

ANÁLISE COMPARATIVA DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS EFEITOS DOS TELHADOS VEGETADOS E SUAS RELAÇÕES COM A MORFOLOGIA URBANA

Karyna de Andrade Carvalho Rosseti (1); Luciane Cleonice Durante (2); Ivan Júlio Apolonio Callejas (3); Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira (4); Igor Antonio Kuhnen (5); José de Souza Nogueira (6)

(1) Doutora, Arquitetura e Urbanismo, Docente do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, karyna.rosseti@gmail.com

(2) Doutora, Engenharia Civil, Docente do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, luciane.durante@hotmail.com

(3) Doutor, Engenharia Civil, Docente do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, ivancallejas@ig.com.br

(4) Doutora, Engenharia Civil, Docente do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, mcjanp@gmail.com

(5) Mestrando, Ciências da Computação, Professor do Departamento de Ciências da Computação/UNEMAT, e-mail: igkuhnen@gmail.com

(6) Doutor, Física, Docente do Instituto de Física, nogueira@ufmt.br

Universidade Federal de Mato Grosso, nº 2367, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Laboratório de Tecnologia e Conforto Ambiental, Cuiabá-MT, 78060-900, Tel.: (65) 3615-8774

RESUMO

O estudo das relações entre os aspectos de planejamento urbano e o meio ambiente térmico externo dele resultante, contribui para a melhor qualificação dos espaços exteriores urbanos e, conseqüentemente, das condições internas dos edifícios. O objetivo deste estudo foi analisar a distribuição espacial dos efeitos dos telhados vegetados e suas relações com a morfologia urbana, em zona residencial de baixo adensamento. Por meio de metodologia de abordagem comparativa de cenários, foram elaborados mapas térmicos e higrométricos, utilizando-se do software EnviMet. Os resultados mostraram que os efeitos gerados pela incorporação do telhado vegetado, em termos de localização espacial, tanto para a variável temperatura do ar quanto para a umidade específica do ar, foram conduzidos devido à ação do vento e da radiação solar, sendo mais expressivo nos quintais e abrangendo o interior de quadras inteiras e, menores nos passeios e vias. Desta forma, foi possível demonstrar os benefícios desta estratégia tanto para melhoria ambiental em nível dos pedestres quanto a nível microclimático e ampliar o conhecimento espacial da distribuição de seus efeitos no espaço urbano.

Palavras-chave: telhado vegetado, ventilação, ENVI-Met.

ABSTRACT

The study of the relationship between aspects of urban planning and the external thermal environment, resulting thereof, contributes to a better outdoor urban qualification and, consequently, in indoor conditions of buildings. This study intends to investigate the spatial distribution of green roofs effects and its relationship with the urban morphology, in a low density residential area. Through comparative approach methodology scenarios, thermal and hygrometric maps were prepared, using the EnviMet software. The results showed that the effects of green roof incorporation, in spatial terms, both for air temperature and specific humidity, were conducted due to wind and solar radiation, being more significant in yards and between entire blocks and smaller on the sidewalks and pathways. Thus, it was possible to demonstrate the green roofs benefits for environmental improvement in pedestrian level and expand the knowledge of spatial distribution of its effects on the urban space.

Keywords: green roof, ventilation, ENVI-Met.

1. INTRODUÇÃO

O efeito da vegetação no clima urbano já é investigado há algum tempo (HONJO, 2009; UPMANIS, ELIASSON e LINDQVIST, 1998; AKBARI, POMERANTZ e TAHA, 2001). Os benefícios podem ser observados não só na área de vegetação, mas também no seu entorno (DIMOUDI e NIKOLOPOULOU, 2003). Verifica-se desta forma a importância de se definir limites e condições microclimáticas ideais a serem atingidas em espaços exteriores, de forma a direcionar as decisões de planejamento urbano. O papel do planejamento seria o de utilizar recursos diversos (estratégias de sombreamento, inserção de praças e áreas de vegetação, adoção de fontes d'água, entre outros), de modo a alterar beneficentemente o microclima dos espaços urbanos. Observa-se, desta forma, a necessidade de entender e quantificar os efeitos da morfologia urbana no microclima gerado por ela (KRUGER, DRACH, EMMANUEL e CORBELLA, 2012).

A vegetação é capaz de resfriar o ar pelo processo de evapotranspiração e pelo sombreamento das superfícies do chão e das paredes (GRIMMOND e OKE, 1991), o que resulta na redução da temperatura radiante e superficial (CA, ASAEDA e ABU, 1998; SIMPSON, 2002), modificação da velocidade e direção do vento (HEISLER, 1990), redução da temperatura do ar durante a noite e filtragem da poeira e do ruído urbano (AKBARI, 2002). A ausência de espaços verdes é característica das cidades mais contemporâneas do mundo e é apontada com uma das principais causas do efeito da Ilha de Calor Urbana (ICU) (OKE, 1987; SANTAMOURIS, 2001).

De acordo com Chhokar, Pandya e Raghunathan (2004), arbustos, gramíneas, árvores e demais formas de vegetação natural são, geralmente, as primeiras vítimas da urbanização. Considerando que, em áreas densamente urbanizadas, existem poucos espaços residuais com potencial para serem convertidos em áreas verdes, uma possível solução para incorporação da vegetação em áreas urbanas já consolidadas seria a incorporação da vegetação pelos telhados dos edifícios.

Um exemplo dessa estratégia foi aplicado por Feng, Meng e Zhang (2010), que instalaram um telhado vegetado extensivo em cobertura de edifício em Guangzhou/China, com 4cm de profundidade de solo. Os resultados demonstraram que, em um dia típico de verão, quando o solo se encontrava rico em teor de água, a radiação solar representou 99,1% do ganho de calor total de um telhado vegetado, enquanto a transferência por convecção representou 0,9%. De todo o calor dissipado, 58,4% se deu pela evapotranspiração do sistema solo-planta, 30,9% pelas trocas radiativas entre o dossel e a atmosfera (ondas curtas e longas) e 9,5% pela fotossíntese das plantas. Apenas 1,2% foi armazenado nas plantas e no solo, ou transferidos para o edifício.

Em um estudo desenvolvido no Rio de Janeiro, Brasil, Spangenberg, Shinzato, Johansson e Duarte (2008) verificaram que um aumento na proporção de superfícies vegetadas no ambiente urbano, considerando uma ocupação de 30% de cobertura arbórea nos terrenos e 100% dos telhados vegetados, poderia recriar condições confortáveis no espaço urbano.

Destaca-se, no entanto, que pouco se conhece sobre a distribuição espacial dos efeitos da vegetação incorporada nos telhados. A interferência dos aspectos morfológicos do espaço urbano como a porosidade entre os edifícios, a rugosidade, a densidade da construção, o uso e ocupação do solo, a orientação que define os acessos de ventos e insolação, a permeabilidade do solo e as propriedades termodinâmicas dos materiais constituintes, sobre a intensidade e alcance dos efeitos da vegetação nos telhados, envolve aspectos complexos que dificilmente podem ser analisados por métodos experimentais (BORTOLI, 2015).

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é analisar comparativamente a distribuição espacial dos efeitos dos telhados vegetados e suas relações com a configuração urbana e ventilação, em zona residencial de baixo adensamento, em cenário atual (com coberturas existentes, de telhas) e em cenário previewal (com incorporação de telhado vegetado em 100% das coberturas).

3. MÉTODO

Este estudo classifica-se metodologicamente, segundo Serra (2006) como sendo uma abordagem por cenários, com “[...] *foco no processo, isto é, nos diversos estados que o sistema assume à medida que o tempo passa. Desse modo, após o levantamento de dados primários e secundários, constrói-se o denominado cenário atual, isto é, o estado atual apresentado pelo sistema.*” Utilizando-se de modelos analógicos (mapas) do cenário atual, devidamente calibrados por meio dos levantamentos *in loco*, elaborou-se o cenário representativo do objetivo da pesquisa, estabelecendo-se uma lógica previewal para extrapolação dos resultados.

Desta forma, a pesquisa consistiu das seguintes etapas metodológicas: (i) definição da zona urbana de estudo; (ii) caracterização microclimática da área de estudo utilizando-se de medições para fins de validação do modelo; (iii) realização de levantamento espacial da área de estudo utilizando-se de aerofotogrametria; (iv) simulação das características morfológicas reais da área de estudo para fins de calibração do software ENVI-Met; (v) criação de arquivo de configuração de entrada do modelo previsional; (vi) elaboração de cenários com a incorporação do telhado vegetado em 100% das coberturas existentes na área e (vii) análise da distribuição espacial dos efeitos resultantes dessa incorporação com base no traçado urbano e incidência da ventilação no local.

A cidade de Cuiabá/MT foi escolhida para a realização do estudo, por apresentar acelerado e desordenado processo de expansão urbana e localização geográfica que a infere clima quente rigoroso durante todo o ano, condições estas em que os benefícios decorrentes da estratégia de incorporação de telhados vegetados podem ser maximizados e melhor evidenciados.

A escolha da área de estudo (Figura 1) se justifica pelo fato da mesma apresentar densidade populacional semelhante à média urbana verificada no município de Cuiabá - 24,01 e 21,24hab./ha, respectivamente -, para o ano de 2010 (IBGE, 2010) e, por apresentar grande proporção de áreas verdes em relação às áreas edificadas e pavimentadas (CALLEJAS et al., 2011). Além disso, a região escolhida não possui muitas variações altimétricas na topografia, considerando que a versão 3.1 do ENVI-met somente simula terrenos planos, não trabalha bem com topografias complexas e não admite a modelagem de áreas muito extensas (BRUSE, 1998).

A área de estudo possui uma localização especial na região urbana de Cuiabá, estando próxima aos dois rios que atendem diretamente a cidade, Rio Cuiabá e Rio Coxipó (Figura 1). Devido esta proximidade, a zona urbana sofre influência climática tanto dos rios quanto da mata ciliar, que se estende por até 400m a partir do leito dos rios. No entanto, considerando a direção predominante Norte-Noroeste da ventilação, na macrozona da cidade, esta influência não apresenta-se tão expressiva em grande parte do ano, visto que os ventos passam pelo bairro em direção aos rios. Entretanto, no inverno, quando se observam menores valores de umidade no clima local, a direção Sul predominante dos ventos neste período leva a umidade dos rios diretamente para zona urbana de estudo.



Figura 1 - Imagem indicando a posição da região de estudo

As etapas de pesquisa acima citadas (ii) caracterização microclimática da área de estudo utilizando-se de medições para fins de validação do modelo; (iii) realização de levantamento espacial da área de estudo utilizando-se de aerofotogrametria e (iv) simulação das características morfológicas reais da área de estudo para fins de calibração do software ENVI-Met são descritas detalhadamente por Rosseti (2013).

O modelo previsional consiste do cenário com 100% de ocupação dos telhados pela vegetação, a partir da área total de telhados presente no cenário real. Considerando a exposição solar a que as plantas estarão sujeitas acima dos telhados, optou-se pela utilização de espécies gramíneas do tipo C4 para a composição dos telhados vegetados.

Para comparar estatisticamente os resultados encontrados nos diferentes cenários do estudo utilizou-se

a estatística de Kruskal-Wallis, que comprova ou não a existência de diferenças significativas nas variáveis obtidas no local de estudo pela incorporação do telhado vegetado.

As variáveis utilizadas para a validação do modelo foram temperatura e a umidade do ar. A estatística adotada para avaliar a distância entre os valores das séries temporais medidas e previstas pelo modelo ENVI-Met foi a medida dos erros de predição (SAVI, 2006), sendo elas: o Coeficiente de Correlação r^2 , a Raiz Quadrada do Erro Médio RMSE, o Erro Médio Absoluto MAE e o Desvio das Médias MBE.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1. Efeitos quantitativos nas variáveis Temperatura do ar e Umidade Específica do Ar

A estatística de Kruskal-Wallis para as variáveis Temperatura e Umidade específica do ar indicou que existem diferenças significativas entre o cenário atual e com 100% dos telhados vegetados, em todos os horários (6, 14 e 20h), sendo os resultados expressos no Quadro 01, em termos de escalas de redução da variável temperatura do ar (de pelo menos 0,25°C e pelo menos 0,50°C) e de aumento da variável umidade específica do ar (de pelo menos 0,25g/kg e pelo menos 0,50g/kg), bem como a quantidade dos pontos inclusos em cada escala.

Quadro 1 – Frequência de ocorrência de pontos com variações na temperatura e umidade específica do ar, nas escalas específicas, devido à incorporação de telhado vegetado, nas estações seca e úmida.

	Descrição	Temperatura do ar			Descrição	Umidade específica do ar		
		6h	13h	20h		6h	13h	20h
ESTAÇÃO SECA	% de pontos com redução maior que 0,25°C (Quantidade de pontos correspondentes)	0	82% (1307)	23% (3775)	% de pontos com elevação maior que 0,25g/kg (Quantidade de pontos correspondentes)	3% (407)	60% (9908)	13% (2193)
	% de pontos com redução maior que 0,50°C (Quantidade de pontos correspondentes)	0	30% (4840)	0	% de pontos com elevação maior que 0,50g/kg (Quantidade de pontos correspondentes)	0	7% (1184)	0
ESTAÇÃO ÚMIDA	% de pontos com redução maior que 0,25°C (Quantidade de pontos correspondentes)	0	69% (11274)	25% (4146)	% de pontos com elevação maior que 0,25g/kg (Quantidade de pontos correspondentes)	1% (136)	65% (10755)	13% (2078)
	% de pontos com redução maior que 0,50°C (Quantidade de pontos correspondentes)	0	3% (453)	0	% de pontos com elevação maior que 0,50g/kg (Quantidade de pontos correspondentes)	0	11% (1789)	0

No Quadro 11, às 13h, foram observadas reduções de pelo menos 0,25°C na temperatura do ar em 82% e 69% dos pontos contidos na área, para as estações seca e úmida, respectivamente. Às 20h, as reduções foram de 23% e 25%, nesta escala, para as estações seca e úmida, respectivamente. Apesar de terem sido identificadas diferenças significativas na variável temperatura do ar às 06h, não foram observados valores de variação superiores a 0,25°C. Estes resultados podem ser observados nos mapas térmicos, apresentados na Figura 2, representado pela cor verde/amarelada. Às 13h observou-se redução na temperatura do ar de pelo menos 0,50°C em 30% e 3% dos pontos contidos na área, para as estações seca e úmida, respectivamente. Nos demais horários não foram observadas reduções nesta escala.

Nota-se que as maiores interferências ocorreram no período das 13h00min em relação aos demais períodos analisados, resultado este confirmado pelos mapas térmicos da Figuras 2. Este fato pode ser justificado pelo maior potencial fotossintético da vegetação (que consome a energia térmica do sistema principalmente pela transpiração) considerando que os cenários apresentam temperatura do ar próxima a temperatura ótima para fotossíntese neste horário do dia, que se soma às interferências provocadas pelos efeitos do sombreamento das folhas, da evaporação nos tecidos vegetais e do solo, possibilitado pela disponibilidade de água devido a irrigação (TILMAN, 1988). Destaca-se ainda que o modelo compara o comportamento térmico do telhado convencional (telha cerâmica), superfície com pouca permeabilidade, com o telhado vegetado, caracterizado por camadas de solo e vegetação. A água presente neste segundo sistema altera as propriedades térmicas da superfície da cobertura (condutibilidade térmica), possibilitando que a mesma leve mais tempo para aquecer-se, durante o dia, e resfriar-se, durante a noite (ROMERO, 1988).

Com relação à umidade específica do ar, às 6h, foram observadas elevações de pelo menos 0,25g/kg em 3% e 1% dos pontos contidos na área, para as estações seca e úmida, respectivamente. Às 13h foram

observadas elevações, nesta mesma escala em 60% e 65% dos pontos contidos na área, para as estações seca e úmida, respectivamente. Às 20h, as elevações foram de 13%, nesta escala, para as duas estações. Estes resultados podem ser observados nos mapas higrométricos, apresentados na Figura 3, representado pela cor verde/amarelada. Às 13h observou-se elevação na umidade específica do ar de pelo menos 0,50g/kg em 7% e 11% dos pontos contidos na área, para as estações seca e úmida, respectivamente. Nos demais horários não foram observadas elevações nesta escala.

Apesar da maior ocorrência de variações na temperatura do ar e umidade específica do ar na escala de 0,25°C e 0,25g/kg, em pontos localizados nas proximidades dos quintais observaram-se reduções da temperatura do ar de até 0,19°C, 1,07°C e 0,50°C, e de até 0,23°C, 0,76°C e 0,55°C, às 6, 13 e 20h, na estação seca e úmida, respectivamente (Quadro 2). Observou-se, ainda, elevações da umidade específica do ar de até 0,38g/kg, 0,88g/kg e 0,46g/kg, e de até 0,38g/kg, 1,08g/kg e 0,48g/kg, às 6, 13 e 20h, na estação seca e úmida, respectivamente.

Quadro 2 - Variações máximas e mínimas da temperatura e umidade específica do ar, devido a incorporação de telhado vegetado, nas estações seca e úmida

Estação	Temperatura do ar						Umidade específica do ar					
	6:00		13:00		20:00		6:00		13:00		20:00	
	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.
SECO	0.24	-0.19	-0.08	-1.07	-0.06	-0.50	0.38	0.01	0.88	0.01	0.46	0
ÚMIDO	0.37	-0.23	0.11	-0.76	-0.03	-0.54	0.38	0.02	1.08	-0.07	0.48	0.01

Os resultados acima descritos evidenciam a importância de se analisar a distribuição espacial dos efeitos da incorporação do telhado vegetado de forma a identificar as relações entre as variáveis que a determinam.

4.2. Distribuição espacial dos efeitos nas variáveis Temperatura do ar e Umidade Específica do Ar

Nas Figura 3 e 4, às 6h, observa-se que as reduções da temperatura do ar e elevações na umidade específica do ar concentraram-se nas regiões de maior proporção de ocupação dos terrenos por edifícios e maior proximidade entre os mesmos. Este efeito destaca que morfologias caracterizadas por maiores densidades construtivas, com maior proximidade entre os edifícios e concentração de superfícies com incorporação de vegetação, possibilitam a intensificação dos efeitos de resfriamento e umidificação provocadas pela incorporação da vegetação nos telhados. A eficiência na distribuição destes efeitos, no entanto, alia-se a propriedade de porosidade, que corresponde aos espaços entre as edificações, e que interferem na maior ou menor permeabilidade dos ventos, sem a mesma o efeito da vegetação nos telhados dificilmente atingiria o nível dos quintais.

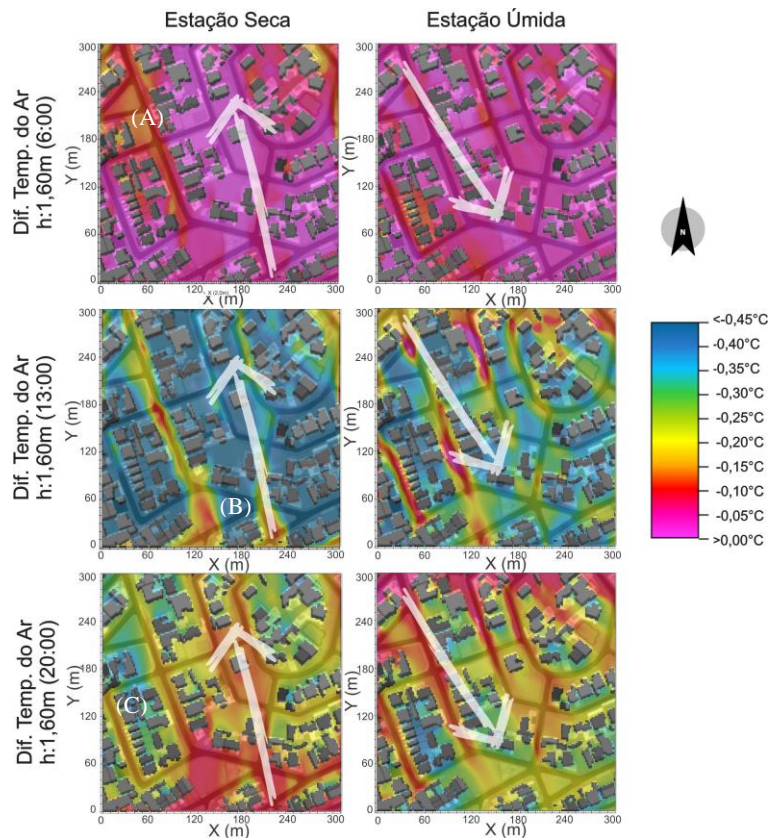


Figura 2 - Variações da temperatura do ar, a 1,6m do nível do solo, devido à incorporação de telhados vegetados.

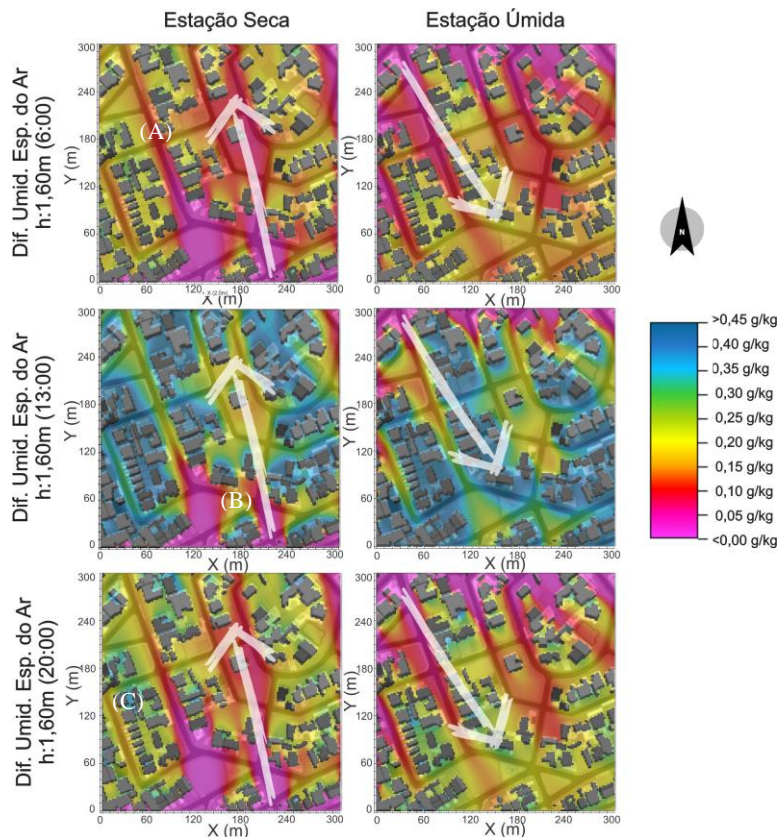


Figura 3 - Variações da umidade específica do ar, a 1,6m do nível do solo, devido à incorporação de telhados vegetados.

Observa-se ainda, durante a estação seca, neste mesmo horário, o efeito aerodinâmico de canalização do vento (A), caracterizado pelo fenômeno da corrente de ar que flui por um canal a céu aberto formado pelas construções (rua). Este efeito da ventilação foi possibilitado pelo posicionamento da rua em relação à direção predominante do vento, de 170° , nesta estação (Figura 4a). Segundo Givoni (1976) a temperatura e umidade do ar são os elementos climáticos que mais atuam no conforto térmico do homem, e a radiação solar

e a ventilação os principais fatores climáticos que determinam o comportamento destas variáveis. Desta forma, neste horário, considerando a ausência de radiação solar incidente nas superfícies, observa-se de forma menos significativa o efeito da temperatura superficial sobre a distribuição espacial da variável temperatura do ar, prevalecendo os efeitos da ventilação.

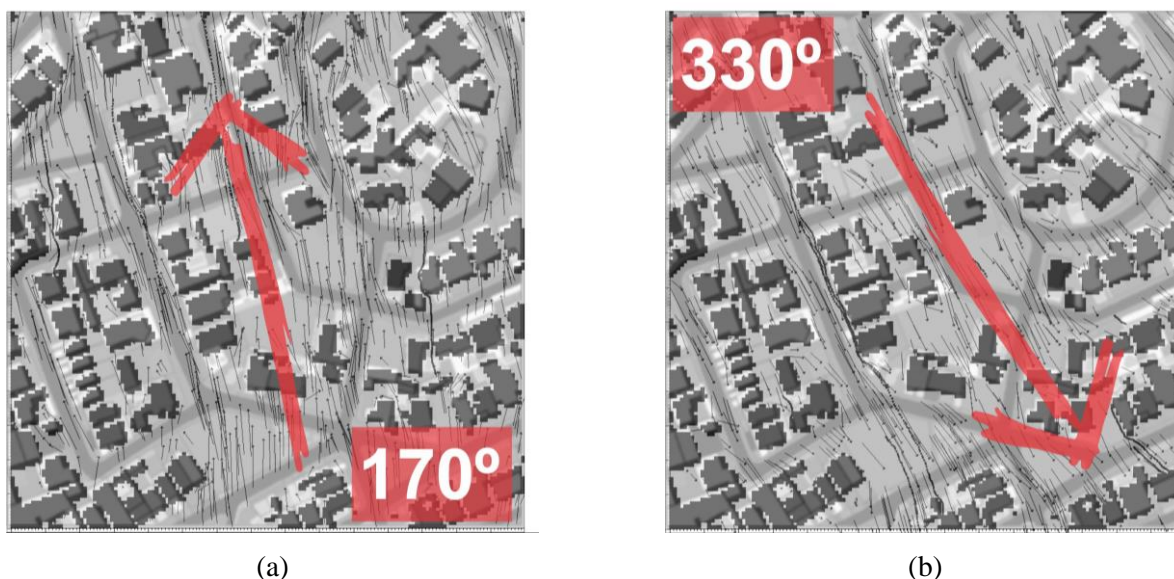


Figura 4 – Vetores de fluxo de vento na estação seca (a) e úmida (b)

Às 13h, a distribuição dos efeitos da vegetação altera-se com a presença da radiação no sistema. A radiação solar é a energia eletromagnética oriunda do sol, que fornece radiação térmica e luminosidade à terra e, segundo Frota (1995), seu estudo é indispensável, pois permite “*avaliar qual a carga térmica que determinada edificação ou espaço ao ar livre receberá nas diversas horas do dia e nas várias épocas do ano*”. Apesar de a porcentagem de radiação refletida (albedo) pelas superfícies de telhado cerâmico e telhado verde serem semelhantes, as propriedades termodinâmicas de emissividade e condutibilidade das duas superfícies são diferentes, o que possibilita comportamentos diversos das mesmas a partir do momento que a radiação é absorvida pelo sistema.

A menor condutibilidade térmica do sistema de telhado vegetado possibilita que o mesmo leve mais tempo para se aquecer, permitindo que todo o entorno do edifício também retarde seu aquecimento pela presença de água, tanto no telhado quanto no ar (possibilitado pela evaporação da água presente no telhado). Observa-se de forma menos significativa neste horário o efeito da ventilação sobre a distribuição espacial das variáveis temperatura do ar e umidade do ar, prevalecendo os efeitos das temperaturas superficiais. Destaca-se, no entanto que, em espaços abertos entre as quadras (B), devido a porosidade da morfologia do cenário, a distribuição dos efeitos da vegetação se dá no sentido do vento predominante, destacando mais uma vez a importância da porosidade entre os edifícios na promoção do maior alcance dos efeitos dos telhados vegetados, também neste horário.

Às 20h, observa-se que as reduções da temperatura do ar e elevações na umidade específica do ar concentraram-se, de forma mais intensa, em regiões específicas dos quintais, no sentido de sota-vento, considerando a direção predominante do vento nesta estação, apesar de estender-se, de forma menos intensa por grandes porções de terreno. Neste horário a densidade construtiva apresenta interferência, um pouco menos significativa (C) que nos demais horários do dia, na distribuição dos efeitos da vegetação nos telhados, possibilitando maior alcance espacial destes efeitos, tanto na temperatura do ar quanto na umidade específica. A ausência da radiação solar neste horário possibilita que a distribuição espacial das variáveis temperatura e umidade específica do ar sofra, de forma mais significativa, a influência da ventilação.

Na estação úmida observa-se comportamentos espaciais semelhantes aos observados na estação seca em todos os horários, quando tratamos das interferências da ventilação e da radiação solar. O efeito da ventilação, também neste período, se deu devido ao posicionamento da rua em relação à direção predominante do vento, de 330°, nesta estação (Figura 4b). No entanto, devido o resfriamento e umidificação do ar pela evaporação da água presente do sistema de telhado vegetado mais reduzidos nesta época do ano (devido a presença de vapor d'água no ar), o alcance espacial dos efeitos da incorporação da vegetação nos telhados se torna menor que no período seco (Figuras 2 e 3).

Tratando de forma mais detalhada dos efeitos da ventilação nas duas estações observadas (Figuras 4a e 4b), percebe-se o efeito de canalização do vento, tanto na estação seca quanto úmida, devido ao traçado do arruamento. O efeito de canalização (Figura 5a) é o fenômeno de corrente de ar que flui por um canal a céu aberto formado pelas edificações (ROMERO, 2000). Observa-se, também, que a velocidade do vento é maior quanto mais próxima da perpendicular à normal das fachadas frontais das edificações está seu ângulo de incidência, o que para a cidade de Cuiabá, com velocidades médias baixas, pode potencializar a melhoria da qualidade térmica pela potencialização da velocidade do vento. Por outro lado, os efeitos da canalização podem não ser tão benéficos quando muito potencializados, pois ao concentrar o fluxo para as ruas, o retira dos demais locais próximos, tais como os quintais e entorno das edificações, criando regiões de sombra de vento.

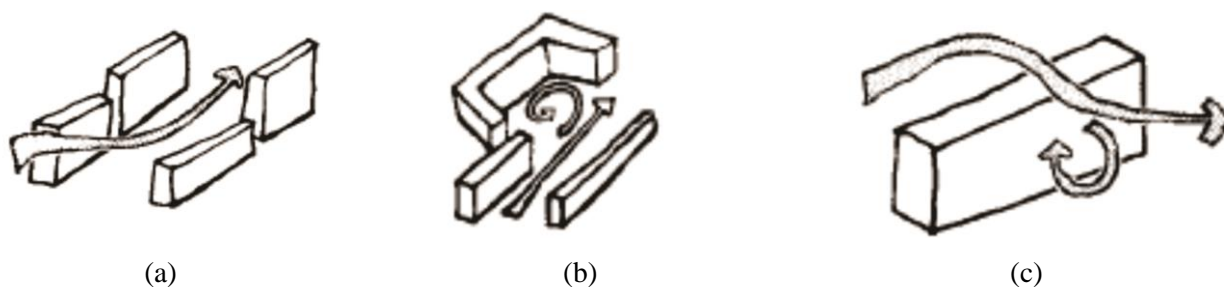


Figura 5 – Efeito aerodinâmico da ventilação no espaço urbano: Canalização(a), Malha(b) e Barreira(c)

Nesse sentido, destaca-se outro efeito positivo gerado pelos telhados vegetados, nesta área de estudo em particular, cujo traçado urbano conduz claramente a um bolsão em seu interior. Nessa situação, na estação seca, o telhado vegetado favoreceu o efeito de malha (Figura 5b), definido como sendo o escoamento através de um arranjo de edifícios que forma pátios centrais ou bolsões, conforme Assis e Valadares (1995 apud Silva, 2014).

Já nos perfis verticais, a densidade construtiva associada à densidade de telhados vegetados potencializou o arrasto da ventilação para o nível do solo, com maior intensidade na estação seca, sendo possível identificar em alguns pontos a ocorrência de efeito barreira, definido como o desvio da corrente de ar em efeito espiral após a obstrução dos edifícios (Figura 5c) (ROMERO, 2000; SILVA, 2014). Considerando que os pedestres ocupam regiões abaixo dos telhados, este efeito possibilita que o telhado vegetado influencie nas condições de conforto dos mesmos, reduzindo a temperatura do ar e aumentando a umidade específica, conforme observado nos mapas (Figura 3 e 4), obtidos a 1,6m do nível do solo.

5. CONCLUSÕES

Quanto aos efeitos quantitativos na temperatura e umidade específica do ar, gerados pela incorporação do telhado vegetado, observa-se, de uma forma geral, maior interferência desta estratégia durante o período seco, com maiores diferenças e maior frequência de pontos com alterações nas referidas variáveis pela incorporação da estratégia;

Quando analisamos a distribuição espacial dos efeitos dos telhados, observa-se também no período seco maior alcance espacial das interferências da vegetação sobre as variáveis estudadas.

A ventilação é a maior responsável pela distribuição dos efeitos nos horários das 6h e 20h, nos quais não observa-se a presença da radiação solar no sistema. Às 13h as temperaturas das superfícies são as principais responsáveis pela distribuição dos efeitos da vegetação, fato este provocado principalmente pelas propriedades termodinâmicas de condutibilidade e emissividade do sistema, que retarda o aquecimento das superfícies.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKBARI, H. Shade trees reduce building energy use and CO₂ emissions from power plants. *Environ. Pollut.*, v. 116, p. S119–S126, 2002.
- AKBARI, H.; POMERANTZ, M.; TAHA, H. Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. *Sol Energy*, v. 70, p. 295–310, 2001.
- ASSIS, E. S.; VALADARES, V. M. Modelo Matemático para a Determinação dos Recuos e Volumetria dos Edifícios em Belo Horizonte, considerando a Insolação e Iluminação Natural. Relatório Técnico para Prefeitura de Belo Horizonte, Belo Horizonte, 1994.
- BASS, B. *Mitigating the Urban Heat Island with Green Roof Infrastructure*. Urban Heat Island Summit: Toronto, 2002. Disponível em: <http://www.city.toronto.on.ca/cleanairpartnership/uhis_summit.htm>. Acesso em: Junho, 2011.

- BORTOLI, M. E. **Efeito do entorno urbano sobre as ações do vento em edifícios**. Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.
- BRUSE, M.; FLEER, H. Simulating surface-plant-air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. **Environmental Modeling & Software**, v.13, p. 373-384, 1998.
- CA, V.T.; ASAEDA, T.; ABU, E.M. Reductions in air conditioning energy caused by a nearby park. **Energy Build**, v. 29, p. 83–92, 1998.
- CALLEJAS, I. J. A.; OLIVEIRA, A. S.; SANTOS, F. M. M.; DURANTE, L. C.; NOGUEIRA, M. C. J. A.; ZEILHOFER, P. Relationship between land use/cover and surface temperatures in the urban agglomeration of Cuiabá-Várzea Grande, Central Brazil. *Journal of Applied Remote Sensing*, v. 5, p. 053569-1-053569-15, 2011.
- CHHOKAR, K.; PANDYA, M.; RAGHUNATHAN, M. **Understanding environment**. New Delhi; Thousand Oaks, Calif.: Sage Publications, 2004.
- DIMOUDI, A.; NIKOLOPOULOU, M. Vegetation in the urban environment: Microclimatic analysis and benefits. **Energy and Buildings**, v. 35, p. 69 -76, 2003.
- FENG, C.; MENG, Q.; ZHANG, Y.. Theoretical and experimental analysis of the energy balance of extensive green roofs. **Energy and buildings**, v. 42, n. 6, p. 959-965, 2010.
- FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico**. Editora Nobel, São Paulo, 1995
- GIVONI, B. **Man, climate and architecture**, 2ª Ed. Londres: Applied Science publishers, 1976.
- GRIMMOND, C. S. B.; OKE, T. R. An evaporation-interception model for urban areas. **Water Resour Res.**, v. 27, p. 1739–1755, 1991.
- HEISLER, G. M. Mean wind speed below building height in residential neighborhoods with different tree densities. **ASHRAE Transactions**, v. 96, p. 1389–1396, 1990.
- HONJO, T. Thermal Comfort in Outdoor Environment. **Global Environmental Research**, v. 13, p. 43-47, 2009.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Secretaria municipal de desenvolvimento urbano. **Diretoria de urbanismo e pesquisa, com base no censo demográfico 2010**. Disponível em < <http://www.ibge.gov.br/>> Acesso em: junho de 2013.
- KRUGER, E. L.; DRACH, R. R. C.; EMMANUEL, R.; CORBELLA, O. D. Estudo de conforto em espaços abertos em região de clima temperado: o caso de Glasgow, Reino Unido. *Ambiente Construído*, v. 12, n. 1, p. 7-25, 2012.
- OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**, Routledge, 2nd edition. p. 262–303, 1987.
- ROMERO, M. B. **Princípios Bioclimáticos para o Desenho Urbano**. São Paulo: ProEditores, 2ª edição, 1988.
- ROMERO, M. A. B. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. São Paulo: ProEditores, 2000, 128p., 2ª ed.
- ROSSETI, K. A. C. **Efeitos do uso de telhados vegetados em ilhas de calor urbanas com simulação pelo software ENVI-Met**. Tese de doutorado. Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2013
- SANTAMOURIS, M. **Energy and climate in the urban built environment**. London: James and James, 2001.
- SAVI, M. A. **Dinâmica não-linear e caos**. Editora E-papers, 2006.
- SERRA, G. **Pesquisa em Arquitetura e Urbanismo: guia prático para o trabalho de pesquisadores em pós-graduação**. São Paulo: EdUSP, 2006.
- SILVA, F. T. **Conforto térmico do transeunte: a porosidade urbana como condicionante da ventilação**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014.
- SIMPSON, J. R. Improved estimates of tree-shade effects on residential energy use. **Energy Build.**, v. 34, p. 1067–1076, 2002.
- SPANGENBERG, J.; SHINZATO, P.; JOHANSSON, E.; DUARTE, D. Simulation of the influence of vegetation on microclimate and thermal comfort in the city of São Paulo. **Revista SBAU**, Piracicaba, v. 3, n. 2, p. 1-19, 2008.
- TILMAN, D. **Plant strategies and the dynamics and structure of plant communities**. Princeton University Press, 1988.
- UPMANIS, H.; ELIASSON, I.; LINDQVIST, S. The influence of green areas on nocturnal temperatures in a high latitude city (Goteborg, Sweden). *Int J Climatol*, v. 18, p. 681–700, 1998.