

O Impacto da Fachada Dupla Ventilada no Desempenho Termo Energético de Edifícios de Escritório em Belo Horizonte/MG

Ruben Gonçalves Do Vale¹

Centro Universitário Metodista Izabela Hendrix

RESUMO

Este artigo apresenta os resultados do Trabalho Final de Graduação, que analisou o impacto da fachada dupla ventilada no desempenho termo energético de edifícios de escritórios, no contexto climático da cidade de Belo Horizonte/MG. Primeiramente caracterizou-se o sistema, apresentando seu histórico, os pressupostos que o fizeram reconhecido como solução em eficiência energética e conforto ambiental, além dos critérios para classificação da fachada dupla ventilada. Realizou-se um estudo de caso comparativo, por meio de simulações computacionais parametrizadas no programa Open Studio®, afim de avaliar o desempenho da fachada dupla ventilada frente a fachada convencional. Os modelos geométricos simulados representam o padrão arquitetônico e construtivo encontrado no mercado. Para análise de dados, foram selecionados os meses e dias típicos de inverno e verão, respectivamente junho e dezembro. Os resultados demonstraram uma melhora no conforto térmico interno na edificação e conseqüentemente da eficiência energética, a partir da aplicação da fachada dupla ventilada.

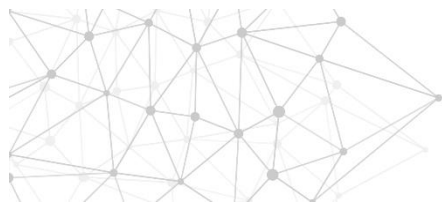
Palavras-chave: Desempenho termo energético; Edifícios de escritórios; Eficiência energética; Fachada dupla ventilada; Ventilação natural.

1. INTRODUÇÃO

A crise energética internacional ocorrida na década de 1970, foi o catalisador para uma ampla discussão sobre a sustentabilidade no desenvolvimento das atividades econômicas. A partir da crise, identificou-se em diversos seguimentos do mercado, especialmente na arquitetura e construção, a importância da eficiência energética e conforto térmico, como meio de reduzir o consumo de energia nas edificações e melhorar a qualidade do espaço construído. Entretanto, segundo o Internacional Energy Outlook (EIA, 2017) apesar dos esforços nesse sentido, houve uma escalada no consumo energético global na última década, principalmente no setor elétrico, resultando no aumento dos custos em geração e distribuição impactando no preço final.

No âmbito dos edifícios comerciais e públicos, os sistemas de ar condicionado são os maiores consumidores de energia, cerca de 20% a 60% da demanda energética predial deve-se a climatização artificial (GAUZIN-MÜLLER, 2002). No Brasil, segundo a Eletrobrás (2007) o

¹ Graduado em Arquitetura e Urbanismo pelo CEUMIH. E-mail: rubenvalearq@outlook.com

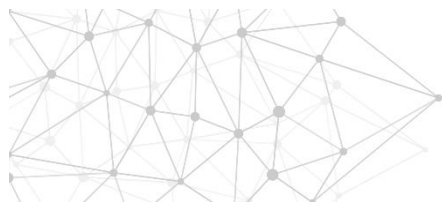


consumo por sistemas de ar condicionado representa quase 50% da demanda de todo o setor elétrico nacional. Nesse contexto, a busca por uma produção imobiliária mais sustentável, tecnológica e eficiente, é fundamental para a otimização do consumo de energia, limitação nas emissões de CO₂ e melhora do conforto ambiental para os usuários. Portanto, é de suma importância o emprego de estratégias passivas, que por meio da arquitetura e design do edifício, auxiliem na diminuição do uso de sistemas de condicionamento artificial.

Nas últimas décadas, diversas normas e certificações foram desenvolvidas com objetivo de balizar e melhorar o desempenho energético das edificações. No Brasil, os principais exemplos são: Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações – PROCEL EDIFICA (2003); NBR 15.220 (2003) – Norma Desempenho Térmico de Edificações; Etiqueta Nacional de Conservação de Energia – ENCE (2005); Regulamento Técnico de Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-c); Regulamento Técnico de Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-r). No âmbito internacional destacam-se as normas, *Réglementation Thermique RT* (2000 a 2012) na França, *Energieeinsparverordnung EnEV* (2002, 2004 e 2008) que substituiu o *WSchVo* (1977 a 1995) na Alemanha, *ASHRAE 55* (1996, 2004 e 2017) nos Estados Unidos. Entre as principais certificações internacionais está o BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*) na Inglaterra, LEED (*Leadership in Energy and Environment Design*) nos Estados Unidos, o Passivhaus e DGNB na Alemanha.

A alta demanda por espaço nas grandes cidades, tem levado cada vez mais a verticalização, cuja a expansão se deu a partir dos avanços tecnológicos na construção civil, e invenções singulares como por exemplo, o elevador elétrico e o sistema de ar-condicionado. Houve também, significativo progresso na produção dos perfis metálicos e elementos translúcidos, possibilitando que as fachadas se tornassem independentes da estrutura. Com efeito, os edifícios passaram ser construídos com envoltórias predominantemente envidraçadas, total ou parcialmente seladas, do tipo “cortina de vidro”, operando quase exclusivamente sob sistemas artificiais de condicionamento, acarretando em ganhos adicionais de carga térmica devido a radiação solar incidente, resultando em baixos índices de conforto e ineficiência energética.

Os edifícios de escritórios projetados e construídos atualmente, são em sua maioria definidos por grandes fachadas de vidro seladas devido ao microclima urbano, pavimentos profundos afim de proporcionar o maior agrupamento de recursos, em pessoas e equipamentos, plantas normalmente quadradas ou retangulares com núcleos centrais de circulação vertical. Estes aspectos tornam os sistemas de ar condicionado imprescindíveis nos espaços internos, elevando



de forma considerável o consumo energético predial. A demanda estética por fachadas envidraçadas em edifícios corporativos, bem como, a necessidade de melhoria no desempenho termo acústico das envoltórias e de redução dos gastos em energia, fizeram da fachada dupla ventilada uma tendência na arquitetura mundial (POIRAZIS, 2004).

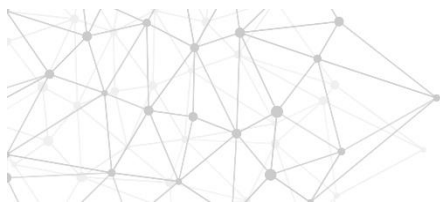
Diversos autores realizaram estudos sobre o sistema afim de melhor compreender seu funcionamento e influência no desempenho termo energético dos edifícios, em diferentes contextos climáticos. Estes indicam o sistema como uma estratégia passiva eficiente, devido ao seu potencial de controle da carga térmica e promoção de conforto através da ventilação natural. Todavia, no Brasil, a fachada dupla ventilada ainda é uma tecnologia pouco explorada, carecendo de mais pesquisas e experiências empíricas de aplicação do sistema, afim de analisar o seu comportamento no complexo clima nacional.

2. METODOLOGIA

O foco da pesquisa é corroborar a teoria de que, a aplicação da fachada dupla ventilada em edifícios de escritórios, melhora a eficiência energética e o conforto dos usuários no ambiente construído. O cenário climático no qual se insere este estudo é a cidade de Belo Horizonte, uma das maiores e mais importantes capitais do país, localizada no estado de Minas Gerais, na região sudeste do Brasil, caracterizada pelo clima tropical. Utilizou-se o método de pesquisa descritivo, examinando os principais aspectos que envolvem o sistema de fachada dupla ventilada, e o método experimental, afim de analisar cientificamente a influência dessa tecnologia no desempenho termo energético predial. Para isso, foi realizado um estudo de caso comparativo entre a fachada dupla ventilada e a fachada convencional, mediante a simulações em modelos geométricos parametrizados no *software* Open Studio®. O objetivo foi verificar o desempenho do edifício contrapondo estas duas tipologias de envoltória, sendo então apresentados e analisados comparativamente os resultados obtidos nos ensaios simulatórios, sendo também discutidos os principais pontos dessa pesquisa nas considerações finais.

3. FACHADA DUPLA VENTILADA

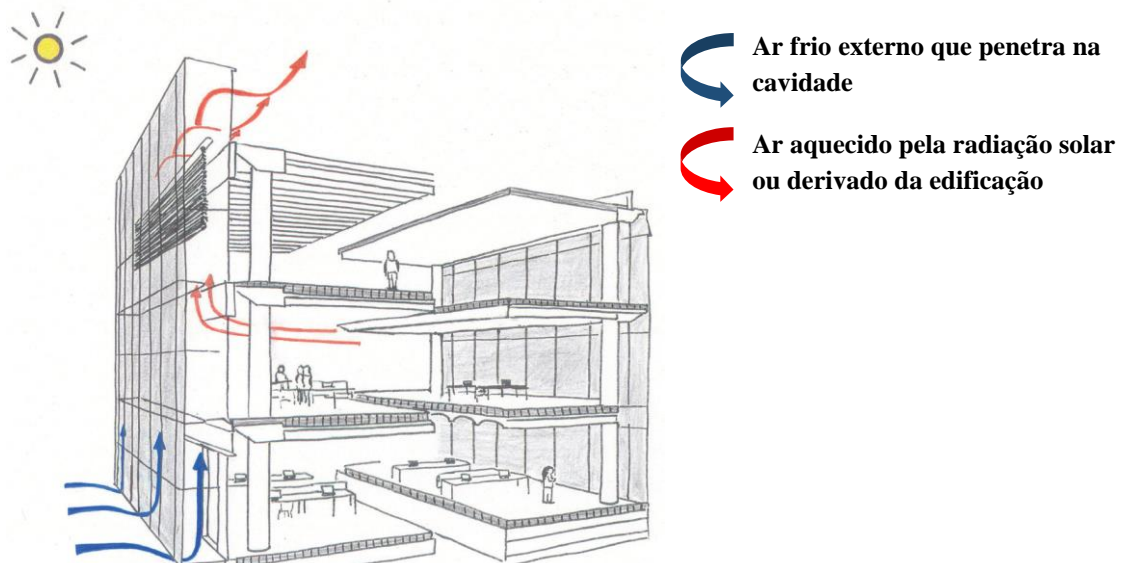
A fachada é o elemento mediador entre o ambiente externo e interno, responsável pelas trocas térmicas, controle solar e de ventilação natural que penetra o edifício. Portanto, a envoltória é o componente que exerce maior influência no desempenho termo energético e no conforto dos usuários. Nos anos 1990, difundiu-se na Europa, EUA, Austrália e Canadá, por meio da arquitetura eco-tech, a *double skin facade*, tradução livre “fachada pele dupla”, sistema caracterizado pela existência de duas camadas de vidro paralelas, separadas por uma cavidade



intermediária, podendo esta ser ventilada ou não, conectando vários andares. Essa tecnologia originada no início do século XX, utilizada pela primeira vez em 1903, numa fábrica na cidade de Giengen an der Brenz, Alemanha, foi reinventada nos anos 1980, sendo utilizada em edifícios comerciais visando a manutenção do marco estético arquitetônico proporcionado pela transparência dos planos de vidro, sem comprometer a eficiência termo energética.

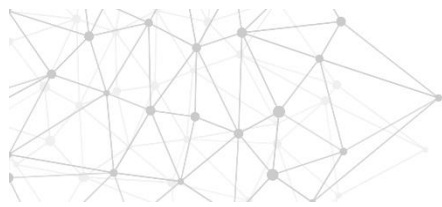
Segundo Poirazis (2004), a fachada dupla ventilada é composta por duas peles de vidro simples ou laminado, instaladas paralelamente, separadas por uma cavidade ventilada cujo o diâmetro pode variar de 20cm a 2m, afim de permitir o fluxo do ar no canal intermediário, a ventilação na mesma pode ser natural ou forçada. O ar que circula na cavidade pode ser direcionado para o ambiente interno ou dissipado externamente, de acordo com as condições climáticas locais e a demanda do edifício. Estes aspectos distinguem a fachada dupla das envoltórias convencionais de vidro duplo ou triplo, devido ao comportamento físico do sistema.

FIGURA 1. Funcionamento esquemático da fachada dupla ventilada por chaminé térmica.



Fonte: Poirazis, 2006.

O fenômeno físico responsável pelo funcionamento da fachada dupla ventilada é conhecido como *stack effect*, ou chaminé térmica, o ar frio penetra na cavidade por uma abertura inferior, é aquecido pela radiação solar que incide sobre a camada externa de vidro, perdendo assim densidade, sendo dissipado por uma abertura superior (FIGURA 1). O fluxo de ar na fachada é constante devido à sobre-pressão na base e sub-pressão no topo da cavidade, diminuindo as trocas térmicas na envoltória, mantendo estáveis e teoricamente em conforto as temperaturas internas, reduzindo assim a demanda por funcionamento de sistemas de ar condicionado e consequentemente o consumo em energia do edifício.



A aplicação da fachada dupla ventilada se deve ao potencial de redução da carga térmica interna no verão e controle da perda de calor no inverno, ambos de forma passiva. Nos meses mais frios, o ar dentro da cavidade é aquecido pela radiação solar que incidente sobre a fachada, diminuindo a perda de calor na edificação, o ar quente pode ainda ser insuflado para o interior do edifício, ou ser mantido na cavidade através do fechamento das aberturas da mesma. Nos meses de calor, o efeito chaminé térmica provoca trocas constantes de ar na cavidade, evitando o sobreaquecimento da envoltória e diminuindo a amplitude térmica interna, existindo também a possibilidade do ar externo, quando mais frio, seja utilizado para ventilação predial.

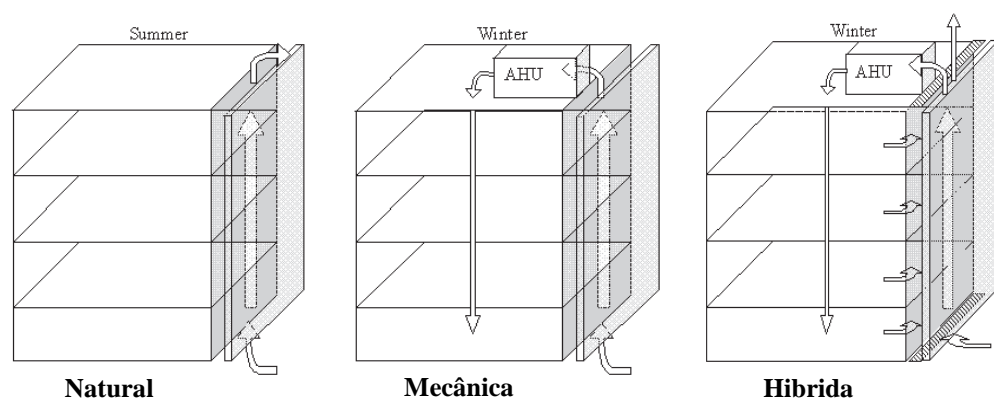
A fachada dupla ventilada é um sistema climaticamente ativo, como apontou Streicher (2005), o que a difere das fachadas convencionais, proporcionando benefícios que vão além da ventilação natural como: criação de zona de transição térmica; controle de radiação solar; proteção contra ventos fortes e outros fenômenos climáticos, permitindo a abertura de janelas em edifícios altos; isolamento termo acústico, essencial no microclima urbano; proteção contra incêndios; segurança patrimonial; minimização da dilatação estrutural do edifício; estética arquitetônica; entre outros. Todavia, é importante ressaltar a complexidade do sistema, envolvendo diversos parâmetros e variáveis que influenciam no seu desempenho, além do custo elevado para sua implementação, demandando estudos de projeto e planejamento econômico, afim de antever o seu desempenho, projetar o retorno de investimento, evitando efeitos reversos.

3.1 Classificação da Fachada Dupla Ventilada

O relatório *Belgian Building Research Institute* (BBRI, 2004), define os três critérios principais para a classificação do sistema de fachada dupla ventilada, são eles:

- Tipo de ventilação (FIGURA 2):

FIGURA 2. Tipos de ventilação na cavidade da fachada dupla.

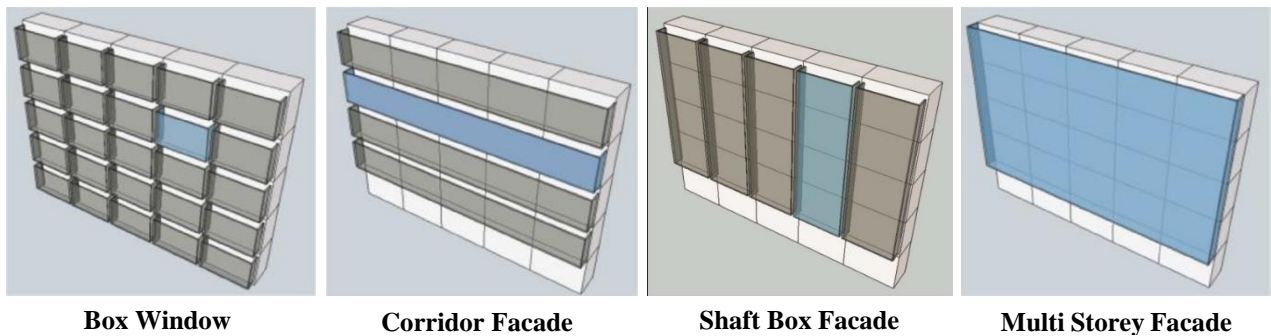


Fonte: Poirazis, 2004.



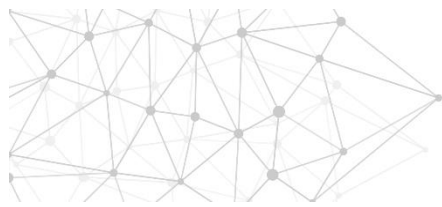
- **Ventilação Natural (passiva):** pela diferença de pressão entre o ar aquecido na cavidade e o ar frio externo, fenômeno físico conhecido como chaminé térmica.
- **Ventilação Mecânica (ativa):** depende de sistemas mecanizados para ventilação forçada e movimentação do ar na cavidade para que ocorra o efeito de chaminé térmica.
- **Ventilação Híbrida (combinação):** quando a velocidade do ar e pressão no interior da cavidade ficam abaixo do necessário a ventilação mecânica funciona como apoio à ventilação natural, por meio de um sistema automatizado.
- **Compartimentação da fachada dupla ventilada (FIGURA 3):**

FIGURA 3. Perspectivas geométricas dos tipos de compartimentação da fachada dupla ventilada



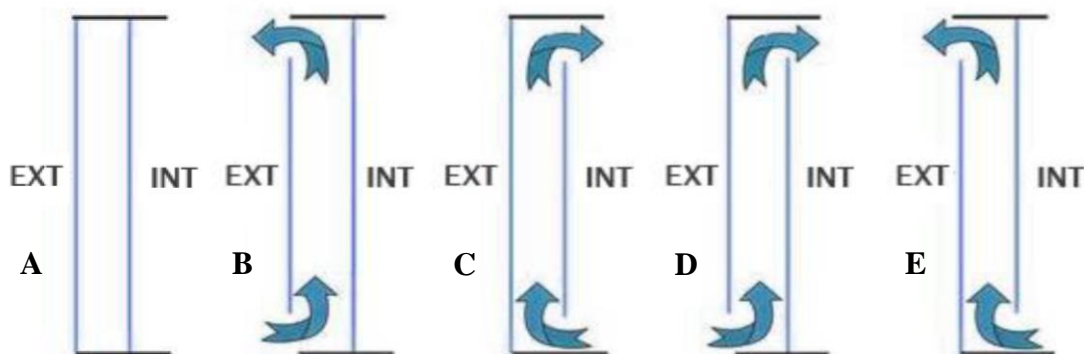
Fonte: Barbosa, 2012.

- **Box Window:** módulos unitizados independentes, cada “box” ou “caixa”, possui a altura máxima de um andar.
- **Corridor Facade:** separado horizontalmente entre andares, as entradas e saídas de ar ficam localizadas próximas a laje de cada pavimento.
- **Shaft Box Facade:** a exaustão do ar aquecido ocorre através de corredores de ar verticais, a exemplo de um shaft contínuo até a dispersão no topo do edifício.
- **Multi Storey Facade:** cavidade única, sem repartições horizontais ou verticais, aberturas para entrada e saída de ar são localizadas no topo e na base da mesma.
- **Modo de ventilação na cavidade da fachada dupla (FIGURA 4):**
 - **A – Buffer Zone:** a cavidade é selada hermeticamente, impossibilitando a ventilação natural e as trocas de ar, trabalhando apenas o isolamento térmico.
 - **B – Outdoor Air Curtain:** o ar penetra a cavidade pela abertura na base da fachada dupla, percorre o espaço intermediário e retorna ao exterior por uma abertura superior através do efeito chaminé.



- **C – Indoor Air Curtain:** o ar interno do edifício auxiliado pelo efeito chaminé é insuflado na cavidade, percorre a mesma sendo aquecido retornando ao ambiente interno, sem a possibilidade de trocas de ar externas.
- **D – Air Supply:** o ar frio externo entra na cavidade pela abertura inferior percorre a mesma, é aquecido pela radiação solar incidente e sobe por meio do efeito chaminé penetrando o edifício pela abertura superior.
- **E – Air Exhaust:** o ar interno é direcionado para a cavidade devido à sobrepressão no interior do edifício gerada por sistema de admissão, fazendo com que o ar seja extraído na base da cavidade percorrendo a mesma até o exterior.

FIGURA 4. Esquematização dos diferentes tipos de fluxo de ar na cavidade da fachada dupla ventilada.

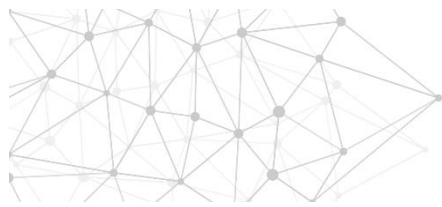


Fonte: Alberto, 2015.

3.2. Estudo de Caso Comparativo entre os Sistemas de Fachada Dupla Ventilada e Fachada Convencional

Para realização do estudo de caso, foram criados dois modelos idênticos de um edifício de escritório, tendo como base o padrão arquitetônico e construtivo encontrado atualmente no mercado imobiliário. A diferença entre os modelos reside na introdução da fachada dupla ventilada para efeito de comparação com a fachada convencional. Especificaram-se nos modelos, materiais construtivos, cargas térmicas, variáveis de saída para análise dos resultados, além do cenário climático de Belo Horizonte no qual se inserem os modelos.

Os dados climáticos utilizados no estudo comparativo têm como base o Ano Climático de Referência, ou *Test Reference Year (TRY)*, um arquivo com informações climáticas de um ano padrão, compilados a partir do levantamento de vários anos reais, para aplicação em *softwares* de simulação de desempenho termo energético. A cidade de Belo Horizonte possui clima caracterizado por verões quentes e úmidos, invernos frios e secos. Assim, para a análise de

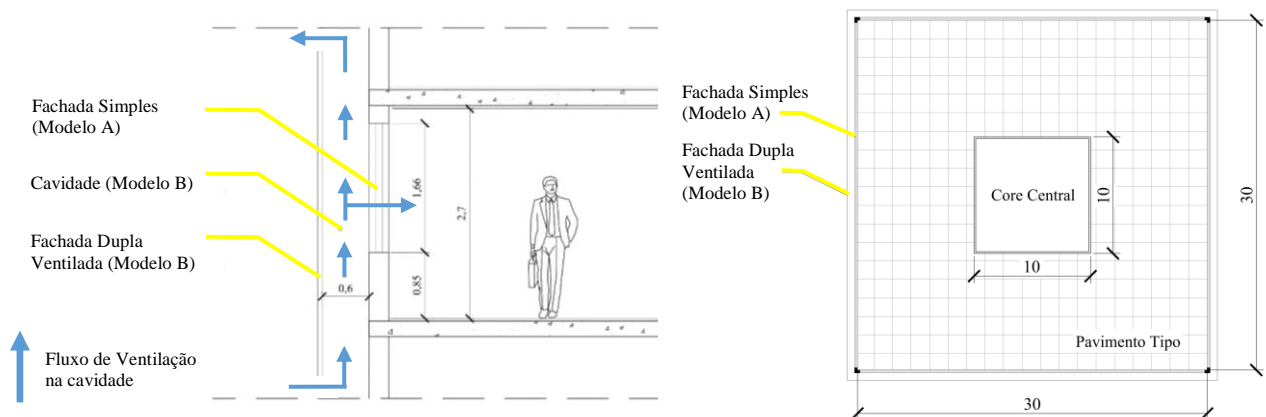


resultados, selecionou-se os meses típicos de inverno e verão, respectivamente junho e dezembro, além de dois dias típicos dos referidos meses.

O Open Studio® é um software livre desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, que utiliza a base de cálculo do EnergyPlus®, um dos primeiros softwares de simulação deste gênero, desenvolvido pelo mesmo departamento. O Open Studio® possui uma interface para inserção de dados mais prática em relação ao EnergyPlus®, funcionando por meio de extensão na ferramenta para desenho tridimensional SketchUp®, onde os modelos geométricos foram desenhados e construídos. Definiu-se no Open Studio® as zonas térmicas, especificação dos calendários de funcionamento, ocupação e equipamentos, elementos construtivos, modos de ventilação, seleção dos dados de saída, etc. Foram executados pelo programa, cálculos de cargas térmicas para cada ambiente, realizando simulações do balanço de massa e energia, fornecendo um perfil aproximado do desempenho termo energético da edificação.

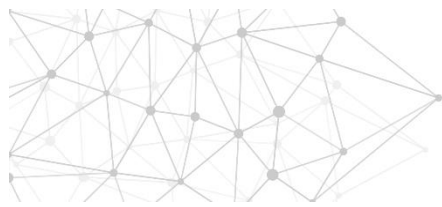
Definiu-se o modelo de pavimento tipo para simulação com base nos trabalhos de Pereira (2004), Benedetto (2007), Figueiredo (2007) e Marcondes (2010), que estudaram o desempenho de edifícios de escritórios em diversos aspectos. A mesma planta tipo foi utilizada nas duas simulações realizadas, distinguindo-se apenas a envoltória, onde foram testados um modelo com fachada convencional e outro com fachada dupla ventilada do tipo *Multi-Storey Facade*, ou seja, com aberturas na base e no topo da cavidade, ventilada naturalmente. O edifício foi projetado com altura total de 40m, planta livre medindo 30m x 30m e área total de 900m², núcleo central de 10m x 10m e área total de 100m², pé-direito com altura de 2,7m, livres entre piso e forro, janelas com altura de 1,66m, resultando num wwr^2 de 60% (FIGURA 5).

FIGURA 5. Corte e planta do pavimento tipo construído para as simulações.



Fonte: elaborado pelo autor.

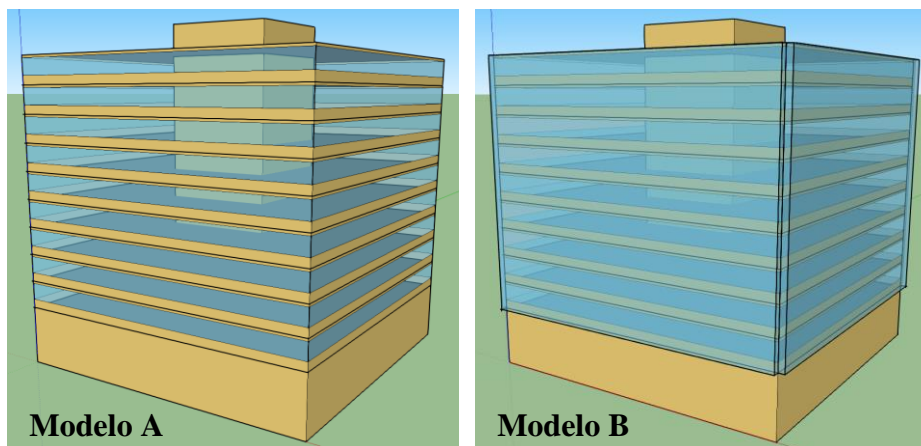
² Window to Wall Ratio (WWR) a tradução livre seria Relação Parede Janela, consiste na proporção percentual de aberturas nas fachadas em relação as vedações opacas.



Os elementos construtivos inseridos no modelo de pavimento tipo, acompanham o padrão do mercado, fechamentos verticais em alvenaria de blocos cerâmicos, lajes em concreto armado, forro de gesso acartonado e piso cerâmico. As propriedades físicas dos materiais utilizados para construção dos elementos foram baseados nas informações contidas na NBR 15220 – Desempenho térmico de edificações, Parte 2 (ABNT, 2003). Os vidros selecionados para composição das fachadas dos modelos, também tiveram por base o padrão de mercado para esse perfil de edificação, suas características estão listadas abaixo (FIGURA 6):

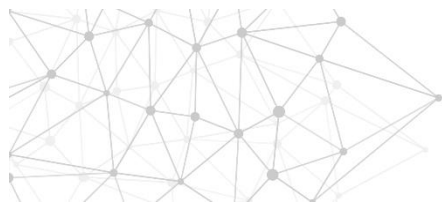
- **Modelo A:** fachada convencional (simples) é composta por janelas operativas em vidro laminado *low-e* de 8mm.
- **Modelo B:** fachada dupla ventilada é composta por painéis externos em vidro comum de 6mm, seguido de uma cavidade ventilada ou “*buffer zone*” com 60cm de diâmetro e janelas operativas em vidro laminado *low-e* de 8mm.

FIGURA 6. Modelos geométricos A (esquerda) e B (direita), construídos para simulação utilizando a extensão do OpenStudio®, no Sketchup®.



Fonte: elaborado pelo autor.

Os calendários foram configurados para simular a operação de um edifício de escritórios real, atingindo os 100% de ocupação (10 m²/P) no horário comercial, 08:00h as 12:00h e 14:00h as 18:00h. As cargas térmicas de equipamentos elétricos (8 W/m²), iluminação (10 W/m²) e a ventilação natural através das janelas operáveis, tem suas rotinas de funcionamento sincronizadas de acordo com a porcentagem de ocupação do edifício, operando com maior ou menor porcentagem de ocupantes, entre 07:00h as 22:00h. Foram também delimitadas zonas térmicas nos modelos para realização dos cálculos pelo Open Studio®, são elas: Zona Térmica *open office* ou escritório aberto; Zona Térmica *elec/mech room* ou núcleo central; Zona Térmica da fachada dupla ventilada; Zona *lobby* ou recepção.



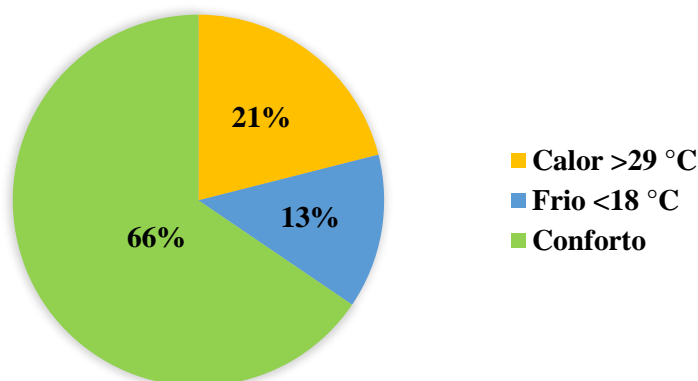
Os dados de ventilação, pressão e direção dos ventos, são gerados automaticamente pelo programa, de acordo com o modelo e o arquivo climático inserido. As superfícies que permitem ventilação e infiltração de ar são, as janelas operáveis dos escritórios e a fachada dupla, não havendo adição de sistema de ar condicionado, AVAC, nos modelos. O edifício simulado possui a mesma configuração de fachada nas quatro orientações solares (Norte, sul, leste e oeste), sem elementos de proteção solar, dependendo exclusivamente das propriedades físicas dos elementos opacos e translúcidos para controle da insolação.

Foi inserido no Open Studio®, uma medida que emula a circulação de ventilação na fachada dupla 24h por dia. Nesta medida, o funcionamento das janelas pode ser programado para a abertura e fechamento de acordo com a variação das temperaturas internas. Para que a fachada dupla fosse simulada como aberta durante todo o dia, definiu-se como limite máximo para fechamento das aberturas, as temperaturas abaixo de 0°C e acima de 60°C. Para análise de resultados selecionou-se quatro variáveis de saída, no Open Studio®: temperatura de bulbo seco do ar externo (°C); temperatura do ar interno na zona (°C); perda de calor por convecção de superfícies externas (W); Fluxo de ventilação natural na zona (m³/s).

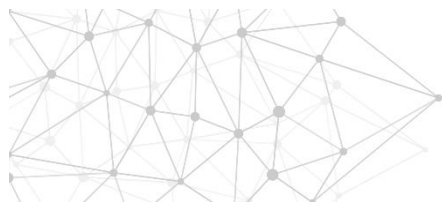
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O gráfico abaixo estabelece a porcentagem de horas em conforto, desconforto de calor e frio, de acordo com o arquivo contendo os dados do Ano Climático de Referência (TRY – Test Reference Year) para a cidade de Belo Horizonte, utilizado como cenário na rodagem das simulações (GRÁFICO 1). É considerado em conforto as temperaturas que se encontram dentro do intervalo de 18 a 29°C, como estabelecido por Lamberts *et al.* (2004). Com base nos resultados do ano climático padrão, constata-se que Belo Horizonte apresenta um potencial de 66% de horas em conforto, ou seja, mais de 2/3 de um dia típico.

GRÁFICO 1. Variação percentual de temperatura em conforto e desconforto para o Ano Climático de Referência.

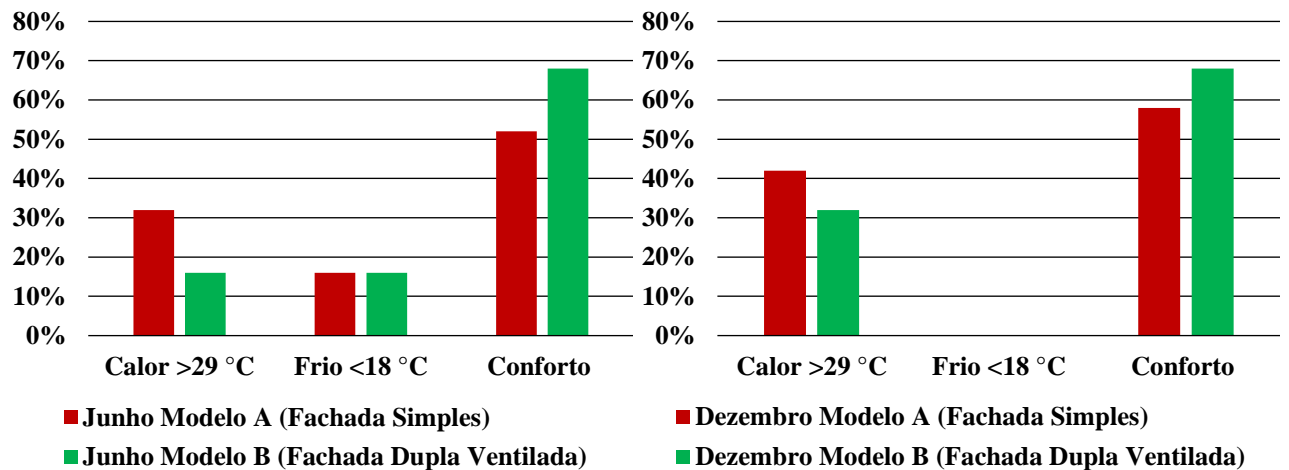


Fonte: elaborado pelo autor.



Primeiramente, foi analisado a porcentagem de horas em conforto, desconforto por calor e frio, na zona térmica interna do escritório no 8^o pavimento tipo do edifício, nos modelos A e B, durante os meses típicos de inverno e verão, junho e dezembro (GRÁFICO 2).

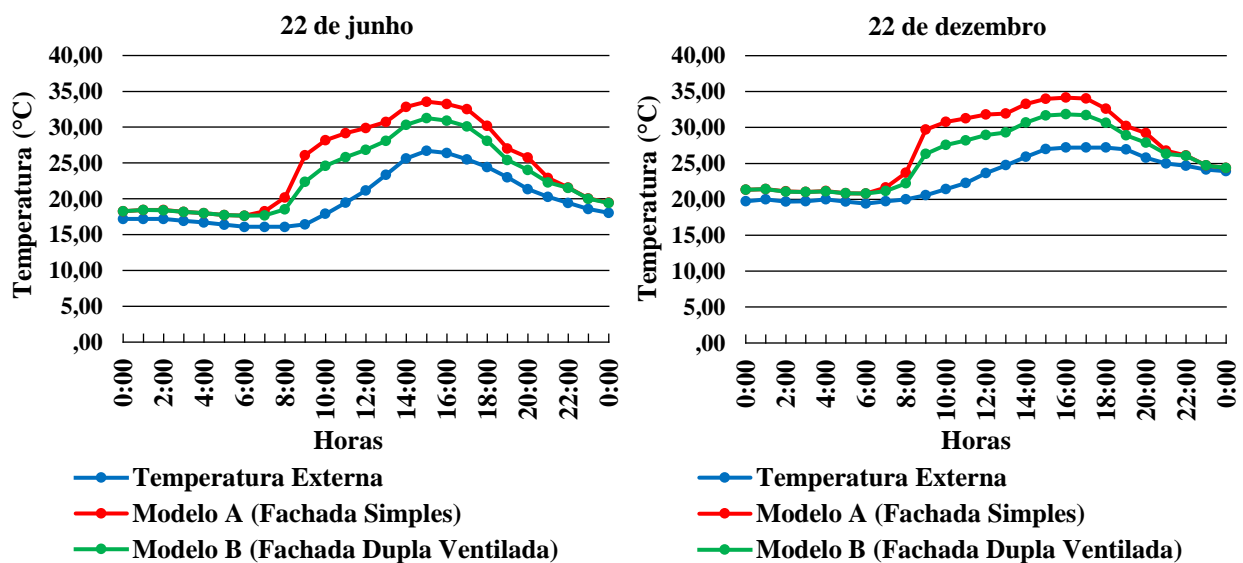
GRÁFICO 2. Variação percentual de horas em conforto e desconforto para os meses de junho e dezembro.



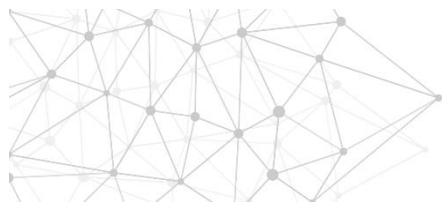
Fonte: elaborado pelo autor.

No gráfico para o mês de junho, o desconforto pelo calor no modelo A foi 16% maior em relação ao modelo B, o desconforto por frio foi igual em ambos. Como resultado, o período em conforto no modelo com fachada dupla ventilada foi 16% maior em relação ao modelo com fachada simples, 68% a 52%. O gráfico para o mês de dezembro, apresentou o modelo A com 10% a mais de desconforto por calor em comparação ao modelo B, não havendo desconforto por frio, assim a fachada dupla ventilada obteve 10% a mais de horas em conforto, 68% a 58%.

GRÁFICO 3. Comparativo entre a temperatura externa e interna nos modelos, dias típicos de inverno e verão.

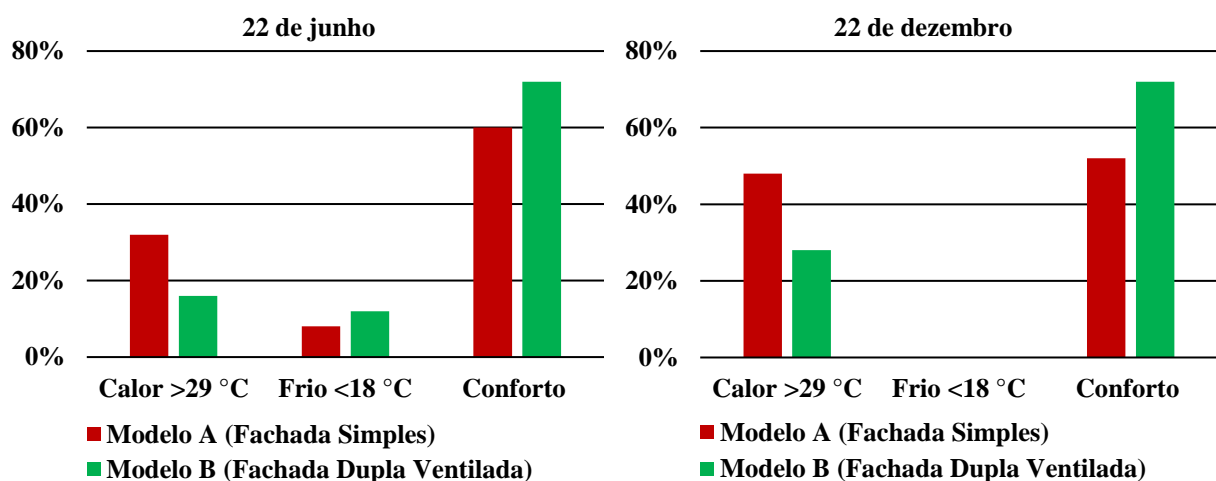


Fonte: elaborado pelo autor.



Analisando a variação das curvas no decorrer das 24h do dia 22 de junho, constatou-se que as temperaturas ficaram próximas entre os modelos nas primeiras horas da manhã, final da tarde e noite (GRÁFICO 3). Durante o horário de maior ocupação do edifício, o modelo com fachada simples apresentou temperaturas em média 3°C mais elevadas em comparação ao modelo com fachada dupla ventilada. Nas 24h do dia 22 de dezembro, tem-se mesma tendência de proximidade das linhas no início da manhã, final da tarde e noite, assim como no primeiro gráfico. O modelo A obteve elevado ganho térmico, permanecendo mais tempo durante o horário de maior ocupação do edifício acima dos 29°C de temperatura, considerado o limite para o desconforto, enquanto o modelo B só ultrapassou essa linha na parte da tarde. Entretanto, ambos os modelos, se mantiveram ao longo dos dias típicos com temperaturas internas 3°C a 5°C acima das externas durante o horário de funcionamento do edifício.

GRÁFICO 4. Variação percentual de horas em conforto e desconforto, nos dias típicos de inverno e verão.



Fonte: elaborado pelo autor.

Comparando o percentual de horas em conforto e desconforto nos dias típicos de inverno e verão, no dia 22 de junho, o desconforto por calor no modelo A foi 16% maior em relação ao modelo B, este último, no entanto, apresentou 4% a mais de desconforto por frio, efeito negativo devido ao isolamento térmico proporcionado pelo sistema. Como resultado, o modelo com fachada dupla ventilada dispôs de 12% a mais de horas em conforto. No dia 22 de dezembro, não ocorreu desconforto por frio, já pelo calor o modelo A apresentou 20% a mais de desconforto, a mesma diferença percentual de horas em conforto entre os modelos, com vantagem novamente para o edifício com fachada dupla ventilada (GRÁFICO 4).

Realizou-se também uma análise dos resultados relativos a perda de calor por convecção de superfícies externas e fluxo de ventilação natural na zona de escritório do 8º pavimento tipo do edifício, nos dias típicos 22 de junho e 22 de dezembro (GRÁFICO 5 e GRÁFICO 6).

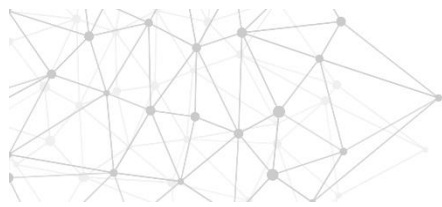
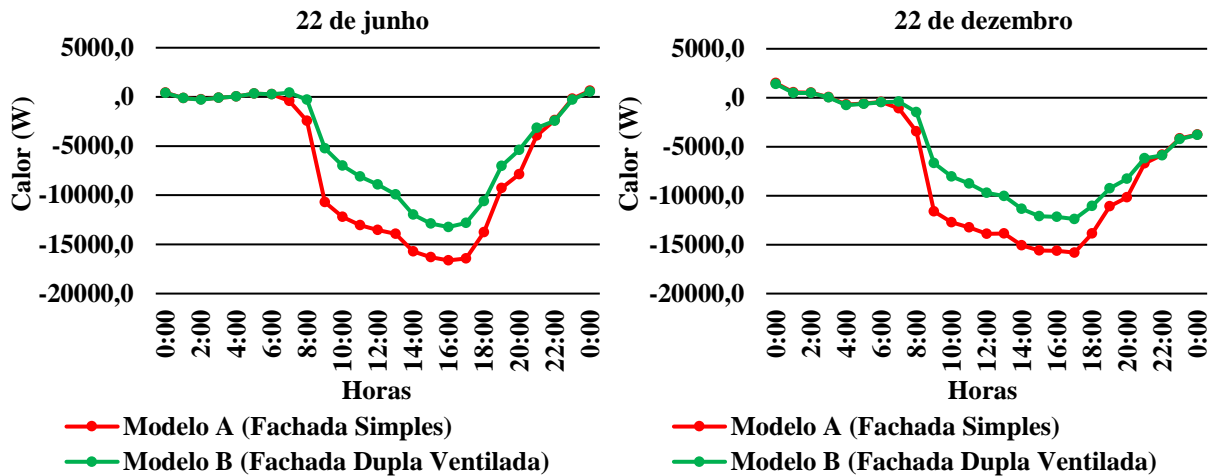


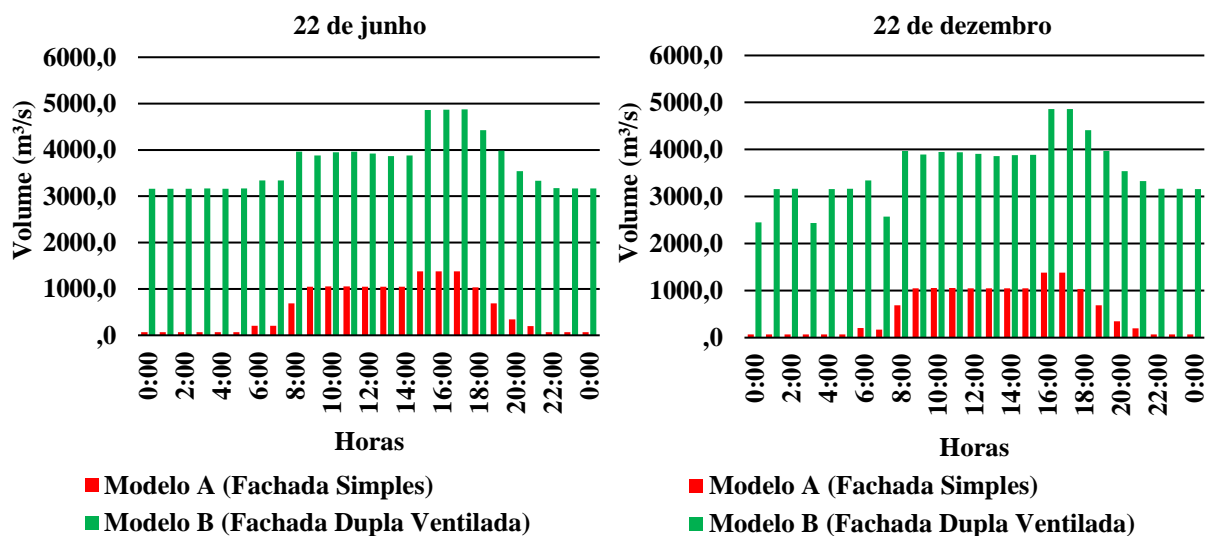
GRÁFICO 5. Perda de calor por convecção de superfícies externas nos dias típicos de inverno e verão.



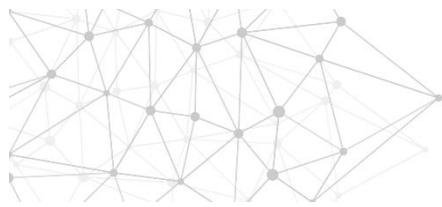
Fonte: elaborado pelo autor.

Os valores negativos apresentados nos gráficos, devem-se a perda de calor pelas superfícies externas translúcidas e opacas em ambos os modelos, constatando-se uma perda maior de calor no modelo A em relação ao modelo B nos dois dias típicos. Esse resultado se deve ao isolamento térmico promovido pela composição da fachada dupla, ou seja, através dos painéis envidraçados e da constante circulação de ar na cavidade intermediária, que minimizam o ganho e dispersão de calor, auxiliando na manutenção da temperatura superficial, tendência similar encontrada por Mazzarotto (2011) em estudo sobre o sistema. Relacionando a convecção de superfícies externas com as temperaturas internas encontradas nos modelos, foi possível observar que o modelo B com fachada dupla ventilada apresentou menor amplitude térmica interna durante os dias típicos de inverno e verão em comparação ao modelo A de fachada simples.

GRÁFICO 6. Fluxo de ventilação natural na zona de escritório, nos dias típicos de inverno e verão.



Fonte: elaborado pelo autor.



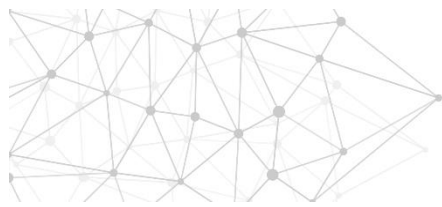
Verificou-se um fluxo volumétrico consideravelmente maior de ventilação natural no modelo B em comparação ao modelo A, em ambos os dias típicos. Isso pode ser explicado pela combinação do efeito de chaminé térmica com o diâmetro da cavidade intermediária da fachada dupla, capaz de gerar um corredor de vento, aumentando a velocidade de circulação e consequentemente o fluxo de ar que penetra na zona de escritório, fenômeno destacado pelos autores citados no referencial teórico. O movimento constante de ventilação na cavidade, contribui para exaustão do ar quente e manutenção da temperatura na envoltória.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Mediante às simulações realizadas e análise dos resultados, foi possível verificar a possibilidade de aplicação da fachada dupla ventilada em edifícios de escritórios na cidade de Belo Horizonte. Constatou-se que o desempenho térmico foi superior no modelo com fachada dupla ventilada, onde as temperaturas no escritório aberto mantiveram-se por mais tempo dentro do intervalo considerado em conforto, entre 18°C e 29°C. Entretanto, em certos períodos o clima interno da edificação esteve aquém do adequado, havendo horários onde o limite do conforto para o desconforto seja por calor ou frio foi ultrapassado. Este resultado pode ser justificado pela configuração da envoltória, que possui a mesma composição nas quatro orientações solares, assim o ambiente interno do edifício recebeu incidência solar ao longo de todo o dia.

A redução das temperaturas no modelo com fachada dupla, podem ser explicadas pelo maior fluxo de ventilação natural na cavidade, como também pelo isolamento térmico proporcionado pelas propriedades físicas do sistema, porém, este último fator só foi identificado nas horas de funcionamento do edifício. O potencial de ventilação natural nos espaços de escritórios por meio da abertura de janelas, proporciona além de conforto térmico para os ocupantes, a possibilidade de controlarem o clima interno do edifício, aspecto que influencia diretamente no comportamento do usuário no ambiente construído. A partir da diminuição no número de horas em desconforto de forma passiva, é possível prever uma redução no consumo de energia elétrica por sistemas de ar condicionado, bem como, no custo de operação do edifício.

De maneira geral o estudo mostrou-se pertinente, os resultados das simulações demonstraram certa aproximação da realidade, comprovando que fachada dupla ventilada é uma solução viável para climas tropicais. Posteriormente, faz-se necessário, o desenvolvimento de trabalhos mais profundos sobre o sistema, empregando *softwares* mais avançados e precisos, voltados especialmente para simulação de Fluidodinâmica Computacional – CFD, para uma análise mais extensa e assertiva do funcionamento e aplicação do sistema.



REFERENCIAS

- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220 – Desempenho térmico de edificações**. Rio de Janeiro, 2003.
- ALBERTO, Andre Felipe Campos. **Simulação e Estudo Paramétrico de Fachadas de Dupla Pele Utilizando o Programa DesignBuilder**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Especialização em Construções. Faculdade de Engenharia - Universidade do Porto, 2015.
- BARBOSA, Sabrina Andrade. **Fachadas duplas em clima tropical de altitude: Análise do potencial de ventilação para ambientes por meio de simulação computacional**. Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, no Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, para obtenção do título de Magister Scientiae. Viçosa - Minas Gerais, 2012.
- BELGIUM BUILDING RESEARCH INSTITUTE. **Source book for a better understanding of conceptual and operational aspects of active facades**. Department of Building Physics, Indoor Climate and Building Services, Belgian Building Research Institute, 2002.
- BENEDETTO, Gisele Severiano De. **Avaliação da aplicação do modo misto na redução da carga térmica em edifícios de escritórios nas cidades de São Paulo e Rio de Janeiro**. 204p. Dissertação (Mestrado Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007
- ELETROBRÁS. **Avaliação do mercado de eficiência energética no Brasil: sumário executivo – ano base 2005**. Rio de Janeiro, 2007.
- ENERGY Information Administration (IEA). **International Energy Outlook 2017**. DOE/IEA, 2017. Disponível em: < <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/> >. Acessado em: mar 2018.
- FIGUEIREDO, C. **Ventilação Natural em Edifícios de Escritórios na Cidade de São Paulo: Limites e Possibilidades**. Dissertação de Mestrado – FAUUSP. São Paulo, 2007.
- GAUZIN-MÜLLER, D. **Sustainable architecture and urbanism**. Basel; Berlin; Boston: Birkhäuser, 2002.
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L. ; PEREIRA, F. **Eficiência energética na arquitetura**. 2ª Edição. São Paulo: ProLivros, 2004. 192 p.
- 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.
- MAZZAROTTO, Ana Carolina Elizabeth Kolb. **Uso do sistema de fachadas duplas ventiladas em edifícios em Curitiba: verificação computacional de desempenho comparativo com soluções convencionais**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2011.
- PEREIRA, I.; ALVES, T.; PINHEIRO, R.; ASSIS, E. **Metodologia de Tratamento de Dados Climáticos para Inserção em Softwares de Simulação Energética de Edifícios**. São Paulo, 2004.
- POIRAZIS, Harris. **Double Skin Façades for office building**. Department of Construction and Architecture, Lund Institute of Technology, Lund University, 2004.
- POIRAZIS, Harris. **Double skin facades. A literature review**. Report of IEA SHC Task 34 ECBCS Annex 43, 2006.
- STREICHER, Wolfgang (Ed.). **Best Practice for Double Skin Façades - Report State of the art**. Institut of Thermal Engineering, Graz University of Technology, 2005.