

FACHADAS DUPLAS EM CLIMA TROPICAL DE ALTITUDE: ANÁLISE DO POTENCIAL DE VENTILAÇÃO DE AMBIENTES POR MEIO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Sabrina Andrade Barbosa⁽¹⁾; Túlio Márcio de Salles Tibúrcio⁽²⁾ Joyce Correna Carlo⁽³⁾
Álvaro Messias Bigonha Tibiricá⁽⁴⁾

(1) Universidade Federal de Viçosa, s.andradebarbosa@gmail.com

(2) Universidade Federal de Viçosa, tiburcio@ufv.br

(3) Universidade Federal de Viçosa, correnacarlo@gmail.com

(4) Universidade Federal de Viçosa, alvaro.tibirica@ufv.br

Resumo

A fachada dupla consiste de duas camadas, em geral envidraçadas, que formam uma cavidade intermediária por onde o ar circula. Atualmente, o uso de fachadas duplas é mais popular em edifícios na Europa e a maioria das pesquisas são feitas principalmente em regiões de clima temperado. Porém, as mudanças econômicas em regiões de clima quente permitem a incorporação de inovações tecnológicas na arquitetura. Este trabalho investigou o potencial de uso da fachada dupla como elemento promotor de ventilação por feito chaminé em ambientes no clima tropical de altitude. A pesquisa utilizou a simulação computacional por meio de duas ferramentas: o programa EnergyPlus e o Ansys CFX, (CFD-Computer Fluid Dynamics). Foi necessário determinar alguns momentos representativos do ano, selecionando as horas em que as temperaturas da camada externa da fachada foram as mais quentes e as mais frias. Os resultados são apresentados por meio de imagens dos vetores e contornos de velocidade e temperatura do ar nos instantes finais de simulação e os valores obtidos foram plotados em um diagrama de zona de bem estar. Verificou-se que a fachada dupla tem potencial para gerar ventilação natural em edificações no clima tropical de altitude, embora o modelo estudado não tenha atendido às condições extremas de verão.

Palavras-chave: Edifícios Inteligentes, Fachadas Inteligentes, Fachadas Duplas, Ventilação por feito chaminé, Simulação Computacional.

Abstract

The double skin façade consists of two layers, usually glass made, creating an intermediate cavity allowing air circulation. Currently, the use of double skin façade in buildings is more popular in Europe and most research is conducted mainly in temperate regions. However, the economic changes in warm climates allow the incorporation of technological innovations in architecture. This study investigated the potential use of the double skin façade as a promoter element of natural ventilation in environments in the highland tropical climate. The research used a computer simulation using two tools: the EnergyPlus software and Ansys CFX, which is a CFD (Computer Fluid Dynamics) software. It was necessary to determine some representative times of the year, selecting the times at which the temperatures of the outer layer of the façade were the hottest and the coldest. The results are presented through images of the vectors and contours of velocity and air temperature in the final moments of simulation and the values obtained were plotted on a diagram wellness area. It was found that the double skin façade has the potential to create natural ventilation in buildings in the highland tropical climate, although the model studied did not meet the extreme conditions of summer.

Keywords: Intelligent Buildings, Intelligent Façades, Double Skin Façades, Natural Ventilation, Computational Simulation.

1. INTRODUÇÃO

Projetos conscientes sobre a preservação do meio ambiente e sobre a necessidade da economia de energia contribuem para a busca do desenvolvimento de novas tecnologias de fachadas. Segundo Baldinelli (2009) uma configuração de fachada que usa de sistemas solares passivos, tratando-se de um sofisticado sistema de regulação é a fachada dupla. O princípio básico de seu sistema está relacionado à adição de uma camada externa, formando uma cavidade entre ela e a fachada interior. Essa camada externa geralmente é construída com painéis de vidro montados sobre uma grade estrutural (HILMARSSON, 2008).

Zhou e Chen (2010) consideram que a fachada dupla é uma técnica desenvolvida para climas frios e que ganhou ampla aceitação e aplicação na Europa, América do Norte e Japão desde a década de 80. Porém, recentemente, com o rápido desenvolvimento econômico, novos edifícios com fachada dupla também apareceram em zonas de verão quente. Sabe-se que a aplicação de soluções desenvolvidas para climas frios pode gerar alto consumo energético e problemáticas condições de conforto interno em regiões de climas quentes.

O objetivo deste artigo é investigar o potencial de uso da fachada dupla como elemento promotor de ventilação por efeito chaminé em ambientes. Pretende-se levantar o potencial de ventilação por efeito chaminé em edifícios que utilizam fachadas duplas em climas tropicais de altitude. Além disso, o artigo tem o objetivo de integrar técnicas simulação por modelos de rede com técnicas de simulação CFD para análise do potencial de ventilação em edificação com fachada dupla.

2. VENTILAÇÃO NATURAL PROPORCIONADA PELA FACHADA DUPLA E O CLIMA TROPICAL DE ALTITUDE

Scigliano e Hollo (2001) explicam que no fenômeno do efeito chaminé, a recirculação do ar é criada pela diferença de densidade entre o ar mais quente e mais frio. O ar aquecido torna-se menos denso e, portanto, mais leve do que o ar mais frio. Assim, o ar mais quente tende a subir e o ar mais frio se desloca para tomar o lugar do ar quente.

Ding, Hasemi e Yamada (2005) avaliaram o desempenho da ventilação por efeito chaminé em uma fachada dupla, por meio da construção de um protótipo e simulação computacional. Eles explicaram que o ar do espaço intermediário é aquecido devido incidência da radiação solar. Com as aberturas das camadas da fachada dupla, o fluxo de ar é ativado pelo efeito chaminé. No verão, o ar que está com alta temperatura é extraído pela movimentação do ar, reduzindo o calor da cavidade. No inverno, as aberturas das camadas podem ser fechadas para evitar o escape do calor.

Portanto, a ventilação por efeito chaminé em ambientes com fachadas duplas, que é provocada pelo efeito chaminé, ativa as trocas convectivas da ambiente pela movimentação do ar na cavidade. O estudo deste fenômeno é importante para verificar o quanto a implantação de uma fachada dupla contribui na ventilação de uma edificação.

A análise do desempenho das fachadas duplas em clima tropical foi feita por meio dos dados climáticos específicos da cidade de Viçosa, MG (20° 45' 14" S 42° 52' 55" O), que segundo os arranjos propostos por Ross (2005), encontra-se no clima tropical de altitude. Guimarães e Carlo (2011) analisaram os dados climáticos de Viçosa e revelaram que essa cidade apresenta situação de desconforto em 61,6% do ano, sendo 48,2% por frio e 13,4% por calor. Assim, sugerem explorar as estratégias de aquecimento solar passivo (9,12% do ano) para o inverno e a ventilação natural (13,3% do ano) para o verão. Com relação à umidade, constatou-se que Viçosa é uma cidade de elevada umidade relativa e que as máximas se mantêm bem acima

dos limites de conforto durante todo o ano. Além disso, em geral, a radiação é bem distribuída entre os períodos da manhã e da tarde.

3. SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE FACHADAS DUPLAS

A simulação computacional é um recurso que pode contribuir com o desempenho de edificações. Para Hensen e Lamberts (2011) o desempenho da simulação computacional tem potencial para transmitir benefícios aos usuários, às edificações e ao meio ambiente. Predizer e analisar o comportamento futuro de um edifício é mais eficiente e econômico que resolver problemas quando o edifício já está em uso. Assim, a simulação ganha espaço no setor da construção por meio do reconhecimento de seu papel na previsão, avaliação e verificação do desempenho do edifício (HENSEN, 2008).

Segundo Manz e Frank (2005), alguns projetos envolvem temas complexos do ponto de vista físico, necessitando de uma investigação cuidadosa logo nos primeiros estágios de concepção, como é o caso de edifícios com fachadas duplas. A diversidade de formas de construção que podem alterar o comportamento térmico da fachada dupla e o grande número de parâmetros envolvidos leva à necessidade de criação de modelos e simulações. No entanto, não há uma ferramenta de programa única capaz de acomodar todos os níveis de modelagem dessa tipologia de fachada e o principal desafio é a interação entre os modelos (MANZ, FRANK; 2005).

Com relação à integração desses níveis, Pappas e Zhai (2008) explicam que a fachada dupla apresenta problemas em programas de simulação energética relacionado às dependências de análises precisas de ventilação, fluxo de ar através da cavidade, transferência de calor radiante, condutiva e convectiva através das áreas envidraçadas e na cavidade. Essas questões dependem da análise das simulações em CFD (*Computer Fluid Dynamics*). Porém, a maioria dos programas de CFD não tem a capacidade de analisar com precisão a incidência angular da radiação através das camadas, nem simular cargas de aquecimento e resfriamento do edifício, por exemplo. Essa análise fica a cargo dos programas de simulação energética. Os autores sugerem, então a união do CFD com EnergyPlus no processo de simulação.

4. MÉTODOS

O método utilizado consistiu em levantar por meio do EnergyPlus estimativas de temperatura para fachada dupla para posterior uso no software CFD para levantamento das taxas de ventilação por efeito chaminé. O modelo foi configurado, nos dois programas, sem os efeitos de vento e nem da umidade. Dessa forma, o diagrama escolhido para a análise dos resultados das condições de bem estar dentro do ambiente considera apenas a temperatura do ar local e sua velocidade, dados obtidos ao final das simulações. O processo adotado pode ser dividido em 4 etapas principais que incluem a proposição da geometria do modelo para simulação, a definição das modelagens e simulações nos softwares, a definição de casos representativos das condições climáticas do clima tropical de altitude e a análise dos dados gráficos e numérico obtidos no CFD.

4.1. Caracterização do modelo simulado

O modelo usado nas simulações possui 4 pavimentos, com área de 54m² cada e 3 m de pé direito. Os três últimos pavimentos possuem a fachada dupla, situada na face norte do edifício, pois é a face mais adequada para o aproveitamento da radiação solar na latitude de Viçosa no hemisfério sul. A Figura 1 apresenta a vista, o corte esquemático e a planta baixa do modelo base com fachada dupla.

O material utilizado na camada externa da fachada é vidro incolor de 4 mm e está afastado em 40 cm da camada interna, de alvenaria. O ambiente possui duas aberturas de 6m² centralizadas nas faces norte e sul do edifício, com 1m de peitoril. O modelo simulado apresenta aberturas livres em suas janelas, ou seja, elas encontram-se completamente abertas. Como usual em simulações numéricas, o tipo de esquadria é determinado pelo coeficiente de descarga, que é adimensional (menor que 1) e proporcional às perdas de energia do escoamento quando este passa por aberturas, orifícios, etc. Nesse caso, o coeficiente de 0,65 foi o utilizado se refere à esquadrias com bordas vivas.

As análises das simulações foram feitas para o terceiro pavimento, que é o único que possui as aberturas. Todas as paredes foram modeladas com uma camada interna e outra externa de argamassa de emboço e tijolo cerâmico de 6 furos no centro e as lajes de cobertura e piso são do tipo mista de 12 cm.

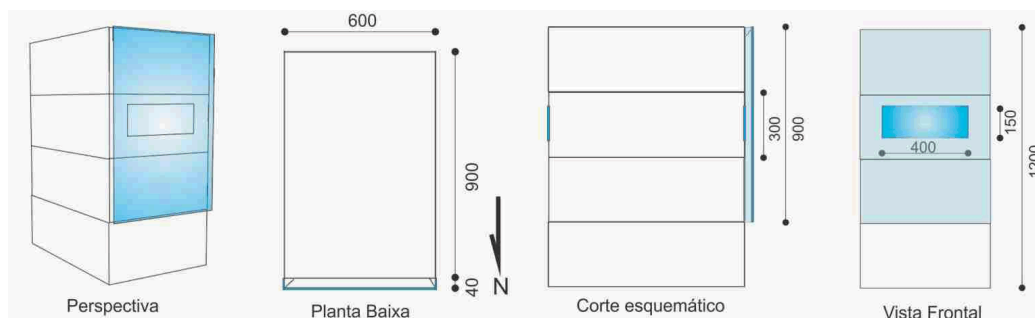


Figura 1 – Geometria do modelo para simulação.

Embora a legislação brasileira não permita tal tipologia, ela é um dos modelos mais básicos para investigações iniciais do potencial de ventilação de fachadas duplas. Em simulações computacionais, o domínio dos fenômenos básicos é essencial para elevar a complexidade do modelo. Portanto, o modelo foi selecionado como forma de subsidiar estudos futuros de outras tipologias com maiores divisões e obstruções, bem como outras configurações de aberturas e outros tipos de vidro.

4.2. Caracterização dos softwares utilizados

Para as simulações foram usados os programas EnergyPlus versão 6.0 e o Ansys CFX versão 11.0. A integração entre os dois programas foi necessária pela complexidade dos fenômenos físicos que ocorrem entre as camadas da fachada dupla e o ambiente interno.

O EnergyPlus é um programa de simulação em regime dinâmico, em que as alterações provocadas no modelo são contabilizadas nos cálculos subsequentes, ao longo do tempo. Ele é capaz de realizar esses cálculos para o ano completo. O programa utilizou como dados de entrada, o ‘arquivo climático’ TMY (2005-2010) da cidade de Viçosa MG.

O modelo para simulação em CFD é composto por uma malha construída a partir do volume que o fluido ocupa em uma geometria, na qual são inseridas as condições de contorno. Um sistema de equações diferenciais parciais de Conservação da Massa, do Momento Linear e de Energia é então resolvido numericamente para cada nó da malha.

Para a simulação de ventilação por efeito chaminé foi necessária a modelagem da geometria em dois domínios computacionais: um externo e outro interno. A geometria do modelo externo representa o escoamento atmosférico, ou seja, é utilizada para modelar o ar presente ao redor do ambiente de interesse. A cavidade e a camada externa da fachada dupla foram modeladas neste domínio. O domínio interno representa o ambiente interno, com suas aberturas. Esta forma de modelagem partiu do modelo proposto por Neto *et al.* (2011).

4.3. Métodos de simulação

O modelo de rede de ventilação do programa é incapaz de simular o efeito chaminé da cavidade simultaneamente às trocas de ar entre zonas e o meio externo. Assim, o programa não considera as interações de fluxo de ar que percorre a cavidade e o ambiente interno. Na simulação da chaminé térmica só é contabilizada a contribuição térmica da chaminé (trocas radiantes, convectivas e condutivas), mas não as trocas de massa em si. Neste caso, as direções de velocidades do vento foram zeradas, formando um novo arquivo climático com os dados de Viçosa em situação de calmaria. Portanto, as simulações foram realizadas sem a presença da ventilação por diferença de pressão.

Para compensar esta limitação, o modelo do EnergyPlus foi integrado ao modelo de ventilação do CFD. Assim, a partir da modelagem do ambiente com fachada dupla no EnergyPlus, foram obtidas do ar exterior e do ar interior.

Os modelos foram executados no Ansys CFX SOLVER (CFD) sob regime transiente (refere-se à simulação que considera as mudanças no comportamento do fluido ao longo do tempo). O intervalo de tempo que o programa faz uma simulação completa (*time step*) foi de 1s e tempo total de 300s. A segunda fase permitiu a análise das condições de escoamento do ar no ambiente interno em função da fachada dupla.

Os casos foram modelados sem outras fontes de calor presentes no ambiente como, por exemplo, a presença de pessoas, equipamentos e iluminação. Assim, os modelos levam em consideração apenas a contribuição das diferenças de temperatura nas superfícies e no ar para ventilação local. O estudo das aberturas partiu do princípio de que o clima em análise, ameno em relação aos climas frios onde a fachada dupla foi criada, não requer fechamento das aberturas na cavidade. Dessa forma, nas simulações, as aberturas do topo e base da cavidade da fachada dupla permaneceram abertas.

4.4. Seleção de momentos de simulação para análise

O programa EnergyPlus é capaz de simular as condições do ambiente construído durante todas as horas do ano. Contudo, o programa CFD analisa apenas uma condição específica. Assim, foi necessário definir algumas condições representativas do ano. Foram selecionadas as horas, entre 8h até às 18h, em que as temperaturas da camada externa da fachada foram as mais quentes e mais frias do período de inverno e verão. O método utilizado foi baseado na frequência de ocorrência das temperaturas superficiais da face interna da camada externa da fachada dupla avaliadas a cada 1°C de intervalo para o período de inverno (21 de junho a 23 de setembro) e de verão (21 de dezembro a 21 de março), separadamente.

A partir da frequência de ocorrência das temperaturas superficiais da camada externa, foram eliminados os 5% dos dados de temperatura mais baixa e os 5% dos dados de temperatura mais alta da camada externa da fachada. Foi possível delimitar os limites mínimos e máximos das temperaturas superficiais do vidro da camada externa da fachada dupla, a partir do intervalo de dados remanescentes. Assim, foram identificados os valores extremos da temperatura da camada externa da fachada, para o verão e o inverno. As condições de velocidade e temperatura do ar analisadas são referenciais, pois não há como avaliar as situações horárias do ano completo. Deste modo, para a grande parte dos demais momentos do ano, as situações de temperatura e velocidade do ar encontram-se entre os extremos identificados.

Em seguida, foram identificadas as temperaturas das demais superfícies e do ar. Para isso, foram calculadas as médias das temperaturas superficiais das faces da camada externa da

fachada, das faces do ambiente interno, das temperaturas do ar do ambiente interno e da atmosfera quando o intervalo da temperatura da camada externa da fachada está até 0,9°C acima da temperatura identificada como extrema.

Roedler (1957, citado por MACINTYRE, 2008) apresentou um diagrama que limita a zona de conforto térmico considerando a temperatura do ar local e sua velocidade. Como pode ser observado, o diagrama indica que quanto maior a temperatura do ar, maior deverá ser sua velocidade para que seja configurada uma situação de conforto. Ele não considera, porém, a umidade relativa do ar no recinto. De forma complementar, para verificar se os casos simulados se enquadram uma situação de bem estar, foram plotados no gráfico de Zona de bem estar de Roedler os valores de velocidade e temperatura do ar, que correspondem às médias obtidas de todo o ambiente para os casos extremos de inverno e verão.

5. RESULTADOS

As frequências de ocorrência das temperaturas do vidro da camada externa da fachada para inverno e verão foram usadas para determinar as condições de contorno usadas nas simulações. Destaca-se que este estudo se refere apenas ao desempenho da fachada, ou seja, ocorre com condições de vento zero.

O período de verão possui alta taxa de nebulosidade, além de elevada altura solar, o que limita a incidência solar na fachada e conseqüentemente, o aumento da temperatura do vidro, deixando-o com temperatura mais próxima do ar externo. Por outro lado, no inverno, a baixa altura solar e a baixa nebulosidade justificam o aumento da temperatura da camada externa em valores superiores ao período de verão. A Tabela 1 apresenta os valores das condições de contorno usadas nas simulações.

O instante inicial na simulação equivale às condições externas, pois nesse momento o ar que entra no ambiente é proveniente do exterior. Os resultados obtidos de temperatura e velocidade do ar ao final das simulações equivalem às condições obtidas com o efeito da chaminé térmica. Dessa forma, foi possível relacionar as condições externas com a do ambiente, após a inclusão da fachada dupla.

Período	Limite	Temperatura (°C)				
		Camada externa	Superfícies da Cavidade	Superfícies do Ambiente interno	Inicial do ar do ambiente	Inicial do ar da atmosfera
Verão	Mín.	22,5	23,9	23,7	23,7	22,7
	Máx.	34,5	34,3	26,2	26,6	27,6
Inverno	Mín.	16,5	17,0	18,3	18,4	15,0
	Máx.	36,5	34,5	22,5	23,0	26,0

Tabela 1 - Valores usados como condições de contorno: casos extremos.

5.1. Inverno

As condições climáticas identificadas como extrema mínima de inverno levaram em consideração os casos em que a camada externa da fachada dupla possui temperaturas entre 16 e 16,9°C. Esses valores ocorrem ao longo de todo o dia no período de inverno, sendo que cerca de 62% deles ocorrem no início da manhã (8 e 9h) e no final da tarde (17 e 18h).

A Figura 3 (a) e (b) apresenta os contornos de velocidade e temperatura nos instantes finais de simulação em um plano horizontal situado a 1,2m do piso, para o caso extremo mínimo de inverno. O valor encontrado para temperatura do ar interno no momento final é de aproximadamente 16°C, 2,4°C abaixo do instante inicial, o que pode ser explicado pela

entrada de ar externo a uma temperatura mais baixa (15°C) que o ar do ambiente. A Figura 3a que apresenta a velocidade do ar no plano, possui uma distribuição de velocidade desuniforme variando entre valores próximos de 0m/s até cerca de 0,4m/s.

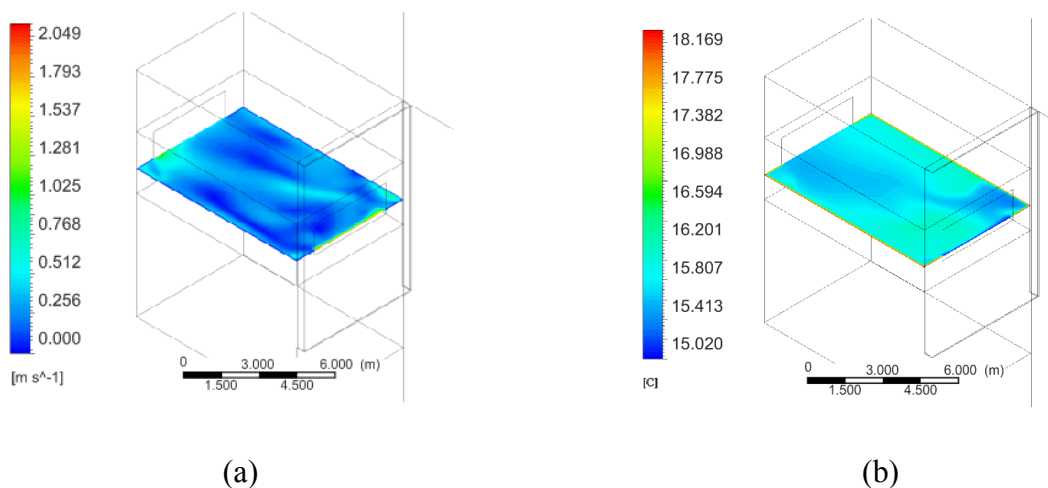


Figura 2 – Contornos de (a) velocidade e (b) de temperatura para um plano horizontal para o caso extremo mínimo de inverno.

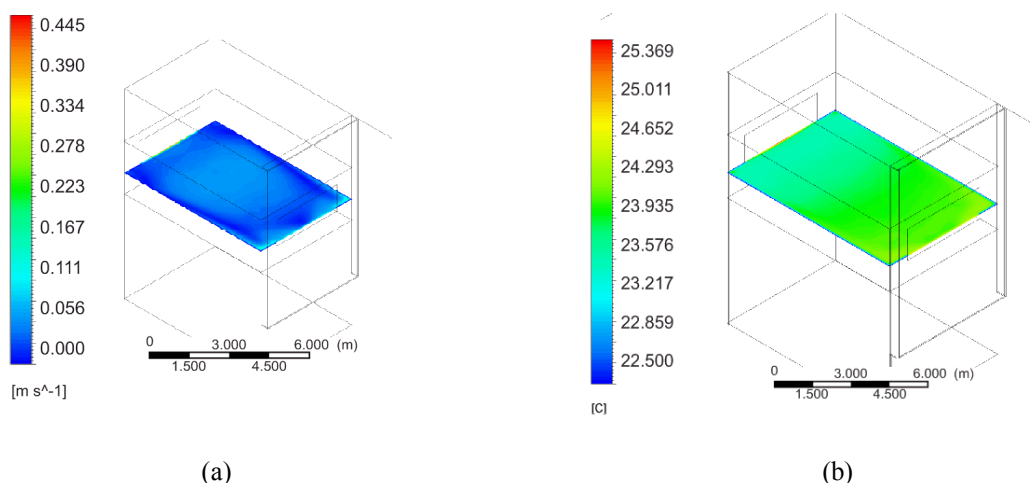


Figura 3 – Contornos de (a) velocidade e (b) de temperatura para um plano horizontal para o caso extremo máximo de inverno.

Para o modelo que representa o caso extremo máximo de inverno, a velocidade no plano horizontal localizado a 1,2m do piso, é de cerca de 0,07m/s para o ar do ambiente interno (Figura 4a). Os contornos de temperatura apresentados para o instante final da simulação (Figura 4b) indicam que o ar chega a aproximadamente 24°C.

Para verificar se os casos simulados se enquadram em uma situação de conforto, os valores de velocidade e temperatura do ar correspondentes aos casos extremos mínimo e máximo de inverno foram plotados no gráfico de Zona de bem estar de Roedler (Figura 7).

Tanto o caso extremo mínimo, quanto o caso extremo máximo estão fora da zona de conforto estabelecida por Roedler. O caso extremo mínimo tinha a temperatura inicial do ar a 18,4°C configurada em uma situação próxima ao limite de desconforto por frio. Neste caso, a estratégia mais adequada seria diminuir a quantidade de ventilação neste ambiente, com o fechamento das aberturas, deixando apenas a infiltração adequada para renovação do ar. Dessa forma, a temperatura do ar teria se mantido próxima ao valor inicial, com ventilação adequada.

O modelo que representa o caso extremo máximo de inverno finalizou a simulação com a temperatura do ar a 24°C. O gráfico indica que esta temperatura requer ventilação mínima de 0,15m/s, cerca de 0,1m/s maior que a obtida. Assim, o uso de uma estratégia para elevar a ventilação provocada pela fachada dupla pode ser suficiente para enquadrar o caso em uma situação de conforto.

5.2. Verão

Para os modelos representativos dos casos extremos mínimo e máximo de verão, foram escolhidos os momentos em que a camada externa da fachada dupla possui temperaturas entre 22 e 22,9°C e 34 e 34,9 °C, respectivamente. Para o caso extremo mínimo de verão, a temperatura do ar local, que inicialmente era de 23,7°C abaixou para aproximadamente 23°C no instante final, conforme mostrado na Figura 5b. A velocidade do ar encontrada para um plano na mesma altura é de cerca de 0,1m/s (Figura 5a).

Os resultados da simulação do caso extremo máximo de verão indicam que a velocidade do ar no ambiente no instante final varia de 0 m/s a 0,17m/s no centro do ambiente e temperatura de cerca de 27°C, para um plano horizontal situado a 1,2m do piso (Figuras 6^a e 6b).

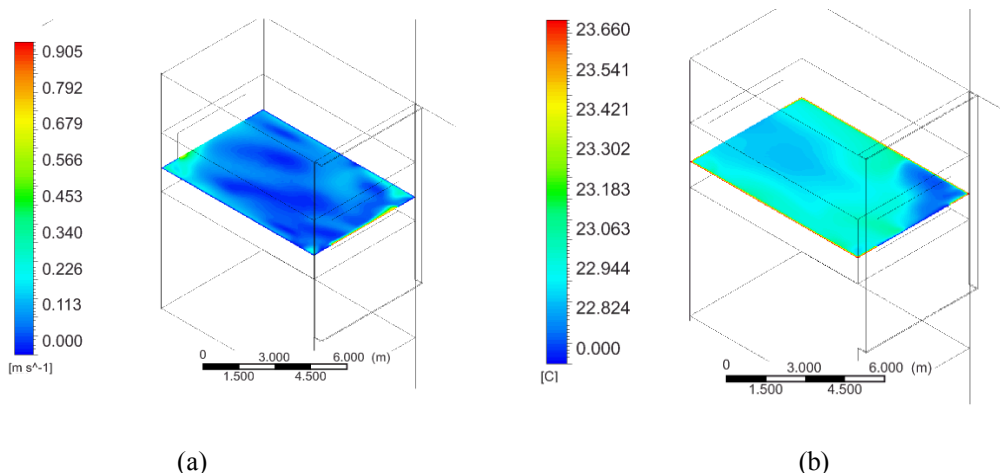


Figura 5 - Contornos de (a) velocidade e (b) de temperatura para um plano horizontal para o caso extremo mínimo de verão.

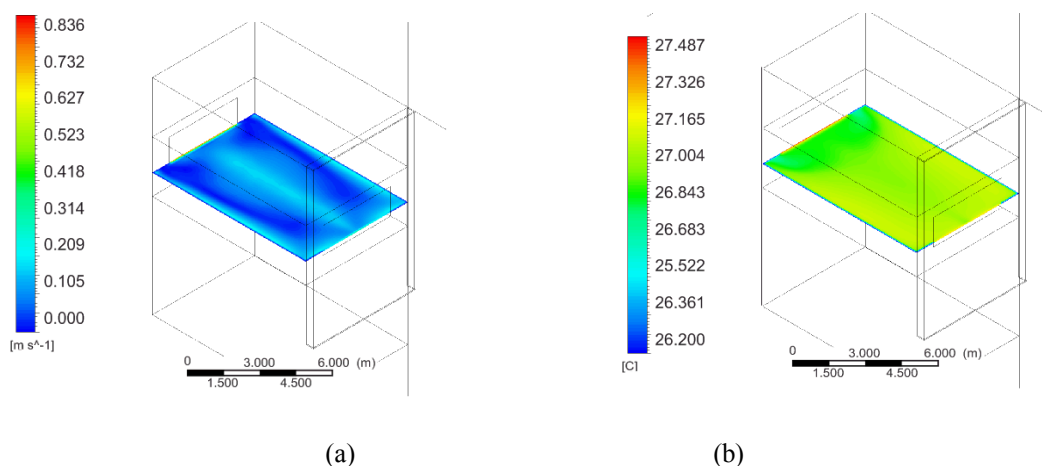


Figura 6 - Contornos de (a) velocidade e (b) de temperatura para um plano horizontal para o caso extremo máximo de verão.

Da mesma forma que para o período de inverno, os valores extraídos para temperatura e velocidade média do ar para os casos de verão, foram também plotados no gráfico de Roedler (Figura 8). O caso extremo mínimo de verão está localizado dentro da área estabelecida como

condições agradáveis de conforto térmico. Isso indica que nos momentos do dia em que a radiação incidente está mais baixa, a fachada dupla pode ser suficiente para assegurar condições de ventilação adequada ao ambiente.

O caso extremo máximo está fora da área de conforto devido à entrada no ambiente do ar aquecido vindo da atmosfera. Neste caso, a fachada dupla, que é um sistema passivo que utiliza das condições climáticas externas, não é suficiente para promover conforto térmico devido à alta temperatura do ar externo.

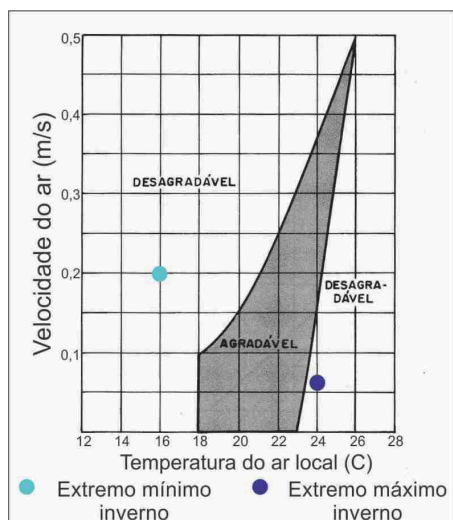


Figura 7 - Plotagem de velocidade e temperatura para os casos de inverno no gráfico de Roedler.

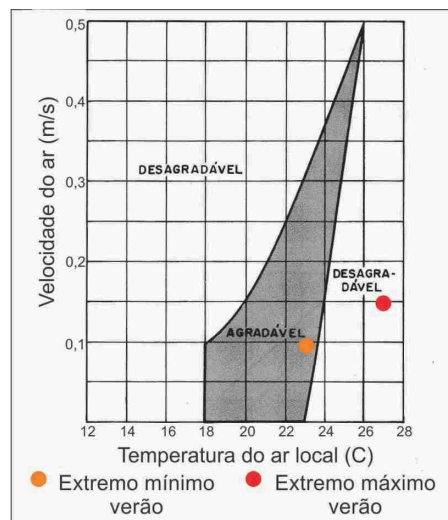


Figura 4 – Plotagem de velocidade e temperatura para os casos de verão no gráfico de Roedler.

6. CONCLUSÕES

Verificou-se que a fachada dupla pode ser benéfica para o ambiente construído, confirmando seu potencial para gerar ventilação por efeito chaminé em edificações no clima tropical de altitude, embora o modelo estudado não tenha atendido às condições extremas de verão. Os resultados de taxa de renovação de ar no ambiente para os casos extremos de inverno são: 105 (renov./h) para o extremo mínimo e 10 (renov./h) para o extremo máximo. No período de verão obteve-se 47 (renov./h) no momento extremo mínimo e 17 (renov./h) no caso extremo máximo. Os valores de taxa de renovação de ar encontrados tanto para os casos de inverno, quanto para os casos de verão estão acima das recomendações mínimas estabelecidas por Macintyre (2008), para um ambiente que funcione como auditório. O mesmo pode ser dito em relação aos parâmetros estabelecidos pelo Ministério da Saúde (BRASIL, 1998), quando a ocupação for de 40 pessoas.

Para os modelos que representam o período de inverno, no caso em que em que a incidência solar na fachada não é suficiente para elevar a temperatura do ar da cavidade consideravelmente acima do ar externo, a temperatura do ar externo é baixa e, não há necessidade de ventilação para resfriamento do ar. Para o modelo que representa os momentos mais quentes do dia, observa-se necessidade de mais ventilação no ambiente para proporcionar conforto térmico. É possível que outras configurações de fachada dupla sejam capazes de promover a ventilação adequada para estes momentos.

Para o período de verão, o caso que representa os momentos do início da manhã (8h) ou do fim da tarde (18h) se enquadrou, ao final da simulação, em uma faixa de conforto térmico agradável, considerando a temperatura e velocidade do ar local. Porém, nos períodos mais quentes do dia, a temperatura inicial do ar da atmosfera é elevada. Como o sistema

apresentado neste trabalho utiliza o ar da atmosfera para ventilar o ambiente, em momentos em que a temperatura do ar da atmosfera for elevada, o sistema não será capaz de manter o ambiente em conforto térmico.

REFERÊNCIAS

- BALDINELLI, G. Double skin facades for warm climate regions: Analysis of a solution with an integrated movable shading system. In: **Building and Environment**. Oxford: Elsevier, 2009. v. 44, pp. 1107–1118.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 3523, 28 ago 1998. Diário Oficial da União, Brasília, 31/08/1998. Seção 1;40-42.
- DING, Wenting; HASEMI, Yuji; YAMADA, Tokiyoshi. Natural ventilation performance of a double-skin facade with a solar chimney. In: **Energy and Buildings**. Oxford: Elsevier, 2005. v.37, pp. 411–418.
- GUIMARÃES, Ítalo Bruno Baleeiro; CARLO, Joyce Correna. Caracterização bioclimática da cidade de viçosa-MG. In: ENCAC 2011. **Anais...** Búzios, 2011.
- HENSEN, Jan L. M. LAMBERTS, Roberto. Introduction to building performance simulation. In: _____ (Org.). **Building performance simulation for design and operation**. New York: Spon Press, 2011. cap.1, p.1-14.
- HENSEN, Jan L.M. On building performance simulation in a Changing environment. Proceedings... Seminário Building Performance Simulation for Design and Operation, Brasil, 2008. Disponível em: http://www.bwk.tue.nl/bps/hensen/publications/07_kgh_hensen_english.pdf Acesso em 24 de março de 2011.
- HILMARSSON, Jón Gunnar. Double skin facade Evaluating the Viability of the Component. Copenhagen Technical Academy Construction Architect, International Line, 2008. Disponível em: http://www.siteas.dk/systemImage/double_skin_facade.pdf Acesso em: 20 de março de 2011.
- MACINTYRE, Archibald Joseph. **Ventilação industrial e controle da poluição**. Rio de Janeiro: LTC, 2008.
- MANZ, H.; FRANK, Th. Thermal simulation of buildings with double-skin facades. In: **Energy and Buildings**. Oxford: Elsevier, 2005. v.37, pp. 1114–1121.
- MARCONDES, Mônica Pereira. **Soluções projetuais de fachadas para edifícios de escritórios com ventilação natural em São Paulo**. 244p. Tese (Doutorado Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.
- NETO, Ronaldo Horácio Cumplido; TIBIRIÇÁ, Álvaro Messias Bigonha; TIBIRIÇÁ, Antônio Cleber Gonçalves; CAMPOS, Júlio César Costa. Um roteiro para simulação CFD de ventilação natural por ação dos ventos em edificações. In: ENCAC 2011. **Anais...** Búzios, 2011.
- PAPPAS, Alexandra; ZHAI, Zhiqiang. ENERGY SIMULATION OF A DOUBLE SKIN FACADE: A PROCESS USING CFD AND ENERGYPLUS. **Proceedings...** Second National IBPSA-USA Conference. Cambridge, 2006.
- ROSS, Jurandy L. Sanches (Org.). **Geografia do Brasil**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2005.
- SCIGLIANO, Sérgio; HOLLO, Vilson. **Índice de ventilação natural**. São Paulo: PINI, 2001.
- ZHOU, Juan; CHEN, Youming. A review on applying ventilated double-skin facade to buildings in hot-summer and cold-winter zone in China. In: **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. Oxford: Elsevier, 2010. v.14, pp. 1321–1328.
- WONG, P.C.; PRASAD, D.; BEHNIA, M. A new type of double-skin facade configuration for the hot and humid climate. In: **Energy and Buildings**. Oxford: Elsevier, 2008. v.40, pp. 1941–1945.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à FAPEMIG pela concessão de bolsa para a realização da pesquisa na UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA e ao Grupo de Pesquisa INOVA - Inovações Tecnológicas: Impacto da Tecnologia na Produção da Arquitetura e do Urbanismo.