XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável
Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

Incertezas nos dados climáticos em simulações de ventilação natural e concentração de CO_2 em salas de aula

Uncertainties in climate data in simulations of natural ventilation and CO_2 concentration in classrooms

Júlia May Vendrami
UFSC | Florianópolis-SC | Brasil | juliamvendrami@gmail.com
Martin Ordenes Mizgier
UFSC| Florianópolis-SC | Brasil | martin.ordenes@ufsc.br

Resumo

A partir da preocupação com a qualidade do ar como forma de mitigação da contaminação por COVID-19, foram simuladas as trocas de ar por hora, concentração de CO_2 e temperatura interna de salas de aula utilizando o EnergyPlus, comparando-se as diferenças advindas do uso de quatro arquivos climáticos de Florianópolis-SC e dois tamanhos de abertura para ventilação. Alterando apenas o arquivo climático, mantendo o modelo de simulação, pode-se obter resultados de que a concentração de CO_2 ultrapassa o limite de 700ppm em 1%, 5%, 6% ou 19% das horas de uso do ambiente.

Palavras-chave: Simulação computacional, *EnergyPlus*, Arquivos climáticos, dióxido de carbono, COVID-19.

Abstract

From the concern with air quality as a way of mitigating contamination by COVID-19, air exchanges per hour, CO_2 concentration and internal temperature of classrooms were simulated using EnergyPlus, comparing the differences arising from the use of four climatic files from Florianópolis-SC and two sizes of opening for ventilation. By only changing the climate file, keeping the simulation model, one can obtain results that the CO_2 concentration exceeds the limit of 700ppm in 1%, 5%, 6% or 19% of the hours of use of the environment.

Keywords: Computer simulation, EnergyPlus, Climate files, carbon dioxide, COVID-19.

Como citar:
VENDRAMI, Júlia May; MIZGIER, Martin Ordenes. Incertezas nos dados climáticos em simulações de ventilação natural e concentração de CO2 em salas de aula. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022.

INTRODUÇÃO

A ventilação natural é a estratégia bioclimática mais importante para o Brasil após o sombreamento. A ventilação serve não somente para a manutenção de uma temperatura agradável no interior das edificações como também como medida de higiene, para eliminar poluentes gerados internamente, contribuindo com uma qualidade do ar adequada. [1]

Em ambientes escolares a preocupação com a qualidade do ar está presente há muito tempo. Porém, a discussão ganhou uma nova dimensão com a pandemia de COVID-19. A ventilação se tornou uma preocupação cotidiana, como forma de restringir a propagação do vírus, já que os ambientes com pouca ventilação favorecem a transmissão pelo ar, que é a principal forma de contaminação da doença. [2]

Nesse sentido, no contexto de retorno às atividades presenciais na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) que estavam sendo realizadas à distância devido à pandemia de coronavírus, houve um intenso trabalho de professores, pesquisadores e gestores da universidade para que a contaminação por COVID-19 fosse minimizada no campus universitário.

Um dos primeiros espaços da universidade a retornar com as atividades presenciais foi o Colégio de Aplicação (CA), que atende estudantes de ensino fundamental e médio. Uma das medidas sanitárias implantadas foi a determinação da taxa de renovação do ar de cada ambiente. Para a garantir a renovação do ar adequada, pesquisadores do Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas da UFSC (LMPT) da UFSC realizaram o monitoramento da concentração de dióxido de carbono (CO_2) nas salas de aula do CA, para garantir que a ventilação natural estivesse sendo adequada ao número de ocupantes do espaço.

A ventilação natural é capaz de retirar do ambiente as impurezas geradas internamente, além de fornecer oxigênio (O_2) e reduzir a concentração de CO_2 no ar. Também possui potencial para remover o excesso de calor acumulado no interior da edificação produzido por pessoas ou fontes internas e resfriar a estrutura do edifício e seus componentes evitando o aquecimento do ar interno. Esse potencial depende das temperaturas externas do local. [3]

Em Florianópolis, a tendência em salas de aula nas quais existe condicionamento do ar é que no verão o ambiente fique fechado com o ar condicionado ligado durante todo o período de uso. No caso de equipamentos como ar-condicionado *Split*, o resfriamento do ar é realizado sem que exista uma troca de ar com o exterior, fazendo com que poluentes gerados internamente, como o CO_2, se acumulem nos ambientes internos. Dependendo da densidade de ocupação desse ambiente e das suas aberturas, a concentração de CO_2 pode atingir valores bastante elevados, causando dores de cabeça, sonolência, dificuldade de concentração e aumento da transmissão de doenças pelo ar, como COVID-19. [4]

Como forma de contribuir com o retorno sanitariamente seguro às atividades presenciais na universidade, pesquisadores do Laboratório de Conforto Ambiental (LabCon) do Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo (PósArq) da

UFSC passaram a realizar simulações computacionais da ventilação natural e concentração de CO_2 nas salas de aula. Nesse processo, uma das questões que surgiram foi em relação ao grau de incerteza advindo do uso de diferentes arquivos climáticos disponíveis para simulação computacional, o que motivou a realização da presente pesquisa. Desta forma, o objetivo do presente trabalho é avaliar de que forma a velocidade e direção do vento influenciam na renovação de ar e concentração de CO_2 nas edificações e como o vento é representado em diferentes arquivos climáticos.

MÉTODO

Os arquivos climáticos utilizados no *EnergyPlus* possuem a extensão EPW. No Brasil, alguns dos arquivos climáticos utilizados para simulação computacional são: INMET (dados medidos nas estações automáticas do INMET), *Solar and Wind Energy Resource Assessment* (SWERA), *Test Reference Year* (TRY) e *Typical Meteorological Year* (TMY).

Os arquivos climáticos INMET foram elaborados pelo professor Maurício Roriz a partir dos dados registrados em 411 estações automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia do Brasil (INMET) entre os anos de 2000 e 2010. Os arquivos originais da base de dados do INMET apresentam as seguintes variáveis: temperatura do ar, umidade relativa, temperatura do ponto de orvalho, pressão atmosférica, velocidade e direção do vento, pluviosidade e irradiância global sobre o plano horizontal [5].

Roriz também identificou o ano climático de referência para cada localidade, desenvolvendo assim os arquivos TMY. Para isso, a partir de uma base de dados de vários anos, excluiu, para cada estação e mês, os anos mais quentes e mais frios, até que restasse somente aquele que é considerado o mês típico regular. Esse processo resulta em um arquivo que é formado por 12 meses de diferentes anos. O pesquisador alerta que como para grande parte dos municípios da base do INMET foi possível montar poucos anos inteiros, os arquivos resultantes possuem baixa representatividade estatística das ocorrências climáticas históricas e deverão ser aperfeiçoados à medida que existam períodos mais longos de registro [5].

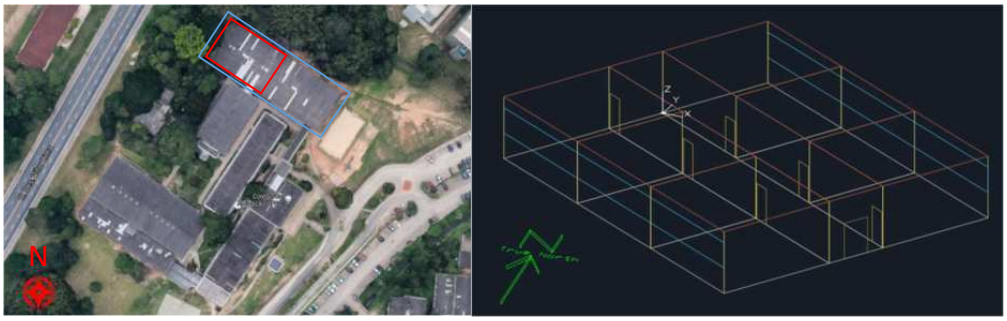
Para a elaboração de arquivos climáticos do tipo TRY (*Test Reference Year*), um ano específico é escolhido por não ter extremos de temperatura. O arquivo TRY abrange as variáveis de temperatura de bulbo seco, temperatura de orvalho, umidade relativa do ar, direção e velocidade dos ventos, nebulosidade, pressão barométrica e radiação solar [6].

O projeto SWERA (*Solar and Wind Energy Resource Assessment*) teve como objetivo prover informações sobre fontes renováveis de energia por todo o planeta. Pesquisadores de diversas partes do mundo contribuíram com o projeto que foi desenvolvido entre 2001 e 2011 [7].

O método para desenvolvimento deste trabalho consiste na modelagem e simulação de um conjunto de salas de aula do CA ventiladas naturalmente (Figura 1), a fim de verificar a variação obtida na concentração interna de CO_2, temperatura e trocas de ar por hora quando a simulação é realizada com diferentes arquivos climáticos de uma

mesma cidade, no caso, Florianópolis-SC. A ferramenta de simulação adotada foi o *EnergyPlus* [8] e o cálculo das trocas de ar e concentração de CO_2 devido a ventilação natural no modelo foi feito com o uso dos objetos do grupo *Air Flow Network*. Ele possibilita que sejam consideradas as trocas de ar entre diferentes ambientes do modelo e com o exterior, de acordo com as informações do arquivo climático.

Figura 1 - Imagem aérea do Colégio Aplicação da UFSC (à esquerda) e imagem do modelo elaborado no programa EnergyPlus (à direita).



Fontes: Google Maps e elaborado pelos autores através do programa EnergyPlus, respectivamente.

O entorno da edificação foi definido como urbano. A edificação foi considerada retangular, já que o bloco analisado constitui uma edificação segregada das demais que compõem a escola (em azul). Desta forma, os coeficientes de pressão do vento foram calculados pelo programa.

As salas foram medidas e possuem as dimensões de 6,85m por 7,00m, com pé direito de 3,65m. A edificação possui janelas nas fachadas nordeste e sudoeste e uma inclinação de 30º em relação ao norte, as salas estão no segundo pavimento. Na modelagem, piso e teto foram consideradas superfícies adiabáticas. As paredes são de tijolo cerâmico de 6 furos 9x14x24cm e revestimento de argamassa interna e externa, com espessura total de 14cm, transmitância térmica de 2,39W/m²°C, capacidade térmica de 150kJ/m²°C e absortância solar de 0,7. [9].

As janelas existentes ocupam todo o comprimento das salas em uma das paredes, entre as alturas de 1,28m e 2,75m e são divididas em duas janelas de correr de quatro folhas cada, conforme Figura 2. Desta forma, cada sala possui uma área de abertura para iluminação de 10,29m², uma abertura para ventilação de 5,14m², com um Percentual de Abertura de Fachada (ou *Window to Wall Ratio*, em inglês) de aproximadamente 40% para iluminação e 20% para ventilação. O material utilizado para simulação foi um vidro incolor de 6mm, conforme biblioteca do *EnergyPlus* [8]. As portas medem 2,10x0,90m, são de madeira, com 30mm. Foi considerado que as janelas ficam abertas sempre e as portas ficam fechadas durante as aulas e são abertas nos intervalos e quando a sala não está sendo utilizada. Para as aberturas fechadas, foram considerados o coeficiente de fluxo de ar de 0,00063kg/s.m para a janela e 0.0024kg/s.m para a porta, o expoente do fluxo de ar de 0,63 para a janela e 0,65 para a porta e o coeficiente de descarga de 0,001 para ambas [10].

Utilizou-se o objeto *Zone Air Contaminant Balance* para simulação da concentração de CO_2 no ambiente. De acordo com as medições realizadas, as áreas externas da UFSC possuem concentração de CO_2 de 400ppm. Esse valor é compatível com o relatório dos

diretores da ASHRAE sobre concentração de CO_2, que afirma que a média global atingiu 400ppm em 2013 e chegou a 420ppm em 2021 [11].

O período de ocupação seguiu o calendário acadêmico do CA para o ano de 2022, com o primeiro semestre letivo entre os dias 10 de fevereiro e 17 de junho e o segundo semestre letivo entre os dias 2 de agosto e 16 de dezembro. Durante os dias letivos, as aulas do ensino médio acontecem de segunda a sexta entre 7:30 e 12:30, com intervalo de 20 minutos entre 10:10 e 10:30. À tarde as mesmas salas de aula recebem os estudantes dos anos finais do ensino fundamental. As aulas iniciam às 13:30 e terminam às 17:50, com intervalo entre 16:10 e 16:30.

O total de estudantes de cada turma em um período típico é de 30 pessoas. Desta forma, foram realizadas simulações com o total de 31 pessoas, contando um professor na sala.

A geração de CO_2 por pessoa foi considerada de 0,31l/min, conforme a NBR 16401-3 [12] para pessoas em atividade leve típica de uma escola, com o metabolismo de 1,2met [13]. Quanto à área de superfície do corpo, considerou-se que as salas de aula são ocupadas por adolescentes ente 14 e 18 anos (referente ao 8º ano do ensino fundamental até o 3º ano do ensino médio), distribuídos igualmente entre homens e mulheres. A partir dos valores de referência de peso e altura médios para crianças e adolescentes da Organização Mundial da Saúde, obteve-se a média de peso de 54,91kg e altura de 1,65m para essa população [14].

A área da superfície do corpo nu foi calculada pela Expressão de DuBois [1], obtendo-se uma área corporal média de 1,6m². Como 1,2met é equivalente a 70W/m² de área corporal [13], obtemos o valor de 112W/pessoa. Assim, a geração de CO_2 de 0,31l/min por pessoa pode ser convertida em $4{,}6 \cdot 10^{-8} m^3/s.W$, que é o valor de entrada no *Energyplus.*

As cargas térmicas consideradas para o ambiente de sala de aula são das pessoas e iluminação. Considerou-se uma carga térmica de 112W/pessoa. Para iluminação, considerou-se uma carga térmica de 12W/m² e fração radiante de 0,72. As luzes ficam acesas durante a ocupação da sala.

Para as simulações foram utilizados quatro arquivos climáticos da cidade de Florianópolis, sendo eles:

- BRA_SC_Florianopolis.838970_TMYx.epw [15]
- BRA_Florianopolis.838990_SWERA.epw [15]
- BRA_SC_Florianopolis.838970_INMET.epw [15]
- BRA_SC_Florianopolis-Luz.AP.838990_TRY.1963.epw [16]

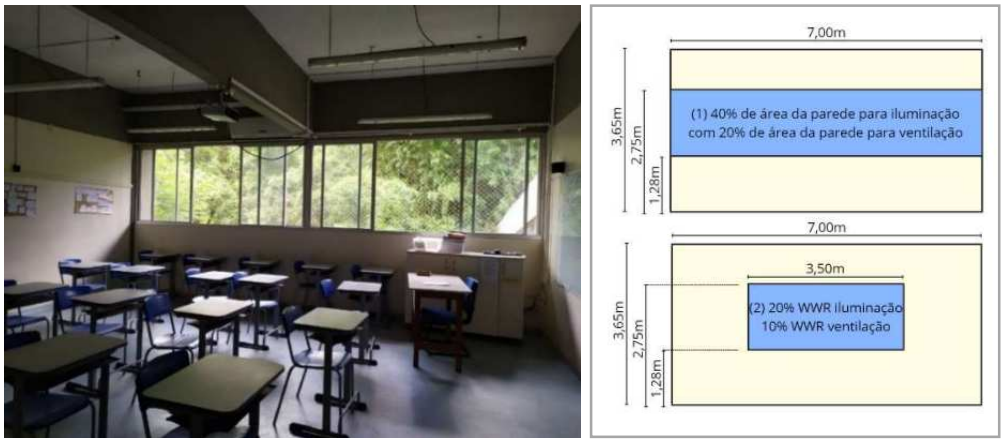
Os arquivos INMET e TMY foram elaborados a partir de dados da mesma estação meteorológica automática localizada na latitude -27,602530 e longitude -48,620096, que corresponde à parte continental de Florianópolis [17].

O arquivo climático TRY utilizado foi elaborado por Carlo e Lamberts [18] com o ano de 1963 como referência. Os dados utilizados foram medidos no aeroporto de Florianópolis. [19].

Com o objetivo de compreender como as informações de vento são representadas nos arquivos climáticos disponíveis, inicialmente analisou-se comparativamente os dados dos quatro arquivos climáticos com o auxílio da ferramenta *Weather Data* [20].

Depois foram feitas duas simulações para fins de comparação: (1) as salas com as janelas efetivamente existentes, que possibilitam uma área de ventilação equivalente a 20% da área da parede; (2) com área de ventilação de 10% da área da parede; conforme Figura 2.

Figura 2 - Imagem de uma das salas de aula do Colégio de Aplicação (à esquerda) e representação das duas situações simuladas (à direita).



Fonte: Autoria própria.

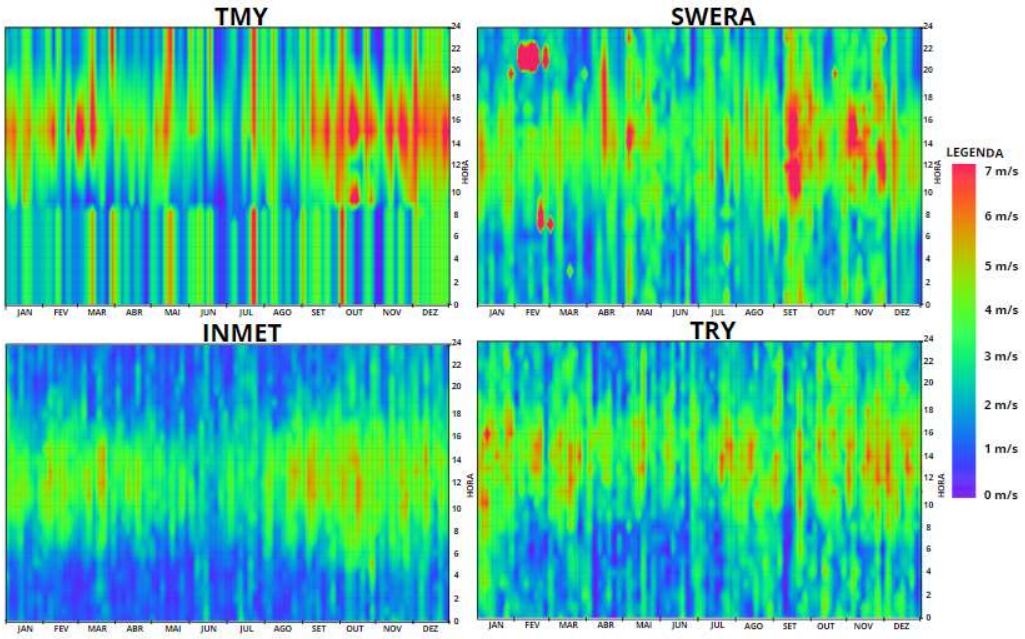
RESULTADOS

A Figura 3 mostra um ano completo de dados de velocidade do vento para os quatro arquivos climáticos analisados. Observa-se que o arquivo INMET possui os valores mais baixos de velocidade do vento ao longo do ano. O TMY possui velocidades do vento constantes em todos os dias do ano entre os horários de 22h e 8h da manhã. É comum que em estações convencionais, que necessitam de medição manual, os dados não sejam coletados nestes horários. Também possui um pico de vento às 15h todos os dias.

O SWERA possui picos nos meses de fevereiro e março que chegam a mais de 50m/s. Westphal [21] encontrou situação semelhante em um arquivo climático SWERA da cidade de São Paulo, no qual por volta do mês de fevereiro, no período da tarde, havia um pico de mais de 50m/s assim como encontrado no arquivo climático SWERA de Florianópolis. O autor avaliou que se trataria de valores espúrios que não teriam sido tratados, porém não especificou qual foi o teste de normalidade utilizado para a avaliação.

O pico máximo em todo o ano é de 9,4m/s para o INMET e 13,0m/s para o TRY. Os arquivos climáticos apontam as maiores velocidades do vento durante o dia, principalmente a partir das 12h. Também mostram alguma diminuição nas velocidades do vento no inverno (junho, julho).

Figura 3 - Dados horários de velocidade do vento em quatro arquivos climáticos para a cidade de Florianópolis.



Fonte: Elaboração própria a partir da ferramenta de Marsh (2020).

Em relação à direção do vento, a Figura 4 mostra os dados de cada arquivo climático. O arquivo TMY é o que mais chama atenção pela regularidade dos dados, isso é um indício de que os valores podem ter sido gerados por uma equação e não efetivamente medidos. Os outros três arquivos apresentam a predominância da direção norte de incidência do vento em Florianópolis, seguido por sul/sudeste. Cabe ressaltar que nos casos dos arquivos SWERA e TRY, todos os valores de velocidade do vento de 0m/s estão concentrados na direção norte, causando uma importante predominância de concentração de vento nessa direção, mas com velocidade muito baixas ou iguais a zero.

Cabe ressaltar que os arquivos climáticos representam um ano típico em relação à temperatura. Não há garantias de que o ano selecionado seja um ano típico de velocidade e direção dos ventos. Além disso, a velocidade e direção do vento é muito variável ao longo do ano e entre diferentes anos, sendo esperado determinados períodos com velocidades mais altas.

Feitas as simulações, é possível comparar os resultados com cada um dos arquivos climáticos para trocas de ar por hora, concentração de CO_2 no ambiente e temperatura. Os gráficos da Figura 5 mostram cinco percentis de ocorrência de trocas de ar por hora para o modelo com as duas áreas de abertura e diferentes arquivos climáticos de Florianópolis. Observa-se que a mediana (percentil de 50%) dos arquivos é muito semelhante. A diferença é notada nos valores mais altos, nos percentis de 75% e 90%.

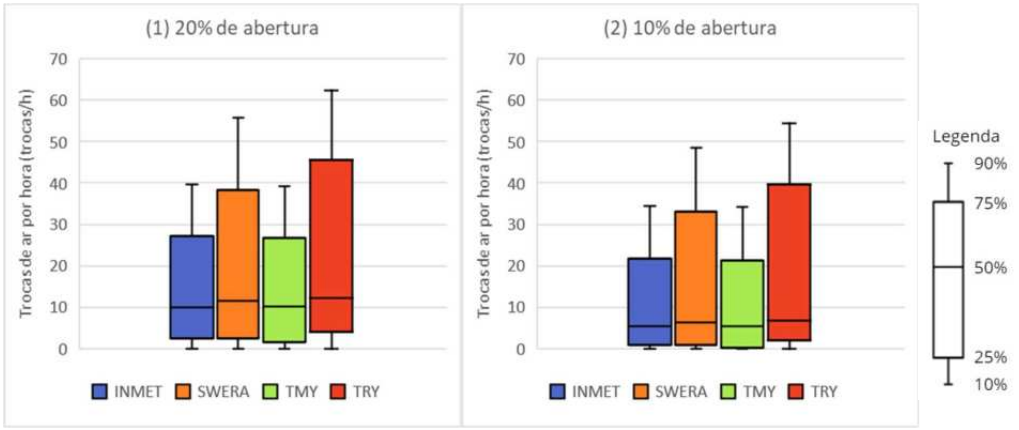
Figura 4 - Direção do vento em quatro arquivos climáticos da cidade de Florianópolis.



Fonte: Elaboração própria.

Os arquivos INMET e TMY, que possuem dados provenientes da mesma estação meteorológica, geram perfil de trocas de ar muito parecidos entre si. SWERA e TRY também geram um perfil semelhante entre si, com valores mais elevados. A relação entre os diferentes arquivos climáticos permanece quando reduzimos a área de ventilação. Com ventilação em 20% da área da parede a mediana em todos os arquivos fica em torno de 10 trocas de ar por hora. Com ventilação em 10% da área da parede, a mediana cai para por volta de 5 trocas de ar por hora.

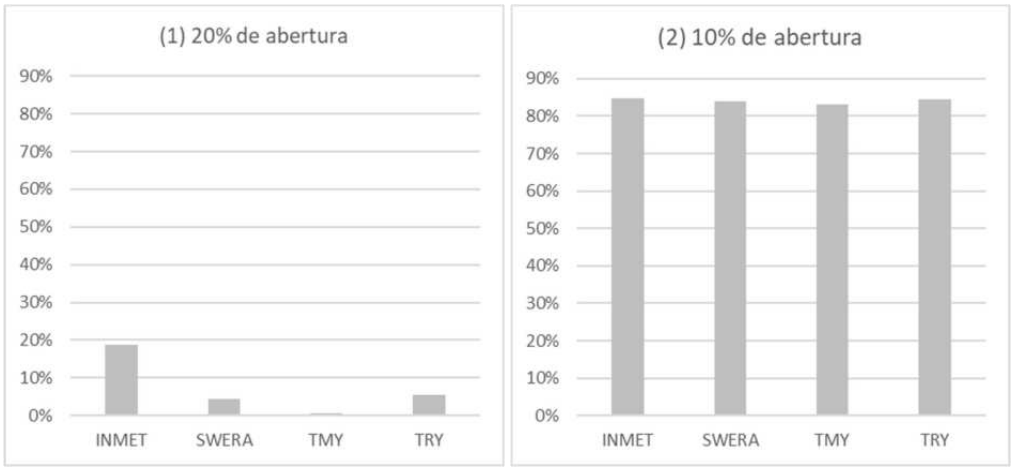
Figura 5 - Trocas de ar por hora nos quatro arquivos climáticos.



Fonte: Elaboração própria.

Em relação à concentração de CO_2 no ambiente, observamos uma diferença significativa entre os resultados para cada arquivo climático com a área de abertura original existente no CA (Figura 6). Estabelecendo o valor de 700ppm como limite aceitável de concentração de CO_2 na sala de aula, percebe-se que se a simulação é realizada com o arquivo climático TMY, menos de 1% do período de aula ultrapassaria esse limite. Porém, realizando a simulação com o arquivo INMET, em 19% das horas de aula o valor de 700ppm seria ultrapassado.

Figura 6 - Proporção de tempo de aula com concentração de CO_2 acima de 700ppm.



Fonte: Elaboração própria.

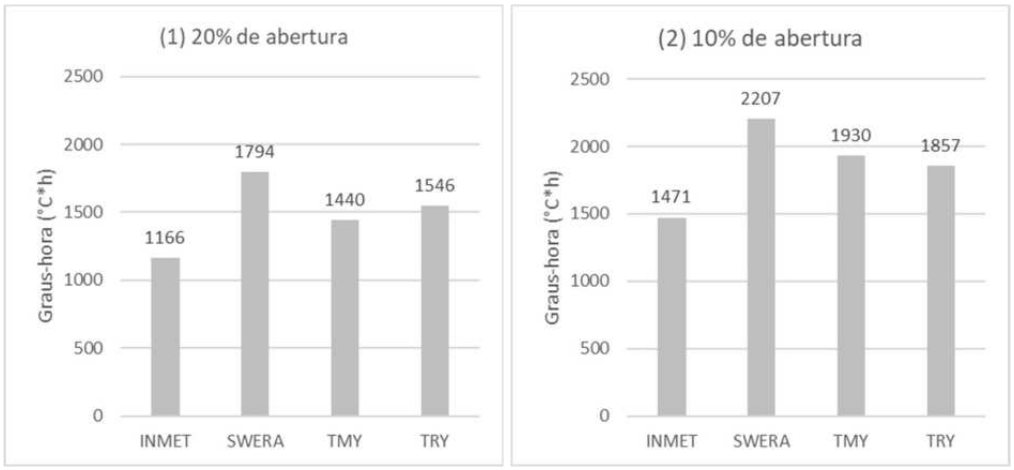
Essa diferença significativa demonstra que um mesmo modelo, simulado com diferentes arquivos climáticos de uma mesma cidade, pode resultar em perfis de concentração de CO_2 diferentes, podendo comprometer a análise de estratégias para garantir a ventilação adequada na escola. Com as informações que possuímos até o presente momento não é possível afirmar qual é o arquivo climático mais adequado, somente que eles conduzem a resultados diferentes.

Além disso, quando a área de ventilação é reduzida para 10% da área da parede, em mais de 80% das horas de aula a concentração de CO_2 na sala permanece acima de 700ppm. Isso demonstra que essa abertura para ventilação não seria suficiente para o ambiente em questão e essa insuficiência torna-se preponderante em relação à variação obtida entre os arquivos climáticos.

Outra análise importante é em relação à temperatura interna na sala de aula. O conforto térmico é uma questão que os usuários tendem a levar mais em consideração do que a qualidade do ar nos ambientes, para avaliar seu conforto. Quando está muito frio, tende-se a fechar as janelas e quando está muito calor, tende-se a ligar o ar condicionado (quando presente) e, para o melhor funcionamento do aparelho, também fechar as janelas. Por isso, quanto mais tempo o ambiente se mantiver em uma temperatura agradável com as janelas abertas, mais os usuários manterão as janelas abertas e favorecerão a ventilação e a baixa concentração de CO_2, mantendo assim o ambiente mais saudável.

Considerou-se que uma temperatura confortável é de até 26ºC e calculou-se graus-hora de sobreaquecimento de acordo com o padrão de uso das salas de aula. Conforme apresentado na Figura 7, existem diferenças significativas entre os resultados de temperaturas elevadas para cada arquivo climático. O arquivo INMET apresenta 35% menos graus-hora de sobreaquecimento das salas de aula com 20% de abertura do que o SWERA, que é o que resulta em uma reposta de mais desconforto por calor. Como seria possível prever, com a diminuição da abertura para ventilação os ambientes acumulam mais calor, em todos os quatro arquivos a quantidade de graus-hora acima de 26ºC aumenta consideravelmente com a diminuição da área de ventilação.

Figura 7 - Graus-hora de resfriamento: base 26°C.



Fonte: Elaboração própria.

É importante se levar em consideração o conforto térmico de maneira articulada com a ventilação natural, por exemplo propondo-se padrões de abertura das janelas a cada certo intervalo de tempo. Parece pouco adequado exigir que as janelas permaneçam abertas independente da condição de temperatura, principalmente quando há outras alternativas além da ventilação natural, como os aparelhos de ar condicionado. Mas para que as estratégias para manutenção da qualidade do ar no ambiente escolar sejam definidas de maneira adequada, é necessário compreender melhor de que forma estão acontecendo as trocas de ar, concentração de CO_2 e temperatura nas salas de aula. Por isso, em trabalhos futuros será realizada a calibração do modelo de simulação em comparação com os dados que estão sendo coletados nas salas de aula do CA.

CONCLUSÕES

O presente trabalho demonstrou que um mesmo modelo, simulado com arquivos climáticos diferentes da mesma cidade pode resultar em perfis de ventilação, concentração de CO_2 e temperatura diferentes, o que é esperado, pois a velocidade e direção vento apresentam grande variabilidade ao longo do ano e entre diferentes anos. Além disso é a temperatura, e não o vento, que serve como parâmetro para o estabelecimento de anos típicos nos arquivos climáticos. Essa situação pode dificultar a escolha de estratégias adequadas para garantir uma ventilação e qualidade do ar adequada em ambientes escolares a partir de simulação computacional.

Além disso, demonstrou-se a diferença que a área de abertura para ventilação pode causar na análise dos resultados, sendo inclusive mais preponderante do que a variação causada pelos diferentes arquivos climáticos.

A edificação usada para a análise está localizada em uma região na qual as características do seu entorno interferem na disponibilidade e direção dos ventos, por exemplo a vegetação e as outras edificações que compõem a escola. Desta forma, para uma análise mais acurada é necessário que se leve em consideração essas

características para o cálculo do coeficiente de pressão, sendo essa uma limitação da pesquisa.

AGRADECIMENTOS

A presente pesquisa foi financiada pela CAPES.

REFERÊNCIAS

[1] LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3. Ed. ELETROBRAS/PROCEL, 2014.

[2] MONGE-BARRIO, Aurora; BES-RASTROLLO, Maira; DORREGARAY-OYAREGUI, Sara; GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, Purificación; MARTIN-CALVO, Nerea; LÓPEZ- HERNÁNDEZ, Dolores; ARRIAZU-RAMOS, Ainhoa; SÁNCHEZ-OSTIZ, Ana. Encouraging natural ventilation to improve indoor environmental conditions at schools. Case studies in the north of Spain before and during COVID. **Energy and Buildings**, v. 254, 2022. DOI: 10.1016/j.enbuild.2021.111567

[3] FISK, William. J. The ventilation problem in schools; literature review. **Indoor Air**, v. 38, n. 1, p. 42–49, 2017. DOI: 10.1111/ina.12403

[4] BOGDANOVICA, Snezana; ZEMITIS, Jurgis; BOGDANOVICS, Raimonds. The effect of CO2 concentration on children's well-being during the process of learning. **Energies**, v. 13, n. 22, p. 1–14, 2020. DOI: 10.3390/en13226099

[5] RORIZ, Maurício. Arquivos Climáticos de Municípios Brasileiros. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. **Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações.**, n. Cd, p. 2, 2012.

[6] SCHELLER, Camila; MELO, Ana Paula; SORGATO, Márcio; LAMBERTS, Roberto. **Análise de arquivos climáticos para a simulação do desempenho energético de edificações.** Relatório de pesquisa. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina. 2015.

[7] NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY. **Solar And Wind Energy Resource Assessment (SWERA).** Disponível em: https://openei.org/wiki/Solar_and_Wind_Energy_Resource_Assessment_(SWERA). Acesso em: 15 de fevereiro de 2022.

[8] DOE. United States Department of Energy. **Software EnergyPlus 9.6.0.** Disponível em: https://energyplus.net/. Acesso em: 5 do novembro de 2021.

[9] WEBER, Fernando da Silva; MELO, Ana Paula; MARINOSKI, Deivis Luis; GUTHS, Saulo; LAMBERTS, Roberto. **Desenvolvimento de um modelo equivalente de avaliação de propriedades térmicas para a elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa EnergyPlus**. Relatório de pesquisa.

[10] LIDDAMENT, Martin W. **Air Infiltration Calculation Techniques – An Applications Guide.** Bracknell, Berkshire. 1986.

[11] ASHRAE BOARD OF DIRECTORS. **ASHRAE Position Document on Indoor Carbon Dioxide**. 17 p., 2022.

[12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401-3**: Instalações de ar-condicionado — Sistemas centrais e unitários - Parte 3: Qualidade do ar interior. Rio de Janeiro, 2008.

[13] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7730:** Ergonomics of the thermal environment. Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. 2005.

[14] ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Tabela de peso e altura por idade**. Disponível em: https://www.unimed.coop.br/viver-bem/pais-e-filhos/estatura-por-idade#Tabela%20de%20peso%20e%20altura%20por%20idade,%20de%203%20a%2018%20anos. Acesso em 11 de maio de 2022.

[15] LAWRIE, Linda; CRAWLEY, Drury. **Development of Global Typical Meteorological Years (TMYx).** 2019. Disponível em: http://climate.onebuilding.org. Acesso em: 15 de fevereiro de 2022.

[16] LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Arquivos climáticos em formato TRY, SWERA, CSV e BIN**. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-try-swera-csv-bin. Acesso em: 15 de fevereiro de 2022.

[17] INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Catálogo De Estações Automáticas.** Disponível em: https://portal.inmet.gov.br/paginas/catalogoaut. Acesso em 20 de março de 2022.

[18] CARLO, Joyce Correna; LAMBERTS, Roberto. **Processamento de arquivos climáticos para simulação do desempenho energético de edificações.** 2005. E-book. Disponível em: http://www.labeee.ufsc.br.

[19] GOULART, Solange V. G. **Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações em Florianópolis**. 1993. 124 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1993.

[20] MARSH, Andrew. **Weather 3D**. Disponível em: < https://drajmarsh.bitbucket.io/weather-data.html>. Acesso em 15 de março de 2022.

[21] WESTPHAL, Fernando Simon. Simulação da ventilação natural com o Energyplus: incertezas nos dados climáticos. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2020.