XVIII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
XIV ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
AMBIENTE CONSTRUÍDO E USUÁRIO: PERSPECTIVAS LATINO-AMERICANAS

Ferramentas paramétricas no estudo e projeto de residências naturalmente ventilados – Análise no Vale do Mucuri, MG

Herramientas paramétricas en el estudio y diseño de viviendas naturalmente ventiladas – Análisis en el Valle del Mucuri, MG

Parametric tools in the study and design of naturally ventilated residences – Analysis in Vale do Mucuri, MG

Desempenho Térmico do Ambiente Construído/ *Comportamiento térmico del entorno construido / Thermal Performance of the Built Environment*

Faustino de Souza, Allan
Graduando em Engenharia Civil, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Teófilo Otoni, Brasil, allan.faustino@ufvjm.edu.br

Almeida Andrade, Bruna
Graduanda em Engenharia Civil, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Teófilo Otoni, Brasil, bruna.almeida@ufvjm.edu.br

Rodrigues Marques Sakiyama, Nayara
Prof.ª Dr.-Ing, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Teófilo Otoni, Brasil, nayara.sakiyama@ufvjm.edu.br

Resumo

O desempenho térmico de edificações naturalmente ventiladas depende do projeto e da interação com as características ambientais locais. Este artigo avalia a Eficácia da Ventilação Natural (EVN) no Vale do Mucuri-MG, verificando quando os fluxos de ar externos mantem as temperaturas internas dentro da faixa de conforto, por meio de simulações termo energéticas. Para isso, foi utilizada uma plataforma de modelagem paramétrica 3D (Rhinoceros + Grasshopper), permitindo uma abordagem baseada em desempenho. Uma habitação de interesse social térrea isolada (UH – habLabEEE) foi utilizada como modelo de referência, tendo em vista sua facilidade de acesso e representatividade no contexto brasileiro. Os cálculos indicaram que a EVN estimada com o TMY foi superior à obtida com dados do INMET, evidenciando impactos na escolha do arquivo climático. Apesar de limitada a duas cidades, a metodologia pode ser replicada em outros contextos, contribuindo para a integração da ventilação natural em projetos arquitetônicos e reforçando a importância de estratégias passivas na produção de construções mais sustentáveis.

Palavras-chave: Eficácia da ventilação natural. Modelagem paramétrica. Desempenho térmico.

Resumen

El rendimiento térmico de los edificios naturalmente ventilados depende de su diseño y de la interacción con las condiciones ambientales locales. Este artículo evalúa la Eficacia de la Ventilación Natural (EVN) en el Vale do Mucuri-MG, identificando cuándo los flujos de aire externos pueden mantener las temperaturas internas dentro del rango de confort mediante simulaciones termoenergéticas. Se utilizó una plataforma de modelado paramétrico 3D (Rhinoceros + Grasshopper), lo que permitió un enfoque basado en el rendimiento. Se adoptó como modelo de referencia una unidad habitacional social de una planta (UH – habLabEEE), debido a su accesibilidad y representatividad en el contexto brasileño. Los cálculos indicaron que la EVN estimada con TMY fue superior a la obtenida con los datos del INMET, evidenciando el impacto de la selección del archivo climático. Aunque limitada a dos ciudades, la metodología puede replicarse en otros contextos, contribuyendo a la integración de ventilación natural en el diseño arquitectónico y reforzando la importancia de estrategias pasivas en la construcción sostenible.

Palabras clave: Eficacia de la ventilación natural. Modelización paramétrica. Rendimiento térmico.

Abstract

The thermal performance of naturally ventilated buildings depends on their design and interaction with the local environment. This article evaluates the Natural Ventilation Effectiveness (NVE) in the Vale do Mucuri-MG, identifying when external airflows can maintain indoor temperatures within the comfort range through thermal-energy simulations. A 3D parametric modeling platform (Rhinoceros + Grasshopper) was used, enabling a performance-based approach. A single-story social housing unit (UH – habLabEEE) was selected as the reference model due to its accessibility and representativeness within the Brazilian context. The calculations indicated that the NVE estimated using TMY was higher than that obtained with INMET data, highlighting the impact of weather file selection. Although limited to two cities, the methodology can be replicated in other contexts, contributing to the integration of natural ventilation into architectural design and reinforcing the importance of passive strategies in sustainable construction.

Keywords: Natural ventilation effectiveness. Parametric modelling. Thermal Performance.

Introdução

O setor de construção civil acompanha o crescimento populacional e, consequentemente, o consumo energético das edificações, impactando diretamente o processo de aceleração das mudanças climáticas (Sivirino; Fischer; Linke, 2021). Por isso, é necessário melhorar o desempenho termo energético desse ramo de papel essencial na sociedade, a fim de mitigar seus impactos econômicos e ambientais.

Neste contexto, a busca por estratégias para minimizar o consumo energético, como por exemplo, a arquitetura adequada ao clima, tem ganhado destaque, e a aplicação de elementos passivos de condicionamento é uma maneira eficaz de promoção dessa eficiência nas construções (Oliveira; Sakiyama; Miranda, 2017). No Brasil, a ventilação natural (VN) se destaca com umas das estratégias mais apropriadas de resfriamento passivo, já que no país se predomina um clima quente e úmido (Xavier; Gregorio; Marieli, 2020). Ao melhorar a circulação do ar usando a ventilação natural, pode-se criar um ambiente termicamente confortável (Rodrigues, 2021). Além disso, a utilização da VN contribui para a redução do consumo energético despendido em equipamentos de refrigeração (Roque; Pierri, 2019).

Considerando ainda o aquecimento global, tem-se a intensificação do uso de sistemas ativos de condicionamento, como ventiladores e, principalmente, a popularização de ares-condicionados, que despendem demasiadamente de energia elétrica (Fernandes et al., 2023). Além disso, há uma dificuldade em suprir essa demanda em acentuado crescimento, sendo necessário adotar mecanismos que propiciem a diminuição desse consumo (Altoé et al., 2017). De forma geral, o mercado tem se concentrado na incorporação de soluções tecnológicas para dar aos edifícios um aspecto mais sustentável (Fernandes et al., 2023). Entretanto, o processo de aprendizado e aprimoramento ainda é incipiente, principalmente quanto a importância da fase de concepção do projeto arquitetônico no desenvolvimento de edifícios de alto desempenho. É preciso buscar uma integração mais efetiva das estratégias passivas desde as fases iniciais do projeto, a fim de garantir edifícios mais eficientes e sustentáveis (Darko et al., 2017).

Adicionalmente, notabiliza-se o uso de programas de simulação termo energética de edifícios como uma importante ferramenta de apoio ao projeto, pois permitem análises rápidas, além de considerar diversos cenários climáticos e alternativas construtivas.

A utilização de ferramentas paramétricas, como o *Ladybug Tools* e o *Rhinoceros*, estão se tornando cada vez mais populares na arquitetura e no design, devido a sua capacidade de desenvolver projetos e avaliar o seu desempenho. Esses recursos permitem explorar uma variedade de opções de layouts e otimização, auxiliando a tomada de decisões durante o processo do projeto (Leone; Florio, 2021).

O *Ladybug Tools*, um plugin do *Grasshopper/Rhinoceros*, concentra-se na análise dos dados climáticos e o seu consequente impacto no desempenho de elementos arquitetônicos e no ambiente construído. Por outro lado, o *Rhinoceros* é um programa de modelagem digital que, quando usado com o plugin *Grasshopper* para parametrização, permite a criação de modelos 3D complexos e a análise de várias métricas de desempenho (Freitas; Cronemberger; Soares, 2019). Isso permite que os profissionais ajustem e otimizem o design de um edifício para maximizar a ventilação natural e minimizar o uso de energia com condicionamento artificial (Oliveira; Xavier; Torres, 2013). Através da modelagem paramétrica, é possível explorar uma ampla gama de opções de projeto e identificar aquelas que oferecem o melhor equilíbrio entre estética, conforto e eficiência energética, adequando-se ao clima local.

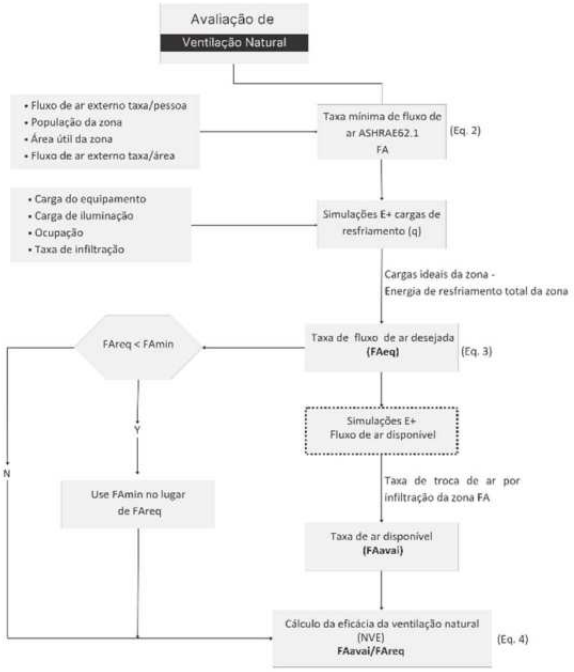
Objetivo

Avaliar a Eficácia da Ventilação Natural (EVN) do Vale do Mucuri-MG, a partir de uma métrica de desempenho que determina quando os fluxos de ar externos podem manter a temperatura interna dos edifícios dentro de uma faixa de conforto. Ferramentas de modelagem paramétrica 3D (*Rhinoceros/Grasshopper*) e componentes da família *Ladybug Tools* foram usadas neste estudo. Esses recursos auxiliam a criação de projetos orientados para o desempenho e os projetistas estão cada vez mais familiarizados com processos digitais.

Eficácia da Ventilação Natural (EVN)

A Figura 1 detalha os passos para verificar a eficácia da ventilação natural (EVN) impulsionada pelo vento com base na metodologia proposta por Yoon e Malkawi (2017). A métrica compara a taxa de fluxo de ar por hora de um edifício com o fluxo de ar necessário para compensar a carga de resfriamento e ventilação. As razões horárias dessas duas taxas de fluxo de ar são somadas e depois divididas pelo total de horas. É, portanto, uma função que relaciona o fluxo de ventilação natural disponível com o requerido.

Figura 1. Fluxograma para avaliar a Eficácia da Ventilação Natural (EVN).



Fonte: os autores.

Taxa mínima de fluxo de ar

O fluxo de ar mínimo (FA_{min}) em m³/s é calculado pela Equação 1 e segue os requisitos de projeto da ASHRAE 62.1 (2022) para ventilação de ambientes ocupados.

$$FA_{min} = Q_p P + Q_a A_{piso}$$

Equação 1

Onde Q_p é a taxa de fluxo de ar externo necessária por pessoa (definida como 2,5 l/s. pessoa); P é a população da zona (maior número de pessoas esperado para ocupar a zona durante o uso típico); Q_a é a taxa de fluxo de ar externo necessária por unidade de área (definida como 0,3 l/s.m²), e A_{piso} é a área do piso da zona.

Taxa de fluxo de ar requerida

O ambiente interno é aquecido devido à radiação solar, à condução através dos materiais de construção e ganhos de calor, com equipamentos, luzes e pessoas (ASHRAE 62.1, 2022). Este calor deve ser removido por meio de ar-condicionado ou ventilação natural para manter as condições confortáveis. Nesse sentido, as cargas de resfriamento são calculadas utilizando simulações de energia como referência para determinar a quantidade de calor que o fluxo externo deve ser capaz de eliminar dos espaços e, assim, atingir a temperatura desejada. Este fluxo de ar requerido (FA_{req}) ou ventilação natural impulsionada pelo vento, necessária para compensar a carga de resfriamento é expressa em m³/s pela Equação 2 como:

$$AF_{req} = \frac{q}{\rho c\ (T_{conf} - T_{ext})}\ , for\ \ T_{conf} \geq T_{ext}$$

Equação 2

onde q é a taxa de calor (kJ/s) da simulação de energia, ρ é a densidade do ar (kg/m³), definida como 1,27, c é a capacidade térmica específica do ar (kJ/kg-K), igual a 1005, e T_{ext} é a temperatura externa (K). Uma temperatura limite de conforto (T_{conf}) é usada em vez da temperatura interna (T_{in}) com a suposição de que os ocupantes dependem de sistemas mecânicos quando a ventilação natural é insuficiente para proporcionar conforto. O modelo adaptativo com limites de aceitabilidade de 80% do Padrão ASHRAE 55 (2023) é usado para os cálculos de T_{conf}. Como a métrica de fluxo de ar resultante nas simulações é a troca de ar por hora (ACH), os fluxos de ar mínimo e necessário, respectivamente FA_{min} e FA_{req}, podem ser convertidos para ACH pela Equação 3, considerando o volume do cômodo, V.

$$ACH_{min/req} = \frac{3600\ \cdot\ FA_{min/req}}{V}$$

Equação 3

Além disso, o fluxo de ar mínimo e o fluxo de ar necessário devem ser comparados. Se o ACH_{min} for maior, ele deve ser usado como referência em vez do ACH_{req}.

Taxa de fluxo de ar disponível

O fluxo de ar que um cômodo pode alcançar por ventilação natural é calculado por meio de um modelo *Air Flow Network* (AFN), que fornece taxas horárias de troca de ar. Assim, a eficácia da ventilação natural (EVN) calcula a relação horária (α_i) para cada i-th hora entre as taxas de fluxo de ar disponíveis (ACH_{disp}) e as necessárias ((ACH_{req}), expressa na Equação 4 como:

$$EVN\ = \sum_{i=1}^{n}\ \ \alpha_i\ ,$$

onde

$$\alpha_i = \ 1, se\ ACH_{avai} \geq ACH_{req}$$

$$\alpha_i = 1, se\ ACH_{req} = 0$$

$$\alpha_i = \frac{ACH_{avai}}{ACH_{req}}, caso\ contrário$$

$$n\ = \text{é o número total de horas}$$

Equação 4

Modelo de referência

A tipologia estudada baseia-se numa das Unidades Base (UB) habitacionais definidas pelo habLabEEE: residência unifamiliar térrea isolada (Figura 2). O projeto habLabEEE[1] visa elevar a qualidade das habitações populares no contexto brasileiro, com foco na compreensão e aprimoramento da eficiência energética das residências, bem como do conforto dos moradores. A definição das UB do projeto fundamentou-se na pesquisa desenvolvida por Triana (2016), que teve como uma de suas etapas o desenvolvimento de projetos representativos do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), analisando 108 projetos em profundidade, de companhias de habitação e construtoras atuantes no Programa em todas as regiões do Brasil.

A escolha pela residência unifamiliar térrea isolada pautou-se no levantamento realizado por Telles (2016), baseado na metodologia criada por Vasconcelos et al. (2015) para a definição de modelos representativos do cenário residencial brasileiro. Após a análise das características externas e classificação em frequência de ocorrência, Telles apresentou o percentual de tipologias levantadas por Zona Bioclimática (ZB) e as características construtivas mais representativas por tipologia e ZB. A autora evidenciou a predominância de edificações unifamiliares de um pavimento em detrimento das multifamiliares, além de confrontar a sua amostragem com outros modelos encontrados na literatura.

Como identificado na Figura 2, a residência unifamiliar térrea isolada possui dois dormitórios, uma sala/cozinha e um banheiro. As especificações técnicas desse modelo foram desenvolvidas em conformidade com as diretrizes estabelecidas pela norma NBR 15575:2021 (ABNT, 2021).

Características construtivas

Algumas das características construtivas da residência unifamiliar térrea isolada incluem paredes de concreto com espessura de 10 cm e uma cobertura constituída por laje de concreto com telha de fibrocimento. Além disso, as janelas de correr foram projetadas com uma área de elementos transparentes correspondente a 17% da área do piso das Áreas de Permanência Prolongada (APP). Aberturas para ventilação correspondentes a 45% de todas as janelas em todas as APPs foram consideradas, enquanto elementos de sombreamento, embora representados por beirais de 50 cm no projeto, não foram incluídos.

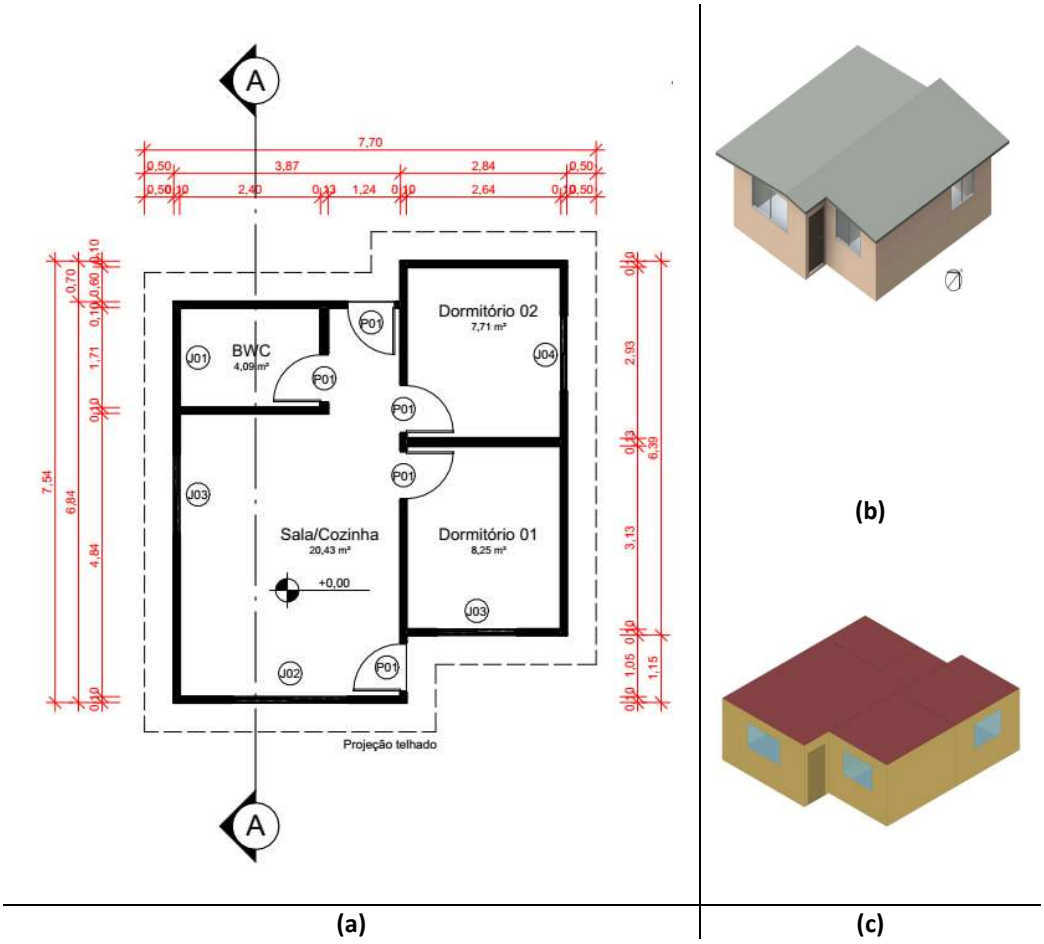
Outras características incluem um pé-direito de 2,50 m, janelas do tipo "basculante" nos banheiros com dimensões de 0,60 x 0,60 m, e portas do tipo "de abrir" com dimensões de 0,80 x 2,10 m. A área útil total deste modelo é de 40,48 m², distribuída entre as áreas de Permanência Prolongada (APP) e os acessos às unidades: Áreas de Permanência Transitória (APT).

Modelos de referência de cinco tipologias, com pranchas técnicas, modelo de simulação e seus resultados para doze cidades brasileiras estão disponibilizados no site do habLabEEE. A

[1] HAB.LABEEE. Disponível em: <https://hablabeee.ufsc.br/>.

escolha desse projeto específico se deu em virtude de sua facilidade de acesso, aderência aos parâmetros e diretrizes estabelecidos pela normativa em vigor, bem como pela sua representatividade em termos de habitações populares no contexto brasileiro.

Figura 2:– Residência unifamiliar térrea isolada (hab.labEEE)
a) Térreo, b) Perspectiva, c) Modelo de Simulação.



Fonte: Hab.labEEE

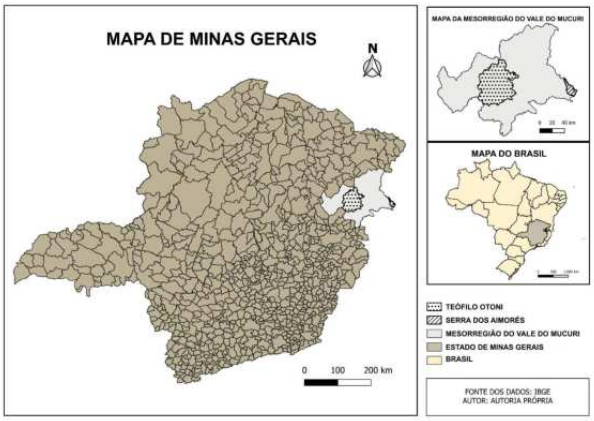
Avaliação da Eficácia da Ventilação Natural (EVN) do Vale do Mucuri, MG

Vale do Mucuri, MG

Explorando as capacidades dos componentes *Ladybug Tools* integrados ao *Rhino/Grasshopper*, investigou-se a Eficácia da Ventilação Natural (EVN) nas cidades do Vale do Mucuri, localizado na mesorregião nordeste do estado de Minas Gerais. A região possui aproximadamente 20.000 km², compreendendo cerca de 393.000 habitantes, divididos em 23

cidades [2], como ilustrado na Figura 3. Essas cidades, estão englobadas nas zonas bioclimáticas 5 e 8– NBR 15220-3 (ABNT, 2005). As estratégias de condicionamento térmico passivo para a ZB 5 incluem a ventilação cruzada no verão e a inércia térmica no inverno, enquanto a ZB8 – tem como estratégias a utilização de grandes aberturas e ventilação cruzada permanente, como descrito no Quadro 1.

Figura 3: Vale do Mucuri – MG



Dentre os 23 municípios que compõem os Vales do Mucuri, apenas dois possuem arquivos .epw disponíveis para baixar no plugin *Ladybug*: Teófilo Otoni e Serra dos Aimorés, em destaque na Figura 3. Portanto, as investigações limitam-se aos dados dessas duas cidades, e busca-se, a partir desses, extrapolar os seus resultados para a região de estudo, já que elas representam as duas ZB`s que compõe o Vale do Mucuri.

Quadro 1: Cidades do Vale do Mucuri, suas respectivas ZB`s e estratégias bioclimáticas

		Zona 5	**Zona 8**
Cidades		Águas Formosas, Ataleia, Bertópolis, Carlos Chagas, Catuji, Crisólita, Franciscópolis, Frei Gaspar, Fronteira dos Vales, Itaipé, Ladainha, Machacalis, Malacacheta, Novo Oriente de Minas, Ouro Verde de Minas, Pavão, Poté, Santa Helena de Minas, Setubinha, **Teófilo Otoni**, Umburatiba	Nanuque, **Serra dos Aimorés**
Estratégias para Ventilação Natural	Aberturas para ventilação	Médias	Grandes
	Sombrear as aberturas*		
	Condicionamento térmico passivo	Ventilação Cruzada (verão) Vedações internas pesadas (inércia térmica)	Ventilação cruzada permanente
* O sombreamento não foi utilizado no modelo, mas pode ser avaliado em estudos futuros.			

Fonte: Adaptado de Sakiyama, Lopes e Sakiyama [20]

[2] Mesorregião do Vale do Mucuri - **Informações sobre as cidades desse grupo de municípios**. Disponível em: <https://www.cidade-brasil.com.br/mesorregiao-do-vale-do-mucuri.html>.

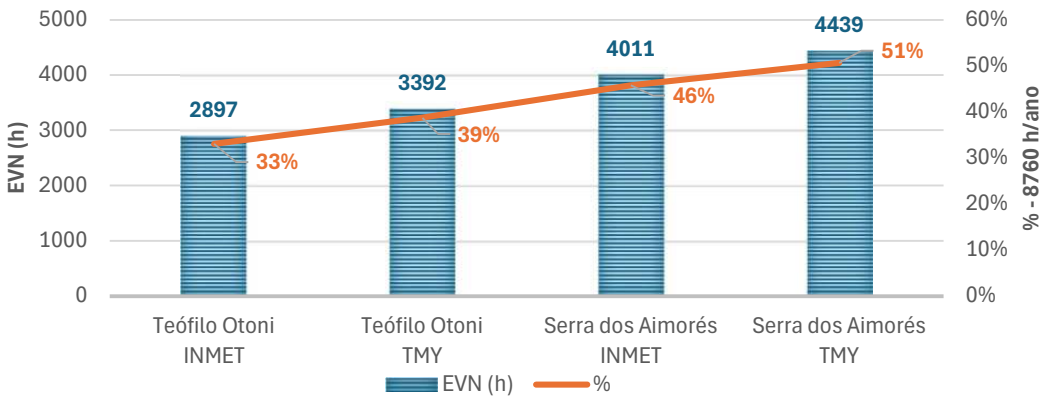
O modelo de simulação, arquivo IDF (*Input Data File*) do *EnergyPlus* disponibilizado pelo habLabEEE foi integrado ao *Grasshopper/Rhinoceros* utilizando-se as famílias do *Ladybug Tools*, por meio dos componentes do *Honeybee*, *Honeybee_Energy* e do *Ladybug*. Os componentes permitem a realização de análises paramétricas, possibilitando que variações na geometria e características da envoltória sejam consideradas.
Tanto os formatos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) quanto do *Typical Meteorological Year* (TMY) foram considerados nas simulações anuais realizadas (8760h) para as cidades do Vale do Mucuri investigadas: Teófilo Otoni e Serra dos Aimorés (Quadro 2).

Quadro 2: Arquivos climáticos considerados nas simulações

Cidade investigada	Fonte do Arquivo Climático (ano)	
	INMET	**TMY**
Teófilo Otoni	2007	2018
Serra dos Aimorés	2007	2017

Adicionalmente, as equações da métrica de avaliação da Eficácia da Ventilação Natural foram implementadas no script desenvolvido usando componentes nativos do *Grasshopper/Rhinoceros*. Dessa forma, a EVN foi calculada automaticamente, possibilitando uma estimativa rápida da relação entre o fluxo de ventilação natural disponível e requerido, a fim de garantir o conforto térmico nas edificações nas cidades investigadas.
A Figura 4 sintetiza os resultados da análise da Eficácia da Ventilação Natural para as cidades do Vale do Mucuri, utilizando os arquivos climáticos disponíveis do INMET e do TMY. Os dados são apresentados tanto em porcentagem quanto em número total de horas anuais, indicando o período em que os fluxos de ar externo seriam suficientes para remover as cargas térmicas do ambiente e, consequentemente, manter as temperaturas internas dentro da faixa de conforto térmico.

Figura 4. Eficácia da Ventilação Natural (EVN) das cidades/arquivos climáticos considerados



Fonte: os autores

Para o modelo representativo adotado — uma residência unifamiliar térrea isolada — observou-se que a cidade situada na ZB 8 (Serra dos Aimorés) apresentou maior eficácia da

ventilação natural em comparação à ZB 5 (Teófilo Otoni). Isso pode ser atribuído a fatores como altitude, disposição geográfica e circulação atmosférica local, que impactam a intensidade dos ventos e a eficiência da troca térmica entre o ambiente interno e externo. Além disso, ambas as cidades demonstraram uma EVN superior quando estimada a partir do arquivo climático TMY, em comparação aos dados do INMET. Enquanto a ventilação natural de Teófilo Otoni, com base nos registros do INMET, foi eficaz por 2.897 horas/ano, na cidade de Serra dos Aimorés, esse valor alcançou 4.011 horas/ano. Já com o TMY, houve um aumento de 6% para Teófilo Otoni e 5% para Serra dos Aimorés, evidenciando como diferentes fontes climáticas influenciam a estimativa da ventilação natural.

Essa diferença pode estar relacionada à metodologia de construção dos arquivos climáticos. O arquivo TMY tende a excluir extremos climáticos e selecionar períodos típicos mais representativos, enquanto o INMET reflete a variabilidade real do clima ao longo dos anos.

O INMET usa séries históricas contínuas, enquanto o TMY combina informações de diferentes anos, o que pode suavizar variações sazonais. Essas diferenças metodológicas podem impactar diretamente os resultados das análises e precisam ser consideradas ao definir estratégias para o projeto arquitetônico (Carvalho; Souza, 2020; Guimarães; Carlo, 2015).

De modo geral, os resultados indicam que a ventilação natural, isoladamente, não seria suficiente para garantir o conforto térmico ao longo de todo o ano. Em Serra dos Aimorés, sua eficácia foi inferior a 50% das 8.760 horas anuais, enquanto em Teófilo Otoni esse índice caiu para 40%. Isso reforça a necessidade de adotar estratégias complementares, como sombreamento adequado, ventilação cruzada e, eventualmente, sistemas de condicionamento artificial, para garantir condições térmicas adequadas ao longo do ano.

Conclusão

Esse artigo apresenta a implementação de uma métrica que avalia a eficácia da ventilação natural (EVN), a partir da simulação termo energética das edificações, numa plataforma paramétrica de modelagem 3D. A abordagem possibilita um processo de projeto mais dinâmico e ajustável, reforçando a importância da análise climática na concepção arquitetônica.

Com base nos dados climáticos disponíveis para as cidades de Teófilo Otoni e Serra dos Aimorés (INMET e TMY), localizadas no Vale do Mucuri, a EVN da região foi avaliada, limitando-se a uma residência unifamiliar térrea isolada como modelo de referência. Edificações multifamiliares ou comerciais podem apresentar padrões diferentes de ventilação e demanda energética. Além disso, a análise desconsidera influências como morfofisiologia urbana, presença de barreiras arquitetônicas e variações microclimáticas locais. Em áreas densamente urbanizadas, a ventilação pode ser impactada por ilhas de calor e bloqueios físicos ao fluxo de ar, reduzindo sua eficácia.

Adicionalmente, os resultados obtidos revelaram variações dependendo do arquivo considerado. A EVN calculada a partir do *Typical Meteorological Year* (TMY) apresentou melhores resultados do que os obtidos com os arquivos disponibilizados pelo Instituto

Nacional de Meteorologia (INMET), evidenciando a dependência da representatividade dos dados climáticos utilizados.

Embora os resultados disponíveis limitem-se às duas cidades mencionadas, a metodologia apresentada pode ser replicada em outros estudos que busquem avaliar a eficácia da ventilação natural como estratégia passiva em edificações. Afinal, a abordagem representa uma alternativa compatível ao desenvolvimento de projetos baseados em desempenho. Com a crescente digitalização do setor de arquitetura, engenharia e construção, os projetistas estão cada vez mais familiarizados com processos digitais e a integração de ferramentas paramétricas facilita a tomada de decisão informada.

Referências

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações -Parte 3: Zoneamento bioclimático Brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

Altoé, L; Costa, J. M.; Oliveira F., D.; Martinez, F. J. R.; Ferrarez, A. H.; Viana, L. de A. Políticas públicas de incentivo à eficiência energética. **Estudos Avançados**, [S.L.], v. 31, n. 89, p. 285-297, abr. 2017. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/s0103-40142017.31890022.

ASHRAE, 55 **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**, 2023.

ASHRAE, 62.1 - **Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality**., 2022.

Carvalho, C. C.; SOUZA, H. A. Utilização de arquivos climáticos para a análise das condições de conforto térmico adaptativo em Viçosa. In: **Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, 2020, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: ENTAC, 2020.

Darko, A. et al. Drivers for implementing green building technologies: An international survey of experts. **Journal of cleaner production**, v. 145, p. 386–394, 01 março de 2017.

Guimarães, Í. B. B.; Carlo, J. C. Comparação estatística entre arquivos climáticos desenvolvidos com métodos diferentes. In: **EURO ELECS 2015**, Guimarães, Portugal. Anais... Guimarães: Universidade do Minho, 2015.

Fernandes, F. L. F.; Matias, H. H. A.; Mota, I. R.; Corrêa, T. M. da S.; Silva, T. de C. Análise térmica comparativa entre uma casa convencional e uma casa com ventilação natural. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, [S. l.], v. 12, n. 2, p. e23157, 2023. DOI: 10.5585/geas.v12i2.23157.

Freitas, J. de S.; Cronemberger, J.; Soares, R. M. Using Rhinoceros Plugins Grasshopper And Ladybug To Assess BiPV Façades In Brasília. **Building Simulation Conference Proceedings**, [S.L.], p. 4467-4472, jan. 2019. IBPSA. http://dx.doi.org/10.26868/25222708.2019.211121.

Leone, C; Florio, W. Análise paramétrica de iluminação natural e de proteção solar de edifícios torcidos. **Ambiente Construído**, [S.L.], v. 21, n. 4, p. 247-270, out. 2021. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212021000400568.

Oliveira, C. C. de; Sakiyama, N. R. M.; MIRANDA, L. V. de. Desempenho térmico de uma edificação unifamiliar naturalmente ventilada para o clima de Teófilo Otoni-mg. **REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, Goiânia, v. 13, n. 2, 2017. DOI: 10.5216/reec.v13i2.42940.

Oliveira de, E.; Xavier, A.; Torres, F. Conforto térmico e ambientes naturalmente ventilados, In: **XXXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção 2013**, Salvador, BA, Brasil, 2025. Disponível em:

<https://abepro.org.br/biblioteca/enegep2013_TN_STO_180_031_22778.pdf>. Acesso em: 25 maio. 2024.

Rodrigues, M. L. Avaliação de técnicas passivas para conforto térmico visando à racionalização do uso de sistemas de ar-condicionado em casas populares. 107 f. **Dissertação de Mestrado** - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2021.

Roque, R. A. L.; Pierri, A. C. Intelligent use of natural resources and sustainability in civil construction. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 8, n. 2, p. e3482703, 2019. DOI: 10.33448/rsd-v8i2.703. Disponível em: https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/703.

Sakiyama, N. R. M.; Drummond, D. L.; Sakiyama, F. I. H. Aplicação de componente Grasshopper para estimar o PVN: estudo de caso no Vale do Mucuri em MG. In: **Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído**, 17., 2023. Anais [...]. [S. l.], 2023. p. 1–8. DOI: 10.46421/encac.v17i1.3748. Disponível em: https://eventos.antac.org.br/index.php/encac/article/view/3748. Acesso em: 31 maio. 2024.

Sivirino, K. J.; Fischer, Y. P.; Linke, P.P. Construção sustentável: uma revisão bibliográfica. **Revista Monografias Ambientais**, Santa Maria, v. 20, e2, 2021. DOI 10.5902/2236130864001. Disponível em: https://doi.org/10.5902/2236130864001. Acesso em: 07 maio 2025

Triana, M, M.A. Abordagem integrada no ciclo de vida de habitação de interesse social considerando mudanças climáticas. **Tese de doutorado**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 2016.

Telles, C. de P. Proposta de Simplificação do RTQ-R. **Dissertação de Mestrado**. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Viçosa, 2016. Disponível em: https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/8456/1/texto%20completo.pdf. Acesso em 31 de maio de 2024.

Vasconcelos, A. B.; Pinheiro, M. D.; Manso, A.; Cabaço, A. A Portuguese approach to define reference buildings for cost-optimal methodologies. **Applied Energy**, v. 140, p. 316 – 328, 2015.

Xavier, A. C. de A.; Gregorio, A. S.; Lukiantchuki, M. A. Análise da ventilação natural como condicionante da forma urbana**.** Encontro Nacional De Tecnologia Do Ambiente Construído, 18., 2020. **Anais ....** Porto Alegre: ANTAC, 2020. p. 1–8. DOI: 10.46421/entac.v18i.819.

Yoon, N.; Malkawi, A. Predicting the effectiveness of wind-driven natural ventilation strategy for interactive building design, in: Building Simulation 2017, San Francisco, USA, 2017, **Proceedings …** pp. 2163–2170.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer o apoio da Agência de Pesquisa do Estado de Minas Gerais e Desenvolvimento (FAPEMIG) - Processo: APQ-00872-22 – e da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), que por meio da Comissão de Iniciação Científica e Tecnológica – CICT financiaram parte desta pesquisa.