



Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais

Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

O IMPACTO DA ABSORTÂNCIA SOLAR DA COBERTURA NO DESEMPENHO TÉRMICO DE UMA HIS NA CIDADE DE CURITIBA ¹

CÂNDIDO, Carolina Dieguez (1); DORNELLES, Kelen Almeida (2); LUKIANTCHUKI, Marieli Azoia (3)

(1) Universidade Estadual de Maringá – PPU/UEM, caroldieguez@outlook.com

(2) Universidade de São Paulo - IAU/USP, kelend@usp.br

(3) Universidade Estadual de Maringá – PPU/UEM, malukiantchuki2@uem.com.br

RESUMO

A compreensão do comportamento dos materiais que compõem o envelope construtivo em relação ao ganho térmico é de extrema importância. Nesse sentido, este trabalho analisa o desempenho térmico pela metodologia de simulação da ABNT NBR 15.575/2013 de uma habitação unifamiliar térrea, localizada na cidade de Curitiba/PR, inserida na Zona Bioclimática Brasileira 1 (ZB1). A análise compara os resultados de desempenho térmico de cinco combinações diferentes de valores de absorptância da cobertura, através do software EnergyPlus 8.7, da interface gráfica Sketchup 2017 e do plugin Euclid 0.9.3. Com este estudo, observou-se que a absorptância solar das telhas de cobertura apresenta influência significativa no aumento da carga térmica interna. Em relação à análise do desempenho térmico, apenas um dos valores de absorptância não obteve condições de temperaturas internas aceitáveis. No entanto, salienta-se que, no verão, até mesmo o caso que apresentou uma temperatura interna de 30,4°C, passou nos critérios da norma e, no inverno, os níveis de desempenho foram facilmente atingidos, uma vez que a temperatura mínima foi extrema de 3,9°C.

Palavras-chave: Desempenho térmico. Absortância solar. Habitações unifamiliares.

ABSTRACT

The understanding of the behavior of the materials that make up the constructive envelope in terms of thermal gain is of extreme importance. In this regard, this work analyzes the thermal performance according to the ABNT NBR 15.575/2013 simulation methodology of a single-family ground house, located in the city of Curitiba/PR, inserted in the Brazilian Bioclimatic Zone 1 (ZB1). The analysis compares the thermal performance results of five different combinations of roofing absorptance values, using the EnergyPlus 8.7 software, the Sketchup 2017 graphic interface and the Euclid 0.9.3 plugin. With this study, it was observed that the solar absorption of roofing tiles presents a significant influence regarding the increase of the internal thermal load. Regarding the thermal performance analysis, only one of the absorption values did not obtain acceptable internal temperature conditions. However, it should be noted that, in the summer, even the case that presented an internal temperature of 30.4°C, passed the criteria of the norm and, in winter, the performance levels were easily achieved, since the minimum temperature was an extreme of 3.9°C.

Keywords: Thermal performance. Solar absorptance. Single-family housing.

¹ CÂNDIDO, Carolina; DORNELLES, Kelen; LUKIANTCHUKI, Marieli. O impacto da absorptância solar da cobertura no desempenho térmico de uma HIS na cidade de Curitiba. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRÚÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2020.

1 INTRODUÇÃO

O desempenho térmico de uma edificação depende, entre outros fatores, da volumetria da edificação, da orientação de suas fachadas, do posicionamento e do sombreamento das aberturas, dos sistemas construtivos das envoltórias externas (paredes e coberturas) e de suas propriedades termo físicas. O efeito conjugado destes parâmetros, juntamente com as características climáticas do local onde o edifício está inserido, são responsáveis pelas temperaturas dos ambientes internos.

A incidência da radiação solar sobre os edifícios é a maior fonte de ganhos térmicos e, desta forma, o meio natural mais eficaz para reduzir os ganhos de calor é controlar e minimizar a radiação solar que atinge o envelope construtivo ou reduzir sua absorção pela edificação. A envoltória externa dos edifícios se torna um “filtro” entre o ambiente externo e interno, podendo ser composto de elementos opacos (apenas absorvem e refletem a radiação solar, não existindo a sua transmissão direta) e transparentes ou translúcidos (permitem a transmissão direta ou difusa de parte dessa radiação), os quais se comportam de maneira distinta frente à radiação solar.

O impacto dessa carga térmica nos edifícios, dependerá, entre outros fatores, de uma propriedade denominada “absortância”, que é definida como a razão entre a energia solar absorvida por uma superfície e a energia total incidente sobre a mesma, o que afeta o ganho de calor e, assim, as temperaturas internas da edificação (GIVONI, 1998). Rosado e Pizzutti (1997) enfatizam que a escolha das absortâncias de superfícies externas e internas de edificações minimiza gastos excessivos com equipamentos de climatização artificial, refletindo na racionalização energética.

A absortância da superfície externa é uma característica normalmente associada à utilização de diferentes cores superficiais. Segundo Dornelles (2008), atualmente, a grande variedade de cores e tipos de tintas e revestimentos disponíveis no mercado tem influenciado significativamente nos projetos arquitetônicos. O conhecimento das propriedades térmicas do envelope construtivo e os critérios de absorção solar dos materiais é de suma importância, pois fornece informações que auxiliam o arquiteto a especificar materiais adequados às condições climáticas em que a construção será implantada e, assim, obter melhores resultados de desempenho térmico.

Segundo Couto *et al* (2018), pesquisas e padrões internacionais mostraram que muitos países já adotam critérios de absorção solar ou refletância dos materiais da superfície do envelope. Diante disso, as normas brasileiras ainda mostram algum atraso em um banco de dados substancial para a absorção de materiais solares, embora pesquisas foram realizadas a respeito dos materiais opacos disponíveis no mercado (DORNELLES, 2008; COUTO, 2019), visando a obtenção de um banco de dados com esses valores de absortância. Nesse sentido, este artigo tem como objetivo analisar a influência de diferentes valores de absortância solar da cobertura, no desempenho térmico uma habitacional unifamiliar, localizada em Curitiba – PR.

2 MÉTODO

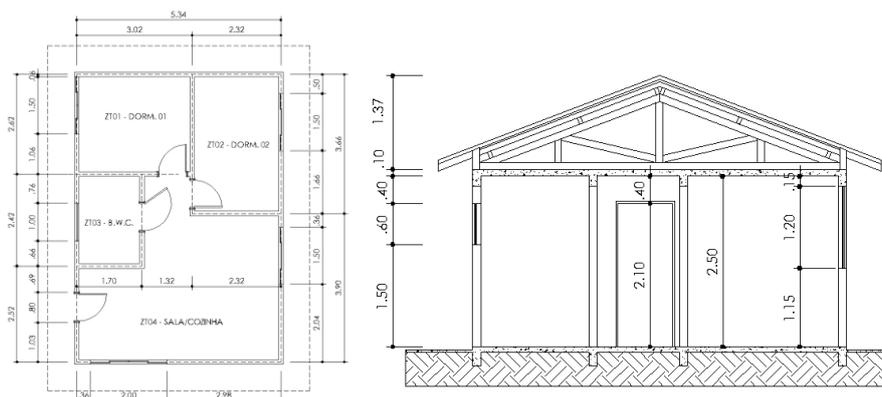
O método dessa pesquisa foi dividido em 3 etapas: 1. Seleção da tipologia da HIS representativa e da zona bioclimática; 2. Seleção dos valores de absortância analisados; 3. Simulações computacionais e parâmetros de análise.

2.1 Zona Bioclimática e cidade representativa

A tipologia selecionada para as análises corresponde a uma habitação térrea

representativa, utilizada atualmente em Maringá, PR, obtida na Secretaria Municipal de Planejamento e Urbanismo de Maringá – SEPLAN, através da pesquisa de Sarvezuk (2020). A edificação conta com área útil de 42 m², apresenta todas as fachadas expostas ao exterior e é composta de dois dormitórios, um banheiro e sala e cozinha conjugada. A cobertura é composta de duas águas com inclinação de 35%, com altura total de 1,37m e beirais de 0,60 m de largura em todas as fachadas. Internamente a casa apresenta uma laje limitando a um pé-direito interno de 2,50m (Figura 1). O sistema construtivo da habitação é detalhado no quadro 1.

Figura 1 – Projeto da HIS, Planta baixa e cortes.



Fonte: Projeto disponibilizado pelo SEPLAN (2018).

Quadro 1 – Propriedades termofísicas dos sistemas construtivos

Elementos	Descrição	Fonte
Paredes externas	Argamassa externa (2,5cm) + bloco cerâmico de 6 furos (9x14x24cm) + argamassa interna (2,5cm). Espessura total da parede: 14cm – Pintura externa branca	Projeto e ANEXO V RAC (INMETRO PORT 50/2013)
Paredes internas	Argamassa externa (2,5cm) + bloco cerâmico de 6 furos (9x14x24cm) + argamassa interna (2,5cm). Espessura total da parede: 14cm	Projeto e ANEXO V RAC (INMETRO PORT 50/2013)
Cobertura	Telha cerâmica (1cm) + câmara de ar (> 5cm) + laje concreto (10cm) – CT = 238 Kj/m ² .K e U = 2,05 W/ (m ² .K)	Projeto e ANEXO V RAC (INMETRO PORT 50/2013)
Piso	Brita (3cm) + concreto (8cm) + argamassa (2,5cm) + revestimento cerâmico (0,5cm).	Marques, 2013
Janelas	Vidro incolor (3mm) + esquadria em ferro	Projeto SEPLAN
Portas	Externa: Metálica (2,0cm)	Projeto SEPLAN
	Internas: Madeira (3,5cm)	Projeto SEPLAN
Sombreamento	Beirais de 60cm além dos limites do telhado, nas 4 fachadas	Projeto SEPLAN

Fonte: Elaborado pela autora.

Com o objetivo de analisar o impacto dos valores de absorvância em uma região mais fria do território brasileiro, foi escolhida a cidade de Curitiba – PR (ZB1), cuja carta bioclimática indica grande necessidade de aquecimento.

2.2 Valores de absorvância

Para as paredes externas adotou-se a cor branca, cujo valor da absorvância é de $a=0,11$, segundo Dornelles (2018), sendo mantido constante em todas as simulações. Para as absorvâncias da cobertura, utilizaram-se cinco tipos de telhas para as simulações (quadro 2), baseando-se nos resultados apresentados por Couto (2019). Foram escolhidos um tipo de telha com absorvância baixa (o menor valor da referida

pesquisa) e um tipo de telha com absorvência elevada (o maior valor). Posteriormente, selecionaram-se três valores intermediários aos extremos citados.

Quadro 2 – telhas de referência para simulação da cobertura

Imagem da telha	Nome da telha	Absorvência ajustada ao espectro solar padrão (a)
	Modelo 1 - Telha de fibrocimento - modelo Universal - Refletiva.	0,04
	Modelo 2 - Telha de fibrocimento - modelo Universal - Refletiva.	0,24
	Modelo 3 - Telha de cerâmica - modelo Cumeeira - Natural.	0,49
	Modelo 4 - Telha de cerâmica - modelo Americana - Esmaltada.	0,62
	Modelo 5 - Telha de cerâmica - modelo Americana - Esmaltada.	0,80

Fonte: Adaptado de Couto (2019).

2.3 Simulações Computacionais - NBR 15575

A tipologia foi modelada através do programa SketchUp 2017 e do Plugin Euclid, na versão 0.9.3. Essa etapa seguiu todas as recomendações da NBR 15.575 (ABNT, 2013). A modelagem considerou a habitação como um todo e cada ambiente da edificação e a cobertura como diferentes zonas térmicas. As análises foram realizadas para os dias típicos de verão e de inverno, definindo os ambientes de maior permanência (dormitórios e sala) sob as seguintes orientações: verão com a janela da sala orientada para oeste e a outra para norte (Figura 2a) e no inverno com a janela da sala voltada para sul e a outra para leste (Figura 2b). Além disso, foi definido um mesmo tipo de terreno (subúrbio) em todas as simulações.

Figura 2 - Orientação da habitação para as simulações



Fonte: Adaptado do projeto disponibilizado pelo SEPLAN, 2018.

Ainda de acordo com o recomendado pela referida normativa, não foram considerados a ocupação ou quaisquer ganhos internos. Considerou-se que as paredes expostas e as janelas desobstruídas e adotou-se a taxa de ventilação constante e de 1 renovação de ar por hora em todos os ambientes. Quanto a temperatura do solo, segundo Costa (2017), é confiável usar a média da temperatura do ar externo como dado de entrada da temperatura do solo nas simulações. As análises dos resultados ficaram restritas aos ambientes de maior permanência (sala-cozinha e dormitórios), conforme orientado na ABNT NBR 15575-1 (ABNT, 2013b).

A partir dos resultados das simulações, têm-se os valores das temperaturas em cada ambiente interno, ao longo do dia. Em seguida, são realizadas comparações entre a

temperatura externa e a temperatura interna máxima e mínima dos ambientes de maior permanência (dormitórios e salas), para os dias típicos de verão e inverno.

Quadro 3 – Critério de avaliação de desempenho térmico

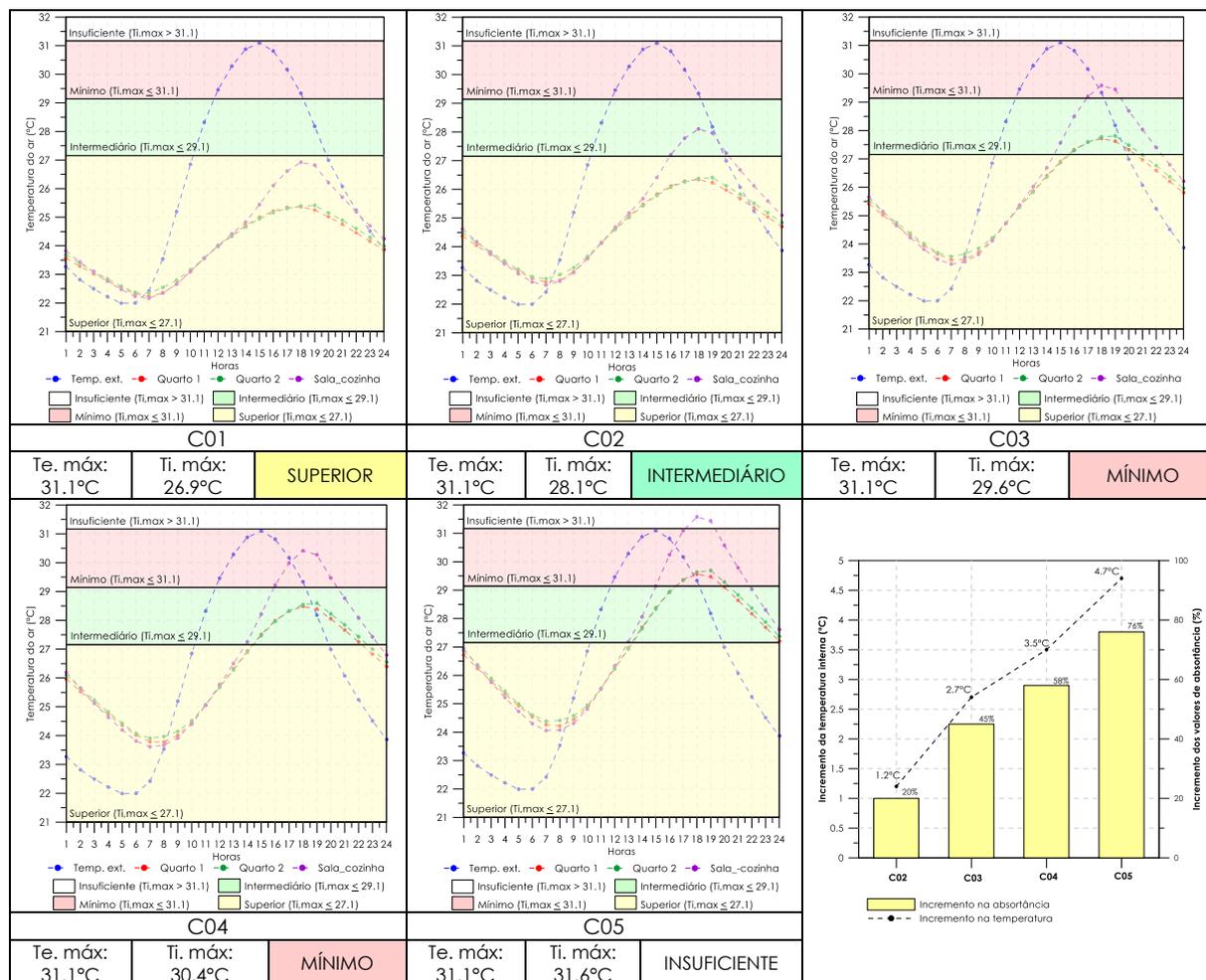
Solstício	Nível de desempenho	Critério - Zonas 1 a 7	Temperaturas obtidas a partir do critério
Verão	Insuficiente	$T_{i,max} > T_{e,max}$	$T_{i,max} > 31,1^{\circ} C$
	Mínimo	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$	$T_{i,max} \leq 31,1^{\circ} C$
	Intermediário	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2^{\circ} C)$	$T_{i,max} \leq 29,1^{\circ} C$
	Superior	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 4^{\circ} C)$	$T_{i,max} \leq 27,1^{\circ} C$
Inverno	Insuficiente	$T_{i,min} < (T_{e,min} + 3^{\circ} C)$	$T_{i,min} < 6,9^{\circ} C$
	Mínimo	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 3^{\circ} C)$	$T_{i,min} \geq 6,9^{\circ} C$
	Intermediário	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 5^{\circ} C)$	$T_{i,min} \geq 8,9^{\circ} C$
	Superior	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 7^{\circ} C)$	$T_{i,min} \geq 10,9^{\circ} C$

Fonte: Elaborado pela autora

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A figura 3 apresenta os valores da temperatura interna dos ambientes de maior permanência e da temperatura externa do ar, com os critérios de avaliação da NBR 15575 (2013), para cada cor de telha analisada no período do verão. Nota-se que a cor da cobertura tem um impacto significativo no desempenho térmico da edificação, uma vez que à medida que a telha vai ficando mais escura, as temperaturas internas aumentam significativamente.

Figura 3 – Gráficos de desempenho térmico Curitiba verão



Fonte: Elaborado pela autora.

Com relação a influência deste parâmetro sobre o valor da temperatura máxima interna da sala (ambiente na orientação crítica) dos casos analisados, nota-se um aumento gradual nos valores, em função do aumento dos valores de absorvência da cobertura. No caso C01 ($\alpha_{telha} = 0,04$), a sala alcançou classificação superior, com temperatura máxima interna de 26,9°C. No C02 ($\alpha_{telha} = 0,24$) o aumento em 20% da absorvência da telha ocasionou um aumento da temperatura máxima interna da sala em torno de 1,2°C. Quando a absorvência da telha sofre um aumento de 45% (C03 - $\alpha_{telha} = 0,49$), verificou-se que a temperatura interna máxima foi 2,7°C superior ao C01. No C04 ($\alpha_{telha} = 0,62$), a absorvência das telhas foi aumentada em 58%, registrando um incremento na temperatura interna máxima de 3,5°C. Por fim, o maior pico da temperatura interna nesse ambiente foi para o caso com o maior valor de absorvência (C05 - $\alpha_{telha} = 0,78$), registrando um incremento de 4,7°C. O gráfico 3 mostra que o aumento das temperaturas máximas internas segue uma tendência linear à medida que os valores das absorvências são elevados. Entre o C03 e o C04 esse aumento foi menos significativo (0,8°C), em função do menor aumento do valor de absorvência (13% do C04 em relação ao C03).

A partir desses resultados nota-se que a maioria dos valores testados de absorvência das coberturas foram aprovados pela NBR 15575, para o verão, com exceção da cor mais escura (C05). Isso aconteceu mesmo para o caso com o segundo pior desempenho (C04), que registrou um incremento de 3,5°C na temperatura interior, em relação à configuração de melhor desempenho térmico (C01), apresentando uma temperatura interna máxima de 30,4°C. Isso reforça as inúmeras críticas a respeito dos critérios da referida normativa, uma vez que a habitação pode ser atestada com um desempenho térmico adequado, mas cujas temperaturas internas não proporcionam um ambiente termicamente confortável aos usuários, desencadeando, possivelmente, características de desconforto por calor em tais usuários.

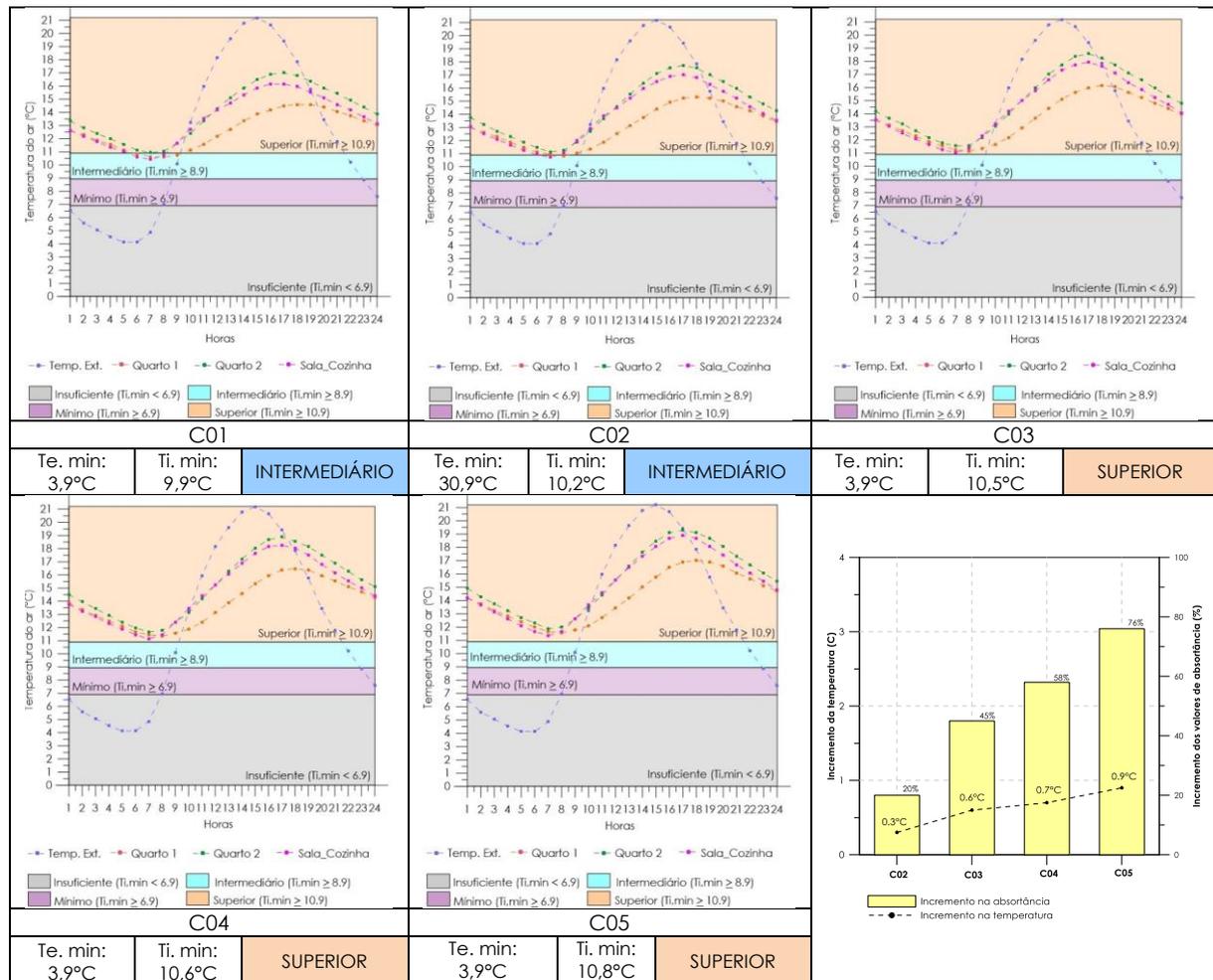
A figura 4 apresenta os valores da temperatura interna dos ambientes de maior permanência e da temperatura externa do ar, com os critérios de avaliação da NBR 15575 (2013), para cada cor de telha analisada no período do inverno. Nesse caso, à medida que a absorvência solar das telhas aumentam, as temperaturas internas também aumentam e, conseqüentemente, atingem-se melhores níveis de classificação da norma, uma vez que o aquecimento nesse período é recomendado.

Sobre a influência deste parâmetro no valor da temperatura mínima interna, no caso C01 ($\alpha_{telha} = 0,04$), o quarto 1 e a sala alcançaram classificação intermediária, com temperaturas mínimas internas de 10,1°C, e 9,9°C, respectivamente, enquanto o quarto 2, atingiu temperatura mínima de 10,4°C, sendo classificado como superior. No C02, as temperaturas internas foram muito similares ao C01 (diferenças de 0,2°C para os quartos e 0,3°C para a sala), obtendo os mesmos critérios de classificação. Já no C03 ($\alpha_{telha} = 0,49$), o quarto 2 e a sala apresentaram desempenho térmico superior, com uma temperatura mínima de 11 °C e 10,6 °C, enquanto sala/cozinha permaneceu com classificação intermediária, apresentando temperatura mínima de 10,5 °C. Para o C04 os critérios de classificação foram mantidos, no entanto, as temperaturas registradas foram ligeiramente mais altas: quarto 1 com 10,8 °C, quarto 2 com 11,1 °C e sala/cozinha com 10,6 °C. Por fim, quando a absorvência da telha sofre acréscimo de 80% (C05), todos os ambientes atingem o desempenho superior.

Através dos resultados, observa-se que todos os valores de absorvência das coberturas testados foram aprovados, pela respectiva normativa, para a situação de inverno, sendo a configuração C01 ($\alpha_{telha} = 0,04$) a de classificação do desempenho térmico mais baixa, para este dia típico, apresentando uma queda de até 0,9 °C da

temperatura interior, quando comparada à configuração com classificação mais alta do desempenho térmico ($\alpha_{telha} = 0,80 - C05$). No entanto, é válido ressaltar que como a temperatura mínima obtida foi extrema ($3,9^{\circ}\text{C}$), estes níveis de desempenho foram facilmente atingidos. Isso não significa, por sua vez, que os ambientes estejam termicamente confortáveis aos usuários, uma vez que a temperatura interna variou de $9,9^{\circ}\text{C}$ a $10,8^{\circ}\text{C}$. Estas temperaturas reforçam as informações apresentadas na NBR 15220-3 e no Projetoeee que indicam a necessidade de estratégias passivas de aquecimento no inverno como, por exemplo, aquecimento solar das edificações, aumento da inércia térmica das paredes internas ou até aquecimento artificial.

Figura 4 - Gráficos de desempenho térmico Curitiba inverno



Fonte: Elaborado pela autora.

Por fim, a partir das simulações realizadas é possível observar que, o aumento das temperaturas máximas internas ocorre de forma linear à medida que os valores das absorptâncias são elevados e que, por consequência, a escolha da telha de absorptância mais baixa ($\alpha_{telha} = 0,04 - C01$) é mais favorável para o verão e da telha com absorptância mais alta ($\alpha_{telha} = 0,80 - C05$) para o inverno. Porém, por se caracterizar como um elemento construtivo fixo, faz-se necessária a escolha de um tipo de telha que apresente um desempenho aceitável durante a maior parte do ano, este seria o caso da C02 ($\alpha_{telha} = 0,24$), classificada no verão com desempenho intermediário e no inverno com desempenho superior.

4 CONCLUSÕES

Na análise realizada observa-se que a absorvância solar da telha de cobertura apresenta influência significativa, no que diz respeito ao aumento da carga térmica interna da HIS estudada, sendo responsável por um aumento de até 4,7°C da temperatura máxima interna no verão e de até 0,9°C da temperatura mínima interna no inverno. Em relação ao desempenho térmico da HIS, seguindo os critérios apresentados na ABNT NBR 15575 (2013), neste estudo foi possível obter condições de temperaturas internas aceitáveis para verão e inverno, sendo que apenas um dos valores de absorvância de telhas (C05 – verão) não obteve condições aceitáveis, seguindo os critérios da normativa. No entanto, é válido ressaltar que no caso do verão, até mesmo o caso com o segundo pior desempenho (C04), passou nos critérios da norma, ainda que apresentando uma temperatura interna elevada, de 30,4°C. No inverno destaca-se que como a temperatura externa mínima foi extrema (3,9°C), os níveis de desempenho foram facilmente atingidos, ainda que a temperatura interna tenha variado de 9,9°C a 10,8°C, o que influencia significativamente na sensação térmica. Isso reforça as inúmeras críticas a respeito dos critérios da referida normativa, uma vez que a habitação pode ser atestada com um desempenho térmico adequado, mas cujas temperaturas internas não proporcionam um ambiente termicamente confortável aos usuários. Ressalta-se que a análise do conforto térmico dos usuários será avaliada pela presente pesquisa em etapas posteriores, não sendo o foco desse artigo.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 15220-3**: desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2013.
- _____. **NBR 15575**: edifícios habitacionais de até cinco pavimentos. Rio de Janeiro, 2005
- COSTA, V. A. C. **Trocas de calor entre edificações térreas e o solo e sua modelagem no pré-processador Slab**. Dissertação (Mestrado) -Universidade de São Paulo. São Carlos, 2017.
- COUTO, L.; BANQUERI, D.; DORNELLES, K. **Absorvância solar e as normas internacionais e brasileiras**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, São Paulo. Anais... Foz do Iguaçu: ENTAC, 2018.
- COUTO, Lorena S. B. **Refletância solar de revestimentos para o ambiente construído**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de São Paulo, 2019.
- DORNELLES, Kelen A. **Absorvância solar de superfícies opacas: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA**. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008. 160p.
- GIVONI, B. **Climate considerations in building and urban design**. New York: John Wiley, 1998.
- RORIZ, M. **Classificação de Climas do Brasil - Versão 3. 2014**. Disponível em: <http://www.labeeee.ufsc.br/projetos/proposta-de-revisao-do-zoneamento-bioclimatico-brasileiro>>. Acesso em: 10 de maio de 2020.
- ROSADO, C.; PIZZUTTI, J. L. **A influência das cores no conforto térmico-lumínico e na redução do consumo de energia nas edificações**. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4., 1997, Salvador. Anais... Salvador, 1997.
- SARVEZUK, Laiana. **Análise bioclimática em projetos de habitação de interesse social: contribuições ao zoneamento bioclimático brasileiro – ZB3**. 2020. 129p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2020.