ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Mudanças climáticas e consumo de energia de edifícios de escritório com ventilação híbrida em Belo Horizonte

Climate change and energy consumption of office buildings with mixed-mode ventilation in Belo Horizonte

Ana Carolina de Oliveira Veloso
Universidade Federal de Minas Gerais | Belo Horizonte (MG) | Brasil | acoveloso@gmail.com
Roberta Vieira Gonçalves de Souza
Universidade Federal de Minas Gerais | Belo Horizonte (MG) | Brasil | robertavgs@ufmg.br

Resumo

O crescimento populacional e a busca por qualidade de vida impulsionaram a demanda por energia e aumentaram as emissões de gases, sendo este aspecto crucial nas mudanças climáticas. O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) estabelece cenários prospectivos para avaliar opções de mitigação ou adaptação diante das mudanças climáticas. Nesse contexto, este artigo tem como objetivo avaliar os impactos das mudanças climáticas para dois cenários extremos (SSP1-2.6 e SSP5-8.5) em edifícios de escritório em Belo Horizonte, explorando o potencial do uso de ventilação natural em edifícios com ventilação híbrida. Projeções indicam aumento significativo no consumo de energia, prevendo acréscimo de 41% até 2050 e 77% até 2080. Concomitantemente, o potencial de uso da ventilação natural, com percentual de abertura de janelas de 70% do tempo atualmente, mostra reduções de 19% em 2050 e de 36% em 2080. Essas previsões fundamentam a necessidade de ações mitigadoras, alertando projetistas a aprimorarem os projetos ao longo do ciclo de vida das edificações e, assim, minimizar os impactos futuros previstos associados às mudanças climáticas.

Palavras-chave: Mudanças Climáticas. Ventilação Natural. Eficiência Energética. Edifícios de Escritório. Ventilação Hibrida.

Abstract

Population growth and the pursuit of quality of life have driven the demand for energy and increased gas emissions, being a crucial aspect of climate change. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) establishes prospective scenarios to evaluate mitigation or adaptation options in the face of climate change. In this context, this article aims to assess the impacts of climate change for two extreme scenarios (SSP1-2.6 e SSP5-8.5) on office buildings in Belo Horizonte, exploring the potential use of natural ventilation in buildings with hybrid ventilation. Projections indicate a significant increase in energy consumption, with a 41% increase predicted by 2050 and 77% by 2080. Concurrently, the potential use of natural ventilation, with a current window opening percentage of 70% of the time, shows reductions

Como citar:
VELOSO, A. C. O.; SOUZA, R. V. G. Mudanças climáticas e consumo de energia de edifícios de escritório com ventilação híbrida em Belo Horizonte. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

of 19% in 2050 and 36% in 2080. These forecasts underscore the need for mitigating actions, urging designers to improve designs throughout the life cycle of buildings, thus minimizing the anticipated future impacts associated with climate change.
Keywords: Climate Change. Natural Ventilation. Energy Efficiency. Office Buildings. Hybrid Ventilation.

INTRODUÇÃO

As grandes cidades estão especialmente vulneráveis a um aumento nos eventos climáticos extremos, os quais são em grande parte provocados por atividades humanas e mudanças climáticas, e têm impactos adversos significativos nas populações e nos ecossistemas naturais. O intenso crescimento populacional resultante da urbanização desordenada aumenta a suscetibilidade a perdas de vidas e prejuízos econômicos, ambientais e sociais associados às alterações climáticas [1]. O aumento das temperaturas médias, a incidência de fenômenos climáticos extremos e as variações sazonais têm impacto direto no desempenho térmico e energético das edificações ao redor do mundo [2].

Diante desse cenário, é fundamental analisar o consumo energético nas construções, dada sua significativa contribuição global para a demanda total de energia. Compreender como estratégias arquitetônicas podem mitigar os efeitos das mudanças climáticas e promover maior eficiência energética na indústria da construção civil é crucial. Essa abordagem resulta na análise das emissões de gases de efeito estufa (GEEs) e dióxido de carbono (CO_2), contribuindo para o entendimento futuro do impacto na temperatura global.

Sob essa perspectiva, compreender como as mudanças climáticas se relacionam com o uso e a eficiência energética em edifícios torna-se benéfico. Ambos os fatores afetam amplamente os sistemas de energia, os quais, por sua vez, interagem diretamente com a qualidade ambiental. O desafio consiste em identificar intervenções de alto impacto, como as decisões atuais sobre as tendências futuras de energia em edifícios, capazes de promover mudanças fundamentais para aprimorar os sistemas de energia [3].

No Brasil, um país com uma população de aproximadamente 212 milhões de habitantes, o setor da construção desempenha um papel relevante no consumo de energia elétrica. Os edifícios residenciais, comerciais e públicos representam 42,7% do consumo total de energia elétrica no país [4], sendo que os escritórios e outros edifícios comerciais correspondem a 13,1% desse valor. Durante a COP26 realizada em Glasgow em 2021, o Brasil assumiu o compromisso de implementar o Acordo de Paris, promovendo estratégias de eficiência energética para reduzir as emissões de gases de efeito estufa. O país estabeleceu a meta de reduzir as emissões em 40% até 2030 em relação aos níveis de 2005 e busca alcançar a neutralidade de carbono até 2050 [5]. Nesse contexto, os edifícios desempenham um papel significativo na redução das emissões de gases de efeito estufa, uma vez que consomem uma quantidade substancial de energia elétrica e contribuem de forma relevante para as emissões globais [6].

Para a avaliação dos efeitos das mudanças climáticas, o IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas) define cenários prospectivos, permitindo a análise de opções de mitigação ou adaptação. O Sexto Relatório de Avaliação do IPCC (AR6) [7] apresenta diferentes cenários futuros previstos de mudança climática baseados em um conjunto de Caminhos Socioeconômicos Compartilhados (SSPs). Os cenários baseados nos SSPs incorporam elementos das novas narrativas sobre a previsão de desenvolvimento da sociedade e se combinam com a versão anterior de cenários, os Caminhos Representativos de Concentração

(RCPs), que detalham as trajetórias de mudança nas concentrações atmosféricas de gases de efeito estufa (GEE) e aerossóis ao longo do tempo.

O cenário de mitigação foi desenvolvido para atender à meta do Acordo de Paris, que busca limitar o aumento da temperatura global a abaixo de 2°C acima dos níveis pré-industriais e se esforça para limitar esse aumento a 1,5°C. Os SSPs foram projetados para funcionar em combinação com uma versão atualizada dos RCPs. Os RCPs abrangem uma ampla gama de possibilidades, desde cenários de baixas emissões (RCP 2.6) até cenários de altas emissões (RCP 8.5), cada um caracterizado por diferentes níveis de concentração atmosférica de gases de efeito estufa ao longo do tempo.

Esses cenários fornecem um conjunto de ferramentas para os pesquisadores avaliarem e compararem os possíveis impactos das mudanças climáticas, permitindo a análise de diferentes cenários de mitigação e adaptação. Com base nos SSPs e RCPs, é possível investigar os efeitos das mudanças climáticas em diversas áreas, como temperatura, precipitação, nível do mar e ecossistemas, fornecendo informações essenciais para orientar políticas e tomadas de decisão visando à mitigação e adaptação às mudanças climáticas.

A mitigação envolve a limitação do impacto do aquecimento global por meio da redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE). Já a adaptação refere-se às medidas tomadas pelos sistemas vulneráveis em resposta às condições climáticas atuais ou previstas, com o objetivo de minimizar os danos das mudanças climáticas [8,9]. As avaliações de ESG (com enfoque nos aspectos Ambiental, Social e Governança) são uma maneira contemporânea de avaliar as práticas de uma empresa em relação ao meio ambiente, sociedade e governança. Ela envolve diretrizes para determinar se as atividades de um negócio são conscientes, sustentáveis e bem administradas. A conexão entre ESG, edifícios, consumo de energia e mudanças climáticas destaca a necessidade de práticas mais sustentáveis na tomada de decisão para a construção de edificações. Empresas que priorizam a governança enfrentam o desafio de repensar a construção de edifícios para promover eficiência energética e o uso de materiais ecoeficientes. Essas práticas não apenas reduzem a pegada de carbono dos edifícios, mas também têm impacto social, criando ambientes mais saudáveis e sustentáveis para os ocupantes. O uso de energia renovável nas edificações não só ajuda a mitigar as mudanças climáticas, mas também demonstra compromisso com práticas empresariais sustentáveis. Investir em eficiência energética e fontes limpas não apenas está alinhado com os princípios ESG, mas também contribui para um futuro mais resiliente e equitativo diante dos desafios climáticos globais.

Para compreender o impacto da arquitetura no consumo de energia das edificações, a simulação computacional é uma ferramenta essencial. A simulação termoenergética de edifícios, utilizando arquivos meteorológicos anuais que apresentam dados em intervalos horários, permite prever com maior precisão o desempenho atual e previsto dos edifícios, levando em consideração as condições climáticas [10]. No que concerne aos cenários futuros previstos, os pesquisadores têm à disposição três ferramentas de transformação climática: o WeatherShift [11], o 'Weather Morph' [12] e o CCWorldWeatherGen [13]. Entre essas ferramentas, o CCWorldWeatherGen é o mais utilizado em pesquisas, porém, não recebe atualização desde 2017, utilizando dados do relatório AR3 do IPCC. Para transformação de arquivos usando dados mais atuais, Rodrigues et al. (2023) [14] publicaram uma ferramenta chamada 'Future Weather Generator', que é de acesso aberto, gratuito e multiplataforma, capaz de gerar arquivos climáticos futuros com dados mais recentes do IPCC – AR6, a qual será utilizada neste trabalho.

A análise do impacto das mudanças climáticas nos edifícios é crucial para entender o consumo de energia, especialmente nos sistemas de ar-condicionado, na demanda de

aquecimento e resfriamento, e na demanda de pico de energia [15]. A análise desses fatores é essencial para otimizar o consumo de energia em edifícios, permitindo o desenvolvimento de estratégias sustentáveis e eficientes. Neste sentido, a ventilação natural (VN) em edifícios apresenta um potencial significativo para reduzir o consumo de energia do edifício, proporcionando conforto térmico e melhorando a qualidade do ar interior [16]. No Brasil, um estudo com dados medidos de edifícios de escritórios constatou que edifícios que adotam ventilação hibrida consomem 53% menos energia do que edifícios totalmente climatizados em cidades de clima ameno [17].
Nesse contexto, este artigo tem como objetivo avaliar os impactos das mudanças climáticas nos edifícios de escritório em Belo Horizonte, explorando o potencial do uso de ventilação natural em uma abordagem dos edifícios com ventilação híbrida

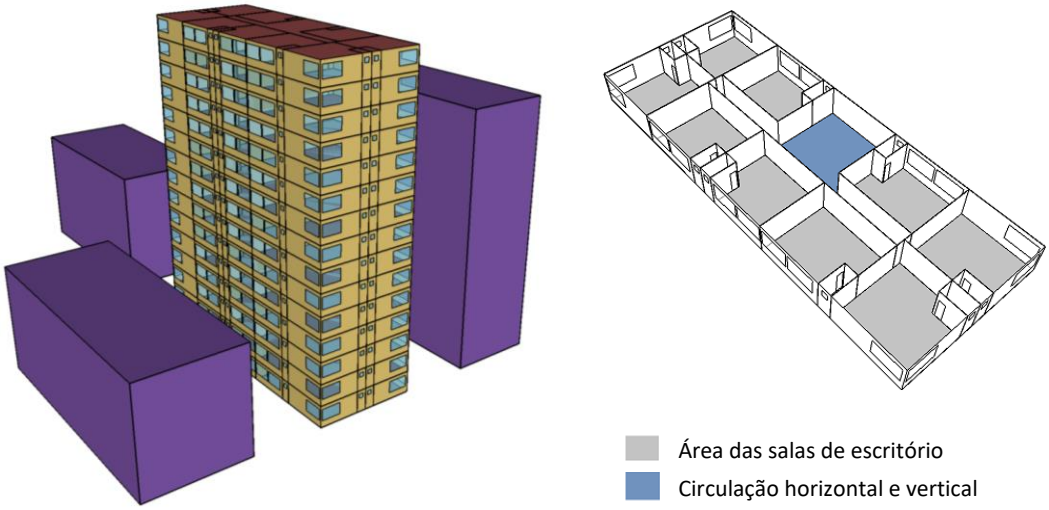
METODOLOGIA

A metodologia empregada neste estudo analisa o desempenho energético de um arquétipo de edifício de escritório localizado em Belo Horizonte, Brasil (19° 54' S, 43° 56' W).

ARQUÉTIPO

Neste estudo, utilizou-se o arquétipo de um edifício de escritórios de 15 pavimentos, dos quais 11 são destinados ao uso de escritórios. O modelo desse edifício foi desenvolvido por Veloso et al. (2023) [17] como uma representação de um edifício de escritórios com sistema de ventilação híbrida projetado para a cidade de Belo Horizonte, Brasil. O edifício possui uma área bruta de 8.000,00 m², com 9 salas por pavimento (Figura 1). Cada sala tem em média 50,10 m² e 24% de WWR. As janelas são do tipo basculante superior, permitindo a abertura e ventilação natural dos ambientes internos durante o período de ocupação, com operações realizadas de forma manual pelos ocupantes. As paredes têm cores médias (absortância de 50%) e a cobertura cinza média (absortância de 60%).

Figura 1: Arquétipo do Edifício e andar do prédio com a representação dos espaços analisados



Fonte: as autoras.

Considerou-se que todas as salas estão equipadas com aparelhos individuais de ar-

condicionado e operam de forma híbrida, o que significa que: (1) as janelas permanecem fechadas e o sistema de ar-condicionado é acionado quando o espaço está ocupado e a temperatura operacional está fora dos limites adaptativos de conforto estabelecidos pela ASHRAE 55; (2) as janelas são abertas e o ar-condicionado é desligado quando o espaço está ocupado e a temperatura operacional está dentro dos limites adaptativos de conforto estabelecidos pela ASHRAE 55; (3) as janelas são fechadas e o sistema de ar-condicionado é desligado se a área estiver desocupada.
A cidade escolhida para a análise foi Belo Horizonte - Brasil. A cidade possui um clima tropical de altitude (Cwa), caracterizado por verões quentes e invernos amenos, com temperaturas médias de 24°C e 19°C, respectivamente. Os ventos predominantes sopram consistentemente do leste e sudeste ao longo do ano.

CENÁRIOS PREVISTOS

Neste estudo, foram realizadas simulações computacionais utilizando o software EnergyPlus 23.1 em um arquétipo de edifício de escritório com ventilação híbrida, conforme definido por Veloso et al. (2023) [17]. Os dados climáticos utilizados foram obtidos no formato TMYx 2007-2021 para a cidade de Belo Horizonte, obtidos do site Climate.OneBuilding [18]. Adicionalmente, os arquivos climáticos previstos foram gerados utilizando o "Future Weather Generator" desenvolvido por Rodrigues et al. (2023) [14].
Os cenários previstos analisados representam diferentes trajetórias de emissões de gases de efeito estufa. O SSP1-2.6 descreve um futuro em que o mundo faz um esforço significativo para alcançar o desenvolvimento sustentável, em que há um foco em energia renovável, eficiência energética e redução de emissões de gases de efeito estufa. Por outro lado, o SSP5-8.5 representa um futuro em que o desenvolvimento econômico é impulsionado por altos níveis de consumo de combustíveis fósseis e as políticas climáticas são fracas ou inexistentes, resultando em altas emissões de GEE.
A escolha desses cenários é fundamentada no amplo uso em estudos que visam avaliar o impacto das mudanças climáticas no desempenho de edifícios e no consumo de energia, permitindo comparações de resultados e uma melhor compreensão dos efeitos das mudanças climáticas.
O comportamento do edifício foi avaliado em cenários previstos em 2050 e 2080, utilizando-se o procedimento de adaptação climática empregado no software 'Future Weather Generator' [14]. Este software tem a capacidade de transformar os dados meteorológicos atuais, provenientes especificamente do Energy Plus Weather file (EPW), para os cenários especificados no 6º Relatório de Avaliação do IPCC (AR6), publicado em 2022 [7].

ANÁLISE DOS DADOS

A variação do consumo de energia foi analisada comparando o modelo de referência baseado nas características do clima atual com os modelos climáticos previstos – SSP1-2.6 (cenário de baixas emissões) e SSP5-8.5 (cenário de altas emissões) para os anos 2050 e 2080. O indicador de desempenho utilizado para as análises foi a Intensidade de Uso de Energia (EUI, Energy Use Intensity).
Foram realizadas duas análises do impacto das mudanças climáticas na edificação: (i) no consumo total de energia da edificação e do sistema de ar-condicionado; (ii) no percentual do tempo em que as janelas permanecem abertas, ou seja, o percentual de tempo em que a ventilação natural é utilizada.

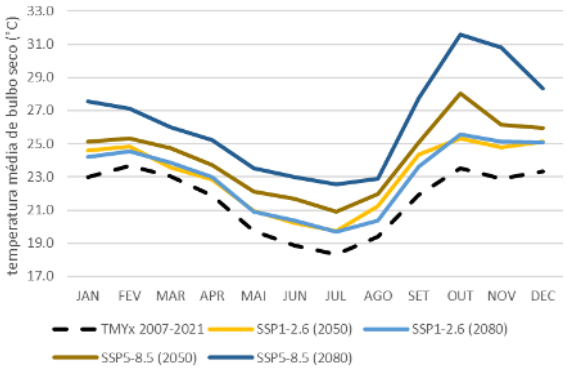
RESULTADOS

Na análise de clima futuro previsto, foram considerados dois cenários extremos apresentados no relatório AR6 do IPCC [7]: SSP1-2.6 e SSP5-8.5. A Figura 2 apresenta uma comparação de temperaturas, radiação solar e velocidade do vento entre esses dois cenários para os anos 2050 e 2080.

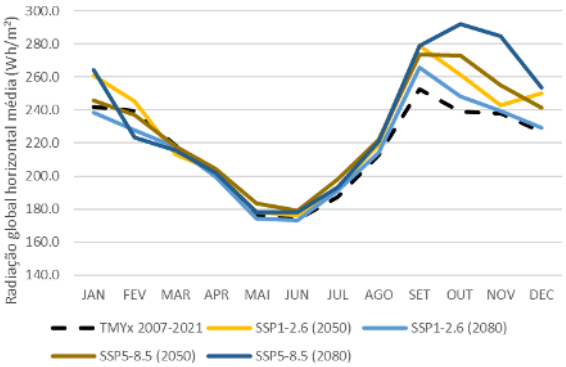
A partir da análise dos dados climáticos apresentados na Figura 2, foram observadas variações significativas na temperatura média externa ao longo dos anos. No cenário otimista (SSP1-2.6), foi observado um aumento médio de 7% em relação aos dados climáticos de referência de 2007-2021. Já no cenário pessimista (SSP5-8.5), as variações foram ainda maiores, com aumentos variando de 12% a 22%. Em relação à radiação solar, foi observado um aumento médio de 5% em ambos os cenários analisados em comparação com os dados climáticos de referência. Quanto à velocidade do vento, observou-se um aumento de 2% no cenário otimista (SSP1-2.6) e 10% no cenário pessimista (SSP5-8.5).

Essas variações nos parâmetros climáticos indicam um cenário de mudanças climáticas em que se espera um aumento nas temperaturas médias e um incremento geral na radiação solar. Além disso, a velocidade do vento também apresenta alterações, embora com diferenças mais claras entre os cenários analisados. Essas mudanças indicam que os projetistas devem realizar adaptações nos projetos arquitetônicos e na especificação dos sistemas de climatização para garantir o conforto térmico dos ocupantes, ao mesmo tempo em que devem buscar reduzir o consumo de energia nos edifícios.

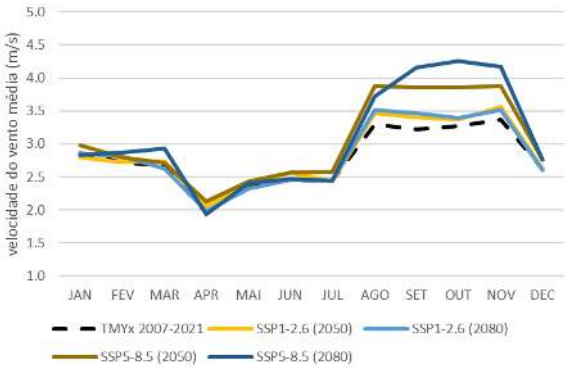
Figura 2: Gráfico comparativo de (a) temperatura média, (b) radiação solar média e (c) velocidade do vento média em Belo Horizonte para os cenários atual, SSP1-2.5 e SSP5-8.5 para os anos 2050 e 2080



(a)



(b)



(c)

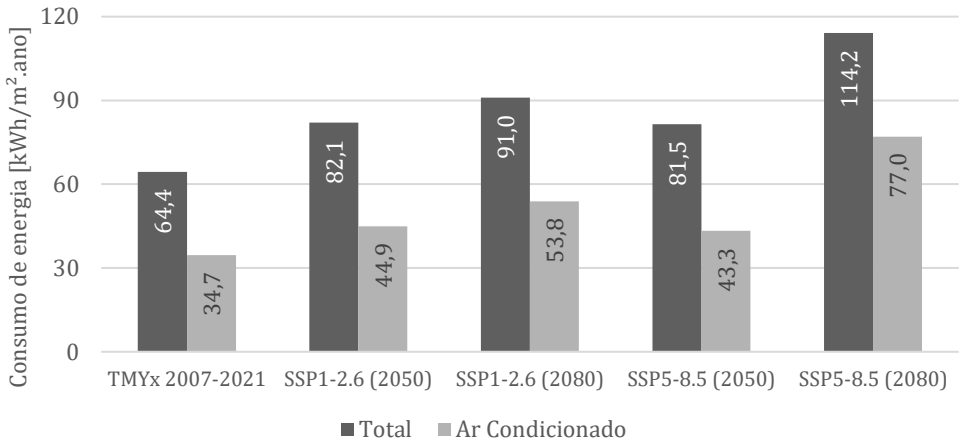
Fonte: as autoras.

Com relação ao sistema de ventilação adotado nessas edificações, a combinação de ventilação natural e condicionamento de ar é uma estratégia eficiente para a economia de energia. Os efeitos dessa abordagem evidenciam variações significativas, tanto nas condições climáticas presentes quanto nas futuras, especialmente em áreas urbanas.

Belo Horizonte é uma cidade caracterizada por um clima Tropical de Altitude (Cwa) de acordo com a classificação de Köppen-Geiger, com verões úmidos e quentes e invernos amenos e secos. Ao longo do tempo e considerando diferentes cenários de mudança climática, o consumo com ar-condicionado tende a ser significativo no município. Os verões quentes resultam em um percentual de uso médio de ar-condicionado de 58% ao longo do ano, aumentando significativamente no cenário SSP5-8.5 – 2080, com 67% do consumo total atribuído ao ar-condicionado (Figura 3). Em 2050, no cenário mais otimista (SSP1-2.6), o aumento no consumo de condicionamento de ar em relação a 2021 será de 29%, enquanto no cenário mais pessimista será de 55%. Já em 2080, no cenário otimista, resulta em um aumento de consumo de energia em relação a 2050 de 25%, enquanto no cenário pessimista o aumento chega a 112%.

O aumento de consumo de energia para 2050 no cenário mais otimista (SSP1-2.6) é de 27% em relação aos dias atuais, mas pode chegar a 77% em 2080 no cenário mais pessimista (SSP5-8.5). Observa-se que no cenário mais otimista (SSP1-2.6), o consumo de energia em 2050 e 2080 é praticamente o mesmo, indicando que a implementação de ações governamentais para controle das emissões pode resultar em uma estabilização no impacto climático e, consequentemente, no consumo de energia das edificações.

Figura 3: Consumo total e consumo de ar condicionado de energia da edificação analisada

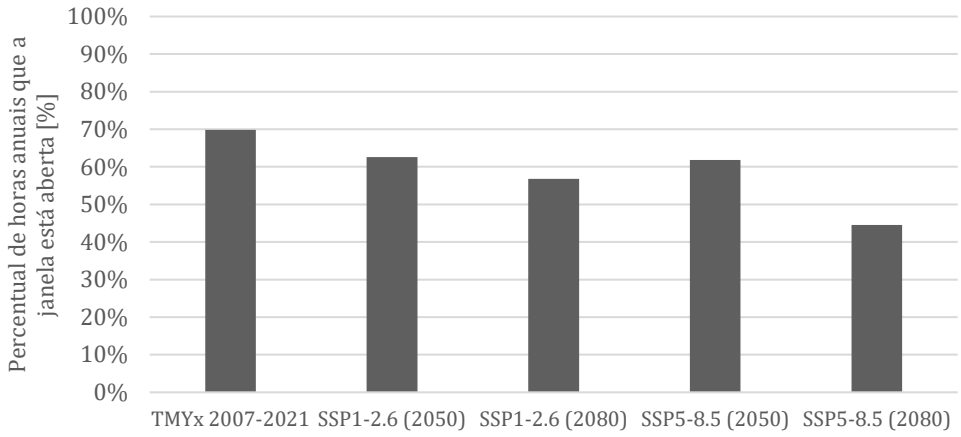


Fonte: as autoras.

Com as mudanças climáticas previstas, é esperado um aumento no tempo de uso do ar-condicionado nas edificações que possuem sistemas de ventilação híbrida, resultando em uma diminuição correspondente no uso da ventilação natural. Isso significa que o tempo de abertura das janelas ao longo do uso das edificações será reduzido (Figura 4). Em 2050, no cenário mais otimista, essa redução será de 10%, enquanto no cenário pessimista será de 19%. Já em 2080, espera-se uma redução de 12% no cenário mais otimista (SSP1-2.6) e 36% no cenário mais pessimista (SSP5-8.5). No cenário atual, as simulações indicam que as janelas seriam abertas em 70% do tempo, e que apenas nos dias mais quentes seriam fechadas. Já no cenário mais pessimista a abertura das janelas seria inferior a 50% do tempo, o que pode desestimular o uso delas e levar a maiores consumos de energia do que os projetados

no presente estudo. Essas projeções indicam uma transição significativa no comportamento de uso dos sistemas de ventilação devido às mudanças climáticas, que deve ser acompanhado de perto para que soluções mais adequadas sejam planejadas.

Figura 4: Percentual de horas anuais em que as janelas estão abertas



Fonte: as autoras.

CONCLUSÃO

Este artigo teve como objetivo analisar os efeitos das mudanças climáticas nos edifícios de escritório em Belo Horizonte, investigando o aumento do consumo de energia e o potencial da ventilação natural em uma abordagem de edifícios com sistema de ventilação híbrida.

Com base nas projeções e análises apresentadas, fica claro que as mudanças climáticas terão um impacto substancial nos edifícios de escritório em Belo Horizonte, especialmente no que se refere ao consumo de energia e ao uso de sistemas de ventilação. Na cidade de Belo Horizonte, o consumo total de energia previsto no cenário mais pessimista (SSP5-8.5-2050) aumentará em 27%, e no cenário SSP5-8.5-2080 aumentará 77%. O sistema de condicionamento de ar, que representa 55% do consumo total no cenário atual, aumentará para 63% e 71%, respetivamente, nos cenários SSP5-8.5-2050 e SSP5-8.5-2080. Esse aumento previsto no uso de condicionamento de ar com relação à diminuição do uso da ventilação natural indica uma mudança significativa no comportamento de uso dos sistemas de ventilação e um impacto crescente na matriz energética brasileira.

Para o ano de 2050, as projeções indicam um aumento moderado no consumo de ar condicionado nos cenários otimistas (SSP1-2.6) e um aumento mais expressivo nos cenários pessimistas (SSP5-8.5), sinalizando os desafios que podem surgir caso não haja ações mitigadoras significativas. Da mesma forma, para o ano de 2080, observa-se uma tendência ainda mais acentuada de aumento no uso do ar-condicionado, especialmente nos cenários mais pessimistas.

Essas previsões reforçam a necessidade urgente de implementar estratégias de adaptação e mitigação nas edificações, focadas na eficiência energética e na redução das emissões de gases de efeito estufa. Os projetistas e gestores de edifícios devem considerar melhorias nos projetos arquitetônicos e nos sistemas de climatização, visando garantir o conforto térmico dos ocupantes ao mesmo tempo em que se busca reduzir o consumo de energia.

Diante desse contexto, políticas públicas e regulamentações direcionadas para promover práticas sustentáveis na indústria da construção civil tornam-se essenciais para enfrentar os desafios existentes das mudanças climáticas.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Agência de Financiamento à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio financeiro para esta pesquisa.

REFERÊNCIAS

[1] SILVA, A. C.; MEIRELES, E.; CAROLINO, K.; BALLIANO, T. L.; ALVES, D. C. **Belo Horizonte: Vulnerabilidades e Desafios no Enfrentamento dos Efeitos das Mudanças Climáticas**. Boletim de Conjuntura (BOCA), Boa Vista, v. 15, n. 43, p. 244–267, 2023. DOI: 10.5281/zenodo.8137243. Disponível em: https://revista.ioles.com.br/boca/ index.php/revista/article/view/1661.

[2] CIANCIO, V., SALATA, F., FALASCA, S., CURCI, G., GOLASI, I., DE WILDE, P. Energy demands of buildings in the framework of climate change: An investigation across Europe. **Sustainable Cities and Society**, v. 60, p. 102213. 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102213.

[3] EKONOMOU, G.; MENEGAKI, A.N. The Role of the Energy Use in Buildings in Front of Climate Change: Reviewing a System's Challenging Future. **Energies,** v.16, p. 6308. 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/en16176308.

[4] MME - Balanço Energético Nacional 2023: Ano base 2022. Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro (2022). Disponível em: https://www.epe.gov.br/pt/ publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2023. Acessado em: 29 março 2024.

[5] NDC Registry, disponível em: https://www4.unfccc.int/sites/NDCStaging/ Pages/All.aspx, 2021.

[6] IEA. **World energy outlook 2018: The future is electrifying**. International Energy Agency, 2018.

[7] IPCC, 2022: **Summary for Policymake**rs [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem (eds.)]. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 3–33. DOI: https://10.1017/9781009325844.001.

[8] AMARIPADATH, D., RAHIF, R., ZUO, W., VELICKOVIC, M., VOGLAIRE, C., ATTIA, S. Climate change sensitive sizing and design for nearly zero-energy office building systems in Brussels, **Energy and Buildings**. V. 286, p. 112971. 2023. DOI: https://doi.10.1016/j.enbuild.2023. 112971.

[9] FÜSSEL, H.M. Adaptation planning for climate change: concepts, assessment approaches, and key lessons. **Sustainability Science,** v. 2, p. 265–275. 2007. DOI: https://doi.org/10.1007/s11625-007-0032-y.

[10] TRIANA, M.A., LAMBERTS, R., SASSI, P. Should we consider climate change for Brazilian social housing? Assessment of energy efficiency adaptation measures. **Energy and Buildings**, v.158, p. 1379–1392. 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild. 2017.11.003.

[11] WeatherShift. Disponível em: https://www.weathershift.com/. Acessado em: 30 de março de 2024.

[12] JIANG, A., LIU, X., CZARNECKI, E., ZHANG, C. Hourly weather data projection due to climate change for impact assessment on building and infrastructure. **Sustainable Cities and Society**, v. 50, p. 101688. 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/ j.scs.2019.101688.

[13] JENTSCH, M.F., JAMES, P.A.B., BOURIKAS, L., BAHAJ, A.S. Transforming existing weather data for worldwide locations to enable energy and building performance simulation under future climates, Renew. **Energy**, v. 55, p. 514–524. 2013. DOI: https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.12.049.

[14] RODRIGUES, E.; FERNANDES, M.S.; CARVALHO, D. Future weather generator for building performance research: an open-source morphing tool and an application. **Building and Environmental**, v. 233, p. 110104. 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110104.

[15] BAZAZZADEH, H., NADOLNY, A., SAFAEI, S. S. H. Climate Change and Building Energy Consumption: A Review of the Impact of Weather Parameters Influenced by Climate Change on Household Heating and Cooling Demands of Buildings. **European Journal of Sustainable Development**, v. 10(2), p. 1. 2021. DOI: https://doi.org/ 10.14207/ejsd.2021.v10n2p1.

[16] BELCHER, S. E., HACKER, J. N., & POWELL, D. S. Constructing design weather data for future climates. **Building services engineering research and technology**, v. 26(1), p. 49-61. 2005. DOI: https://doi.org/10.1191/0143624405bt112oa.

[17] VELOSO, A.C.O., FILHO, C.R.A., SOUZA, R.V.G. The Potential of Mixed-Mode Ventilation in Office Buildings in Mild Temperate Climates: An Energy Benchmarking Analysis. **Energy and Buildings**, p. 113445. 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/ j.enbuild.2023.113445.

[18] Climate One Building, c2020. Disponível em: < http://climate.onebuilding.org/>. Acessado em: April, 2024.