ANALISE DA INFLUÊNCIA DA VEGETAÇÃO NA DENSIDADE URBANA NO CENTRO DE BELO HORIZONTE, BRASIL, ATRAVÉS DE MODELAGEM MICROMETEOROLÓGICA

C. A. de S. Souza, E. S.de Assis, F. De S. Motta, J. V. R. Andrade

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo sobre o microclima urbano da área central da cidade de Belo Horizonte, Brasil, modelando a influência da vegetação em uma área densamente construída com prédios residenciais e comerciais. Estudos em cidades tropicais mostram que a vegetação arbórea pode reduzir a temperatura local, incluindo a temperatura superficial, por meio de sombreamento e evapotranspiração, melhorando a qualidade do ar, onde áreas com vegetação urbana pode ser considerada o melhor ambiente para espaços públicos, no entanto, não é claro para fins de desenho urbanístico, a proporção da área e/ou tipo de vegetação necessária para beneficiar um assentamento urbano. Para os resultados obtidos foi observada a influência das massas vegetadas no ambiente urbano, onde a maior amplitude térmica foi registrada no ponto com maior densidade arbórea, tendo como referência o dia simulado e as áreas revestidas com asfalto e concreto, por sua vez, obtiveram maiores temperaturas dentre todos os pontos observados.

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta um estudo sobre o microclima urbano da área central da cidade de Belo Horizonte, Brasil, modelando a influência da vegetação em uma área densamente construída com prédios residenciais e comerciais.

Estudos em cidades tropicais mostram que a vegetação arbórea pode reduzir a temperatura local, incluindo a temperatura superficial, por meio de sombreamento e evapotranspiração, melhorando a qualidade do ar, portanto, a vegetação urbana pode ser considerada o melhor ambiente para espaços públicos. No entanto, não é claro para fins de desenho urbanístico, o tamanho da área e/ou tipo de vegetação necessária para beneficiar um assentamento urbano. O objetivo foi, então, verificar a área de vegetação e sua interferência na malha urbana, para produzir uma sensível influência sobre o microclima urbano, considerando as condições atmosféricas locais e do tecido urbano. Belo Horizonte é a principal cidade da terceira maior região metropolitana do Brasil, localizada na latitude 19.92 Sul e longitude 43.93 Oeste. Tendo hoje em dia uma população de 2.375.151 em uma área de 332 km2 a uma altitude média de 858m. A cidade está em uma região classificada como **Cwa**, segundo classificação Köppen-Geiger. Porém, séries climáticas recentes mostram uma mudança para **Aw**, alteração atribuída aos efeitos do clima urbano. Essa classificação é utilizada em maior amplitude pela geografia, climatotologia e ecologia, ela classifica globalmente os tipos climáticos existentes, sendo **Cw** classificado como clima temperado úmido com inverno seco e o **Cwa** sendo especificamente clima temperado úmido com

inverno seco e verão quente, e **A** sendo clima tropical, com subclassificação **Aw**, a qual é o clima tropical com estação seca de inverno.

Dados climáticos medidos na área central da cidade foram usados como entrada para ENVI-met, software micrometeorológico capaz de simular as interações entre ambientes urbanos e seu clima, vegetação e corpos d'água. O programa foi calibrado para Belo Horizonte a fim de que ele seja usado agora para explorar a influência de vegetação em diferentes recintos urbanos da cidade.

Uma experiência típica de simulação no desenho urbano foi realizada, delimitando uma área de teste dentro do bairro central de Belo Horizonte. A área de teste foi desenvolvida em em comparação com a área real, realizando o desenho referente a atual malha urbana e comparando os resultados simulados com os medidos *in loco*.

2 A VEGETAÇÃO INSERIDA NA MALHA URBANA E REVESTIMENTOS DE SOLO

Elementos vegetativos são considerados por Higueras (1997) os melhores protetores de espaços livres, onde mantem o equilíbrio do ambiente, melhorando a qualidade do ar. As massas vegetativas influenciam diretamente no resfriamento da área urbana, reduzindo a temperatura do local, captando melhor a ventilação, sombreando essa área, absorvendo ruídos e a poluição e ajudando na economia de energia (SHASUA-BAR; HOFFMAN, 2000).

Dimoundi e Nikolopoulou (2003) definem como arborização urbana um conjunto de áreas com vegetação arbórea natural do local ou outros tipos de árvores não nativas cultivadas pelos usuários do local. Essa arborização é considerada pelos autores como uma das principais estratégias para o resfriamento urbano, regulando o clima local e ajudando a diminuir os efeitos das ilhas de calor.

Segundo Bonan (2002, p.9), as características fisiológicas, demográficas e processos do ecossistema de que forma a vegetação responderá ao clima. Os primeiros, características fisiológicas, são as trocas de nutrientes (CO2, água, sais, entre outros) com o meio ambiente. Os processos demográficos dizem respeito à sobrevivência e desenvolvimento da comunidade, isto é, refere-se ao ciclo biológico dos vegetais (crescimento, reprodução, morte). Processos de ecossistema são as trocas entre ser vivo e meio ambiente, ou seja, como um influencia no outro. Tais fatores promovem a definição de como determinada vegetação irá se desenvolver.

A radiação transferida pela copa das arvores depende da incidência de radiação, de propriedades óticas e da geometria da copa, onde uma parte da radiação incidente é refletida e outra parte é absorvida nas folhas (ROBITU *et al*, 2006). A vegetação possui qualidades fisiológicas complexas e, através do processo de fotossíntese, aumenta a umidade local por transpiração, porém, a área impermeabilizada urbana interfere na umidade total do ar já que reduz a cobertura vegetal. No verão, os efeitos da evapotranspiração são bastante visíveis, principalmente em regiões com forte exposição à radiação, reduzindo a temperatura ao redor da área verde, temperatura essa que é relativa ao calor latente usado para a transpiração de água da massa vegetativa (VILELA, 2007).

Eumorfopoulou e Kontoleon (2009) afirmam que o uso da vegetação é impactante sobre o desempenho térmico de edifícios e no clima urbano em qualquer época do ano, pois as plantas absorvem radiação solar para suas funções biológicas, gerando uma barreira solar às demais superfícies. Para eles, a utilização de massas vegetativas é essencial e pode melhorar consideravelmente o microclima edificado.

Segundo Oliveira, Vaz e Andrade (2011), as áreas verdes urbanas ajudam a atenuar as ilhas de calor, as quais causam aumento de temperatura, de intensidade das ondas de calor e da baixa umidade, essas áreas podem criar um efeito de arrefecimento que se estende até as áreas circundantes.

O programa proposto para simulação deste trabalho foi visto em pesquisas no exterior, em que Osmond (2004) e Jusuf (2007) analisaram áreas com vegetação, o primeiro analisou telhados verdes, o segundo analisou uma área da universidade em que trabalha fazendo modificações na malha urbana do local com substituições de vegetação, forração e edificação. Ambos simularam as áreas no programa Envi-met© e o resultado obtido pelos pesquisadores foram contrastantes, onde o primeiro constatou um aumento na temperatura e o segundo, um decréscimo.

Com foco em comparação de materiais de revestimento de solo, Chatzidimitriou et al. (2006) demonstrou que ao comparar as temperaturas superficiais simuladas no programa, superfícies como grama e pavimento de concreto, proporcionaram diferenças significativas em suas medições.

Na Coréia do Sul o programa serviu como parâmetro para comparar as possíveis alterações causadas com a implantação de um projeto de revitalização do córrego Cheongye, em Seul. A implantação causaria uma diminuição na temperatura média diária da cidade e a umidade relativa sofreria um aumento. Após a execução da obra, foi verificada uma diferença de 3°C entre os resultados da simulação para os das medições in loco, sendo esses 3°C a mais nas simulações computacionais.

No Brasil, na capital Brasília, Castelo Branco (2009) realizou um estudo na Superquadra 108 Sul, baseado na inserção de áreas verdes no local. Foi visto com simulações no programa Envi-met© que há criação de um microclima no lugar, em que a temperatura do ar é amenizada, mostrando a relevância de áreas verdes, na malhar urbana. Da mesma forma, em Teresina (Piauí) com estudos baseados na vegetação urbana, direcionados à arborização em três avenidas da cidade, Silva (2009) obteve como resultado a eficiência do programa para comparação com resultados de medição in loco, com a amenização da temperatura do ar pela influência da vegetação. O efeito da vegetação na área urbana também foi estudado por Santos et al (2004) comparando uma área hipotética com cobertura vegetal densa e a mesma sem vegetação, por simulação no programa Envi-met©. Onde havia vegetação próxima às vias de tráfego, para avaliar as condições de concentração de CO, verificou-se o aumento da dispersão das partículas.

Um estudo da influência da ventilação urbana na distribuição da temperatura do ar em Campinas – São Paulo, DACANAL et al. (2010), mostrou que o programa computacional em questão pode ser uma ferramenta importante na previsão de efeitos futuros de cenários urbanos. Todos esses estudos são importantes visto que a interação entre clima e meio edificado é um grande desafio para o planejamento de cidades (NAKATA et al., 2009). Diante dos problemas urbanos e ambientais que influenciam no cotidiano da população e

comprometem os padrões de qualidade de vida, necessita-se de alternativas para que o crescimento urbano ocorra sem causar danos maiores.

3 MÉTODO

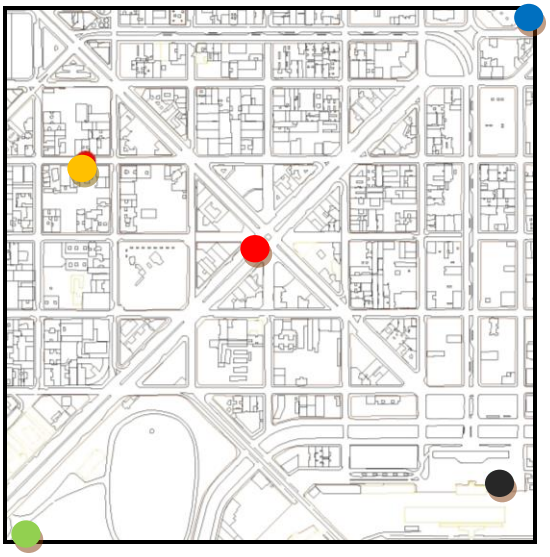
Esta pesquisa é de natureza aplicada, baseada no método **dedutivo**, partindo da teoria existente no campo da micrometeorologia para entender o comportamento climático de recintos urbanos e a influência de massas de vegetação. Utilizando-se do procedimento **quantitativo** para o tratamento de dados, foram utilizadas amostras relativamente grandes da área de estudo, para haver confiabilidade dos resultados foi realizado um recorte de 1000mx1000m na malha urbana do centro planejado de Belo Horizonte, de modo que a **simulação** computacional com o programa Envi-met® (Versão 3.1, BRUSE, 2009) fosse realizada, área essa, referente a dados medidos *in loco* e obtidos como referência em Assis (2010) que estudou o microclima da área e mediu dentro do recorte escolhido 5 pontos, esses com dados de temperatura do ar, umidade relativa do ar, intensidade e velocidade de ventos. As Figuras 1 e 2 a seguir exemplificam a área de estudo e seus pontos de medição. A área primeiramente foi selecionada pela gama de dados possíveis de comparação, porém ao iniciar a simulação foi visto que o seu tamanho influenciava o tempo de simulação, assim, houve a necessidade de realizar um novo recorte na área buscando manter o máximo das áreas vegetadas dentro da área simulada. A Figura 2 mostra o novo recorte com dimensões de 600mx 600m.

A área de simulação, contem pontos na Rua São Paulo – Ponto 3, dentro do Parque Municipal – Ponto 11, Praça Sete – Ponto 12, Rodoviária – Ponto 13, Praça da Estação – Pronto 14. Dentre esses pontos o único ponto que possui ao seu entorno uma grande área vegetada é o 11, por arvores e gramado, os demais possuem a característica de revestimento do solo por asfalto, edifícios de aproximadamente 10 pavimentos, e poucas árvores ao redor.

A combinação entre dados medidos (ASSIS, 2010; ASSIS, SIRQUEIRA, BAMBARG, 2013) e simulados do caso de estudo, com a utilização de dados de calibração do programa de simulação para Belo Horizonte, geraram resultados quanto a temperatura do ar e umidade do ar, de modo que a sua correlação fosse realizada. Para a entrada de dados da vegetação local, os dados base do programa foram modificados para serem inseridos na realidade brasileira, onde a árvore de alto porte escolhida, foi modificada em sua base e o albedo das folhas foi alterado, do mesmo modo a grama foi modicada, tanto a sua altura quanto seu albedo, sendo 0,12 o albedo da vegetação de alto porte, e 0,23 o albedo da grama, com a modificação da sua altura para 10cm.

Para inserir os dados relacionados a área no programa, foi necessário um tratamento do mapa de Belo Horizonte, em relação ao recorte em questão, levando em questão o geoprocessamento, realizando trabalho de separação das áreas com curvas de nível e verificação das suas altimetrias, dados de lotes cadastrais e possíveis construções, levantamento das alturas das edificações e material de revestimento em geral das fachadas de cada rua, e das coberturas de telhado e de solo.

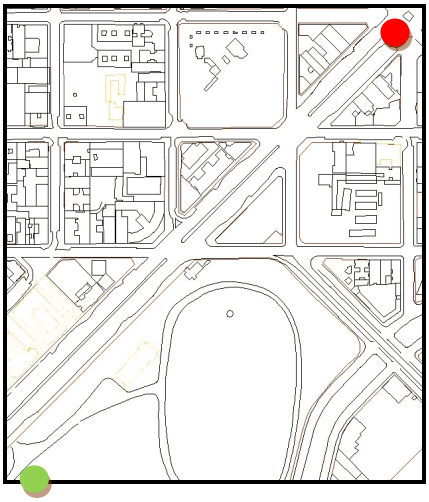
Figura 1 e 2 – Recorte de 1000mx1000m na região central de Belo Horizonte simulada; Recorte de 600mx600m realizado para reajuste da malha simulada.



Pontos medidos *in loco:*
Ponto 3
Ponto 11
Ponto 12
Ponto 13
Ponto 14

Ponto utilizado para entrada de dados:
Ponto 3

1



Pontos utilizados para comparação de dados:
Ponto 3 – fora da área de recorte novo
Ponto 11
Ponto 12

2

O ENVI-met é um programa computacional de modelagem microclimática tridimensional que simula as interações entre ambientes urbanos e seu clima, elaborado pelo professor Michael Bruse, do Instituto de Geografia da Universidade de Mainz, Alemanha (Michael Bruse, 2010). É capaz de simular o fluxo de ar em torno dos edifícios e entre estes; os processos de troca de calor e vapor das superfícies do solo, das construções, e das vegetações, turbulência; dispersão das partículas e estimativas de conforto térmico. Ele é projetado para microescala com uma típica resolução horizontal de 0,5 a 10 m e uma janela de tempo entre 24 a 48 horas com um espaço de tempo de 10 segundos que permite analisar interações em pequena escala entre edifícios individuais, superfícies e plantas. Para a simulação foi utilizada uma janela de tempo de 30 horas, pois a área em questão por ser bem detalhada, acabou ocasionando um tempo corrido de 5 dias de simulação.

O programa utiliza arquivos de entrada (que definem as características da simulação específica), arquivo de dados (já configurados do sistema e dados acrescentados) e arquivos de saída (esses criados pelas simulações do programa computacional). Os arquivos de entrada utilizados para configuração da simulação foram os seguintes (tabela 01):

Tabela 01: Dados de entrada para a simulação computacional. Fonte: ASSIS, 2010; ASSIS, SIRQUEIRA, BANBERG, 2013.

Dados de entrada	Valores
Total de tempo simulado (h)	30:00
Velocidade do Vento (m/s)	1
Direção do Vento (graus)	225
Temperatura do ar (K)	295,50
Umidade Especifica do ar	8,02
Umidade Relativa do ar	74
Rugosidade	0.1
Nebulosidade (LOW – x/8) - (MIDDLE – x/8) - (HIGH – x/8)	2,40 – 0,00 – 0,00
Ajuste de fator solar	1,12
Temperatura do solo (0-20) – (20-50) – (50 – x)	297,00 - 297,00 - 297,00
Umidade relativa do solo (0-20) – (20-50) – (50 – x)	20 – 10 – 7,5

4 RESULTADOS

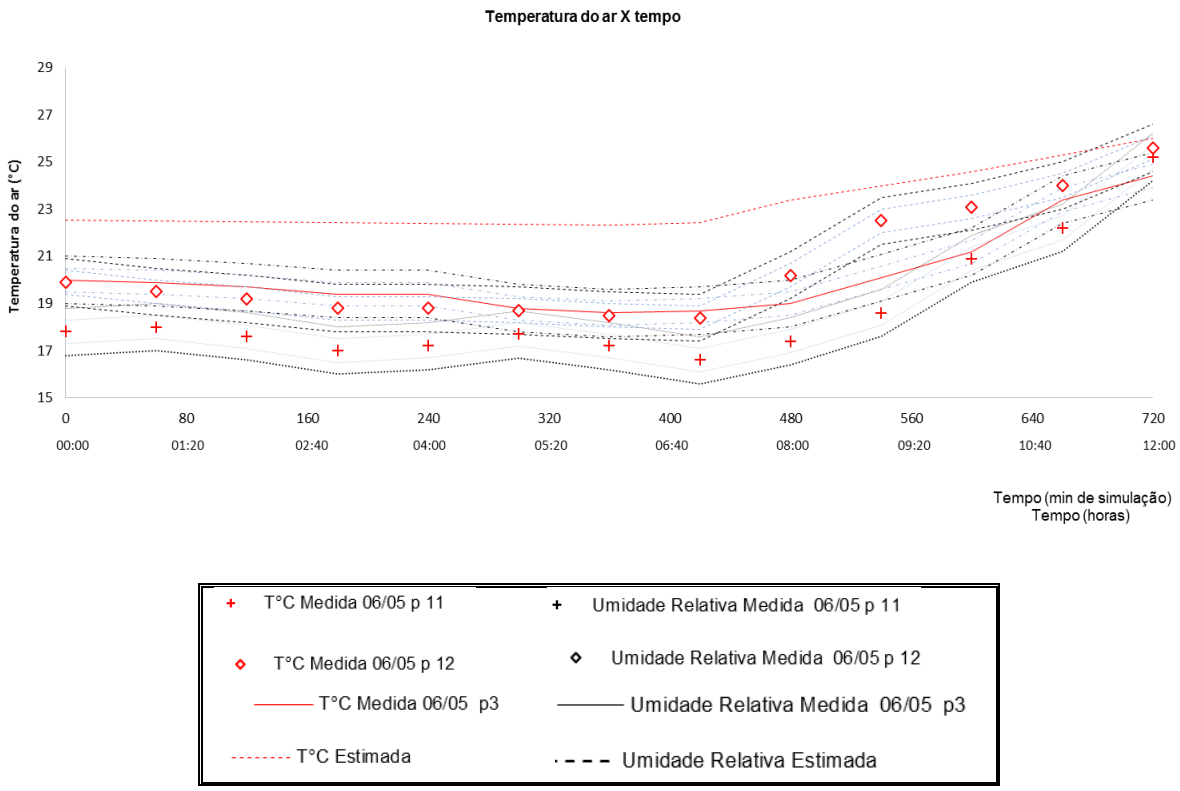
A partir dos dados inseridos no programa de simulação, os resultados são os apresentados no Gráficos 1 e 2 a seguir. Os dados de entrada referentes as medições *in loco* devem ser observados com uma possível margem de erro medido, de 0,5 a 1.0, segundo informações do fabricante dos medidores HOBO, da Onset. As variações climáticas analisadas foram Temperatura do ar e Umidade do ar, e observando as questões de revestimento de solo, entorno construído e áreas vegetadas.

O ponto de medição escolhido para a entrada de dados representa um dia estável em relação aos demais, e após o novo recorte da área, ficou fora da malha simulada, porém os resultados estimados de temperatura do ar mostram que o programa computacional seguiu o padrão de curvas do dado de entrada, com uma margem de 2°C de diferença entre as amplitudes. Utilizando o MBE (indicação de desvio médio de valores) entre os valores medidos e os estimados para o ponto 3, MBE esse de 3,05 entre medida e estimada e 2,05 entre medida com faixa de erro máximo do aparelho medidor. Esse indicador estatístico é utilizado para determinar se as amostras de estudo são coerentes, sendo quanto mais próximo de zero o resultado, melhor a coerência dos resultados. Para o ponto 12, obteve

MBE de 2,7 na medida padrão e 1,7 com faixa de erro do aparelho, e para o ponto 11, sendo 4,7 o MBE padrão e 3,7 para a faixa de erro.

Observando os dados acima o nota-se que o indicativo de desvio de erro é pequeno entre as amostras, principalmente onde as amostras medidas indicadas são referentes a locais com configuração urbana semelhante a do ponto utilizado para simulação, área com grande densificação de edifícios com mais de 10 andares, vias de acesso revestidas com asfalto, calçadas com revestimento de concreto e pouca vegetação, onde o menor RMSE (é a medida de dispersão dos valores estimados em relação aos valores medidos) foi verificado no ponto 12, referente ao medidor localizado na Praça Sete, com indicador de 2,95 para os dados padrões e de 2,06 contemplando a faixa de erro do aparelho de medição.

Gráfico 1: Temperatura do ar pelo tempo, dados medidos e estimado



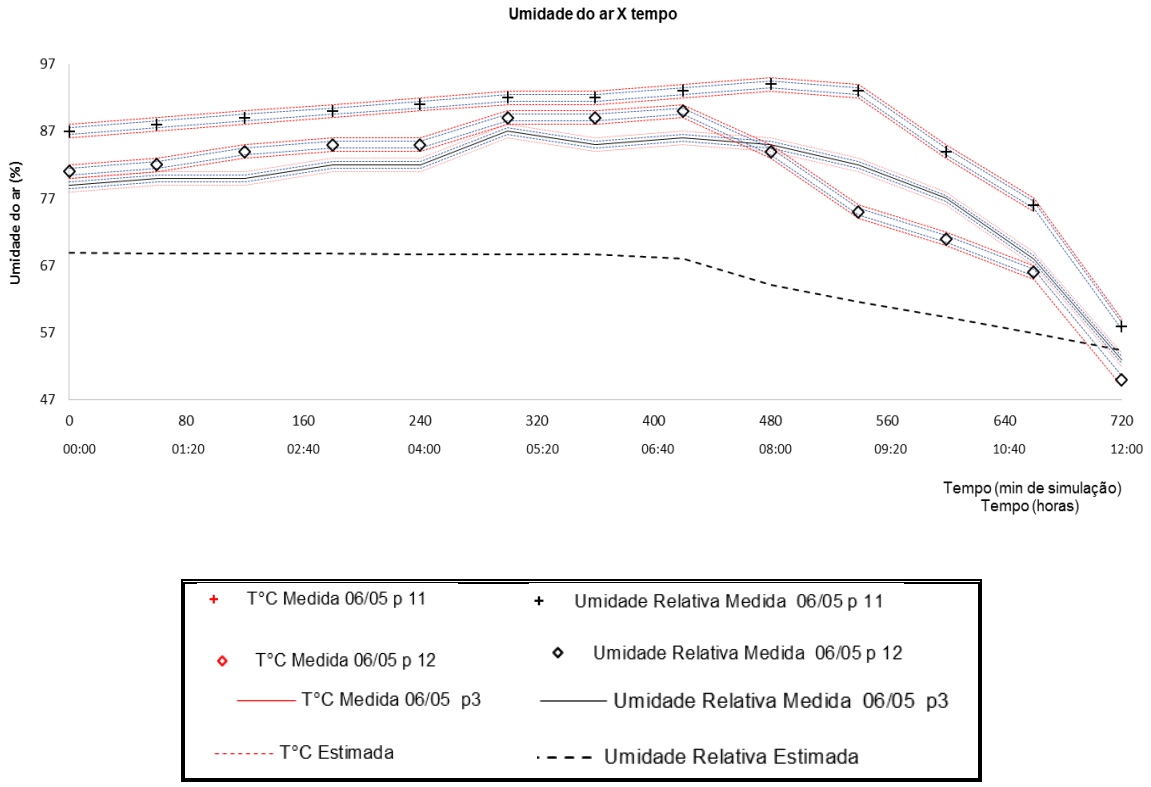
Como pode ser visto no Gráfico 1, as linhas em Vermelho mostram as temperaturas tanto medidas a quanto estimada e as demais linhas exemplificam as margens de erro entre 0.5 e 1.0 do aparelho de medição dos pontos. A temperatura estimada segue o padrão de curva em relação ao Ponto 3, sendo que os dados referentes ao Ponto 12 mostram uma aproximação ao final da simulação, com amplitude térmica do decorrer da manhã chegando ao horário de 12 horas. No horário de maior amplitude, os dados estimados se encontram com os medidos em relação ao erro do aparelho.

Tanto o Ponto 3 quanto o 12 possuem pouca vegetação e maior pavimentação em asfalto, já o Ponto 11, que possui a área mais vegetada, dentro do Parque Municipal, que se manteve mais distante em relação as amplitudes térmicas, às 12 horas encontra-se com a temperatura estimada, dentro da margem de erro do aparelho de medição.

A variação de temperatura entre as variações é de aproximadamente 2°C entre todas as medições em relação ao Ponto 3, e de 1,5°C em relação ao Ponto 12. Já entre o estimado e o ponto 11, a variação de temperatura pode ser de 1,5°C até 3°C.

Em relação a umidade relativa do ar, desde a seleção dos dados de entrada notam-se dados um pouco mais elevados que o a média de umidade para o inverno, que em média é de 68% (Normais Climatológicas, 1992), e a entrada média medida foi de 79%, gerando uma diferença significativa entre os resultados obtidos estimados, onde o MBE para o ponto 3 foi de 13,5 e de 14,5 para a faixa de erro do medidor, para o ponto 11 obteve-se de 21 e 27 respectivamente, e para o ponto 12, o MBE foi de 14,2 e 15,2 para a faixa de erro.

Gráfico 2: Umidade do ar pelo tempo, dados medidos e estimado.



No Gráfico 2 a umidade é representada pelas simbologias e linhas em preto e as demais linhas são as de faixa de erro dos aparelhos de medição. A curva gerada pelos dados estimados, segue o padrão da curva dos dados do Ponto 12, porem com uma amplitude maior entre seus maiores números. Diferentemente da temperatura, a umidade do ar não seguiu exatamente o padrão dos dados de entrada, como já mencionado, os dados de umidade do ar foram acima da Normal, e a diferença dos resultados possivelmente se deu por esse fator.

5 CONCLUSÃO

Os dados analisados mostram que a temperatura tem relação direta com a cobertura vegetal, mostrando que no Ponto 11 a área localizada no parque municipal a temperatura medida e a simulada foram as mais baixas, aumentando no decorrer da manhã. Já nos

pontos 3 e 12, recobertos por asfalto, concreto e edificações, a temperatura obteve os maiores valores.

Entretanto, a maior amplitude térmica foi registrada no Parque municipal, visto que a maior presença da vegetação pode favorecer aumento de umidade relativa e ar e consequentemente a variação de temperatura. Com esse fator, se nota a sensibilidade que o programa de simulação trabalha, considerando a evapotranspiração das folhas das vegetações no parque, e considerando o acúmulo de energia térmica no local.

Um fator que influenciou diretamente os resultados quanto a umidade relativa do ar foi o dado de entrada ser acima da média padrão, pois os dados de calibração do programa computacional foram realizados com base nas Normais Climatológicas de Belo Horizonte, e com isso, o resultado geral do programa seguiu a o padrão de calibração, o que demonstra que o dia escolhido para simulação foi estável em relação aos dados medidos e para o ano em questão que e esse fator pode exemplificar uma necessidade de recalibração do programa a cada ano atípico.

6 REFERÊNCIAS

Barbosa, R. V.R.; Barbirato, G. M. (2003) Vegetação Urbana: Uma análise experimental em cidade de clima quente e úmido. **In: VII Encontro Nacional Sobre Conforto no Ambiente Construído**, Curitiba, novembro, p. 722-729.

Bonan, G. B. (2002) **Ecological Climatology: Concepts and Applications**. First Edition Cambridge University Press.

Bruse, M. (2010) **Updated overview over ENVI-met 3.1 beta5**. Disponível em**:** http://www.envi-met.com. Acessado em 15/08/ 2010.

Bruse, M. (2012) **ENVI-Met® model homepage**. Disponível em: http://www.envi-met.com/. Acesso em: janeiro de 2012.

Bruse, M. (2013) **ENVI-Met® model homepage**. 2007. Disponível em: http://www.envi-met.com/. Acesso em: OUTBRO de 2013.

Castelo Branco, L. M. B. (2009) **Microclimas urbanos no plano piloto de Brasília – o caso da Superquadra 108 Sul**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade de Brasília. Brasília.

Chatzidimitriou *et al*. (2006) **Ground surface materials and microclimates in urban open espaces.** PLEA, The 23 Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland.

Dacanal, C; Pezzuto, C, C.; Labaki, L.; Matsumoto, E. (2010) Avaliação do efeito da ventilação nos espaços urbanos abertos através de simulações e medições experimentais. In: **Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído**. cd-rom.

Dimoundi, A; nikolopoulou, M. (2003) Vegetation in the Urban Environment: Microclimatic Analysis and Benefits. **Energy and Building**, Lausanne, v.35- 1.

Eumorfopoulou, E.A.; Kontoleon, K.J**.** (2009) Experimental approach to the contribution of plant-covered walls to the thermal behaviour of building envelopes. **Building and Environment**. 44: p. 1024.

Higueras, E**.** (1997) **Urbanismo bioclimático - critérios medioambientales en la ordenación de asentamientos**. Tese. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Madrid.

Jusuf, S. K.; wong, N. H.; hagen, E.; anggoro, R.; hong, Y. (2007). The influence of land use on the urban heat island in Singapore, **Habitat International,** 31, 2007.

Nakata, C. M., souza, L. C. L., faria, J. R. G. (2009) Verificação de um modelo para simulação térmica urbana. In: **X Encontro Nacional e VI Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído**, Natal: Anais do X ENCAC, cd-rom, p. 324-331.
Oliveira, S.A., H.; VAZ, T. (2011) The cooling effect of green spaces as a contribution to the mitigation of urban heat: A case study in Lisbon. **Building and Environment**.

Osmond. P. W. (2004) **Rooftop "greening" as na option for microclimatic amelioration in a high-density building complex.** University of New South Wales, Sydney, Australia.

Robitu, M.; musy, M.; inard, C.; groleau, D. (2006) Modeling the influence of vegetation and water pondo n urban microclimate. Elsevier: 80, **Solar Energy**. p 435–447.

Santos, I. G. et al. (2003) Influência da geometria urbana e da inércia térmica na alteração do clima urbano: uma abordagem preditiva. **In: VII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído**, Curitiba: Anais do VII ENCAC, cd-rom.

Shashua-bar, M. E.; Hoffman, L. (2000) Vegetation as a climatic component in the design of na urban street. An empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees. **Energy and Buildings**, n. 31. p.221-235.

Silva, C. F. (2009) **Caminhos bioclimáticos: desempenho ambiental de vias públicas na cidade de Teresina – PI**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade de Brasília. Brasília.

Vilela, Jacqueline Alves. (2007) **Variáveis do clima urbano: análise da situação atual e prognósticos para a região do bairro Belvedere III**, Belo Horizonte, MG. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – MACPS – UFMG, Minas Gerais.