

# **Teste da Influência de Modelos Geométricos Simplificados em Simulações Térmicas Urbanas**

## **Assessing the Influence of Geometry Model Simplifications Over Urban Environmental Simulation**

**Ana Paula Oliveira Favretto**

*ana.favretto@gmail.com*

Aluna de Pós Graduação (doutorado) do Programa de Pós Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos

**Léa Cristina Lucas de Souza**

*leacrist.ufscar@gmail.com*

Docente da Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos

**Daniel Souto Rodrigues**

*dsr@civil.uminho.pt*

Docente do Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho

### **Resumo/ Abstract**

Em um cenário marcado pela contínua expansão urbana e sua decorrente influência sobre o aumento da temperatura do microclima, torna-se cada vez mais importante incorporar aspectos climatológicos no planejamento urbano. Modelos computacionais de simulação são valiosos neste sentido. No entanto, durante os delineamentos iniciais de planejamento, a localização e geometria precisa das edificações podem estar sujeitas a incertezas. Portanto, o uso de geometrias simplificadas e mais genéricas pode ser mais apropriado para este tipo de método de modelagem. Esta pesquisa verificou o erro de predição da temperatura do ar, velocidade do vento e fator de visão de céu em quatro simplificações geométricas, de um cenário urbano hipotético, em relação a uma geometria detalhada no software ENVI-met (Versão.4.2.0.-Summer 17 - free version). Os resultados apresentam baixa magnitude de erro, com valores inferiores a 1°C

Due to the continuous urban growth and its impact over the microclimate temperature raise, it is highly important to incorporate climatological aspects during the urban planning process. Computer simulation models are valuable in this sense. However, during the early stages of urban planning, the precise building location and geometry may be subjected to uncertainties. Therefore, using simplified and generic geometries may be appropriate for these modelling cases. By comparing the results of a detailed geometry model with four simplified geometry models in ENVI-met (Version.4.2.0.-Summer 17 - free version) simulation, in a hypothetical urban scenario, this research assessed the air temperature, wind speed and sky view factor prediction errors. The results show low error magnitude, below 1°C for the air temperature metric, 1,25 m/s for the wind speed metric, and 0.3 for the sky view factor metric. Also, it indicated that the

para a temperatura do ar, 1,25 m/s para a velocidade do vento, e 0.3 para o fator de visão do céu. Além disso, indicam que o desempenho das simplificações pode variar de acordo com a métrica escolhida para análise e com a localização do receptor de dados.

*Palavras-chave:* Simulação Ambiental; Modelos Simplificados; ENVI-met; Planejamento Urbano.

*Códigos JEL:* R14; R19

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, mais da metade da população mundial reside em áreas urbanas, sendo estimado um aumento deste contingente populacional para os próximos anos (UNITED NATIONS, 2015). Esta aglomeração populacional, com seus padrões de vida, consumo e as modificações do meio, tem se relacionado a um aumento de temperatura (do ar, superficial e radiante) em relação às áreas rurais circunvizinhas. Este fenômeno, denominado ilha de calor urbana (ICU) é amplamente descrito na literatura científica (BOKAINE et al., 2016; SU; FOODY; CHENG, 2012). Segundo Oke (1987), este seria um dos exemplos mais claros e bem documentados de modificação climática ocorrida inadvertidamente, ou seja, como efeito colateral proveniente da atividade humana.

O ser humano está sujeito a sofrer influências diretas e indiretas em decorrência das condições térmicas às quais está exposto. Por exemplo, apresentando vulnerabilidades quanto a sua produtividade e saúde (YAO-DONG et al., 2013; DESCHENES, 2014; WRIGHT et al., 2014). Estas condições térmicas são influenciadas, dentre outros fatores, pelas características do ambiente construído (NAKATA-OSAKI; SOUZA; RODRIGUES, 2016; SOUZA; SILVA; SILVA, 2016). De modo que o planejamento urbano assume papel primordial no processo de construção ou alteração das cidades, pois é durante este processo que as estratégias de atuação no cenário urbano podem ser propostas e avaliadas considerando diversas bases, incluindo critérios climatológicos.

O uso de simulações do clima urbano representa um grande avanço neste sentido, pois permite que diversas alternativas de intervenção tenham seus resultados avaliados mesmo antes de

simplified models' performance may vary according to the assessed metric and position of the data receptor.

*Keywords:* Environmental simulation; simplified models; ENVI-met; Urban planning.

*JEL Codes:* R14; R19

sua execução. Através do uso de modelos, faz-se uma simplificação da realidade à qual se pretende analisar, permitindo que seu comportamento seja predito pelo uso de métodos de simulação computacional. No entanto, modelos de simulação estão sujeitos à ocorrência de incertezas e erros. Segundo Oberkampf (2002) os erros são imprecisões passíveis de reconhecimento dentro das fases de modelagem e simulação. Ao serem detectadas estas imprecisões, duas posturas podem ser adotadas: (i) correção dos valores divergentes, ou (ii) tolerância de sua ocorrência. Os autores ressaltam que quando conhecidos os erros, sua tolerância pode ocorrer por questões de ordem prática, por exemplo, o uso de suposições e aproximações feitas com o objetivo de simplificar a modelagem de um processo físico.

Ao se tratar da modelagem do clima urbano, a definição da localização e volumetria das edificações desempenha um papel essencial. No entanto, ao serem traçadas diretrizes iniciais de planejamento sobre áreas a serem urbanizadas ou modificadas, estes parâmetros podem ainda se desconhecidos estar sujeitos a incertezas e imprecisões. Deste modo, o uso de modelagens geométricas simplificadas e mais genéricas se mostra como uma alternativa para otimizar o processo de simulação, desde que a confiabilidade de seus resultados não seja comprometida.

Dentre os softwares de modelagem do clima urbano disponíveis atualmente destaca-se o ENVI-met (BRUSE, 2018) – modelo holístico tridimensional e não hidrostático que realiza cálculos de simulação das interações que ocorrem entre superfície, vegetação e atmosfera. Este software de modelagem permite, dentre outras possibilidades, que se analise a influência do desenho urbano sobre o microclima, sendo sua utilização recorrentemente indicada na

literatura científica (JAIME; OSSEN; RA-JAGOPALAN, 2017; WANG; ZHOU, 2017; MINELLA; HONJO; KRUGGER, 2012; GUS-SON; DUARTE, 2016).

Simplificações de geometria são usadas para generalizar a representação de edificações em modelos tridimensionais de edificações (MENG; FORBERG, 2007) bem como para agilizar processos de simulação (KADA, 2005). A complexidade dos modelos de edificações afeta a eficiência de sua aplicação, o que indica um desafio a ser enfrentado (LI *et. Al.*, 2013). Esta pesquisa verifica a influência do uso de modelos geométricos simplificados sobre a precisão dos resultados obtidos com o uso do software ENVI-met em um conjunto de cenários urbanos diferentes. Para tanto, são feitas comparações entre os valores de temperatura do ar (°C), velocidade do vento (m/s) e fator de visão do céu (adimensional) obtidos pela modelagem geométrica detalhada e simplificada, sendo apresentado como resultado os valores destas diferenças. Cabe ressaltar que esta pesquisa não busca empreender qualquer tipo de análise climática, mas sim uma avaliação comparativa que indique uma relação de precisão entre os modelos.

## 2. MÉTODO

Para verificar como o uso de geometrias simplificadas (GS) em detrimento de geometrias detalhadas (GD) afeta os resultados de simulações climáticas do espaço urbano realizadas com o uso do software ENVI-met Versão.4.2.0.-Summer 17 (*free version*), um conjunto de simulações foi realizado e teve seus resultados comparados. Os itens a seguir apresentam as definições utilizadas nos modelos de simulação, assim como o método de análise de seus resultados.

### 2.1 Configuração geométrica dos modelos

A figura 1 apresenta um diagrama geral sobre as definições de geometria consideradas neste estudo. O cenário urbano analisado é composto por uma malha de ruas ortogonais com largura de 10 m, contendo nove quadras edificáveis com dimensões de 100 x 100m. Dezesesseis pontos receptores foram dispersos neste cenário para coletar as informações climáticas

relevantes. Estes receptores estão localizados no centro da via, a uma altura de 1,5m do solo, e foram nomeados de acordo com a ordem de sua posição (ex.: R01, R02, ..., R16).

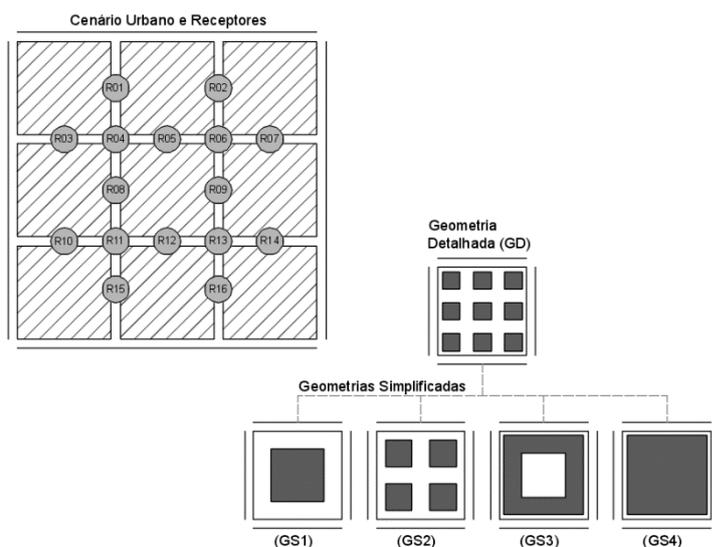
Dentro de cada uma das quadras são distribuídos conjuntos de edificações. Para todas as simulações foram considerados cenários homogêneos, ou seja, todas as quadras apresentam o mesmo padrão de distribuição dos edifícios, e todos os edifícios possuem a mesma altura.

Um modelo de geometria detalhada (GD) é utilizado nesta pesquisa como referência de controle padrão. Este modelo configura um cenário hipotético onde são dispostos edifícios em torre, possuindo dimensões de 20 m x 20 m x 31 m, espaçamento de 15 m entre si, e recuo frontal de 5 m em relação à borda da quadra. Cada quadra contém 09 edifícios em torre, contabilizando uma área construtiva total de 3.600 m<sup>2</sup>.

Quatro modelos de geometria simplificada (GS) foram testados. Sendo que a GS1 e GS2 mantém inalterada a área total construída (3.600 m<sup>2</sup>). Concentrando-a no centro da quadra na GS1, e no centro de quadrantes que subdividem a quadra, na GS2. Nestas duas configurações ocorrem deslocamentos do perímetro construtivo das quadras, que se afastam em relação ao perímetro construtivo da geometria detalhada (GD), em respectivamente, 15 m e 5 m. Já na GS3 e GS4, o perímetro construtivo é mantido inalterado, porém ocorre adição de área construtiva de, respectivamente, 2.000 m<sup>2</sup> e 4.500 m<sup>2</sup>.

Para modelar as geometrias acima descritas no ENVI-met, foi considerado um *grid* com os eixos 'x' e 'y' contendo 68 unidades, e o eixo 'z' contendo 25 unidades. A dimensão das *grid cells* é de 5 m para os eixos 'x' e 'y', e 3m para o eixo 'z'. A materialidade do solo da *nesting grid*, assim como das paredes e coberturas das edificações assumem os valores padrões sugeridos pelo programa, a saber: *Default Unsealed Soil* e *Concrete slab (hollow block, default)*. Para as vias do modelo foi aplicada a configuração de material *Asphalt Roads* [ST] e para o solo das quadras aplicou-se a configuração de material *Concrete Pavement* [PG]. Cabe ressaltar que não foram inseridos elementos de vegetação nos cenários considerados, e que os modelos não apresentam rotação do *grid* em relação ao norte. Suas coordenadas geográficas são de -20.580° de latitude e -47.360° de longitude, estando localizado no fuso horário UTC-3.

**Figura 1: Definições geométricas consideradas: cenário urbano, distribuição dos receptores, geometria detalhada (GD) e geometrias simplificadas (GS)**



Fonte: Os autores.

## 2.2 Configurações climáticas do modelo

Embora esta pesquisa não proponha a realização de análises climáticas urbanas, mas sim a análise de métodos de modelagem geométrica, uma descrição climática é requerida como dado de entrada no programa de simulação (ENVI-

met V.4.2.0. *Summer 17 - free version*). Para tanto, foi selecionada a cidade de Franca, no interior do estado de São Paulo – Brasil. O quadro 1 apresenta os principais dados climáticos considerados nos modelos. Para os demais campos requeridos como dados de entrada para a modelagem, foram adotados os valores padrões sugeridos pelo programa.

**Quadro 1: Principais Dados Climáticos para Entrada no Software ENVI-met.**

Modulo	Grupo	Campo	Valor	Fonte de Referência para os Valores
Time and Date, Output	Start and duration of model run	Start Date	07.18.16	-
		Start Time	07:00:00	-
		Total simulation Time	72h	-
Meteorology: Basic Settings	Wind uvw	Wind speed measured in 10m height (m/s)	1.99	Média do mês de Julho, 2016 dados da estação INMET: FRANCA - SP (OMM: 83630)
		Wind direction (graus)	90	-
		Roughness length	0.01	Rugosidade da superfície logo abaixo dos receptores: concreto liso (FRANCISCO, 2012)
	Humidity	Specific humidity at model top (2500m, g/Kg)	6.12	Média do mês de Julho, 2016 Dados coletados no aeroporto Campo de Marte* disponíveis em: < <a href="http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html">http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html</a> >
Relative humidity in 2m (%)		47.7	Média do mês de Julho, 2016 dados da estação INMET: FRANCA - SP (OMM: 83630)	
Meteorology: Simple Forcing	O módulo <i>Simple Forcing</i> foi utilizado nas simulações, sendo indicado como entrada a média mensal da temperatura do ar e umidade para cada hora do dia.			

\*No momento de realização das simplificações esta era a localização mais próxima a Franca que possuía estes dados disponíveis. Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados obtidos da estação INMET: Franca-SP (OMM:83630); e por informações obtidas em FRANCISCO, 2012).

### 2.3 Forma de análise dos dados

Para a análise dos dados foi feita uma comparação entre os resultados de temperatura do ar e velocidade do vento obtidos por meio das simulações horários próximos ao início do período de aquecimento e início do período de resfriamento, às 9:00 h e 21:00 h respectivamente.

$$ErroTotal_{Met, H_{Rx}} = Resultado(GD)_{Met, H_{Rx}} - Resultado(GSx)_{Met, H_{Rx}} \quad (1)$$

onde:

Erro total = diferença dos valores preditos pela simulação que utiliza o método de modelagem geométrica detalhada e os preditos por meio do uso dos métodos de modelagem geométrica simplificada;

Met = métrica considerada, podendo ser: temperatura do ar, velocidade do vento, ou fator de visão do céu;

H = horário considerado, podendo ser às 09:00 ou 21:00

Rx = localização do receptor

GD = geometria detalhada

Os dados apresentados correspondem à diferença encontrada entre os valores totais obtidos pelo modelo de GD e os modelos de GS, ou seja, ao erro de predição ocorrido devido ao uso de GS. Estes valores são obtidos de acordo com a equação (1):

GSx = geometria simplificada considerada, podendo ser: GS1, GS2, GS3, ou GS4.

Deste modo, valores positivos indicam os casos em que os modelos de GS apresentam valores de resultado subestimados em relação ao modelo de GD, enquanto valores negativos indicam o caso oposto.

Calculou-se também o erro relativo para cada métrica, e em cada um dos pontos. O erro relativo é o valor em porcentagem ao qual o erro total corresponde em relação ao valor padrão considerado, ou seja, o valor resultante da simulação pelo método de modelagem com a geometria detalhada (GD). Os valores do erro relativo são obtidos por meio da equação (2):

$$Erro\ Relativo_{Met, H_{Rx}} = \frac{Erro\ Total_{Met, H_{Rx}} \cdot 100}{Valor\ Simulado\ (GD)_{Met, H_{Rx}}} \quad (2)$$

onde:

Erro Relativo = valor em porcentagem do erro total em relação ao resultado predito pelo método de modelagem que considera a geometria detalhada;

Met = métrica considerada, podendo ser: temperatura do ar, velocidade do vento, ou fator de visão do céu;

H = horário considerado, podendo ser às 09:00 ou 21:00

Rx = localização do receptor

Por fim, é apresentado um panorama geral quanto ao desempenho dos modelos em relação às três métricas avaliadas, a partir do cálculo de alguns parâmetros estatísticos: (i) variância; (ii) desvio padrão; e (iii) coeficiente de correlação. A partir destes parâmetros, indica-se a faixa de erros de cada simplificação geométrica (GS1, GS2, GS3 e GS4) correspondentes a cada uma das métricas consideradas (temperatura do ar, velocidade do vento e fator de visão do céu) em dois horários distintos (9:00 h e 21:00 h).

## 3. RESULTADOS E ANÁLISES

### 3.1 Temperatura do ar

A figura 2 apresenta os erros de predição da temperatura do ar (°C) dos modelos de GS em relação ao de GD para cada um dos 16 receptores localizados no cenário urbano hipotético analisado.

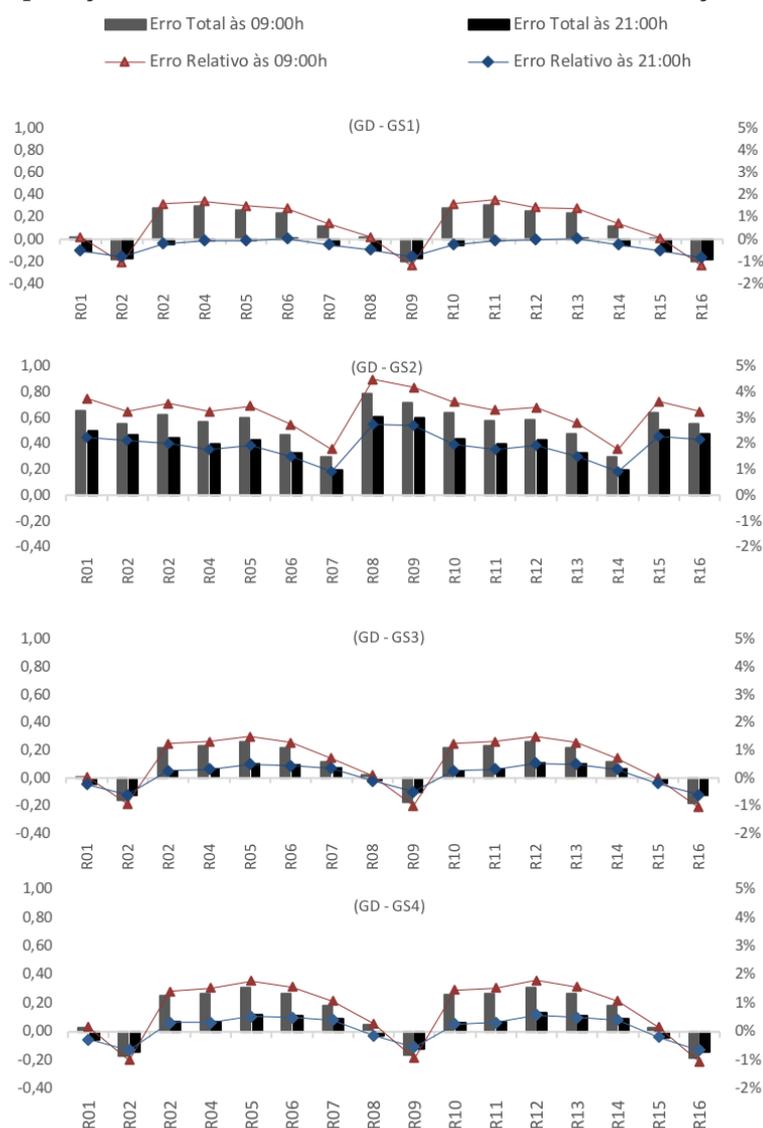
Para todos os casos, nota-se que o erro de predição em relação à temperatura do ar apresenta valores relativamente baixos e sempre inferiores a 1°C. Os erros de predição no período noturno (21:00 h) apresentam valores primordialmente inferiores aos erros ocorridos no período diurno (09:00 h), porém com uma tendência de comportamento semelhante. Os resultados apresentam uma maior tendência de que os modelos de GS subestimem os valores de temperatura do ar em relação ao modelo de GD, uma vez que a maioria dos receptores apresentou valores de erro positivo. Dentre todas as geometrias testadas, a GS2 destaca-se por apresentar o

pior desempenho nos dois horários avaliados, com erros totais entre 0.3°C e 0.79°C às 09:00h, bem como, 0.2°C a 0.61°C às 21:00h. As demais GS apresentam valores de erro com magnitude semelhante, e sempre inferiores a 0.5°C. Considerando o período noturno (21:00), a GS1 resultou em valores de erro nulos ou extremamente baixos para os receptores localizados nas vias paralelas à direção do vento definida no modelo (de R03 a R07 e de R10 a R13). Os receptores posicionados próximos à altura central

das quadras em ruas perpendiculares à direção do vento foram os pontos de maior incidência de valores negativos dentre as GS1, GS3 e GS4, porém estes valores apresentam baixa magnitude.

Considerando esta métrica, os erros relativos apresentam um comportamento proporcional aos erros totais, variando entre -1% e 2% para GS1, 1% e 5% para GS2, -1% e 2% para GS3 e, finalmente, -1% e 2% para GS4.

**Figura 2: Erros de predição entre o modelo de GD e os modelos de GS em relação à temperatura do ar**



Fonte: Os autores.

### 3.2 Velocidade do vento

A figura 3 apresenta os erros de predição da velocidade do vento (m/s) dos modelos de GS em relação ao de GD para cada um dos 16

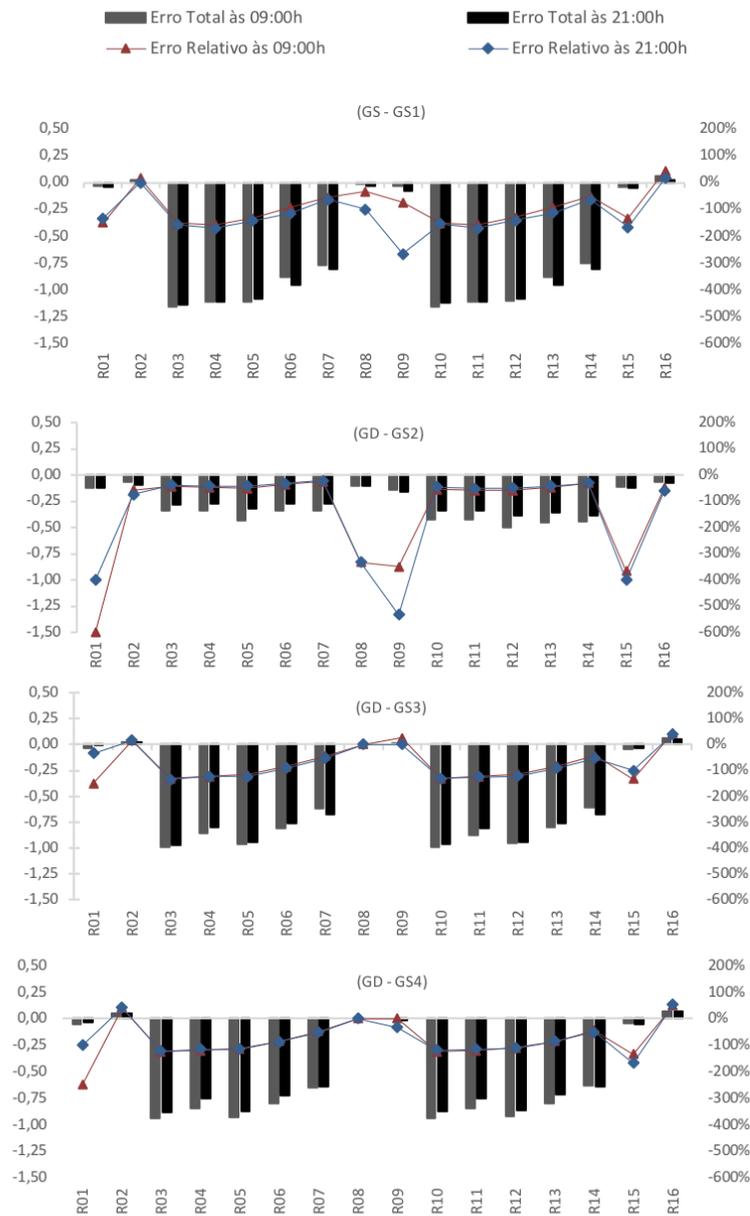
receptores localizados no cenário urbano hipotético analisado.

Observa-se uma tendência geral de superestimação dos valores dos modelos de GS em relação ao modelo de GD, uma vez que o erro

assume valor negativo para quase todos os receptores e em todos os casos avaliados. Existe semelhança no comportamento observado nos dois horários avaliados. Nota-se que os receptores localizados próximos à altura central das quadras em ruas perpendiculares à direção do vento (ou seja, R01; R02; R08; R09; R15 e R16) apresentam os menores valores de erro total, sendo extremamente baixos ou nulos. No

entanto, alguns destes pontos (R01, R08, R09 e R15) apresentam altos níveis de erros relativos, principalmente na modelagem da GS2 onde alcançam valores entre -300% a -600%. Em relação aos demais pontos, a GS2 destaca-se por apresentar os menores valores de erros dentre todas as geometrias testadas para esta métrica, sendo que as demais GS apresentam valores totais semelhantes e em torno de -1m/s.

**Figura 3: Erros de predição entre o modelo de GD e os modelos de GS em relação à velocidade do vento (m/s).**



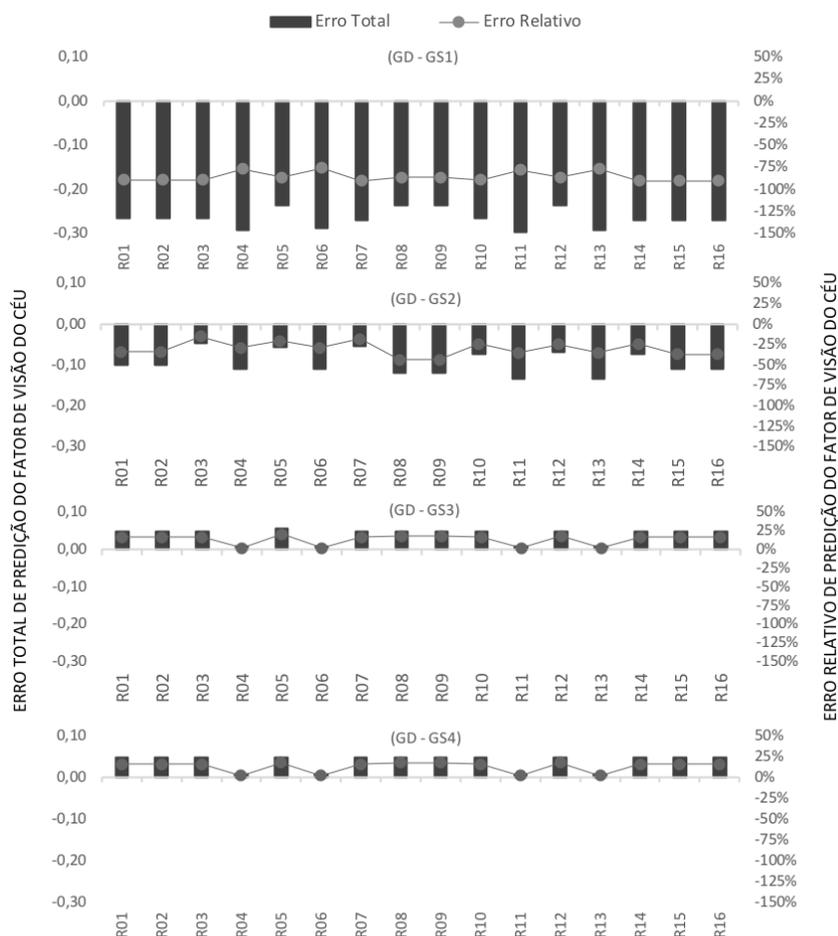
Fonte: Os autores.

### 3.3 Fator de visão do céu

A figura 4 apresenta os erros de predição do fator de visão de céu dos modelos de GS em relação aos de GD para cada um dos 16 receptores

localizados no cenário urbano hipotético analisado. Por se tratar de uma característica geométrica dos modelos, não há alteração desta métrica em decorrência dos horários avaliados.

**Figura 4: Erros de predição entre o modelo de GD e os modelos de GS em relação ao Fator de visão do céu.**



Fonte: Os autores.

É possível notar que a GS1 e GS2, métodos de modelagem geométrica que mantêm constante a área total construída e apresentam afastamento em relação ao perímetro construtivo da GD, subestimam os valores do fator de visão de céu em relação ao calculado para a GD. Enquanto a GS3 e GS4, métodos de modelagem geométrica que adicionam área construtiva e mantêm o mesmo perímetro construtivo da quadra em relação à GD, apresentaram comportamento oposto, superestimando dos valores do fator de visão do céu.

A GS1 destacou-se por apresentar o pior desempenho, apresentando erros próximos a -0.3. A menor amplitude de erros foi encontrada em relação à GS3 e GS4, que apresentam comportamento semelhantes, com erro em torno de 0.05. Enquanto a GS2 apresentou desempenho mediano, atingindo uma magnitude máxima de erro em torno de 0.1.

A ocorrência dos erros relativos também segue o padrão apresentado pelos erros absolutos, mantendo-se na faixa de -75% a -90% para GS1, -15% a -43% para GS2, 2% a 18% para

GS3, e 2% a 18% para GS4.

### 3.4 Análise estatística do desempenho geral dos modelos

Uma análise estatística do desempenho geral dos métodos de modelagem geométrica simplificada (GS) em relação às métricas avaliadas é apresentada no Quadro 02.

Exceto para a GS2 às 21:00h, todos os coeficientes de correlação apresentaram valores satisfatórios. Os menores valores de variância e desvio padrão computados foram encontrados para a métrica fator de visão do céu (FVC), enquanto a métrica velocidade do vento apresenta os maiores valores de variância e desvio padrão.

Em relação à temperatura do ar a GS2 apresenta maior discrepância de valores da variância e desvio padrão em comparação com os valores do modelo de geometria detalhada. Nota-se, também grande discrepância entre os valores de coeficiente de correlação determinados para os dois horários analisados (9:00h e 21:00h).

Considerando a velocidade do vento, os valores de variância e desvio padrão mais próximos aos determinados para o modelo de geometria detalhada são referentes ao da GS2, porém todos os coeficientes de correlação apresentam valores próximos a 1.00, indicando uma boa adequação dos dados.

Finalmente, em relação ao fator de visão do céu, as variâncias e desvios padrões assumem o mesmos valores para todas as GS.

**Quadro 2: Desempenho geral dos modelos.**

Métrica	Parâmetro Estatístico	Método de Modelagem / Horário									
		Detalhado		GS1		GS2		GS3		GS4	
		9:00	21:00	9:00	21:00	9:00	21:00	9:00	21:00	9:00	21:00
Temperatura do Ar	Variância	0,08	0,02	0,08	0,02	0,04	0,01	0,09	0,03	0,10	0,03
	Desvio Padrão	0,27	0,13	0,29	0,14	0,19	0,09	0,29	0,16	0,31	0,17
	Coefficiente de Correlação	-	-	<b>0,80</b>	<b>0,89</b>	<b>0,92</b>	<b>0,50</b>	<b>0,85</b>	<b>0,84</b>	<b>0,83</b>	<b>0,83</b>
Velocidade do Vento	Variância	0,22	0,18	0,82	0,75	0,36	0,27	0,70	0,63	0,69	0,59
	Desvio Padrão	0,46	0,42	0,91	0,86	0,60	0,52	0,84	0,79	0,83	0,77
	Coefficiente de Correlação	-	-	<b>0,94</b>	<b>0,94</b>	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	<b>0,95</b>	<b>0,96</b>	<b>0,95</b>	<b>0,96</b>
Fator de Visão do Céu	Variância	0,00		0,00		0,00		0,00		0,00	
	Desvio Padrão	0,04		0,06		0,06		0,06		0,06	
	Coefficiente de Correlação	-		<b>0,99</b>		<b>0,92</b>		<b>1,00</b>		<b>1,00</b>	

Fonte: Os autores.

A faixa de variação do erro total é apresentado no Quadro 3. Existe grande semelhança entre as faixas de erro para temperatura do ar encontradas na GS1, GS3 e GS4, que se mostram inferiores às faixas de erro da GS2. Já em relação à velocidade do vento a GS2 apresentou as menores faixas de erro, sendo que GS3 e GS4

apresentam valores um pouco superiores, porém semelhantes entre si, e a GS1 apresentou as maiores faixas de erro. Finalmente, em relação ao fator de visão do céu, as menores faixas de erro foram apresentadas pela GS3 e GS4, enquanto GS1 apresentou os maiores valores de erros também para esta métrica.

**Quadro 3: Desempenho geral dos modelos.**

Métrica	Método de Modelagem	Horário	Faixa de Erro			
				+/-		
Temperatura do Ar	GS1	09:00	0,19	+/-	0,10	°C
		21:00	0,07	+/-	0,06	°C
	GS2	09:00	0,57	+/-	0,13	°C
		21:00	0,42	+/-	0,11	°C
	GS3	09:00	0,17	+/-	0,09	°C
		21:00	0,08	+/-	0,03	°C
	GS4	09:00	0,20	+/-	0,09	°C
		21:00	0,09	+/-	0,03	°C
Velocidade do Vento	GS1	09:00	0,64	+/-	0,49	m/s
		21:00	0,65	+/-	0,49	m/s
	GS2	09:00	0,29	+/-	0,15	m/s
		21:00	0,24	+/-	0,11	m/s
	GS3	09:00	0,54	+/-	0,41	m/s
		21:00	0,52	+/-	0,40	m/s
	GS4	09:00	0,53	+/-	0,39	m/s
		21:00	0,49	+/-	0,36	m/s
Fator de Visão do Céu	GS1	09:00e 21:00	0,27	+/-	0,02	
	GS2	09:00e 21:01	0,09	+/-	0,03	
	GS3	09:00e 21:02	0,04	+/-	0,02	
	GS4	09:00e 21:03	0,04	+/-	0,02	

Fonte: Os autores.

#### 4. CONCLUSÕES

Esta pesquisa verificou os erros de predição decorrentes do uso de métodos de modelagem com simplificações geométricas na modelagem climática de um cenário urbano hipotético utilizando o software ENVI-met Versão.4.2.0.-Summer 17 - *free version*. Análises comparativas entre a temperatura do ar, velocidade do vento e fator de visão do céu, obtidos por um modelo de GD e quatro modelos de GS, indicam que em sua maioria os erros de predição assumem valores baixos, que as GS tendem a subestimar os valores de temperatura do ar, ao mesmo tempo em que superestimam os valores de velocidade do vento.

Além disso, observa-se a ocorrência de subestimação do fator de visão de céu nas GS que mantêm a mesma área ocupada por edificações mas se afastam do perímetro construtivo em relação à GD. Enquanto um comportamento oposto é observado nas GS que mantêm o perímetro construído e adicionam áreas ocupadas por edificações. Nota-se que o desempenho de um modelo, medido por meio de sua faixa de erro, é variável de acordo com a métrica analisada. Percebe-se também que, dependendo da métrica considerada, a localização dos receptores pode interferir no comportamento de superestimação e subestimação dos valores

simulados pelos modelos de GS em relação ao de GD, assim como podem interferir em nos valores de erro.

Quanto aos horários de análise (09:00 e 21:00), observou-se que embora possa haver uma pequena redução dos erros de predição na análise noturna, existe uma tendência semelhante no comportamento e magnitude da ocorrência de erros.

Este trabalho trás descobertas importantes para o campo da simulação computacional de variáveis climáticas no ambiente construído, pois ao mesmo tempo em que indicam uma potencialidade do uso de GS na modelagem do clima urbano, ressaltam que estas geometrias podem ter comportamentos diferentes, dependendo da métrica adotada e da localização dos receptores considerados para a análise.

Este estudo limitou-se à consideração de apenas um cenário urbano, um cenário de GD e uso de edificações homogêneas. Ainda assim, as conclusões obtidas são relevantes por indicar a potencialidades do uso de GS, e ressaltar a necessidade de que tais simplificações sejam analisadas de maneira criteriosa. Recomenda-se para trabalhos futuros que se amplie a variedade de cenários analisados, considerando diferentes distribuições dos edifícios dentro do cenário hipotético detalhado, bem como variação de altura e forma das edificações consideradas.

Recomenda-se também o estudo do comportamento do resultado das modelagem em mais

horários ao longo do dia, e em diferentes alturas de disposição dos receptores.

## REFERÊNCIAS

Bokaie, M. (2016) Assessment of Urban Heat Island based on the relationship between land surface temperature and Land Use/ Land Cover in Tehran, *Sustainable Cities and Society*, 23, 94-104.

Bruse, M. ENVI-met V4 (2018). Disponível em: <http://www.model.envi-met.com/>

Deschenes, O. (2014) Temperature, human health, and adaptation: A review of the empirical literature, *Energy Economics*, 46, 606–619.

Francisco, R. C. A. (2012) Clima urbano: um estudo aplicado a Belo Horizonte, MG, Belo Horizonte: EA UFMG, 2012. 122p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

Gusson, C. S., Duarte, D. H. S. (2016) Effects of Built Density and Urban Morphology on Urban Microclimate - Calibration of the Model ENVI-met V4 for the Subtropical Sao Paulo, Brazil, *Procedia Engineering*, 169, 2–10.

Jaime, E., Ossen, D. R., Rajagopalan, P. (2017) Investigating the effect of urban configurations on the variation of air temperature, *International Journal of Sustainable Built Environment*, 6(2), 389-399.

Kada, M. (2005) Building generalization. In: *INTERNATIONAL CARTOGRAPHIC CONFERENCE*, Coruña, 2005. *Proceedings...* Coruña: International Cartographic Association.

Li, Q., Sun, X., Yang, B., Jiang, S. (2013) Geometric structure simplification of 3D building models. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 84, 100-113.

Meng, L., Forberg, A. (2007) 3D Building generalisation. In: *Generalization of Geographic Information*. New York: Elsevier.

Minella, F. C., Honjo, S., Krugger, E. L. (2012) Estratégias de melhoria do ambiente térmico diurno em situação de verão de uma fração urbana da cidade de São Paulo, *Ambiente Construído*, 12 (4), 139–158.

Nakata-Osaki, C. M., Souza, L. C., Rodrigues, D. S. (2016) Impacto da geometria do cânion urbano na intensidade de ilha de calor noturna: análise através de um modelo simplificado adaptado a um SIG, *Ambiente Construído*, 16 (3), 73–87.

Oberkampf, W. L., DeLand, S. M., Rutherford, B. M., Diegert, K. V., Alvin, K. F. (2002) Error and uncertainty in modelind and simulation, *Reliability Engineering & System Safety*, 75, 333-357.

Oke, T. R. (1987) *Boundary layer climates*. 2nd ed. London and New York: Routledge.

Souza, J. F. de, Silva, R. M., Silva, A. M. (2016) Influência do uso e ocupação do solo na temperatura da superfície: o estudo de caso de João Pessoa – PB, *Ambiente Construído*, 16 (1), 21–37.

Su, Y., Foody, G. M., Cheng, K. S. (2012) Spatial non-stationarity in the relationships between land cover and surface temperature in an urban heat island and its impacts on thermally sensitive populations, *Landscape and Urban Planning*, 107 (2), 172-180.

United Nations (2015) *World urbanization prospect: the 2014 revision final report*. Disponível em < <https://esa.un.org/unpd/wup/Publications/Files/WUP2014-Report.pdf>>. Acesso em 30 January, 2018.

Wang, Y., Zhou, D. (2017) Simulation Study of Urban Residential Development and Urban Climate Change in Xi'an, China, *Procedia Engineering*, 180, 423- 432.

Wright, C. Y., Garland, R. M., Norval, M., Vogel, C. (2014) Human health impacts in a changing South African climate, *South African Medical Journal*, 104 (8), 579–582.

Yao-Dong, D., Xian-Wei, W., Xiao-Feng, Y., Wen-Jun, M., Hui, A., Xiao-Xuan, W. (2013) Impacts of Climate Change on Human Health and Adaptation Strategies in South China, *Advances in Climate Change Research*, 4 (4), 208–214.