XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído
JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES MULTIFAMILIARES EM *WOOD FRAME*

Heitor Bortone (1); Gustavo Henrique Nunes (2); Thalita Gorban Ferreira Giglio (3)
(1) Engenheiro Civil, bortoneheitor@gmail.com,
(2) Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, nunes.gustavo@outlook.com
(3) Doutora em Engenharia Civil, Professora do Departamento de Construção Civil, thalita@uel.br
Universidade Estadual de Londrina, Centro de Tecnologia e Urbanismo, Departamento de Construção Civil, Cx Postal 6001, Londrina–PR, CEP 86051-990, Tel.: (43) 3371-4649

RESUMO
No contexto das inovações tecnológicas, empreendimentos residenciais de quatro pavimentos vêm sendo executados no sistema construtivo em *wood frame*. Neste âmbito, o presente trabalho tem como objetivo analisar o desempenho termoenergético de edificações multifamiliares construídas em *wood frame*, tendo como referência o sistema construtivo em alvenaria convencional de blocos cerâmicos. A metodologia consistiu em simulações computacionais com o software *EnergyPlus*, seguindo o procedimento descrito no Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). Considerando como objeto de estudo um dos dormitórios de um apartamento residencial em *wood frame*, realizou-se variações no modelo a fim de representar diferentes possibilidades existentes em edificações multifamiliares, conforme o pavimento e orientação solar. As simulações foram realizadas para os climas de São Paulo e Belém. Foi possível diagnosticar que o contato com o solo teve influência positiva sobre a edificação em sistema leve, fazendo com que, em ambos os climas, os melhores níveis de eficiência gerados fossem no pavimento térreo. Não obstante, a alta absortância solar da cobertura contribuiu negativamente para o desempenho do dormitório localizado no último pavimento. Já com telhado de baixa absortância solar, o pavimento cobertura apresentou desempenho superior ao pavimento intermediário em Belém. Além do mais, as orientações leste e oeste geraram resultados não satisfatórios, demonstrando a necessidade de elementos de sombreamento nas aberturas de envoltórias com sistemas leves, principalmente. De modo geral, conclui-se que o sistema construtivo em *wood frame* obteve resultados de nível de eficiência muito próximos da alvenaria convencional, fato que corrobora ainda mais para sua utilização no Brasil, uma vez que oferece benefícios como redução da emissão de CO_2, do tempo de obra e do desperdício de materiais.
Palavras-chave: edificações multifamiliares, *wood frame*, simulação computacional, contato com o solo, orientação solar.

ABSTRACT
In the context of technological innovations, four-storey residential developments has been carried out using the construction system in wood frame. In this context, the current work aims to analyze the thermoenergetic performance of multifamily buildings constructed in wood frame, having as reference the construction system in conventional masonry of ceramic bricks. The methodology consisted of computer simulations with the EnergyPlus software by following the procedure described in the Technical Quality Regulation for the Energy Efficiency Level of Residential Buildings (RTQ-R). Considering as object of study one of the bedrooms of a residential apartment in wood frame, variations were made in the housing model in order to represent different possibilities in multifamily buildings, according to the floor and solar direction. The simulations were performed to the climates of São Paulo and Belém. It was possible to diagnose that the ground contact had a positive influence on the building in light system, causing, in both climates, the best levels of efficiency were generated on the ground floor. Nevertheless, the dark color of the tile used in the roofing contributed negatively to the performance of the bedroom located on the last floor. Already with a low solar absorptance roof, the top floor had superior performance than intermediate floor in Belém. Furthermore, the east and west orientations also gave unsatisfactory results to the building, demonstrating the need for the incorporation of shading elements in the openings of envelope with light systems, mainly. In

general, it was concluded that the wood frame construction system obtained results of efficiency level as satisfactory as conventional masonry, fact that supports even more to its use in Brazil, since it offers benefits such as reduction of CO_2 emissions, work time and waste of materials.
Keywords: multifamily buildings, wood frame, computational simulation, ground contact, solar orientation.

1. INTRODUÇÃO

Grande parte das construções no Canadá, Estados Unidos e Europa são caracterizadas pela utilização de *wood frame* (estrutura de perfis de madeira leve) ou *steel frame* (perfis de aço leve), concomitantemente com o fechamento por placas cimentícias, gesso acartonado e poliestireno expandido (ALDERMAN, 2013; KOSNY et al., 2014). Molina e Calil Júnior (2010) ressaltam que o sistema construtivo em *wood frame* é viável pois reduz os desperdícios causadores de impactos ambientais e aumenta a produtividade, por ser uma construção limpa, seca e com facilidade no manuseio dos elementos construtivos do sistema. Além disso, no Brasil, a viabilidade desse sistema construtivo dá-se pela grande quantidade de madeira, sendo o país com a segunda maior área florestal do mundo (BNDES, 2002; FAO, 2015; KEENAN et al. 2015).

O Brasil possui um déficit habitacional de cerca de seis milhões de residências (FJP, 2016). Uma alternativa encontrada por muitos empreendedores e construtores foi a concepção de edificações residenciais multifamiliares, de modo que ocupasse menos espaço e coubesse mais pessoas na mesma área de terreno. Neste cenário, tem-se a introdução do sistema de *wood frame* em habitações multifamiliares, e em conjunto, a necessidade de se avaliar o seu desempenho termoenergético, uma vez que é uma tecnologia ainda em consolidação no Brasil.

Dentre as metodologias de avaliação de desempenho energético, têm-se o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais – RTQ-R (BRASIL, 2012) e a NBR 15575 (ABNT, 2013) que abordam critérios, requisitos, padrões de ocupação, uso de iluminação, equipamentos e parâmetros para avaliação do desempenho térmico de habitações no Brasil. O *wood frame* (sistema construtivo leve) por ter baixa densidade, possui, consequentemente, baixa massa térmica e capacidade térmica inferior ao valor mínimo requerido pela NBR 15575. Assim sendo, sugere-se a análise de desempenho térmico desse sistema construtivo através da simulação computacional.

Por meio da simulação computacional, a qual considera a resposta global da edificação, estudos de Mazzaferro (2013), Rocha et al. (2016), Bortone et al. (2018) e Zara et al. (2018) comprovam o bom desempenho térmico de sistemas leves, mesmo não se adequando às exigências de capacidade térmica pelo método simplificado da norma de desempenho NBR 15575 (ABNT, 2013) e do RTQ-R (BRASIL, 2012). Além disso, a influência da temperatura de solo e do contato da edificação com o solo vem destacando-se nos estudos de Oliveira et al. (2012), Pereira (2009) e Sorgato et al. (2014), sendo oportuna a investigação do desempenho termoenergético de habitações multifamiliares em *wood frame* com estes enfoques.

Assim sendo, esta pesquisa contribui para a discussão do desempenho termoenergético de edificações em sistemas construtivos leves no Brasil, a partir da mensuração e avaliação da resposta termoenergética de habitações multifamiliares sob diferentes condições.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é avaliar o desempenho termoenergético de unidades habitacionais de edificações multifamiliares construídas em *wood frame*, nas zonas bioclimáticas 3 e 8 da NBR 15220-3 (ABNT, 2005), em referência às cidades de São Paulo e Belém, respectivamente.

3. MÉTODO

Para atender ao objetivo, a estratégia adotada foi o emprego de simulações computacionais com o software *EnergyPlus*. Variações no modelo de uma edificação multifamiliar foram propostas no sentido de se avaliar o nível de eficiência energética segundo o RTQ-R (BRASIL, 2012). Nesta seção são apresentados o objeto de estudo, as variações no modelo e condições climáticas analisadas, bem como os procedimentos das simulações para a determinação do desempenho termoenergético da habitação.

3.1. Objeto de estudo

A edificação multifamiliar analisada possui quatro pavimentos com quatro apartamentos por andar, sendo que sua projeção contém 188,56 m² construídos, conforme a Figura 1. Cada unidade habitacional do empreendimento tem 37,41 m², com pé direito de 2,60 m e três ambientes de permanência prolongada (dois dormitórios e uma sala integrada com a cozinha) conforme a Figura 2. O ambiente escolhido para análise foi

o Quarto 1, o qual possui 8,22 m², uma porta interna e uma janela. O projeto foi desenvolvido por uma construtora brasileira com sede na cidade de Belo Horizonte, mas que executa empreendimentos em várias regiões do país.

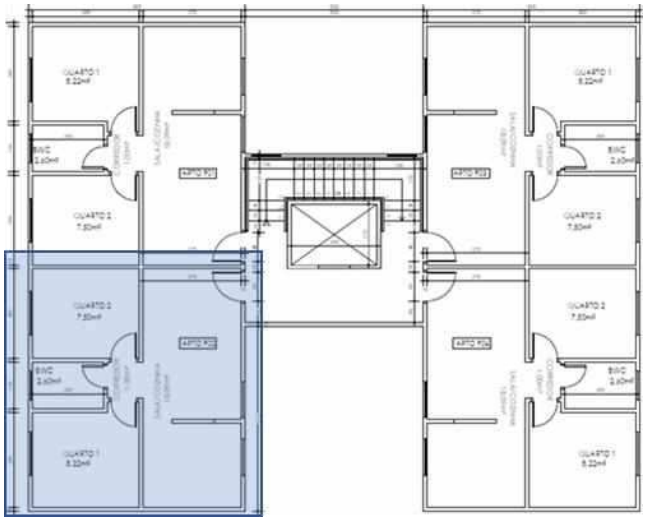


Figura 1– Planta baixa do empreendimento



Figura 2 – Planta baixa de uma unidade habitacional autônoma do empreendimento

Convém destacar os parâmetros geométricos das aberturas para ventilação e iluminação natural da habitação. O Quarto 1, o Quarto 2 e a Sala/Cozinha possui 7,88%, 8,64% e 7,96%, respectivamente, referente área de abertura para ventilação natural. Adicionalmente, o coeficiente de ventilação cruzada da habitação é 0,91. No que tange à área de abertura para iluminação natural, todos os ambientes de permanência prolongada possuem valores acima de 12,5%.

Para a envoltória da edificação adotou-se como base inicial o sistema de *wood frame* consolidado no documento técnico exposto no SINAT – DATec Nº 020-C (BRASIL, 2017) e utilizado no estudo de Bortone et al. (2018). Porém, como observado nas edificações construídas atualmente pela empresa detentora do referido DATec, optou-se por adotar o painel base com o sistema *Exterior Insulation and Finish Systems* (EIFS), o que resulta na adição do poliestireno expandido (EPS) e na retirada da placa cimentícia. Com o intuito de ter um referencial para comparação, todas as simulações da edificação também foram realizadas com a envoltória em alvenaria convencional de blocos cerâmicos, uma vez que esse tipo de construção é amplamente disseminado e consagrado no Brasil.

A Figura 3 ilustra a composição das vedações verticais, do piso e da cobertura considerados, bem como seus respectivos valores de transmitância e capacidade térmica. A Tabela 1 apresenta as propriedades termofísicas dos materiais utilizados nas composições das vedações verticais, cobertura e piso. Destaca-se que para a utilização da composição de painéis no software *EnergyPlus* foi necessário transformar as camadas heterogêneas em homogêneas equivalentes em resistência. Com relação à absortância solar, considerou-se as paredes com cor externa clara (α = 0,3) e telhado com cor cerâmica natural (α = 0,75). Adicionalmente, para a zona bioclimática 8, considerou-se também o telhado com cor clara (α = 0,2).

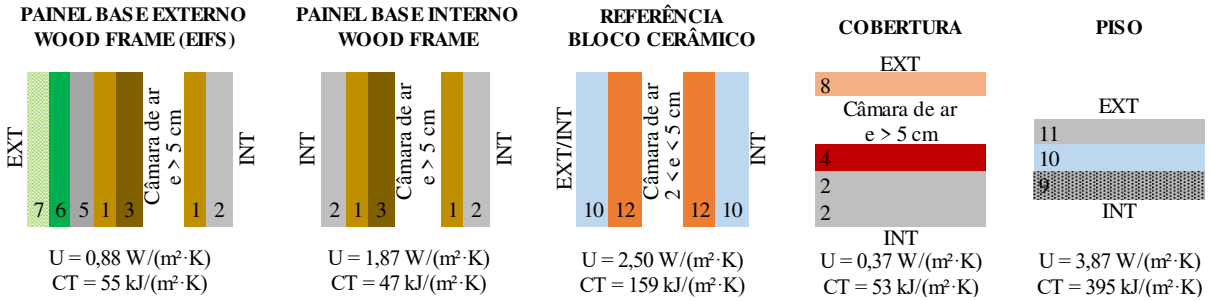


Figura 3 – Representação dos painéis *wood frame* (EIFS), alvenaria convencional com bloco cerâmico, cobertura e piso

Tabela 1 – Propriedades dos componentes dos painéis *wood frame*, alvenaria convencional com bloco cerâmico, cobertura e piso

Material		Espessura [m]	Condutividade térmica [W/(m·K)]	Calor específico [kJ/(kg·K)]	Densidade [kg/m³]
1	Chapa OSB	0,0095	0,17	2,3	681
2	Placa de gesso acartonado	0,0125	0,35	0,84	750

3	Madeira Pinus	0,0018	0,15	1,34	732
4	Lã de vidro (cobertura)	0,1	0,045	0,7	10,53
5	EPS	0,025	0,04	1,42	16
6	Base *coat* (EIFS)	0,005	1,15	1	1840
7	Acabamento acrílico	0,003	1,15	1	2000
8	Telha cerâmica	0,02	1,05	0,92	2000
9	Radier (concreto)	0,15	1,75	1	2200
10	Argamassa	0,025	1,15	1	2000
11	Piso cerâmico	0,01	0,90	0,92	1600
12	Bloco cerâmico	0,014	1,05	0,92	2290

3.2. Variações analisadas

Foram analisadas três configurações existentes para as unidades habitacionais: em contato com o solo e sem influência do ganho de calor pela cobertura, representada pelo pavimento térreo; sem contato com o solo e sem a influência do ganho de calor pela cobertura, representada pelo pavimento intermediário; sem contato com o solo e com a influência do ganho de calor pela cobertura, representada pelo último pavimento. A Figura 4 ilustra as condições relatadas.

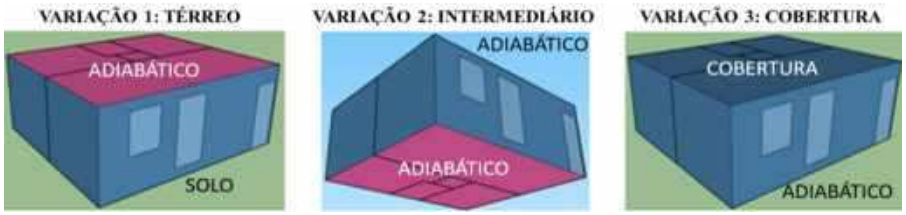


Figura 4 – Variações relacionadas ao ganho de calor conforme o pavimento

Além das variações de acordo com o pavimento de uma edificação multifamiliar, optou-se por variar a orientação solar para averiguar a influência desse quesito na eficiência termoenergética da envoltória, uma vez que, desse modo, a janela existente no ambiente em análise (Quarto 1) estaria cada vez voltada para um ponto cardeal. Portanto, foram analisados quatro diferentes casos (Caso N, Caso S, Caso L, Caso O) para a unidade habitacional, conforme mostra a Figura 5.

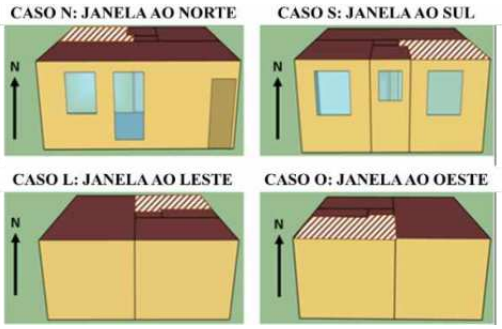


Figura 5 – Variações relacionadas ao ganho de calor conforme a orientação solar

3.3. Condições climáticas analisadas

As simulações foram realizadas para as zonas bioclimáticas 3 e 8 da NBR 15220-3 (ABNT, 2005), representadas pelas cidades de São Paulo (23° 62′ S, 46° 65′ O, 802 m) e Belém (1° 38′ S, 48° 48′ O, 16 m), respectivamente. A zona bioclimática 3, que abrange 6,5% do território brasileiro, possui um clima ameno, com verões úmidos e quentes, além de invernos pouco secos e frios. Já a zona bioclimática 8, que abrange 53,7% do Brasil, tem um clima quente e úmido, com precipitações ao longo de todo o ano.

3.4. Simulações termoenergéticas

No Quadro 1 expõe-se um resumo das variações de clima, pavimento e orientação solar consideradas nas simulações.

Quadro 1 – Resumo dos climas, situações de pavimentos e orientações solares considerados nas simulações

Climas	**Pavimentos**	**Orientações solares**
São Paulo (ZB 3)	Térreo	Norte
Belém (ZB 8)	Intermediário	Sul
	Cobertura	Leste
		Oeste

O desempenho termoenergético da edificação foi analisado a partir do método de simulação computacional do RTQ-R (BRASIL, 2012) que classifica o desempenho com nível A (mais eficiente) a E (menos eficiente). Para tanto, utilizou-se o *EnergyPlus* v. 8.7 com o *plug-in Euclid* inserido no *SketchUp*.

O RTQ-R (BRASIL, 2012) prevê a inserção da temperatura do solo nas simulações das edificações em contato com o solo como um parâmetro que pode alterar significativamente os resultados, conforme ressaltado nos estudos de Oliveira (2012), Pereira (2009) e Sorgato et al. (2014). Portanto, seguindo instruções do regulamento e de estudos anteriores (COSTA, 2017; COSTA; CHVATAL, 2017), as temperaturas mensais do solo para cada cidade foram obtidas por meio do programa *Slab*, vinculado ao *EnergyPlus*. Dentre os parâmetros de entrada que foram inseridos no *Slab*, destaca-se a consideração do entorno do edifício com grama baixa, solo do tipo argiloso e ativação da evapotranspiração no processo de cálculo.

Com relação às definições e configurações de uso e ocupação, cargas internas, sistema de ventilação natural e condicionamento artificial de ar, seguiu-se as instruções estabelecidas no RTQ-R (BRASIL, 2012).

Os dados de saída considerados na avaliação de desempenho da habitação foram os graus-hora de resfriamento (GHR), quando a habitação é naturalmente ventilada, e o consumo relativo para aquecimento (CA), quando a habitação é condicionada artificialmente. O GHR é dado através da temperatura de referência de 26 °C a partir da Equação 1. Já o CA considera o consumo da climatização mecânica das 21:00 h as 08:00 h com temperatura de termostato de 22 °C para acionamento do condicionador de ar.

$$GHR = \sum_{n=1}^{8760} (T_0 - 26) \qquad \text{Equação 1}$$

Onde:
T_0 é a temperatura operativa horária.

4. RESULTADOS

Os resultados obtidos nesta pesquisa são apresentados a seguir. Primeiramente são relatados os resultados e as análises para São Paulo e posteriormente para Belém. Para cada cidade mostra-se as temperaturas do solo, em médias mensais, obtidas através do *Slab*, o desempenho do objeto de estudo para a condição de verão e para a condição de inverno (somente São Paulo), e o nível de eficiência energética alcançado para todas as condições estudadas.

4.1. Análise dos dados para São Paulo – ZB 3

Neste item são apresentados os resultados das simulações para a cidade de São Paulo, zona bioclimática 3, realizadas para a condição de verão e para a condição de inverno.

4.1.1. Temperatura do solo

A Figura 6 mostra as médias mensais das temperaturas do ar externo e das temperaturas do solo obtidas com o programa *Slab* para edificação em *wood frame* e em alvenaria de blocos cerâmicos na cidade de São Paulo.



	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Ar externo [°C]	22,47	22,14	21,17	18,51	16,74	16,76	16,05	17,23	18,13	17,91	18,88	20,00
Wood frame [°C]	22,35	22,23	21,64	20,24	19,19	19,01	18,68	19,42	19,82	19,80	20,17	20,94
Bloco cerâmico [°C]	22,29	22,22	21,61	20,26	19,27	19,12	18,80	19,42	19,78	19,81	20,10	20,93

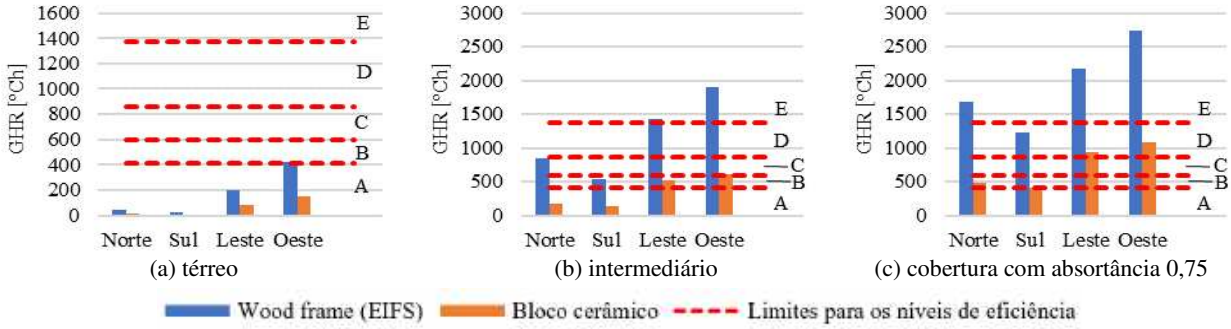
Figura 6 – Temperatura do ar externo e temperatura do solo com o programa *Slab* para edificação em *wood frame* e em alvenaria com blocos cerâmicos na ZB 3

Observa-se que ocorre, em relação ao ar externo, uma atenuação nas temperaturas mensais do solo pelo *Slab* idêntica em ambos os sistemas construtivos considerados. O solo promove, principalmente nos meses mais frios, uma retenção de calor, mantendo a temperatura da interface solo e piso mais elevada e constante. Isto pode ser justificado pela alta capacidade térmica do solo, que armazena o calor dos períodos mais quentes. Durante o período mais quente a diferença entre a temperatura do ar externo e a do solo é

inferior a 0,2 °C, enquanto no período mais frio essa diferença excede os 2,6 °C. Os resultados vão ao encontro do estudo de Oliveira et al. (2012), e ressaltam a relevância da temperatura do solo para as trocas de calor com a habitação em épocas frias.

4.1.2. Desempenho no verão

A Figura 7 ilustra os resultados das simulações de verão para os pavimentos térreo, intermediário e cobertura na cidade de São Paulo, tanto para o sistema em *wood frame* com EIFS quanto para o sistema de alvenaria convencional, além da variação da orientação solar.



(a) térreo (b) intermediário (c) cobertura com absortância 0,75

Figura 7 – Desempenho do Quarto 1 no verão para as situações dos pavimentos (a) térreo, (b) intermediário e (c) cobertura na ZB 3

Em uma análise geral, nota-se que em todos os casos o sistema com alvenaria de blocos cerâmicos obteve um melhor desempenho, através de um menor somatório de GHR, devido à sua maior massa térmica. A cidade de São Paulo possui alta amplitude térmica e o sistema com blocos cerâmicos possui maior capacidade térmica para amenizar a diferença de temperatura no decorrer do dia, acumulando a temperatura no interior da edificação.

Observa-se que a variação conforme o pavimento apresenta grande influência no desempenho do ambiente. Por exemplo, o ambiente no caso oeste, que dispõe da pior condição de incidência solar, quando localizado no pavimento térreo, alcançou nível A para ambos os sistemas construtivos. Porém, quando localizado no pavimento cobertura, alcançou níveis D (bloco cerâmico) e E (*wood frame*). A interação do ambiente construído com o solo e o fato de não haver calor incidindo na cobertura justificam o ótimo desempenho no térreo. Por outro lado, a grande incidência solar no pavimento cobertura justifica o desempenho inferior do ambiente nesta condição.

Por fim, analisando o comportamento do ambiente conforme a orientação solar, percebe-se também uma considerável variação nos resultados. Apesar da grande diferença de desempenho, para os dois sistemas construtivos, o ambiente alcançou nível A em todas as orientações quando situado no térreo. Na situação do pavimento intermediário, os resultados foram diversos, de acordo com a orientação solar e o sistema construtivo, sendo a influência da orientação oeste muito maior no modelo em sistema leve do que no modelo em alvenaria. O nível A foi atingido apenas quando o ambiente dispunha de paredes em alvenaria convencional e abertura orientada para norte ou sul. No sistema em *wood frame*, o ambiente com janela orientada para sul é classificado com nível B. Já quando orientado para oeste, o nível cai para E. Na situação de cobertura, o nível A de eficiência energética só foi alcançado quando a abertura estava orientada para sul e com paredes de blocos cerâmicos. A habitação com sistema construtivo leve não se mostrou eficiente para a situação de cobertura, obtendo nível E em três das quatro orientações analisadas.

4.1.3. Desempenho no inverno

A Figura 8 apresenta os resultados da avaliação de desempenho no inverno para os pavimentos térreo, intermediário e cobertura na cidade de São Paulo, tanto para o sistema em *wood frame* com EIFS quanto para o sistema em alvenaria convencional, conforme a variação da orientação solar.

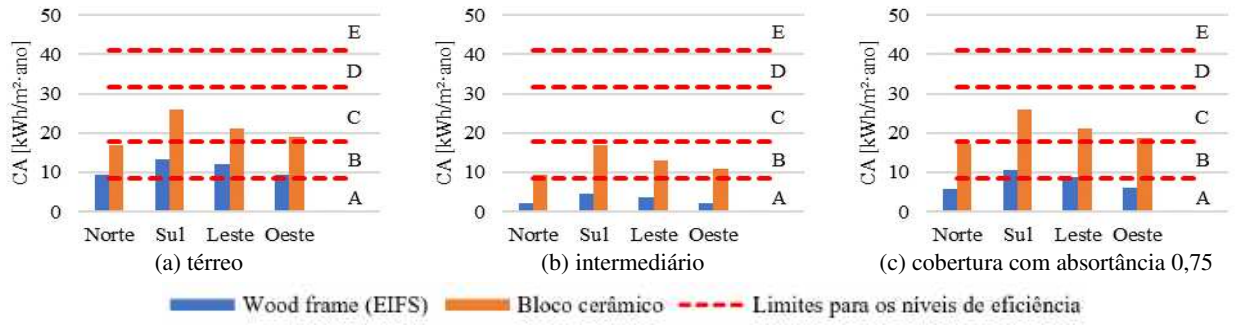


Figura 8 – Desempenho do Quarto 1 no inverno para as situações dos pavimentos (a) térreo, (b) intermediário e (c) cobertura na ZB 3

É possível observar que todos os gráficos mantêm um padrão: o sistema *wood frame* com EIFS mostra-se mais eficiente do que a alvenaria cerâmica em todas as condições. Quando a janela está voltada para o sul, tem-se um maior consumo de energia para aquecimento, principalmente na envoltória em alvenaria cerâmica, uma vez que essa fachada não recebe incidência solar ao longo do ano e assim, o ambiente perde mais calor. Além disso, quando a janela está orientada para o norte e oeste, observam-se os melhores resultados, pois a abertura para o norte favorece a incidência solar nos meses mais frios e a abertura para oeste recebe incidência solar, predominantemente, no período da tarde. Não obstante, o fato do sistema de *wood frame* com EIFS possuir uma baixa transmitância térmica faz com que esse sistema construtivo se torne mais eficiente em relação à alvenaria convencional no período do inverno, pois a baixa transmitância acarreta em uma menor perda de calor do ambiente interno para o meio externo, favorecendo o uso mais eficiente de sistemas de aquecimento artificial de ar. Por fim, observa-se que o pavimento térreo influencia em um maior consumo de energia, devido ao calor perdido na troca com o solo. De maneira análoga, no pavimento cobertura ocorre a perda de calor pelo telhado. Já no pavimento intermediário a área de perda de calor é menor, resultando em melhores indicadores de consumo.

4.1.4. Nível de eficiência termoenergética

Conforme procedimento do RTQ-R (BRASIL, 2012), realizou-se a ponderação dos resultados de verão e inverno para se chegar ao nível de eficiência termoenergética do ambiente Quarto 1 analisado. A Tabela 2 apresenta uma comparação dos níveis de eficiência para as quatro orientações da janela do Quarto 1, conforme o pavimento da habitação e o sistema construtivo empregado.

Tabela 2 – Níveis de eficiência termoenergética do objeto de estudo para a ZB 3

São Paulo ZB 3	**Pavimento térreo**		**Pavimento intermediário**		**Pavimento cobertura**	
	***Wood frame* (EIFS)**	**Bloco cerâmico**	***Wood frame* (EIFS)**	**Bloco cerâmico**	***Wood frame* (EIFS)**	**Bloco cerâmico**
Norte	A	A	B	A	D	B
Sul	A	B	B	B	C	B
Leste	A	B	D	B	D	D
Oeste	B	B	D	C	D	D

O sistema construtivo em *wood frame* com EIFS obteve bom desempenho (níveis A e B) para situações de pavimentos térreo e intermediário quando a radiação solar não incide diretamente na abertura da fachada. O desempenho do sistema construtivo inovador foi prejudicado conforme variou-se as situações de pavimento intermediário e cobertura. Além do mais, quando comparado com o sistema tradicional de construção no Brasil (alvenaria com blocos cerâmicos), o *wood frame* mostrou desempenho superior no pavimento térreo e deixou a desejar somente nas situações de orientação leste e oeste do pavimento intermediário, além dos casos da cobertura. Os resultados na condição térrea devem-se, principalmente, à influência do contato com o solo e à não incidência solar na cobertura. Por outro lado, a baixa capacidade térmica do *wood frame* e a exposição ao ganho de calor pela cobertura justificam o desempenho inferior nos demais casos.

4.2. Análise dos dados para Belém – ZB 8

Neste item são apresentados os resultados das simulações para a cidade de Belém, zona bioclimática 8. As simulações foram realizadas apenas para a condição de verão, de acordo com o RTQ-R (BRASIL, 2012).

4.2.1. Temperatura do solo

A Figura 9 mostra a média mensal da temperatura do ar externo e da temperatura do solo obtida com o programa *Slab* para edificação em *wood frame* e alvenaria em bloco cerâmico na cidade de Belém.



	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Ar externo [°C]	25,58	25,35	25,51	25,57	25,80	26,32	26,67	26,68	25,97	26,17	26,51	26,24
Wood frame [°C]	26,04	25,83	25,99	25,99	26,11	26,42	26,75	26,83	26,47	26,49	26,63	26,45
Bloco cerâmico [°C]	26,04	25,85	25,99	26,00	26,07	26,42	26,80	26,87	26,56	26,59	26,71	26,47

Figura 9 – Temperatura do ar externo e temperatura do solo com o programa *Slab* para edificação em *wood frame* e em alvenaria com blocos cerâmicos na ZB 8

É possível notar que a temperatura do solo, para ambos os sistemas construtivos, acompanha a temperatura do ar externo ao longo do ano e diferentemente do que ocorre para o caso de São Paulo, não há diferenças significativas entre a temperatura do ar externo e a temperatura da interface solo e piso em nenhum mês. Isto posto, observa-se a possibilidade de se usar a temperatura do ar externo dos arquivos climáticos como a temperatura do solo para as simulações termoenergéticas em locais quentes e com baixa amplitude térmica ao longo do ano.

4.2.2. Desempenho no verão

A Figura 10 mostra os resultados das simulações para os pavimentos térreo, intermediário e cobertura na cidade de Belém, tanto para o sistema em *wood frame* com EIFS quanto para o sistema de alvenaria comum, seguindo a variação da orientação solar. Destaca-se que para Belém, realizou-se as simulações para duas condições de absortância solar da cobertura: cor escura e cor clara.

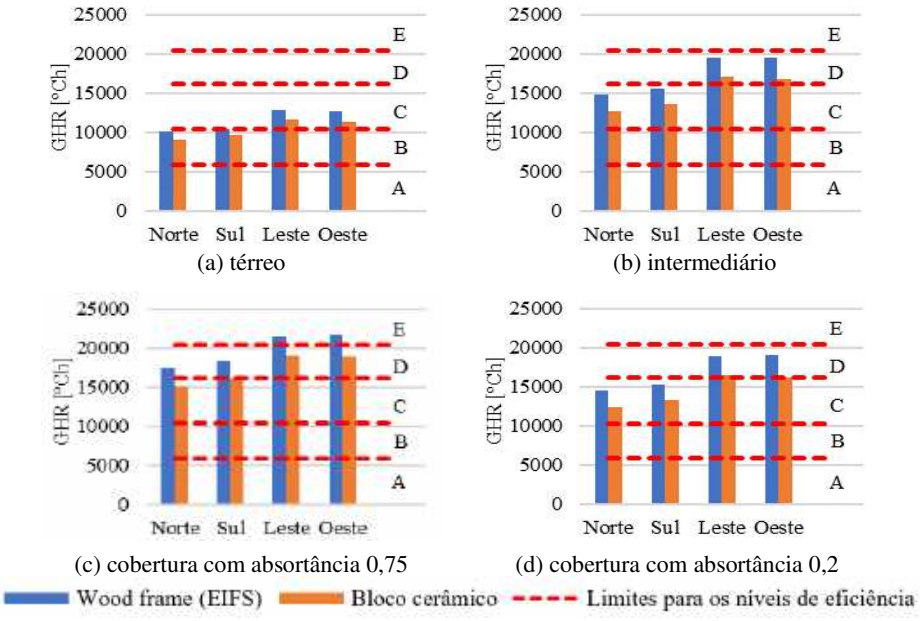


Figura 10 – Desempenho do Quarto 1 para as situações dos pavimentos (a) térreo, (b) intermediário, (c) cobertura com absortância 0,75 e (d) cobertura com absortância 0,2 na ZB 8

Percebe-se, principalmente para o pavimento térreo, que o desempenho dos dois sistemas de vedação é bastante similar, sendo a alvenaria com blocos cerâmicos ligeiramente melhor em todos os casos. Além do mais, é possível notar uma menor diferença na alteração do desempenho quando se muda a incidência do sol. A geografia da cidade de Belém justifica a menor influência da orientação solar em diferenças de desempenho da habitação conforme a disposição para qual a mesma está orientada. Devido ao fato de a cidade de Belém estar localizada próxima à linha do equador (sol no topo do céu), não há muita diferença de

incidência solar direta entre as fachadas, como ocorre em cidades com altas latitudes. O nível B foi o melhor resultado alcançado no térreo, para os casos norte e sul, enquanto as outras orientações atingiram nível C.

O comportamento do objeto de estudo no pavimento intermediário (Figura .b), de modo geral, foi pior do que o comportamento do objeto de estudo situado no pavimento térreo. Este fato mostra, mais uma vez, a grande influência da interação do solo na troca de calor do ambiente construído. Observa-se, ainda, que o nível C (casos norte e sul) foi o melhor resultado alcançado para a situação do objeto de estudo disposto no pavimento intermediário. E, assim como na situação do térreo, as orientações leste e oeste trouxeram os piores resultados.

Através da Figura .c, tem-se que o desempenho do dormitório disposto no pavimento cobertura com telhado escuro foi pior do que o observado no pavimento térreo (Figura .a) e no pavimento intermediário (Figura .b). Isto se deve ao fato do grande ganho de calor decorrente do contato da habitação com a cobertura, intensificado pela absortância de 0,75 da telha cerâmica. Os melhores resultados para a situação de cobertura escura ocorreram quando o objeto de estudo, em alvenaria convencional, estava orientado para o norte e sul, ficando classificado como nível C. Por outro lado, os piores resultados ocorreram para o *wood frame* nos casos leste e oeste.

Por fim, na Figura .d observa-se a relevância da absortância solar da cobertura para o desempenho do ambiente construído. Os resultados foram melhores não somente do que a situação com a cobertura escura (Figura .c), mas também do que os resultados para o pavimento intermediário (Figura .b). Para os dois sistemas construtivos, obteve-se nível D nos casos leste e oeste e nível C nos casos norte e sul.

4.2.3. Nível de eficiência termoenergética

A Tabela 3 apresenta uma comparação dos níveis de eficiência para as quatro orientações da janela do Quarto 1, conforme o pavimento da habitação e o sistema construtivo empregado.

Tabela 3 – Níveis de eficiência termoenergética do objeto de estudo para a ZB 8

Belém ZB 8	**Pavimento térreo**		**Pavimento intermediário**		**Pav. cobertura (α = 0,75)**		**Pav. cobertura (α = 0,2)**	
	***Wood frame* (EIFS)**	**Bloco cerâmico**	***Wood frame* (EIFS)**	**Bloco cerâmico**	***Wood frame* (EIFS)**	**Bloco cerâmico**	***Wood frame* (EIFS)**	**Bloco cerâmico**
Norte	B	B	C	C	D	C	C	C
Sul	C	B	C	C	D	C	C	C
Leste	C	C	D	D	E	D	D	D
Oeste	C	C	D	D	E	D	D	D

O desempenho dos dois sistemas construtivos estudados foi parecido, com ligeira vantagem para a alvenaria tradicional. Assim como em São Paulo, os melhores resultados ocorreram na condição de pavimento térreo associado às orientações norte e sul. Além disso, os piores desempenhos aconteceram na situação de pavimento cobertura (telhado escuro) com as orientações leste e oeste. Tais análises são válidas tanto para a envoltória em *wood frame* com EIFS quanto para a envoltória de blocos cerâmicos. Assim, observa-se que embora o sistema de fechamento com painéis em *wood frame* com EIFS não tenha demonstrado desempenho superior, a tecnologia possui potencial de aplicação na cidade de Belém, uma vez que apresenta desempenho similar ao da alvenaria convencional de blocos cerâmicos e oferece outras vantagens construtivas.

5. CONCLUSÕES

Os resultados dessa pesquisa mostraram que a orientação solar e o contato da edificação com o solo são fatores cruciais para um bom nível de eficiência da edificação, sobretudo quando executada em sistema leve. De maneira geral, para as zonas bioclimáticas ZB 3 e ZB 8, os melhores resultados foram obtidos quando o objeto de estudo estava em contato com o solo e nas orientações norte e sul.

Para a zona bioclimática 3, representada por São Paulo, os resultados mostraram que a baixa transmitância térmica no sistema *wood frame* com EIFS aliado ao contato com o solo geraram bons resultados para a edificação, tornando-o mais eficiente do que o sistema de alvenaria convencional quando simulado no térreo. Além disso, os piores resultados vieram quando a cobertura da edificação foi simulada, mostrando que a alta absortância solar da telha cerâmica prejudicou o desempenho do ambiente analisado. Outro ponto de destaque é que a inserção de elementos de proteção solar, nas orientações leste e oeste, poderia contribuir para reduzir a quantidade de graus-hora de resfriamento, principalmente, do sistema leve.

Referente à zona bioclimática 8, representada por Belém, os níveis de eficiência termoenergética do sistema *wood frame* com EIFS e da alvenaria tradicional foram mais parecidos, porém, novamente, o sistema EIFS teve um pior desempenho. Como pode ser analisado em duplicidade, a cobertura com telhado escuro

teve o pior resultado. Já com telhado claro, teve desempenho superior ao intermediário. Portanto, sugere-se a utilização de telhas com cor clara, a fim de amenizar o calor ganho pela edificação através da cobertura.

Uma outra consideração importante remete à metodologia de análise térmica estabelecida pela norma de desempenho. A avaliação que a NBR 15575 (ABNT, 2013) sugere para habitações em edifícios de múltiplos pavimentos não contempla todas as variações presentes em edificações multifamiliares, limitando-se na análise de uma unidade habitacional do último pavimento. Desta forma, a referida norma deixa de considerar a grande diferença de resultados possíveis, conforme se apresentou neste estudo. Além do mais, o desempenho do ambiente construído no pavimento intermediário, de acordo com a orientação solar ou absortância da cobertura, pode ser inferior ao desempenho do ambiente situado no último pavimento, como se mostrou. Logo, conclui-se que existe a necessidade de uma metodologia de análise normativa mais aprofundada, que considere todas as variações presentes em edificações multifamiliares e permita o maior aperfeiçoamento da tecnologia em *wood frame*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

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

ALDERMAN, D. **Housing and Construction Markets**, Forest Products Annual Market Review 2012-2013, UNECE/FAO, v. 33, p. 115-122, 2013.

BNDES – BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO. O setor florestal no Brasil e a importância do reflorestamento. BNDES Setorial. Rio de Janeiro. 2002.

BORTONE, H., ZARA, R., GIGLIO, T., YOKOTA, A. Thermo-energetic performance of *wood frame* panels in Brazilian low-income housing. Zemch International Conference. **Proceedings...** Melbourne, 2018.

BRASIL. Ministério das Cidades, Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade no Habitat – PBQP-H. Sistema Nacional de Avaliações Técnicas – SiNAT. **Sistema estruturado em peças leves de madeira maciça serrada – TecVerde (tipo *light wood framing*), DATec Nº 020-C**. Brasília, 2017.

_____. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). Portaria nº18, de 16 de janeiro de 2012. **Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais (RTQ-R)**. Brasília, 2012.

COSTA, V. A. C. **Trocas de calor entre edificações térreas e o solo e sua modelagem no pré-processador *Slab***. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de São Paulo. São Carlos, 2017.

COSTA, V. A. C.; CHVATAL, K. M. S. **Manual do Pré-Processador *Slab*.** Instituto de Arquitetura e Urbanismo (IAU/USP-SC). São Carlos, 2017.

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. Disponível em: <http://fjp.mg.gov.br/index.php/docman/cei/informativos-cei-eventuais/634-deficit-habitacional-06-09-2016/file>. Acesso em: 02 abr. 2018.

KEENAN, R. J.; REAMS, G. A.; ACHARD, F.; FREITAS, J. V.; GRAINGER, A.; LINDQUIST, E. Dynamics of global forest area: Results from the FAO Global Forest Resources Assessment 2015. **Forest Ecology and Management**, v. 352, p. 9-20, 2015.

KOSNY, J.; ASIZ, A.; SMITH, I.; SHRESTHA, S.; FALLAHI, A. A review of high R-value *wood frame*d and composite wood wall technologies using advanced insulation techniques. **Energy and Buildings**, v. 72, p. 441-456, 2014.

MAZZAFERRO, L. **Influência dos elementos construtivos do envelope no desempenho térmico de edificações unifamiliares**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2013.

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.

OLIVEIRA, L. S.; CUNHA, E. G.; SILVA, A. C. S. B.; PINTO, M. M. Importância da definição da temperatura do solo para o processo de simulação termoenergética de edificações. XIV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. **Anais...** Juiz de Fora, 2012

PEREIRA, C. D. **A Influência do Envelope no Desempenho Térmico de Edificações Residenciais Unifamiliares Ocupadas e Ventiladas Naturalmente**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2009.

ROCHA, A. C.; BARROS, M. M. S. B.; LEITE, B. C. C.; PETRECHE, J. R. D. Avaliação do desempenho térmico de fachada com painéis leves em edificações de múltiplos pavimentos. XVI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. **Anais...** São Paulo, 2016.

SORGATO, M. J.; MELO, A.P.; MARINOSKI, D. L.; LAMBERTS, R. Análise do procedimento de simulação da NBR 15575 para a avaliação do desempenho térmico das edificações residenciais. **Ambiente Construído**, v. 14, n. 4, p. 83-101, 2014.

ZARA, R. B., SANTOS, V. C., GIGLIO, T. G. F. Análise do nível de eficiência energética de uma habitação em *wood frame* pelos métodos prescritivo e simulação do RTQ-R. XVII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2018.