Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbge

Fachadas verdes e comportamento térmico urbano

Marina Paschoalino de Jesus¹, Júlia Maria Lourenço², Rosa Maria Arce Ruiz³

¹ Mestre em Sustentabilidade do Ambiente Construído pela Universidade do Minho, Campus Azurém, Guimarães, Portugal. marinadejesus@gmail.com (autor correspondente). ² Professora do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho, Campus Azurém, Guimarães, Portugal. jloure@civil.uminho.pt. ³ Professora do Departamento de Ordenación del Territorio, Urbanismo y Medio Ambiente da Universidad Politécnica de Madrid, Espanha. rosa.arce.ruiz@upm.es.

Artigo recebido em 05/11/2016 e aceito em 20/12/2016

RESUMO

Na busca de soluções mais sustentáveis para o desenvolvimento urbano das cidades, a utilização de fachadas verdes em grandes centros urbanos é uma importante ferramenta de combate aos efeitos das alterações de condições climáticas. No entanto, é necessário quantificar os benefícios e o impacto na redução térmica urbana gerados na presença de fachadas verdes, por ser variável a magnitude do desempenho térmico que poderá ser atingido. O estudo de caso tem como foco demonstrar qual a redução térmica do meio urbano imediato na presença de uma fachada verde. Seu objectivo é quantificar, analisar e comparar o comportamento térmico de uma fachada recoberta por vegetação e uma fachada “convencional”, em função de variáveis climáticas de temperatura, umidade e velocidade do ar, coletadas *in situ*, inseridas no mesmo microclima no centro da cidade de Madrid, Espanha, relacionando o comportamento térmico destas fachadas em diferentes estações do ano e períodos do dia. A investigação experimental abrange duas campanhas de medições realizadas em diferentes estações do ano: no verão, em que são observadas temperaturas médias mais elevadas, e no período do outono, no qual as temperaturas médias são inferiores. O monitoramento das medições *in situ* dos parâmetros climáticos foram efetuados durante seis dias e em três períodos do dia. Os valores e resultados encontrados estão em consonância com estudos similares desenvolvidos em diferentes países. A análise comparativa dos resultados experimentais obtidos entre a fachada recoberta por vegetação e a fachada “convencional” demonstram que, a fachada verde tem significativo potencial de redução da temperatura no microclima urbano circundante, sendo uma ferramenta eficaz no desenvolvimento urbano de cidades mais sustentáveis.

Palavras-chave: fachadas verdes, comportamento térmico urbano, sustentabilidade urbana, microclima.

Urban and outdoor building thermal behavior with green façades

ABSTRACT

The use of green façades in large urban areas has been used in search for more sustainable solutions for the urban development of cities and as an important tool to strike the effects of climate change. However, it is necessary to quantify the benefits and the impact on the urban thermal reduction achieved due to green façades, because the magnitude of thermal behavior that might be achieved is variable. The main goal of this paper is to quantify, analyze and compare the thermal behavior between a green façade and a bare façade. Both façades are located in the same microclimate in the city center of Madrid, Spain. The presented case study demonstrates the impact of green façades in the thermal reduction in urban areas. Data of climate variables such temperature, humidity, and air velocity were collected *in situ*, in different seasons and different daytime periods. The experimental research stage took place in two different seasons of the year: in summer, when the average temperatures are higher; and in autumn, when the average temperatures are lower. The climate variables were monitored during 6 days and at 3 different time periods. The measured values are in accordance with similar studies conducted in different countries. The comparative analysis of experimental results obtained between the green façade and the bare one shows that the green façade has a significant potential of thermal reduction in the surrounding urban microclimate, being an efficient tool for the sustainable urban development of cities.

Keywords: green façades, urban thermal behavior, urban sustainability, microclimate.

Introdução

Com a expansão drástica dos espaços urbanos, especialmente após a Revolução Industrial, o tipo de ocupação e as características físicas do solo nas urbanizações sofreram intensas modificações. Anteriormente a tal expansão, encontravam-se áreas predominantemente recobertas por vegetação natural; já atualmente, encontram-se, na grande maioria de sua extensão, recobertas por asfalto e concreto. As modificações ocorridas nas propriedades da superfície do solo, que se tornou impermeável em grande extensão, e a ausência de vegetação natural nas zonas urbanas resultam nas alterações locais de condições climáticas na envolvente urbana, tal fenômeno denomina-se “ilha de calor” urbano. As “ilhas de calor” ocorrem especialmente em zonas centrais de grandes aglomerados urbanos, onde se verifica um aumento significativo da temperatura do ar quando comparado a espaços em zonas rurais. Observa-se assim que o tipo de ocupação do solo tem um papel relevante na determinação das condições climáticas urbanas (Cortesão et al., 2009).

As consequências das “ilhas de calor” observadas em áreas urbanas abrangem diversas problemáticas ambientais, desde o aumento de poluentes na atmosfera ao desconforto térmico urbano de seus usuários. Levando em conta as modificações do espaço urbano e as problemáticas que surgem a partir de suas consequências, nota-se que o desenvolvimento urbano tem especial importância no contexto mais amplo da sustentabilidade, pois as tendências atuais preveem que a sustentabilidade urbana deva se embasar em princípios que identifiquem os problemas comuns em áreas urbanas e pontue aspectos de intervenção prioritários (Higueras, 2009).

Na busca e na necessidade de urbanizações e cidades mais sustentáveis, a presença de vegetação e áreas verdes em grandes centros urbanos apresenta-se como potencial ferramenta de combate às consequências negativas associadas às problemáticas ambientais e de conforto térmico urbano. No entanto, ainda não se têm um completo entendimento de todos os fenômenos e os benefícios que podem ser obtidos na presença de vegetação em grandes centros urbanos, devido às variações de comportamento da vegetação, diversidade de regiões e condições ambientais e climáticas encontradas.

O presente estudo de caso tem como foco identificar qual o impacto da presença de uma fachada verde no comportamento térmico urbano, na escala de microclima. Têm como objetivo quantificar e analisar o comportamento térmico de uma fachada recoberta por vegetação e uma fachada “convencional”, sem vegetação, em

função de dados físico-ambientais de variáveis climáticas de temperatura, umidade e velocidade do ar, coletadas *in-situ*, inseridos no mesmo microclima no centro da cidade de Madrid, Espanha. E posteriormente comparar os resultados obtidos das variáveis climáticas, relacionando o comportamento térmico de ambas as fachadas em diferentes estações do ano e períodos do dia.

Desempenho térmico de fachadas, telhados e áreas verdes

Vários estudos comprovam o desempenho térmico encontrado no uso e aplicação de fachadas, telhados e coberturas verdes, por meio de investigações experimentais e modelos de simulação. Em estudo realizado na Espanha, com o intuito de esclarecer os diversos mecanismos que influenciam no uso de fachadas verdes e seu comportamento como sistema passivo de poupança de energia, quatro mecanismos fundamentais foram considerados pelos investigadores: interceptação de radiação solar, isolamento térmico fornecido pela vegetação, resfriamento evaporativo, e variação do efeito do vento sobre o edifício. Os resultados para as estações da primavera e do verão, apontam para a confirmação da grande capacidade da fachada verde em interceptar a radiação, e também, as medições de temperatura e umidade ambiente confirmam a criação de um microclima no espaço intermédio, caracterizado por uma temperatura mais baixa e por elevada umidade (Pérez et al., 2011). Na Holanda, também foram quantificados os impactos relevantes no uso de fachadas verdes, com medições realizadas no espaço intermédio entre a estrutura e a fachada, onde os sistemas de arborização verticais investigados demonstraram ser protetores solares naturais eficazes, devido a uma redução das temperaturas da superfície da camada verde em relação às fachadas nuas. E demonstra-se ainda que são barreiras de vento eficazes, por reduzirem a velocidade do vento na envolvente do edifício melhorando sua eficiência energética (Perini et al., 2011).

Diversos estudos foram realizados na Alemanha (Bartfelder, Köhler, 1987), para avaliar e identificar os potenciais benefícios de arrefecimento de fachadas verdes. Tal estudo foi aplicado em uma parede recoberta por plantas e uma parede nua com ausência de vegetação. Os resultados mostram uma redução de temperatura na fachada verde em uma faixa entre 2 e 6°C, em comparação com a parede nua. Outros estudos comparativos entre ambos tipos de fachadas foram explorados. Para avaliar a magnitude do arrefecimento resultante do plantio de vegetação na

área urbana, um estudo foi realizado na cidade de Nagoya, no Japão, onde as temperaturas do ar durante o verão se aproximam dos 40°C. Foi observado que o impacto da evapotranspiração e sombreamento de plantas podem reduzir significativamente a quantidade de calor que será retransmitida por fachadas e outras superfícies. O sombreamento e potencial de arrefecimento de um parque de estacionamento verde apresentaram uma redução da temperatura de 2 a 4°C devido a cobertura de áreas com árvores (Onishi et al., 2010).

No clima mediterrâneo da Grécia, foi realizado um comparativo entre fachadas, com e sem vegetação, com foco nas variações de temperatura encontradas e características térmicas dinâmicas de superfícies de parede para ambos os casos sob investigação. A contribuição da parede coberta de plantas é importante para melhoria do comportamento térmico da envolvente (Eumorfopoulou, Kontoleon, 2009). Outra vantagem de ter superfícies verdes (telhados ou coberturas) é o efeito que elas têm sobre as necessidades de energia para o conforto dos ambientes internos (Zinzi, Agnoli, 2012). Em Taiwan, foi realizado um experimento comparativo entre um gramado plantado e uma laje exposta. Os resultados confirmaram que o gramado na cobertura contribui para benefícios no ambiente circundante ao ar livre e na diminuição da demanda de energia interna (Liang, Huang, 2011). Outro comparativo (Scherba et al., 2011) entre um telhado preto e outro recoberto por vegetação indicam uma redução de 50% no fluxo sensível do telhado verde, no clima temperado de Portland. Foi verificado de que forma o albedo dos materiais pode conduzir a menores temperaturas de superfícies expostas a radiação solar, e levar a temperaturas mais baixas em ambientes interiores (Pisello et al., 2013).

Os efeitos da vegetação e do alto albedo dos materiais foram investigados no clima mediterrâneo de Roma, tendo sido concluído que a vegetação apresenta um benefício significativo para o meio ambiente e materiais de alto albedo podem aliviar a carga térmica dos edifícios com maior estresse térmico, nos meses de verão (Salata et al., 2015). Foi analisado experimentalmente, em Singapura, oito sistemas diversificados de fachadas verdes que foram medidos em diferentes distâncias na envolvente. Os resultados da investigação confirmam uma redução de temperatura ambiente de até 3,33°C a 0,15m de distância da envolvente (Wong et al., 2010).

Pesquisa sobre a presença de vegetação e áreas verdes nos centros urbanos e seu potencial na redução dos efeitos de ilha de calor urbana (Bezerra

et al., 2013; Santos, 2013) também foi desenvolvida no Brasil, com resultados que confirmam a amenização climática e melhoria das condições de conforto térmico local. A fim de investigar a amenidade termal desempenhada pela vegetação, uma reserva florestal urbana (Mata de Dois Irmãos, Recife) foi analisada juntamente com áreas urbanizadas em seu entorno. Os resultados obtidos representam uma variação de 5°C de diferença na temperatura entre a área verde e a área urbanizada, e relativamente a umidade a diferença atingiu 20%. Ressalta-se assim a importância da vegetação no microclima urbano, e a necessidade de áreas verdes nos centros urbanos, para a amenização climática e aumento da melhoria do conforto térmico nas cidades. (Arruda, 2011).

Uma série de simulações e estudos matemáticos também foram realizados com o objetivo de avaliar o desempenho das fachadas verdes. A importância da utilização de fachadas verdes é destacada para redução de efeitos de “ilha de calor” em microclima (Alexandri, Jones, 2008), onde em climas quentes e secos foi possível alcançar benefícios substanciais na diminuição de temperaturas urbanas. O resultado atingiu uma diminuição de temperatura de 8,4°C em um canyon urbano. Diferentes materiais com variações de refletância foram modelados em larga escala na Grécia, onde o aumento do albedo poderia representar uma diminuição 2°C na temperatura do ar ambiente (Synnefa et al., 2008). Nos Estados Unidos da América (EUA), a avaliação de telhados verdes e o comportamento sazonal dos fluxos de calor foi modelado para o clima continental úmido. Foi verificado que a adoção generalizada de telhados vegetativos e áreas recobertas por vegetação podem reduzir a temperatura no meio ambiente urbano entre 2 e 3°C, devido ao aumento do albedo e evapotranspiração (Susca et al., 2011).

Material e métodos

Caracterização da área de estudo

A localização geográfica (Figura 1A) da Comunidade Autônoma de Madrid (Latitude 40°26' N - Longitude 3°41' W) situada na zona central da Península Ibérica (altura média acima do nível do mar é de 667 m) apresenta uma variedade de condições climatológicas definidas como clima mediterrâneo continental. Observam-se temperaturas médias anuais com variações de 2°C a 14°C e temperaturas absolutas, que ao longo do ano podem atingir mínima de 8°C e máxima de 44°C (Comunidad de Madrid, 2016). Estas temperaturas levadas no verão, sem efeitos de brisa marítima que se verificam nas outras grandes cidades da Península Ibérica como Lisboa,

Barcelona, Porto, Valência entre outras cidades, bem como o reconhecimento pela Prefeitura de Madrid da relevância do tema como importante componente para o desenvolvimento urbano sustentável e aplicação de medidas e programas de incentivo que envolvem ações efetivas do poder público, determinou a seleção do estudo de caso em Retiro, Madrid. Na execução de projetos em Madrid foi constatado que telhados e jardins

verticais reduzem em 14% o consumo energético dos edifícios no verão e de acordo com um relatório de diagnóstico da prefeitura (El País, 2016), foi documentada uma queda de até 4,5°C de temperatura em áreas verdes. Atualmente, há um plano da Prefeitura de Madrid para “renaturalizar a cidade”, que prevê recobrir telhados e fachadas com vegetação, e promover a manutenção dos mesmos.

1A.

1B.

Figura 1A. Mapa de Espanha (IBGE). Figura 1B. Localização geográfica do estudo de caso, em Madrid (Google Earth, 2015).

O objeto de estudo (jardim vertical) foi escolhido devido a possibilidade em se mensurar as variáveis climáticas que interferem diretamente o comportamento térmico urbano na presença de vegetação e da possibilidade em realizar tais medições em diferentes distâncias da fachada.

Nesse microclima urbano (Comunidade de Madrid, 2016), encontra-se um jardim vertical desenvolvido pelo paisagista francês Patrick de Blank (ao longo do trabalho intitulada de Fachada

1), com altura de 24 m e comprimento 19 m (Figura 2A) e uma fachada convencional que devido a proximidade, pode-se considerar como submetida às mesmas condições ambientais (ao longo do trabalho intitulada de Fachada 2). Esta seleção de fachadas observa as condições ideais estipuladas de que a fachada convencional esteja a uma distância inferior a 50 m e máxima de 100m do objeto de estudo (Shashua-Bar, Hoffman, 2004).

2A.

2B.

Figura 2A. Vista frontal Fachada 1 (jardim vertical) (Registro próprio, 2015). Figura 2B. Detalhamento do tipo de vegetação aplicado na Fachada 1 (Registro próprio, 2015)

Monitoramento da área de coleta

Como exemplo de trabalhos relacionados à essa área de estudo e embasamento para orientação da metodologia de medições adotada, pode-se citar: os estudos que analisam com sucesso o desempenho térmico dos espaços urbanos na presença de vegetação e sua correlação com um ponto de referência, sem presença de vegetação (Chatzidimitriou, Yannas, 2004); medições em campo foram realizadas em média durante 3 dias e preferencialmente em dias claros, e com medições pontuais a cada 3h ou 4h (Onishi, 2010).

Nesse contexto, a investigação experimental levou em consideração estratégias adotadas em estudos anteriores, onde previu a primeira campanha de medições com objetivo de analisar o comportamento térmico urbano no período do verão, quando são observadas temperaturas médias mais elevadas (Eumorfopoulou, Kontoleon, 2009). E para efeito de análise comparativa de comportamentos térmicos desiguais, o segundo período de medições

ocorreu no período do outono (Feng, Hewage, 2014).

Para a sistematização das medições *in situ* dos parâmetros climáticos de temperatura, umidade e velocidade do vento, optou-se em executar as medições em três períodos do dia que apresentam amplitudes térmicas diferentes e abrangem desde as temperaturas mais baixas do dia até os picos de temperaturas mais altas. Para a primeira campanha, nos dias 23, 24 e 25 de setembro de 2015 as medições ocorreram nos períodos matutino (entre 10h e 11h), diurno (entre 13h e 14 h) e vespertino (entre 15h e 18h). Para a segunda campanha, dias 16, 17 e 19 de novembro de 2015, em virtude do período outonal, as medições ocorreram em média com uma hora de antecedência quando comparadas as respectivas medições na primeira campanha. Foram selecionados para as medições 8 pontos distintos (figura 3), sendo 4 para cada uma das fachadas (Fachadas 1 e 2), estando eles a 0,5 m (Ponto 1), 1,5 m (Ponto 2), 3 m (Ponto 3) e 5 m (Ponto 4) da respectiva fachada.

Figura 3. Localização dos pontos de monitoramento (Elaboração própria, imagem obtida google earth, 2015).

Equipamentos

As medições de temperatura foram efetuadas com o uso do termômetro digital Fluke 52II com dois canais e T-tipo termopares conectados. O equipamento apresenta faixa de -20 a $+120^{\circ}\text{C}$ com sondas, incluindo precisão de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ e com resolução de $0,1^{\circ}\text{C}$. Para registros de medições de velocidade do vento, foi utilizado um equipamento digital da marca Testo, um anemômetro de modelo 350XL-testo 454 com sonda de fio quente, faixa de $0,1$ a 20 m/s, resolução de $0,1$ m/s, limite de $0,1$ m/s e precisão $\pm 0,2$ m/s. Para os registros de umidade relativa, o equipamento utilizado foi o medidor digital da marca Lazer de modelo GP3181B, faixa de 10 - 90% RH, resolução de 1% RH e precisão $\pm 5\%$ RH. Foram adotados cuidados quanto ao uso e manuseio dos equipamentos durante a coleta de dados, a fim de não comprometer a aferição dos registros. Os dados registrados nos equipamentos portáteis foram anotados manualmente, e foi adotado um tempo de estabilização do equipamento de 30 s. As medições de temperatura e umidade foram realizadas a uma altura de $1,5$ metros e a medição de velocidade do vento a $1,7$ metros de altura, objetivando o registro das medições dos dados na altura dos usuários urbanos, protegidos da insolação direta.

Validação dos dados

Duas estações meteorológicas foram selecionadas nas imediações do estudo de caso, a

fim de obter valores registrados reais de temperatura do ar, umidade relativa, velocidade e direção dos ventos durante as duas etapas e respectivos períodos de medições. Os valores das variáveis climáticas registrados pelas estações meteorológicas selecionadas foram utilizados posteriormente para validar os dados coletados. A estação Chamberi está localizada a aproximadamente $2,9$ Km de distância do objeto de estudo. Sendo possível buscar nessa estação, dados referentes a velocidade e direção predominante dos ventos, que não puderam ser coletados na estação Alameda. Na estação Alameda (localizada a 70 metros de distância do objeto de estudo) foram coletados dados referentes a temperatura do ar e umidade. A figura 4 apresenta geograficamente a localização das estações Chamberi e Alameda em relação ao estudo de caso.

Figura 4. Localização espacial das estações meteorológicas Chamberi (A) e Alameda (B) em Madrid (Elaboração própria, imagem obtida Google Earth, 2015).

Resultados

Os dados coletados das variáveis climáticas são mostrados em tabelas, onde são indicadas a Fachada 1 (fachada verde), devido a presença de vegetação e a Fachada 2 (fachada convencional), com ausência de vegetação, inseridas no mesmo microclima no centro de Madrid, em Espanha. As tabelas de apresentação

dos dados estão agrupadas de acordo com três diferentes períodos do dia, em que foram realizados o monitoramento: matutino, diurno e vespertino. Os dados de temperatura são apresentados em °C, velocidade dos ventos em m/s e umidade do ar em %. Os dados de direção dos ventos inseridos nas tabelas foram adotados a partir dos dados disponibilizados pela estação meteorológica Chamberi.

Primeira campanha de medições

São apresentados os dados coletados *in situ* entre os dias 23 e 25 de setembro de 2015, dos respectivos pontos e horários medidos. Observa-se na tabela 1 que o comportamento térmico no microclima urbano medido no período matutino, onde se apresentam as menores temperaturas em relação aos períodos diurno e vespertino, também apontam para as menores variações térmicas atingidas entre os pontos 1 e 4. Com exceção das medições realizadas no dia 23 de setembro nota-se ainda que, algumas medições das variáveis climáticas mostram-se inversas em alguns casos ao comportamento térmico esperado na Fachada 1, onde existe uma regressão de temperatura entre os pontos 1 e 4, sendo o ponto 1 o mais próximo da Fachada 1, que apresentou maior temperatura em relação aos pontos subsequentes. Referente aos dados de direção predominante dos ventos nota-se que no período matutino foram predominantes as direções Leste, Nordeste e Nor-Nordeste. E a umidade mínima de 31% e máxima de 42%.

Tabela 1. Valores climatológicos medidos *in situ*, em primeira campanha no período matutino Fachadas 1 e 2

		FACHADA 1						FACHADA 2					
Ponto	Hora	T1 °C	T2 °C	T3 °C	Vento m/s	HR %	Dir.Vento	T1 °C	T2 °C	T3 °C	Vento m/s	HR %	Hora
23.setembro	P1 10h18	18,9		20,3	1,1	37	E	18,7		20,1	0,45	36	10h40
	P2 10h23	20,5		20,8	1,1	36	NNE	19,1		18,6	0,9	36	10h45
	P3 10h28	20,2		20,8	1,64	36	NE	20,5		18,9	1,67	37	10h50
	P4 10h33	21,2		19,8	1,32	36	NE	20,1		19,6	0,93	38	10h55
24.setembro	P1 9h57	21,2	20,7	22,7	0,36	41	E	19,3	19,7	19,5	1,11	41	10h15
	P2 10h00	19,4	19,2	20,3	0,53	42	E	18,2	18,9	19,9	0,1	42	10h19
	P3 10h05	19,6	19,1	19,2	0,63	42	ENE	21,2	21,3	22,8	0,65	41	10h24
	P4 10h12	20,6	20,1	20,9	0,33	41	E	22,6	21,4	22,9	0,93	39	10h28
25.setembro	P1 9h57	22,6	22,3	24,7	0,53	31	NNE	20,8	20,4	22,2	0,94	29	10h16
	P2 9h59	21,9	20,8	23,6	0,06	33	NNE	21,4	20,6	23,7	0,15	28	10h21
	P3 10h04	21,8	20,2	23,5	0,08	31	NE	22,7	22,6	24,9	0,4	28	10h25
	P4 10h09	21,8	20,3	22,7	0,53	31	NNE	21,5	22,5	25,5	0,53	26	10h30

Legenda:

T1 Termômetro = termopar 1

T2 Termômetro = termopar 2

T3 Temperatura medida anemômetro

Observa-se na tabela 2 que o comportamento térmico no microclima urbano medido no período diurno, onde se apresentam temperaturas intermediárias em relação aos períodos matutino e vespertino, também apontam para variações térmicas maiores entre os pontos 1 e

4, atingindo no dia 25 setembro uma redução de 2,7°C. A umidade sofreu uma queda em relação ao período matutino e teve oscilações entre 21% e 39%. E a direção predominante dos ventos no período diurno foi Nor-Nordeste.

Tabela 2. Valores climatológicos medidos *in situ*, em primeira campanha no período diurno Fachadas 1 e 2

			FACHADA 1						FACHADA 2						
Ponto	Hora		T1°C	T2 °C	T3 °C	Vento m/s	HR %	Dir.Vento	T1°C	T2 °C	T3 °C	Vento m/s	HR %	Hora	
23.setembro	P1	13h00	23,5		23,5	0,55	36	NNE	23,5		22,5	1,23	33	13h10	
	P2	13h02	23,3		22,6	2,55	35	NNE	23,5		22,5	0,5	31	13h12	
	P3	13h05	23,6		22,6	0,53	35	NNE	22,1		21,6	0,67	32	13h17	
	P4	13h08	25,1		23,8	1,16	34	E	22,5		22,1	1,13	33	13h23	
24.setembro	P1	12h47	24,2	23,8	24,2	0,05	39	WSW	23,2	22,3	24,1	0,36	36	13h01	
	P2	12h50	25,3	24,3	24,2	0,43	38	WSW	22,3	21,1	23,5	0,44	35	13h05	
	P3	12h54	23,9	23,1	24,4	0,42	37	ENE	22,8	21,9	22,4	0,77	35	13h09	
	P4	12h58	22,5	22,1	24,5	0,94	37	ENE	23,1	22,1	22,8	0,95	35	13h14	
25.setembro	P1	12h45	27,1	27,3	26,7	0,52	25	ESE	26,9	26,2	27,7	0,67	21	13h02	
	P2	12h49	29,3	30,2	28,5	0,58	28	NNE	27,4	27,7	28,1	0,13	26	13h07	
	P3	12h56	28,7	27,7	29,5	0,17	23	NE	27,2	27,5	27,5	0,78	25	13h11	
	P4	12h57	29,8	29,3	29,2	1,23	21	NNE	28,1	28,2	30,4	0,42	24	13h15	

Legenda:

- T1 Termômetro = termopar 1
 T2 Termômetro = termopar 2
 T3 Temperatura medida anemômetro

Os melhores comportamentos térmicos de redução de temperatura atingidos ocorreram na coleta de dados realizada no período vespertino, onde encontra-se uma redução térmica de 2,7°C no período vespertino do dia 24 de setembro e o comportamento mantém-se no mesmo período do

dia 25 de setembro, de acordo com a tabela 3. Nota-se ainda que a direção dos ventos foi mais dispersa relativamente aos períodos matutino e diurno, com direções Leste, Norte, Oeste e Nordeste. A umidade apresentou seu menor gradiente variando entre 20% e 34%, sendo o período mais seco do dia.

Tabela 3. Valores climatológicos medidos *in situ*, primeira campanha no período vespertino Fachadas 1 e 2

			FACHADA 1						FACHADA 2						
Ponto	Hora	T1°C	T2 °C	T3 °C	Vento m/s	HR %	Dir.Vento	T1°C	T2 °C	T3 °C	Vento m/s	HR %	Hora		
23.setembro	P1	10h18	18,9	20,3	1,1	37	E	18,7		20,1	0,45	36	10h40		
	P2	10h23	20,5	20,8	1,1	36	NNE	19,1		18,6	0,9	36	10h45		
	P3	10h28	20,2	20,8	1,64	36	NE	20,5		18,9	1,67	37	10h50		
	P4	10h33	21,2	19,8	1,32	36	NE	20,1		19,6	0,93	38	10h55		
24.setembro	P1	9h57	21,2	20,7	22,7	0,36	41	E	19,3	19,7	19,5	1,11	41	10h15	
	P2	10h00	19,4	19,2	20,3	0,53	42	E	18,2	18,9	19,9	0,1	42	10h19	
	P3	10h05	19,6	19,1	19,2	0,63	42	ENE	21,2	21,3	22,8	0,65	41	10h24	
	P4	10h12	20,6	20,1	20,9	0,33	41	E	22,6	21,4	22,9	0,93	39	10h28	
25.setembro	P1	9h57	22,6	22,3	24,7	0,53	31	NNE	20,8	20,4	22,2	0,94	29	10h16	
	P2	9h59	21,9	20,8	23,6	0,06	33	NNE	21,4	20,6	23,7	0,15	28	10h21	
	P3	10h04	21,8	20,2	23,5	0,08	31	NE	22,7	22,6	24,9	0,4	28	10h25	
	P4	10h09	21,8	20,3	22,7	0,53	31	NNE	21,5	22,5	25,5	0,53	26	10h30	

Legenda:

- T1 Termômetro = termopar 1
 T2 Termômetro = termopar 2
 T3 Temperatura medida anemômetro

Segunda campanha de medições

Segue apresentação dos dados coletados in situ nos dias 16, 17 e 19 de novembro de 2015, dos respectivos pontos e horários medidos, onde devido a estação outonal e ajuste de horas as medições realizadas na segunda campanha decorreram em média 1 hora mais cedo do que as medições executadas na primeira campanha, sendo no período matutino entre 9h-10h, período diurno entre 12h-13h e período vespertino entre 14h-16h, das condições climáticas de temperatura, umidade,

velocidade e direção dos ventos. São apresentados na tabela 4 os dados coletados in situ das medições realizadas no período matutino, onde devido as baixas temperaturas matinais entre 9,1°C e 12,5°C não são observadas reduções térmicas representativas entre o ponto 1 e ponto 4 respectivamente, sendo de 1,5°C a maior redução de temperatura encontrada no dia 19 de novembro. A direção predominante dos ventos para esse período matutino foi Leste. E a umidade apresentou mínima de 51% e máxima de 62%.

Tabela 4. Valores climatológicos medidos *in situ*, em segunda campanha no período matutino Fachadas 1 e 2

			FACHADA 1						FACHADA 2					
Ponto	Hora		T1 °C	T2 °C	T3 °C	Vento m/s	HR %	Dir.Vento	T1 °C	T2 °C	T3 °C	Vento m/s	HR %	Hora
16.novembro	P1	9h11	10,5	9,6	14,1	0,34	54	E	10,7	11,1	13,6	0,35	60	9h29
	P2	9h17	10,6	10,1	13,7	0,33	55	E	9,6	10,1	13,9	0,03	59	9h31
	P3	9h21	9,9	9,6	13,2	0,71	57	NNE	10,1	10,3	13,3	0,04	56	9h34
	P4	9h25	10,2	10,8	13,4	0,03	61	NNE	10,1	10,1	12,8	0,35	62	9h36
17.novembro	P1	9h05	9,6	8,5	12,1	0,55	54	ENE	9,1	9,1	11,5	0,15	55	9h24
	P2	9h11	9,2	8,8	12,2	0,04	55	E	9,7	9,3	11,9	0,06	56	9h28
	P3	9h15	9,1	9,1	11,6	0,34	55	ENE	9,5	9,6	12,1	0,02	56	9h32
	P4	9h20	9,3	9,6	11,2	0,24	55	E	9,6	9,4	11,8	0,03	56	9h36
19.novembro	P1	9h00	11,1	10,6	15,3	0,21	51	E	11,7	10,9	15,7	0,52	55	9h16
	P2	9h04	11,5	10,5	16,4	0,09	53	E	11,5	11,3	15,8	0,31	55	9h20
	P3	9h08	11,6	11,3	16,4	0,03	54	E	12,1	12,5	15,9	0,48	55	9h24
	P4	9h12	12,5	11,5	16,8	0,04	58	E	11,4	11,9	16,6	0,04	55	9h28

Legenda:

T1 Termômetro = termopar 1

T2 Termômetro = termopar 2

T3 Temperatura medida anemômetro

No período diurno subsequente (tabela 5) nota-se que a direção predominante dos ventos foi maioritariamente Oeste, e em função da umidade do ar houve uma queda leve ao período matutino, ocorrendo uma oscilação entre 46% e 55%.

Observa-se que o comportamento térmico encontrado no microclima urbano medido no

período diurno (tabela 5) e no período vespertino (tabela 6), embora apresentem temperaturas superiores ao período matutino, não foram observadas reduções térmicas significativas entre os pontos 1 e ponto 4.

Tabela 5. Valores climatológicos medidos *in situ*, em segunda campanha no período diurno Fachadas 1 e 2

			FACHADA 1						FACHADA 2					
Ponto	Hora		T1°C	T2 °C	T3 °C	Vento m/s	HR %	Dir.Vento	T1°C	T2 °C	T3 °C	Vento m/s	HR %	Hora
16.novembro	P1	11h50	15,3	14,4	17,4	0,95	55	SE	13,1	13,4	15,1	0,62	54	11h58
	P2	11h52	15,1	15,8	16,4	0,67	55	S	13,2	13,6	15,5	0,03	54	11h59
	P3	11h54	14,4	14,8	16,5	0,04	55	S	13,5	13,7	16,1	0,04	55	12h01
	P4	11h56	14,3	14,9	16,3	0,23	54	SSE	13,4	13,6	15,1	0,86	55	12h03
17.novembro	P1	11h50	14,8	14,2	16,6	0,19	48	SSE	13,5	14	15,7	1,16	49	12h04
	P2	11h53	14,2	13,8	17,2	0,02	48	E	13,5	13,5	15,8	0,68	49	12h08
	P3	11h57	14,2	14,8	17,2	0,09	48	ESE	13,7	13,6	15,7	0,95	50	12h12
	P4	12h00	14,1	13,8	16,4	0,69	49	SE	14	13,8	16,6	0,08	51	12h16
19.novembro	P1	12h05	17,9	17,6	19,8	0,07	46	W	16,7	16,5	20,3	0,77	49	12h20
	P2	12h09	17,2	17,1	20,1	0,53	47	W	16,5	16,9	21,9	0,07	49	12h24
	P3	12h13	17,8	17,4	21,5	0,06	48	W	17,2	17,1	22,2	0,05	48	12h28
	P4	12h17	17,7	17,1	21,6	0,09	48	W	16,9	16,6	19,2	1,25	48	12h32

Legenda:

T1 Termômetro = termopar 1

T2 Termômetro = termopar 2

T3 Temperatura medida anemômetro

Tabela 6. Valores climatológicos medidos *in situ*, segunda campanha no período vespertino Fachadas 1 e 2

			FACHADA 1						FACHADA 2					
Ponto	Hora		T1°C	T2 °C	T3 °C	Vento m/s	HR %	Dir.Vento	T1°C	T2 °C	T3 °C	Vento m/s	HR %	Hora
16.novembro	P1	14h02	17,7	17,9	19,3	0,03	52	SW	16,8	16,4	19,4	0,18	50	14h15
	P2	14h05	18,5	18,2	19,9	0,06	52	S	17,1	16,9	19,2	0,52	51	14h18
	P3	14h08	17,3	16,1	20,1	0,03	52	S	16,2	16,6	19,9	0,09	51	14h21
	P4	14h11	18,1	18,8	19,9	0,33	51	W	16,3	16,6	19,4	0,23	52	14h24
17.novembro	P1	14h50	16,7	16,4	18,5	0,04	49	ESE	15,8	15,7	18,1	0,93	48	15h09
	P2	14h55	16,6	16,4	18,5	0,46	49	WSW	15,9	16,1	18,7	0,03	48	15h12
	P3	15h00	16,9	16,8	18,5	0,25	48	WSW	16,6	16,7	18,3	0,45	48	15h15
	P4	15h05	16,3	16,5	18,8	0,34	48	WSW	16,1	15,9	17,6	1,16	48	15h19
19.novembro	P1	14h55	19,9	19,3	21,1	0,43	48	SE	19,1	19,3	22,3	0,09	49	15h15
	P2	15h01	19,6	19,4	21,6	0,09	51	S	19,3	19	23,1	0,15	47	15h20
	P3	15h06	19,8	19,6	21,9	0,51	47	SSW	19,3	19,5	22,3	0,55	47	15h24
	P4	15h10	20,1	20,7	21,8	0,26	47	SSE	19,5	19,2	23,1	0,06	47	15h28

Legenda:

T1 Termômetro = termopar 1

T2 Termômetro = termopar 2

T3 Temperatura medida anemômetro

Nota-se ainda que a direção dos ventos foi mais dispersa nos períodos matutino e diurno, com direções predominantes Sul e Oés-Sudeste. Os dados de umidade apresentaram seu menor gradiente em função dos períodos matutino e diurno, com oscilação entre 47% e 52%.

Discussão dos Resultados

Diante dos dados apresentados das primeira e segunda campanhas de medições, pode-se ressaltar as diferenças encontradas entre as diferentes épocas do ano e períodos do dia. Na primeira campanha realizada no verão, observou-se

temperaturas mais elevadas e umidades mais baixas. Aponta-se desse modo, para um comportamento de redução da temperatura, entre os pontos 1 e 4. No microclima analisado, localizado nos pontos referente a Fachada 1, que se encontra recoberta por vegetação, foi mensurado uma redução de temperatura nas diferentes distâncias e pontos medidos de até 2,7°C, nos períodos diurno e vespertino. Os valores obtidos em campo e apresentados nas tabelas 1, 2 e 3, encontram-se em conformidade com os dados recolhidos pela estação Madrid-Alameda, entre os dias 23 e 25 de setembro, em que 93% dos dados

de temperatura medidos encontram-se num intervalo de confiança inferior a 5°C, face aos dados registrados na estação meteorológica.

Na segunda campanha realizada no período outonal, onde as temperaturas são inferiores e os dias expressivamente mais úmidos, nota-se que a variação térmica encontrada é inferior. As temperaturas medidas em diferentes distâncias não apresentam reduções significativas face a primeira campanha, não ultrapassando uma redução de temperatura de 1,5°C entre o ponto 1 e ponto 4 na Fachada 1. Os dados de umidade do ar coletados em campo apresentaram uma amplitude média de 3%, entre os diferentes pontos e distâncias medidas. Tal variação foi caracterizada como pouco representativa, ao que se refere a essa variável climática e aos gradientes de temperatura observados. Os dados de temperatura apresentados nas tabelas 4, 5 e 6, estão balizados pela temperatura de referência da estação Madrid-Alameda. Salienta-se que todos os dados de temperatura medidos na segunda campanha encontram-se em um intervalo de confiança entre 5 °C e máximo de 3,1 °C face aos dados registrados na estação meteorológica.

Referindo-se aos diferentes comportamentos térmicos observados nos três períodos de monitoramento matutino, diurno e vespertino, realizados durante seis dias, pode-se destacar que 67% das medições realizadas na Fachada 1 apresentaram um comportamento de regressão térmica ao confrontar as medições de temperatura entre o ponto 1 e ponto 4. Sendo o ponto 1, o mais próximo da vegetação (0,5m), e apresenta temperaturas mais baixas em relação aos pontos e medições subsequentes.

Conclusão

A presente investigação buscou analisar qual a influência de uma fachada verde na variação do comportamento térmico em um microclima urbano, submetido às condições externas da cidade de Madrid, em Espanha. Há de se ressaltar que o direcionamento para a investigação experimental decorreu da relevância deste tipo de fachada, com presença de vegetação, e focou em extrapolar os já comprovados benefícios estéticos, de conforto visual e lazer no espaço público e áreas urbanas dos grandes centros urbanos.

Foram encontrados valores e resultados que estão em consonância com estudos similares desenvolvidos em alguns países como Alemanha, Espanha, Grécia, Singapura entre outros. Logo, é justificável afirmar que as tendências de comportamento térmico na presença de vegetação,

em escala de microclima medidas no centro urbano de Madrid, a uma distância de 0,5m do ambiente urbano imediato, indicam os melhores resultados obtidos para a primeira campanha, com uma redução de temperatura plausível entre 2,5°C e 2,9°C em um dia de verão quente e seco. Na segunda campanha apresentam reduções de 1,5°C, para o período outonal. O período de monitoramento de 6 dias, contemplando duas estações do ano, permitiu compreender a influência de uma fachada verde na temperatura do ar, em escala de microclima, sendo possível concluir sobre os valores absolutos de tal influência.

Referências

- Alexandri, E., Jones, P., 2008. Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. *Building and Environment* [online] 43. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.10.055>. Acesso: 08 ago. 2016.
- Arruda, K. E. C., 2011. Estudo da Amenidade Térmica Proporcionada Pela Reserva Ecológica de Dois Irmãos, Recife-PE (Study of Thermal Amenity Provided by the Ecological Reserve of Dois Irmãos, Recife-PE). *Revista Brasileira de Geografia Física* [online] 3. Disponível: <http://www.revista.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/article/viewArticle/119>. Acesso: 10 abr. 2016.
- Bartfelder, F., Köhler, M., 1987. Experimentelle Untersuchungen zur Funktion von Fassadenbegrünungen. Tese (Dissertation). Berlin-Verlag, TU Berlin.
- Bezerra, M. I. L., dos Santos, J. S., Aguiar, Á. P., 2013. Ilhas de Calor: Importância da Vegetação na Amenização Climática em João Pessoa\ PB (Heat Islands: The Importance of Vegetation in Climate Softening in João Pessoa\ PB). *Revista Brasileira de Geografia Física* [online] 6. Disponível: <http://www.revista.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/article/view/775/486>. Acesso: 23 jul. 2016.
- Chatzidimitriou, A., Yannas, S., 2004. Microclimatic studies of urban open spaces in Northern Greece. Disponível: <https://www.researchgate.net/publication/254340558>. Acesso: 12 jun. 2015.
- Comunidad de Madrid, 2016. Diagnóstico Ambiental, 2014. Disponível: <http://www.madrid.org/cs>. Acesso: 22 mar. 2016.
- Cortês, J. G., Alves, F. B., Corvacho, H., Rhodes, M., 2009. The climatic skin of urban spaces. *International Journal for Housing Science and its Applications* [online] 33.

- Disponível: <http://www.housingscience.org/>. Acesso: 15 jan. 2015.
- EL PAÍS, 2016. El Ayuntamiento lanza un plan para "renaturalizar" la capital con un presupuesto millonario, que prevé ampliar los parques. Disponível: http://ccaa.elpais.com/ccaa/2016/01/23/madrid/1453573500_585056.html. Acesso: 13 fev. 2016.
- 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* [online] 44. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.07.004>. Acesso: 17 abr. 2016.
- Feng, H., Hewage, K., 2014. Energy saving performance of green vegetation on LEED certified buildings. *Energy and Buildings* [online] 75. Disponível: <http://dx.doi.org/10.116/j.enbuild.2013.10.039>. Acesso: 27 mar. 2016.
- Higueras, E., 2009. Desarrollo urbano sostenible y criterios de diseño urbano para Ordenaciones residenciales. Dissertação (Master). Madrid, Editorial DAPP.
- IBGE, 2015. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível: <http://www.ibge.gov.br/home/>. Acesso: 17 out. 2016.
- Liang, H. H., Huang, K. T., 2011. Study on rooftop outdoor thermal environment and slab insulation performance of grass planted roof. *Int J of the Phys Sci* [online] 6. Disponível: <http://www.academicjournals.org/journal/IJPS>. Acesso: 17 mai. 2015.
- Onishi, A., Cao, X., Ito, T., Shi, F., Imura, H., 2010. Evaluating the potential for urban heat-island mitigation by greening parking lots. *Urban forestry & Urban greening* [online] 9. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2010.06.002>. Acesso: 12 out. 2015.
- Pérez, G., Rincón, L., Vila, A., González, J. M., Cabeza, L. F., 2011. Green vertical systems for buildings as passive systems for energy savings. *Applied energy* [online] 88. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.06.032>. Acesso: 29 nov. 2015.
- Perini, K., Ottelé, M., Fraaij, A. L. A., Haas, E. M., Raiteri, R., 2011. Vertical greening systems and the effect on air flow and temperature on the building envelope. *Building and Environment* [online] 46. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.05.009>. Acesso: 05 mai. 2015.
- Pisello, A. L., Santamouris, M., Cotana, F., 2013. Active cool roof effect: Impact of cool roofs on cooling system efficiency. *Advances in building energy research* [online] 7. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1080/17512549.2013.865560>. Acesso: 10 abr. 2016.
- Salata, F., Golasi, I., de Lieto Vollaro, A., de Lieto Vollaro, R., 2015. How high albedo and traditional buildings' materials and vegetation affect the quality of urban microclimate a case study. *Energy and Buildings* [online] 99. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.04.010>. Acesso: 26 fev. 2016.
- Santos, J. S., dos Santos, G. D., 2013. Estudo Microclimático em Pontos Representativos da Malha Urbana da Cidade de João Pessoa/PB: Uma Avaliação do Campo Térmico. *Revista Brasileira de Geografia Física* [online] 6. Disponível: <http://www.revista.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/article/viewArticle/771>. Acesso: 12 jun. 2016.
- Scherba, A., Sailor, D. J., Rosenstiel, T. N., Wamser, C. C., 2011. Modeling impacts of roof reflectivity, integrated photovoltaic panels and green roof systems on sensible heat flux into the urban environment. *Building and Environment* [online] 46. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.06.012>. Acesso: 18 mai. 2016.
- Shashua-Bar, L., Hoffman, M. E., 2004. Quantitative evaluation of passive cooling of the UCL microclimate in hot regions in summer, case study: urban streets and courtyards with trees. *Building and Environment* [online] 39. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2003.11.007>. Acesso: 07 jul. 2015.
- Susca, T., Gaffin, S. R., Dell'Osso, G. R., 2011. Positive effects of vegetation: Urban heat island and green roofs. *Environmental Pollution* [online] 159. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2011.03.007>. Acesso: 03 fev. 2016.
- Synnefa, A., Dandou, A., Santamouris, M., Tombrou, M., Soula-kellis, N., 2008. On the use of cool materials as a heat island mitigation strategy. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* [online] 47. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1175/2008JAMC1830.1>. Acesso: 11 out. 2015.
- Wong, N. H., Tan, A. Y. K., Chen, Y., Sekar, K., Tan, P. Y., Chan, D., Wong, N. C., 2010. Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls. *Building and environment* [online] 45. Disponível:

- <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.08.005>. Acesso: 09 out. 2015.
- Zinzi, M., Agnoli, S., 2012. Cool and green roofs. An energy and comfort comparison between passive cooling and mitigation urban heat island techniques for residential buildings in the Mediterranean region. *Energy and Buildings* [online] 55. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.09.024>. Acesso: 19 mai. 2016.