



## Evaluation of the thermal performance of closing systems for a steel structured building

---

Gustavo Oliveira, Rovadavia Ribas and Adriano Gomes

EasyChair preprints are intended for rapid dissemination of research results and are integrated with the rest of EasyChair.

June 27, 2020

## **Avaliação do desempenho térmico de sistemas de fechamento para uma edificação estruturada em aço**

### **Evaluation of the thermal performance of closing systems for a steel structured building**

#### **RESUMO**

Em edificações, um sistema de fechamento adequado ao clima local pode reduzir o gasto com energia elétrica e contribuir positivamente para o conforto térmico dos usuários. Nesse contexto, esse artigo tem como objetivo abordar a concepção de sistemas de fechamento e suas interferências no desempenho térmico de uma edificação estruturada em aço. Avalia-se assim o desempenho térmico de sistemas de fechamentos para um edifício residencial de três pavimentos, estruturado em aço, localizado em Cachoeira do Campo, distrito de Ouro Preto, MG. Considerando-se o clima local de inverno e verão, são realizadas simulações via *software EnergyPlus*, do desempenho térmico de sistemas de fechamento externos compostos por poliestireno expandido (EPS), *Exterior Insulation Finishing System* (EIFS) e *Oriented Strand Board* (OSB), comparando-o ao desempenho da alvenaria de tijolo cerâmico. O gesso acartonado (GEA) é aplicado como fechamento interno. Como os sistemas de fechamento não foram instalados, apontam-se aqueles mais viáveis para essa edificação, em termos de desempenho térmico. Dentre os fechamentos analisados, verifica-se que alguns demonstram ser melhores no verão, outros no inverno. Porém destaca-se que eles atingem uma adequada regularidade nas duas situações, mostrando que são concorrentes com a alvenaria.

**Palavras chaves:** Edificação estruturada em aço. Sistemas de fechamento. Desempenho térmico. *EnergyPlus*. Simulação computacional.

#### **ABSTRACT**

*In buildings, a closing system adapted to the local climate can reduce the expense of electricity and contribute positively to the thermal comfort of users. In this context, this article aims to address the design of closing systems and their interference with the thermal performance of a steel structured building. In this way, the thermal performance of closing systems for a three-story residential building, structured in steel, located in Cachoeira do Campo, Ouro Preto district, MG, is evaluated. Considering the local winter and summer climate, simulations are carried out in EnergyPlus software, of the thermal performance of external closure systems composed of expanded polystyrene (EPS), Exterior Insulation Finishing System (EIFS) and Oriented Strand Board (OSB), comparing them of the performance of ceramic brick masonry. Gypsum plasterboard (GEA) is applied as an internal closure. As the closing systems were not installed, the most viable ones for this building are pointed out, in terms of thermal performance. Among the analyzed closings, it appears that some prove to be better in summer, others in winter. However, it stands out that they reach an adequate regularity in both situations, showing that they are compete with masonry.*

**Keywords:** Structured building in steel. Closing systems. Thermal performance. *EnergyPlus*. Computational simulation.

## **1 INTRODUÇÃO**

O conforto está relacionado ao desejo que o homem tem de sentir-se bem. De forma mais abrangente, o conforto ambiental se dá por questões físico-ambientais nas quais se detectam condições naturais e de salubridade, por meio de reações metabólicas associadas a: iluminação, acústica, conforto térmico e ventilação, ao dimensionamento espacial, além do entorno, que interfere na qualidade do ambiente. Enfim, o conforto não depende somente das condições climáticas do entorno, mas também da orientação e construção dos edifícios (MONTE, 2006).

Sabe-se que baixos índices de conforto térmico podem propiciar reações adversas como desconforto muscular, dor de cabeça e cansaço, dependendo do nível de intensidade do trabalho realizado no local e da sensibilidade do usuário de uma edificação. Um ambiente bem climatizado predispõe uma pessoa a um desempenho de tarefas mais eficaz, mercê da satisfação com o ambiente. Tal satisfação é função das variáveis pessoais: metabolismo e resistência térmica; e das climáticas: temperatura de bulbo seco, umidade e velocidade do ar, além da temperatura radiante média. Por sua vez, esse conjunto de variáveis depende do sistema de fechamento, da cor, da orientação da edificação, que influencia na radiação solar recebida e no aproveitamento da ação do vento (SILVA, 2015).

Um dos grandes objetivos da Arquitetura é oferecer ambientes compatíveis ao conforto térmico humano no interior dos edifícios, sejam quais forem as condições climáticas externas. O uso inteligente de energia representa uma conexão da arquitetura ao clima, diminuindo ou evitando sistemas de condicionamento de ar, aquecendo ou resfriando. O condicionamento passivo pode propiciar, quando planejado, a redução do excesso de calor resultante no interior dos edifícios, minimizando, os efeitos de climas excessivamente quentes (FROTA, 2004).

O distrito de Cachoeira do Campo, situado em Ouro Preto, MG, apresenta um clima variado, com alternâncias de temperaturas nas estações do ano. A expansão urbana pela qual o distrito vem passando nos últimos anos contribui para a diminuição de áreas verdes e aumento de áreas pavimentadas e edificadas, que no futuro poderão contribuir para modificar o microclima, implicando em um desconforto térmico no interior de suas edificações.

Além disso, considera-se que, em virtude do clima com grandes alternâncias de temperatura, faz-se necessário o estudo do desempenho térmico de edificações locais, uma vez que elas devem garantir um ambiente agradável para os ocupantes mesmo com as condições adversas de temperatura do clima da região. Logo, a preocupação com o desempenho térmico de edificações é justificável e relevante na elaboração de projetos de edificações no distrito.

Nesse contexto, o objetivo desse trabalho é avaliar o desempenho térmico de sistemas de fechamentos para uma edificação residencial de três pavimentos, estruturada em aço, localizada em Cachoeira do Campo, distrito de Ouro Preto, MG.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

A opção por determinados materiais que integram o sistema de fechamento de uma edificação deve ser minuciosa, aliando custo/benefício ao clima local, pois um material não adequado pode ocasionar aumento no uso de ar condicionado no verão ou aquecedor no inverno e consequentemente aumentando o consumo de energia elétrica (FARIA, 2013).

O desempenho térmico de um ambiente depende da combinação de vários fatores, dentre os quais se destacam o posicionamento do edifício e suas dependências, a escolha e execução de paredes, pisos, tetos e esquadrias e a especificação de equipamentos e instalações, que são possíveis fontes de calor (RIBAS, 2013).

Ressalta-se também a importância da especificação dos sistemas de fechamento verticais e horizontais, cuja constituição e montagem determinam, em grande parte, os níveis de desempenho térmico no ambiente construído (SALES; NEVES; SOUZA, 2001).

Além disso, a temperatura interior de uma construção é fundamentalmente influenciada pelas variáveis climáticas externas (radiação solar e temperatura externa) e pelas cargas internas (atividade humana, dispositivos e equipamentos que emitem calor). Com um entorno e aberturas projetadas de maneira adequada, em uma edificação bem orientada geograficamente, a climatização mecânica pode ser minimizada e até mesmo eliminada (BALARAS, 1996).

Cunha (2006) aponta que só é possível o uso racional da energia a partir de uma arquitetura bioclimática (sustentável). A arquitetura bioclimática trabalha o desenho arquitetônico da edificação a partir do lugar, clima, orientações e insolação, visando, desse modo, melhorias nas condições do habitat antes de se recorrer a técnicas de climatização artificial. Sendo assim, considera-se onde o sol nasce, onde se põe e as suas inclinações incidentes em cada época do ano, e que ganhos de calor (desempenho térmico) serão incorporados nas edificações.

Mascaró e Mascaró (2009) apontam que o desempenho ambiental do recinto urbano é resultado das características da arquitetura da edificação e principalmente da eficiência das janelas, que são uma boa alternativa para a dispersão térmica, e, também, para aproveitar a energia solar (radiação de onda curta e sua opacidade em relação à radiação de onda longa) através da transparência do vidro. Assim, o sistema de construção deve incluir/anexar o espaço interno ao externo, tendo a janela como item de ligação.

Emmanuel (2004) pesquisou o conforto e desempenho térmico bem como as variações da urbanização em uma cidade quente e úmida - o caso da região metropolitana de , no Sri Lanka. O estudo analisou as tendências históricas em conforto térmico (temperatura e umidade) e a correlação com a vegetação local. Concluiu que houve uma tendência crescente em desconforto térmico, especialmente à noite, principalmente nas áreas periféricas. O estudo também frisou a importância da cobertura do solo no centro da cidade versus áreas rurais.

A partir da breve apresentação das questões que se fazem presentes na pesquisa, infere-se que os avanços tecnológicos e as mudanças globais das relações econômicas e ambientais influenciam diretamente nos projetos dos edifícios. A complexidade do projeto e a exigência da qualidade ambiental das construções de pequeno e médio porte têm aumentado. Citam-se alguns dos motivos: o avanço tecnológico; a mudança de percepção e de necessidade dos usuários e empreendedores; a crescente importância dada ao edifício como facilitador da produtividade; a importância da crescente troca de informações e do controle humano sobre os espaços; e a necessidade de se empreender em ambientes que busquem o menor impacto ambiental, a maior eficiência energética e, portanto, as melhores condições de conforto humano (KOWALTOWSKI et al., 2006).

A seleção das condicionantes de projeto determina quais são as exigências do conforto térmico para dias típicos de verão e inverno de um determinado local. Nessa etapa deve-se verificar a quantidade de consumo de energia da edificação. Ao fazer o pré-projeto arquitetônico, deve-se basear em Normas Técnicas e Regulamentações determinando-se as características do anteprojeto. Em seguida, deve-se fazer a simulação da edificação avaliando-se as condições de conforto humano considerando-se a avaliação de desempenho térmico. A partir dos resultados obtidos, verifica-se a necessidade de refazer o anteprojeto e, posteriormente, o detalhamento do mesmo para a execução do projeto e sua avaliação final (AKUTSU, 1998).

### 3 ESTUDO EXPLORATÓRIO PRÁTICO - MATERIAIS E MÉTODOS

Apresentam-se nesse item as etapas de desenvolvimento do trabalho com a apresentação dos procedimentos necessários para a avaliação de desempenho térmico da edificação tendo em vista os diferentes materiais e estruturas para o fechamento interno e externo da edificação. A avaliação do desempenho térmico se baseia na verificação das condições internas de temperatura, para que seus ocupantes se sintam confortáveis do ponto de vista térmico.

#### 3.1. A edificação analisada

A edificação analisada, situada em Cachoeira do Campo, distrito de Ouro Preto, MG, começou a ser construída em novembro de 2016 (Figura 1). Encontra-se em fase de execução do projeto, com pilares e vigas implementados. Não possui sistema de fechamento ainda, o que também levou a esse estudo.

Figura 1 - Sistema estrutural da edificação



Fonte: Oliveira (2019).

A construção é constituída por uma fundação em concreto, vigas e perfis em aço, possuindo uma área total de 360 m<sup>2</sup> com três unidades de pavimento, sendo o primeiro pavimento garagem e o restante, residenciais. Encontra-se em uma área urbanizada, de fácil acesso a veículos e pedestres (Figura 2). As lajes são pré-moldadas treliçadas de concreto e 40 cm de espessura (Figura 3).

A edificação tem seus pilares e vigas em aço (Figura 3), e a cobertura do telhado terá uma platibanda também estruturada em aço. As telhas serão galvanizadas e termoacústicas preenchidas por poliuretano (P.U.). O perfil de aço para o telhado é o W150 x 22,5 e situa-se a 15 cm da laje.

Figura 2 - Imagem aérea do Edifício



Fonte: GOOGLE MAPS (2019).

A estrutura de aço de sustentação da cobertura é composta por perfis "C" ASTM A36; as laterais esquerda e direita são constituídas por pilares em aço W150 x 22,5. As ligações são feitas por parafusos de fixação e interligação de peças; o pé direito possui 3,52 m. O edifício possui uma área construída de aproximadamente 540 m<sup>2</sup> e área de projeção de cerca de 180 m<sup>2</sup>.

Figura 3 - Desenvolvimento da construção



Fonte: Oliveira (2019).

Nos 2º e 3º pavimentos, cada um terá uma varada, três quartos, três banheiros, um escritório, duas salas de estar, uma cozinha, um hall de circulação, uma área de serviço e um jogo de escadas. Os fechamentos interno e externo são os instrumentos de pesquisa, variando-se material, espessura, composição e rugosidade. O pavimento térreo constitui-se de uma garagem e um banheiro. O piso dos pavimentos será constituído por um contrapiso revestido por porcelanato.

As portas para os quartos serão do tipo prancheta de dimensões 0,6 m x 2,10 m enquanto para os banheiros 0,7 m x 2,10 m. A maioria das janelas serão de vidro temperado 1,38 m x 1,04 m x 1,51 m. Na fachada, que recebe insolação durante a maior parte da tarde, estão previstas duas folhas de correr em vidro temperado cujas dimensões são 3,45 m x 2,55 m. O telhado será constituído de telha termoacústica de P.U. com espessura de 0,43 mm. Na Figura 4 mostra-se a planta baixa do 3º pavimento da edificação.

Como não há estudos climáticos consideráveis para o distrito de Cachoeira do Campo, utilizam-se os dados climáticos da cidade mais próxima, Belo Horizonte, que está localizada a 19,56° de latitude e 43,56° de longitude, a uma altura média de 874 metros, e se encontra na mesma zona bioclimática, seguindo orientação da norma NBR 15575 (BNT, 2013).

Belo Horizonte apresenta temperatura máxima de bulbo seco de 32°C e mínima de 21,70°C, para o verão, e, para o inverno, máxima de 22°C e mínima de 9°C. A radiação solar incidente em superfície horizontal é 2677 W/m<sup>2</sup> e a radiação solar global incidente na direção normal é 4668 W/m<sup>2</sup>. A média global de umidade relativa é de 72,2% (INMET, 2019). Médias mensais de umidade são mais altas de novembro a fevereiro enquanto que de agosto a setembro são mais baixas. A região apresenta um clima tropical de altitude, com verões quentes e úmidos e temperaturas mais baixas no inverno.

Os dias escolhidos para esse estudo são 20 de janeiro para o verão e 20 de maio para o inverno, pois são dias que apresentam faixas de temperaturas características de verão e inverno.

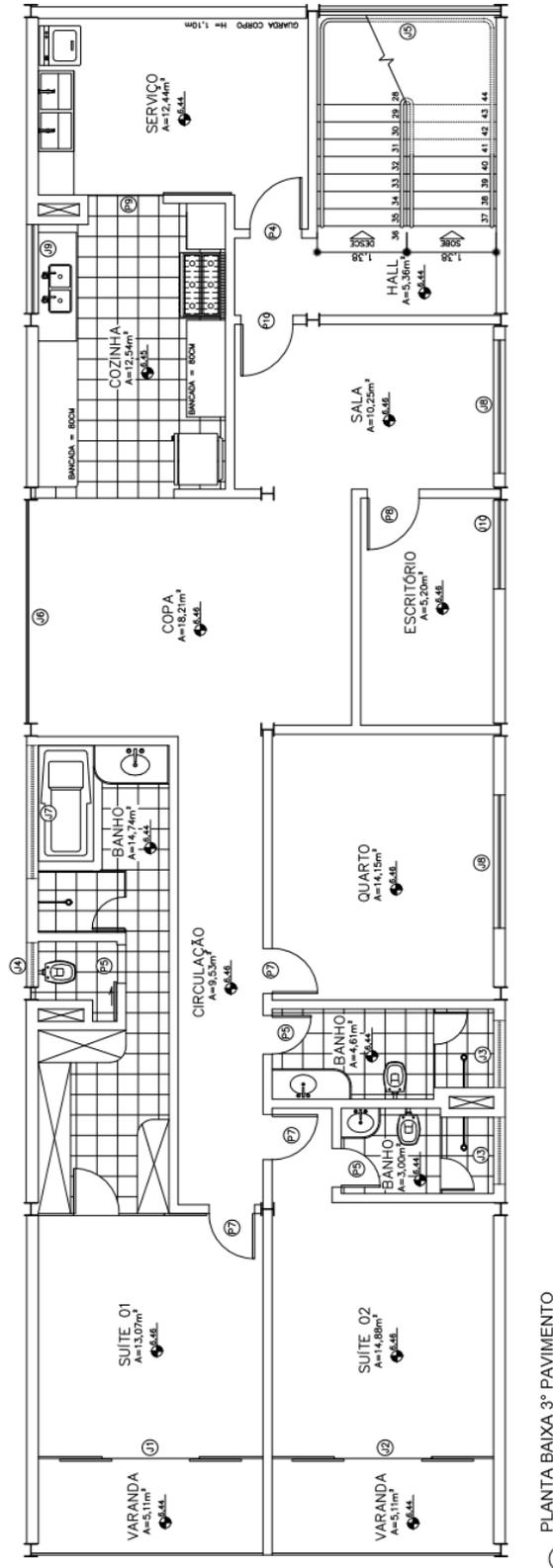
Para a análise de desempenho térmico, o perfil de temperatura interna da edificação é obtido por meio de simulações computacionais que são realizadas no *software EnergyPlus*, que englobam três etapas. Primeiramente é criado o modelo de edifício no programa, introduzindo-se os vários dados que compõem a habitação, como a geometria, dimensões e constituição. É utilizado o programa *SketchUp* 2017 para o desenho do edifício, sendo necessário utilizar o *plugin* do *OpenStudio* 2.3.0 para auxiliar na construção de ferramentas de desempenho térmico. Na Figura 5, mostram-se os três pavimentos da edificação utilizando o programa *SketchUp*.

Em seguida, por meio do *EnergyPlus* executa-se a simulação, calculando-se os parâmetros solicitados, tendo em conta um ficheiro de dados climáticos, dias propostos e demais variáveis. Por fim, analisam-se os resultados e tiram-se as conclusões, elaborando-se, várias análises de sensibilidade térmica das variáveis pertencentes ao edifício.

## **2.2. Materiais e composições utilizados na simulação**

Diversos materiais e associações foram aplicados a esse estudo. Durante o processo de simulação utilizaram-se também fechamentos tradicionais como alvenaria e gesso acartonado, mas todos foram selecionados em função de seus potenciais desempenhos térmicos. Foram também utilizados lâ de vidro e ar entre as placas de fechamento, em busca de melhorar o desempenho térmico dos materiais.

Figura 4 – Planta do terceiro pavimento



PLANTA BAIXA 3º PAVIMENTO

Fonte: Alfa Beta Engenharia (2019)

Figura 5 - Edifício projetado no SketchUP



Fonte: Oliveira (2019).

Foram utilizados os materiais: Poliestireno expandido (EPS), *Exterior Insulation Finishing System* (EIFS), *Oriented Strand Board* (OSB), Alvenaria de tijolo cerâmico (ATC), Lã de vidro (LVI) e ar. Na Tabela 1 são apresentadas, além da espessura e densidade (massa específica), as propriedades termofísicas dos materiais sugeridos para compor os sistemas de fechamento do edifício: condutividade térmica, calor específico, absorvância térmica e absorvância solar.

Tabela 1 - Propriedades termofísicas dos materiais dos sistemas de fechamento

Material	Espessura (mm)	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	Condutividade (W/m.k)	Calor (K/kg.K)	Absorvância Térmica	Absorvância Solar
<b>EPS</b>	50	25	0,030	1000	0,9	0,3
<b>EIFS</b>	100	30	0,04	700	0,9	0,7
<b>OSB</b>	100	730	0,17	2000	0,85	0,65
<b>ATC</b>	150	1800	1,050	920	0,9	0,5
<b>LVI</b>	50	100	0,045	700	0,9	0,5
<b>Ar</b>	25	1,22	0,6	1000	0,95	0,7

Fonte: NBR 15220 (ABNT,2013); GOMES, 2007; RIBAS, 2013; METALICA, 2018.

Com a simulação de diversos materiais, isolados ou em multicamadas (alguns com adição de lã de vidro na cavidade de ar entre os painéis), são obtidos diversos cenários para fechamento do edifício.

Entre os painéis utilizados, aplica-se 50 mm de lã de vidro e uma cavidade de 25 mm de ar. Tanto a lã de vidro quanto o ar são isolantes térmicos, esperando-se, por isso, que esses materiais elevem o desempenho térmico dos sistemas de fechamento. Na Tabela 2, são apresentados o material, composição, espessura e tipo de sistemas de fechamento.

Tabela 2 - Composições dos painéis de fechamento

Material	Composição e espessura (mm)	Aplicação do fechamento (interno, externo ou ambos)
ATC	ATC (150)	Ambos
EPS, OSB	OSB (100)-LVI (50)-AR(25)-EPS(50)	externo
	EPS (50)-LVI (50)-AR(25)-EPS(50)	interno
OSB	OSB (100)-LVI (50)-AR(25)-OSB(100)	ambos
EIFS/GEA	EIFS (100)-LVI(50)-AR(25)-EIFS(100)	externo
	GEA (20)-LVI(50)-AR(25)-GEA (20)	interno
	OSB (100)-LVI(50)-AR(25)-OSB(100)	interno
	GEA (20)-LVI(50)-AR(25)-GEA (20)	interno
	GEA (20)-LVI(50)-AR(25)-GEA (20)	interno

Fonte: Oliveira (2019).

Para as simulações, adota-se o segundo pavimento. Utilizam-se como objetos de análise a suíte 02, que é chamada de suíte, e o quarto. A suíte possui área de base de 14,58 m<sup>2</sup>, volume de 46 m<sup>3</sup>, e com instalação sanitária de área 14,72 m<sup>2</sup> e volume de 51,81 m<sup>3</sup>. O quarto possui área de 14,15 m<sup>2</sup> com volume de 49,80 m<sup>3</sup>.

Os ganhos de calor são estipulados considerando-se uma situação próxima da realidade, quando houver habitantes no edifício. Dessa forma, a iluminação utilizada é constituída por duas lâmpadas do tipo *light-emitting diode* (LED) dispostas em cada suíte. Na sala e no outro quarto, considera-se apenas uma lâmpada LED em cada cômodo. Todas juntas, funcionando de 17:00 as 00:00 horas, representam uma taxa de iluminação de 15 W/m<sup>2</sup>.

Adota-se uma resistência térmica de 0,3 CLO para as vestimentas. Segundo a norma ASHRAE Standard 55 (ASHRAE, 2004), uma taxa metabólica para uma família de 5 pessoas sentadas ou relaxando é de 60 W/m<sup>2</sup> aproximadamente. Logo, adota-se esse valor para o grau de atividades físicas dos usuários no recinto. Soma-se então, a essa quantidade de calor, o valor resultante da iluminação, obtendo-se 75 W/m<sup>2</sup> de ganhos de calor. A ventilação é do tipo natural e são consideradas renovações horárias iguais a cinco ren/h.

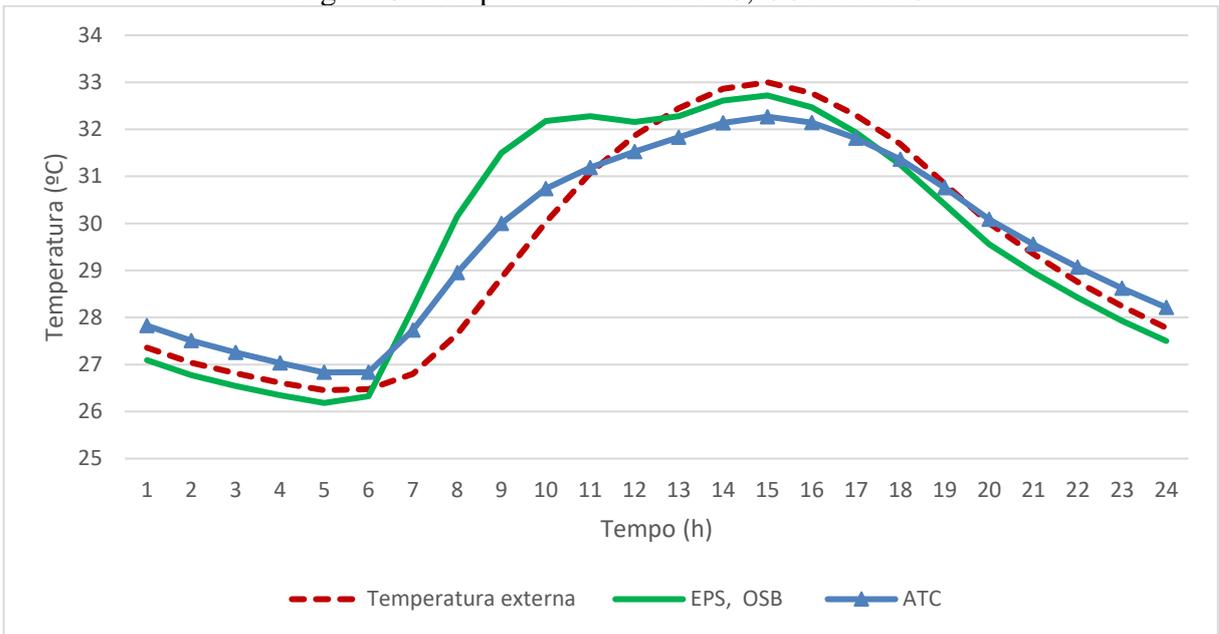
#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Avaliam-se as temperaturas internas obtidas para o quarto e a suíte, que são recintos de permanência prolongada (ABNT, 2013), para as condições de verão e de inverno. Os resultados são mostrados em forma de gráficos.

##### 4.1. Análise de desempenho térmico da suíte para a condição de verão

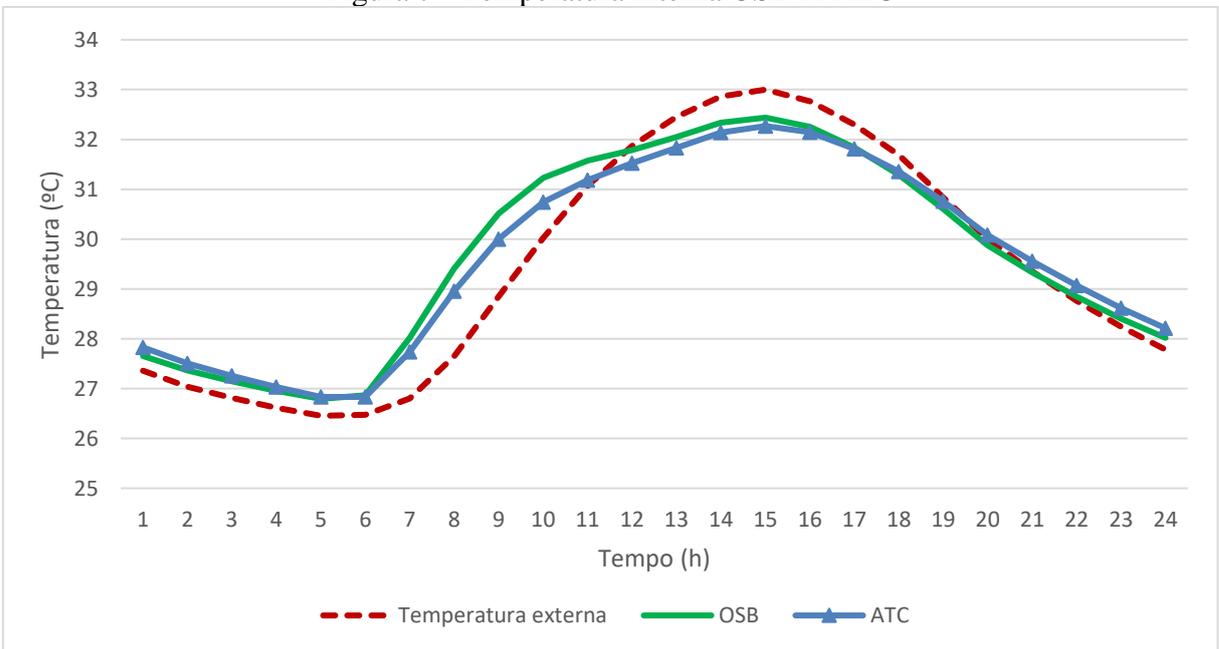
Analisa-se o desempenho térmico dos fechamentos verticais para a suíte, para um dia típico de verão. A suíte está com a fachada voltada para leste e sul e, por isso, recebe boa parte da incidência solar, além de ter parte da sacada envidraçada. Nas Figuras de 6 a 8 mostra-se a variação de temperatura interna comparando-se os fechamentos, temperatura externa e alvenaria para a condição de verão.

Figura 6- Temperatura interna EPS, OSB X ATC



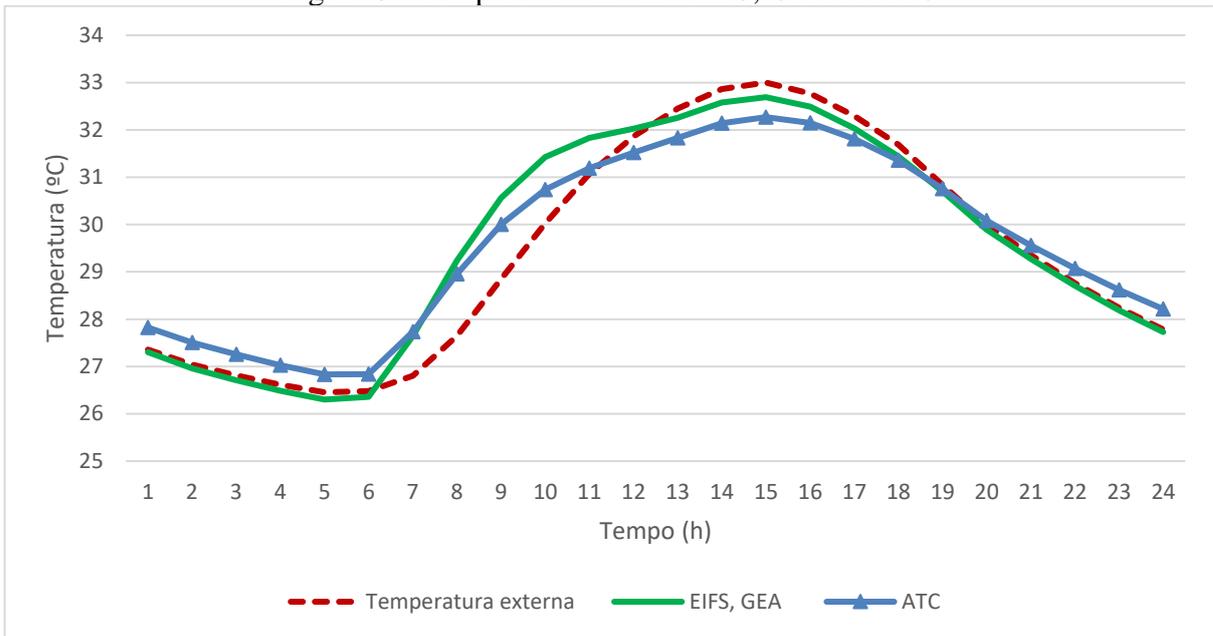
Fonte: Oliveira (2019).

Figura 7 - Temperatura interna OSB X ATC



Fonte: Oliveira (2019).

Figura 8 - Temperatura interna EIFS, GEA X ATC

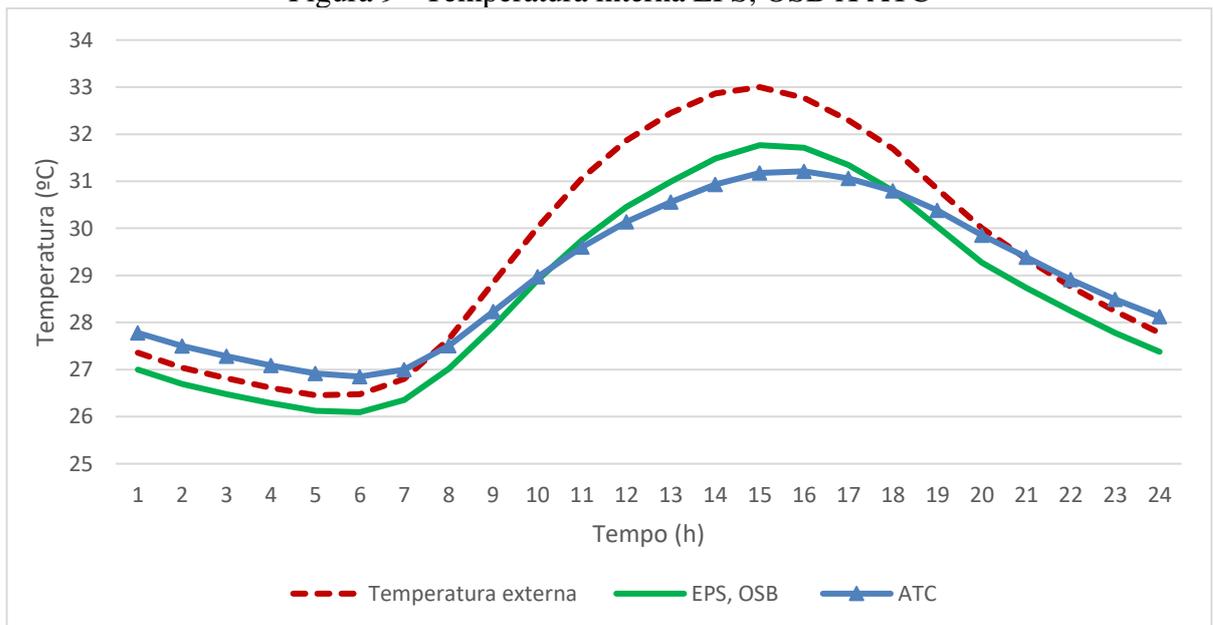


Fonte: Oliveira (2019).

#### 4.2. Análise de desempenho térmico do quarto para a condição de verão

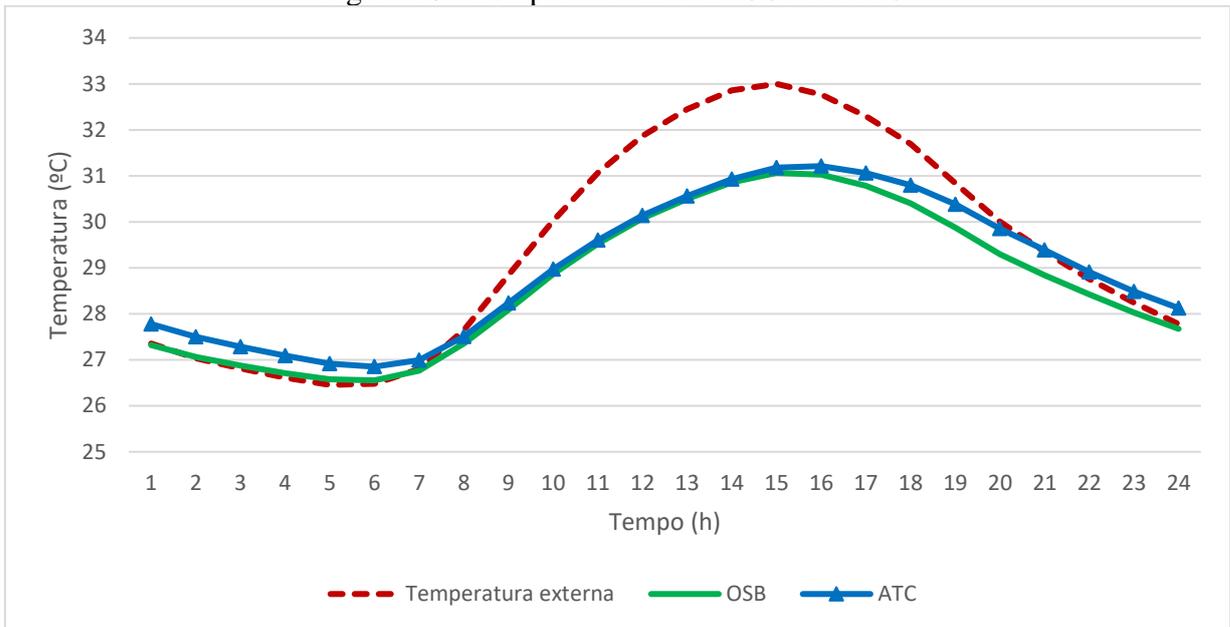
Analisa-se o desempenho térmico dos fechamentos verticais para o quarto, para um dia típico de verão. O quarto está com a fachada voltada para oeste e sul e, por isso, recebe boa parte da incidência solar. Nas Figuras de 9 a 11 mostra-se a variação de temperatura interna comparando-se os fechamentos, temperatura externa e alvenaria para a condição de verão.

Figura 9 - Temperatura interna EPS, OSB X ATC



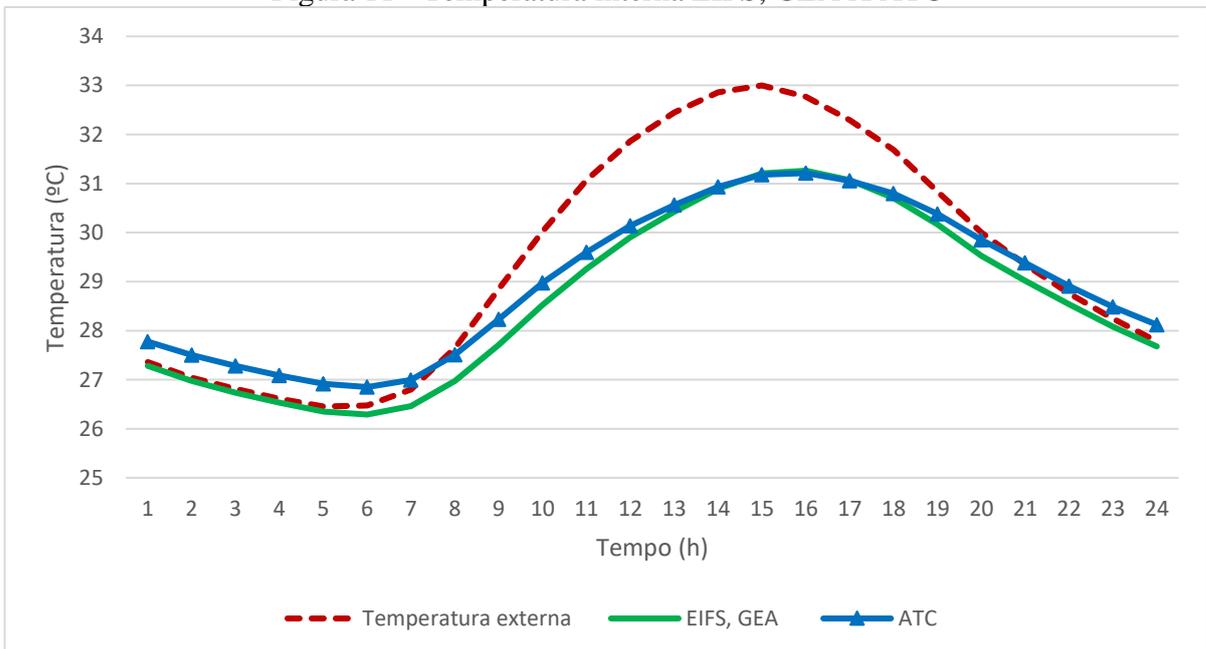
Fonte: Oliveira (2019).

Figura 10 - Temperatura interna OSB X ATC



Fonte: Oliveira (2019).

Figura 11 - Temperatura interna EIFS, GEA X ATC

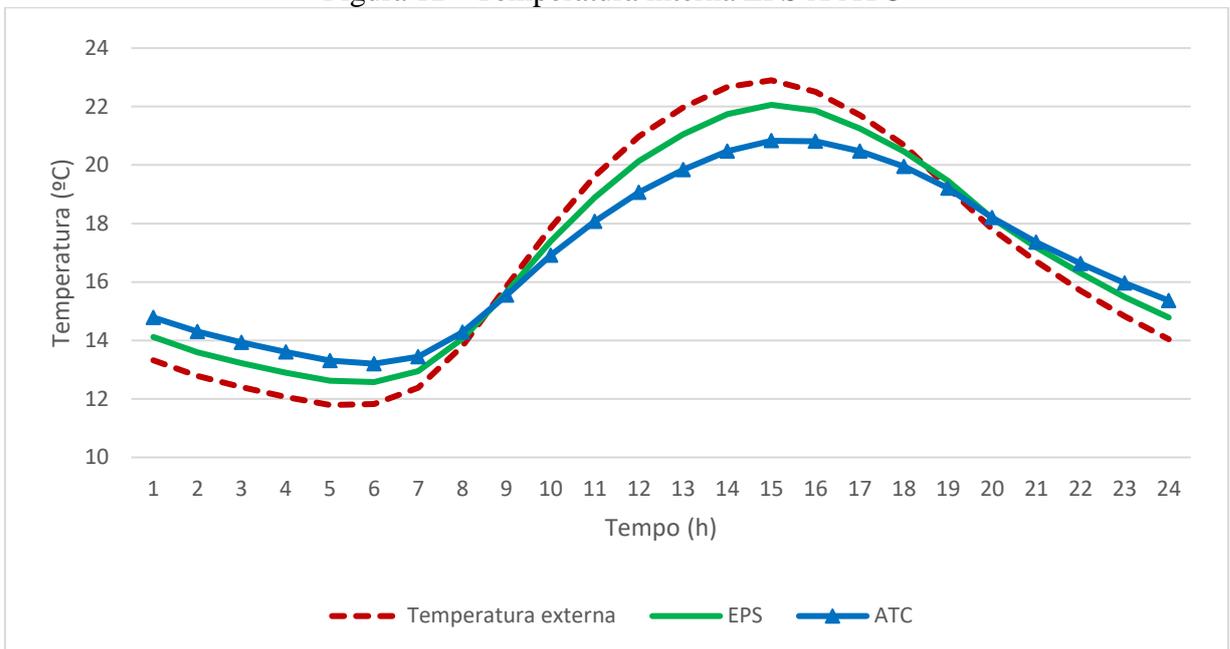


Fonte: Oliveira (2019).

### 4.3. Análise de desempenho térmico da suíte para a condição de inverno

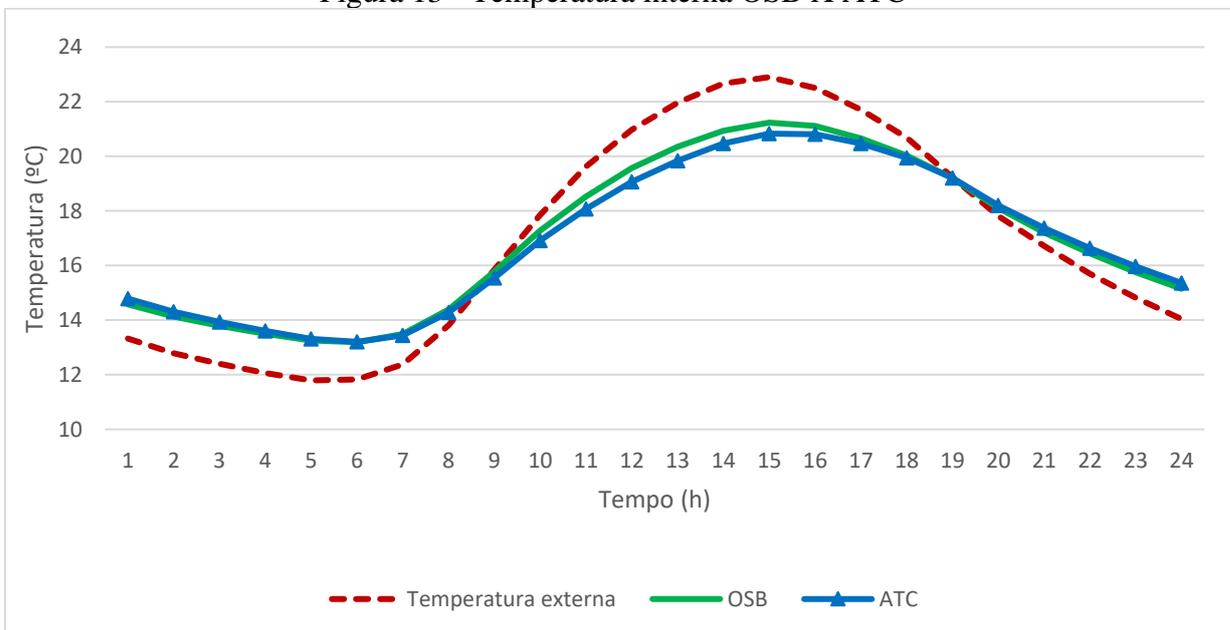
Analisa-se também o desempenho térmico dos fechamentos verticais para a suíte, para um dia típico de inverno. Reforça-se que a fachada desse recinto está voltada para oeste e sul e por isso recebe boa parte da incidência solar, além de ter parte da sacada envidraçada. Nas Figuras de 12 a 14 mostra-se a variação de temperatura interna comparando-se os fechamentos, temperatura externa e alvenaria para a condição de inverno.

Figura 12 - Temperatura interna EPS X ATC



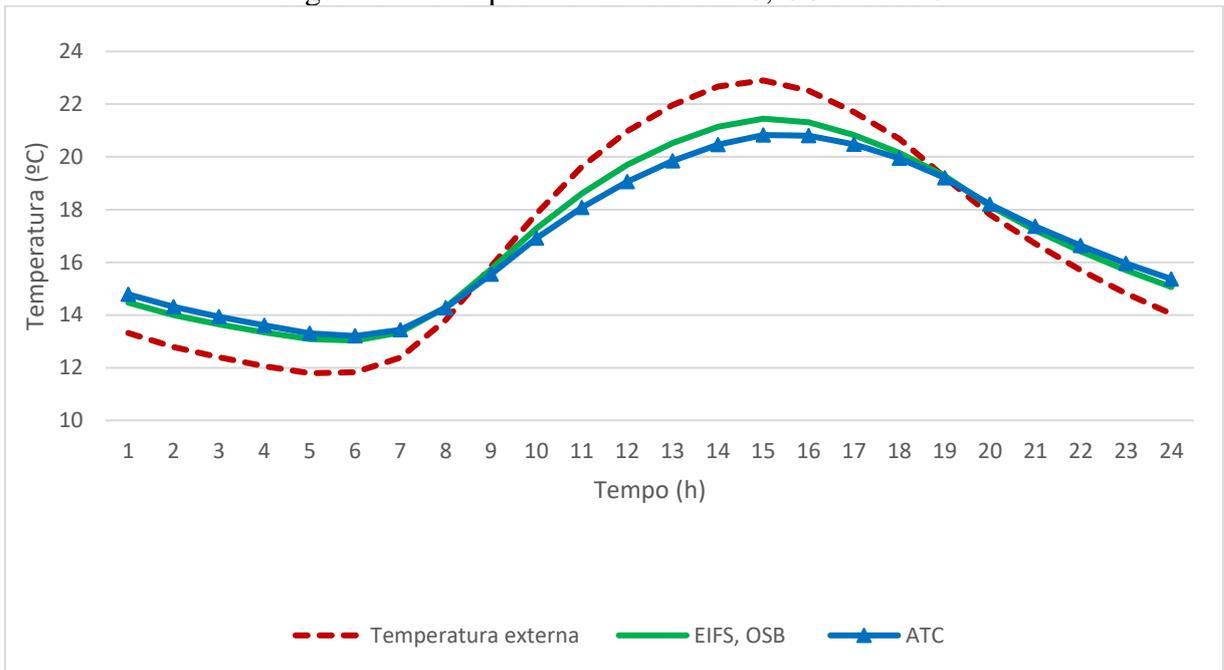
Fonte: Oliveira (2019).

Figura 13 - Temperatura interna OSB X ATC



Fonte: Oliveira (2019).

Figura 14 - Temperatura interna EIFS, OSB X ATC

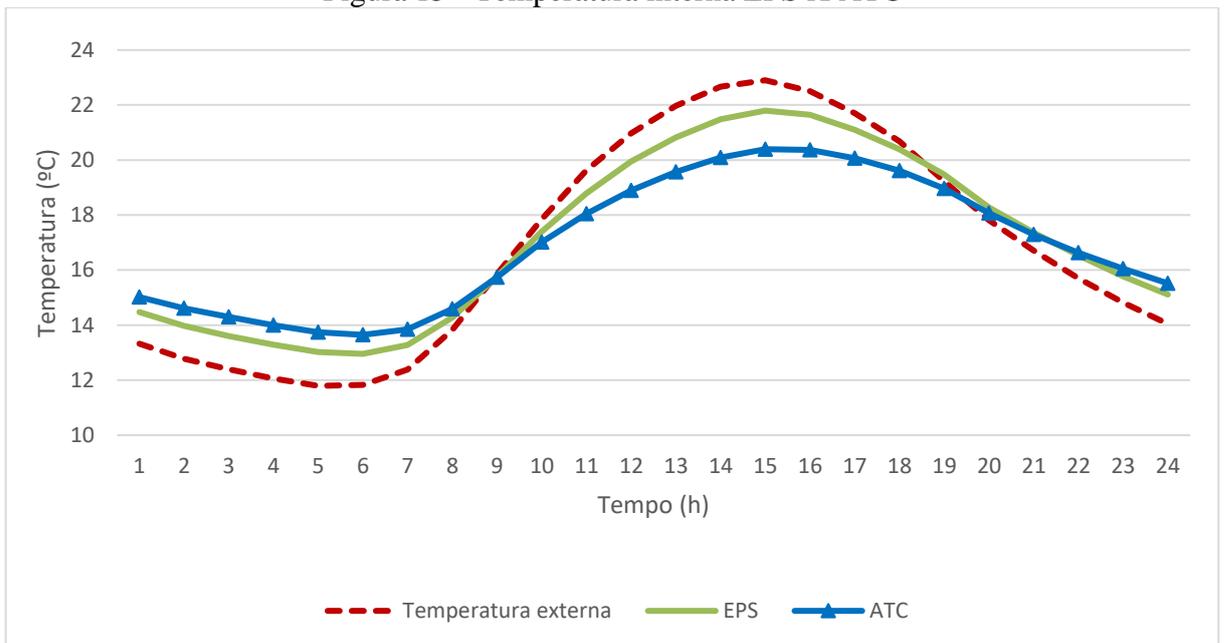


Fonte: Oliveira (2019).

#### 4.4. Análise de desempenho térmico do quarto para a condição de inverno

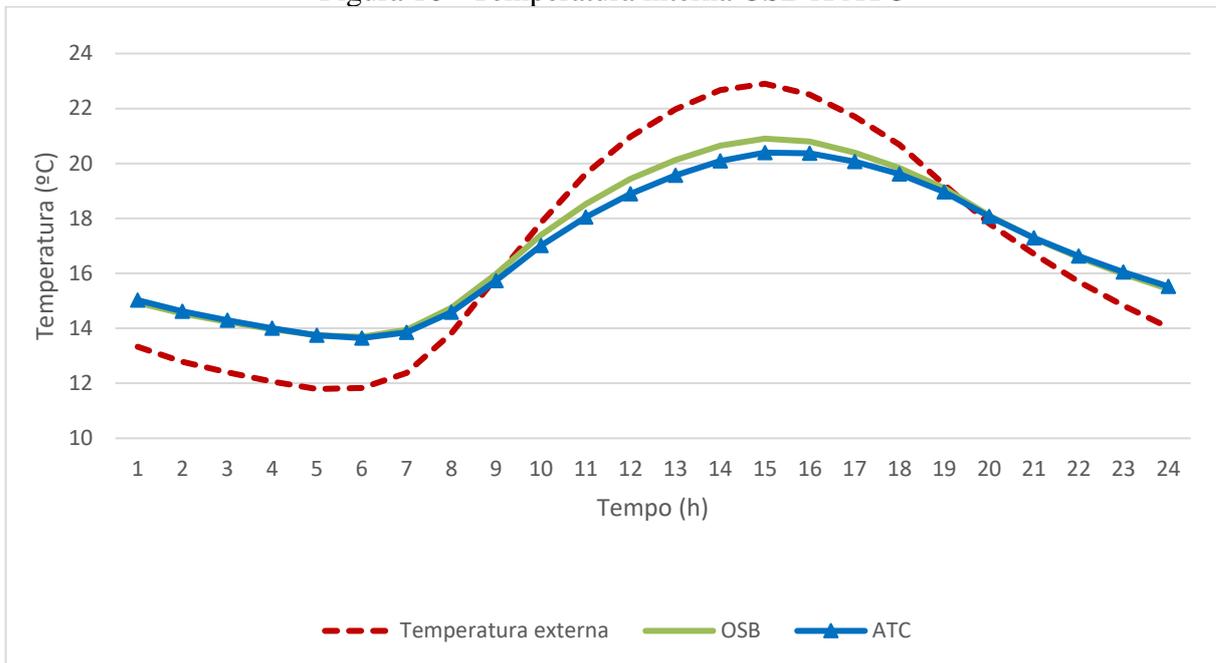
Analisa-se ainda o desempenho térmico dos fechamentos verticais para o quarto, para um dia típico de inverno. A fachada desse recinto está voltada para leste e sul e, por isso, recebe boa parte da incidência solar. Nas Figuras de 15 a 17 mostra-se a variação de temperatura interna comparando-se os fechamentos, temperatura externa e alvenaria para a condição de inverno.

Figura 15 - Temperatura interna EPS X ATC



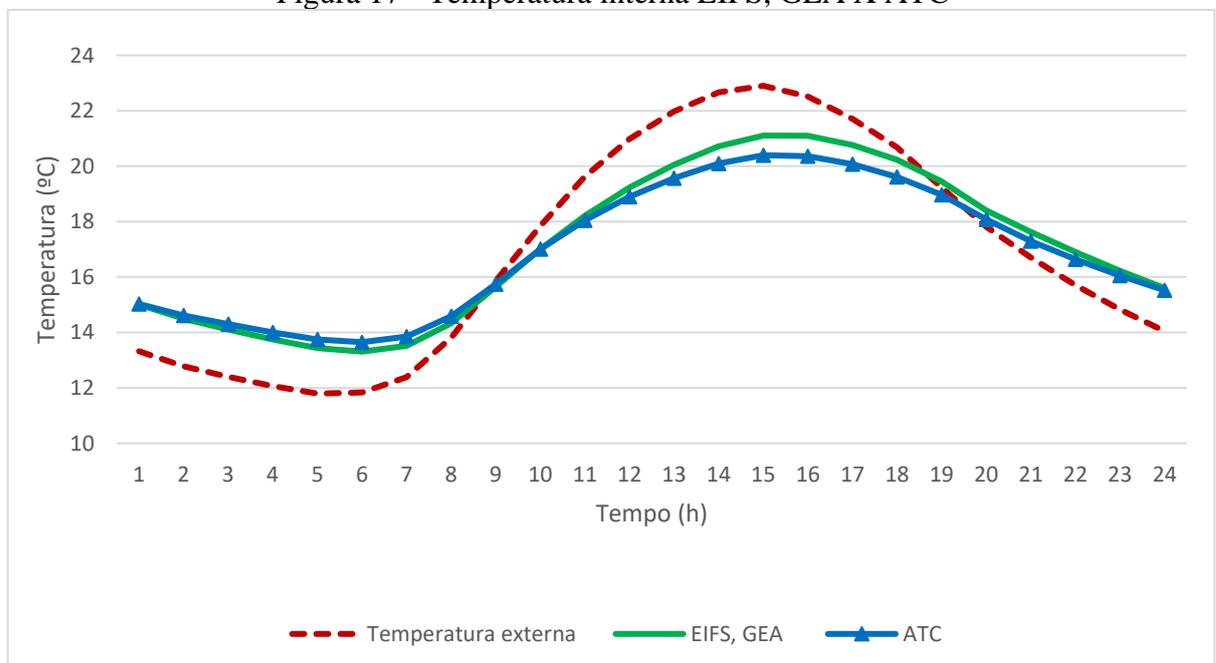
Fonte: Oliveira (2019).

Figura 16 - Temperatura interna OSB X ATC



Fonte: Oliveira (2019).

Figura 17 - Temperatura interna EIFS, GEA X ATC



Fonte: Oliveira (2019).

Para a condição de verão, caso mais crítico no país, as temperaturas máximas internas não ultrapassam a temperatura máxima externa que é de 32°C, mostrando que os sistemas de fechamento analisados promovem um desempenho térmico adequado, segundo o critério da norma NBR 15575 (ABNT, 2013), que considera que a temperatura máxima interna seja

menor ou igual à temperatura máxima externa, no verão, para haver conforto no interior da edificação.

Comparando as temperaturas mínimas proporcionadas pelos sistemas de fechamento, para a suíte, na condição de verão, há uma diferença máxima de 0,6°C, e, na condição de inverno, há uma diferença máxima de 0,8°C. Para o quarto e condição de verão, tem-se uma diferença máxima de 0,7°C, e, na condição de inverno, há uma diferença máxima de 1,1°C. Para o quarto e condição de verão, tem-se uma diferença máxima de 1,0°C.

Comparando as temperaturas máximas proporcionadas pelos sistemas de fechamento, para a suíte, na condição de verão, há uma diferença máxima de 1,0°C, e, na condição de inverno, há uma diferença máxima de 1,3°C. Para o quarto e condição de verão, tem-se uma diferença máxima de 1,1°C, e, na condição de inverno, há uma diferença máxima de 1,1°C. Para o quarto e condição de verão, tem-se uma diferença máxima de 1,2°C.

Para melhor visualização de resultados, estão mostradas na Tabela 3 as temperaturas internas mínimas e máximas proporcionadas pelos sistemas de fechamentos analisados, para os dias típicos de verão e inverno.

Tabela 3 - Temperaturas internas mínimas e máximas dos sistemas de fechamentos (°C)

Sistemas de fechamentos	Suíte/verão		Quarto/verão		Suíte/inverno		Quarto/inverno	
	T <sub>min</sub>	T <sub>max</sub>						
<b>ATC</b>	26,8	32,3	26,8	31,2	13,2	20,8	13,6	20,4
<b>PLC, GEA</b>	26,4	32,7	26,4	31,4	12,8	21,4	13,3	20,9
<b>CCA</b>	26,2	32,8	26,2	31,8	12,6	21,7	13,0	21,3
<b>EPS</b>	26,2	32,7	26,1	31,8	12,6	22,1	12,9	21,8
<b>OSB</b>	26,8	32,4	26,5	31,1	13,2	21,2	13,9	20,9
<b>PMC, GEA</b>	26,4	33,1	26,5	32,2	12,6	21,5	13,0	21,0
<b>VDO, ATC</b>	26,5	32,1	26,5	31,2	12,9	21,2	13,3	20,7
<b>EIFS, OSB</b>	26,3	32,7	26,3	31,7	13,0	21,4	13,8	21,0
<b>PLC</b>	26,4	32,8	26,4	31,3	12,8	21,4	13,3	20,9
<b>EIFS, GEA</b>	26,6	32,5	26,5	31,2	12,9	21,6	13,3	21,1
<b>OSB, GEA</b>	26,5	32,3	26,4	31,2	12,9	21,3	13,5	20,9
<b>VDO, GEA</b>	26,3	32,6	26,3	31,7	12,4	21,9	12,8	21,5

Fonte: Oliveira, 2019.

Os sistemas de fechamento mostram desempenho térmico semelhantes entre si, observando-se que, na condição de verão, a temperatura máxima é proporcionada pelo PMC, GEA, e a temperatura mínima é proporcionada pelos CCA e EPS, nos dois ambientes analisados. Para a condição de inverno, a temperatura máxima é proporcionada pelo EPS, e a temperatura mínima é proporcionada pelo VDO, GEA, nos dois ambientes analisados.

Para a condição de verão, que é o caso mais crítico no país, as temperaturas máximas não ultrapassam a máxima externa que é de 33°C, mostrando que os sistemas de fechamento analisados promovem um desempenho térmico adequado seguindo o critério da norma NBR 15575 (ABNT, 2013).

Comparando as temperaturas mínimas proporcionadas pelos sistemas de fechamento, para a suíte, na condição de verão, há uma diferença máxima de 0,6°C, e, na condição de inverno, há uma diferença máxima de 0,8°C. Para o quarto e condição de verão, tem-se uma diferença

máxima de 0,7 °C, e, na condição de inverno, há uma diferença máxima de 1,1°C. Para o quarto e condição de verão, tem-se uma diferença máxima de 1,0°C.

Comparando as temperaturas máximas proporcionadas pelos sistemas de fechamento, para a suíte, na condição de verão, há uma diferença máxima de 1,0°C, e, na condição de inverno, há uma diferença máxima de 1,3°C. Para o quarto e condição de verão, tem-se uma diferença máxima de 1,1 °C, e, na condição de inverno, há uma diferença máxima de 1,1°C. Para o quarto e condição de verão, tem-se uma diferença máxima de 1,2°C.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Um dos objetivos deste estudo é comparar o desempenho térmico dos vários sistemas de fechamento com a da alvenaria, pois não é razoável utilizá-la em uma edificação estruturada em aço, visto que um dos pontos positivos desse tipo de sistema é a velocidade construtiva, e o uso alvenaria em geral reduz essa velocidade de execução. Alguns sistemas de fechamento verticais demonstram um desempenho térmico muito próximo ao da alvenaria de tijolo cerâmico, tais como EPS, EIFS, OSB, podendo, portanto, serem mais indicados em edifícios na região.

Destaca-se, no entanto, que, para um ambiente ser considerado confortável, devem-se considerar outros fatores tais como acústica da edificação, boa iluminação e umidade do local. O ideal é que a escolha final dos sistemas de fechamento considere todos esses fatores, simultaneamente. E a escolha de qualquer um desses sistemas depende, além do desempenho térmico e acústico dos sistemas de fechamento, do custo do material e montagem, facilidade construtiva, estética, entre outros.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem a UFOP e a Capes.

## **REFERÊNCIAS**

AKUTSU, M. Método para a avaliação do desempenho térmico de edificações no Brasil. Tese (Doutorado em Arquitetura). Universidade de São Paulo. São Paulo, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 15575: Edifícios habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

BALARAS, C. A. The role of thermal mass on the cooling load of buildings. An overview of computational methods, *Energy and Buildings* v. 24, p.1-10, 1996.

CUNHA, E. G. (org). Elementos de Arquitetura e de Climatização Natural: método projetual buscando eficiência nas edificações. Porto Alegre: Masquatro, 2006.

EMMANUEL, R. Thermal comfort implications of urbanization in a warm-humid city: the Colombo Metropolitan Region (CMR). *Building and Environment*. N°40 p.1591– 1601, Sri Lanka. 2004. Disponível em <<http://www.elsevier.com/locate/buildingenv>>. Acesso em abril de 2018.

FARIA, M. A. Avaliação das Condições de Conforto Térmico nas Salas de Aula do Campus Morro do Cruzeiro da UFOP. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2013.

FROTA, A. B. Geometria da insolação. São Paulo: Geros, 2004.

GOMES, A. P. Avaliação do desempenho térmico de edificações unifamiliares em light steel framing. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2007.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA DO BRASIL – INMET. Normais Climatológicas. Brasília - DF, 2019.

KOWALTOWSKI, D. C. C. K.; MOREIRA, D. C.; PETRECHE, J. R. D.; FABRÍCIO, M. Reflexão sobre Metodologias de Projeto Arquitetônico. Ambiente Construído, Porto Alegre, v, 6, n. 2, p. 07-19, Abr/Jun. 2006.

MASCARÓ, L; MASCARÓ, J. J. Ambiência urbana. 3ª edição, Porto Alegre: Masquatro Editora, 2009.

METALICA. Placas cimentícias. Disponível em: [https://metalica.com.br/pg\\_dinamica/bin/pg\\_dinamica.php?id\\_pag=436](https://metalica.com.br/pg_dinamica/bin/pg_dinamica.php?id_pag=436). Acesso em: 23 de junho de 2018.

MONTE, R. G. Uma Análise comparativa dos aspectos dimensionais de códigos de obras e edificações sob o enfoque da ergonomia. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Pernambuco. Recife: 2006.

OLIVEIRA, G. G. Avaliação do Desempenho Térmico de Sistemas de Fechamento Interno e Externo em uma Edificação Estruturada em Aço. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Civil). Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2019.

RIBAS, R. A. J. Método para Avaliação do Desempenho Térmico e Acústico de Edificações Aplicado em Painéis de Fechamento Industrializados. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Civil). Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto 2013.

SALES, U. C.; NEVES, F. A.; SOUZA, H. A. Avaliação comparativa do desempenho acústico de painéis de vedação pré-fabricados. In: Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído, 4, e Encontro Latino Americano sobre Conforto no Ambiente Construído, 3, 2001, São Pedro-SP. Anais eletrônicos: Encac 2001, v.1, p. 1-7, 2001.

SILVA, N. L. Análise dos Parâmetros de Conforto Térmico em Habitações Populares de um Conjunto em João Pessoa/PB. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa: 2015.