

Bragança, Portugal - 8 e 9 de Outubro 2009

Qualidade do Ambiente Urbano: novos desafios



Livro de actas

O Papel da Vegetação Urbana no Controlo das Concentrações de PM₁₀

M. Feliciano^{1,2}, F. Maia¹, F. Rodrigues¹, A. Ribeiro^{1,2}, A. Gonçalves^{1,2}, L. Nunes^{1,2}

¹Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior Agrária, Campus de Santa Apolónia, Apartado 1172, 5301-855, Bragança, msabenca@ipb.pt

²Centro de Investigação de Montanha, Campus de Santa Apolónia, Apartado 1172, 5301-855, Bragança

Resumo: O aumento dos níveis de PM₁₀ em atmosferas urbanas constitui um grave problema de saúde pública. A utilização de vegetação pode ser uma forma sustentável de mitigar este problema. Neste contexto, foi desenvolvido um estudo, na cidade de Bragança, com vista a avaliar o papel da vegetação no controlo das concentrações de PM₁₀. Este estudo assentou em dois tipos de experiências. Uma que consistiu na medição de PM₁₀ em dois transectos com características contrastantes, em termos de coberto vegetal, traçados numa cintura verde urbana. O outro tipo de experiência consistiu na utilização de uma fonte de material particulado, seguindo-se a medição dos níveis de PM₁₀ ao longo de um transecto linear que cortava perpendicularmente uma sebe. Os resultados mostram que a vegetação tende a criar atmosferas ligeiramente mais limpas em PM₁₀ e revelam igualmente que uma sebe de pyracantha actua eficazmente na filtração de partículas.

1. Introdução

O aumento da matéria particulada em suspensão em atmosferas urbanas tem vindo a ser um dos problemas mais difíceis de mitigar, uma vez que não se podem simplesmente erradicar por completo as fontes de poluição. A crescente utilização dos transportes rodoviários, a expansão da indústria de construção civil e o aquecimento doméstico são alguns dos factores que mais contribuem para agudizar este problema (Dochery e Pope, 1994; Chan *et al.*, 2001; Fuller e Green, 2004).

Estudos epidemiológicos, desenvolvidos recentemente, mostram que a fracção de partículas PM₁₀ (partículas com diâmetro aerodinâmico equivalente $\leq 10 \mu\text{m}$) aumenta o risco de morte respiratória em crianças com uma idade inferior a um ano, agrava problemas de asma, aumenta o risco de bronquites e cancro pulmonar (Schwartz *et al.*, 1996).

A solução para este problema passa, cada vez mais, pela concepção e implementação de novos modelos de organização do espaço urbano, nos quais os espaços verdes devem surgir como elementos fundamentais do novo paradigma de sustentabilidade urbana. A capacidade de os espaços mitigarem as consequências da poluição do ar tem sido amplamente discutida na literatura científica (Gromke e Rucka, 2007; Nowak *et al.*, 2006). De facto, a vegetação urbana afecta a dispersão dos poluentes atmosféricos em resultado da influência que exerce na radiação solar, na temperatura e nas características do vento (Givoni *et al.* 2003). A vegetação também influencia a deposição seca, potenciando a remoção de poluentes gasosos e particulados quer através dos estomas, quer através das superfícies cuticulares. A remoção de partículas, através da sua intercepção pela vegetação,

é outro processo relevante, porém este pode ser seguido do fenómeno de re-suspensão (Sashua-Bar e Hoffman, 2004).

Neste contexto, no âmbito do projecto GreenUrbe (PPCDT/AMB/59174/2004), tem vindo a ser desenvolvido um estudo em dois espaços verdes da cidade de Bragança, com vista a avaliar a influência da vegetação no controlo dos níveis atmosféricos de PM₁₀. Este estudo teve uma primeira fase em 2007, após um interregno foi retomado em 2009 com algumas alterações. No presente artigo apenas se reportam os resultados referentes a esta segunda fase.

2. Metodologia

O estudo desenvolvido envolveu a realização de dois tipos de experiências. A que foi primeiramente implementada consistiu na medição de partículas PM₁₀ numa cintura verde urbana, sita na Alameda de Santa Apolónia. As medições foram efectuadas em seis pontos, distribuídos por dois transectos distintos, em termos de cobertura vegetal (ver figura 1a). O transecto 1 foi traçado numa zona onde existe vegetação arbórea, arbustiva e rasteira, destacando-se o alinhamento no passeio de *Platanus orientalis*, de 17 m de altura, com um diâmetro de copa de 8-9 m, uma sebe de *Pyrachanta coccinea* de 1.5-2 m de altura, que contorna um dos lados da faixa de rodagem e, ainda, uma área de viveiro florestal constituída por manchas de castanheiro (*Aesculus hippocastanum*) de 7-8 m de altura e nogueiras de 10 m de altura. O transecto 2 foi traçado numa zona relativamente próxima do anterior, porém ao longo de uma linha onde a vegetação é menos abundante ou quase inexistente.

As medições decorreram entre Abril e finais de Julho, perfazendo um total de dez repetições. Ao longo deste período, a vegetação evoluiu de um LAI de 0 até um LAI máximo de cerca de 6 (figura 1.b).

Os diferentes ensaios foram realizados sensivelmente entre as 12 e as 17 horas, de modo a englobar um período do dia caracterizado por condições atmosféricas relativamente uniformes, reduzindo desta forma o efeito das condições meteorológicas na variabilidade das concentrações de PM₁₀. Durante a realização dos ensaios procedeu-se também à contagem de veículos, por categoria (ligeiros, pesados e motociclos) e por tipo de combustível consumido (gasolina e gasóleo).

O segundo tipo de experiência levada a cabo decorreu na área verde das piscinas municipais de Bragança (figura 1c). Neste caso, recorreu-se a uma fonte improvisada de PM₁₀ (máquina agrícola) e mediram-se as concentrações deste poluente em várias posições, distribuídas ao longo de transectos lineares, intersectados perpendicularmente por uma sebe disposta segundo o eixo NE/SO (ver figura 1d). A sebe em causa é de *Pyracantha coccinea* com uma extensão de cerca de 435 metros e que delimita o recinto das piscinas municipais. A altura média situa-se nos 1.80 – 2.00 metros e a espessura média é de 140 centímetros. O “grau de abertura” estimou-se em 10 a 15%. Acresce também dizer que a selecção da fonte foi precedida de um ensaio de avaliação da sua intensidade, medindo-se a concentração de PM₁₀, a 0,5 metros de distância, no seio da pluma emitida. O funcionamento relativamente estável e a obtenção de concentrações de aproximadamente 3000 µg m⁻³ de PM₁₀ foram factores decisivos para a sua utilização.

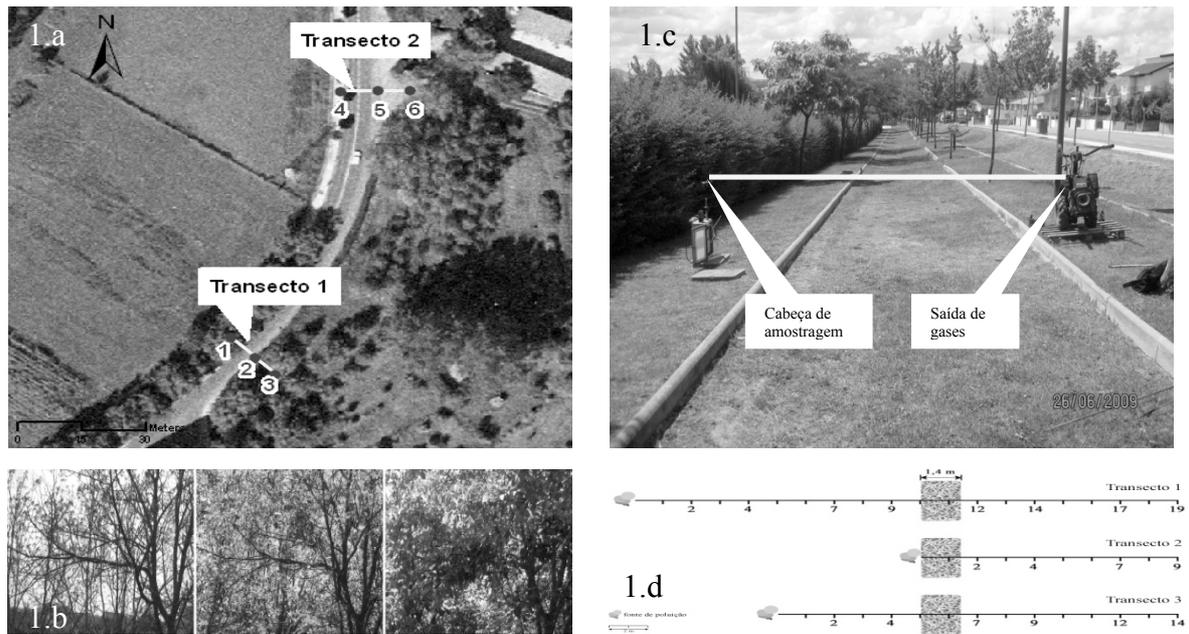


Figura 1: representação esquemática dos ensaios realizados: 1.a) Área de estudo da Alameda Santa Apolónia; 1.b) Fotografias ilustrativas da evolução do LAI da área de estudo da Alameda de Santa Apolónia; 2.a) Área verde das piscinas municipais; 2.b) Esquema ilustrativo das medições realizadas nas piscinas municipais.

Em ambos os ensaios, as concentrações de PM₁₀ são medidas com recurso a um monitor de partículas ADR 1200S (ThermoElectron). O Monitor ADR-1200S mede as concentrações de PM₁₀ em tempo real, por meio de um princípio de operação assente na dispersão de radiação laser, tendo sido programado para amostrar a 2 L min⁻¹ e fornecer informação de minuto a minuto. O período de medição foi de 15 minutos, nos ensaios conduzidos na Alameda de Santa Apolónia, e de 5 minutos, nos ensaios realizados nas piscinas municipais. Importa referir que um estudo de inter-comparação revelou uma excelente resposta deste aparelho face à obtida por um amostrador de referência de partículas Tecora ECHO PM, de médio caudal, equipado com cabeça PM₁₀ LVS (Fernandes, 2007).

Alguns parâmetros meteorológicos relevantes como a velocidade e a direcção do vento, a humidade relativa, a radiação solar e a temperatura do ar foram também registados a cerca de 2 metros de altura, por meio de uma estação meteorológica móvel.

3. Resultados Preliminares

Os principais resultados obtidos nos ensaios conduzidos na Alameda de Santa Apolónia apresentam-se a seguir na figura 2 e na tabela 1. Atentando na figura 2, podemos constatar que nos três primeiros ensaios não é perceptível uma variação significativa dos níveis de PM₁₀ entre os dois transectos. Essa variação pouco proeminente pode ser explicada pelos valores próximos de zero de LAI que prevaleciam nesse período, criando condições semelhantes entre os dois transectos em termos de biomassa foliar.

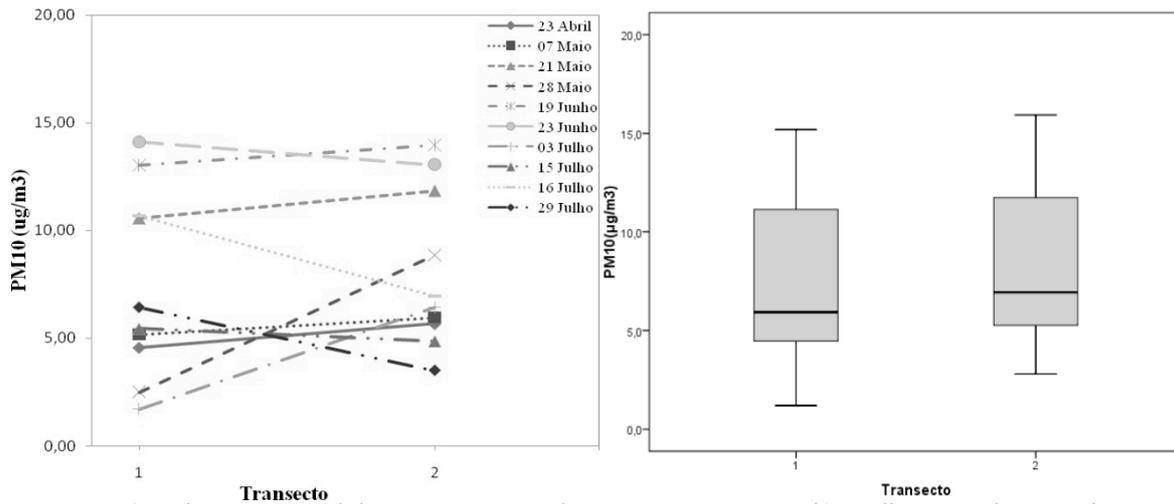


Figura 2: a) variação temporal das concentrações de PM10 por transecto; b) mediana, máximo, mínimo, 1º e 3º quartile das concentrações de PM10 por transecto.

Nos ensaios que se seguiram podemos visualizar o aumento generalizado das concentrações de PM10 e, além disso, a tendência para a existência de um gradiente positivo, à medida que nos deslocamos do transecto 1 para o transecto 2. Em alguns ensaios foram encontradas diferenças consideráveis, superiores a um factor de 2. Esta variação parece, de certa forma, estar correlacionada com o aumento significativo da biomassa foliar nos transecto 1 ao longo do tempo, como reportado anteriormente. Em conformidade com alguns autores (Freiman *et al.*, 2006; Bruse, 2007), este feito resulta da capacidade da vegetação filtrar partículas finas e ultrafinas por meio do fenómeno de deposição seca.

Tabela 1: Valores médios das variáveis meteorológicas, volume de tráfego rodoviário e níveis de PM10.

Ensaio	Ta [°C]	RH [%]	V (ms-1)	WD [°]	St (Wm-2)	Veículos	Transecto 1		Transecto 2	
							PM10 [µgm-3]	Veículos	PM10 [µgm-3]	Veículos
1 Média	24,30	16,12	2,32	195	648,11	141,56	4,56	195	5,67	118
Desvio Padrão	0,57	1,41	0,46	27,00	85,30	49,96	0,15	57	1,79	17
2 Média	25,22	19,75	2,62	246	761,09	151,89	5,18	179	5,96	114
Desvio Padrão	0,28	0,96	0,31	27,26	205,41	41,18	0,83	9	0,62	28
3 Média	27,71	25,77	1,57	220	850,64	141,11	10,58	191	11,84	103
Desvio Padrão	0,40	1,25	0,24	56,05	79,40	56,88	2,14	69	0,77	9
4 Média	26,32	23,43	1,65	128	903,19	146,00	2,49	160	8,84	96
Desvio Padrão	1,04	0,70	0,32	46,86	69,69	45,58	0,65	26	1,01	10
5 Média	32,84	25,56	2,22	266	715,89	134,33	13,02	135	13,98	104
Desvio Padrão	0,59	2,71	0,37	24,60	59,32	34,92	1,10	27	2,04	11
6 Média	27,67	33,90	1,66	259	777,83	134,56	14,11	143	13,04	107
Desvio Padrão	0,64	4,71	0,48	52,82	132,70	36,18	1,72	33	0,91	5
7 Média	26,16	40,14	2,25	258	907,77	126,00	1,71	154	6,42	98
Desvio Padrão	0,71	1,95	0,18	31,29	44,95	39,93	0,45	55	2,18	5
8 Média	25,76	32,16	1,67	256	816,90	129,00	5,44	160	4,84	111
Desvio Padrão	0,79	1,05	0,23	46,00	111,86	28,60	0,50	26	1,26	17
9 Média	26,36	34,60	2,42	254	888,59	133,00	10,67	135	6,93	109
Desvio Padrão	0,54	1,97	0,60	25,68	39,84	36,52	0,50	17	1,05	9
10 Média	24,77	35,21	2,49	267	896,97	108,89	6,43	106	3,50	104
Desvio Padrão	1,02	5,79	0,26	26,54	40,44	21,19	0,92	30	0,94	9

Esta explicação perde, no entanto, consistência quando analisamos os resultados dos dois últimos ensaios, os quais revelam uma tendência oposta à anterior. Encontrar um factor plausível para explicar esta inversão não é de todo linear, porém o ligeiro aumento da velocidade do vento nestes dois últimos ensaios, sugere eventualmente a existência de alguma re-suspensão de partículas depositadas na superfície cuticular das árvores e dos arbustos presentes no transecto 1. Além disso, o aumento da densidade das copas da vegetação pode agir como obstáculo de progressão do vento, dificultando a dispersão das

partículas em suspensão no ar (Bowker *et al.*, 2007). Não obstante este fenómeno ser demasiado complexo, a figura 2b mostra que, globalmente, a exposição a partículas PM10 foi maior no transecto traçado na zona não vegetada do que na zona vegetada, ainda que as diferenças não sejam muito significativas. Através da análise da tabela 1, podemos ainda constatar que, durante a realização dos ensaios, as condições de tráfego rodoviário não se mantiveram estacionárias, tendo-se registado sistematicamente intensidades de tráfego superiores nos períodos em que se efectuaram as medições no transecto 1. Este facto sugere que as emissões rodoviárias não exerceram influência significativa nas concentrações de PM10, podendo também indiciar que se poderia ter obtido níveis de PM10 mais baixos no transecto 1, no caso de as medições serem feitas em condições de tráfego idênticas às registadas aquando das medições no transecto 2.

No que concerne aos ensaios conduzidos na sebe das piscinas municipais de Bragança, os principais resultados apresentam-se tabela 2 e na figura 3.

Tabela 2: Concentrações médias de PM10, velocidade e direcção do vento.

Transecto	Distância à fonte (m)	PM10 ($\mu\text{g m}^{-3}$)		V (m s^{-1})	D.V. (°)
		Média	STD		
1	2	79,00	46,11	0,75	243,0
	4	25,54	16,43	1,20	315,0
	7	8,63	1,46	1,56	287,0
	9	11,83	2,68	1,38	316,0
	12	9,79	1,66	1,23	306,0
	14	7,96	0,66	1,12	294,0
	17	4,50	1,35	0,88	297,0
	19	4,75	1,10	1,49	293,0
2	2	4,63	1,85	1,53	279,0
	4	3,17	1,45	1,32	238,0
	7	6,96	3,62	1,60	312,0
	9	23,83	14,18	1,38	269,0
3	2	90,67	69,83	1,28	300,0
	4	-	-	1,29	310,0
	7	4,17	2,37	1,19	309,0
	9	3,29	2,76	1,52	312,0
	12	2,83	1,16	1,58	296,0
	14	1,21	1,01	1,38	220,0

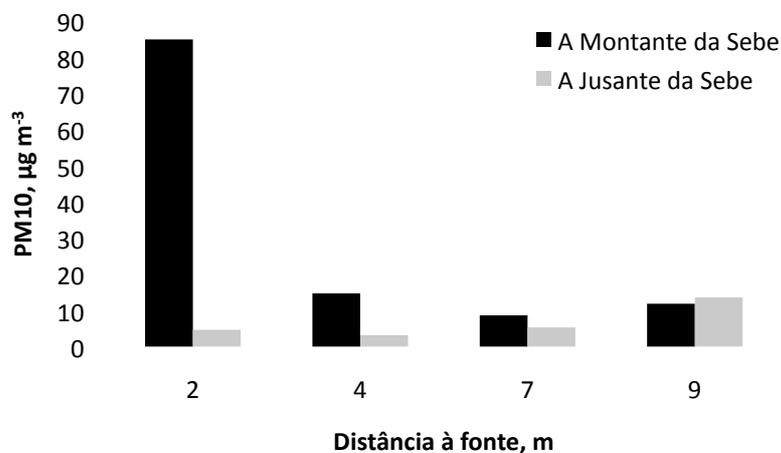


Figura 3: Concentrações de PM10 medidas a montante e a jusante da sebe.

Analisando os dados tabelados, verifica-se que existem algumas incongruências, motivadas pelas dificuldades sentidas em implementar este tipo de experiência no terreno. Essas dificuldades resultam essencialmente das limitações inerentes à fonte, nomeadamente a dimensão da pluma gerada e a alguma variabilidade da direcção do vento. A conjugação destes dois factores levou a que um ligeiro desvio da pluma de poluição, relativamente à linha fonte-monitor, tivesse motivado registo de concentrações de PM10 algo díspares, principalmente à medida que o ponto de medição se afastava da fonte.

Apesar de estarmos cientes das falhas experimentais e das incertezas que decorrem da análise dos resultados, a figura 3 mostra que a sebe actua efectivamente como um elemento filtrante de material particulado. Esta constatação é particularmente evidente, quando comparamos os valores de PM10 medidos a 2 metros de distância da fonte no transecto 1 e 3, sem sebe a intersectar a linha fonte-monitor, com os registados no transecto 2, à mesma distância, mas a jusante da sebe. Os resultados sugerem também que o efeito barreira é tanto mais significativo quanto menor for a distância da sebe à fonte, pois enquanto no transecto 2, com a fonte junto à sebe, o efeito barreira se traduz numa redução de PM10 de aproximadamente $80 \mu\text{g m}^{-3}$, no transecto 3, com a fonte a 5 metros da sebe, a barreira introduz provavelmente um acréscimo na redução das concentrações de PM10 de aproximadamente $4 \mu\text{g m}^{-3}$, admitindo que não há diferenças significativas entre o transecto 1 e 3, à distância de 4 metros.

4. Conclusões

Os resultados obtidos neste estudo, ainda em desenvolvimento, sugerem que a presença de vegetação tende a reduzir os níveis atmosféricos de PM10, principalmente durante o período de crescimento foliar. Esse papel positivo de “limpeza” da atmosfera pode tornar-se especialmente relevante em cidades com níveis de PM10 mais elevados. Também se demonstra que a vegetação actua eficazmente na filtração de PM10, particularmente quando localizada nas proximidades das fontes de poluição móveis ou fixas.

Acrescenta-se que face à complexidade dos fenómenos envolvidos nesta relação entre vegetação e PM10, as incertezas decorrentes deste tipo de ensaios são elevadas e, por conseguinte, dificulta a obtenção de resultados conclusivos. Procuraremos contornar estas dificuldades, desenvolvendo futuramente ensaios similares, porém substituindo a fonte de PM10 e, se possível, introduzindo a medição simultânea de PM10 em dois pontos.

Apesar de ter carácter preliminar, este estudo reforça a importância da adopção de um planeamento urbano que valorize as funções ambientais da vegetação, na medida em que a sua correcta utilização contribuirá para melhorar a qualidade do ambiente urbano de forma sustentável.

Agradecimentos

O projecto de investigação GreenUrbe (PPCDT/AMB/59174/2004) é financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) e pelo Fundo Europeu para o Desenvolvimento Regional (FEDER).

Referências Bibliográficas

- Bowker, G.E., Baldauf, R., Isakov, V., Khlystov, A., Petersen, W., 2007. The effects of roadside structures on the transport and dispersion of ultrafine particles from highways. *Atmospheric Environment* 41, 8128-8139.
- Bruse, M., 2007. Particle filtering capacity of urban vegetation: a microscale numerical approach. In Endlicher et al. (Eds). *Tagungsband zum Workshop über den wiss. Erkenntnisstand über das Feinstaubfilterungspotential von Pflanzen*, Berlin 1.Juni 2007 (Berliner Geographische Arbeiten 109), pp. 61-70.
- Chan, L. Y., Kwok, W. S., Lee, S. C. e Chan, C. Y., 2001. Spatial variation of mass concentration of roadside suspended particulate matter in metropolitan Hong Kong. *Atmospheric Environment* 35. 3167-3176.
- Dochery, D. W. e Pope III, C. A., 1994. Acute respiratory effects of particulate air pollution. *Annual Review Public Health* 15, 107-132
- Fernandes, A. 2008. A influência da vegetação na qualidade do ar urbano. Tese de mestrado. Universidade de Aveiro.
- Freiman, M.T., Hirshel, N., Broday, D.M., 2006. Urban-scale variability of ambient particulate matter attributes. *Atmospheric Environment* 40, 5670-5684.
- Fuller G. W. e Green D., 2004. The impact of local fugitive PM10 from building works and road works on the assessment of the European Union Limit Value. *Atmospheric Environment* 38. 4993-5002.
- Givoni B. M. N., Saaroni H., Pochter O., Yaacov N. F. Y. e Becker S., 2003. Outdoor comfort research issues, *Energy & Buildings* 35, 77-86.
- Gromke, C., Rucka, B., 2007. Influence of trees on the dispersion of pollutants in an urban street canyon—Experimental investigation of the flow and concentration field. *Atmospheric Environment* 41 (16), 3287-3302.
- Nowak D. J., Crane D. E. e Stevens J. C., 2006. Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States, *Urban Forestry & Urban Greening* 4, 115-123.
- Sashua-Bar L. e Hoffman M. E. M., 2004. Quantitative evaluation of passive cooling of UCL microclimate in hot regions in summer, case study: urban streets and courtyards with trees. *Building & Environment* 39 (9), 1087-1099.
- Schwartz, J. Dochery, D. W., Neas, L. M., 1996. Is daily mortality associated specifically with fine particles? *Journal of Air and Waste Management Association* 46, 927-939.