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

# Impacto do Fechamento do Lote na Variação dos Coeficientes de Pressão em Edificações Térreas

## Impact of Lot Boundary Walls on Pressure Coefficient Variation in Single-Story Buildings

**Isabely Penina Cavalcanti da Costa**
Universidade Estadual de Campinas - Instituto Federal de Alagoas | Maceió | Brasil | isabely.costa@ifal.edu.br
**Lucila Chebel Labaki**
Universidade Estadual de Campinas | Campinas | Brasil | chebella@unicamp.br
**Athos Lages**
Hexperts Inovação e Tecnologia | Jaboatão dos Guararapes | Brasil | athos.lages@gmail.com

**Resumo**

A ventilação natural, impulsionada pela ação do vento, ocorre devido ao deslocamento do ar gerado pelo diferencial de pressão nas faces da edificação. Vários fatores podem influenciar a distribuição de pressão, como a presença de muros, que geralmente reduzem os diferenciais de coeficientes de pressão (Cps). No entanto, pesquisas anteriores analisaram edificações isoladamente, sem considerar o entorno, um fator importante devido ao seu efeito de abrigo. O objetivo deste trabalho é avaliar a influência do fechamento do lote na distribuição dos Cps nas fachadas de um modelo de edificação térrea, levando em conta o entorno imediato. Utilizando simulações CFD (*Computational Fluid Dynamics*), foram simulados 22 casos, variando três parâmetros: permeabilidade, altura e recuo frontal dos muros. Os resultados mostraram que a presença do entorno causou a inversão da sobrepressão nos cenários de maior altura do muro, sendo este o parâmetro com maior impacto; mostraram também a dissociação entre o aumento da permeabilidade e o aumento dos diferenciais de Cps. Esta pesquisa contribui para uma melhor aproximação das condições reais de ventilação natural, ao incluir um padrão urbano comum nas cidades brasileiras.

Palavras-chave: Ventilação natural. Coeficientes de pressão. Muro Frontal. Análise paramétrica. CFD.

**Abstract**

*Natural ventilation, driven by wind action, occurs due to the displacement of air generated by the pressure differential on the faces of the building. Several factors can influence pressure distribution, such as the presence of boundary walls, which typically reduce pressure coefficient differentials (Cps). However, previous research has analyzed isolated buildings, not considering the surrounding environment, an important factor due to its sheltering effect. This study aims to assess the influence of lot boundary walls on the distribution of Cps on the facades of a single-*

Como citar:
COSTA, I. P. C.; LABAKI, L. C.; LAGES, A. Impacto do Fechamento do Lote na Variação dos Coeficientes de Pressão em Edificações Térreas. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

*story building model, considering the immediate surroundings. Using Computational Fluid Dynamics (CFD) simulations, 22 cases were simulated, varying three parameters: wall permeability, height, and front setback. The results showed that the presence of the surroundings led to an inversion of overpressure in scenarios involving taller wall heights, which had the most significant impact, and a dissociation between increased permeability and increased Cps differentials. This research contributes to a better understanding of real conditions by incorporating a common urban pattern found in Brazilian cities.*

*Keywords: Natural ventilation. Pressure coefficients. Front Boundary Wall. Parametric analysis. CFD.*

## INTRODUÇÃO

A ventilação natural, impulsionada pela ação do vento, ocorre devido ao deslocamento do ar gerado pelo diferencial de pressão nas faces da edificação, resultante da transformação da energia cinética do vento em pressão estática. Quando uma corrente de ar atinge um edifício um edifício, as faces expostas ao vento (barlavento) experimentam uma região de pressão positiva ou alta pressão (sobrepressão), enquanto as faces não expostas, como as laterais e a oposta à corrente de ar (sotavento), estão em uma região de pressão negativa ou baixa pressão (subpressão) [1] [2]. Assim, as pesquisas relacionadas à ventilação natural investigam a distribuição de pressões ou coeficientes de pressão (Cps) nas superfícies das edificações para entender o comportamento do fluxo de ar e as cargas de vento.

Vários fatores podem influenciar a distribuição de pressão em edificações, e um desses fatores é a presença de muros. Os muros geralmente tendem a diminuir os diferenciais nos coeficientes de pressão (Cps) ou até mesmo inverter a sobrepressão, em que os valores de Cps no lado sotavento da edificação tornam-se maiores do que no lado barlavento. A magnitude desses efeitos está relacionada aos parâmetros geométricos e à implantação dos muros [3] [4] [5] [6] [7] [8] [9]. No entanto, a maioria das pesquisas avaliou edificações de forma isolada, sem considerar o entorno, um fator importante devido ao seu efeito de abrigo [10] [11].

Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é avaliar a influência do fechamento do lote na distribuição dos Cps nas fachadas de um modelo de edificação térrea, levando em conta o entorno imediato.

## MÉTODO

A pesquisa emprega uma abordagem metodológica exploratória, realizando simulações com base em Dinâmica dos Fluidos Computacional (*Computational Fluid Dynamics* - CFD) no *software* CFX 2020 R2 [12], sendo organizada em três etapas principais: (1) Definição dos cenários; (2) Simulação CFD; e (3) Pós-processamento e análise dos resultados.

## DEFINIÇÃO DOS CENÁRIOS

Para definição dos cenários de análise, foram escolhidos os seguintes aspectos: (1) parâmetros variáveis; (2) elemento vazado; (3) modelo de edificação; e (4) parâmetros fixos.

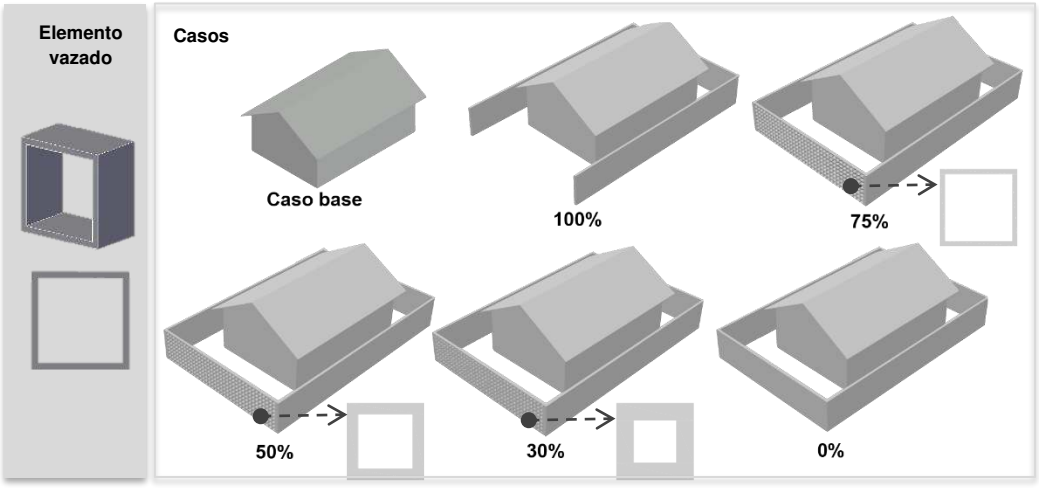
Para a investigação, foram selecionados 3 (três) parâmetros variáveis de configuração do muro: área permeável do muro, altura do muro e sua localização (recuo). A ênfase foi direcionada à variação da área permeável, pois este parâmetro é predominante em pesquisas correlatas [3] [4] [13] [14] [15]. A pesquisa enfocou no muro frontal, uma vez que esta é a divisa do lote mais flexível em termos de concepções projetuais, ao contrário das divisas laterais e posterior, que frequentemente se conectam com lotes vizinhos.

Optou-se por selecionar o elemento vazado do tipo quadriculado com um único furo (Figura 1), pois este se aproxima da concepção original do cobogó [16]. Além disso, a simplicidade deste elemento facilita a análise paramétrica em comparação com formatos mais complexos. Considerando modelos de cobogós disponíveis comercialmente, foi concebido um módulo base com dimensões totais de 25 x 25 x 15 cm (comprimento x altura x espessura).

Dessa forma, foram definidos seis casos principais (Figura 1), sendo o primeiro o caso base, que representa a edificação sem a presença de muros, e os outros cinco com diferentes porcentagens de área permeável no muro frontal: 100%, 75%, 50%, 30% e 0% (representando um muro sólido). As porcentagens foram determinadas considerando a proporção entre o volume vazado (aberto) e o volume total do muro frontal, variando a espessura do elemento vazado, sem alterar suas dimensões totais.

Escolheu-se um modelo de edificação térrea com planta retangular e área de aproximadamente 40 m² (Figura 1). As dimensões foram estabelecidas com base no modelo de habitação desenvolvido no trabalho de Rossi *et al.* [17], que se originou de um levantamento das características de casas populares naturalmente ventiladas no Brasil.

**Figura 1: Modelo de elemento vazado e os 6 (seis) casos analisados na pesquisa**




Fonte: os autores.

Os seis casos foram analisados considerando quatro cenários criados a partir da variação da altura e do recuo frontal. Para análise da altura, foram consideradas as determinações existentes nas legislações municipais, embora a maioria dos planos diretores e códigos de obras não estabeleça regulamentação para a altura de muros. Entre as legislações que a estabelecem, foram encontrados valores de altura máxima variando entre 2,00 m e 3,50 m [18] [19] [20]. Com base nisso, foram selecionados dois valores de altura: 2,0 m e 3,0 m.

Para a definição dos valores de recuo, considerou-se, inicialmente, o tamanho mínimo do lote de 125 m² [21]. Posteriormente, foram verificadas as determinações sobre recuos nos planos diretores e códigos de obras das capitais brasileiras. Os valores mínimos mais recorrentes de recuos laterais e posterior foram de 1,5 m. Para o recuo frontal, o valor de 3,0 m foi predominante. Com base nesse levantamento, os valores dos recuos laterais e posterior foram fixados (Tabela 1), e foram estudadas duas variações do recuo frontal: 3,0 m e 5,0 m. Isso resultou em dois tamanhos de lotes, com aproximadamente 130 m² e 150 m².

As variações dos parâmetros geraram um total de 22 casos simulados. As demais condições do estudo foram fixadas, conforme a Tabela 1. Ressalta-se que a velocidade do vento foi definida com base na velocidade média encontrada em cidades brasileiras em que a ventilação natural seja uma estratégia relevante para obtenção de conforto térmico [22].

**Tabela 1: Síntese dos parâmetros fixos investigados**

| Parâmetro | Valores |
|---|---|
| Velocidade do vento | 3,0m/s (a 10m de altura) |
| Ângulo de incidência do vento | 0° (norma à fachada frontal) |
| Recuos laterais | 1,50m* |
| Recuo posterior | 2,00m* |
| Elemento vazado (dimensões gerais) | 25 x 25 x 15cm (L x H x P) |

Nota: *Com base no levantamento das legislações municipais. Fonte: os autores.

## SIMULAÇÃO CFD

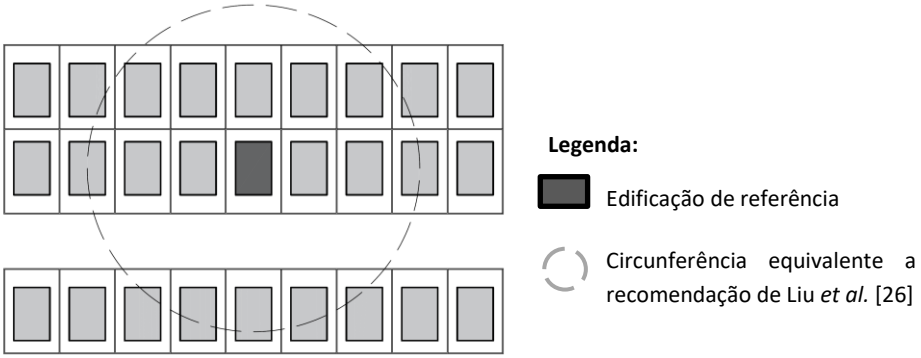
- Geometria do modelo

A geometria da edificação foi modelada sem aberturas (selada), visto que se considerou a área externa ao redor da edificação e o detalhamento do muro como foco da análise.

Foi definido o entorno a partir de características de loteamentos de habitações populares [23] [24], da literatura sobre as interferências do entorno em simulações CFD [25] [26] e do custo computacional, considerando o detalhamento da área permeável do muro, que demanda maior refinamento da malha.

Assim, o entorno imediato foi modelado representando o recorte de duas quadras com desenho retangular e traçado regular, sendo o lote central o de referência para análise (Figura 2). Este recorte se aproxima da recomendação de Liu *et al.* [26], que estabelece como mínimo necessário para simulações CFD, uma faixa de construções com raio que equivale a três vezes a maior dimensão da edificação analisada.

**Figura 2: Planta de situação da edificação estudada com entorno imediato considerado na simulação**



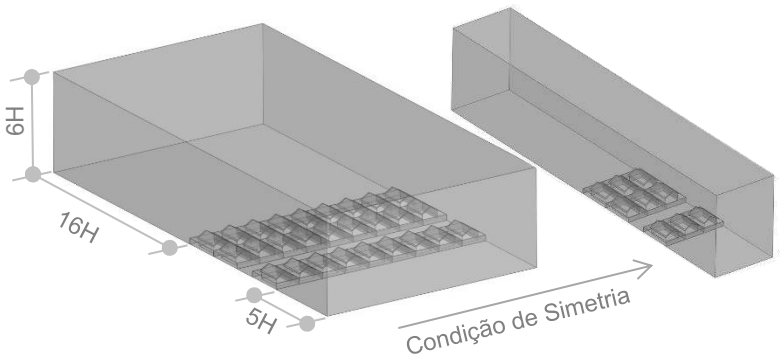

Fonte: os autores.

- Domínio computacional

Optou-se por um domínio de formato retangular para otimizar o processo de simulação (Figura 3), uma vez que essa configuração requer uma quantidade menor de elementos de malha em relação aos formatos circular ou octogonal [27]. Além disso, aplicou-se a condição de simetria ao modelo, reduzindo assim o custo computacional e permitindo a simulação de apenas uma parte, com a solução do restante deduzida da parte simétrica.

As dimensões gerais do domínio (Figura 3) seguiram as orientações do COST C14 [28], exceto nas laterais. Devido à aplicação da condição de simetria, as edificações das extremidades tiveram que ser ajustadas às faces laterais do domínio.

**Figura 3: Domínio computacional**




Nota: H corresponde à altura da edificação, na pesquisa esse valor é de aprox. 4,5 m. Fonte: os autores.

- Configurações do solver, malha e condições de contorno

O Quadro 1 sintetiza as principais configurações utilizadas nas simulações, estas utilizaram como base pesquisas correlatas em CFD [29] [30].

**Quadro 1: Configurações utilizadas nas simulações CFD**

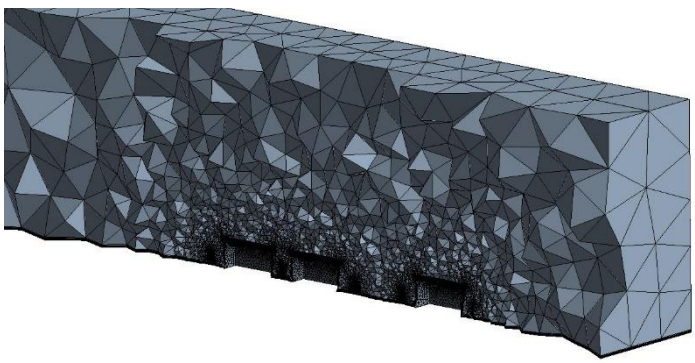
| Configurações | Definição |
|---|---|
| Malha – parâmetros globais | *Max Size* = 12000 mm<br>*Growth Rate* = 1,2<br>*Defeature size* = 50 mm<br>*Proximity min size* = 140 mm<br>*Num Cells across gap* = 3 |
| Malha – refinamento local | Edificação = 100 mm<br>Arestas do muro = 50 mm |
| Regime de simulação | *Steady State* (condições se mantêm constantes) |
| Domínio como fluido | *Air ideal gas* (pressão atmosférica local como ideal) |
| Regime térmico | *Isothermal* (desprezam-se as variações de temperatura e mistura efetiva de ar) |
| Modelo de turbulência | k-ε *(K-Épsilon)* |
| Funções turbulentas de superfície | Scalable (funções ajustadas com as interações entre fluido e as superfícies sólidas) |
| Controle da solução matemática | Critério de convergência RMS* = $10^{-4}$<br>Número máximo de iterações = 100<br>y+ (Yplus) = 20 < y+ < 300 |

Nota: *RMS = *Root Mean Square* (Raiz quadrada média). Fonte: os autores.

Foi utilizada a abordagem Reynolds-averaged Navier-Stokes (RANS), com o modelo de turbulência k-ε, devido ao seu custo-benefício entre precisão, menor complexidade e custo computacional em comparação com outras abordagens [31].

As malhas foram criadas com elementos tetraédricos e prismáticos, considerando a capacidade de processamento computacional disponível. Foi estabelecido o refinamento local nas áreas de maior importância, sendo estas as superfícies da edificação e as arestas do muro (Figura 4), especialmente nos modelos com muros vazados.

**Figura 4: Malha gerada para os modelos**



Fonte: os autores.

Foram realizados testes de refinamento da malha, para garantir que a solução numérica fosse independente da malha utilizada. Na análise da qualidade da malha verificou-se que todos os modelos apresentaram convergência dos resíduos antes de 100 iterações.

Os valores obtidos para o y+ ficaram dentro do limite estabelecido no Quadro 1, com exceção de algumas regiões do modelo, a exemplo do componente vazado, que registraram valores menores que 20. Esta dificuldade é decorrente do conflito entre

aumentar a espessura da primeira camada prismática para alcançar melhores valores de y+ e a tendência de reduzir os elementos de malha para representar adequadamente as pequenas dimensões da geometria do componente. Constatações semelhantes foram observadas em outras pesquisas [22] [27] [32]. Optou-se, assim, por priorizar os resultados obtidos com os demais critérios de qualidade e testes de refinamento.

Ressalta-se que o procedimento numérico do modelo CFD passou por validação utilizando os resultados experimentais do estudo conduzido por Karava, Stathopoulos e Athienitis [33], como descrito em Costa; Labaki; Lages [22].

### PÓS-PROCESSAMENTO - ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para a análise da distribuição dos Coeficientes de Pressão (Cps), foram plotados contornos por gradação de cores nas fachadas da edificação de referência. Esses contornos seguiram uma escala de cores que vai de vermelho (Cps próximos de 0,50) a azul (Cps próximos de -1,50). Além dos contornos, foram extraídos os valores médios dos Cps de cada fachada, utilizando a Equação 1 [34]. Com os valores obtidos para as fachadas a barlavento e a sotavento, foram calculados os diferenciais médios de pressão (ΔCpm = Cpm barlavento – Cpm sotavento).

$$Cp = \frac{P_x - P_e}{\frac{1}{2}\rho . V^2 ref} \qquad \textbf{Equação 1}$$

Onde:
Cp = Coeficiente de pressão (adimensional)
$P_x$ = Pressão média na janela (Pa). Calculada pela integral dos valores de pressão na superfície da janela.
$P_e$ = Pressão estática de referência, do fluxo de ar não perturbado (Pa). Nas condições da simulação computacional, a pressão estática de referência é adotada como sendo nula.
$\boldsymbol{\rho}$ = Massa específica do ar (kg/m³). Nas condições de temperatura de 25°C e pressão de 1atm, tem-se que $\boldsymbol{\rho}$ = 1,184 kg/m³.
*Vref* = Velocidade do fluxo (m/s) medida em um ponto antes da alteração sofrida pelos obstáculos, geralmente na cota da cobertura do edifício. Sendo a altura do edifício igual a 4,60 m, considerou-se *Vref* = 1,53 m/s.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados foram organizados pela análise geral dos cenários e parâmetros estudados.

### ANÁLISE DOS CENÁRIOS

Nos casos base, nota-se que a fachada a barlavento concentrou os valores máximos de Cps na parte superior, próximo ao beiral (Figura 5), área onde ocorre a separação do fluxo de ar. A intensidade dos Cps vai diminuindo em direção às laterais e ao centro da fachada, regiões em que o fluxo de ar ganha velocidade, voltando a crescer levemente na parte inferior, onde o escoamento retorna para a área frontal da edificação. De

modo semelhante às fachadas laterais, a fachada a sotavento apresentou Cps negativos. Apesar das médias dos Cps nas fachadas serem negativas, as diferenças entre as fachadas a barlavento e sotavento são positivas (ΔCp Médio), com ênfase para o caso base 2 (maior recuo), que registrou valores mais altos (Tabela 2).

Os gráficos de contorno (Figura 5) ilustram apenas as fachadas a barlavento e sotavento, pois a incorporação de muros provocou uma mudança mais significativa na distribuição dos valores de Cps na fachada a barlavento, resultando em uma diminuição em todos os casos. Nas outras fachadas, o padrão é mais semelhante ao dos casos base, com reduções mais sutis. Consequentemente, houve uma diminuição nos diferenciais de Cps (ΔCp Médio) entre as fachadas a barlavento e sotavento, na maioria dos casos (Tabela 2).

Nos cenários 1 e 3, com muros de menor altura, percebe-se que o padrão de distribuição de Cps foi semelhante aos casos base (Figura 5), mas com uma redução dos valores de Cps na fachada a barlavento, especialmente nos casos com maior permeabilidade (100% e 75%). Nesses casos, os diferenciais médios de Cps entre as fachadas a barlavento e sotavento variaram na ordem de -81% e -86% em relação aos casos base (Tabela 2). Destaca-se que, embora os diferenciais médios de Cps tenham diminuído em todos os casos, eles ainda permaneceram positivos. Ao comparar o cenário 3 com o cenário 1, observa-se pouca variação nos diferenciais, com uma sutil elevação a partir do aumento do recuo (cenário 3).

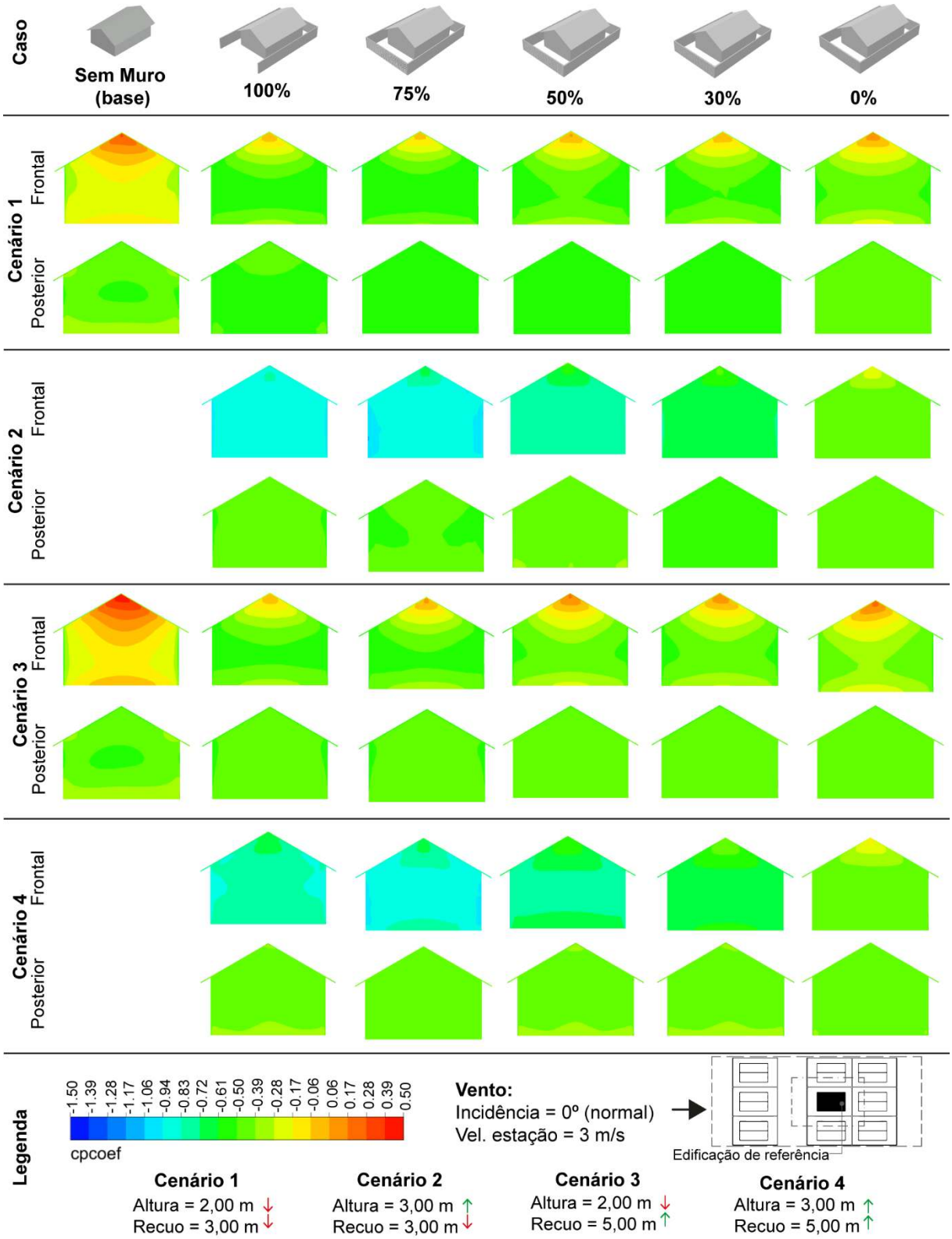
Nos cenários 2 e 4, o aumento da altura do muro levou a uma maior divergência nos padrões de distribuição dos valores de Cps em relação aos casos base nas fachadas a barlavento e laterais (Figura 5 e Tabela 2). Os contornos exibem valores mais baixos na fachada a barlavento em comparação com os cenários 1 e 3, com a redução sendo proporcional à permeabilidade do muro; quanto mais aberto o muro, maior a redução. A Tabela 2 mostra uma inversão da sobrepressão, em que os Cps médios na fachada posterior são maiores (menos negativos) do que na fachada frontal. Portanto, com exceção do caso de 0% no cenário 2, os diferenciais médios de Cps são negativos, com variações de -100% a -256% em relação aos casos base. Ao comparar os cenários 2 e 4, nota-se que apenas o caso de 75% teve um aumento nos diferenciais médios quando o recuo é maior (cenário 4), enquanto os demais casos mostraram uma leve redução.

**Tabela 2: Cps e diferenciais de Cps médios para os diferentes casos e cenários analisados**

| | Tipologia | Cp médio | | | | ΔCp Médio (barlavento - sotavento) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Lateral Direita | Frontal (barlavento) | Lateral Esquerda | Posterior (sotavento) | |
| | **Base 1** | -0,42 | -0,17 | -0,42 | -0,44 | 0,27 |
| **Cenário 1** Altura = 2,00 m ↓ Recuo = 3,00 m ↓ | **100%** | -0,55 | -0,47 | -0,55 | -0,51 | 0,04 |
| | **75%** | -0,58 | -0,5 | -0,58 | -0,54 | 0,04 |
| | **50%** | -0,52 | -0,37 | -0,52 | -0,51 | 0,14 |
| | **30%** | -0,53 | -0,44 | -0,53 | -0,52 | 0,08 |
| | **0%** | -0,5 | -0,38 | -0,5 | -0,49 | 0,11 |
| **Cenário 2** Altura = 3,00 m ↑ Recuo = 3,00 m ↓ | **100%** | -0,64 | -0,9 | -0,64 | -0,48 | -0,42 |
| | **75%** | -0,67 | -0,75 | -0,67 | -0,49 | -0,26 |
| | **50%** | -0,58 | -0,75 | -0,58 | -0,42 | -0,33 |
| | **30%** | -0,57 | -0,69 | -0,57 | -0,45 | -0,24 |
| | **0%** | -0,49 | -0,46 | -0,49 | -0,46 | 0 |
| | **Base 2** | -0,43 | -0,08 | -0,43 | -0,44 | 0,36 |
| **Cenário 3** Altura = 2,00 m ↓ Recuo = 5,00 m ↑ | **100%** | -0,52 | -0,44 | -0,52 | -0,49 | 0,05 |
| | **75%** | -0,52 | -0,43 | -0,52 | -0,5 | 0,07 |
| | **50%** | -0,49 | -0,3 | -0,49 | -0,47 | 0,17 |
| | **30%** | -0,5 | -0,38 | -0,5 | -0,48 | 0,1 |
| | **0%** | -0,48 | -0,32 | -0,48 | -0,46 | 0,14 |
| **Cenário 4** Altura = 3,00 m ↑ Recuo = 5,00 m ↑ | **100%** | -0,54 | -0,8 | -0,54 | -0,42 | -0,38 |
| | **75%** | -0,6 | -0,86 | -0,6 | -0,44 | -0,42 |
| | **50%** | -0,54 | -0,7 | -0,54 | -0,41 | -0,29 |
| | **30%** | -0,52 | -0,63 | -0,52 | -0,42 | -0,21 |
| | **0%** | -0,48 | -0,48 | -0,48 | -0,44 | -0,04 |

Fonte: os autores.

**Figura 5: Distribuição dos Cps ao longo das fachadas frontal e posterior para todos os cenários e casos**

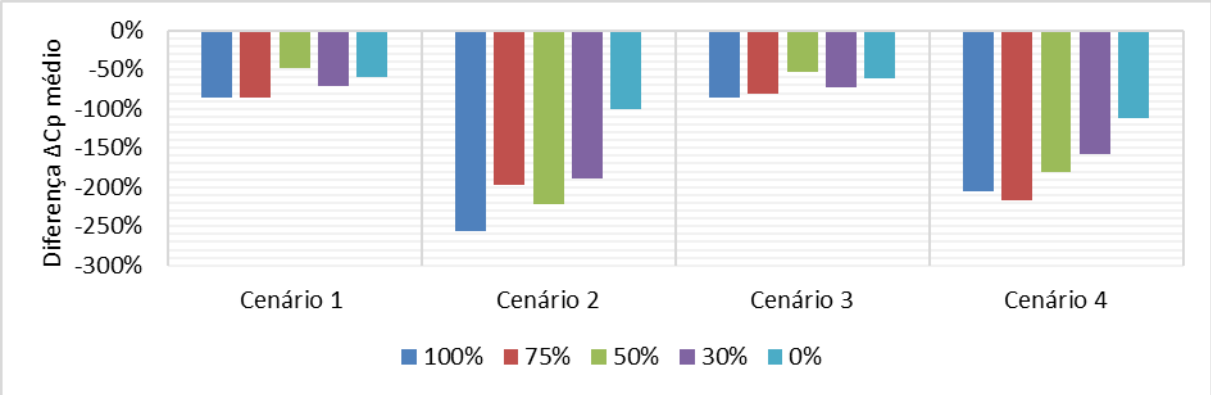



Fonte: os autores.

## ANÁLISE GERAL DOS PARÂMETROS

A inclusão dos muros influenciou na diminuição nos ΔCp médios em todos os cenários, comparados aos casos bases (Figura 6). Este achado converge com dados da literatura [3] [4] [6] [7] [8] [9]. No entanto, embora existam semelhanças, algumas disparidades em relação a estudos anteriores foram identificadas, como abordado na análise de cada parâmetro a seguir.

**Figura 6: Diferença do ΔCp médio para todos os cenários e casos relação aos casos bases**




Fonte: os autores.

**Altura**

Nos cenários de maior altura (cenários 2 e 4), os ΔCp médios foram ampliados, contudo com sinal negativo, indicando uma inversão nos valores de Cps, como apontado por Marín Castaño [7]. Essa diminuição dos diferenciais com o aumento da altura do muro também foi observada por Hawendi e Gao [8]. Ambos os autores examinaram muros sólidos (0%), os resultados sugerem que essa relação pode ser aplicável a diferentes níveis de permeabilidade.

**Recuo**

Ao manter a altura fixa e comparar o cenário 1 com o 3 e o cenário 2 com o 4, nota-se que os cenários com valores de Cps na fachada frontal mais próximos dos casos bases foram aqueles com menor recuo (1 e 3). Esses resultados contradizem estudos anteriores [5] [9], os quais, ao considerar um muro sólido (0%), associaram as maiores reduções aos recuos menores.

Em relação aos diferenciais de Cps, as variações foram influenciadas por outros fatores, como a altura do muro. Para o muro mais baixo, uma redução maior nos valores foi observada quando o recuo é maior (cenário 3). Por outro lado, quando a altura do muro foi elevada, predominavam as reduções para o recuo menor (cenário 2).

**Permeabilidade do muro**

Os casos 100% e 75% mostraram diferenciais maiores nos cenários com muros mais altos (2 e 4), porém com sinal negativo. Esse fenômeno também foi observado nas permeabilidades intermediárias, 50% e 30%, para estes casos obteve-se médias mais altas em relação aos demais nos cenários com muros mais baixos (1 e 3), especialmente o caso 50%. O caso 0% apresentou um comportamento similar,

inclusive superior ao caso 30%, nos cenários 1 e 3. Nos cenários 2 e 4, obteve-se diferenciais praticamente nulos.

Esses resultados contrastam com os identificados na literatura [3] [4] [6], em que permeabilidades mais altas foram associadas a elevados diferenciais de Cps, permeabilidades intermediárias a diferenciais menores, e a inversão dos valores de Cps foi associada a permeabilidades mais baixas ou muros sólidos (0%).

## CONCLUSÃO

Os resultados mostram que a presença de muros teve um impacto na distribuição dos Cps ao longo das fachadas da edificação. Houve uma diminuição nos diferenciais de Cps médios (ΔCp Médio) em todos os cenários examinados, em comparação com a condição de referência (sem muros). Este impacto foi influenciado mais pela altura do muro, sendo o efeito do recuo frontal e da permeabilidade evidentes quando analisados em conjunto com os demais parâmetros.

Divergindo da literatura, a associação entre o aumento da permeabilidade do muro e maiores ΔCp médios não foi predominante. Essas e outras diferenças em relação aos trabalhos correlatos indicam a influência da inclusão do entorno imediato, além de outros fatores de configuração. Em síntese, destaca-se os seguintes pontos:

- A fachada frontal foi a mais suscetível a variações na distribuição dos Cps médios nos diferentes cenários e casos.
- As reduções dos Cps médios na fachada frontal e dos ΔCp médios foram observadas principalmente nos cenários com muros mais altos. Nestes contextos, ocorre uma inversão da sobrepressão.
- Os casos com muros sólidos apresentaram contornos mais uniformes, com menores variações de ΔCp médios.

## REFERÊNCIAS


[1] BROWN, G. Z.; DEKAY, Mark. Sol, Vento e Luz: estratégias para o projeto de Arquitetura. 2ed. Porto Alegre: Bookman, 2004.LEWIN, R. **Complexity: life at the edge of chaos**. 2. ed. Chicago: University of Chicago Press, 2000.

[2] MARQUES DA SILVA, F. V. Aplicação da ventilação natural e mista em edifícios. As acções indutoras da ventilação natural. In: VIEGAS, J. (Org.). **Ventilação e qualidade do ar interior**. Lisboa: LNEC, 2010. p. 7-28.

[3] CHANG, W. R. Effect of porous hedge on cross ventilation of a residential building. **Building and Environment**, v. 41, n. 5, p. 549–556, 2006. ISSN: 03601323. DOI: 10.1016/j.buildenv.2005.02.032.

[4] CHANG, W. R.; CHENG, C. L. Modulation of cross ventilation in a residential building using a porous hedge. **Journal of the Chinese Society of Mechanical Engineers**, v. 30, n. 5, p. 409–417, 2009. ISSN: 02579731.

[5] JOHN, A. D.; GAIROLA, A.; MUKHERJEE, M.. Effect of boundary wall on wind pressure coefficients on a low-rise building**. Journal of Wind and Engineering**, v. 6, n. 1, p. 10–18, 2009.

[6] COSTA, Isabely. **Influência de muros vazados laminados no desempenho da ventilação natural em habitações de interesse social**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo: Dinâmicas do Espaço Habitado) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2018.

[7] MARÍN CASTAÑO, Hector Fabian. **Impacto de dispositivos de sombreamento externos e muro na ventilação natural e no desempenho térmico de uma habitação de interesse social térrea.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia) - Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

[8] HAWENDI, Sherzad; GAO, Shian. Impact of an external boundary wall on indoor flow field and natural cross-ventilation in an isolated family house using numerical simulations. **Journal of Building Engineering**, v. 10, p. 109–123, 2017. ISSN: 23527102.

[9] MEDDAGE, D. P. P.; LEWANGAMAGE, C. S.; WEERASURIYA, A. U. On the deviation of mean pressure coefficients in wind loading standards for a low-rise, gable-roofed building with boundary walls. **Structures**, v. 36, p. 50–64, 2022. ISSN: 2352-0124. DOI: https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.12.003.

[10] CÓSTOLA, D.; BLOCKEN, B.; HENSEN, J. L. M. Overview of pressure coefficient data in building energy simulation and airflow network programs. **Building and Environment**, v. 44, n. 10, p. 2027–2036, 2009.

[11] TONG, Z.; CHEN, Y.; MALKAWI, A.. Defining the Influence Region in neighborhood-scale CFD simulations for natural ventilation design. **Applied Energy**, V. 182, p. 625-633, 2016.

[12] ANSYS. **Software ANSYS 2020 R2**. [S.l.], 2020. Disponível em: <http://www.ansys.com/>. Acesso em: 30 de agosto de 2021.

[13] LI, W.; WANG, F.; BELL, S. Simulating the sheltering effects of windbreaks in urban outdoor open space. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 95, n. 7, p. 533–549, 2007. ISSN: 01676105. DOI: 10.1016/j.jweia.2006.11.001.

[14] WANG, Jang Woon; KIM, Jae Jin; CHOI, Wonsik; MUN, Da Som; KANG, Jung Eun; KWON, Hataek; KIM, Jin Soo; HAN, Kyung Soo. Effects of wind fences on the wind environment around Jang Bogo Antarctic Research Station. **Advances in Atmospheric Sciences**, v. 34, n. 12, p. 1404–1414, 2017. ISSN: 02561530. DOI: 10.1007/s00376-017-6333-x.

[15] XAVIER, A. C. de A.; LUKIANTCHUKI, M. A. Análise da ventilação natural em uma habitação de interesse social, com diferentes configurações de muro, através de simulações CFD. **Risco Revista de Pesquisa em Arquitetura e Urbanismo** (Online), v. 19, p. 1-19, 2021. DOI: 10.11606/1984-4506.risco.2021.169870.

[16] VIEIRA, A.; BORBA, C.; RODRIGUES, J. **Cobogó De Pernambuco**. 1ª. Ed. Recife, 2013.

[17] ROSSI; M. M.; FAVRETTO, A. P. O.; GRASSI, C.; DECAROLIS, J.; CHO, S.; HILL, D.; CHVATAL, K. M. S.; RANJITHAN, R.. Metamodels to assess the thermal performance of naturally ventilated, low-cost houses in Brazil. **Energy & Buildings**, V. 204, 2019.

[18] MACEIÓ. **Lei Municipal Nº 5.593**, de 08 de fevereiro de 2007 - Código de Urbanismo e Edificações do Município de Maceió. Maceió – AL, 2007.

[19] JOÃO PESSOA. **Código de Urbanismo**. João Pessoa – PB, 2001a.

[20] RIO BRANCO. **Lei complementar nº 48,** de 25 de julho de 2018 – Código de Obras e Edificações. Rio Branco - AC, 2018.

[21] BRASIL. **Lei nº 6.766**, de 19 de dezembro de 1979. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências. Brasília, 1979.

[22] COSTA, I. P. C. da; LABAKI, L. C.; LAGES, A. Efeitos da incorporação de muros no comportamento da ventilação natural em habitações populares térreas. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 23, n. 3, p. 39-62, jul./set. 2023. ISSN 1678-8621 Associação

Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212023000300675

[23] LACERDA, A. E.; MARROQUIM, F.; ANDRADE, S. Avaliação pós-ocupação de unidades habitacionais do conjunto Antônio Mariz, João Pessoa-PB. In: 2º Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído – SBQP. **Anais...** Rio de Janeiro: ANTAC, 2011. p. 01 – 11.

[24] VILLA, Simone Barbosa; OLIVEIRA, Juliano Carlos Cecílio Batista; SARAMAGO, Rita de Cássia Pereira; NICOLAU, Tamires Nunes de Alcântara; MELO, Mariana Mundim. A habitação social redesenhando a cidade. O caso da cidade de Uberlândia-Minas Gerais. **Arquitextos**, São Paulo, ano 16, n. 192.02, Vitruvius, maio 2016 <https://vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/16.192/6056>.

[25] TOMINAGA, Y.; MOCHIDA, A.; YOSHIE, R.; KATAOKA, H.; NOZU, T.; YOSHIKAWA, M., & SHIRASAWA, T. AIJ guidelines for practical applications of CFD to pedestrian wind environment around buildings. **Journal of wind engineering and industrial aerodynamics**, v. 96, n. 10-11, p. 1749-1761, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2008.02.058>.

[26] LIU, S.; PAN, W.; ZHAO, X.; ZHANG, H.; CHENG, X.; LONG, Z.; CHEN, Q.. Influence of surrounding buildings on wind flow around a building predicted by CFD simulations. **Building and Environment**, V. 140, p. 1-10, 2018.

[27] LUKIANTCHUKI, M. A. **Sheds extratores e captadores de ar para indução da ventilação natural em edificações.** Tese (doutorado) Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia – Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2015.

[28] FRANKE, J.; HIRSCH, C.; JENSEN, A. G.; KRÜS, H. W.; SCHATZMANN, M.; WESTBURY, P. S.; WISSE, J. A.; WRIGHT, N. G. Recommendations on the use of CFD in predicting pedestrian wind environment. In: **Cost action C**, V. 14. Bruxelas, 2004.

[29] LUKIANTCHUKI, M. A.; SHIMOMURA, A.P.; SILVA, F. M.; CARAM, R. M. Evaluation of CFD simulations with wind tunnel experiments: Pressure coefficients at openings in sawtooth building. Acta Scientiarum. **Technology**, 2018, 40, 37537.

[30] SAKIYAMA, N. R. M.; CARLO, J. C.; FRICK, J.; GARRECHT, H. Using CFD to Evaluate Natural Ventilation through a 3D Parametric Modeling Approach. **Energies**, 2021, 14, 2197. https:// doi.org/10.3390/en14082197

[31] BLOCKEN, Bert. LES over RANS in building simulation for outdoor and indoor applications: A foregone conclusion? In: **Building Simulation**, v. 11, 2018. ISSN: 19968744. ISBN: 1227301804. DOI: 10.1007/s12273-018-0459-3.

[32] LEITE, R. C. V.; FROTA, A. B. Procedimentos para determinação de coeficientes de pressão em diferentes condições de adensamento urbano. In: XII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e VIII Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído. **Anais...** Brasília: ENCAC, 2013. Disponível em: <http://www.infohab.org.br/encac/files/2013/topico4artigo9.pdf>. Acesso em: 15 de novembro de 2017.

[33] KARAVA, P.; STATHOPOULOS, T.; ATHIENITIS, A. K. Airflow assessment in cross-ventilated buildings with operable façade elements. **Building and Environment**, v. 46, n. 1, p. 266–279, 2011. ISSN: 03601323. DOI: 10.1016/j.buildenv.2010.07.022.

[34] BITTENCOURT, L.; CÂNDIDO, C. **Introdução a Ventilação Natural**. 4ed. rev. Maceió: EDUFAL, 2015.