiais dos fechamentos verticais

Item	Descrição	Espessura [m]	Densidade [kg/m³]	Condutividade térmica [W/mK]	Calor específico [J/kgK]
1	Revestimento de madeira	0,02	510	0,115	1.340
2	Câmara de ar não ventilada	0,03	–	–	–
3	Folha de polietileno	0,002	950	0,16	1.850
4	CLT 3 camadas	0,06	510	0,115	1.340
5	CLT 5 camadas	0,10	510	0,115	1.340
6	Gesso acartonado	0,0125	750	0,35	840
7	Argamassa de reboco	0,025	2.000	1,15	1.000
8	Bloco cerâmico (equivalente)	0,0134	1.600	0,9	920

Fonte: os autores; elaborado a partir de ABNT (2005), Nunes et al. (2020) e Weber et al. (2017)

A partir das composições de fechamentos verticais descritas, e com base em resultados de Nunes et al. (2020), foram definidos cinco casos, como se mostra no Quadro 2.

Quadro 2 – Casos investigados

Caso	Fechamento vertical	Absortância solar	
		Cobertura	Paredes externas
1	Referência (bloco cerâmico)	0,75	0,40
2	Painéis CLT de 3 camadas	0,75	0,60
3	Painéis CLT de 5 camadas	0,75	0,60
4	Painéis CLT de 3 camadas	0,20	0,20
5	Painéis CLT de 5 camadas	0,20	0,20

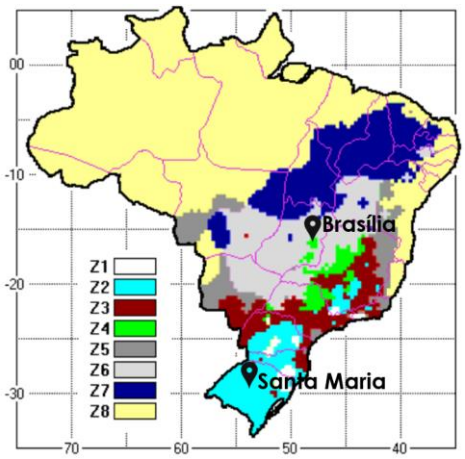
Fonte: os autores

2.2 Climas analisados

As simulações de desempenho foram desenvolvidas para duas cidades brasileiras: Brasília e Santa Maria, inseridas, respectivamente, nas zonas bioclimáticas 4 e 2 da

NBR 15220 (ABNT, 2005), como se mostra na Figura 3.

Figura 3 – Climas analisados: Brasília (Z4) e Santa Maria (Z2)



Fonte: os autores; adaptado de Roriz (2004)

2.3 Aplicação do RTQ-R

O desempenho termoenergético da envoltória da edificação foi analisado por meio do método de simulação computacional do RTQ-R (BRASIL, 2012), que classifica o desempenho com nível A (mais eficiente) a E (menos eficiente).

Para a obtenção do nível de eficiência energética da envoltória de habitações nas zonas bioclimáticas 1 a 4, o RTQ-R (BRASIL, 2012) preconiza a avaliação dos ambientes de permanência prolongada para as condições de verão, por meio do indicador de graus-hora para resfriamento (GHR), e de inverno, por meio do indicador de consumo relativo para aquecimento (CA). O GHR foi calculado por meio da Equação 1, na qual *i* é cada uma das 8.760 horas do ano e T_i é a temperatura operativa horária de cada ambiente de permanência prolongada (dormitórios e sala/cozinha). Por sua vez, o CA foi obtido a partir do consumo de energia com aquecimento, das 21:00 h às 08:00 h, sendo 22 °C a temperatura do termostato.

$$GHR=\begin{cases}\text{se } T_i > 26\ °C, & \sum_{i=1}^{8760}(T_i - 26\ °C)\\ \text{se } T_i \leq 26\ °C, & 0\end{cases} \quad (1)$$

A classificação da eficiência da envoltória foi realizada a partir dos indicadores GHR e CA, de acordo com os valores limites da tabela de referência para os arquivos climáticos do tipo *Solar and Wind Energy Resource Assessment* (SWERA) de Brasília e Santa Maria, utilizados nas simulações.

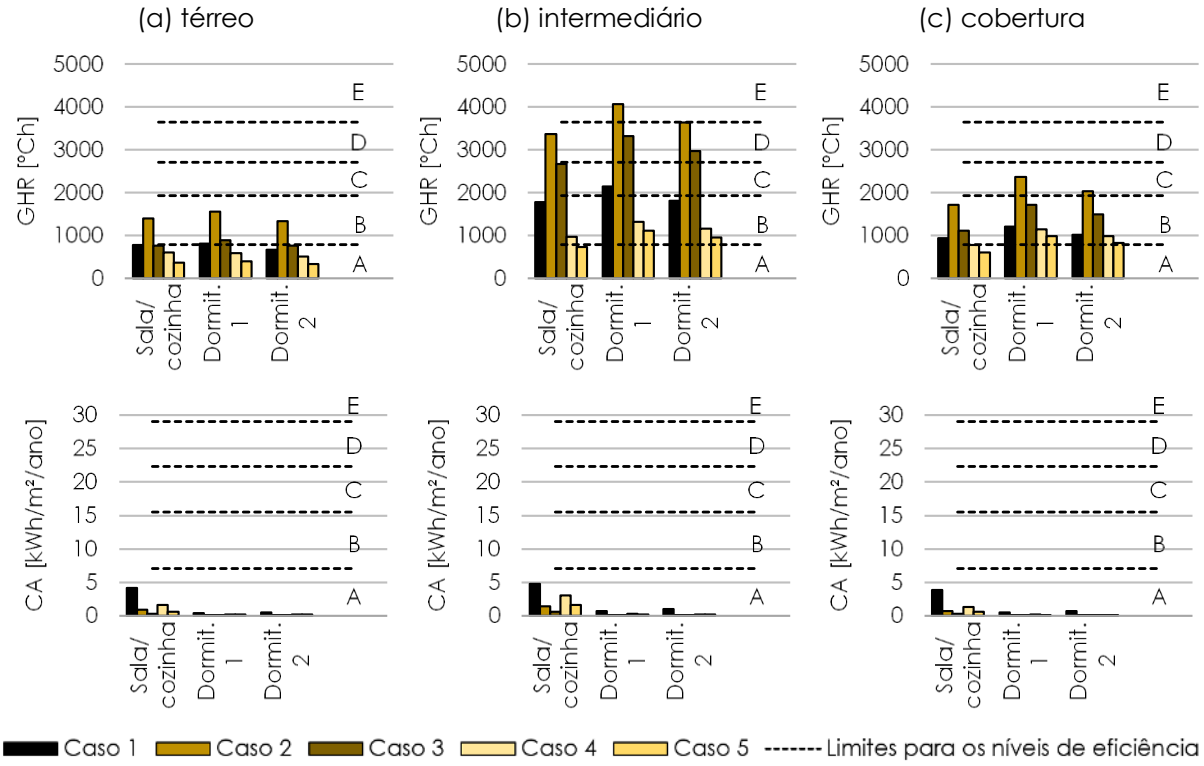
3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesta seção são apresentadas as análises de desempenho dos casos investigados; primeiro para Brasília (Z4), e depois para Santa Maria (Z2).

3.1 Desempenho para o clima de Brasília (Z4)

Na Figura 4 são apresentados os indicadores GHR e CA para os ambientes de permanência prolongada, segundo as situações e os casos propostos, no clima de Brasília (Z4).

Figura 4 – Indicadores GHR e CA, para as situações dos pavimentos: (a) térreo, (b) intermediário e (c) cobertura, em Brasília (Z4)



Fonte: os autores

Para a condição de verão, por meio dos indicadores GHR, o painel CLT de 5 camadas com baixa absortância solar na envoltória (caso 5) ofereceu o melhor desempenho para todas as situações de pavimentos. Em relação ao caso de referência, percebe-se um desempenho superior dos painéis CLT, desde que associados à baixa absortância solar na envoltória.

Para a condição de inverno, por meio dos indicadores CA, o painel CLT de 5 camadas com maior absortância solar na envoltória (caso 3) ofereceu melhor desempenho. Todos os casos com painéis CLT possibilitam melhor desempenho, em relação ao caso de referência, para todas as situações de pavimentos.

No Quadro 3 são apresentados os níveis finais de eficiência energética da envoltória, conforme os casos investigados, para o clima de Brasília (Z4).

Quadro 3 – Níveis de eficiência dos casos investigados, para Brasília (Z4)

Pavimentos	Térreo					Intermediário					Cobertura				
Casos	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Níveis de eficiência	A	B	A	A	A	B	C	C	B	A	B	B	B	B	A

Fonte: os autores

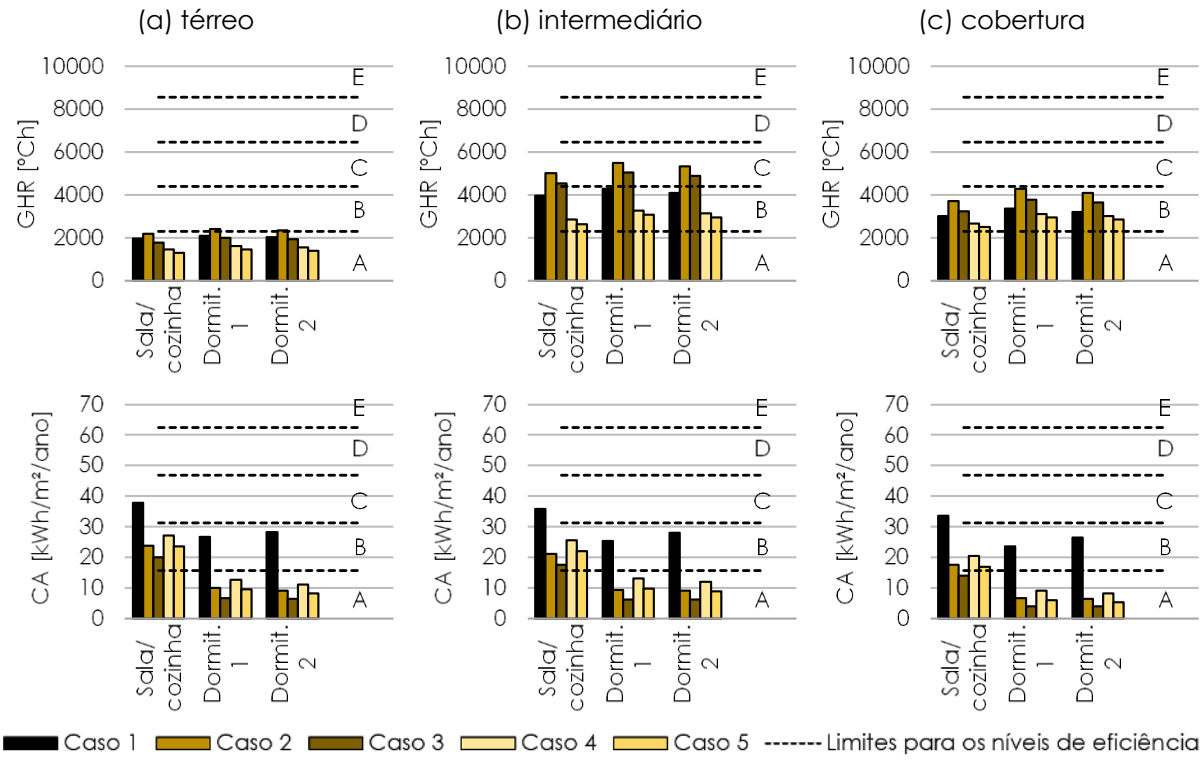
Observa-se que, de modo geral, o painel CLT de 5 camadas associado à baixa absortância solar na envoltória (caso 5), possibilitou nível de eficiência A em todas as situações investigadas para o clima de Brasília (Z4).

Além do mais, o Quadro 3 mostra que painéis CLT podem garantir habitações com níveis de eficiência na envoltória superiores às construídas convencionalmente, na zona bioclimática 4.

3.2 Desempenho para o clima de Santa Maria (Z2)

Na Figura 5 são apresentados os indicadores GHR e CA para os ambientes de permanência prolongada, segundo as situações e os casos propostos, no clima de Santa Maria (Z2).

Figura 5 – Indicadores GHR e CA, para as situações dos pavimentos: (a) térreo, (b) intermediário e (c) cobertura, em Santa Maria (Z2)



Fonte: os autores

Assim como observado para Brasília (Z4), na condição de verão, o painel CLT de 5 camadas com baixa absortância solar na envoltória (caso 5) ofereceu melhor desempenho para todos os níveis de pavimentos. Adicionalmente, a associação da baixa absortância solar possibilitou melhores indicadores para os painéis CLT, em todas as situações.

Para a condição de inverno, outra vez, todas as configurações de painéis CLT obtiveram desempenho superior à alvenaria convencional, em todos os pavimentos.

No Quadro 4 são apresentados os níveis finais de eficiência energética da envoltória, conforme os casos investigados, para o clima de Santa Maria (Z2).

Quadro 4 – Níveis de eficiência dos casos investigados, para Santa Maria (Z2)

Pavimentos	Térreo					Intermediário					Cobertura				
Casos	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Níveis de eficiência	A	A	A	A	A	B	B	B	A	A	A	B	A	A	A

Fonte: os autores

Percebe-se que todos os casos alcançaram bons níveis (A e B) de eficiência. No entanto, apenas os painéis CLT de 3 e 5 camadas associados à baixa absortância solar na envoltória (casos 4 e 5), possibilitaram nível de eficiência A em todas as situações investigadas, para o clima de Santa Maria (Z2).

4 CONCLUSÕES

Por meio deste estudo, pôde-se compreender o potencial de melhoria termoenergética de edificações multifamiliares nas zonas bioclimáticas 2 e 4, com a aplicação do CLT nos fechamentos verticais, associada à baixa absortância solar.

Com a tecnologia inovadora, foi possível alcançar níveis de eficiência energética superiores aos obtidos com a alvenaria tradicional de blocos cerâmicos. Isto se deve, principalmente, à característica de madeira em massa, com baixa transmitância térmica, que os painéis CLT possuem.

São necessárias revisões nas orientações normativas brasileiras que limitam a difusão de sistemas leves como o CLT. Além disso, visto que os piores resultados ocorreram para o pavimento intermediário, observa-se a necessidade de análises mais abrangentes pela norma de desempenho (ABNT, 2013), que limita as análises à verificação de uma unidade habitacional do último pavimento.

AGRADECIMENTOS

À CAPES, pelas bolsas de estudos concedidas.

REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: Desempenho Térmico de Edificações. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15575**: Edificações habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro, 2013

ALENCAR, J.; MOURA, J. D. M. Mechanical Behavior of Cross Laminated Timber Panels Made of Low-Added-Value Timber. **Forest Products Journal**, v. 69(3), p. 177–184, 2019.

ASDRUBALI, F. et al. A review of structural, thermo-physical, acoustical, and environmental properties of wooden materials for building applications. **Building and Environment**, v. 114, p. 307–332, 2017.

BRASIL. **Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais (RTQ-R)**. Brasília, DF: Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, 2012.

FAO FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Global Forest Resources Assessment 2015**. Rome, 2015.

FJP FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Déficit habitacional no Brasil 2013-2014**. Centro de Estatística e Informações. Belo Horizonte, 2016.

IBÁ INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório IBÁ 2015**. Brasília, 2015.

LOPES, G. C. et al. A systematic review of Prefabricated Enclousure Wall Panel Systems: Focus on technology driven for performance requirements. **Sustainable Cities and Society**, v. 40, p. 688–703, 2018.

MOLINA, J. C.; CALIL JÚNIOR, C. Sistema construtivo em wood frame para casas de madeira. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 31, n. 2, p. 143-156, 2010

NUNES, G. et al. Thermo-energetic performance of wooden dwellings: Benefits of cross-laminated timber in Brazilian climates. **Journal of Building Engineering**, v. 32, 101468, 2020.

RORIZ, M. **ZBBR 1.1 - Zoneamento Bioclimático do Brasil**. 2004.

WEBER, F. S. et al. **Desenvolvimento de um modelo equivalente de avaliação de propriedades térmicas para a elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no EnergyPlus**, Florianópolis, 2017.