EFEITO DO AUMENTO DA TAXA DE RENOVAÇÃO DO AR NO DESEMPENHO TÉRMICO DE DORMITÓRIOS DE UM EDIFÍCIO VERTICAL MULTIFAMILIAR NATURALMENTE VENTILADO NA ZB 8

Keke Rosberg Guimarães da Silva (1); Alexandre Márcio Toledo (2)
(1) mestre em engenharia ambiental, engenheiro civil, doutorando PPGAU/UFAL, rosberg41@gmail.com,
(2) doutor em engenharia civil, arquiteto e urbanista, docente da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, alexandre.toledol@fau.ufal.br, Universidade Federal de Alagoas, Av. Lourival Melo Mota, s/n, Cidade Universitária, Maceió - AL, CEP 57072-900, (82) 99983-6248

RESUMO
O item da norma brasileira NBR 15575-1, que trata do desempenho térmico dos edifícios, não distingue os edifícios naturalmente ventilados dos climatizados. O objetivo é testar o efeito do aumento da taxa de renovação do ar no desempenho térmico de um edifício vertical multifamiliar da tipologia de 1 dormitório para a cidade de Maceió/AL, concebido com princípios bioclimáticos recomendados para a zona bioclimática 8. O método consistiu em simulações com o programa EnergyPlus, considerando 1, 5 e 10 renovações de ar por hora, nos dormitórios de 6 diferentes apartamentos da tipologia de 1 dormitório. Verificou-se que em todos os dormitórios o aumento da taxa de renovação do ar reduziu as temperaturas internas, nas horas subsequentes ao pico da temperatura externa e, aproximou as temperaturas internas das externas nos períodos da noite e madrugada. As temperaturas internas apresentaram comportamento melhor nos dormitórios 4 (L) e 1 (S/O) e pior nos dormitórios 2 (S/L) e 5 (N/L), seguido pelos dormitórios 3 (L) e 6 (N/O); o incremento da taxa de renovação do ar resultou satisfatório nos dormitórios de pior desempenho nas horas subsequentes ao pico da temperatura externa. Conclui-se que esse resultado contraria a norma brasileira ao considerar a orientação Oeste a priori como a de pior desempenho; o aumento da taxa de renovação de ar sempre melhorou o comportamento das temperaturas internas nos horários subsequentes ao pico da temperatura externa, e contribuem para o incremento da velocidade do ar e resfriamento noturno do edifício. Reforça-se a necessidade de revisão da norma brasileira para edifícios residenciais naturalmente ventilados.

Palavras-chave: desempenho térmico, taxa de renovação de ar, edifícios multifamiliares verticais.

ABSTRACT
The item of the Brazilian standard NBR 15575-1, which deals with the thermal performance of buildings, does not distinguish between naturally ventilated and air-conditioned buildings. The objective is to test the effect of increasing the rate of air renewal on the thermal performance of a multifamily vertical building of the typology of 1 bedroom for the city of Maceió / AL, designed with bioclimatic principles recommended for the bioclimatic zone 8. The method consisted of simulations with the EnergyPlus program, considering 1, 5 and 10 air changes per hour, in the dorms of 6 different 1-bedroom apartments. It was found that in all dormitories the increase in the rate of air renewal reduced the internal temperatures, in the hours following the peak of the external temperature, and brought the internal temperatures closer to the external ones during the night and early morning. Internal temperatures performed better in bedrooms 4 (L) and 1 (S / O) and worse in bedrooms 2 (S / L) and 5 (N / L), followed by bedrooms 3 (L) and 6 (N / O); the increase in the rate of air renewal was satisfactory in the dorms with the worst performance in the hours following the peak of the outside temperature. It is concluded that this result contradicts the Brazilian norm when considering the West orientation a priori as the one with the worst performance; the increase in the rate of air renewal has always improved the behavior of internal temperatures in the hours following the peak of external temperature, and contribute to the increase in air speed and night cooling of the building. The need to revise the Brazilian standard for naturally ventilated residential buildings is reinforced.

Keywords: thermal performance, air renewal rate, vertical multi-family buildings.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, está em vigor desde 2013 a NBR 15575 (ABNT, 2013), que dispõe sobre os requisitos mínimos de desempenho das edificações e dedica um tópico específico para o desempenho térmico. Essa norma estabelece três métodos para avaliação do desempenho térmico da edificação: método simplificado, simulação e medição. A simulação computacional é fortemente recomendada quando a composição da envoltória do edifício não satisfazer as condições previstas na norma. Nesse caso, nas zonas bioclimáticas que só apresentam desconforto térmico por calor, deve-se simular o ambiente que apresente as condições mais críticas, ou seja, situado no último andar do edifício e com orientação de aberturas para poente, para o dia típico de verão, podendo utilizar 5 renovações de ar por hora e mecanismos de proteção das aberturas, caso não atenda às condições desejadas com taxa de 1 renovação de ar por hora.

Desde sua primeira versão em 2008, a NBR 15575 vem recebendo contribuição de diversas pesquisas (LOURA et al., 2011; BRITO et al., 2012; SORGATO et. al., 2012; SORGATO et al., 2014; BRITO et al., 2017; BRITO et al., 2018) e mais recentemente os trabalhos de Krelling *et al*. (2020) e Veiga *et al.* (2020), que buscam o aprimoramento dos métodos para avaliação do desempenho. Nesse horizonte, uma nova proposta para análise do desempenho térmico de edificações residenciais esteve em consulta pública no período compreendido entre 17 de novembro e 16 de dezembro de 2020, sendo que sua publicação está prevista para o início de 2021.

Para Sorgato et al. (2014), o procedimento de simulação descrito na NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) não considera alguns parâmetros importantes que influenciam no desempenho térmico das edificações residenciais, como cargas térmicas internas, condições de contato com o solo e ventilação natural. O autor avaliando o caso específico da cidade de São Luís-MA, localizada na zona bioclimática 8, sugere que a alteração da taxa de renovação de ar de 1 para 5 trocas de ar por hora não melhora o desempenho térmico da edificação no dia típico de verão para o clima daquela localidade, uma vez que aumenta a taxa de renovação do ar nas horas que a temperatura externa é superior à temperatura do ambiente.

A proposta de Krelling et al. (2020), a qual foi incorporada à nova emenda da NBR 15575, tem como principais características: a consideração de simulações anuais; a adoção de cargas internas; a comparação da edificação real com uma referência e a análise com o uso da ventilação natural e com o condicionamento artificial. No cenário com ventilação natural são consideradas as aberturas das janelas de modo a proporcionar a ventilação e tomando como parâmetros a velocidade e a direção dos ventos presentes no arquivo climático, enquanto a outra condição desconsidera a ventilação natural, avaliando apenas o condicionamento ambiental, considerando um sistema ideal de adição ou remoção de cargas térmicas.

Para edifícios residenciais naturalmente ventilados, dois outros instrumentos regulatórios nacionais já apresentam recomendações para ventilação natural pela ação do vento: o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais - RTQ-R (ELETROBRAS/INMETRO, 2012; ELETROBRAS/PROCEL, 2014), considera a importância do sistema de aberturas e a importância do sistema de ventilação cruzada, e o Selo Azul da Caixa (CAIXA, 2010), considera a importância das variáveis velocidade e frequência predominantes dos ventos por estação/mês para a implantação das edificações, bem como a utilização de pilotis vazados, para favorecer a ventilação natural.

Nessa perspectiva, é importante destacar a inclusão da ventilação natural de maneira mais efetiva nos procedimentos de análise do desempenho térmico das edificações residenciais, uma vez que o procedimento de simulação térmica requerido na primeira versão da NBR 15575, considerava ambientes com renovações constantes de ar equivalentes a 1 ou 5 renovações por hora. Isso acabava por subestimar a estratégia de ventilação natural, sobretudo, por se tratar de edificações residenciais, em que devido a fatores culturais, econômicos e sociais, a maioria das residências no Brasil não dispõe de condicionamento artificial, sendo esse percentual em torno de 16% das unidades habitacionais (PROCEL, 2007).

Dessa forma, o usuário brasileiro tende a manter as aberturas da residência abertas, em períodos mais quentes, a fim de priorizar a ventilação natural, sobretudo, nas regiões do país onde a velocidade e frequência dos ventos são mais intensas. A primeira versão da NBR 15575 considera todas zonas bioclimáticas de maneira idêntica em relação ao parâmetro renovações de ar, visando sobretudo a qualidade do ar, no método da simulação, o que está muito distante da realidade concreta de uso dos edifícios, sobretudo na zona bioclimática 8, a qual apresenta maior presença no território brasileiro.

Para Torres *et al.* (2017), os edifícios multifamiliares são mais permeáveis ao ar, com maior taxa de renovação horária, maior taxa de infiltração e maior caudal de fugas de ar, uma vez que a circulação interna do ar dentro das frações ocorre de maneira diferente. Os autores destacam ainda que a taxa de renovação do ar apresenta correlação com a altura do edifício. Apesar de o estudo focar nos edifícios portugueses, com clima temperado, a situação de verão assemelha-se à situação de calor no Brasil.

2. OBJETIVO

O objetivo é testar o efeito do aumento da taxa de renovação do ar no desempenho térmico de um edifício vertical multifamiliar da tipologia de um dormitório para a cidade de Maceió/AL, concebido com princípios bioclimáticos recomendados para a zona bioclimática 8.

3. MÉTODO

O método consistiu em simulações com o programa EnergyPlus, considerando três diferentes taxas de renovações de ar por hora: 1, 5 e 10 R/h. Utilizou-se para o estudo um edifício em construção, na cidade de Maceió/AL (lat. 9° 39' 59" S e long. 35° 44' 6" O), zona bioclimática 8, que passou pelo processo de consultoria térmica na fase de projeto, a qual incluiu também avaliação de desempenho de ventilação natural pela ação do vento (TOLEDO; GAVAZZA, 2017). A análise envolveu todas as 6 unidades habitacionais, as quais apresentam diferentes orientações para as aberturas e paredes externas.

3.1. O edifício Mariella

O Edifício Mariella apresenta tipologia residencial multifamiliar (Uso Residencial 5), com 11 pavimentos tipo e último pavimento (12º) diferenciado, com subsolo, pilotis e pavimento garagem. Cada pavimento tipo conta com seis apartamentos da tipologia de um dormitório; e o último pavimento com um apartamento da tipologia de dois dormitórios e outro da tipologia de um dormitório; além da área de lazer comum, conforme plantas baixas (Figuras 1 e 2) e volumetria (Figura 3).

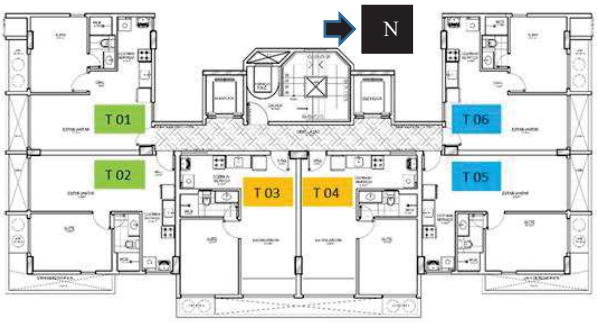


Figura 1 – Planta Baixa do Pavimento Tipo do Edifício



Figura 2 – Planta Baixa do Pavimento Cobertura do Edifício

As terminações 1 (orientação S/O) e 6 (orientação N/O), com apartamentos de 38,37 m^2, 2 (orientação S/L) e 5 (orientação N/L), com apartamentos de 39,30 m^2, e 3 e 4 (orientação L), com apartamentos de 38,47 m^2, são simétricas em relação ao eixo do pavimento tipo. No último pavimento, as terminações 1 e 2 se transformam em um apartamento da tipologia de dois dormitórios, com área de 77,67 m^2 (terminação 7). O apartamento da terminação 3 se mantém com área de 38,47 m^2.

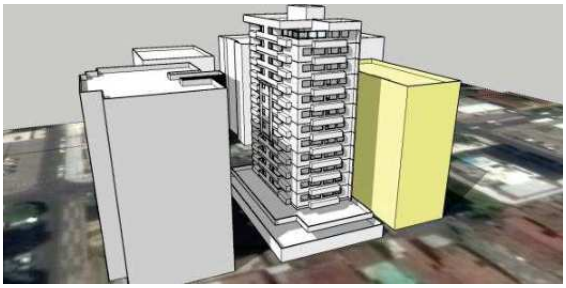


Figura 3 – Volumetria do Edifício Fachadas Leste e Norte

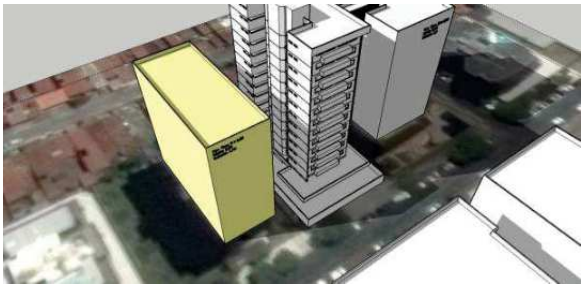


Figura 4 - Volumetria do Edifício Fachadas Oeste e Sul

3.2. O programa EnergyPlus

O EnergyPlus é um programa computacional para simulação de carga térmica e análise energética de edificações e seus sistemas, disponibilizado pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos. O programa apresenta possibilidades de simulação diferenciadas, tais como cálculo menor que uma hora, sistema modular, possibilidade

de cálculo de infiltração de ar diferenciada para cada zona térmica, cálculo de índices de conforto térmico e integração com outros sistemas passivos (MELO et al, 2009).

O programa EnergyPlus, apesar de ser recomendado pela NBR 15575 (ABNT, 2013) para as simulações de desempenho térmico, não é a melhor opção para modelagem de edifícios naturalmente ventilados.

3.3. O modelo de simulação e os dados de entrada

Inicialmente, criou-se o modelo geométrico tridimensional da edificação com o software SketchUP Make 2017, associado ao *Plugin* (extensão) Euclid 0.9.3 - o qual disponibiliza dentro do ambiente de criação menus com comandos exclusivos para criação de modelos para simulação térmica - representando as zonas térmicas, fechamentos, aberturas, proteções horizontais e verticais, entre outros elementos (Figura 5).

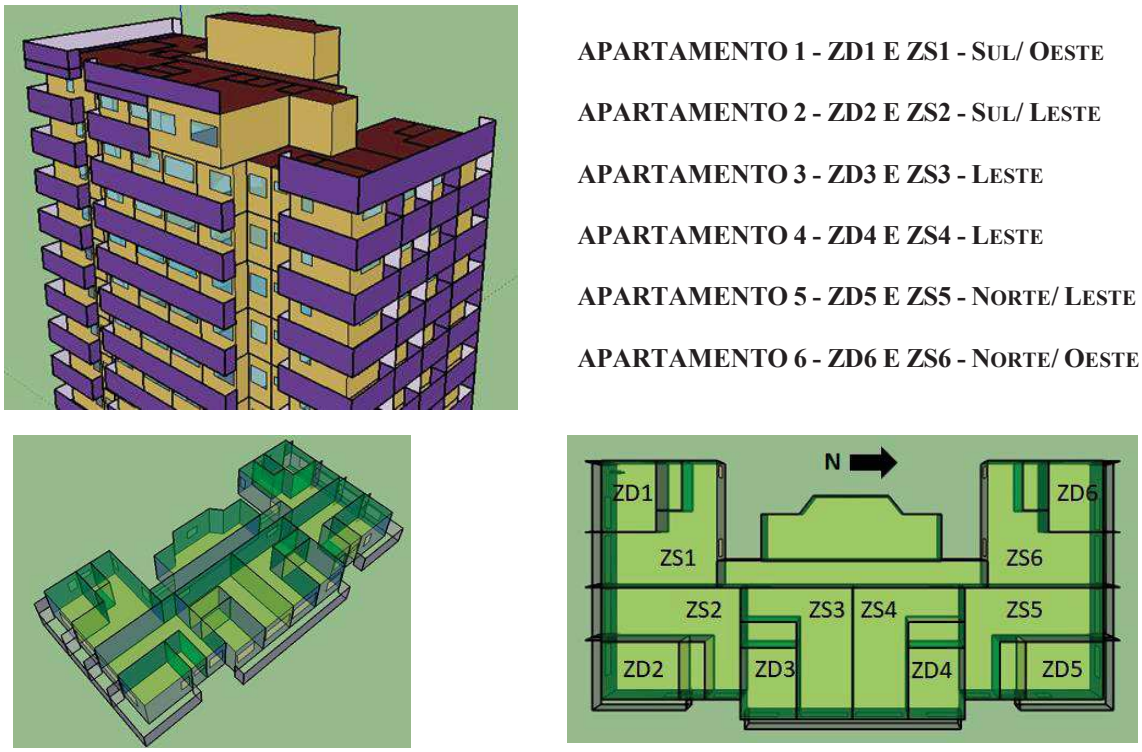


Figura 5 – Volumetria do Edifício e Zonas Térmicas

As informações do modelo foram codificadas para um arquivo de extensão (IDF), contendo as coordenadas de toda a geometria do modelo da edificação, bem como a orientação solar e os limites entre as zonas térmicas. Em seguida o arquivo foi carregado no módulo IDF Editor, do EnergyPlus, a fim de inserir os outros parâmetros necessários à simulação, dos quais destacam-se: dados georreferenciados da região, propriedades térmicas e físicas da envoltória e da cobertura; dia típico de projeto; período de simulação; taxa de infiltração de ar, definição dos dados de saída (*output*).

Selecionou-se o dia 08 de fevereiro de 1962 do arquivo climático TRY de Maceió/AL (CARLO; LAMBERTS, 2006), por apresentar as características mais aproximadas do dia típico de verão que a NBR 15575 (2013) estabelece para essa cidade (tabela 1).

Cidade Maceió/ AL	Temperatura máxima diária (°C)	Amplitude diária de temperatura (°C)	Radiação solar (Wh/m^2)	Temperatura de bulbo úmido (ºC)	Nebulosidade (décimos)
NBR 15575	32,2	8,2	5.138	24,60	6
EnergyPlus	32,28	8,9	782*	23,64	-

*parâmetro considerado diferentemente pelo EnergyPlus.

Tabela 1 – Dados climáticos da cidade de Maceió

O arquivo (IDF) resultante e o arquivo climático (EPW) da cidade de Maceió foram carregados no módulo EP-Launch do EnergyPlus, possibilitando o início do processo de simulação. Por fim, o módulo EP-Launch retornou um arquivo (CSV) contendo os resultados das simulações para as 3 taxas de renovações de ar, os quais foram tabulados para posterior geração de informações gráficas.

Os dados de saída selecionados para análise foram as temperaturas externas e internas horárias de cada zona térmica. Todos foram simulados no período de 24 horas do dia típico de verão escolhido (08/02/1962), cujo pico da temperatura externa se dá às 13 horas. O início da subida da temperatura externa se inicia às 6 horas da manhã e se mantém acima de 28 ºC das 9 às 17h.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

Neste artigo, discutem-se apenas os resultados de desempenho térmico dos dormitórios do 11º pavimento; analisam-se as salas em outro artigo. Os resultados demonstram que os dormitórios do 11º pavimento do edifício Mariella apresentam desempenhos térmicos bastante diferenciados. Verificou-se que em todos os dormitórios o aumento da taxa de renovação do ar reduziu as temperaturas internas, nas horas subsequentes ao pico da temperatura externa e, aproximou as temperaturas internas das externas nos períodos da noite e madrugada.

4.1 Dormitórios 1 e 2 - Fachada Sul

As simulações para o dormitório 1 (ZD1), com aberturas situadas nas fachadas Sul e Oeste, e para o dormitório 2 (ZD2), com aberturas situadas nas fachadas Sul e Leste, apresentaram comportamentos diferentes, para a taxa de 1 renovação de ar e semelhantes para as outras duas. O aumento das taxas de renovação de ar contribuiu para a redução da temperatura interna, após o horário de pico da temperatura externa, em todos os casos, e redução significativa nos períodos da noite e da madrugada.

Com taxa de 1 renovação de ar por hora, observa-se comportamentos diferentes das temperaturas internas: abaixo da temperatura de pico, no dormitório 1 e muito próxima, no dormitório 2; ambos os dormitórios apresentaram temperaturas internas mais altas que as externas após o horário de pico; sendo mais elevadas no dormitório 2 (Figuras 6 e 7).

Com taxa de 5 renovações de ar por hora, observa-se comportamento semelhante das temperaturas internas: em ambos os dormitórios promoveu redução da temperatura interna, após o horário de pico da temperatura externa; contudo, em algumas horas as temperaturas internas do dormitório 2 ainda excedem o pico da temperatura externa (Figuras 8 e 9).

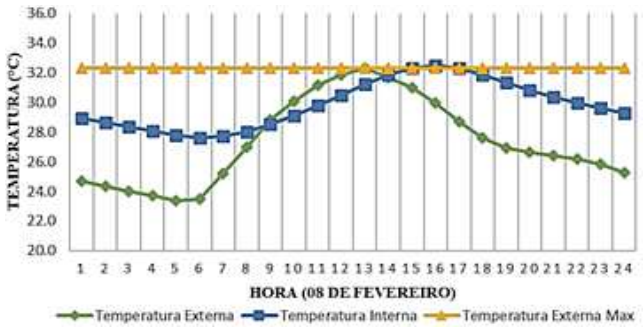


Figura 6 - Temperatura interna do dormitório 1 com 1 R/h



Figura 7 - Temperatura interna do dormitório 2 com 1 R/h

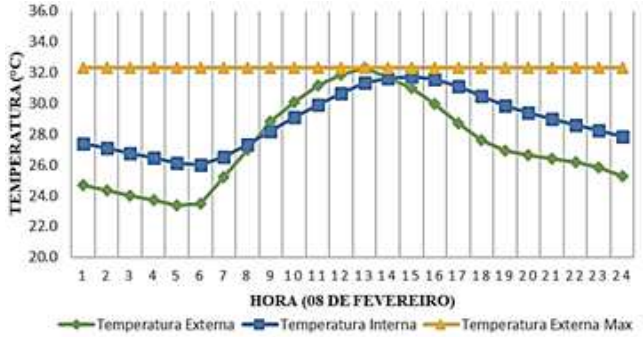


Figura 8 - Temperatura interna do dormitório 1 com 5 R/h

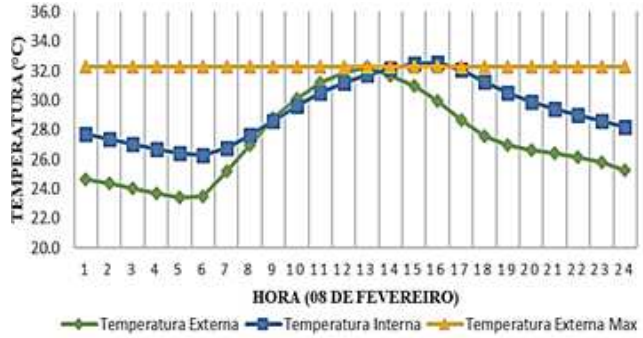


Figura 9 - Temperatura interna do dormitório 2 com 5 R/h

Com taxa de 10 renovações de ar por hora, observa-se o mesmo comportamento semelhante das temperaturas internas, verificado no caso anterior, porém resolvendo o caso das temperaturas internas do dormitório 2 superiores ao pico (Figuras 10 e 11).

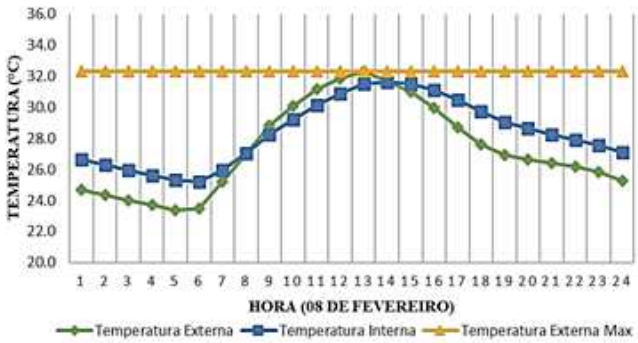


Figura 10 - Temperatura interna do dormitório 1 com 10 R/h

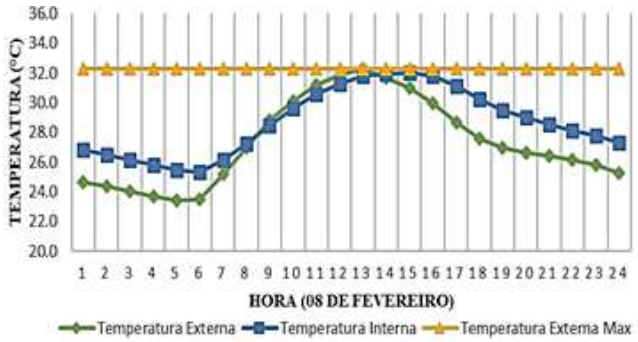


Figura 11 - Temperatura interna do dormitório 2 com 10 R/h

Com taxa de 1 renovação por hora, as temperaturas internas inferiores ao pico ocorrem, possivelmente, devido às temperaturas internas do início do período da manhã serem mais baixas (entre 26 e 28 ºC) nesses dois dormitórios – temperaturas mais próximas da zona de conforto térmico para verão. O aumento das temperaturas internas após o horário de pico no dormitório 2 deve decorrer do atraso térmico do ganho de calor pela janela de orientação Leste. Destaca-se que com o edifício nessas condições, com as aberturas praticamente fechadas, as temperaturas internas nunca alcançam as mínimas das temperaturas externas (23 a 25 ºC), registradas nos períodos da noite e da madrugada.

Com taxa de 5 renovações por hora, a diminuição da diferença entre temperaturas internas e externas ocorre, possivelmente, devido à maior contribuição da taxa de renovação de ar no resfriamento estrutural do edifício, aproximando as temperaturas internas das externas, sobretudo nos períodos da noite e da madrugada.

Com taxa de 10 renovações de ar por hora, verifica-se maior contribuição da taxa de renovação de ar no resfriamento estrutural do edifício, aproximando a temperatura interna da externa, sobretudo após o horário de pico e no período da noite e da madrugada.

4.2 Dormitórios 3 e 4 - Fachada Leste

As simulações para os dormitórios 3 (ZD3) e 4 (ZD4) com aberturas situadas na fachada Leste, cujos apartamentos 3 e 4 com paredes das salas também na fachada Leste, banheiros internos e cozinhas e serviços situados na circulação comum, protegidos pela escada e elevadores, apresentaram comportamentos semelhantes para todas as 3 taxas de renovação de ar simuladas. O aumento da taxa de renovação de ar contribuiu para a redução da temperatura interna, logo após o horário de pico da temperatura externa (13h), em todos os casos e, para redução da diferença entre ambas, nos períodos da noite e da madrugada.

Com taxa de 1 renovação de ar por hora, observa-se comportamentos diferentes das temperaturas internas: igual à temperatura de pico da temperatura externa (13h) no dormitório 3 e ligeiramente abaixo dela no dormitório 4; permanecendo elevadas logo após o decréscimo do horário de pico e sempre muito acima das temperaturas externas (entre 2 a 5 ºC, no dormitório 3), após esse horário e durante toda a madrugada (Figuras 12 e 13).

Com taxa de 5 renovações de ar por hora, observa-se comportamento semelhante das temperaturas internas: com decréscimo das temperaturas internas logo após o horário de pico, em relação à taxa de 1 renovação de ar por hora, sobretudo no dormitório 3; e as diferenças entre as temperaturas internas e externas nos demais horários é significativamente menor que no caso anterior (Figuras 14 e 15).

Com taxa de 10 renovações de ar por hora, observa-se o mesmo comportamento semelhante das temperaturas internas, observados no caso anterior. O dormitório 3 não apresenta mais temperaturas internas superiores à temperatura externa do horário de pico. As temperaturas internas se aproximaram ainda mais das temperaturas externas, logo após o horário de pico e nos períodos da noite e da madrugada (Figuras 16 e 17).

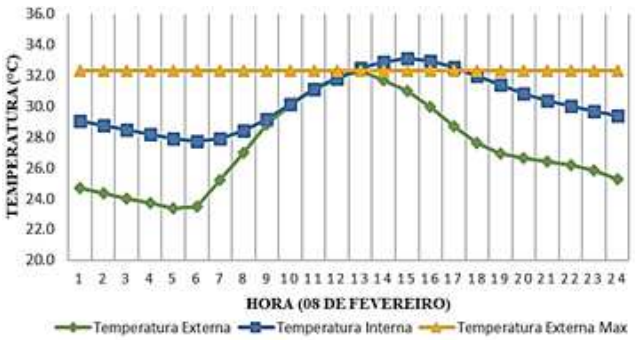


Figura 12 - Temperatura interna do dormitório 3 com 1 R/h

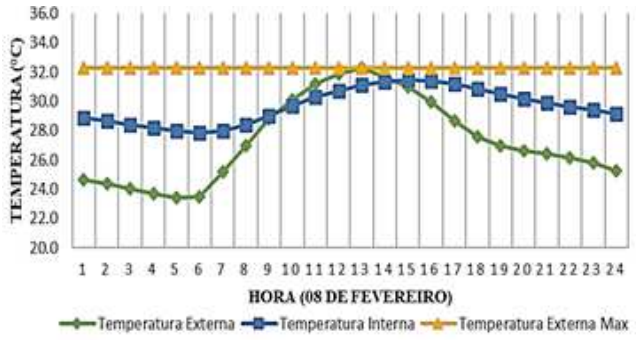


Figura 13 - Temperatura interna do dormitório 4 com 1 R/h



Figura 14 - Temperatura interna do dormitório 3 com 5 R/h



Figura 15 - Temperatura interna do dormitório 4 com 5 R/h

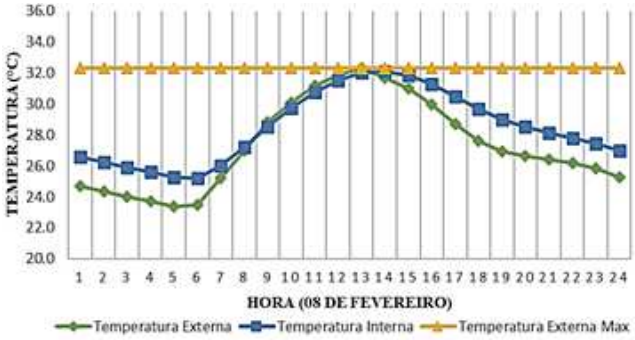


Figura 16 - Temperatura interna do dormitório 3 com 10 R/h

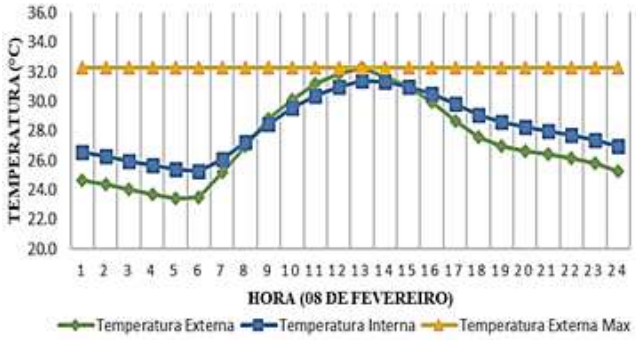


Figura 17 - Temperatura interna do dormitório 4 com 10 R/h

Com taxa de 1 renovação de ar por hora, as temperaturas internas elevadas no horário de pico ocorrem, possivelmente, devido às temperaturas internas do período da noite e madrugada serem mais altas nesses dois dormitórios (entre 29 e 28 ºC), devido à baixa renovação do ar, impedindo o resfriamento noturno, já que as temperaturas externas se apresentam sempre bem mais baixas nesses dois períodos.

Com taxas de 5 e 10 renovações de ar por hora, reduziram-se sensivelmente as temperaturas internas, após o horário de pico da temperatura externa (13h) e aproximou as temperaturas externas das internas nos períodos da noite e madrugada. O aumento da taxa de renovação de ar contribuiu para a redução da carga térmica de resfriamento após o horário de pico da temperatura externa e, o resfriamento noturno possibilitou melhores condições de conforto térmico nos períodos da noite e madrugada.

Observa-se que, para climatização artificial, o incremento da taxa de renovação de ar não é a melhor opção para o horário de pico da temperatura externa; porém, para os períodos anteriores e posteriores desse horário, aproximou mais as temperaturas internas das externas, melhorando ainda mais as condições de conforto térmico dos usuários, sobretudo pelo aumento da velocidade do ar no interior desses ambientes e pelo resfriamento noturno.

4.3 Dormitórios 5 e 6 - Fachada Norte

As simulações para o dormitório 5 (ZD5), com aberturas situadas nas fachadas Norte e Leste, e para o dormitório 6 (ZD6), com aberturas situadas nas fachadas Norte e Oeste, simétricos aos apartamentos 1 e 2, apresentaram comportamentos bem semelhantes, para todas as 3 taxas de renovação de ar simuladas. O aumento da taxa de renovação de ar não contribuiu para a redução da temperatura interna, no horário de pico da temperatura externa, porém reduziu significativamente nos horários posteriores ao pico e, sobretudo nos período da noite e da madrugada.

Com taxa de 1 renovação de ar por hora, observam-se comportamentos semelhantes da temperatura interna, nas proximidades do horário de pico (13h) da temperatura externa. Em ambos os dormitórios, as temperaturas internas excedem o pico da temperatura externa nos horários subsequentes, sendo mais acentuado no dormitório 5 (Figuras 18 e 19).

Com taxa de 5 renovações de ar, observam-se os mesmos comportamentos semelhantes das temperaturas internas, nos horários subsequentes ao horário de pico. Em ambos os dormitórios verificam-se redução das temperaturas internas com o aumento da taxa de renovação de ar e, as temperaturas internas tendem a se aproximar das temperaturas externas, sobretudo no período da noite e madrugada (Figuras 20 e 21).

Com taxa de 10 renovações de ar por hora, observam-se os mesmos comportamentos semelhantes da temperatura interna, da situação anterior. Em nenhuma hora as temperaturas internas foram superiores ao pico da temperatura externa; e as temperaturas internas e externas se aproximaram ainda mais nos períodos da noite e da madrugada, nos dois dormitórios (Figuras 22 e 23).

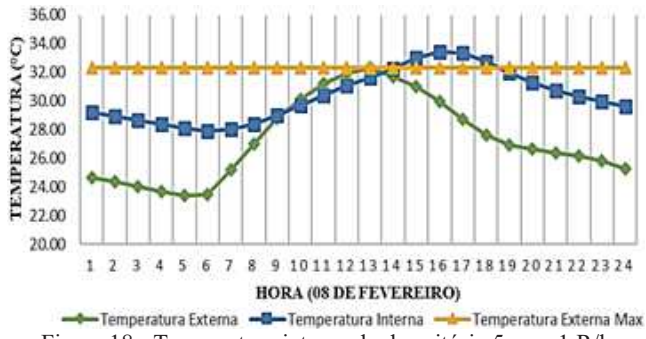


Figura 18 - Temperatura interna do dormitório 5 com 1 R/h

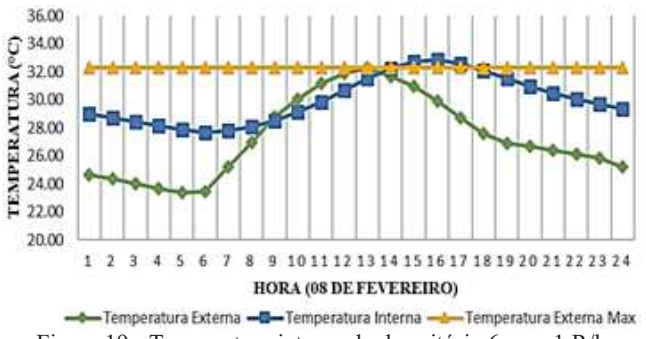


Figura 19 - Temperatura interna do dormitório 6 com 1 R/h

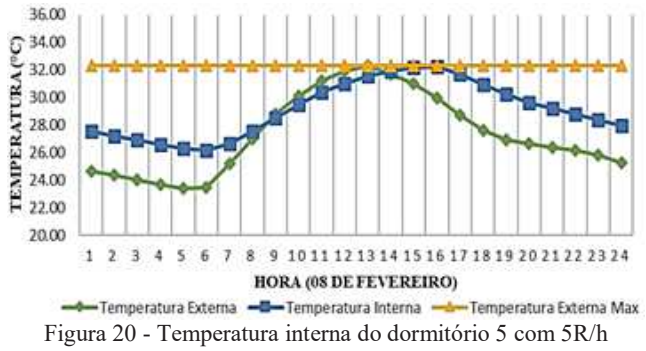


Figura 20 - Temperatura interna do dormitório 5 com 5R/h

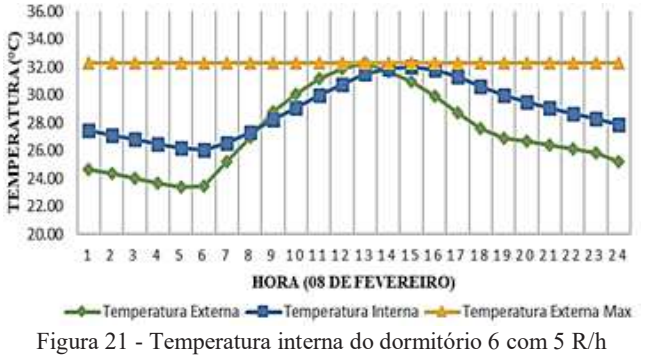


Figura 21 - Temperatura interna do dormitório 6 com 5 R/h

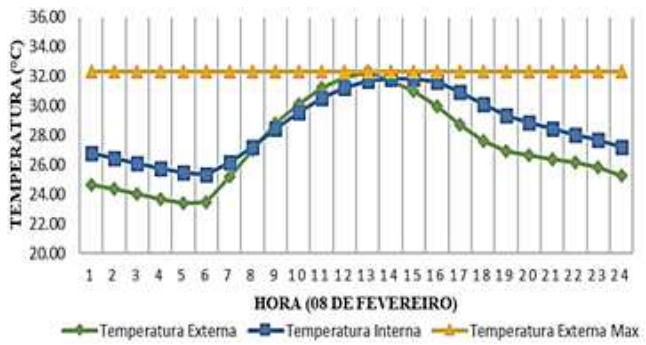


Figura 22 - Temperatura interna do dormitório 5 com 10 R/h

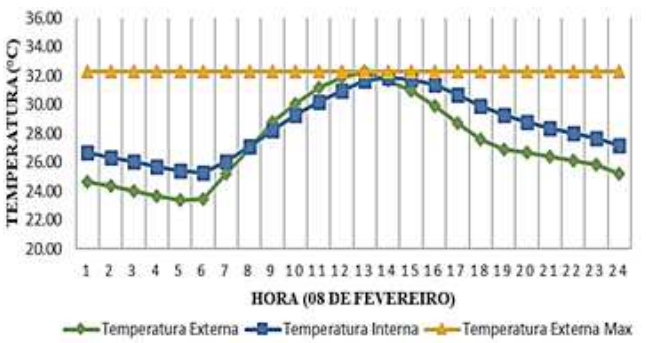


Figura 23 - Temperatura interna do dormitório 6 com 10 R/h

A pequena diferença no comportamento das temperaturas internas entre os dois dormitórios, nas horas subsequentes ao horário de pico da temperatura externa, para taxa de 1 renovação de ar por hora, ocorre, possivelmente, pela contribuição da insolação da manhã pela janela do apartamento 5, orientada a Leste.

Observa-se que o incremento das taxas de renovação de ar contribuíram para a redução das temperaturas internas nos dois dormitórios, nos horários subsequentes ao pico da temperatura externa, em desacordo ao constatado por Sorgato et al. (2014), para São Luís/MA; e, contribuiu para reduzir a diferença entre elas nos períodos da noite e na madrugada.

Os resultados comprovam a importância da maior taxa de renovação de ar nos edifícios residenciais verticais naturalmente ventilados, na zona bioclimática 8, permitindo que as temperaturas internas fiquem dentro da zona de conforto para a cidade de Maceió/AL ou as zonas nas quais a ventilação natural (2) é a principal estratégia recomendada para reduzir o desconforto por calor, associada às estratégias alta inércia térmica para resfriamento (4) e ventilação e alta inércia (10), no verão e no dia típico de projeto (Figuras 24 e 25).

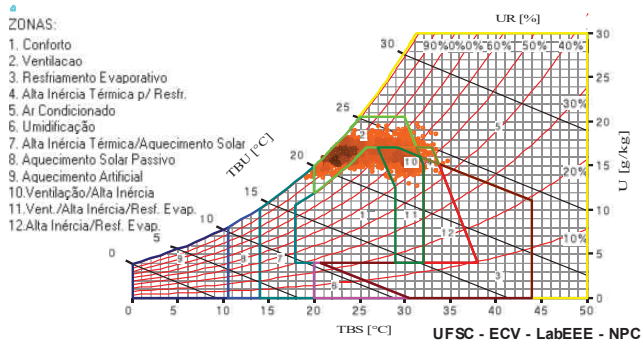


Figura 24 – Carta bioclimática de verão para Maceió

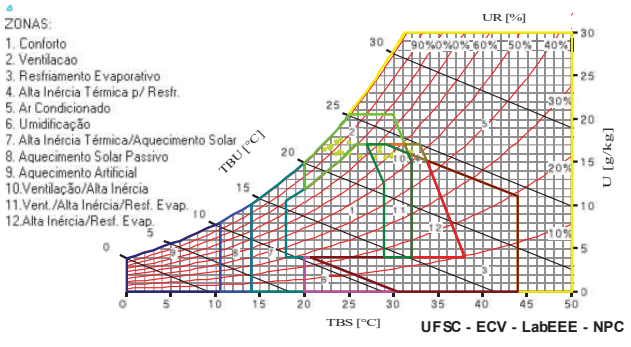


Figura 25 – Carta bioclimática dia típico de verão para Maceió

Fonte: Programa Analysis Bio (LabEEE)

Observa-se que a maior parte das horas do dia típico de projeto se encontram na zona de altas umidades (2), para a qual a ventilação natural é a estratégia mais recomendada, pela dificuldade de adoção de processos de desumidificação natural; seguida pelas zona de ventilação e alta inércia (10) e alta inércia térmica para resfriamento. Ou seja, ouso do ar condicionado ar não é recomendado para nenhuma hora do dia típico de verão.

5. Conclusões

Neste artigo, testou-se, por meio de simulação computacional com o programa EnergyPlus, o efeito do aumento da taxa de renovação do ar, de 1, 5 e 10 renovações, no desempenho térmico de um edifício vertical multifamiliar da tipologia de um dormitório para a cidade de Maceió/AL, concebido com princípios bioclimáticos recomendados para a zona bioclimática 8.

Verificou-se que nos dormitórios orientados a Sul, o aumento da taxa de renovação do ar reduziu as temperaturas internas, nas horas subsequentes ao pico da temperatura externa e, aproximou as temperaturas internas das externas nos períodos da noite e madrugada; nos dormitórios orientados a Leste, o incremento da taxa de renovação do ar reduziu significativamente as temperatura internas, após o pico da temperatura externa; nos dormitórios orientados a Norte, o aumento da taxa de renovação do ar produziu o mesmo efeito dos demais dormitórios.

Observou-se que com taxa de 1 renovação de ar por hora, a temperatura interna apresentou comportamento melhor nos dormitórios 4 (L) e 1 (S/O) e pior nos dormitórios 2 (S/L) e 5 (N/L), seguido pelos dormitórios 3 (L) e 6 (N/O); o incremento da taxa de renovação do ar resultou satisfatório nos dormitórios de pior desempenho nas horas subsequentes ao pico da temperatura externa. Esse resultado contraria a norma brasileira ao considerar apenas a orientação Oeste a de pior desempenho para simulações com 1 taxa de renovação de ar por hora.

Conclui-se que o aumento da taxa de renovação de ar sempre melhora o comportamento das temperaturas internas nos horários subsequentes ao pico da temperatura externa; e reduz a diferença entre as temperaturas internas e externas, nos horários da noite e da madrugada, permitindo melhores condições de conforto térmico pela maior velocidade do ar nos dormitórios, proporcionando o resfriamento estrutural do edifício, mediante o resfriamento natural noturno.

Reforça-se a necessidade de revisão da norma brasileira, quanto à forma de considerar as diferenças entre os edifícios naturalmente ventilados e a estratégia de ventilação natural para a zona bioclimática 8 dos edifícios climatizados.

Referências Bibliográficas

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1 - Edificações habitacionais** - Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

BRITO, A. C. de; AKUTSU, M.; VITTORINO, F.; AQUILINO, M. M. Contribuições para o aprimoramento da NBR 15.575 referente ao método simplificado de avaliação de desempenho térmico de edifícios. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 14., 2012, Juiz de Fora - MG. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2012.

BRITO, A. C. de; SALLES, E. M.; VITTORINO, F.; AQUILINO, M. de M.; AKUTSU, M. Avaliação de desempenho térmico de habitações segundo a Norma ABNT NBR 15575: proposta para aprimoramento do método detalhado. **Revista IPT: Tecnologia e Inovação**, v. 1, n. 6, 2017.

BRITO, Adriana Camargo de; PIRES, Henrique Lima; AKUTSU, Maria. Contribuições para o aprimoramento do método simplificado de avaliação do desempenho térmico de coberturas previsto na norma NBR 15575. **Revista IPT: Tecnologia e Inovação**, v. 2, n. 9, 2018.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL - CAIXA. **Boas práticas para habitação mais sustentável**. Coord. Vanderley Moacyr John; Racineu Tadeu Araújo Prado. São Paulo: Páginas & Letras, 2010.

CARLO, J. C.; LAMBERTS, R. Processamento de arquivos climáticos para simulação do desempenho energético de edificações. **Relatório**. Florianópolis: LabEEE/UFSC, 2006.

ELETROBRAS/INMETRO. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais** - RTQ-R, 2012.

ELETROBRAS-Centrais Elétricas Brasileiras. Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso: ano-base 2005, classe residencial. **Relatório Brasil**. Rio de Janeiro: ELETROBRAS/PROCEL, 2007.

ELETROBRAS/PROCEL. **Manual para aplicação do RTQ-R**, 2014.

LOURA, Rejage Magiag; ASSIS, Eleonora Sad de; BASTOS, Leopoldo Eurico Gonçalves. Análise comparativa entre resultados de desempenho térmico de envoltórias de edifício residencial gerados por diferentes normas brasileiras. In: ENCONTRO NACIONAL (E LATINO-AMERICANO) DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 13. / 7. 2011, Búzios. **Anais**… Rio de Janeiro: UFRJ, 2011.

MELO, Ana Paula; WESTPHAL, Fernando Simon; Matos, MICHELE. **Apostila do curso básico do programa EnergyPlus**. Florianópolis: LabEEE/UFSC, 2009.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR/ INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA-INMETRO. **Portaria n.º 18, de 16 de janeiro de 2012.**

SORGATO, Marcio José; LAMBERTS, Roberto. Análise de sensibilidade dos parâmetros utilizados para a simulação computacional de ventilação natural, no desempenho térmico de uma edificação residencial unifamiliar. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 14., 2012, Juiz de Fora - MG. **Anais**… São Paulo: ANTAC, 2012.

SORGATO, Marcio José; MELO, Ana Paula; MARINOSKI, Deivis Luís; LAMBERTS, Roberto. Análise do procedimento de simulação da NBR 15575 para avaliação do desempenho térmico de edificações residenciais. **Ambiente Construído**, v. 14, n. 4, p. 83-101, 2014.

TORRES, Isabel; SALEHI, Atefeh; RAMOS, Ana. Relação entre a taxa de renovação de ar e as características da construção portuguesa. **Gestão e Gerenciamento**, v. 1, n. 8, p. 36-44, 2018.

TOLEDO, Alexandre; GAVAZZA, Luciana. Contribuição da consultoria ambiental na fase de projeto: aperfeiçoamento do sistema de aberturas para ventilação natural pela ação do vento em apartamentos. In: ENCONTRO NACIONAL (E LATINO-AMERICANO) DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16. / 10., 2017, Balneário Camboriú. **Anais**… São Paulo: ANTAC, 2017.

AGRADECIMENTOS

À Construtora Toledo Cabral por disponibilizar o material gráfico do edifício Mariella para as simulações computacionais.