

DISCUSSÃO DO DESEMPENHO DA CHAMINÉ TÉRMICA COMO ESTRATÉGIA DE VENTILAÇÃO NATURAL¹

TREICHEL, Suzana Z. (1); FREITAS, Julye M. R. (2); DALBEM, Renata (3); BELTRAME, Carolina M. (4); CUNHA, Eduardo G. (5)

(1) UFPEL, e-mail: suzanatreichel@gmail.com; (2) UFPEL, e-mail: juramalhof@hotmail.com; (3) UFPEL, e-mail: renata_dalbem@hotmail.com; (4) UFPEL, e-mail: carolinabeltrame.arquitetura@gmail.com; (5) UFPEL, e-mail: eduardogralacunha@yahoo.com.br

RESUMO

A ventilação natural é uma das estratégias mais eficientes para remover a carga térmica acumulada no interior dos ambientes. Existem várias estratégias de ventilação, sendo uma, a ventilação por efeito chaminé, a qual aproveita a assimetria térmica dos ambientes considerando a existência de entrada e saída de ar em diferentes alturas. O objetivo deste artigo é apresentar o comportamento térmico de um ambiente localizado na zona bioclimática brasileira 2, quando este está sujeito a diferentes formas de configurar a ventilação natural explorando o efeito chaminé. A metodologia utilizada baseia-se em simulações computacionais com o software Energy Plus® versão 8.3 de quatro casos distintos do mesmo modelo, considerando a ventilação natural por efeito chaminé e também pela ação dos ventos. Os resultados finais das simulações mostraram que a chaminé solar pouco contribui para redução do desconforto térmico. Dentre os quatro casos simulados, os dois casos onde se considerou a ação do vento, obtiveram um melhor desempenho. Acredita-se que o presente trabalho terá contribuição em futuros estudos sobre a utilização do efeito chaminé nas edificações, principalmente em estudos para a zona bioclimática 2.

Palavras-chave: Efeito Chaminé; Eficiência Energética; Chaminé Solar.

ABSTRACT

Natural ventilation is one of the most efficient strategies to remove accumulated thermal load within the environments. There are several ventilation strategies, one of them being the ventilation by chimney effect, which takes advantage of the thermal asymmetry of the environments considering the existence of air inlet and outlet at different heights. The purpose of this paper is to present the thermal behavior of a environment located in the Brazilian bioclimatic zone 2, when it is subject to different ways of setting up natural ventilation exploring the chimney effect. The methodology used is based on computer simulations with Energy Plus® 8.3 software of four different cases of the same model, considering the natural ventilation by chimney effect and also by the wind action. The final simulation results showed that the solar chimney contributes little to reduce thermal discomfort. Among the four simulated cases, the two cases where it was considered the action of wind obtained better performance.

¹ TREICHEL, Suzana Z.; FREITAS, Julye M.; DALBEM, Renata; BELTRAME, Carolina; CUNHA, Eduardo G. Discussão do desempenho da chaminé térmica como estratégia de ventilação natural. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

It is believed that this paper will contribute in future studies about the use of chimney effect in buildings, especially in bioclimatic zone 2.

Keywords: Natural ventilation; Chimney effect; thermal modeling.

1 INTRODUÇÃO

Estratégias bioclimáticas que visam o conforto térmico das edificações são muito importantes na arquitetura, pois em muitos casos evitam o uso de climatização artificial, minimizando o consumo energético das edificações. Uma das estratégias bioclimáticas mais eficientes para remover a carga térmica acumulada no interior dos ambientes é a ventilação natural. A ventilação tem o objetivo de amenizar o desconforto por calor no ambiente interno e manter a qualidade do ar interior, e é utilizada nas edificações desde o início da história da arquitetura, principalmente em climas muito quentes e úmidos com elevadas temperaturas internas.

Além da possibilidade de proporcionar conforto térmico para os usuários, a utilização da ventilação natural também pode reduzir consideravelmente o consumo de energia proveniente do uso de climatização artificial, enfatizando a relevância do presente trabalho. Existem várias estratégias de ventilação natural que podem ser aplicadas nos ambientes. Sendo que algumas são mais conhecidas e mais utilizadas pelos projetistas como: ventilação cruzada, ventilação da cobertura e ventilação do piso. Porém o foco do presente trabalho é em relação à utilização da ventilação oriunda do efeito chaminé.

Costa (1982) explica que quando há uma diferença de temperatura entre duas regiões do espaço, esta desaparece espontaneamente em função da transmissão do calor de uma região a outra. Uma das formas de transmissão de calor é a convecção, que é a transferência de calor entre fluidos, gerando um movimento de partículas provocado pela diferença de pressão em função da diferença de temperatura, e automaticamente da diferença da densidade do fluido.

A ventilação por efeito chaminé é uma estratégia de ventilação importante, porém um pouco menos conhecida e utilizada pelos arquitetos. Esse método é caracterizado como sendo o movimento de ar por impulsão térmica, e ocorre através de gradientes verticais de densidade e pressão do ar, que são consequências do diferencial de temperatura entre os dois meios, externo e interno (NEVES, 2012).

Segundo Bansal, et al. (1994) o uso da chaminé solar é ideal para locais de velocidade de vento mais baixas, pois ela utiliza a energia proveniente da radiação solar para aquecer o ar e induzir o efeito chaminé por meio do incremento das diferenças de pressão e temperatura entre a entrada e a saída do ar. A chaminé solar é uma estratégia bioclimática que visa, além da manutenção da qualidade do ar, o incremento do nível de conforto térmico dos ambientes interiores.

Uma pesquisa realizada por Asadi, et al. (2016) diz que o sistema de chaminé solar melhora a qualidade do ar no interior de uma edificação através da ventilação natural. Através da simulação do desempenho de um modelo no programa EnergyPlus, os autores mostram que a atuação da chaminé solar é semelhante a uma chaminé comum, exceto por possuir a parede de uma das orientações revestidas com vidro, por onde os raios solares passam e são absorvidos pela parede, aquecendo o ar na parte interna da chaminé. O ar aquecido é menos comprimido (menos denso) fazendo com que este suba. Este movimento realiza a higienização do ambiente assim como aumenta o índice de ventilação natural.

A análise do nível de conforto térmico em ambientes climatizados naturalmente pode ser feita a partir de vários índices térmicos. Dentre eles destaca-se o modelo adaptativo de Dear e Brager da ASHRAE Standard 55 (2010). Esse modelo não leva em consideração dados de umidade e de velocidade dos ventos, unidades fundamentais para a avaliação do conforto térmico, somente dados de temperatura e uma umidade relativa média esperada, porém estabelece níveis de conforto.

O Modelo adaptativo da ASHRAE Standard 55 é válido somente para ambientes climatizados naturalmente. Esse modelo relaciona as temperaturas internas e externas do ambiente. Através da temperatura externa o modelo determina a temperatura operativa de conforto através da Equação 1.

$$T_{oc} = 18,9 + 0,255 T_{ext} \quad (1)$$

Onde:

T_{oc} = Temperatura operativa de conforto;

T_{ext} = Temperatura média mensal externa.

Uma oscilação da temperatura operativa interna em relação à temperatura operativa de conforto entre +2,5 °C e -2,2°C estabelece uma aceitabilidade de 90%, e entre +3,5°C e -3,2°C uma aceitabilidade de 80%. (Ashrae 55, 2010)

Sendo que a temperatura operativa interna pode ser calculada com base na realização de simulações termodinâmicas. Segundo Souza e Rodrigues (2012) a simulação numérica de ventilação natural é uma ferramenta potencial, mas devem ser tomados cuidados na definição correta das condições de contorno. Os autores realizam o estudo a partir da simulação numérica com o programa ANSYS.

Já o trabalho de Sorgato e Lamberts (2012) aborda modelagem de ventilação natural através do modelo de rede (AirFlowNetwork) no software EnergyPlus. Segundo os autores existem poucas bibliografias que tratam de desempenho térmico de edificações ventiladas naturalmente através de

simulação computacional, defendendo o tema pela característica climática quente e úmida do Brasil.

Embora o desempenho da ventilação natural considerando a ação do vento tenha um potencial maior que a ventilação considerando o efeito chaminé, a discussão das potencialidades do efeito chaminé é uma importante contribuição no âmbito do desempenho térmico das edificações. É dentro desse contexto que este artigo aborda a temática a partir de um estudo exploratório realizado para uma zona térmica, comparando os desempenhos do ambiente, observando a ação do vento e a chaminé térmica, foco dessa discussão.

2 OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo a avaliação do comportamento térmico de um ambiente através de simulação computacional, observando os efeitos da chaminé térmica e da ação do vento em um ambiente localizado na zona bioclimática brasileira 2 (ZB2).

3 METODOLOGIA

O trabalho é um estudo exploratório, desenvolvido a partir de simulação computacional fazendo-se uso do software *EnergyPlus®*, versão 8.3. Para realização desse estudo foi necessário primeiramente realizar uma revisão de literatura e também um estudo das configurações de efeito chaminé no software, baseado principalmente no manual *Input Output Reference* (2015). Em um segundo momento foi realizado a reconstituição do edifício exemplo fornecido pelo programa, alterando as configurações de materiais, uso e ocupação, iluminação, para configurações mais usuais na Zona Bioclimática 2.

Foram simulados 4 casos, com o uso ou não da chaminé térmica e variando a configuração de ventilação natural e infiltração.

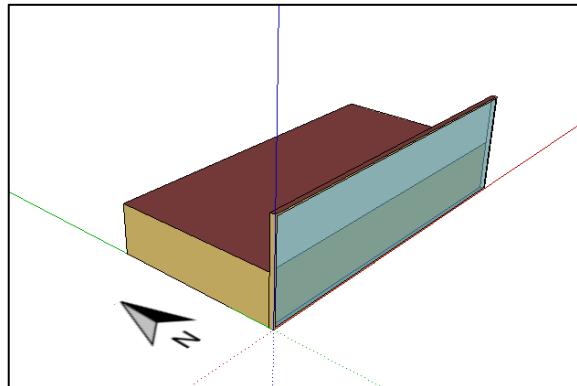
Para a análise do conforto térmico do ambiente, em cada caso, foram calculados o número de horas em conforto através da temperatura operativa para os níveis de 80% de pessoas satisfeitas, de acordo com o modelo de conforto adaptativo de Dear e Brager (1998), que baseia-se em um critério de 10% de insatisfação para desconforto térmico geral mais 10% de insatisfação para desconforto térmico local (Ashrae 55, 2010).

3.1 Descrições do modelo

O modelo utilizado para o estudo foi o edifício exemplo de chaminé solar disponibilizado pelo software *EnergyPlus®*, representado nas Figuras 1 e 2. O ambiente é composto de uma zona térmica, com 20m de comprimento e 10m de largura, com uma abertura no lado oposto da chaminé, sendo essa centralizada com 0,5m de peitoril, 8m de comprimento e 2m de altura. A chaminé possui 6m de altura, 0,3m de largura a 20m de comprimento, sendo que a área envidraçada da chaminé está voltada para a orientação norte.

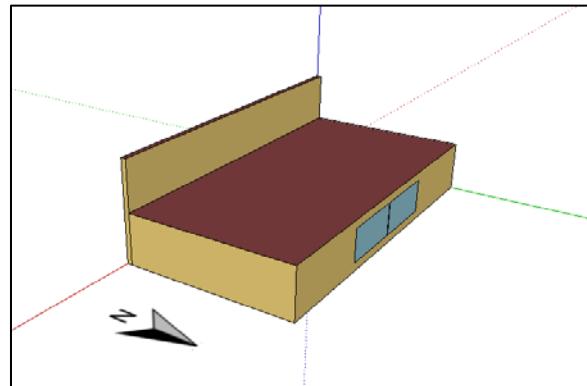
Foram utilizados materiais de uso tradicional e a transmitância térmica (U) foi calculada segundo a NBR 15220 (ABNT, 2005), conforme especificados na Tabela 1.

Figura 1: Vista da chaminé solar do modelo



Fonte: Adaptado de EnergyPlus

Figura 2: Vista posterior do modelo



Fonte: Adaptado de EnergyPlus

Tabela 1 – Propriedades Térmofísicas dos Mateirias

	Material	Espessura total	Transmitância
Paredes Externas	Argamassa + bloco cerâmico maciço + argamassa	19 cm	3,33 W/m ² .K
Parede da chaminé	Chapa de metal + bloco cerâmico + chapa metálica	17 cm	3,34 W/m ² .K
Laje de Piso	Revest. cerâmico + argamassa de assentamento + laje maciça de concreto	13cm	2,36 W/m ² .K
Cobertura	Laje concreto + Cam. de ar + Telha Fibrocimento	-	2,43 W/m ² .K

Fonte: Autores

Na parede da chaminé térmica foi utilizada uma chapa metálica de elevada absorância (0,9) e condutividade térmica, a fim de melhorar o efeito da chaminé. Nas áreas envidraçadas foi utilizado vidro simples 3mm.

3.2 Configuração do modelo

Primeiramente foram criadas duas agendas de funcionamento (schedules): a primeira foi configurada para a chaminé térmica ativa (on) durante o ano inteiro, e a segunda configurada para a chaminé térmica inativa (off) durante o ano inteiro. Após a criação das agendas foram configurados os

materiais, de acordo com a Tabela 1. E em seguida foi configurada a chaminé térmica. O programa calcula o fluxo de ar originado da chaminé térmica através das equações 2 e 3.

$$Q = C_d A_o \sqrt{2 \left(\frac{t_{fo} - t_r}{t_r} \right) g L / (1 + A_r)^2} \quad (2)$$

Onde:

Q é o fluxo de ar que percorre a chaminé térmica (m^3/s);

C_d é o coeficiente de descarga;

A_o é a área do corte transversal na entrada do canal (m^2);

t_{fo} é a temperatura do ar da atmosfera;

t_r é a temperatura do ar no interior da cavidade (K);

g representa a aceleração da gravidade; e

L é a altura total da chaminé térmica (m).

$$A_r = \frac{A_o}{A_i} \quad (3)$$

Onde:

A_i é a área do corte transversal da saída do canal (m^2);

$A_o = A_o$ é a área do corte transversal na entrada do canal (m^2).

Foi adotada uma entrada e saída de $0,20 \text{ m}^2$ e um coeficiente de descarga térmica de 0,60. Já para a ventilação calculada (ação do vento) foi utilizado um fator mínimo de abertura de 0,10 e um limite inferior máximo para a abertura e fechamento da janela de 0°C e um superior de 9°C , setpoint de temperatura de 20°C , conforme recomendado pelo RTQ-R (Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais). Sendo assim, a janela fica aberta entre 20°C até 29°C (limite superior de Givoni, 1992). Por fim, foi configurada a infiltração de ar, onde foi determinado que esta acontecesse durante todo o período anual e em todos os casos simulados, inclusive quando foram realizadas as simulações de ventilação calculada. De acordo com o guia CIBSE (2004) o valor adotado para infiltração foi de $1,15 \text{ air change per hour}$ – trocas por hora, esse valor pode ser utilizado em edifícios residenciais de um pavimento, pouco estanques.

Também foram configuradas cargas térmicas decorrentes de iluminação, equipamentos e ocupação. Onde foram adotados os parâmetros recomendados pelo RTQ-R. Considerando o ambiente como se fosse um sala de estar, adotou-se 6 W/m^2 para a iluminação, $1,5 \text{ W/m}^2$ para os

equipamentos e uma ocupação de 2 pessoas. As agendas de funcionamento também foram criadas de acordo com recomendações do mesmo regulamento (INMETRO, 2010).

3.3 Casos simulados

Para a análise do nível de conforto térmico do ambiente, referentes à zona bioclimática brasileira 2, foram elaborados 4 casos distintos descritos a seguir:

1 - Chaminé solar operando durante todo período anual apenas com infiltração de ar;

2 - Sistema de chaminé solar desligado durante todo período anual com infiltração de ar;

3 - Chaminé solar operando durante todo período anual, ventilação natural calculada (Airflownetwork) pela janela do lado oposto e infiltração de ar;

4 - Sistema de chaminé solar desligado durante todo o período anual, ventilação natural calculada (Airflownetwork) pela janela do lado oposto e infiltração de ar.

Os casos foram simulados utilizando o arquivo climático de Santa Maria, representando a zona bioclimática brasileira 2. Após a simulação, estes foram avaliados através da quantidade de horas de conforto, pelo método adaptativo (ASHRAE 55, 2010), e comparados para verificar a melhor situação para a Zona em questão.

3.4 Análise de vazão do ar

Para a avaliação da vazão do ar, foram realizadas análises da quantidade de renovações de ar por hora em cada caso. Sendo analisada a pior situação, ou seja, o período mais quente do ano caracterizado como semana típica de verão. Os dados foram obtidos com base na análise do arquivo estatístico (BRA_Santa.Maria.839360_SWERA.stat). Para os sete dias típicos mais quentes foram feitas médias diárias de renovações de ar por hora, podendo assim identificar qual caso possui o melhor desempenho em relação à ventilação natural.

3.5 Análise de conforto térmico

O método escolhido para a avaliação do conforto térmico do ambiente foi o modelo adaptativo da ASHARE Standard 55 de 2010. Para a realização da análise, primeiramente, foram coletados a partir das simulações, os dados de saída de temperatura operativa interna. Estes foram inseridos no software Microsoft Excel®, e com os dados de temperatura externa presentes no arquivo climático, foi feita uma média horária mensal. Com a média mensal da temperatura do ar externo ao ambiente, foi possível calcular a temperatura operativa de conforto para o mês a partir a Equação 1, apresentada anteriormente. Esse roteiro foi realizado para todos os meses.

Após todos os meses terem sua temperatura operativa de conforto calculada, os limites de conforto para 80% de aceitabilidade foram aplicados, e com isso obteve-se as horas de conforto térmico, horas de desconforto por frio e por calor durante as horas do ano em que a edificação está ocupada. Para o desconforto por calor foi considerado os valores acima do limite de aceitabilidade e o desconforto por frio abaixo do limite.

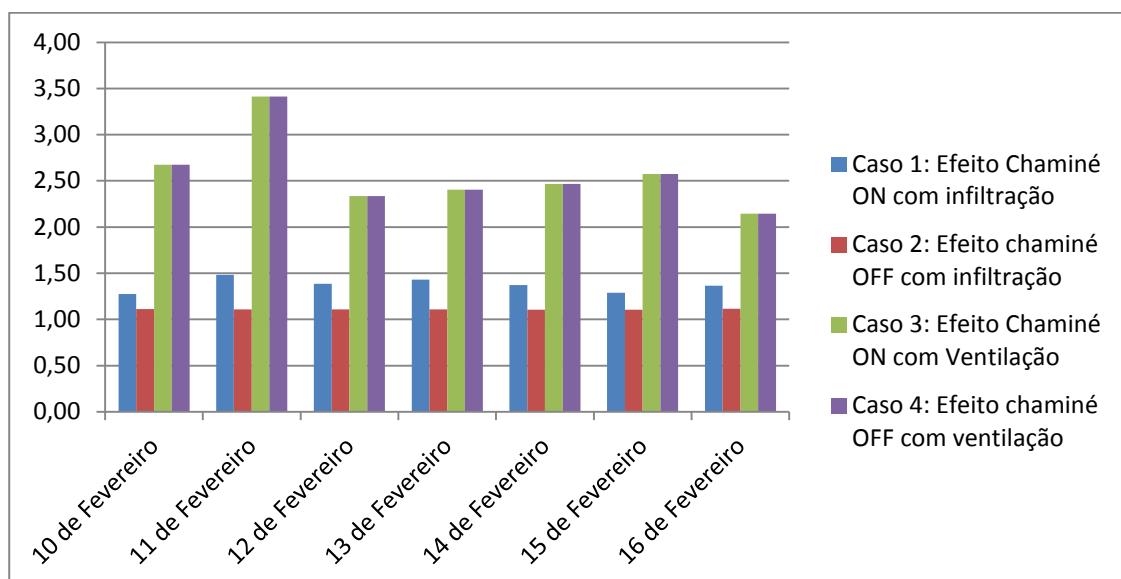
Essa metodologia foi aplicada para os quatro casos, descritos anteriormente. Foram obtidas assim as horas de conforto térmico do ambiente com cada estratégia, consequentemente, como também a estratégia mais adequada para o ambiente em termos de conforto térmico segundo o modelo adaptativo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análise das vazões de ar através das renovações por hora

Nas análises de renovações de ar no ambiente, os casos 3 e 4 (sistema de chaminé solar operando com ventilação natural calculada e sistema de chaminé solar desligado com ventilação calculada) apresentaram os melhores índices de renovação. Já os casos 1 e 2 apresentaram-se muito similares, resultando na baixa eficiência da chaminé solar. Os resultados podem ser observados na figura 3, onde os maiores índices obtidos são para o dia 11 de fevereiro. Os casos 3 e 4 chegaram a 3,41 ren/h para o dia analisado, enquanto o caso 1 apresentou 1, 1,48 ren/h e o caso 2 1,11 ren/h.

Figura 3: Resultados de vazão do ar



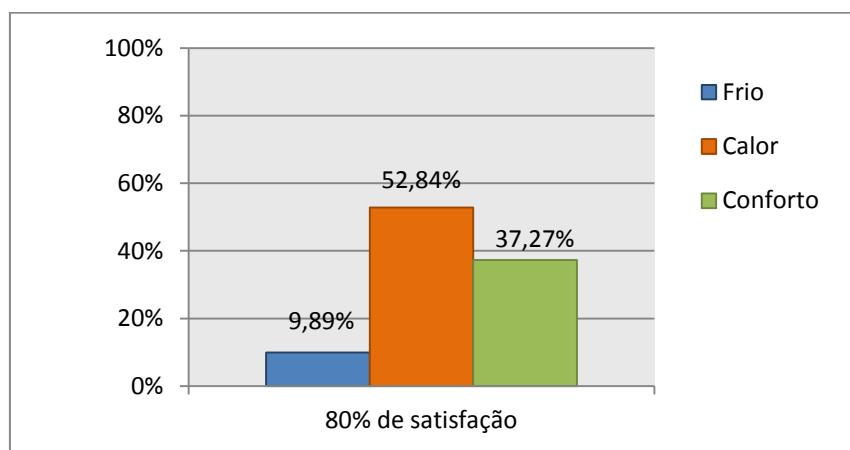
Fonte: os autores

4.2 Análise do nível de Conforto Térmico

Nas simulações notou-se um maior percentual de desconforto por calor em todos os quatro casos distintos, sendo que para o primeiro e o segundo casos, que são sem a ação do vento, apenas com infiltração de ar pela abertura. Para o primeiro com a chaminé operando, e o segundo com a chaminé desligada, observa-se que mesmo a chaminé solar operando o desconforto por calor não diminui consideravelmente.

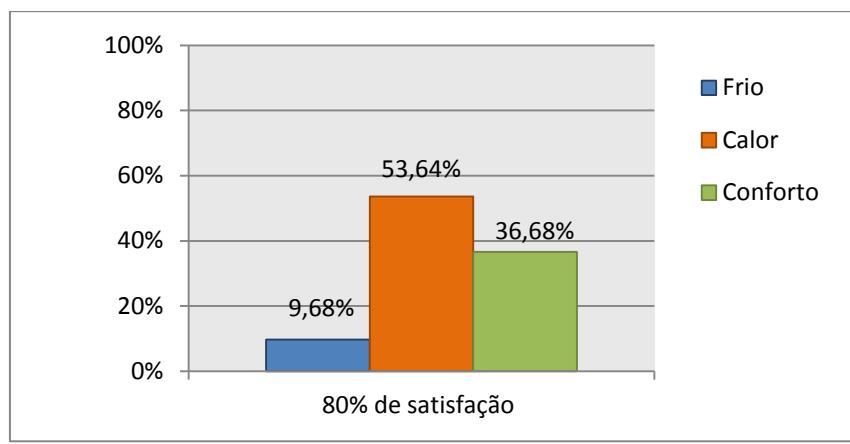
Para o caso 1 obteve-se um percentual de 9,89% de desconforto por frio, 52,84% de desconforto por calor e 37,27 % de conforto. Já para o caso 2 se obteve 9,68% de desconforto por frio, 53,64% de desconforto por calor e 36,68% de conforto. Os resultados de conforto do primeiro e do segundo casos estão apresentados nas Figuras 4 e 5.

Figura 4: Percentual de horas de conforto e desconforto para o caso 1 (Chaminé solar operando com infiltração de ar pela abertura)



Fonte: os autores

Figura 5: Percentual de horas de conforto e desconforto para o caso 2 (Chaminé solar desligada com infiltração de ar pela abertura)



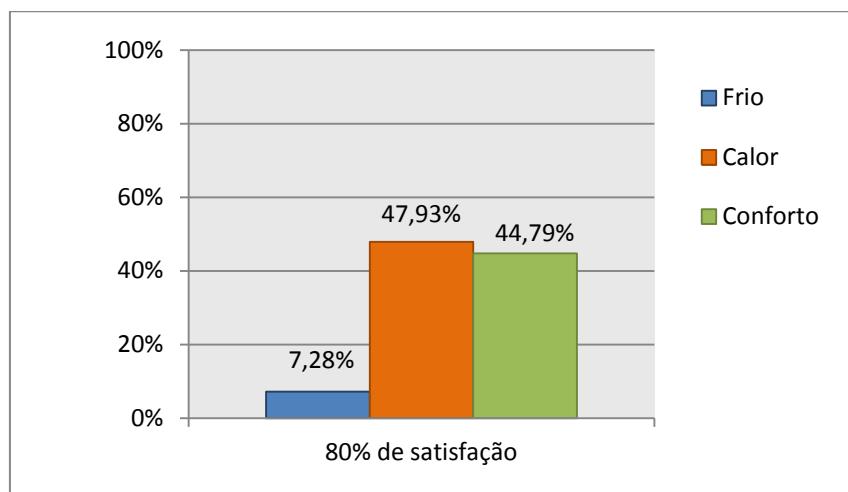
Fonte: os autores

Os casos 3 e 4 consideram a ação do vento, sendo o caso 3 com a chaminé operando e o caso 4 com a chaminé desligada, onde foi observada uma melhora significativa em relação aos casos anteriores. Porém estes dois casos

obtiveram exatamente a mesma porcentagem de horas em conforto e de horas em desconforto por calor e frio, chegando à conclusão que a chaminé solar, nesta configuração, possui um parcela muito pouco significativa. Isso nos leva a acreditar que o software desconsidera a parcela do efeito chaminé, pois a ventilação calculada apresentou-se muito mais significativa, ficando assim somente a parcela de maior vazão de ar para os cálculos.

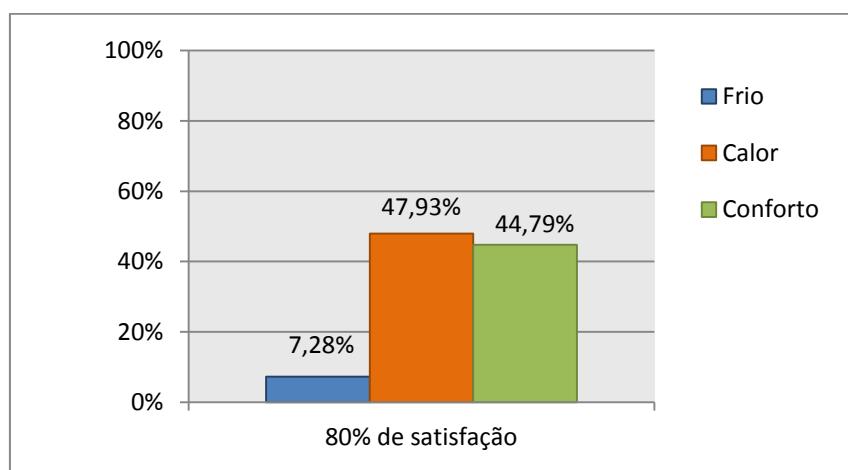
Os resultados do terceiro e quarto casos apresentaram um percentual de 7,28% das horas ocupadas em desconforto por frio, 47,93% em desconforto por calor e 44,79% de conforto, notando-se que com o uso da ventilação calculada, o conforto superou o desconforto por calor, que nos casos 1 e 2 estava muito mais elevado. Os resultados podem ser observados nas Figuras 6 e 7.

Figura 6: Percentual de horas de conforto e desconforto para o caso 3 (Chaminé solar operando com ventilação pela abertura)



Fonte: os autores

Figura 7: Percentual de horas de conforto e desconforto para o caso 4 (Chaminé solar desligada com ventilação de ar pela abertura)



Fonte: os autores

5 CONCLUSÕES

Esse estudo apresentou uma análise, através de simulações computacionais de diferentes casos, com o intuito de verificar se a estratégia de ventilação natural por efeito chaminé poderia contribuir no conforto térmico de um ambiente localizado na Zona Bioclimática Brasileira 2. A partir das simulações realizadas se observou que a estratégia de ventilação natural por efeito chaminé teve uma contribuição menos efetiva do que a ventilação pela ação do vento. Porém, é importante ressaltar que esta estratégia pode ser útil para essa zona, observando as possibilidades de manutenção da qualidade do ar.

Mesmo que no presente estudo, o efeito chaminé não tenha apresentado uma contribuição significativa em relação ao conforto térmico, acredita-se que este será importante para futuros trabalhos sobre estratégias de ventilação natural por efeito chaminé, principalmente estudos observando diferentes configurações da zona térmica variando a diferença entre a altura da de entrada e da saída de ar.

REFERÊNCIAS

- ASADI, Somaye; FAKHARI, Maryam; FAYAZ, Rima; MAHDAVIPARSA, Akram. **The effect of solar chimney layout on ventilation rate in buildings**. Energy and Buildings, 2016.
- ASHRAE STANDARD 55 – 2010. **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, GA, 2010.
- BANSAL, N. K.; MATHUR, R.; BHANDARI M. S. **Solar chimney for enhanced stack ventilation**. Building and Environment, v. 28, n. 3, p. 373-377, Jul. 1993.
- CIBSE. **Environmental design**, CIBSE Guide A, (seventh ed), Chartered Institution of Building Services Engineers, London (2006)
- COSTA, Ennio Cruz. Arquitetura Ecológica: condicionamento térmico natural. São Paulo: Edgard Blücher, 1982.
- DE DEAR, R.; BRAGER, G. **Developing an adaptive model of thermal comfort and preference**. *ASHRAE Transactions*, 104 (1): 145-167, 1998.
- INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Portaria n. 449/2010**: Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energetica de Edifícios Residenciais - RTQ-R. INMETRO, 2010.
- ENERGYPLUS. **EnergyPlus Input and Output Reference, EnergyPlus Version 8.3.**, The Board of Trustees of the University of Illinois and the Regent of the University of California through the Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, USA, 2015.
- NEVES, L. O. **Chaminé solar como elemento indutor de ventilação natural em edificações**. Programa de Pós Graduação: Arquitetura, Tecnologia e Cidade,

Universidade Estadual de Campinas (Tese de Doutorado), Campinas - SP, 2012, 142p.

SORGATO, M. J.; LAMBERTS, R. **Análise de Sensibilidade dos Parâmetros Utilizados para a Simulação Computacional de Ventilação Natural, no Desempenho Térmico de uma Edificação Residencial Unifamiliar.** Anais do XIV ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Juiz de Fora, p. 161-171, 2012.

SOUZA, H. A.; RODRIGUES, L., S. **Ventilação Natural como Estratégia para o Conforto Térmico em edificações.** Revista escolar de Minas, Ouro Preto, v. 65, n. 2, p. 189-194, Abr. Jun. 1993.