2020 ENTAC
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

ANÁLISE DO DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS EM *CROSS-LAMINATED TIMBER* (CLT) NO CLIMA DE MATO GROSSO[1]

NUNES, Gustavo (1); SANCHES, Guilherme (2); GIGLIO, Thalita (3)

(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

Painéis cross-laminated timber (CLT) caracterizam uma tecnologia construtiva, em madeira massiva, que vem se destacando em vários países, e se apresenta com futuro promissor no Brasil, devido ao potencial florestal nacional. O objetivo deste estudo foi investigar o desempenho termoenergético de painéis CLT, feitos de medula de eucalipto, para vedações verticais de diferentes tipologias habitacionais, considerando os climas de três cidades de Mato Grosso: Cuiabá, Rondonópolis e Sinop. Para tanto, aplicou-se o método de simulação do Regulamento Técnico para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). Os resultados mostraram que fechamentos verticais com o sistema construtivo inovador podem apresentar desempenho termoenergético satisfatório, sob as condições climáticas de Mato Grosso. Com painéis CLT, é possível obter edificações residenciais com níveis de eficiência energética semelhantes, e até superiores, aos obtidos com a alvenaria convencional, sendo fundamental, para tanto, que a envoltória disponha de baixa absortância solar. Nesse sentido, são necessárias revisões nas normas brasileiras que limitam o avanço de sistemas construtivos leves e inovadores, como o CLT, no país.

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

ABSTRACT

Cross-laminated timber (CLT) panels consist of a massive timber construction technology, which has been standing out in several countries, and has a promising future in Brazil, due to the national forest potential. The aim of this study was to investigate the thermo-energetic performance of CLT panels, made of eucalyptus heartwood, for vertical closures of different dwelling types, considering the climatic conditions of three cities in Mato Grosso state: Cuiabá, Rondonópolis and Sinop. For this purpose, the simulation method of the Brazilian Technical Regulation of Quality for the Energy Efficiency Level of Residential Buildings (RTQ-R) was applied. The results showed that CLT façades can provide satisfactory thermo-energetic performance under the climatic conditions of Mato Grosso. With CLT panels, it is possible to

[1] NUNES, Gustavo; SANCHES, Guilherme; GIGLIO, Thalita. Análise do desempenho termoenergético de edificações residenciais em *cross-laminated timber* (CLT) no clima de Mato Grosso. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2020.

obtain residential buildings with energy efficiency levels that are similar – and even better – than those obtained with standard brick masonry; it is essential, however, that the envelope has low solar absorptance. In this sense, it is necessary revisions in the Brazilian standards that restrict the advance of lightweight innovative construction systems, such as CLT, in the country.

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

1 INTRODUÇÃO

Tecnologias construtivas em madeira são bastante aplicadas em construções na América do Norte, Ásia e Europa, e vêm sendo investigadas em diversas pesquisas, em termos ambientais, econômicos e estruturais (ASDRUBALI et al., 2017). Um sistema construtivo recente e inovador, que se destaca no mundo todo, devido às vantagens das suas características de madeira massiva, é o *cross-laminated timber* (CLT), também conhecido como *cross-lam* (X-LAM), que consiste em painéis estruturais compostos por lamelas cruzadas de madeira pregadas ou coladas transversalmente.

No Brasil, embora o país possua grande oferta de madeira (IBÁ, 2017), aliada a um enorme potencial para maior produção do material (ARAUJO et al., 2017), é pouco usual sua aplicação em elementos de vedação nas edificações. Nesse âmbito, uma vez que o CLT se apresenta com vários atributos que são pretendidos na construção civil (redução do tempo de obra, de resíduos, de emissões de poluentes etc.), há carência de estudos, por exemplo, sobre seu potencial de uso em fechamentos verticais energeticamente eficientes para diversos climas brasileiros.

De acordo com Tonelli e Grimaudo (2014), caracterizando construções leves, habitações com material de vedação predominante em madeira apresentam valores de massa inferiores à alvenaria tradicional e trazem dúvidas quanto ao seu desempenho termoenergético. Em análises de desempenho térmico e energético segundo a norma NBR 15575 (ABNT, 2013) e o Regulamento Técnico para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) (BRASIL, 2012), tecnologias de vedação em madeira, que configuram sistemas leves, apresentam limitações na forma de avaliação e nos níveis de eficiência, em função da sua baixa capacidade térmica (inferior a 130 kJ/m²K). No entanto, pesquisas recentes apontam que vedações leves podem oferecer melhor comportamento térmico, e o uso da madeira é uma alternativa altamente eficaz para a substituição da alvenaria convencional de blocos (ASDRUBALI et al., 2017; NUNES et al., 2020).

Segundo a Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ) (IBÁ, 2015) e Reis e Moraes (2015), o eucalipto (*Eucalyptus spp.*) é a espécie mais plantada na região Centro-Oeste, para obtenção de produtos madeiráveis. O estado de Mato Grosso, em particular, embora pouco explorado, possui grande potencial para investimentos na área de reflorestamento, devido ao clima propício e terra fértil para plantar e produzir (SECOM/MT, 2008; REIS; MORAES, 2015). Dessa maneira, é oportuna a investigação do comportamento termoenergético do CLT de eucalipto aplicado em sistemas verticais de habitações sob o clima mato-grossense.

O objetivo deste artigo é investigar o desempenho termoenergético de habitações residenciais construídas com CLT de medula de eucalipto – um material inovador, com baixo valor agregado, desenvolvido por Alencar e Moura (2019) –, nas cidades de Cuiabá, Rondonópolis e Sinop, inseridas nas zonas bioclimáticas 7, 6 e 8 da NBR 15220 (ABNT, 2005). Este estudo dá continuidade em pesquisas anteriores sobre o desempenho de edificações construídas com CLT no Brasil, sendo que informações complementares são apresentadas em Alencar e Moura (2019) e Nunes et al. (2020). Os resultados obtidos relatam informações importantes e que contribuem para o

desenvolvimento da tecnologia construtiva inovadora no país.

2 MÉTODO

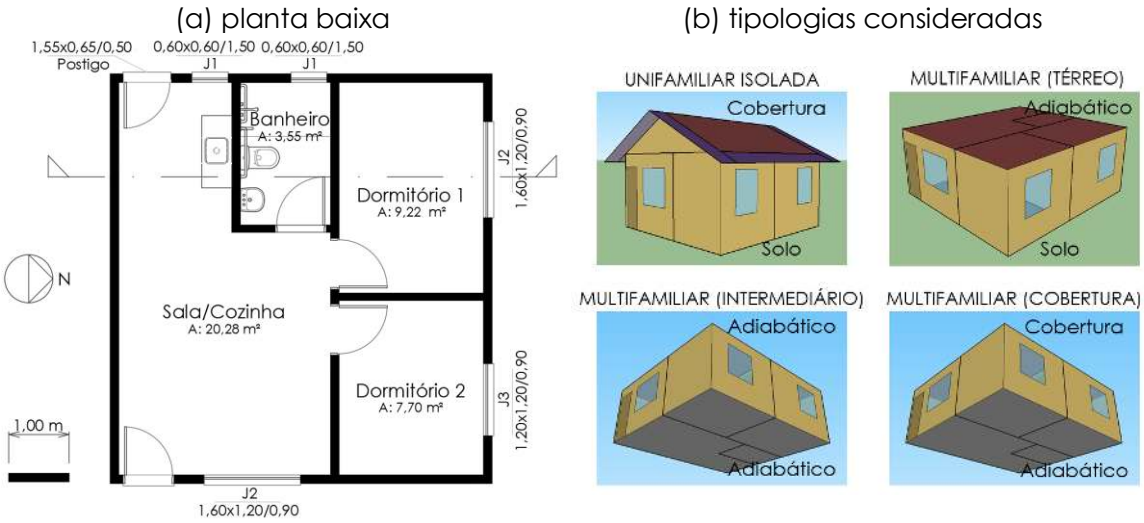
Com base em pesquisas (ALENCAR; MOURA, 2019; NUNES et al., 2020) que investigaram painéis inovadores de CLT de medula de eucalipto, foram simuladas 16 combinações paramétricas, por meio do software *EnergyPlus*, avaliando-se a eficiência energética de quatro configurações de envoltória com fechamento vertical em CLT. Foram consideradas quatro tipologias residenciais simplificadas, sob as condições climáticas de três cidades de Mato Grosso: Cuiabá, Rondonópolis e Sinop. A avaliação dos níveis de eficiência energética seguiu o método de simulação do RTQ-R (BRASIL, 2012).

2.1 Objeto de estudo

O modelo geométrico do objeto de estudo é baseado em uma habitação de interesse social, com área de 40,75 m² e pé direito de 2,55 m, dividida em sala/cozinha, dois dormitórios e um banheiro, conforme se ilustra na Figura 1.a.

A partir do modelo geométrico, analisou-se quatro situações simplificadas, associadas às trocas de calor pelo piso e cobertura, de acordo com diferentes tipologias de habitações: unifamiliar isolada (contato com o solo e cobertura exposta), e três situações hipotéticas de habitação multifamiliar, em pavimento térreo (contato com o solo e sem cobertura exposta), em pavimento intermediário (sem contato com o solo e sem cobertura exposta), e em pavimento cobertura (sem contato com o solo e com cobertura exposta), como se ilustra na Figura 1.b.

Figura 1 – Objeto de estudo: (a) planta baixa; e (b) tipologias consideradas



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

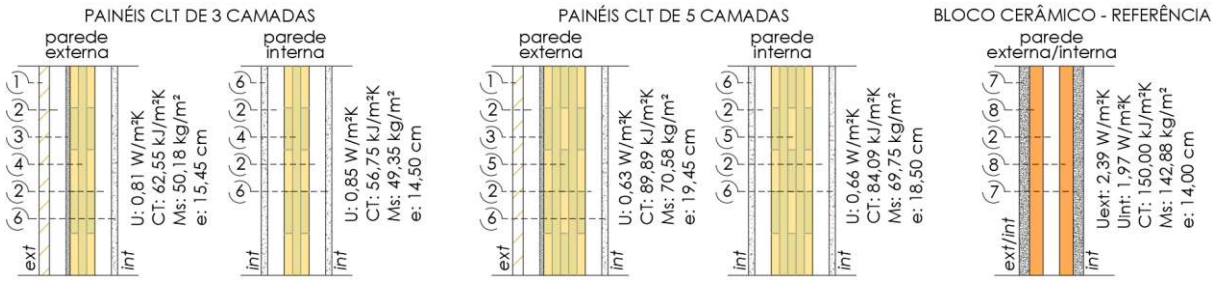
Os elementos que compõem o objeto de estudo possuem as seguintes características: o piso[2] consiste em um radier em concreto armado de 15 cm de espessura coberto com cerâmica; a cobertura é constituída por telhas cerâmicas, estrutura em madeira, ático não ventilado, lã de rocha de 10 cm de espessura e forro de PVC; e as janelas são formadas por caixilhos de alumínio com duas folhas

[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.

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, 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 analisadas são ilustradas na Figura 2Figura , 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, foram definidos cinco casos, como se mostra no Quadro 2.

Quadro 2 – Casos investigados

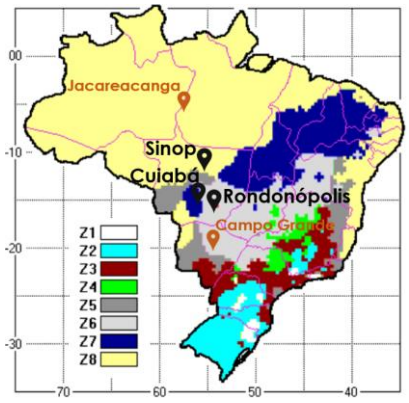
Caso	Fechamento vertical	Absortância solar	
		Cobertura	Paredes externas
1	Referência (bloco cerâmico)	0,75	0,40
2	Painéis CLT de 3 camadas	0,75	0,60
3	Painéis CLT de 5 camadas	0,75	0,60
4	Painéis CLT de 3 camadas	0,20	0,20
5	Painéis CLT de 5 camadas	0,20	0,20

Fonte: os autores

2.2 Climas analisados

As simulações foram realizadas para as cidades de Cuiabá (Z7), Rondonópolis (Z6) e Sinop (Z8), indicadas no mapa de zoneamento bioclimático brasileiro da Figura 3.

Figura 3 – Climas analisados: Cuiabá (Z7), Rondonópolis (Z6) e Sinop (Z8)



Fonte: os autores; adaptado de Roriz (2004)

Os arquivos climáticos para as simulações foram empregados de acordo com o RTQ-R (BRASIL, 2012). Como os municípios de Rondonópolis e Sinop não possuem arquivos climáticos do tipo *Test Reference Year* (TRY) ou *Solar and Wind Energy Resource Assessment* (SWERA), conforme o RTQ-R (BRASIL, 2012) orienta, utilizou-se os dados climáticos disponíveis para cidades com características climáticas semelhantes: Campo Grande (Z6) e Jacareacanga (Z8), respectivamente, indicadas na Figura 3.

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 classificação de eficiência energética da envoltória de habitações nas zonas bioclimáticas 5 a 8, o RTQ-R (BRASIL, 2012) prevê somente a avaliação para a condição de verão, a partir do indicador de graus-hora para resfriamento (GHR) dos ambientes de permanência prolongada. Assim, 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.

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

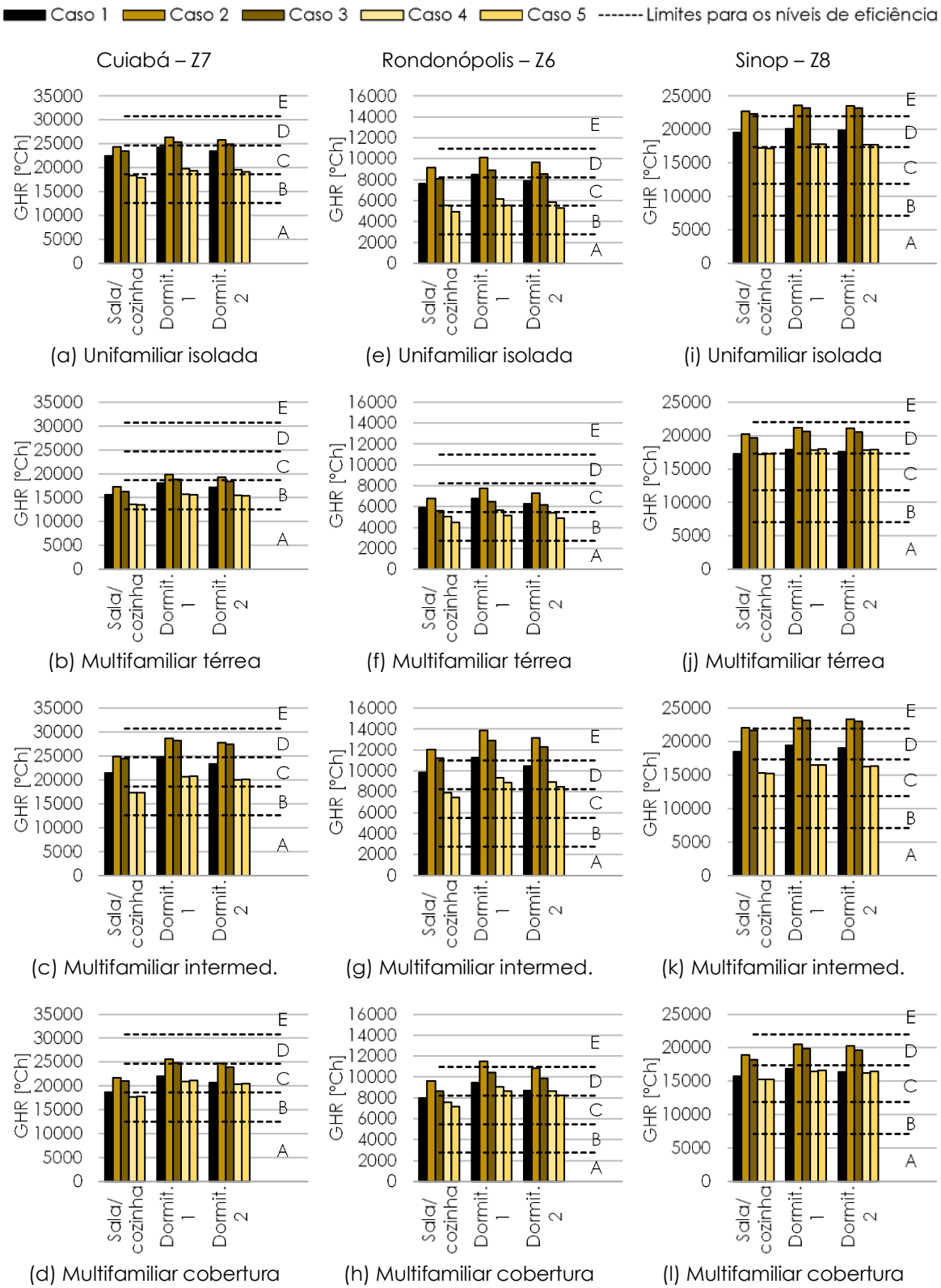
Conforme as instruções do RTQ-R (BRASIL, 2012), a classificação da envoltória seguiu os limites de GHR para os níveis de eficiência, de acordo com a tabela de valores de referência para os arquivos climáticos SWERA utilizados: de Cuiabá, Campo Grande (para Rondonópolis) e Jacareacanga (para Sinop).

3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

3.1 Graus-hora para resfriamento (GHR)

Na Figura 4 são apresentados os indicadores de desempenho para os ambientes de permanência prolongada, segundo os casos e climas considerados neste estudo.

Figura 4 – Indicadores de graus-hora para resfriamento, conforme os casos investigados: (a,b,c,d) Cuiabá; (e,f,g,h) Rondonópolis; e (i,j,k,l) Sinop



Fonte: os autores

De maneira geral, os painéis CLT associados à baixa absortância solar da envoltória (casos 4 e 5) possibilitaram níveis de desempenho superiores ao caso de referência, para as situações analisadas nos climas de Mato Grosso. Para as habitações

unifamiliares, em relação à referência (caso 1), a configuração CLT do caso 5 acarretou reduções de até 20%, 35% e 12% nos indicadores GHR para Cuiabá, Rondonópolis e Sinop, respectivamente. Por sua vez, considerando o pavimento intermediário (pior situação) de edifícios multifamiliares, as reduções nos indicadores GHR dos ambientes, obtidas com o caso 5, foram de até 19%, 24% e 17% para Cuiabá, Rondonópolis e Sinop, respectivamente.

Percebe-se, ainda, que casos 2 e 3 – painéis com absortância solar 0,6 (cor natural da madeira) associados à absortância solar 0,75 (cor natural da telha) na cobertura – apresentam desempenho inferior, devido ao clima quente do estado. Assim sendo, em locais onde as altas temperaturas predominam, com grande incidência solar ao longo do ano, é fundamental a concepção de envoltórias com baixa absortância solar para melhor comportamento térmico do ambiente construído.

Em arremate, são encontrados resultados parecidos para o clima de Belém (Z8) em Nunes et al. (2020), onde os pesquisadores avaliam outras composições e mostram que as melhores configurações de painéis CLT exigem baixa absortância solar e dispensam isolamento térmico.

3.2 Nível de eficiência energética da envoltória

No Quadro 3 são apresentados os níveis finais de eficiência energética da envoltória, conforme os casos e climas analisados neste artigo.

Quadro 3 – Níveis de eficiência energética dos casos investigados

Cidades	Cuiabá (Z7)					Rondonópolis (Z6)					Sinop (Z8)				
Casos	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Unifamiliar isolada	C	C	C	B	B	C	D	C	C	B	D	E	E	C	C
Multifamiliar (térreo)	B	B	B	B	B	C	C	C	B	B	C	D	D	C	C
Multifamiliar (intermed.)	C	D	C	B	B	D	E	E	C	C	D	E	D	C	C
Multifamiliar (cobertura)	C	C	C	B	B	C	D	D	C	C	C	D	D	C	C

Fonte: os autores

Para Cuiabá (Z7), observa-se que os painéis CLT de 3 ou 5 camadas, associados à baixa absortância solar no envelope (casos 4 e 5), possibilitaram bons resultados, com nível de eficiência B em todas as tipologias habitacionais.

No clima de Rondonópolis (Z6), para a tipologia unifamiliar isolada, o melhor nível de eficiência obtido foi B, com o painel CTL de 5 camadas com baixa absortância solar na envoltória (caso 5). E para a tipologia multifamiliar, as classificações com os painéis CLT de 3 ou 5 camadas, associados à baixa absortância solar do envelope (casos 4 e 5), foram: nível B, para o pavimento térreo; e nível C, para os pavimentos intermediário e cobertura.

Por último, no clima de Sinop (Z8) – assim como observado para Belém (Z8) em Nunes et al. (2020) –, com o sistema inovador, o melhor nível de eficiência energética da envoltória alcançado foi C, para todas as tipologias. Outra vez, pôde-se alcançar bons resultados com os painéis CLT de 3 ou 5 camadas, associados à baixa absortância solar no envelope (casos 4 e 5).

4 CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo demonstraram que painéis CLT, para fechamentos verticais de diferentes tipologias habitacionais, em Mato Grosso, podem apresentar

um desempenho termoenergético satisfatório. Com a tecnologia inovadora constituída pela medula de eucalipto, material de baixo valor agregado, observou-se que é possível obter edificações residenciais com níveis de eficiência energética semelhantes, e até superiores, aos obtidos para o caso de referência; sendo fundamental, para tanto, que a envoltória disponha de baixa absortância solar.

Portanto, são necessárias revisões nas orientações normativas brasileiras que limitam a difusão de sistemas leves como o CLT. Ademais, visto que os piores resultados ocorreram para o pavimento intermediário, existe a necessidade de verificações mais abrangentes pela norma de desempenho (ABNT, 2013), que limita as análises térmicas à 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.

ARAUJO, V. A. et al. Importância da madeira de florestas plantadas para a indústria de manufaturados. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 37(90), p. 189–200, 2017.

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.

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

IBÁ INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório IBÁ 2017**. Brasília, 2017.

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.

REIS, C. F.; MORAES, A. C. **Produção de madeira de florestas plantadas na região Centro-Oeste do Brasil**. Documentos 287. Embrapa Florestas, Colombo, 2015.

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

SECOM/MT SECRETARIA DE ESTADO DE COMUNICAÇÃO SOCIAL DE MATO GROSSO. **Mato Grosso emerge como opção para investimentos na área de reflorestamento**. 2008. Disponível em: <http://www5.sefaz.mt.gov.br/-/mato-grosso-emerge-como-opcao-para-investimentos-na-area-de-reflorestamento>. Acesso em: 06 mai. 2020.

TONELLI, C.; GRIMAUDO, M. Timber buildings and thermal inertia: Open scientific problems for summer behavior in Mediterranean climate. **Energy and Buildings**, v. 83, p. 89–95, 2014.

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.