2020 ENTAC
XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais

Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

A INFLUÊNCIA DA TRANSMITÂNCIA TÉRMICA DE SUPERFÍCIES OPACAS NO DESEMPENHO DE UM EDIFÍCIO NATURALMENTE VENTILADO COM ALTA OCUPAÇÃO[1]

GOULART, Mariana Fortes (1); LABAKI, Lucila Chebel (2)

(1) Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, marigoulart00@gmail.com
(2) Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, llabaki@gmail.com

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo avaliar o impacto da superfície opaca externa de um edifício naturalmente ventilado e com alta carga térmica interna no desempenho térmico desses ambientes. Como método, utilizou-se o estudo de caso para avaliar um edifício escolar de ensino superior público, em Campinas, SP. Uma parte do edifício foi modelada no programa de simulação computacional termo energética, EnergyPlus e, após, foram criados cinco casos variando as paredes externas. Os tipos de vedação escolhidos foram: concreto maciço de 10cm; bloco de concreto aparente (caso existente); tijolo cerâmico rebocado; fachada dupla (revestimento cerâmico externo); fachada dupla com isolante na câmara de ar. Os resultados mostraram que a parede com menor transmitância (U=0,71) apresentou o maior ganho térmico no espaço analisado para o clima de Campinas. Isso pôde ser explicado devido à alta densidade de ocupação e a pouca ventilação no recinto. O uso de ventilação noturna pode ser uma estratégia para melhorar o desconforto por calor nesses tipos de ambiente. O trabalho sugere que, em normas futuras, se estabeleçam limites máximos e mínimos da transmitância das paredes, dependendo do uso e do tipo de ventilação.

Palavras-chave: *Transmitância térmica. Desempenho térmico. Simulação computacional.*

ABSTRACT

This work aims to evaluate the impact of the external opaque surface of a naturally ventilated and high thermal load building on the thermal performance of these spaces. As a method, a case study was used to evaluate a public University Education building in the city of Campinas, SP. A part of the building could be modeled in the thermal energy computational simulation software, EnergyPlus and, afterwards, five cases were created varying the external walls. The types of sealing chosen were: 10cm solid concrete; apparent concrete block (real case); plastered ceramic brick; double façade (external ceramic coating); double façade with insulation in the air chamber. The results proved that the wall with the lowest transmittance (U = 0.71) showed the highest thermal gain within the space analyzed for the Campinas climate. This could be explained due to the high occupancy density and poor ventilation in the room. The use of night ventilation can be a strategy to improve heat discomfort in these types of spaces. The work suggests that, in future standards, maximum and minimum limits for the transmittance of the walls are established, depending on the use and type of ventilation.

Keywords*: U-value. Thermal performance. Building simulation.*

---

[1] GOULART, M. F.; LABAKI, L. C. A influência da transmitância térmica de superfícies opacas no desempenho de um edifício naturalmente ventilado e com alta ocupação. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2020.

1 INTRODUÇÃO

A busca pelo conforto térmico dentro de ambientes objetiva não só a satisfação dos usuários, mas também, uma vez que estes se sintam confortáveis, a diminuição dos gastos com iluminação e refrigeração artificiais. Conhecer o clima da cidade em que será implantado o edifício e conceber este edifício com estratégias passivas adequadas ao clima em que está inserido se faz necessário para que se alcance o desejado conforto térmico. Algumas tecnologias, bem difundidas no exterior, são importadas no Brasil sem critérios técnicos para seu uso: é o caso dos isolantes térmicos. Existe um ideário entre empresas e profissionais de que edifícios bem isolados proporcionam maior economia de energia, o que não acontece em todos os tipos de clima. Por exemplo, para climas quentes, o uso do isolante aumenta a carga térmica anual, conforme demonstrou Melo *et al*. (2015).

Roriz, Chvatal e Cavalcanti (2009) avaliaram o desconforto acumulado em um ano em edifícios com paredes de diferentes resistências térmicas em 9 tipos de climas brasileiros e verificaram que em 8 deles, o desconforto se mostrou diretamente proporcional às resistências térmicas das paredes. Somente para o clima de Curitiba isso não se constatou, devido ao desconforto nessa cidade ser, na maior parte do ano, por frio. Mesmo em Portugal e alguns países do sul europeu, Chvatal e Corvacho (2009) verificaram que o isolamento das envoltórias se apresentou como boa estratégia para climas frios, porém, é necessário controlar o ganho solar e o ganho interno para evitar o superaquecimento no verão. Nessas condições, para evitar o uso de ar condicionado, foi indicado o correto dimensionamento do sombreamento das aberturas e uma ventilação natural eficiente.

Melo e Lamberts (2008a) analisaram um modelo de edifício em Denver, nos Estados Unidos e em Florianópolis, no Brasil. O aumento da transmitância térmica das paredes e coberturas do caso em Denver aumentou o valor da carga térmica, já para Florianópolis, o aumento da transmitância reduziu a carga térmica em até 33% em relação ao modelo base. Este trabalho destaca a importância de se analisar o clima no qual a edificação está inserida, pois em regiões quentes, uma envoltória muito isolada dificulta a dissipação dos ganhos internos e solares para o exterior. Os mesmos autores (2008b) também analisaram a influência da transmitância da envoltória de edifícios comerciais em três cidades brasileiras (Florianópolis, Curitiba e São Luís) e observaram que, dependendo da densidade de carga interna, padrão de uso, porcentagem de abertura, fator solar e a absortância, o aumento da transmitância pode resultar em uma diminuição no consumo anual de energia do edifício.

Masoso e Grobler (2008) simularam um edifício em Botswana, país de clima quente e seco e contestaram a ideia de que "quanto menor a transmitância, melhor". O isolamento nas paredes não reduziu o consumo de energia anual. Os autores definiram um "ponto de inflexão térmica", em que, a partir desse ponto, devido a uma combinação da temperatura de resfriamento e dos ganhos internos, o edifício deveria ter valores de transmitância aumentados para ter melhor desempenho.

A norma do zoneamento bioclimático brasileiro, a NBR 15220/3 (ABNT, 2005) e a norma de desempenho de edificações, a NBR 15575 (ABNT, 2013) dividem o Brasil em oito zonas relativamente homogêneas em relação ao clima e indicam as características do edifício e demais estratégias passivas para que se possa projetar um edifício adequado ao clima. As duas normas se referem à habitação, mas como são as únicas normas de desempenho do Brasil, acaba-se por utilizar seus parâmetros para os demais tipos de edificações. Dentro de diversos requisitos estão os limites

máximos para transmitância térmica, atraso térmico e fator solar das envoltórias (paredes e coberturas que fazem contato com o exterior).

Alguns trabalhos já sinalizam para a necessidade de revisão dos valores de referência das normas, como Ferreira, Souza e Assis (2017) que verificaram necessidade de revisão dos valores de capacidade térmica e absortância solar das coberturas da norma NBR 15220 e dos valores de capacidade térmica das paredes, coberturas e absortância solar da cobertura no caso da NBR 15575. Teixeira *et al*. (2017)estimaram o consumo de energia para condicionamento artificial em edificações unifamiliares e observaram que o limite de absortância 0,8 e transmitância 2,19 W/(m².K) acarretou um maior consumo para o resfriamento dos dormitórios.

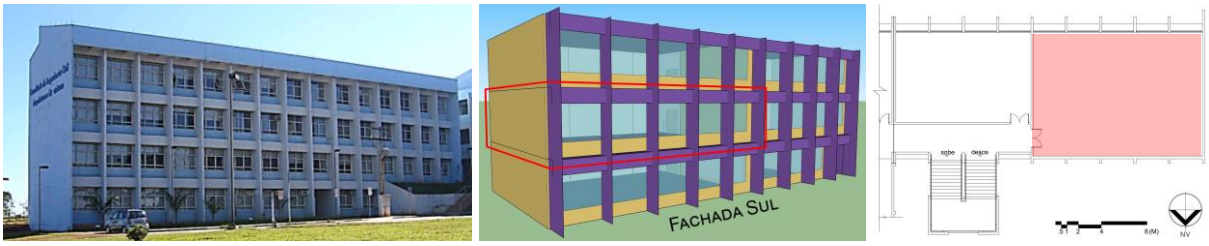
Com o aumento e maior acesso às ferramentas de simulação computacional, mais pesquisas vêm sendo desenvolvidas no sentido de desmistificar algumas tecnologias que parecem resolver questões térmicas para qualquer clima, como por exemplo, o uso de isolantes, que resulta na diminuição dos valores de transmitância térmica. Essa ideia é incorporada, inclusive, nas normas de desempenho brasileiras. Deve-se ressaltar que há outras variáveis importantes que é preciso considerar na hora do projeto, mas este trabalho tem como objetivo principal a avaliação da transmitância de paredes externas no ganho térmico interno de um edifício de ensino público superior que, devido ao seu uso, possui alta ocupação na maior parte do dia, e ainda, verificar a eficiência das recomendações da NBR 15220 (ABNT, 2005) e da NBR 15575 (ABNT, 2013) para a zona climática 3, no que se refere à transmitância.

3 MÉTODO

O trabalho configura um estudo de caso e o processo metodológico contempla as análises de desempenho térmico da edificação com auxílio do software *EnergyPlus*, versão 8.7. Foi utilizado o arquivo climático no formato .EPW (*EnergyPlus Weather File*) para a cidade de Campinas, em que os dados são medidos em estações automáticas do INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. As simulações foram realizadas para todas as 8760 horas do ano do arquivo climático. A modelagem do edifício foi feita usando o aplicativo gratuito para *SketchUp*, Euclid 0.9.3, aplicativo que facilita a criação e modificação dos dados de entrada da geometria para a construção de modelos para simulação no *EnergyPlus* (BIG LADDER SOFTWARE, 2017).

A sala analisada se localiza no primeiro pavimento e possui as maiores fachadas voltadas para Norte e Sul, tendo aberturas apenas na orientação sul, protegidas por brises horizontais e verticais (Figura 1). O edifício real é constituído por blocos de concreto aparente de 14x19x39 cm, sendo este o caso 2 ensaiado (os demais casos podem ser vistos na Figura 2). A sala analisada possui 160m², e tem capacidade para 50 alunos. A área de janelas é de 35,8m² e estas são do tipo máximo ar.

Figura 1 – Edifício real, modelo no *Sketchup* e planta esquemática (sala analisada)



Fonte: As autoras.

A sala possui 60 lâmpadas de 32W, totalizando 1920W de carga devido à iluminação. Em relação às cargas internas de equipamentos elétricos, considerou-se a presença de um aparelho de projeção e uma CPU (370W). Os *schedules* de ocupação, iluminação, equipamentos elétricos e ventilação, para os dias úteis, levaram em conta o uso do edifício das 8h até às 23h (12h e 18h com 50% da ocupação), devido ao fato de haver aulas diurnas e noturnas nos dias úteis; aos sábados há aulas no período da manhã (30% da ocupação), e no domingo o edifício não é ocupado.

A ventilação natural foi simulada de maneira simplificada, usando o módulo *AirFlowNetwork* do *EnergyPlus*. Os parâmetros de entrada podem ser vistos na Tabela 1. Os itens que não se encontram na tabela foram mantidos com valores padrão do programa (*default*). As janelas e portas foram consideradas abertas totalmente das 8h às 22h, com fechamento durante às 13h e às 18h. A porta foi a única abertura para ventilação cruzada, já que a sala possui janelas em apenas uma fachada (sul).

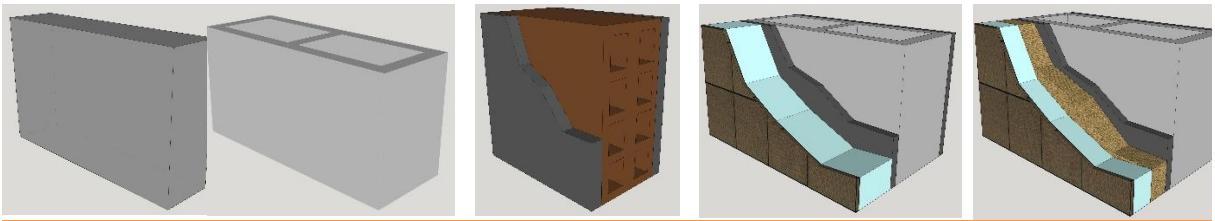
Tabela 1 – Parâmetros de entrada da ventilação natural

AirflowNetwork		
Simulation Control	AirflowNetwork Control	MultizoneWithoutDistribution
	Wind Pressure Coefficient Type	SurfaceAverageCalculation
Zone	Ventilation Control Mode	Constant
	Minimum Venting Open Factor	0
Surface	Window/Door Opening Factor or Crack Factor	0.27
Component: DetailedOpening (Portas e Janelas)	Air Mass Flow Coefficient Ehen Opening is Closed	0.001
	Extra Crack Length or Height of Pivoting Axis	Soma do perímetro de cada esquadria de cada zona.
	Number of sets of Opening Factor Data	2
	Opening Factor 1	0
	Discharge Coefficient for Opening Factor 1	0.001
	Opening Factor 2	1
	Discharge Coefficient for Opening Factor 2	0.6

Fonte: As autoras.

Por fim, foram simulados os cinco casos de paredes com diferentes valores de transmitância (Figura 2). Os valores de absortância foram mantidos iguais para todos os casos, correspondendo à cor do concreto aparente (0,7), uma vez que o objetivo foi verificar somente o impacto da transmitância das paredes. Os casos 4 e 5 simulam uma fachada destacada da parede de fechamento, também conhecida como fachada dupla, sendo a camada mais externa composta por material cerâmico (opaco). No caso 4 há apenas ar na cavidade e no caso 5 há também uma camada de material isolante na cavidade.

Figura 2 – Cenários com diferentes configurações de paredes simulados



Caso 1: U=4,83 **Concreto maçico**	Caso 2: U=3,23 (caso existente) **Tijolo de concreto**	Caso 3: U=2,49 **Tijolo cerâmico rebocado**	Caso 4: U=1,96 **Fachada dupla com cerâmica**	Caso 5: U=0,71 **Fachada dupla com isolante**

Fonte: As autoras.

As características dos componentes construtivos podem ser vistas na tabela 2. Depois da simulação para o ano todo, foi escolhida uma semana para verificação dos

dados mais representativos. Foi usado como requisito um mês quente e em período de aula, assim, foi escolhido o mês de novembro. Após a observação dos resultados de uma semana de novembro, foram excluídos os dias do final de semana, e aqueles com temperaturas mais baixas e mais altas, resultando nos dados do dia 16 de novembro.

Tabela 2 – Características térmicas dos componentes do edifício

Componente Construtivo	Materiais	Transmitância térmica [W/m²K]	Fator Solar (%)
Caso 1	Concreto maciço e=10cm	4,83	-
Caso 2	Bloco de concreto 14x19x39cm	3,23	-
Caso 3	Argamassa externa Tijolo cerâmico 8 furos 9x19x19 Argamassa interna	2,49	-
Caso 4	Porcelanato Câmara de ar 9cm Argamassa externa Bloco de concreto 14x19x39 Argamassa interna	1,96	-
Caso 5	Porcelanato Câmara de ar 5cm Lã de rocha 4cm Bloco de concreto 14x19x39 Argamassa interna	0,71	-
Paredes internas	Bloco de concreto 14x19x39cm	3,23	-
Lajes de piso	Piso cerâmico Contra piso 5cm Laje alveolar 15cm (concreto 5cm + ar 5cm + concreto 5cm)	2,93	-
Esquadrias	Vidro comum	5,59	87

Fonte: As autoras.

Para análise de conforto, foi utilizado o método dos graus-hora. Para a situação deste estudo, foi avaliado somente o desconforto por calor. Assim, somou-se as diferenças entre a temperatura operativa interna e o limite superior da temperatura de conforto, quando a temperatura operativa estava acima do limite. O software *EnergyPlus* gerou os dados de temperatura neutra de acordo com o método adaptativo para espaços condicionados naturalmente, proposto pela ANSI/ASHRAE Standard 55 (ASHRAE, 2017). A partir da temperatura neutra, foi calculado o limite de conforto de acordo com a mesma norma, adotando a exigência de 80% de aceitabilidade, que é o recomendado para edifícios comuns, como o edifício escolar.

4 RESULTADOS

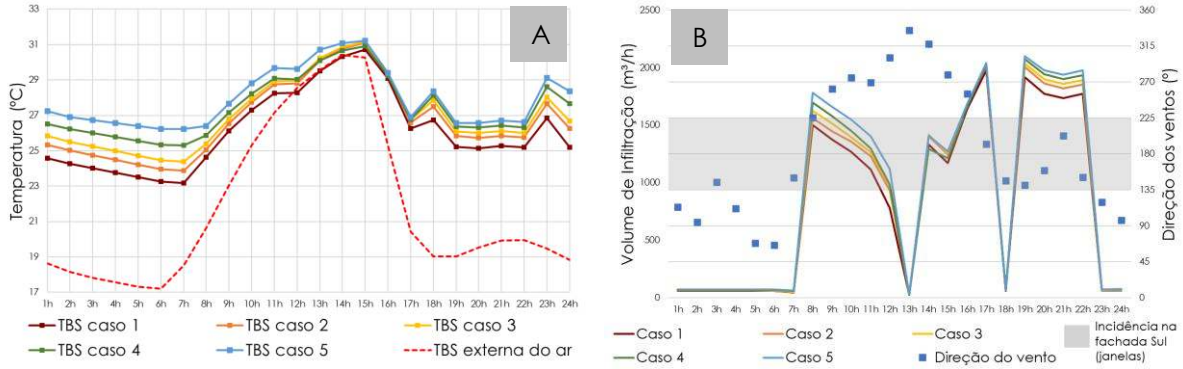
A Figura 3A traz o gráfico da variação da temperatura externa do ar ao longo do dia analisado, bem como as temperaturas de bulbo seco do ambiente interno nos cinco casos. O gráfico mostra que que as temperaturas internas foram maiores que as externa em quase todo o dia. Somente o caso 1 apresentou valores próximos à temperatura externa das 12h às 14h. Entre 8h e 16h as temperaturas internas e a externa se aproximaram, devido à ventilação natural, que mistura o ar externo e interno. Das 19h às 22h as janelas ainda estavam abertas, mas as temperaturas internas foram bem maiores que a externa, indicando que o edifício possui uma alta carga térmica, já que armazena esse calor no interior. De madrugada, quando as janelas estão fechadas, não há perda de calor e as temperaturas internas se mantém altas, indicando que o edifício não possui um sistema eficiente de retirada de calor.

Em relação aos valores de temperatura, o caso 5 foi o que apresentou as temperaturas mais altas e o caso 1 as mais baixas, confirmando que, para o clima de

Campinas, mais importante que ter uma parede muito isolante é ter um sistema eficiente de retirada de calor interno, e a parede com baixa transmitância prejudica ainda mais esse fator. Esse fenômeno pode ser observado, também, nos dois picos de temperatura, às 18h e às 23h, pois, nesses momentos, as janelas foram fechadas, considerando no primeiro pico, o intervalo entre as aulas da tarde e da noite e, no segundo pico, o final das aulas noturnas. As temperaturas operativas foram muito similares às temperaturas do ar, não sendo possível observar um impacto significativo da temperatura radiante média. As maiores diferenças (em torno de 1°C) foram observadas nas salas 2, 3 e 4, das 11h às 15h.

O volume de infiltração nos ambientes (m³/h) pode ser visto na Figura 3B. Os pontos azuis indicam a direção dos ventos predominantes no dia analisado. Como as janelas estão orientadas para Sul, a mancha cinza traz os períodos em que o vento incidiu na janela (de 135° a 225°). Pode-se perceber que houve uma correlação nas maiores taxas de ventilação quando o vento está na área cinza, porém, em vários períodos o vento não incidiu na fachada, o que denota a instabilidade dessa variável, uma vez que a direção dos ventos predominantes de Campinas é sudeste e a implantação do edifício analisado está correta em relação à orientação dos ventos.

Figura 3 – Gráfico da temperatura de bulbo seco externa e interna (A) e gráfico da análise da ventilação natural (B)



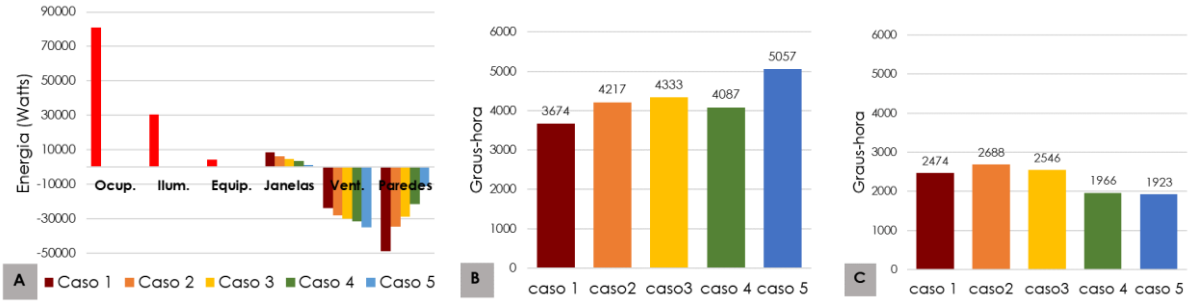
Fonte: As autoras.

Detectado o problema da grande carga térmica interna do edifício, foi necessário identificar a origem dessas cargas. O gráfico do balanço térmico (Figura 4A), com as cargas totais do dia, mostra que o maior ganho de calor vem das pessoas (ocupação), seguido pela iluminação e janelas. A ventilação e as paredes foram responsáveis pela maior quantidade de calor retirado do ambiente. No caso 5, a parede mais isolada, a ventilação se mostrou fundamental, já que a própria parede não consegue esse efeito. Em relação às paredes, o caso 5 foi a que menos perdeu calor, o que condiz com a acurácia dos resultados, uma vez que é a parede que menos possibilita troca de calor. A parede 1, de maior transmitância, perdeu mais calor, o que resultou nos melhores resultados em termos de conforto interno.

O gráfico de graus-hora de resfriamento anual pode ser visto na Figura 3B. O caso 5, como esperado, apresentou a maior quantidade de horas de desconforto, enquanto o caso 1 apresentou as menores quantidades de horas de desconforto ao longo do ano. Conforme foi observado, esse desempenho da parede com menor transmitância pode ser explicado pela alta ocupação, uma vez que se trata de salas de aula e a ventilação ineficiente para retirada do calor acumulado ao longo do dia no ambiente. Considerando que não é possível alterar a quantidade de alunos nas salas, foi feito uma segunda rodada de simulação para verificar se a ventilação

noturna seria uma estratégia eficiente para se resfriar os ambientes. Sendo assim, as janelas foram consideradas abertas durante todo o dia e no sábado até as 12h, ficando fechadas somente aos sábados à tarde e domingos. Nesse caso, a parede mais isolante foi a que apresentou as menores quantidades de graus-hora de resfriamento (figura 3C), o que condiz com a literatura, quando esta aponta para esse tipo de parede como uma estratégia boa para ambientes condicionados artificialmente ou, no caso específico dessa pesquisa, com uma ventilação eficiente.

Figura 4 – Gráfico do balanço térmico: ganhos e perdas de calor (A), gráfico de graus-hora de resfriamento anual (B) e gráfico de graus-hora resfriamento anual com ventilação noturna (C).



Fonte: As autoras.

5 CONCLUSÕES

Este trabalho reforçou o que a literatura aponta em relação à importância da transmitância para avaliação de desempenho térmico de fechamentos externos de edificações. Porém, a busca por paredes cada vez mais isolantes, propagandeadas por empresas ou profissionais, nem sempre é uma estratégia eficiente de condicionamento térmico passivo, conforme demonstrou este estudo de caso.

A norma de zoneamento bioclimático brasileiro, a NBR 15220/3 (ABNT, 2005) enquadra Campinas na zona bioclimática 3, em que são exigidas paredes leves e refletoras, e a transmitância para este caso deve ser menor que 3,60W/m²K. Porém, a norma não indica um valor de transmitância mínimo, pois, como vimos nos resultados, a transmitância muito baixa pode causar um efeito contrário ao que se espera, ocasionando ganho de calor internamente, principalmente em ambientes com alta concentração de pessoas ou outras formas de ganho de calor. A norma brasileira de desempenho NBR 15575/4 (ABNT, 2013) indica valores de transmitância ainda mais baixos (menores que 2,50W/m²K) para paredes com absortância maior que 0,6, que foi o caso desse trabalho. Importante reforçar que as normas citadas se direcionam ao setor residencial, porém, a comparação dos valores da simulação com os valores da norma, sugere que, em normas futuras, se estabeleçam limites máximos e mínimos da transmitância das paredes externas atrelados ao uso da edificação, e assim, considere a ocupação interna desses ambientes. Da mesma forma, é importante considerar os dados de ventilação, a orientação das aberturas para os ventos dominantes, para que se tenha ventilação efetiva como forma de eliminar o calor acumulado ao longo do dia.

A ventilação noturna se mostrou uma estratégia eficiente para retirada do calor no período em que as temperaturas externas são mais baixas, porém, há que se considerar as questões culturais, principalmente relacionadas à segurança e à limpeza, já que essa estratégia ainda não tem uma boa aceitação na sociedade

brasileira. Porém, novamente o papel do projetista se faz importante, uma vez que pode pensar em um sistema que conjugue os benefícios da ventilação noturna com a resolução dos problemas de ordem cultural.

REFERÊNCIAS

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

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações habitacionais - Desempenho. Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas. Rio de Janeiro, 2013.

ASHRAE – AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. **ANSI/ASHRAE Standard 55**: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, 2017.

BIG LADDER SOFTWARE. **Euclid**. Disponível em: https://bigladdersoftware.com/projects/euclid/ Acesso em: 9 dez. 2017.

CHVATAL, K. M. S.; CORVACHO, H. The impact of increasing the building envelope insulation upon the risk of overheating in summer and an increased energy consumption. In: **Journal of Building Performance Simulation**, vol. 2, n.4, dez. 2009, 267-282.

FERREIRA, C. C.; SOUZA, H. A. DE; ASSIS, E. S. DE. Discussão dos limites das propriedades térmicas dos fechamentos opacos segundo as normas de desempenho térmico brasileiras. **Ambiente Construído**, v. 17, n. 1, p. 183–200, mar. 2017.

MASOSO, O. T.; GROBLER, L. J. A new and innovative look at anti-insulation behaviour in building energy consumption. **Energy and Buildings**, v. 40, n. 10, p. 1889–1894, jan. 2008.

MELO, A. P. et al. **Is thermal insulation always benefical in hot climates?** Preceedings of BS2015: 14th Conference of International Building Performance Simulation Association. **Anais...** In: 14TH CONFERENCE OF INTERNATIONAL BUILDING PERFORMANCE SIMULATION ASSOCIATION. Hyderabad, India: 2015.

MELO, A. P.; LAMBERTS, R. **Análise da influência do desempenho térmico dos fechamentos opacos através do balanço térmico**. Anais do XII ENTAC. **Anais...** In: XII ENTAC - ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Fortaleza, CE: 2008a.

MELO, A. P.; LAMBERTS, R. Opaque envelope parameters versus energy consumption in commercial buildings in Brazil. **Journal of Building Performance Simulation**, v. 1, n. 4, p. 237–244, dez. 2008b.

RORIZ, M.; CHVATAL, K. M. S.; CAVALCANTI, F. S. **Sistemas construtivos de baixa resistência térmica podem proporcionar mais conforto**. In: Anais do X Encontro Nacional e VI Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído. Natal, 2009.

TEIXEIRA, C. A. et al. **Análise dos limites de transmitância e capacidade térmica da norma NBR 15575**. Anais do XIV ENCAC e X ELACAC. **Anais...** In: XIV ENCAC - ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO E X ELACAC - ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Balneário Camboriu, SC: 2017.