



Influência da simplificação da modelagem geométrica de edifícios sobre o mapeamento do Índice de Área Frontal em cenários hipotéticos

Ana Paula Oliveira Favretto

Universidade Federal de São Carlos

ana.favretto@gmail.com

Daniel Souto Rodrigues

Universidade do Minho

dsr@civil.uminho.pt

Léa Cristina Lucas de Souza

Universidade Federal de São Carlos

leacrist.ufscar@gmail.com



INFLUÊNCIA DA SIMPLIFICAÇÃO DA MODELAGEM GEOMÉTRICA DE EDIFÍCIOS SOBRE O MAPEAMENTO DO ÍNDICE DE ÁREA FRONTAL EM CENÁRIOS HIPOTÉTICOS

A. P. O. Favretto, D. S. Rodrigues, L. C. L. Souza

RESUMO

Esta pesquisa contribui para a promoção do uso de análises preditivas dos fluxos de ventilação urbana nas etapas iniciais do processo de planejamento urbano – período em que o uso de simplificações geométricas pode ser desejável – ressaltando a importância de se conhecer o impacto de tais simplificações sobre a acuracidade dos resultados finais obtidos. Um dos métodos bastante utilizados para a predição das rotas de ventilação é baseado no mapeamento do Índice de Área Frontal (IAF), diretamente influenciado pela geometria da configuração urbana. Este artigo apresenta uma comparação entre o IAF calculado com base em quatro modelos de simplificações geométricas em relação a seu correspondente modelo detalhado. Dois cenários urbanos hipotéticos são avaliados, considerando (i) edificações com alturas homogêneas e (ii) heterogêneas. O cálculo do IAF foi realizado para cinco diferentes ângulos de direção predominante do vento. Os resultados indicam que em função da variação da incidência dos ventos, existem oscilações no ranking de desempenho dos modelos simplificados.

1 INTRODUÇÃO

A avaliação da relação entre a geometria das edificações e os fluxos de ventilação que permeiam o tecido urbano pode apresentar grande potencial em prol do desenvolvimento e adaptação de cidades às mudanças climáticas. Avanços tecnológicos na área computacional permitem que sejam feitas análises preditivas de cenários ainda não construídos. Assimilar tais tecnologias ao cotidiano dos agentes responsáveis pela construção das cidades contribui para um processo de ‘planejamento urbano inteligente’ que seja consonante com o conceito de ‘Cidades Inteligentes’ e com os avanços trazidos pela revolução da Indústria 4.0.

Muito ainda deve ser feito em prol de promover e estimular a consideração de aspectos climáticos e a aplicação de análises preditivas durante todo o processo de planejamento urbano, em especial às etapas iniciais, período em que os gestores e planejadores possuem maior liberdade para a proposição de estratégias para aprimorar os níveis de conforto ambiental.

Um dos desafios a ser enfrentados para incentivar a realização de análises preditivas de aspectos climáticos durante as etapas iniciais do planejamento urbano é a promoção de

métodos que, para além de simplificar e agilizar, traga às análises uma abrangência mais genérica, porém, ainda assim, confiável. Isto porque, é natural que nas etapas iniciais do planeamento urbano, muitos aspectos estejam sujeitos a incertezas, de modo que o uso de modelos simplificados ou genéricos mostram maior adequação a este estágio do planeamento. Uma das formas de garantir a confiabilidade das modelagens mais simplificadas é através da avaliação do grau de distorção que certas simplificações podem trazer aos resultados finais.

Em estudos anteriores (Favretto; Souza, 2019, Favretto; Souza; Rodrigues, 2019), diferentes simplificações geométricas em modelos de simulação foram avaliadas com relação ao seu nível de precisão quanto aos resultados de simulação da velocidade do vento, fator de visão de céu e temperatura do ar. O presente estudo segue esta mesma linha de investigação, porém colocando seu foco sobre a análise da influência de modelos geométricos simplificados sobre o cálculo de parâmetros da morfologia das cidades que interferem no fluxo de ventilação urbana.

A forma construtiva urbana pode reduzir a velocidade dos ventos (Kleerekoper; Van Esch; Salcedo, 2012), o que afeta significativamente a ocorrência e intensidade das ilhas de calor. De acordo com Ng *et al.* (2011), frequentemente a ventilação natural no ambiente urbano é estudada por meio de testes em túnel de vento e por modelos de simulação com base na computação dinâmica de fluidos (CFD). Embora contribuam significativamente para a compreensão da ventilação no meio urbano, as referidas técnicas de análise não são capazes de acompanhar as rápidas alterações nas propostas urbanas, típicas das etapas iniciais do planeamento. Além disto, testes em túnel de vento e simulações em CFD elevam os custos do processo de planeamento. Os autores indicam que, nas etapas iniciais do planeamento, o uso de informações dos ventos com base em dados morfológicos urbanos pode contribuir de forma mais efetiva na tomada de decisão dos planejadores urbanos.

O mapeamento da rugosidade da superfície urbana, a fim de estimar potenciais rotas de ventilação, tem sido indicado na literatura científica de forma recorrente (Gál; Unger, 2009; Hsieh; Huang, 2016; Ng Et Al., 2011; Yuan; Ren; Ng, 2014). Dentre os parâmetros morfológicos capazes de relacionar a morfologia urbana à definição das prováveis rotas de ventilação, destaca-se o Índice de Área Frontal (IAF) ou, no idioma inglês, Frontal Area Index (FAI). Este índice corresponde à razão da área de projeção das edificações em um plano normal à direção do vento, pela área do plano que contém as edificações, conforme a Equação 1.

$$\lambda_{f(\theta)} = A_{\text{proj}(\theta)} / A_T \quad (1)$$

Onde:

θ : ângulo que representa a direção do vento, $\lambda_{f(\theta)}$: índice de área frontal relativa a θ , $A_{\text{proj}(\theta)}$: área total de edificações projetada em um plano normal a θ e A_T : área total do terreno que contém as edificações

Uma ilustração do conceito do Índice de Área Frontal (IAF) é apresentado na Fig. 1, a seguir:

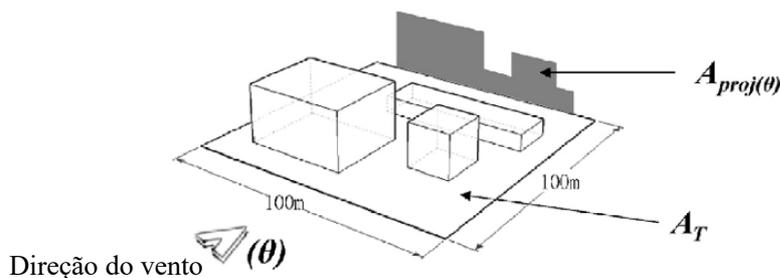


Fig. 1 Ilustração do Índice de Área Frontal (Fonte: Hsieh; Huang, 2016)

Considerando a grande importância da previsão do comportamento dos fluxos do vento urbano desde as etapas iniciais do processo de planejamento urbano, esta pesquisa utiliza cenários hipotéticos para realizar uma meta-análise da influência de simplificações geométricas sobre a área de projeção ($A_{proj(\theta)}$) utilizada para o cálculo do Índice de Área Frontal.

Em estágios iniciais de projeto a acuracidade as previsões buscam fornecer diretrizes e linhas gerais de atuação, portanto, simulações mais genéricas e menos precisas podem ser utilizadas para auxiliar as equipes de projetistas. Porém, é preciso conhecer a existência das distorções previsões causadas por modelos geométricos simplificados, para que se possa optar pelo melhor método de simplificação geométrica das edificações para cada caso avaliado.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para verificar a influência do uso de geometrias simplificadas (GS), em detrimento de geometrias detalhadas (GD), sobre o cálculo da projeção das edificações em um plano normal à direção do vento ($A_{proj(\theta)}$), dois conjuntos de cenários são avaliados. O primeiro cenário considera um modelo detalhado composto por 9 torres de dimensões 20m x 20m, em que todos os edificios possuem a mesma altura (30m). Já o segundo cenário considera uma geometria detalhada semelhante ao primeiro cenário em planta, porém com edificios de alturas variadas (12m, 21m, 30m, 45m e 60m).

O IAF de todos os casos avaliados é calculado por meio da implementação de rotinas de cálculo em um SIG.

2.1 Definição dos modelos geométricos

As Figuras 2 e 3 ilustram os dois cenários analisados, apresentando as geometrias detalhadas, bem como as simplificadas. A simplificação 01 (GS01) é composta por um único bloco que concentra a área em planta de todas as edificações da geometria detalhada. As simplificações 02 (GS02) e 03 (GS03) também apresentam a mesma área total, em planta, das edificações da GD, porém dividida em 4 blocos e 2 blocos, respectivamente. A simplificação 04 (GS04) se configura por um bloco único de edificação que mantém inalterado o perímetro construtivo da quadra em relação à GD, no entanto, conta com adição de área construtiva.

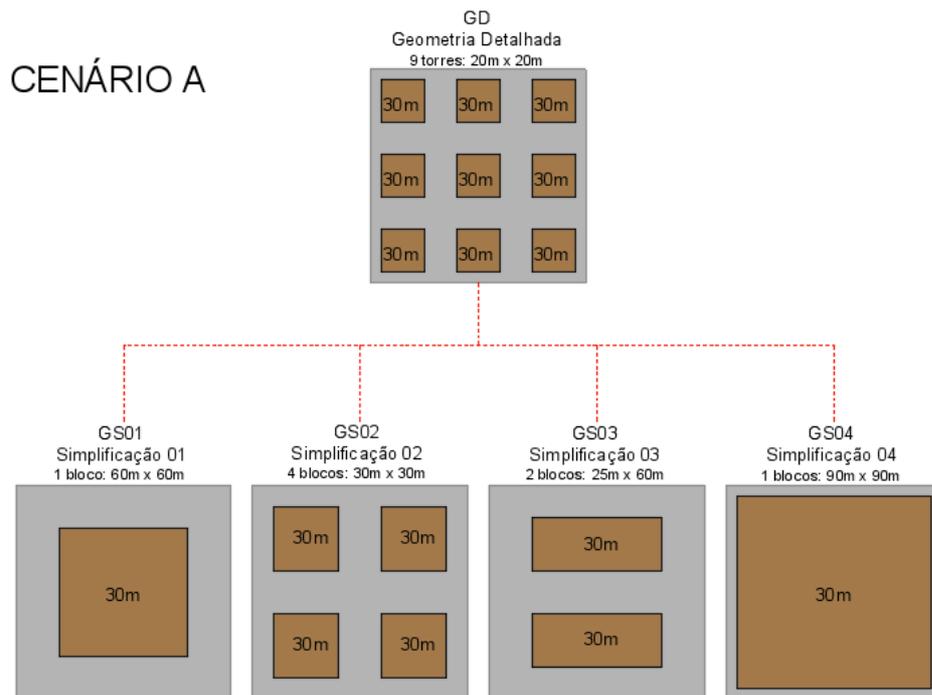


Fig. 2 Geometrias utilizadas no cenário A desta pesquisa, com indicação da altura dos edifícios em metros

A altura das edificações do cenário “A” (Figura 2) mantém-se homogênea dentro da quadra, ou seja, todos os edifícios da GD possuem altura semelhante (30m), o que se mantém também entre todas as simplificações.

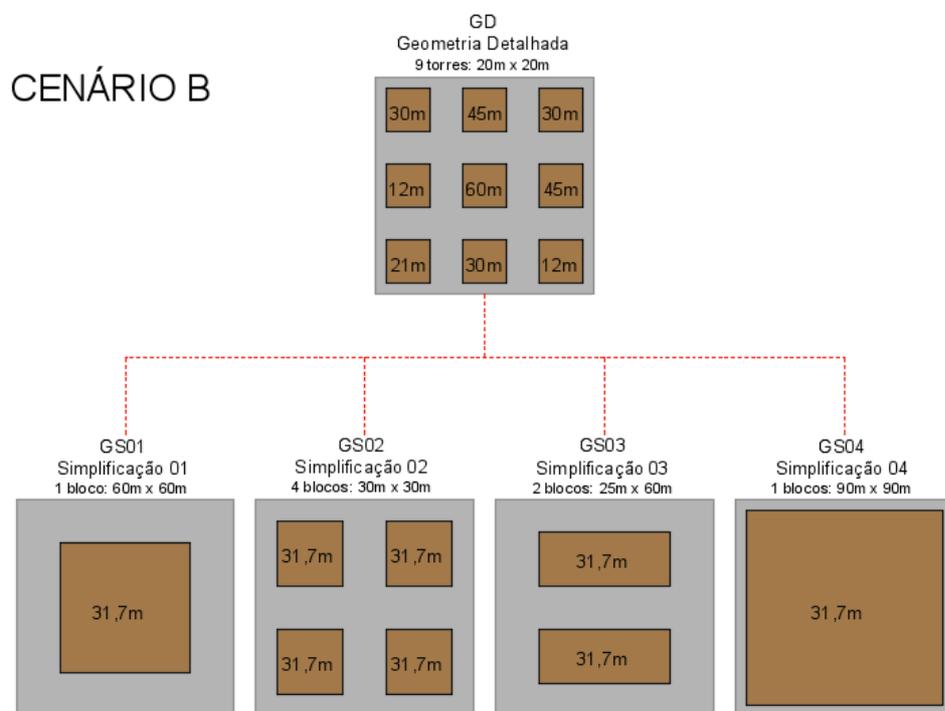


Fig. 3 Geometrias utilizadas no cenário B desta pesquisa, com indicação da altura dos edifícios em metros

A altura das edificações do cenário “B” (Figura 3) apresenta variação dentro da quadra, ocorrendo diversas alturas na GD (12m, 21m, 30m, 45m e 60m). Para definir a altura das geometrias simplificadas (GS) realizou-se uma média das alturas, ponderada pela área. Para o cálculo da projeção das edificações no plano normal à direção do vento, foram consideradas cinco direções de vento distintas: 0°, 30°, 45° e 90°. Sendo Norte igual à 0° e considerando o sentido horário para a contabilização dos ângulos.

2.2 Forma de análise dos dados

Para a análise dos dados são utilizadas tabelas e gráficos que apresentam os valores totais e percentuais da diferença entre a $A_{proj(\theta)}$ da GD e suas respectivas GSs, (Equação 2).

$$A_{proj(\theta)GD} - A_{proj(\theta)GSn} \quad (2)$$

Onde:

$A_{proj(\theta)GD}$: área total de edificações da geometria detalhada, projetada em um plano normal a θ e $A_{proj(\theta)GSn}$: área total de edificações, das n geometrias simplificadas, projetada em um plano normal a θ

Deste modo, valores positivos para esta diferença indicam que a área de projeção no plano normal à direção do vento das GSs apresenta valores subestimados em relação ao modelo de GD, enquanto valores negativos indicam que a área de projeção das GSs apresenta valor superestimado em comparação ao IAF do modelo de referência, isto é, GD.

3 RESULTADOS E ANÁLISES

A Tabela 1 apresenta os valores de diferença da $A_{proj(\theta)}$ da GD, ou seja, da área de projeção das edificações de geometria detalhada em um plano normal ao ângulo θ , e das áreas de projeção dos edifícios das quatro geometrias simplificadas (GS01, GS02, GS03 e GS04) em um plano normal a θ . São indicados os resultados para os cinco ângulos de direção do vento avaliados, a saber: 0°, 30°, 45°, 60° e 90°, e para os dois cenários considerados: “A” com edifícios de altura homogênea (30m), e “B” com edifícios da GD de alturas variadas, sendo considerada para as geometrias simplificadas, uma altura correspondente à média das alturas de GD ponderada pela área dos edifícios.

É possível observar uma tendência predominante de que a $A_{proj(\theta)}$ das geometrias simplificadas sejam subestimadas em relação à $A_{proj(\theta)}$ da GD. O que se nota a partir da predominância de valores positivos sobre a diferença entre as áreas de projeção da geometria detalhada e das simplificadas. Exceções, ou seja: uma tendência de superestimação, ocorrem quando θ assume os valores de 0° e 90° no caso da GS04 – onde as 9 torres de 20m x 20m são substituídas por um bloco único de 90 m x 90m.

Ao considerar o cenário “A” (quadra com edifícios de altura homogênea) há ocorrência de diferenças de predições iguais a zero, ou seja, GD apresenta os mesmos valores que GS01, GS02 e GS03 para as direções de vento 0° e 90°, e os mesmos valores que GS04 para as direções de vento 30°, 45° e 60°.

Tabela 1 Valores da diferença da área de projeção das edificações em todos os casos e direções de vento avaliados

	ÂNGULO DE DIREÇÃO DO VENTO (θ)	CENÁRIOS	
		A	B
GD – GS01	0°	0,00	798,00
	30°	1.229,40	2.213,23
	45°	1.272,90	2.274,14
	60°	1.229,40	2.267,06
	90°	0,00	798,00
	Média aritmética dos valores absolutos da diferença	746,34	1.670,09
GD – GS02	0°	0,00	798,00
	30°	409,80	1.347,18
	45°	424,20	1.377,35
	60°	409,80	1.401,01
	90°	0,00	798,00
	Média aritmética dos valores absolutos da diferença	248,76	1.144,31
GD – GS03	0°	0,00	798,00
	30°	1.078,80	2.084,09
	45°	1.060,80	2.050,03
	60°	969,60	1.992,54
	90°	0,00	1.115,00
	Média aritmética dos valores absolutos da diferença	621,84	1.607,93
GD – GS04	0°	-900,00	-153,00
	30°	0,00	914,16
	45°	0,00	929,11
	60°	0,00	967,99
	90°	-900,00	-153,00
	Média aritmética dos valores absolutos da diferença	360,00	623,45

Ao considerar o ângulo de incidência do vento (θ) igual a 0°, há semelhança na diferença entre GD e GS01 (simplificação que mantém a área edificada semelhante a GD, porém concentrada em um único bloco), GS02 (simplificação que mantém a área edificada de GD, porém concentrada em quatro blocos) e GS03 (simplificação que a mesma área edificada de GD, porém concentrada em dois blocos). Os valores de diferença encontrados nestas três análises comparativas são iguais a 0,00 para o cenário A (altura homogênea em GD), e 798,00 para o cenário B (altura heterogênea em GD).

Quando θ é igual a 90°, há semelhança nos valores da diferença entre GD e GS01, bem como, com GS02. Nestas duas simplificações há manutenção da área construtiva, em relação à GD, sendo esta distribuída, respectivamente, em 01 e 04 blocos. Os valores encontrados para estes casos são de 0,00 no cenário A, e 798,00 no cenário B.

Considerando o cenário A, as menores médias aritméticas dos valores absolutos da diferença são encontradas para a GS02 (mesma área construtiva de GD concentrada em 04 blocos) e GS04 (manutenção da delimitação do perímetro construtivo de GD, porém com adição de área construtiva). Já para o cenário B, a menor média é encontrada na GS04.

Os modelos com simplificações geométricas que mantiveram inalterada a área construtiva em relação à GD, se assemelham por apresentarem os menores valores de diferença para os valores de θ iguais a 0° e 90° em ambos os cenários avaliados, sendo que estes valores indicam tendência de subestimação (valores positivos da diferença) da área de projeção das edificações no plano normal. A ocorrência dos menores valores para θ iguais a 0° e 90° também é observado no cenário B para a simplificação que mantém o limite do perímetro construtivo por meio da adição de área construtiva, ou seja, GS04. Porém, neste caso há tendência de superestimação (valores negativos da diferença) da área de edificações projetadas no plano normal.

A Figura 4 apresenta, também para os cenários “A” e “B”, a porcentagem da diferença GD - GS em relação ao valor total da $Aproj(\theta)$ calculada para a GD.

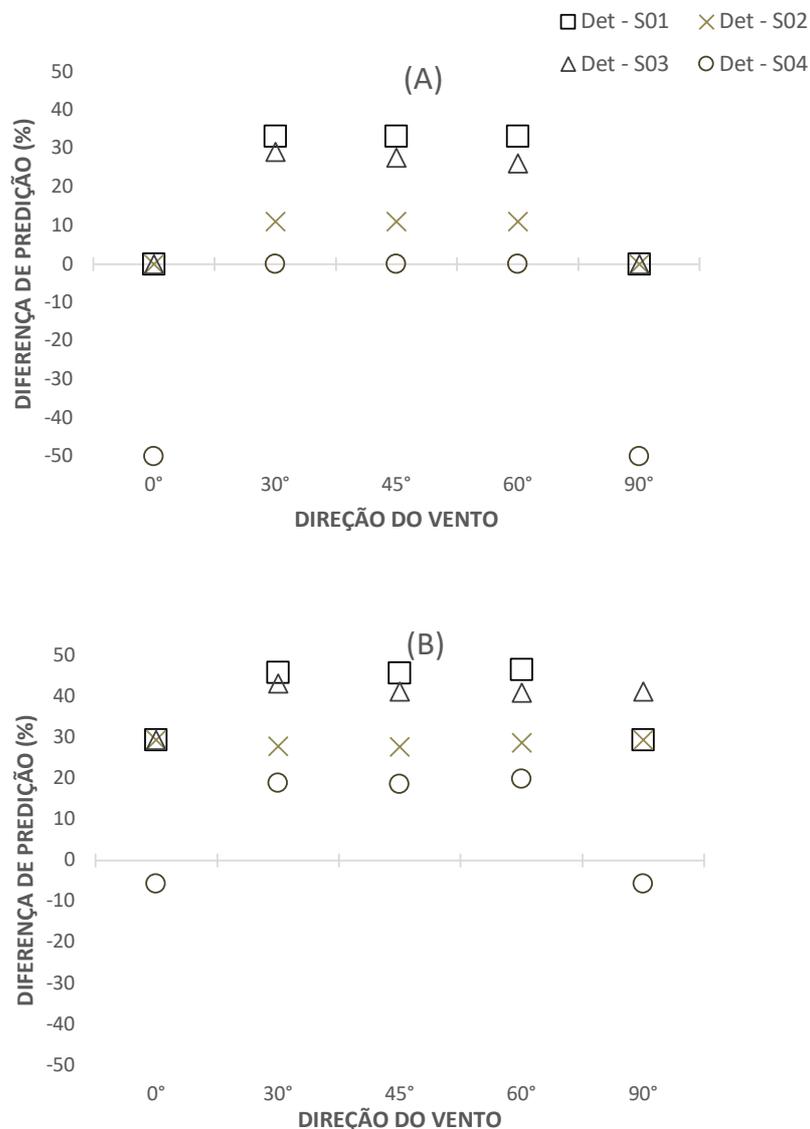


Fig. 4 Diferença percentual da área de projeção das edificações

A partir destes gráficos comparativos, é possível inferir que:

- GS01 e GS03 apresentam comportamento bastante semelhante, principalmente no cenário “A”
- Dentre os casos analisados, a GS02 é a que apresenta valores de diferenças mais constantes para todas as direções de vento. Entre 0 a 20% para o cenário A, e 20% a 30% para o cenário B.
- GS04 apresenta comportamentos inversos nos cenários “A” e “B” em relação aos valores absolutos da diferença. Em “A” GS04 apresentou as maiores diferenças (em valores absolutos) para as direções de vento 0° e 90° , enquanto as demais direções apresentaram valores nulos. No entanto, em “B” os menores valores absolutos da diferença ocorrem para as direções de vento 0° e 90° .

4 DISCUSSÕES

Os resultados apontam que nos dois cenários avaliados (altura homogênea – cenário A e altura heterogênea – cenário B) ocorre uma variação do desempenho em relação à acuracidade dos modelos de geometria simplificada frente ao modelo geométrico detalhado ao qual representam. Ocorre, também, variações do desempenho de uma mesma geometria simplificada em representar a geometria detalhada correspondente, de acordo com o ângulo de incidência do vento considerado.

O desempenho das geometrias simplificadas é dado partir dos valores da diferença entre a projeção das edificações sobre um plano normal à direção do vento calculado com a geometria detalhada e com as geometrias simplificadas. A diferença no valor da área de projeção afeta diretamente o cálculo do índice de área frontal (IAF). O uso de tal índice é recorrentemente indicado na literatura como base para a predição dos fluxos de vento no tecido urbano.

Como exemplo da variação mencionada, a GS04 apresenta valores iguais ou semelhantes quando se consideram ângulos de direção do vento iguais a 30° , 45° e 60° , porém seu desempenho é distinto quando se trata das direções de vento 0° e 90° . A GS01, no cenário A, apresenta os mesmos valores para os ângulos de direção do vento 30° e 60° , porém seu desempenho é distinto para os demais.

A influência do ângulo de direção do vento sobre o desempenho de modelos geométricos simplificados foi constatada, também, em outros estudos que avaliavam outras métricas, como: temperatura do ar, fator de visão do céu e velocidade do vento (FAVRETTO; SOUZA, 2019, FAVRETTO; SOUZA; RODRIGUES, 2019).

Observa-se que há certo grau de semelhança no comportamento dos modelos simplificados que mantiveram a mesma área construtiva em relação ao modelo detalhado, a saber: GS01, GS02 e GS03. Nota-se também que as médias aritméticas dos valores absolutos da diferença foram sempre menores para o cenário A, onde o modelo detalhado apresentou altura homogênea. Isto se relaciona ao fato de que o cenário B, em que ocorrem alturas heterogêneas, ocorreram mais simplificações geométricas, pois para além do posicionamento da massa de construções, houve a consideração de uma altura única derivada da média das alturas do modelo detalhado ponderada pela área ocupada por cada prédio. Este fato já era esperado, pois quanto mais genérico o modelo, maiores suas imprecisões. No

entanto, quanto mais genérico for o modelo, maior sua adequação às etapas iniciais de projeto.

A oscilação do desempenho de um mesmo modelo geométrico simplificado frente a diferentes condições (como a incidência do vento sob variados ângulos) ou métricas ressalta a importância de se avaliar cautelosamente as implicações das simplificações sobre os resultados preditivos. Certamente, modelos mais simples trarão benefícios aos processos preditivos, principalmente relacionados à sua agilidade e abrangência de aplicação a cenários marcados por incertezas construtivas, por outro lado, estes benefícios se dão às custas da perda de certo grau de acuracidade.

Apesar disto, é comum se utilizar de simplificações geométricas como a não consideração dos afastamentos entre os edifícios na predição de cenários urbanos hipotéticos, sem que o impacto de tais simplificações sobre seus resultados sejam apresentados (ALI-TOUDERT; MAYER, 2006, FAHMY; SHARPLES, 2009).

5 CONCLUSÕES

A presente pesquisa avaliou a influência de simplificações da geometria urbana sobre a determinação da área de projeção destes edifícios em um plano normal à direção do vento. Este tipo de projeção é utilizado para a definição do Índice de Área Frontal, muito utilizado para avaliação da permeabilidade urbana à fluxos de vento. Conhecer a influência do uso de geometrias simplificadas sobre a determinação desta métrica da morfologia urbana, fornece potencial auxílio aos processos de planejamento e adequação do tecido urbano, principalmente durante suas etapas iniciais.

Embora não apresente os menores valores de diferença de área de projeção, dentre todas as GS testadas, a GS02 apresentou maior consistência no resultado para todos os ângulos de incidência da ventilação, ou seja, o valor da diferença manteve-se mais semelhante. Portanto, é provável que simplificações com este tipo de consistência em seus resultados, sejam as mais adequadas à estudos que avaliam a incidência de diferentes direções de vento sobre um mesmo cenário urbano. Para casos em que se pretendam avaliar uma única direção do vento, pode-se optar pelas simplificações que melhor representam as geometrias detalhadas naquele ângulo de incidência do vento.

Muito ainda deve ser feito para que os “erros” ou diferenças do cálculo da área de projeção das edificações no plano normal à direção do vento, causado pelo uso de geometrias simplificadas, seja amplamente conhecido e controlado. Porém, o estudo aqui apresentado pôde ressaltar a necessidade de controle sobre o uso de simplificações geométricas. Espera-se que estudos futuros ampliem o número de cenários e tipologias de edificações avaliadas. Além disto, novas contribuições poderiam ser obtidas através da comparação de rotas de vento preditas a partir do uso de modelos geométricos detalhados e simplificados.

6 REFERÊNCIAS

Ali-Toudert, F. e Mayer, H. (2006) Numerical Study on the Effects of Aspect Ratio and Orientation of an Urban Street Canyon on Outdoor Thermal Comfort in Hot and Dry Climate, **Building and Environment**, 41(2), 94-108.

Fahmy M. e Sharples, S. (2009) On the Development of an Urban Passive Thermal Comfort System in Cairo, Egypt. **Building and Environment**, 44(9), 1907-1916.

Favretto, A. P. O. e Souza, L. C. L. (2019) A Meta-Analysis Over Geometric Modeling Simplifications in ENVI-Met Urban Climate Simulation, **Ambiente Construído** 19(1), 143-160.

Favretto, A. P. O., Souza, L. C. L. e Rodrigues, D. S. (2020) Teste da influência de Modelos Geométricos Simplificados em Simulações Térmicas Urbanas, **Revista Portuguesa de Estudos Regionais** 54, 69-79.

Gál, T. e Unger, J. (2009) Detection of Ventilation Paths Using High-Resolution Roughness Parameter Mapping in a Large Urban Area, **Building and Environment**, 44 (1), 198–206.

Hsieh, C.-M. e Huang, H.-C. (2016) Mitigating Urban Heat Islands: A Method to Identify Potential Wind Corridor for Cooling and Ventilation. **Computers, Environment and Urban Systems**, 57, 130–143.

Ng, E. *et al.* (2011) Improving the Wind Environment In High-Density Cities By Understanding Urban Morphology And Surface Roughness: A Study In Hong Kong, **Landscape and Urban Planning**, 101(1), 59–74.

Kleerekoper, L., Van Esch, M. e Salcedo, T. B. (2012) How to Make A City Climate-Proof, Addressing the Urban Heat Island Effect. **Resources, Conservation and Recycling**, 64, 30–38.

Yuan, C., Ren, C. e Ng, E. (2014) GIS-Based Surface Roughness Evaluation in The Urban Planning System to Improve the Wind Environment – A Study in Wuhan, China. **Urban Climate**, 10, 585–593.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento da pesquisa. Agradecem também o apoio do Centro de Território, Ambiente e Construção (CTAC – UMINHO).

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001