POTENCIAL DE APROVEITAMENTO DA VENTILAÇÃO NATURAL NA CLASSIFICAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UMA EDIFICAÇÃO DE ESCRITÓRIOS: APLICAÇÃO DA FERRAMENTA *NATURAL COMFORT*

Gabrielli Posca Doria (1); Emeli Lalesca Aparecida da Guarda (2); Larissa Pereira de Souza (3), Renata De Vecchi (4); Greici Ramos (4); Ana Paula Melo (4), Michele Fossati (4), Roberto Lamberts (5)

(1) Graduanda em Arquitetura e Urbanismo, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE), Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), gabriellidoria@gmail.com;
(2) Mestre, Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo (POSARQ), Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC);
(3) Mestre em Arquitetura e Urbanismo, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE), Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC);
(4) Doutora em Engenharia Civil, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE), Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC);
(5) PhD em Engenharia Civil, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE), Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

RESUMO

O constante crescimento no uso da climatização artificial nos edifícios de escritórios tem sinalizado a importância de se incorporarem opções passivas em conjunto com tais sistemas, tais como o uso da ventilação natural, buscando assim reduzir o consumo energético. O objetivo deste artigo é avaliar o potencial da incorporação da ventilação natural e de parâmetros de interferência na classificação de eficiência energética de uma edificação de escritórios, localizada em Manaus-AM, utilizando como base a interface da ferramenta *Natural Comfort* incluída na Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C). Os procedimentos metodológicos consistem em: i) levantamento dos dados da edificação para o uso das interfaces; ii) obtenção da fração de horas de desconforto por calor em relação às horas de ocupação; iii) obtenção da carga térmica total anual da envoltória; e, iv) classificação de eficiência energética. Os resultados obtidos indicaram que as janelas do tipo basculante, em conjunto com a utilização de ventiladores de teto, representaram as maiores reduções na quantidade de horas de desconforto térmico quando comparadas com as janelas de correr e os espaços sem ventiladores de teto. Além disso, o aproveitamento da ventilação natural, no caso com a melhor combinação de parâmetros, foi capaz de modificar a classificação da envoltória analisada de B para A, apresentando percentual de redução de carga térmica anual máximo de 32% em relação à condição de referência, equivalente à classificação D de eficiência energética.

Palavras-chave: Escritórios, Carga Térmica de Resfriamento, Metamodelo, INI-C.

ABSTRACT

The constant growth of air conditioning use in office buildings highlight the importance of passive design options incorporation such as natural ventilation, to thus save energy. This paper aim is to evaluate the potential of the natural ventilation use together with other parameters that impacts on the energy efficiency classification of an office building located in Manaus-AM; to do so, the Natural Comfort tool included in the Inmetro Normative Instruction for the Energy Efficiency Classification of Commercial, and Public Service Buildings (INI-C) will be used. The methodological procedures are: i) building's data collection as inputs values for the interfaces use; ii) definition of the hot discomfort hour fraction due to occupation; iii) total annual envelope thermal load calculation; and iv) energy efficiency classification. The results indicated that tilting windows combined with the ceiling fans use represented the higher reductions related to the numbers of thermal discomfort hours when compared to the same condition without ceiling fans use. Also, the natural ventilation use considering the best parameters combination modified the energy efficiency classification from B to A, with 30% of the annual thermal load reduction compared to the reference condition, equivalent to the D level.

Keywords: Offices, Thermal Cooling Load, Metamodel.

1. INTRODUÇÃO

O constante crescimento da utilização de sistemas de ventilação mecânica a partir da segunda metade do século XX, em escala mundial, alterou a forma congênita da arquitetura vernacular. De encontro à busca pela maximização do uso da ventilação natural ao longo da história, o expressivo emprego do sistema de condicionamento de ar ocasionou mudança significativa nos padrões dos edifícios no que concerne às técnicas de resfriamento (CHANG, 2016; CHANG; WINTER, 2015).

Em relação à tipologia de edificações comerciais, é evidente o declínio do emprego da ventilação natural (VN), que rapidamente cedeu espaço à ampla utilização de sistemas de ventilação mecânica. Neste contexto, observa-se a sua alta representatividade perante o consumo nacional de energia elétrica no Brasil, o qual em 2019 foi de 19,1%, representando, aproximadamente, um quinto do consumo energético do país (EPE, 2020). A ampla adoção de tais sistemas artificiais, de modo geral, pode ser justificada como resultado da concepção do conceito do projeto e da percepção inicial do projetista ao julgar que esta consiste em um recurso mais confiável para promover o conforto térmico em razão do controle manual.

No entanto, estudos que analisaram a percepção de ocupantes em edifícios comerciais que operam com o uso da ventilação natural indicam que esta estratégia pode resultar em espaços bastante confortáveis, sob intervalos de temperatura que podem variar de 14 °C a 32 °C, a depender da condição climática externa (CÂNDIDO et al., 2011; XAVIER, 2000; ARAUJO, 1996). Tal abordagem tem sido considerada como uma das estratégias passivas de projeto mais adequadas para a obtenção de conforto térmico e economia de energia (CHEN; HONGXING; LI, 2015; OROPEZA-PEREZ; OSTERGAARD 2014; SORGATO et al., 2016; CHEN et al., 2017).

Diante disso, a compreensão da variabilidade climática da região de implantação do edifício tem caráter fundamental no que diz a respeito ao desempenho energético e de conforto térmico da edificação, uma vez que a fase de concepção do projeto é determinante para a inclusão das estratégias voltadas ao uso da ventilação natural. No contexto residencial brasileiro, existem normativas que apresentam requisitos para as aberturas, a exemplo da NBR 15.220 e a nova versão da NBR 15.575.

A NBR 15.220 (2005) apresenta requisitos para o tamanho de aberturas e estratégias passivas de projeto para implementação da ventilação natural, como a ventilação cruzada ou seletiva, conforme as Zonas Bioclimáticas (ZB). A NBR 15.575 (2021), por sua vez, traz como requisito as aberturas para ventilação nas áreas de permanência prolongada, e define a área mínima das aberturas considerando a área de piso de acordo com as zonas bioclimáticas. Para as edificações comerciais, pode-se citar a INI-C - aprovada por meio da Portaria nº 42 de fevereiro de 2021, e publicada pelo Ministério da Economia e Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – Inmetro (BRASIL, 2021). Esta Instrução Normativa especifica os critérios e métodos para a classificação de eficiência energética das edificações comerciais, de serviços e públicas, trazendo como uma das inovações nessa nova versão a incorporação de um método simplificado para a avaliação do efeito da ventilação natural por meio da redução na carga térmica de refrigeração da envoltória.

O método simplificado da INI-C que considera a ventilação natural foi desenvolvido com base em um metamodelo de avaliação intitulado *Natural Comfort*, que permite obter resultados próximos aos obtidos nas simulações computacionais por meio de modelos simplificados, ou menos complexos, com potencial de avaliar rapidamente o desempenho de edifícios de maneira eficiente e confiável (ROSSI et al., 2019; WESTERMANN; EVIS, 2019; OSTERGARD; JENSEN; MAAGAARD, 2018; MARTINEZ; CHOI, 2018). O *Natural Comfort* foi desenvolvido por Rackes et al. (2016) com o objetivo de estimar a fração de horas de desconforto por calor (FH_{desc}) ao longo de um ano, e pode ser aplicado nas tipologias comerciais de escritório e escolares. O método restringe-se às geometrias quadradas ou retangulares, que funcionam de acordo com os horários de ocupação pré-definidos pelas tabelas de referência da INI-C para as tipologias citadas, e que apresentem espaços internos com divisões e áreas quadradas similares. Todas as áreas de permanência prolongada devem possuir aberturas para ventilação.

2. OBJETIVO

O objetivo desse artigo é avaliar o potencial de uso da ventilação natural e de parâmetros de interferência na classificação de eficiência energética de uma edificação de escritórios localizada na cidade de Manaus - AM, utilizando a ferramenta *Natural Comfort* da nova Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C).

3. MÉTODO

Para atingir-se o objetivo proposto, e levando em consideração que a edificação objeto de estudo possui janelas operáveis que permitem o aproveitamento da ventilação natural, o método simplificado para edificações ventiladas naturalmente (Anexo B.I, subitem B.I.2.3) da INI-C (BRASIL, 2021) foi aplicado considerando-se o clima da cidade de Manaus – AM. Segundo a classificação da ASHRAE 169 (2020), este é classificado como extremamente quente e úmido (0A) e, conforme o Anexo G da INI-C, situa-se no grupo climático 18 (coordenadas geográficas - latitude 03°08'07" S; longitude 60°01'34" W; e, altitude de 92 m).

De forma complementar, outros parâmetros que influenciam diretamente nos valores da fração de horas de desconforto por calor em relação às horas de ocupação (FH_{desc} – índice de avaliação usado pela INI-C) ao longo de um ano, foram alterados para verificar qual a sensibilidade nos resultados apresentados, bem como a melhor combinação visando a redução da carga térmica de refrigeração. Tais parâmetros consistem no fator de abertura relacionado ao tipo de janela - basculante ou de correr - e no incremento da velocidade do ar por meio da utilização de ventiladores de teto.

O método aplicado neste trabalho consiste nas seguintes etapas: i) definição do objeto base na sua condição real e de referência, bem como levantamento dos respectivos parâmetros de entrada; ii) obtenção da carga térmica de refrigeração anual (CgTR) para condição real; iii) obtenção da (FH_{desc}) da edificação real; e, iv) determinação da carga térmica total anual (CgTT) da envoltória para a condição real e de referência (CgTT), para assim classificar a eficiência energética, conforme apresentado no fluxograma da Figura 1.



Figura 1 – Fluxograma do processo de avaliação adotado

A carga térmica total anual da envoltória da edificação real ($CgTT_{real}$) foi determinada para todos os casos estudados (caso base – sem VN, e casos 1, 2, 3 e 4, conforme detalhado do item 3.3) por meio da Equação 1. Para a condição de referência, a carga térmica total ($CgTT_{ref}$) é fixa e equivalente à carga térmica de refrigeração anual da edificação em sua condição de referência ($CgTR_{ref} = CgTT_{ref}$).

$$CgTT_{real} = CgTR_{real}. FH_{desc} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:
$CgTT_{real}$ é a carga térmica total anual da edificação real (kWh/ano)
$CgTR_{real}$ é a carga térmica de refrigeração anual da edificação real (em kWh/ano)
FH_{desc} é a fração de horas de desconforto por calor em relação às horas de ocupação.

Para verificar o impacto da ventilação natural na carga térmica total anual da edificação analisada, bem como dos parâmetros de influência citados, determinou-se o percentual de redução da carga térmica total anual da envoltória. Este percentual baseia-se na comparação entre a carga térmica total anual da edificação real ($CgTT_{real}$) com a sua condição de referência ($CgTT_{ref}$), conforme Equação 2. Tal procedimento foi repetido para todos os casos analisados.

$$RedCgTT = ((CgTT_{ref} - CgTT_{real})/CgTT_{ref}).100 \quad \text{Equação 2}$$

Onde:
RedCgTT é o percentual de redução da carga térmica total anual da envoltória (%);
$CgTT_{ref}$ é a carga térmica total anual da envoltória da edificação na sua condição de referência (kWh/ano);
$CgTT_{real}$ é a carga térmica total anual da envoltória da edificação real (kWh/ano).

A escala para a classificação de eficiência energética da edificação é determinada com base no valor de "i", que representa o intervalo entre as classes de A a D. O "i" deve ser calculado com base na carga térmica total anual da edificação em sua condição de referência, e no coeficiente de redução da carga térmica total anual da classificação "D" para a "A" ($CRCgTT_{D-A}$), obtido a partir do fator de forma (FF) da edificação e grupo climático (GC) em que esta se localiza (ver equação 3). A edificação avaliada de GC 18 possui fator de forma equivalente a 0,34 e, portanto, de acordo com a Tabela 8.11 da INI-C, o $CRCgTT_{D-A}$ é de 0,14.

$$i = \frac{(CgTT_{ref}.CRCgTT_{D-A})}{3} \qquad \text{Equação 3}$$

Onde:
i é o coeficiente que representa os intervalos entre as classes;
$CgTT_{ref}$ é a carga térmica total da edificação em sua condição de referência (kWh/ano);
$CRCgTT_{D-A}$ é o coeficiente de redução da carga térmica total anual da classificação D para a A.

3.1. Objeto de estudo

Adotou-se como objeto de estudo um edifício de escritório na sua condição real, intitulada "caso base", composto por cinco pavimentos tipo, com dimensões de 15 m x 15 m. Cada pavimento dispõe de ambientes como Salas de Reuniões (23,28 m²), Escritório A (46,56 m²), Escritório B (46,80 m²) e as áreas de serviços e acessos (91,72 m²), representados na Figura 2. O valor do pé-direito da edificação é de 2,80 m em todos os pavimentos, e a fachada principal do edifício está orientada para Norte. O caso base foi analisado inicialmente sem considerar o aproveitamento da ventilação natural.

(A) (B)

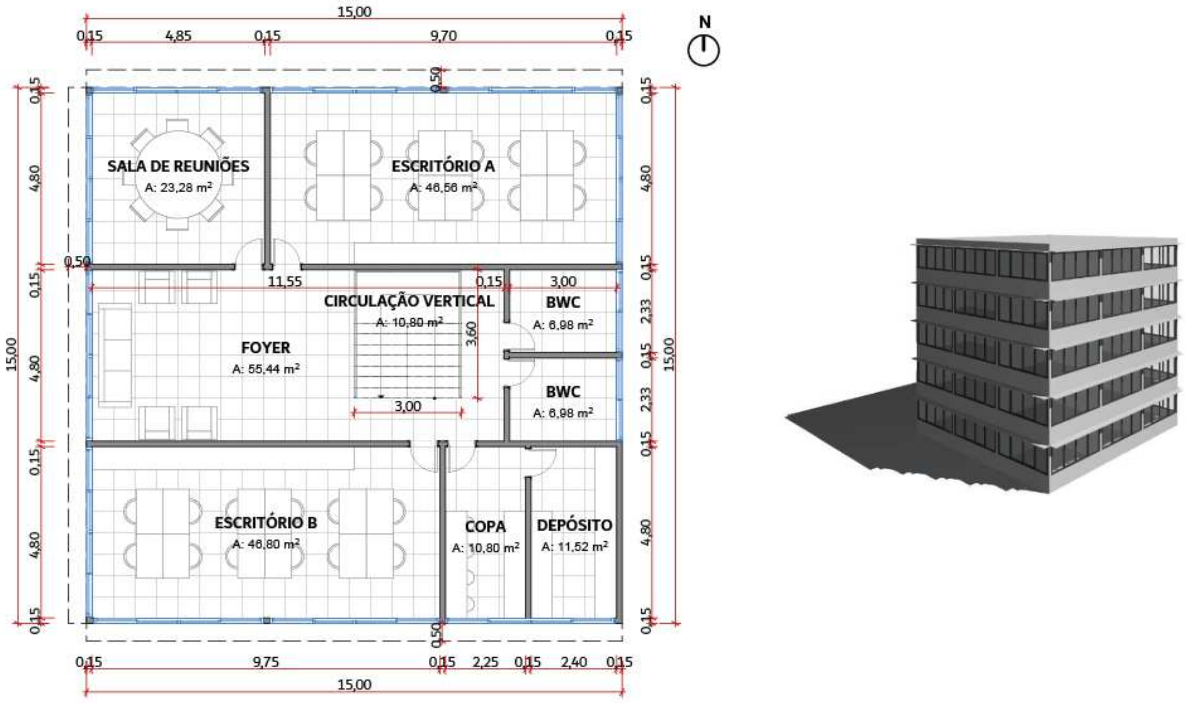
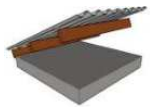


Figura 2 – Objeto de estudo: (A) Planta Baixa e (B) Perspectiva do edifício

Com relação aos parâmetros da envoltória do edifício, expressos pela transmitância térmica (W/(m².K)) e a capacidade térmica (kJ/(m².K)) conforme indicado na Tabela 1, utilizou-se como base a NBR 15.220 (ABNT, 2005). Os fechamentos verticais (paredes internas e externas) são em tijolos (9,0 x 19,0 x 19,0 cm) revestidos em ambas as faces com argamassa, e o fechamento horizontal em telha de fibrocimento sobre laje maciça. O valor da absortância das paredes externas é de 0,5, representando a tinta acrílica fosca da cor jade, enquanto para a cobertura considerou-se 0,8, referente à cor tabaco. Tais valores foram adotados com base no anexo A da INI-C, e são iguais para as condições real e de referência.

Tabela 1 - Propriedades termofísicas da envoltória da condição real e condição de referência

Envoltória	Composição	Espessura (cm)	α	U (W/(m².K))	C_T (KJ/(m².K))	
Parede externa e interna	Argamassa externa	2,5	0,50	2,39	150	
	Bloco Cerâmico	9,0				
	Argamassa interna	2,5				
Cobertura	Telha Fibrocimento	1,00	0,8	2,06	233	
	Laje maciça	10,00				

Fonte: NBR 15.220-3 (ABNT, 2005)

As esquadrias de cada pavimento são iguais, do tipo correr com quatro folhas em fita, dimensões de 4,75 m x 1,80 m, peitoril de 0,65 m e vidro simples comum 6,0 mm. O fator solar e a transmitância térmica do vidro são equivalentes a 0,80 e 5,7 W/(m².K), respectivamente. O percentual de área de abertura na fachada (PAF_T) é de 45% e, nas fachadas principais dos ambientes de permanência prolongada, há um elemento de sombreamento vertical de 0,50 m de profundidade, com ângulo de 30° entre a abertura e a proteção solar horizontal.

As densidades de potência de iluminação (DPI) e de equipamentos (DPE) foram definidas para a condição real e para a condição de referência. Para a DPE, definiu-se 15,0 W/m² para ambas as condições (conforme Tabela A.1 da INI-C). Para a DPI, definiu-se 8,5 W/m² para a condição real e 14,1 W/m² para a condição de referência. Demais padrões de uso e ocupação foram retirados da tabela de referência para as edificações do tipo escritórios da INI-C (Tabela A.1), sendo 10 horas de uso e 260 dias de ocupação.

3.2. Determinação da carga térmica de refrigeração anual e total anual da envoltória ($CgTR_{real}$ e $CgTT_{ref}$)

Para determinar o desempenho térmico do edifício, e assim classificar sua envoltória quanto à eficiência energética, deve-se inicialmente estimar a carga térmica de refrigeração anual e carga térmica total anual da edificação em sua condição real e condição de referência. Para tanto, a edificação deve ser dividida em zonas térmicas, que podem ser perimetrais (configuradas por orientação) ou internas, conforme indica o anexo B.I da INI-C.

Na Figura 3 é apresentada a divisão das zonas térmicas (ZT) para o pavimento tipo da edificação objeto de estudo, assumindo-se que estes possuem a mesma configuração. Esta mesma divisão é também considerada no pavimento térreo e cobertura, com variações de parâmetros: no térreo, as zonas possuem contato com o solo e, na cobertura, as zonas possuem cobertura exposta. Neste caso analisado, todas as ZT são perimetrias em todos os pavimentos. Os parâmetros de entrada das zonas do pavimento tipo estão descritos na Tabela 2. As propriedades térmicas de ambas as condições foram descritas na Tabela 1.

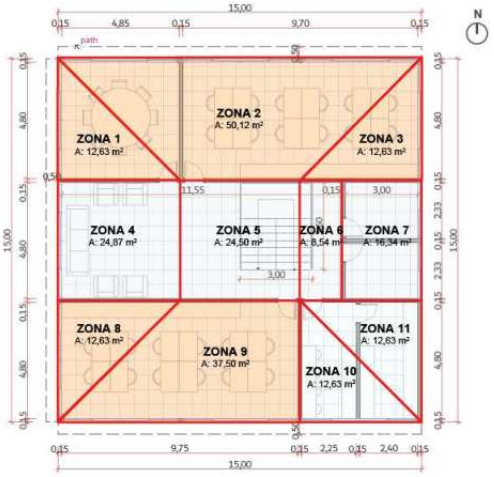


Figura 3 – Divisão das zonas térmicas

As cargas térmicas de refrigeração anual e total anual ($CgTR_{real}$ e $CgTT_{ref}$, em kWh/ano) foram estimadas para todas as zonas térmicas das áreas de permanência prolongadas (APPs), representadas pelas zonas de cor laranja na Figura 3, e somadas ao final. Para a estimativa dos valores, utilizou-se a interface do metamodelo de carga térmica de refrigeração[1], inserindo todos os parâmetros de entrada do edifício em sua condição real e condição de referência (ver Tabela 2).

[1] http://pbeedifica.com.br/redes/comercial/index_with_angular.html.

Tabela 2 –*Inputs* para o metamodelo de carga térmica

Zonas pavimento tipo (iguais cobertura e térreo)	Área (m²)	DPE (W/m²)	DPI (W/m²)	Horas de ocupação	Tipo de zona	Orientação	Pé-direito (m)	PAF (%)	AHS (°)	AVS (°)	AOV (°)
Z1	12,63	15	8,5	10	Perimetral	Oeste	2,8	45	0	30	0
Z2	50,12	15	8,5	10	Perimetral	Norte	2,8	45	0	30	0
Z3	12,63	15	8,5	10	Perimetral	Leste	2,8	45	0	30	0
Z8	12,63	15	8,5	10	Perimetral	Oeste	2,8	45	0	30	0
Z9	37,50	15	8,5	10	Perimetral	Sul	2,8	45	0	30	0
Referência	Idem real	**15**	**14,1**	Idem real	Idem real	Idem real	Idem real	50	0	0	0

3.3. Determinação da fração de horas de desconforto por calor (FH_{desc})

Para determinar a fração de horas em desconforto térmico (FH_{desc}), utilizou-se a interface do metamodelo *Natural Comfort*[2]. A ferramenta fornece uma estimativa do somatório anual das horas em desconforto térmico nas edificações ventiladas naturalmente com base nos limites para 80% de aceitabilidade térmica dos ocupantes, que são provenientes do modelo de conforto térmico adaptativo da ASHRAE Standard 55 (2020). A entrada de dados da ferramenta baseia-se em cinco parâmetros, sendo: i) localização; ii) tipologia; iii) características geométricas; iv) propriedades térmicas; e, v) ventilação. Os *inputs* da interface estão descritos na Figura 5.

Para a determinação do FH_{desc}, os parâmetros de entrada para as propriedades térmicas e características geométricas serão os mesmos para todos os casos avaliados, como já apresentados na Tabela 1 e Tabela 2. No que se refere aos *inputs* de ventilação, para o fator de abertura e ventiladores, serão considerados os casos 1 a 4, apresentados na Tabela 3. Destaca-se que, para o estudo da ventilação natural, deve-se considerar apenas as características do edifício na sua condição real, sendo, portanto, a condição de referência condicionada, conforme indicado no item B.I.2.3 da INI-C. A área das salas ocupadas é estimada por meio da média aritmética dos ambientes considerados no estudo, sendo Salas de Reuniões (23,28 m²), Escritório A (46,56 m²) e o Escritório B (46,80 m²), totalizando a média de área das salas de 38,88 m². Além disso, o fator da área de escada consiste na fração total da área do edifício destinada às escadas, sendo a área da escada de 10,80 m² e a área total do edifício de 225 m², resultando, assim, em uma fração de 0,05. Os parâmetros de entrada do metamodelo dos casos analisados, além dos já citados anteriormente, estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3 – *Inputs* para a interface do metamodelo *Natural Comfort*

Casos	Compr. total (m)	Prof. total (m)	N° de pav.	Área das salas	Fator área escada	Fator correção do vento	Obstáculos do entorno	Forma das janelas	Fator de abertura	Ventilador
1	15	15	5	38,88	0,05	Centros	Densa com muitas obst.	2,64	Correr	Não
2	15	15	5	38,88	0,05	Centros	Densa com muitas obst.	2,64	Correr	Sim
3	15	15	5	38,88	0,05	Centros	Densa com muitas obst.	2,64	Basculante	Não
4	15	15	5	38,88	0,05	Centros	Densa com muitas obst.	2,64	Basculante	Sim

[2] http://pbeedifica.com.br/naturalcomfort.

4. RESULTADOS

Em continuidade ao método da INI-C, primeiramente determinou-se os valores de carga térmica de refrigeração anual para a edificação analisada em sua condição real ($CgTR_{real}$) e condição de referência ($CgTT_{ref}$), que deram origem à escala de classificação da envoltória representada na Tabela 4. Para facilitar a interpretação dos resultados, a escala de classificação foi definida diretamente com base nos percentuais de redução da classe D para a A, utilizando como base a escala original calculada com os valores de $CgTT_{ref}$ (Equação 3). A Tabela 5 descreve os valores de $CgTR_{real}$ da edificação base (a qual não considera o aproveitamento da ventilação natural), o $CgTT_{ref}$, bem como o percentual de redução da carga térmica anual total entre uma condição e outra, e classificação de eficiência energética encontrada para este caso.

Tabela 4 – Escala do percentual de redução da CgTT para a classificação de eficiência energética para a edificação analisada

	A	B	C	D	E
Classificação	Red > 15%	15% ≥ Red > 10%	10% ≥ Red > 5%	5% ≥ Red ≥ 0%	Red < 0%

A partir da Tabela 5, observa-se que a envoltória da edificação analisada sem o aproveitamento da ventilação natural resultou em um percentual de redução de carga térmica equivalente a 15% em comparação com a condição de referência (diferença de 23.063,76 kWh/ano). Nesse caso, a classificação final da envoltória seria B. Em relação as essas duas condições (real *vs.* ref.), ressalta-se que a diferença na carga térmica de refrigeração ocorreu devido à redução no valor de DPI, e pela presença do sombreamento horizontal (AVS), no caso da edificação real.

Tabela 5 – Resultados para a condição real da edificação analisada sem VN (caso base)

$CgTR_{real}$	**$CgTT_{ref}$**	**Redução D - real**	**Classificação**
135.466,60	158.530,40	15%	B

Na sequência, foram estimados os valores de FH_{desc} para os casos 1 a 4. O caso 1 representa a condição real com o aproveitamento da ventilação natural (janela de correr), e casos 2, 3 e 4 incluem o aproveitamento da VN, bem como a variação no tipo de janela (de correr ou basculante) e a presença de ventiladores de teto (com e sem ventiladores). Ao considerar as alterações dos parâmetros de entrada, observou-se diferença significativa na fração de horas em desconforto por calor (Figura 4A). No caso 1, que considera a configuração da edificação real com janelas de correr e sem ventiladores de teto, o FH_{desc} obtido é de 95%; ou seja, a partir da predição do metamodelo, em 95% das horas anuais existe desconforto por calor e em 5% das horas a ventilação natural é aproveitada, garantindo-se 80% de aceitabilidade térmica dos ocupantes. Nos demais casos, esse percentual passou de 95% para 87%, 91% e 79% (Figura 4A), de acordo com a configuração adotada. O impacto do FH_{desc} no valor calculado da carga térmica de refrigeração pode ser observado na Figura 4B.

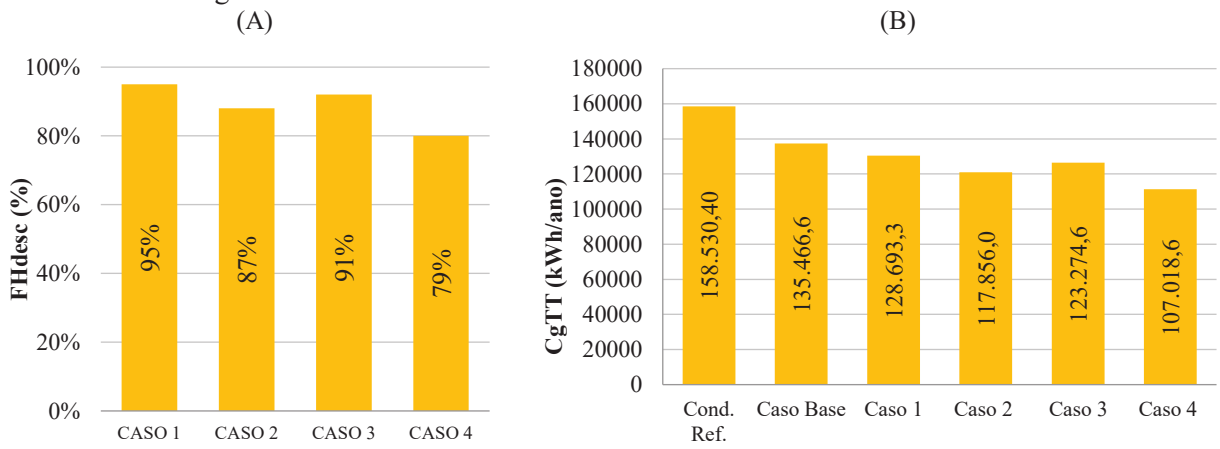


Figura 4 – (A) Fração de horas de desconforto por calor (FH_{desc}), e (B) Carga Térmica Total anual da envoltória (CgTT)

Ao analisar os resultados encontrados, verifica-se que a modificação no fator de abertura, indicado pela alteração de janelas de correr para basculante, sem incluir os ventiladores de teto (caso 3), ocasionou uma redução de 4% na fração de horas de desconforto por calor em relação ao caso 1. O caso 4 (janela basculante com ventiladores de teto) apresentou as melhores condições internas de desempenho térmico em relação aos demais casos, indicado por uma redução equivalente a 16% em comparação ao caso 1, que possui o maior FH_{desc}. Ao se considerar o aproveitamento da ventilação natural, obteve-se redução de 6.773,3

kWh/ano na carga térmica total anual (CgTT) no caso 1 em relação ao caso base (janela de correr nas duas situações), e de 12.192,0 kWh/ano no caso 3 (janela basculante) em relação ao caso base, ambos sem considerar o incremento da velocidade do ar causado pelos ventiladores de teto. A intensificação da velocidade do ar por meio da incorporação de ventiladores de teto (casos 2 e 4) resultou nas reduções mais significativas em relação ao caso base, equivalentes a 17.610,07 kWh/ano e 28.448,0 kWh/ano, respectivamente. Destaca-se que, nesse último caso, a combinação entre o tipo de janela com o maior fator de abertura (basculante) e a incorporação de maiores valores de velocidades do ar por meio da utilização de ventiladores de teto, potencializou a redução no consumo energético; ou seja, neste caso específico, em 21% das horas anuais de uso da edificação, é possível atender as condições de aceitabilidade térmica para 80% dos ocupantes sem o uso da climatização artificial.

A partir dos resultados observados de carga térmica total anual (CgTT) de todos os casos analisados, procedeu-se com a determinação do percentual de redução destes em relação à condição de referência (equivalente à classificação D) e, ainda, com a classificação de eficiência energética. A escala de percentuais de redução utilizada para classificação baseou-se nos valores definidos na Tabela 4. Os resultados encontrados estão descritos na Tabela 6, onde observa-se que o aproveitamento da ventilação natural, quando considerado na classificação de eficiência energética da edificação analisada, resultou em uma redução de até 32% da carga térmica anual total quando comparada com a condição de referência, e 17% maior que a redução encontrada para o caso base. Destaca-se que o aproveitamento da ventilação natural foi capaz de modificar a classificação da envoltória de B para A nos casos de 1 a 4: janela de correr e janelas basculantes com e sem o uso dos ventiladores de teto. A classificação com o maior nível de eficiência energética em relação à condição de referência (classificação D) é decorrente da melhoria no valor de DPI, inclusão de sombreamento nas aberturas por meio do AVS, aproveitamento da ventilação natural, uso de janelas basculantes e ventiladores de teto.

Tabela 6 – Percentual de redução e classificação de eficiência de todos os casos analisados

	RedCgTT (%)	Classificação de Eficiência
Caso base (sem VN)	15%	B
Caso 1	19%	A
Caso 2	26%	A
Caso 3	22%	A
Caso 4	32%	A

5. CONCLUSÕES

Este trabalho avaliou o potencial do uso da ventilação natural na classificação de eficiência energética de um edifício de escritórios localizado na cidade de Manaus - AM, a partir do uso da ferramenta *Natural Comfort* incluída no método simplificado da nova Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C). A análise foi realizada para um caso base, no qual o uso da ventilação natural foi desconsiderado, e outros quatro casos nos quais analisou-se a interferência do tipo de janela considerada pelo modelo, bem como do incremento da velocidade do ar por meio do uso de ventiladores de teto.

Diante dos resultados apresentados, pode-se concluir que as janelas do tipo basculante foram responsáveis pelas melhores condições de desempenho térmico no interior do edifício estudado, se comparada às mesmas condições (com e sem ventilador de teto) em relação a janela de correr. O incremento da velocidade do ar por meio da inserção de ventiladores de teto (casos 2 e 4) resultou na maior quantidade de horas em conforto térmico, equivalentes a 13% e 21% respectivamente.

Ressalta-se que as janelas do tipo basculante possuem maior fator de abertura quando comparadas às janelas de correr, favorecendo assim a circulação de ar entre ambiente interno/externo; além disso, a presença de ventiladores de teto implica na garantia de valores mais altos de velocidade do ar, que podem estender em até 2,2 °C o limite superior da zona de aceitabilidade térmica do modelo adaptativo da ASHRAE 55, base de desenvolvimento do *Natural Comfort*.

Com relação ao percentual de redução da carga térmica total anual da edificação avaliada em relação à condição de referência, a qual corresponde à classificação D, verificou-se que sem o aproveitamento da ventilação natural esse valor foi de 15% (caso base), variando de 19% a 32% quando a VN foi incorporada. O aproveitamento da ventilação natural foi capaz de modificar a classificação final da envoltória de B para A, destacando-se que a carga térmica total anual reduziu de 135.466,6 kWh/ano no caso base para 107.018,6 kWh/ano no melhor caso (caso 4), o que é equivalente a uma redução de 28.448,0 kWh/ano. É importante

evidenciar que, além da classificação final da envoltória, a redução da carga térmica total anual representa impacto significativo no consumo energético do edifício proveniente do condicionamento artificial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: Desempenho Térmico de Edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

AL-TAMIMI, N. A. M; FADZIL, S. F. S; HARUM, W. M. W. The effects of orientation, ventilation, and varied WWR on the thermal performance of residential rooms in the tropics. **J. Sustain. Dev**., v.4, pp. 142-149, 2011

ARAUJO, V.M.D. **Parâmetros de conforto térmico para usuários de edificações escolares no litoral nordestino brasileiro**. Universidade de São Paulo, 1996.

ASHRAE. **Standard 55-2020**. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. 2020

ASHRAE. **Standard 169-2020**. Climate Data for Building Design Standards. 2020

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia, Inmetro. Portaria n° 42, de 24 de fevereiro de 2021. **Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C).** Diário Oficial da União, Brasília - DF, 2021.

CÂNDIDO, C; LAMBERTS, R; DE DEAR, R; BITTENCOURT, L; DE VECCHI, R. Towards a Brazilian standard for naturally ventilated buildings: guidelines for thermal and air movement acceptability. **Building Res Inf**, v.39, pp. 145-153, 2011, DOI: 10.1080/09613218.2011.557858

CHANG, J. H. Thermal comfort and climatic design in the tropics: An historical critique. **Journal of Architecture**, v.21, n.8, p. 1171-1202, 16 nov. 2016.

CHANG, J. H.; WINTER, T. Thermal modernity and architecture. **Journal of Architecture**, v. 20, n.1, p.92 – 121, 2 jan. 2015.

CHEN, X; HONGXING, Y; LIN, L. A comprehensive review on passive design approaches in green building rating tools. **Renew Sustain Energy Rev**, v.50, pp. 1425-1436, 2015, DOI:10.1016/j.rser.2015.06.003

CHEN, X; YANG, H; WANG. Parametric study of passive design strategies for high0rise residential buildings in hot and humid climates: miscellaneous impact factors. **Renewable Sustainable Energy Review**, v. 69, pp. 442-460, 2017. DOI: 10.1016/j.rser.2016.11.055

CLAIR, P. S; HYDE, R. Towards a new model for climate responsive design at the University of the Sunshine Coast Chancellery. **J. Green Build**., v.4, pp. 3-20, 2009

EPE. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2020, ano base 2019.** Rio de Janeiro, 2020. 256 p. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anu%C3%A1rio%20Estat%C3%ADstico%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202020.pdf. Acessado em: 10 abril de 2021.

GIMENEZ, J. M; BRE, F; NIGRO, N. M; FACHINOTTI, V. Computacional modeling of natural ventilationin low-rise non-rectangular flor-plan buildings. **Building Simulation**, v.11, pp. 1255-1271, 2018. DOI: 10.1007/s12273-018-0461-9

GRAÇA, G; LINDEN, P. Ten questions about natural ventilation of non-domestic buildings, **Building and Environment**, v. 107, pp.263-273, 2016. DOI: 10.1016/j.buildenv.2016.08.007

HAASE, M; AMATO, A. An investigation of the potential natural ventilation and building orientation to achieve thermal comfort in warm and humid climates. **Solar Energy**, v. 83, pp. 389-399, 2009. DOI: 10.1016/j.solener.2008.08.015

MARTINEZ, A; CHOI, J. H. Analysis of energy impacts of facade-inclusive retrofit strategies, compared to system-only retrofits using regression models. **Energy Build**., v.158, pp. 261-267, 2018. DOI: 10.1016/J.ENBUILD.2017.09.093

MELO, A. P; FOSSATI, M; VERSAGE, R. S; SORGATO, M. J; SCALCO, V. A; LAMBERTS, R. Development and analysis of metamodel to represent the thermal behavior of naturally ventilated and artificially air-conditioned residential buildings. **Energy and Buildings**, v. 112. Pp. 209-221, 2016. DOI: 10.1016/j.enbuild.2015.12.021

ØSTERGÅRD, T; JESEN, R. L; MAAGAARD; S. E. A comparison of six metamodeling techniques applied to building performance simulations. **Appl. Energy**, v.211, pp. 89-103, 2018. DOI: 10.1016/J.APENERGY.2017.10.102

OROPEZA, I; OSTERGAARD, T. Energy saving of utilizing natural ventilation under warm conditions – A case study of Mexico. **Applied Energy**, v. 130, pp. 20-32. DOI: 10.1016/j.apenergy.2014.05.035

RACKES, A; MELO, A. P; LAMBERTS, R. Naturally comfortable and sustainable: informed design guidance and performance labeling for passive commercial buildings in hot climates. **Applied Energy**, v. 174, pp. 256-274, 2016. DOI: 10.1016/J.APENERGY.2016.04.081

ROSSI, M. M; FAVRETTO, A. P. O; GRASSI, C; De CAROLIS, J; CHO, S; CHVATAL, K. M. S; RANJITHAN, R. Metamodels to assess the thermal performance of naturally ventilated, low-cost houses in Brazil. **Energy and Buildings**, v. 204, pp. 199457, 2019. DOI: 10.1016/j.enbuild.2019.109457

SAKIYAMA, N. R. M; CARLO, J; C; FRICK, J; GARRECHT, H. Perspectives of naturally ventilated buildings: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 130, p.109933, 2020. DOI: 10.1016/j.rser.2020.109933

SORGATO, M. J; MELO, A. P; LAMBERTS, R. The effect of window opening ventilation control on residential building energy consumption. **Energy and Buildings**, v. 133, pp. 1-13.

STAVRAKAKIS, G. M; ZERVAS, P. L; SAROMVEIS, H; MARKATOS, N. C. Optimization of window-openings design for thermal comfort in naturally ventilated buildings. **Appl. Math. Model**, v.36, pp. 193-211, 2012. DOI: 10.1016/j.apm.2011.05.052

WESTERMANN, P; EVINS, R. Surrogate modelling for sustainable building design - A review. **Energy Build**., v. 198, pp. 170-186, 2019. DOI: 10.1016/j.enbuild.2019.05.057

XAVIER, A. A. P. **Predição de conforto térmico em ambientes internos com atividades sedentárias – teoria física aliada a estudos de campo.** Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à ELETROBRAS/PROCEL pelos recursos financeiros aplicados no desenvolvimento desta pesquisa, e aos pesquisadores Marcelo Salles Olinger e Rayner Maurício e Silva Machado, que atuaram no desenvolvimento da interface do *Natural Comfort.*