XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído
JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

REFLEXÕES SOBRE A INFLUÊNCIA DA VEGETAÇÃO NO CLIMA URBANO

Marina Soares Silva (1); Eleonora Sad de Assis (2); Maria Rita Scotti Muzzi (3)
(1) Arquiteta-Urbanista, Mestranda do Programa de Pós Graduação Ambiente Construído[16] e Patrimônio Sustentável, arqsilvamarina@gmail.com
(2) DSc., Professora do Dep. Tecnologia do *Design*, da Arquitetura e do Urbanismo, elsad@ufmg.br
UFMG, Escola de Arquitetura, Rua Paraíba, 697, CEP 30130-141 Belo Horizonte - MG
(3) PhD, Professora do Dep. Botânica, mrita@mono.icb.ufmg.br
UFMG, Instituto de Ciências Biológicas, Caixa Postal 486, CEP 31270-901 Belo Horizonte – MG

RESUMO
Nas últimas décadas, constatou-se um aumento significativo de pesquisas que buscam investigar a influência da vegetação no clima urbano. Diante da falta de uma síntese bibliográfica sobre o tema, este trabalho tem como objetivo apresentar uma visão panorâmica da produção científica sobre a vegetação e o clima urbano nos últimos anos, identificando as principais abordagens, metodologias e variáveis utilizadas, além de destacar as lacunas no conhecimento produzido. O recorte temporal de referência para a sistematização do levantamento bibliográfico foi entre os anos de 2006 a 2018, tendo como foco a relação da vegetação e o clima urbano nas publicações em livros, capítulos de livros, teses, dissertações, artigos em periódicos ou em anais de eventos nacionais e internacional. Observou-se, portanto que, o conhecimento científico produzido no Brasil e em diversos países, demonstrou predominância na abordagem do tema a partir da metodologia descritiva, principalmente, em investigações através de estudos de caso. Além disso, pode-se perceber o interesse de grupos de pesquisas em diversas áreas do conhecimento que buscam compreender a inter-relação entre vegetação e clima urbano em diversas escalas. Dado o caráter interdisciplinar desta temática e, tendo em vista as lacunas do conhecimento identificadas, foi colocada a perspectiva da biologia para o aprofundamento do tema, buscando discutir o comportamento da vegetação no clima urbano diante das condições de estresse que podem ser apresentadas no meio.
Palavras-chave: vegetação urbana, clima urbano, condições de estresse.

ABSTRACT
In the last decades, a significant increase of researches that investigate the influence of the vegetation in urban climate has been verified. Given the lack of a bibliographic summary on the subject, this paper aims to present a panoramic view of the scientific production on vegetation and urban climate in recent years, identifying the main approaches, methodologies and variables used, besides highlighting the gaps in the knowledge produced. The temporal reference cut for the systematization of the bibliographical survey was between the years 2006 and 2018, focusing mainly on the relationship between vegetation and urban climate publications in books, chapters of books, theses, essays, papers in national and international conferences and periodicals. It was observed, therefore, that the scientific knowledge produced in Brazil and in several countries, showed a predominance approach of the subject using a descriptive methodology, mainly, in investigations through case studies. In addition, one can perceive the interest of research groups in several areas of knowledge that seek to understand the interrelation between vegetation and urban climate at different scales. Given the interdisciplinary nature of this theme, and considering the knowledge gaps identified, the perspective of biology was shown to deepen the theme, seeking to discuss the behavior of vegetation in the urban climate in the face of the stress conditions that can be presented in the environment.
Keywords: urban vegetation, urban climate, stress conditions.

[16] Apoio PROAP/CAPES-PACPS-UFMG

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, apesar da desaceleração do crescimento populacional, o processo de urbanização continuou em expansão no mundo todo. O ano de 2007 praticamente marcou o momento em que mais da metade da população do planeta passou a viver em cidades (UNFPA, 2007; RITCHIE e ROSER, 2018). Entretanto, no Brasil isso ocorreu já no final dos anos 1960 e, em 2007, o percentual da população urbana brasileira já era de 83,5% (ALVES, 2009). Para o ano de 2030, estima-se que aproximadamente 60% da população global estará morando em áreas urbanas (UN-HABITAT, 2008), enquanto que no Brasil esse percentual deverá ultrapassar os 90%.

O Relatório de Avaliação (AR5) do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2014a; 2014b) dedica um capítulo especialmente às cidades, trazendo uma avaliação do seu papel sobre as mudanças do clima, além de discutir a necessidade de adaptação do ambiente urbano a riscos climáticos. De acordo com esse relatório, as cidades são atualmente uma das principais fontes de emissões de gases do efeito estufa, em função do seu alto consumo energético (cerca de 2/3 da energia primária produzida mundialmente), pois 80% da matriz energética mundial é, ainda, composta por combustíveis fósseis. Por outro lado, a concentração populacional e de atividades torna as cidades especialmente vulneráveis às mudanças climáticas, principalmente nos países em que, como no Brasil, a expansão da urbanização ocorre de modo precário, gerando deficiências de acesso às infraestruturas básicas, ao saneamento e à habitação adequada.

Nesse contexto, uma das principais causas de aumento da vulnerabilidade das cidades identificadas pelo AR5 é a supressão de ecossistemas pela expansão da urbanização, que poderiam proteger as áreas urbanas de impactos adversos das mudanças climáticas, provendo acesso à água de boa qualidade, arrefecendo as temperaturas e melhorando a qualidade do ar, contendo processos erosivos e sequestrando carbono da atmosfera. Assim, uma estratégia chave de adaptação urbana para melhorar sua resiliência aos eventos climáticos extremos é a ampliação de suas áreas verdes. A chamada "infraestrutura verde" tem sido considerada uma estratégia relativamente rápida e barata quando comparada às obras convencionais de engenharia, uma vez que, além dos benefícios ambientais de melhoria da drenagem e redução dos efeitos das ilhas de calor, traz benefícios sociais e econômicos, mesmo em cenários de incerteza quanto aos reais impactos locais das mudanças climáticas.

As pesquisas mostram geralmente a capacidade das massas de vegetação urbana em contribuir para equilibrar o balanço de energia local (OKE, 1973; OKE *et al.*, 1989) e sua influência em fenômenos climáticos como as ilhas de calor (DACANAL *et al.*, 2010; BEZERRA *et al.*, 2018, etc.). Entretanto, o conhecimento sobre os efeitos do ambiente urbano sobre o desenvolvimento da vegetação e, de modo geral, sobre a diversidade ecológica necessária para mantê-la saudável e produtiva, ainda são escassos em áreas tropicais ou estão muito dispersos por várias áreas do conhecimento, como a ecologia, a geografia, a biologia, o sensoriamento remoto, etc. Isso dificulta bastante a construção de uma visão cientificamente fundamentada do que deveria ser, em escala e composição, a infraestrutura verde a ser implantada numa determinada cidade, como também a elaboração de recomendações, boas práticas para o planejamento e desenho urbanos. Também prejudica o desenvolvimento da modelagem computacional que integra as condições microclimáticas atmosféricas à vegetação e à superfície urbana, uma ferramenta importante para urbanistas e arquitetos explorarem cenários futuros de desenvolvimento ou requalificação urbana mais sustentáveis.

Assim, revisões sistemáticas da influência da vegetação sobre o clima urbano e vice-versa, do ambiente urbanizado sobre a vegetação devem ser feitas, para que se possa avançar na concepção de áreas verdes urbanas que sejam efetivos fatores de melhoria da qualidade ambiental, das condições sociais e econômicas dos habitantes das nossas cidades.

2. OBJETIVO

Este artigo busca apresentar as contribuições da produção científica brasileira e internacional dos últimos anos sobre a influência da vegetação no clima urbano, identificando os principais aspectos abordados, tais como as metodologias e variáveis mais utilizadas e as lacunas do conhecimento. Dada a natureza do trabalho, busca-se mostrar uma visão panorâmica sobre o tema, pontuar as contribuições mais expressivas e identificar os possíveis avanços científicos sobre esta temática.

3. METODOLOGIA

Um levantamento do estado da arte da produção brasileira sobre a climatologia no planejamento urbano foi publicado por Assis (2008). Nesta síntese, a produção brasileira foi identificada a partir de mais de 170

trabalhos, dentre eles livros, capítulos de livros, teses, dissertações, artigos em periódicos ou em anais de eventos. O recorte temporal estabelecido nesta pesquisa, entre o período 1995 – 2005, mostrou um crescimento quantitativo anual de publicações que relacionam os estudos de clima no ambiente urbano com o planejamento das cidades e, além disso, pôde-se identificar os principais aspectos considerados nas abordagens, relacionados ao uso e ocupação do solo (23% dos trabalhos), ao planejamento urbano (13%) e a vegetação urbana (11%).

Tendo em vista o objetivo da investigação deste trabalho, foi feito um novo levantamento da produção brasileira para o período de 2006 – 2018, tendo, desta vez, como foco a relação da vegetação e o clima urbano nas publicações em livros, capítulos de livros, teses, dissertações, artigos em periódicos ou em anais de eventos. São poucos os livros sobre o assunto, tanto no Brasil quanto no exterior, sendo que a maioria trata do clima urbano e vegetação de uma maneira mais geral. Desse modo, deu-se preferência à seleção de teses, dissertações e artigos. Os artigos em anais de eventos nacionais foram identificados por meio de pesquisa com as seguintes palavras ou expressões-chave e suas combinações (pesquisa por assunto): "vegetação urbana", "arborização", "microclima urbano". A partir dos nomes dos autores dos artigos em eventos e de pesquisa no Google™ com as mesmas palavras e expressões, as dissertações e teses foram localizadas. A localização de artigos em periódicos foi feita usando os nomes coletados e/ou as palavras e expressões já citadas. Dentre as publicações encontradas foram selecionadas 216, que tratavam especificamente do estudo da vegetação no microclima urbano.

O levantamento bibliográfico no cenário internacional foi proposto para o mesmo recorte temporal da produção científica brasileira, utilizando como referência as pesquisas publicadas na Conferência Internacional sobre Clima Urbano (ICUC) nas edições trienais de 2006 a 2018. Foram encontradas 73 publicações, coletadas com o uso das seguintes palavras ou expressões-chave e suas combinações: "*vegetation*", "*tree effects*", "*urban greening*"; "*urban forestry*"; "*urban microclimate*"; "*urban heat island*".

4. A VEGETAÇÃO E O CLIMA URBANO NA PRODUÇÃO CIENTÍFICA BRASILEIRA

No contexto da produção científica nacional até 2005, a maior parte dos estudos sobre o clima urbano ainda tinha como foco principal a descrição das condições das ilhas de calor e da qualidade do ar (ASSIS, 2005). A abordagem das pesquisas sobre a vegetação e o clima urbano era em grande parte feita através de investigações empíricas e, em geral, os trabalhos buscavam, por meio de estudos de caso, quantificar e/ou qualificar a influência da vegetação sobre as variáveis ambientais locais, principalmente a temperatura e a umidade relativa do ar.

A distribuição anual da produção brasileira (Figura 1) no período agora considerado mostra um aumento considerável de publicações sobre a vegetação e clima urbano, sendo que, se observado a partir do ano de 2009, esse crescimento quantitativo tem uma tendência bianual, provavelmente em decorrência da periodicidade dos Encontros Nacionais de Conforto no Ambiente Construído (ENCAC). Embora as abordagens empíricas e descritivas sobre o tema continuem sendo o principal enfoque adotado (ABREU e LABAKI, 2010; BURGOS e ROMERO, 2010; DACANAL *et al.*, 2010; ALVES e FIGUEIRÓ, 2012; ALVES e BIUDES, 2012; BARBOSA, 2016; etc.), observa-se uma maior diversidade nas relações identificadas entre a vegetação e aspectos de interesse do clima urbano, tais como a resposta de conforto térmico e a influência sobre as temperaturas superficiais.

Em relação às áreas do conhecimento vinculadas a essas pesquisas, a maior parte foi elaborada por grupos das ciências ambientais e florestais, geografia, climatologia e tecnologia (54,63%), enquanto 45,37% pelo grupo da arquitetura, urbanismo e/ou engenharias. Relacionando as áreas do conhecimento ao número de publicações e o quantitativo produzido anualmente, observa-se que o primeiro grupo de áreas do conhecimento foi pioneiro no assunto, desde o ano de 2006 (início do levantamento), mas as investigações só foram retomadas e tiveram aumento quantitativo considerável a partir de 2011. Já os estudos feitos pelo grupo da arquitetura, urbanismo e engenharias tiveram início em 2008 e um aumento considerável a partir de 2011.

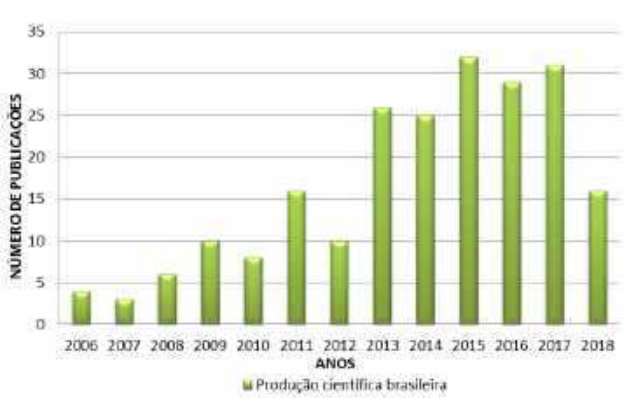


Figura 1 – Evolução da produção brasileira sobre vegetação e clima urbano no período de 2006 a 2018.
Fonte: Elaboração própria.

Dentre o total de publicações encontradas, a grande maioria foi de cunho prático (98%) e apenas poucos trabalhos buscaram discutir teoricamente o impacto da vegetação no clima urbano (2%). A abordagem metodológica da maior parte dos trabalhos (cerca de 73,5%) lida com os aspectos descritivos e/ou variáveis do clima urbano influenciadas pela vegetação, por meio de medições fixas e/ou móveis em campo (ZAIDAN *et al*., 2017), como mostra a Figura 2. Cerca de 7% destas pesquisas adotaram o uso de questionários ou formulários como instrumentos para o levantamento da percepção dos usuários quanto ao conforto térmico em praças, parques e ruas (SANTOS e PINTO, 2010; MARTINI *et al*., 2014).

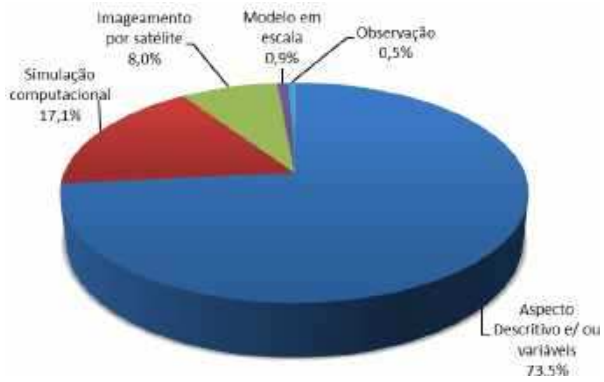


Figura 2 – Principais metodologias abordadas nas publicações, no período 2006 – 2018. Fonte: Elaboração própria.

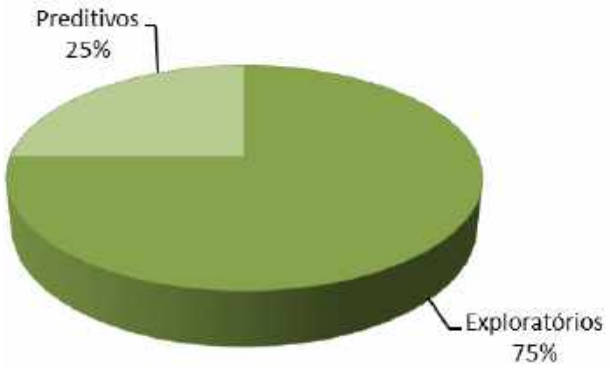


Figura 3 – Modelos de simulação utilizados nas publicações, no período 2006 – 2018. Fonte: Elaboração própria.

Apenas 17,1% das pesquisas adotaram simulação computacional (Figura 2). Nestas, conforme ilustra a Figura 3, a grande maioria (75%) propôs a criação de cenários hipotéticos exploratórios utilizando o programa ENVI-met© (SPANGENBERG *et al.*, 2008; SILVA, 2016) e o programa Solène-Microclimat (MARRA *et al.,* 2017). Já os trabalhos preditivos corresponderam à minoria (25%) e utilizaram os programas Energy Plus©, Autocad© e Rhinoceros (LABAKI *et al.,* 2011; SILVA *et al.,* 2015).

Os resultados encontrados nas pesquisas exploratórias destacaram algumas premissas mínimas para a validade das investigações, como a calibração do modelo para as condições locais e a simplificação dos modelos da área de estudo (ASSIS *et al*., 2013), além da importância de se determinar com cuidado os parâmetros dos modelos de simulação (DOBBERT *et al*., 2015). Além desses pré-requisitos, foram pontuadas limitações, como a validade dos resultados às condições do estudo de caso (ASSIS *et al*., 2013) e a falta de dados relativos às espécies brasileiras no banco de dados do *software* ENVI-met©, o que poderia gerar resultados incorretos (SILVA, 2016).

Além do mais, através do levantamento metodológico (Figura 2), observou-se que as pesquisas feitas através de simulação computacional foram elaboradas predominantemente (88,9%) por pesquisadores das áreas de arquitetura, urbanismo e engenharias (BURGOS e ROMERO, 2010). Já as pesquisas que utilizaram dados obtidos por imagens de satélite (apesar de corresponderem apenas a 8% do total de investigações) foram desenvolvidas, em grande parte (65%) por pesquisadores das áreas das ciências ambientais, florestais, geografia, climatologia e tecnologia (PEREIRA *et al*., 2006; BARBOSA, 2016; BARROS, 2016).

Diante destes resultados, de modo geral, pode-se notar uma diferença na escala espacial dentre as áreas do conhecimento sobre as investigações sobre a influência da vegetação no clima urbano. Em relação à escala do território urbano, observou-se que as pesquisas feitas por cientistas das áreas das ciências ambientais, florestais, geografia, climatologia e tecnologia buscaram abordar as cidades, fragmentos florestais nos meios urbanos e alguns parques, utilizando imagens dos satélites Landsat e Geoeye (FEITOSA *et al.,* 2011; MARTINI, 2016). Diferentemente, a área da arquitetura, urbanismo e engenharias trabalharam com a escala de bairro, ruas com e sem arborização, praças, parques e alguns experimentos conduzidos em pátio escolares e *campi* de universidades (DOBBERT *et al*., 2017; DEBIAZI e SOUZA, 2017;

ZANLORENZI e SILVA FILHO, 2018). Entretanto, embora se note diferenciação nas escalas dos recortes urbanos, a variável mais estudada em ambos os grupos foi a temperatura do ar (MACIEL *et al.*, 2011; ALVES e FIGUEIRÓ, 2012) tendo sido, em algumas investigações, associada à umidade relativa e ventos (LABAKI *et al*., 2011; BARBOSA, 2016) e à radiação solar (ABREU e LABAKI, 2010; MASCARELLO *et al*., 2017).

Em suma, observou-se uma tendência da produção brasileira em investigar a contribuição dos indivíduos arbóreos, isolados e/ou agrupados, na variação de temperatura e umidade (ALVES e FIGUEIRÓ, 2012; ALVES e BIUDES, 2012; ZAIDAN *et al.*, 2017), no aumento do conforto térmico das pessoas (ROPPA *et al*., 2007; ABREU e LABAKI, 2010; MINELLA *et al.*, 2011; MASCARELLO *et al.*, 2017) e na diminuição dos efeitos das ilhas de calor urbanas (BARROS, 2016; BEZERRA *et al.*, 2018).

Além das temáticas mais recorrentes que perpassaram o período 2006 – 2018, destacam-se também as investigações que relacionaram a vegetação com o clima urbano através de variáveis mais específicas, como a captura do CO_2 atmosférico pela arborização urbana (MUNEROLI, 2009; OLIVEIRA *et al.*, 2017), a influência de paredes/fachadas verdes na qualidade ambiental e comportamento térmico urbano (MORELLI, 2009), a influência do sombreamento de diferentes espécies arbóreas na temperatura superficial de materiais (SOZA *et al.*, 2016), os efeitos de borda da vegetação sobre o microclima (DODONOV, 2011; ANDRADE *et al.*, 2016), o ensaio em túneis de vento da influência da vegetação (LABAKI *et al.*, 2011) e as investigações sobre o índice de área foliar dos indivíduos arbóreos (SHINZATO *et al*., 2013).

5. A VEGETAÇÃO E O CLIMA URBANO NA PRODUÇÃO INTERNACIONAL

O interesse crescente de investigações sobre a influência da vegetação no clima urbano é observado não só na produção científica nacional, como também nas pesquisas desenvolvidas por diversos países.

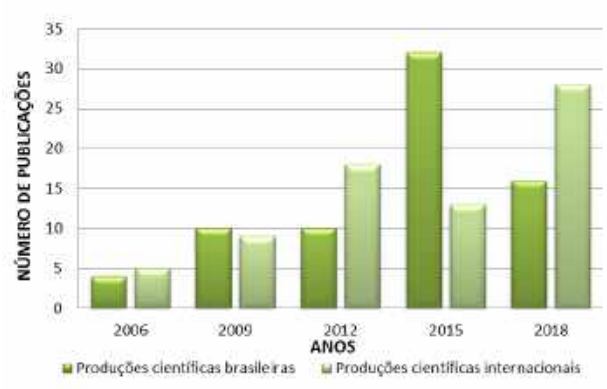


Figura 4 – Evolução da produção brasileira e internacional sobre vegetação e clima urbano no período 2006 – 2018. Fonte: Elaboração própria.

Pode-se observar na Figura 4 que a produção científica internacional apresenta um aumento quantitativo considerável de publicações sobre o assunto entre os anos de 2006 a 2018, tendo praticamente quintuplicado seu número nesse período. Ao compararmos este aumento em relação à produção brasileira, é importante destacar que as edições do evento internacional correspondem a um período trienal e, conforme visto em Figura 1, a produção científica brasileira mostrou-se maior no recorte bianual, ou seja, o ano de 2015 (visto na Figura 4) mostra a representatividade da expansão das investigações sobre o tema no Brasil.

Além do levantamento quantitativo, com base na comparação das abordagens utilizadas, ficam evidentes algumas similaridades e divergências. Em geral, observa-se convergência entre as pesquisas brasileiras e internacionais nas investigações sobre a contribuição da vegetação na variação de temperatura e umidade do meio urbano (GEORGIADIS *et al.*, 2009; MUNCK *et al.*, 2018; ZHAOWU *et al.*, 2018), no potencial da vegetação no arrefecimento das ilhas de calor urbanas (THEEUWES *et al*., 2012; OLIVEIRA *et al.*, 2018), na promoção do conforto térmico no meio urbano (ROMERO, 2009; SHASHUA-BAR *et al.*, 2009), na captura do CO_2 pela arborização urbana (VELASCO *et al.*, 2012) e na influência de fachadas verdes no conforto térmico urbano (ACERO *et al*., 2018).

Foram também objetos de debate nos referidos ICUCs, a relação de evapotranspiração e absorção do CO_2 pela arborização urbana (McFADDEN, 2018), o estudo da transpiração da vegetação urbana para recuperação do consumo de calor latente em várias condições (TESHIROGI *et al.*, 2018), a saúde, crescimento e efeitos de refrigeração das árvores em sítios urbanos (KONARSKA *et al.*, 2018), a pesquisa sobre a taxa de transpiração por pesagem de árvores e a análise dos efeitos morfofisiológicos (KIYONO *et al.*, 2015), a incorporação da vegetação nas simulações de micrometeorologia urbana e seus efeitos no balanço de energia (BAILEY *et al*., 2015) e o impacto a longo prazo do clima em padrões de crescimento de árvores nas ruas e suas consequências no potencial de arrefecimento urbano pelas árvores (DAVID *et al.*, 2015).

Portanto, diante do exposto, percebe-se uma forte tendência no cenário internacional não só nas investigações sobre o potencial da vegetação em interferir no clima urbano, como também se observa um

aumento no número de pesquisas que objetivam averiguar as variáveis específicas da vegetação nas cidades e as consequências que as alterações do clima podem causar diretamente no desenvolvimento das espécies e nas suas capacidades em contribuir com o clima.

6. CONDIÇÕES DE ESTRESSE DA VEGETAÇÃO URBANA ALTERAM SEU COMPORTAMENTO

Embora muito se discuta sobre o potencial da vegetação em contribuir para a melhoria climática dos ambientes urbanos, pouco se fala sobre a influência do ambiente no crescimento, desenvolvimento dos vegetais e os efeitos dos fatores externos nos processos funcionais da vegetação, a exemplo da evapotranspiração, sob condições de estresse.

A compreensão sobre a dinâmica ecossistêmica da vegetação urbana é muito limitada e o que se sabe sobre a vegetação com base em seu habitat natural ou em áreas rurais não se aplica em áreas urbanas (PATAKI, 2013; ZHAO *et al.,* 2016; SMITH *et al.,* 2019). Há inúmeras restrições impostas pelo ambiente, advindas de fatores abióticos ou bióticos, que podem levar indivíduos arbóreos ao estresse, conforme visto na Figura 5. De modo geral, estas alterações são responsáveis pela indução a mudanças e respostas em diversos níveis funcionais dos organismos vegetais, através de seu sistema hormonal. Os efeitos do estresse podem ser reversíveis a princípio, ou tornarem-se permanentes. Num primeiro momento, essas mudanças conseguem interferir diretamente sobre a produtividade do indivíduo que, em caso de estresse temporário, apresenta uma redução no rendimento, mas é capaz de chegar a uma recuperação completa. Já em caso de estresse permanente, a taxa de crescimento é reduzida e a perda em relação à produção é maior, podendo ser irreversível (LARCHER, 1929).

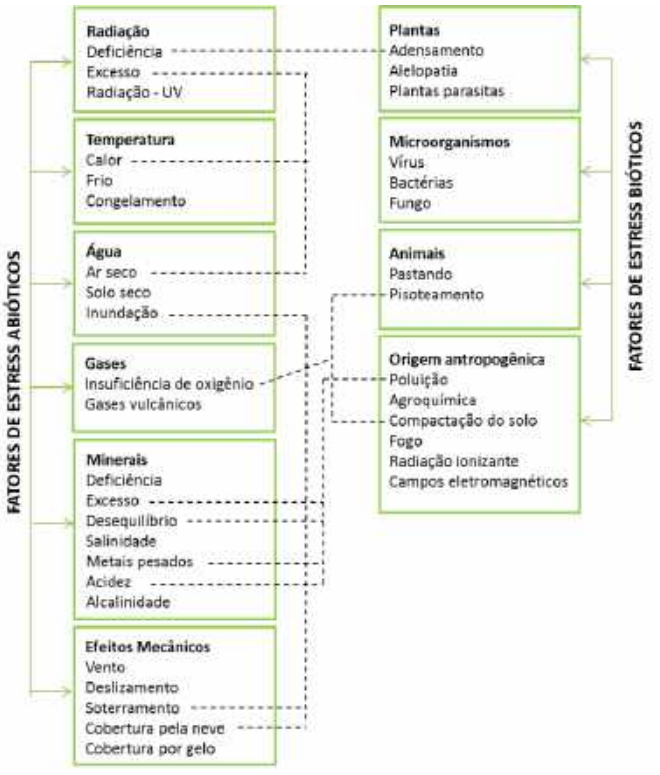


Figura 5 – Fatores de estresse no ambiente e algumas de suas múltiplas inter-relações.
Fonte: Larcher (1929), adaptado pelas autoras.

No ambiente urbano, os principais fatores abióticos de estresse dos vegetais são a poluição do ar, o acesso à água (em termos de *deficit* de água e/ou inundações) e as propriedades do solo (desequilíbrio dos nutrientes e compactação).

De acordo com Mukherjee e Agrawal (2018a; 2018b) a concentração de poluentes, notadamente material particulado e NO_2 acima dos limites-padrão têm efeitos sobre as características funcionais das folhas de espécies tropicais, tanto de porte arbóreo como de porte arbustivo, tais como os pigmentos fotossintéticos, o grau de hidratação da folha e principalmente sobre os antioxidantes não enzimáticos (ácido ascórbico e polifenóis). Para as árvores, o fator de estresse mais importante é o material particulado, seguido pelo O_3. A tolerância à poluição do ar varia entre as espécies e depende das características próprias de cada indivíduo, como sua altura, tamanho da copa, forma e textura da folha. Já no caso das espécies arbustivas, as propriedades do solo, principalmente os níveis de K (potássio) e o uso do solo foram os principais fatores de estresse depois da poluição do ar.

Alguns dos danos causados pela poluição do ar à vegetação podem ser reconhecidos pela acumulação de substâncias tóxicas ou de seus derivados nos tecidos vegetais, aparecimento de hormônios vegetais ligados ao estresse, alteração na abertura e fechamento dos estômatos, entre outros (LARCHER, 1929).

As árvores em áreas urbanas podem também ser importantes fontes de compostos orgânicos voláteis (BVOCs), possivelmente contribuindo para a formação do O_3 na atmosfera urbana, embora tais emissões sejam bem menores do que as antropogênicas (OWEN *et al.*, 2003). As plantas fazem isso em resposta aos fatores estressantes de altas temperaturas, componentes oxidantes na atmosfera e ataque de patógenos ou de pestes de insetos herbívoros, que se desenvolvem aceleradamente nas condições mais quentes das áreas

urbanas e, consequentemente, das copas das árvores (CALFAPIETRA *et al.*, 2013; DALE e FRANK, 2014)

O estresse hídrico pode ser fator suficiente para desencadear a síntese hormonal da planta através do aumento do ácido abscísico (ABA) e do etileno. A regulação hormonal durante o estresse hídrico pode desencadear reações como a redução da abertura estomática, o que significa para a planta um decréscimo da transpiração, entre outras consequências (Figura 6).

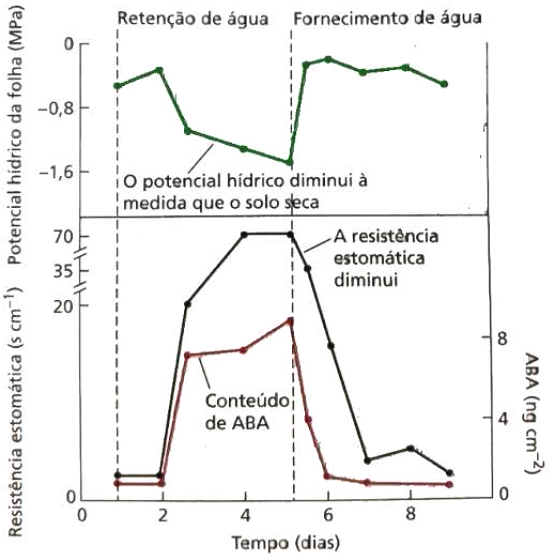


Figura 6 - Alterações no potencial hídrico na folha do milho em resposta ao estresse hídrico. Fonte: Beardsell e Cohen (1975) *apud* Taiz *et al.* (2017) adaptado pelas autoras.

Num experimento conduzido em Araras, São Paulo, Rebelatto *et al*. (2013) identificaram que os picos de queda foliar de duas espécies de ipês em área urbana coincidiram com os de maior estresse hídrico, enquanto o brotamento teve picos em meses com maior precipitação, incidência solar e temperatura.

Resultados semelhantes foram encontrados em experimento feito com folhas de milho, como pode ser visto na Figura 6. A retenção de água pelo estresse hídrico gerou como consequência para a planta a diminuição do potencial hídrico da folha, do conteúdo de ácido abscísico e da resistência estomática. Por se tratar de um estresse temporário, ao ser reidratada a planta foi capaz de reverter o processo (TAIZ *et al*., 2017).

Embora se observe que a efetividade da transpiração esteja diretamente relacionada com a disposição de água para as plantas, Pataki *et al*. (2011) levantaram a hipótese de que a mistura incomum de espécies, inclusive exógenas, em áreas verdes urbanas afeta mais a variabilidade espacial da transpiração vegetal do que as variações climatológicas. As espécies encontradas pelos autores nas áreas verdes da Região Metropolitana de Los Angeles (EUA) variaram grandemente em termos de transpiração, dependendo não apenas da irrigação, mas também da densidade arborizada de cada área.

Em geral, a vegetação também é intensamente afetada pelas propriedades do solo. Os recursos provenientes do meio natural para a manutenção do equilíbrio saudável entre a copa e as raízes incluem níveis adequados de oxigênio, água, nutrientes, baixa resistência de penetração da raiz no solo, equilíbrio de pH e atividade biológica robusta (WATSON *et al.,* 2015). No ambiente urbano, entretanto, a disponibilidade desses recursos é frequentemente alterada pelas atividades antrópicas. De acordo com Watson *et al.* (2015) grande parte dos nutrientes é naturalmente encontrada em solos levemente ácidos a neutros (pH entre 5,5 e 7,2), favorecendo o crescimento das árvores. No meio urbano foram observados níveis de pH ácido (abaixo de 5,0) em fragmentos florestais e pH alcalinos (acima de 8,0) atribuídos à remoção da camada superficial (*topsoil*) e ao uso de concreto e materiais calcários no processo de urbanização (DAY *et al*., 2010). Diante dessa variação, nota-se que alguns nutrientes, como ferro e manganês, se tornam menos disponíveis em solos mais alcalinos (pH acima de 7,2) e há falta de fósforo em solos mais ácidos, com pH abaixo de 5,5. Desta forma, em função do *deficit* de nutrientes, a acidez do solo afeta o crescimento satisfatório da vegetação e a alcalinidade compromete a saúde das plantas (DAY *et al*., 2010).

Já a compactação do solo é um processo de compressão das camadas naturais que consequentemente degrada a sua estrutura, diminui a porosidade e aumenta a resistência física do solo à penetração da raiz (DAY *et al*., 2010). Esse processo diminui a capacidade do crescimento das raízes (podendo variar entre as espécies) e afeta a sua distribuição, que passa a se desenvolver lateralmente. A interrupção da troca de gases entre o solo e a atmosfera influencia diretamente na sua aeração através da redução da concentração de oxigênio e aumento dos níveis de gás carbônico em profundidade, em função das demandas de oxigênio pelas raízes, fungos e microrganismos (WATSON *et al.,* 2015). Desta forma, os elevados níveis de gás carbônico podem danificar as raízes, e, se aliados à pobre drenagem do solo, podem favorecer a incidência de doenças através da proliferação de fungos danosos.

Chega-se, assim, à questão: os modelos de performance e comportamento funcional da vegetação que temos usado nas áreas urbanas consideram todos esses fatores e suas interações?

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse estudo mostrou um panorama geral sobre as pesquisas científicas que buscam investigar o tema vegetação e clima urbano no contexto brasileiro e internacional. Através da revisão do estado da arte, ficou claro que se trata de um tema interdisciplinar que vem sendo abordado por pesquisadores de diversas áreas do conhecimento, a exemplo dos grupos de pesquisa das ciências sociais aplicadas, ciências ambientais e florestais, entre outros.

Em geral, foi possível constatar que, nos últimos 10 anos, este tema passou a ser de interesse tanto no Brasil quanto nos demais países. Além disso, através do levantamento do estado da arte foi possível observar similaridades na abordagem sobre o tema entre a produção científica nacional e internacional, quanto às lacunas do conhecimento e as possíveis contribuições da biologia para o aprofundamento da temática.

Na produção científica brasileira observou-se uma tendência de investigações que buscam compreender a contribuição dos indivíduos arbóreos para variáveis climáticas como temperatura, umidade, aumento no conforto térmico das pessoas e redução dos efeitos de ilhas de calor. Poucas pesquisas foram encontradas sobre o tema investigando variáveis referentes à estrutura da vegetação e a possível alteração comportamental diante das pressões exercidas pelo meio. Já na produção internacional, embora grande parte aborde o comportamento da vegetação e seu impacto no clima urbano, foi possível encontrar, ainda que em menor número, pesquisas que relacionam as mudanças do comportamento funcional de espécies vegetais, como evapotranspiração e padrões de crescimento, em função de condições do meio urbano.

Sendo assim, diante do caráter interdisciplinar desta temática e, tendo em vista as condições de estresse que podem ser causadas à vegetação por diversos fatores, incluindo o *deficit* de recursos no meio, pode-se identificar uma oportunidade de abordagem do tema para futuras investigações. Muito além de compreender o papel da vegetação na melhoria de condições de vida nas cidades, precisamos produzir informações sobre a influência da vegetação sobre o meio e vice-versa, através da construção de cenários exploratórios que deem subsídio a estratégias de planejamento e desenho urbano que ampliem a qualidade ambiental e sustentabilidade nas cidades.

REFERÊNCIAS

ABREU, L. V.; LABAKI, L. C. Thermal comfort offered by certain tree species: evaluation of the radius of influence through different comfort indices. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 4, p. 103-117, 2010.

ACERO, J. *et al*. Influence of height and thermal characteristics of green facades in pedestrian thermal comfort. In: 10TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE, United States of America, 2012. **Proceedings**...New York: IAUC, 2018.

ALVES, D. B.; FIGUEIRÓ, A. S. Vegetação urbana e variabilidade do campo térmico em áreas selecionadas da cidade de Santa Maria (RS). **Revista GEONORTE, Edição especial**, v. 2, n. 4, p. 1111-1125, 2012.

ALVES, E. D. L.; BIUDES, M. S. Análise da temperatura do ar e da umidade relativa: estudo de microclimas. **Revista Internacional Interdisciplinar INTERthesis**, v. 9, n. 2, p. 139-156, 2012.

ALVES, J. E. D. A transição urbana no Brasil. APARTE: Inclusão Social em Debate. UFRJ, Rio de Janeiro, 2009. Disponível em http://www.ie.ufrj.br/aparte/apresentacao.php. Acesso em 16/10/2018.

ANDRADE, L. P. *et al*. Efeitos de borda sobre o microclima de um parque ecológico urbano em Cuiabá-MT. **Revista Estudo & Debate**, v. 23, n. 2, 2016.

ASSIS, E. S. A abordagem do clima urbano e aplicações no planejamento da cidade: reflexões sobre uma trajetória. In: VIII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO E VI ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Alagoas, 2005. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2005.

ASSIS, E. S. Aplicações da climatologia urbana no planejamento da cidade: revisão dos estudos brasileiros. **Revista de Urbanismo e Arquitetura**, v. 7, n. 1, 2008.

ASSIS, E. S.; SIRQUEIRA, C. A.; BAMBERG, A. M. Influência da vegetação no microclima em ambiente simulado controlado. In: XII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO E VIII ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Brasilia, 2013. **Anais**... Brasilia: ANTAC, 2013.

BAILEY, B. N. *et al*. Incorporating resolved vegetation in city-scale simulations of urban micrometeorology and its effect on the energy balance. In: 9TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE, France, 2015. **Proceedings**...Toulouse: IAUC, 2015.

BARBOSA, E. C. **Influência da vegetação nas condições microclimáticas em ambientes urbanos - estudo de caso Ilha do Fundão**. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

BARROS, H. R. **A relação entre ilha de calor urbana, o uso e cobertura do solo e o balanço de energia no município de São Paulo: avaliação do campo térmico nos parques públicos de lazer**. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

BEZERRA, P. E.; MORAES, E. T.; SOARES, I. Análise da temperatura de superfície e do índice de vegetação no município de Belém na identificação das ilhas de calor. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 70, n. 3, p. 803-818, 2018.

BURGOS, L. M.; ROMERO, M. A. B. Contribuições da vegetação nos microclimas urbanos de uma superquadra do Plano Piloto de Brasília. **Paranoá: cadernos de arquitetura e urbanismo**, n. 5, 2010.

CALFAPIETRA, C. *et al*. Role of biogenic volatile organic compounds (BVOC) emitted by urban trees on ozone concentration in cities: a review. **Environmental Pollution**, v. 183, p. 71-80, 2013.

DACANAL, C.; LABAKI, L. C.; SILVA, T. M. L. Vamos passear na floresta! O conforto térmico em fragmentos florestais

urbanos. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 2, p. 115-132, 2010.
DALE, A. G.; FRANK, S. D. Urban warming trumps natural enemy regulation of herbivorous pests. **Ecological Applications**, v. 27, n. 7, p. 1596-1607, 2014.
DAVID, A. *et al*. Long term impact of climate on tree-growth patterns in paris street trees and its consequences on tree cooling potential: a dendroclimatic approach. In: 9TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE, France, 2015. **Proceedings**...Toulouse: IAUC, 2015.
DAY, S. D. *et al.* Tree root ecology in the urban environment and implications for a sustainable rhizosphere. **Journal of Arboriculture**, v. 36, n. 5, p. 193, 2010.
DEBIAZI, P. R.; SOUZA, L. C. L. Contribuição de parâmetros do entorno urbano sobre o ambiente térmico de um campus universitário. **Ambiente Construído**, v. 17, n. 4, p. 215-232, 2017.
DODONOV, P. **Influência de borda sobre vegetação e microclima no cerrado paulista.** Dissertação de Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.
DOBBERT, L. Y.; PRATA-SHIMOMURA, A. R.; MENDES, F. H. Avaliação da interferência da cobertura arbórea no desempenho térmico por meio de simulação computacional. In: XIII ENCONTRO NACIONAL E IX ENCONTRO LATINOAMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, São Paulo, 2015. **Anais...** Campinas: ANTAC, 2015.
DOBBERT, L. Y.; PRATA-SHIMOMURA, A. R.; ZANLORENZI, H. C. P.; FRANCO, M. A. R. Percepção e conforto dos usuários do Parque Trianon em São Paulo/SP. **Revista LABVERDE**, v. 8, n. 2, p. 59-73, 2017.
FEITOSA, S. M. R.; GOMES, J. M. A.; MOITA NETO, J. M.; ANDRADE, C. S. P. Consequências da urbanização na vegetação e na temperatura da superfície de Teresina-Piauí. **Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 6, n. 2, 2011.
GEORGIADIS, T.; ROSSI, F.; ROSSI, F. Urban green, urban architecture, and urban climate: vegetation as a tool for mitigating extremes in bioclimatic trends. In: 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE, Japan, 2009. **Proceedings**...Yokorama: IAUC, 2009.
INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability.** IPCC Working Group II Contribution to AR5. 2014a.
INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change.** IPCC Working Group II Contribution to AR5. 2014b.
KIYONO, T. *et al*. Weighing whole tree transpiration rate of urban trees and analysis of trees morphophysiological effects. In: 9TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE, France, 2015. **Proceedings**...Toulouse: IAUC, 2015.
KONARSKA, J. *et al*. Tree health, growth and cooling effects at contrasting urban sites in gothenburg, sweden. In: 10TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE, United States of America, 2012. **Proceedings**...New York: IAUC, 2018.
LABAKI, L. C. *et al.* Túnel de vento e vegetação – possibilidade de ensaios? In: XI ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO E VII ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Rio de Janeiro, 2011. **Anais**... Búzios: ANTAC, p. 1-10, 2011.
LARCHER, W. **Ecofisiología vegetal.** São Carlos: Rima, 1929.
MACIEL, C. R.; NOGUEIRA, M. C. J. A.; SOUZA, N. J. Cobertura do solo e sua influência na temperatura de microclimas urbanos na cidade de Cuiabá-MT. **Caminhos de Geografia**, v. 12, n. 39. 2011.
MARRA, N.; MORILLE, B.; ASSIS, E. S. Influência da vegetação no conforto térmico em conjunto habitacional de interesse social. In: XIV ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO E X ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Santa Catarina, 2017. **Anais**... Balneário Camboriú: ANTAC, p. 367-376, 2017
MARTINI, A. **Análise quantitativa das variáveis meteorológicas em diferentes tipologias de floresta urbana de Curitiba-PR**. Tese de Doutorado em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.
MARTINI, A.; BIONDI, D.; ZAMPRONI, K. A Percepção do conforto térmico em uma rua arborizada com ipê-amarelo. In: V CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 2015, Minas Gerais. **Anais**... Belo Horizonte: ISBEA, 2014.
MASCARELLO, A. V.; BARBOSA, L. M.; ASSIS, E. S. Efeitos da vegetação viária no conforto térmico urbano. In: XIV ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO E X ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO Santa Catarina, 2017. **Anais**… Balneário Camboriú: ANTAC, p. 367-376, 2017
MINELLA, F. C. O.; ROSSI, F. A.; KRÜGER, E. Análise do efeito diurno do fator de visão do céu no microclima e nos níveis de conforto térmico em ruas de pedestres em Curitiba. **Ambiente Construído**, v. 11, n. 1, p. 123-143, 2011.
McFADDEN, J. Relationships of CO_2 uptake and evapotranspiration in urban vegetation. In: 10TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE, United States of America, 2012. **Proceedings**...New York: IAUC, 2018.
MORELLI, D. D. O. **Paredes verdes: vegetação como qualidade ambiental no espaço construido.** 2009. 115 p. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, São Paulo, 2009.
MUKHERJEE, A.; AGRAWAL, M. The influence of urban stress factors on responses of ground cover vegetation. Environmental **Science and Pollution Research**, v. 25, n. 36, p. 36194-36206, 2018a.
MUKHERJEE, A.; AGRAWAL, M. Use of GLM approach to assess the responses of tropical trees to urban air pollution in relation to leaf functional traits and tree characteristics. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 152, p. 42-54, 2018b.
MUNCK, C. *et al.* Impact of modeling vegetation at high resolution on urban climate variability, In: 10TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE, The United States of America, 2012. **Proceedings**...New York: IAUC, 2018.
MUNEROLI, C. C. **Arborização urbana: espécies arbóreas nativas e a captura do carbono atmosférico.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Passo Fundo, 2009.
OLIVEIRA, A. P.; NIZA, S.; LOPES, A. M. S. Surface urban heat island in 5 mediterranean cities: land surface temperature from LANDSAT-8 data in relation to vegetation, terrain and land cover indicators. In: 10TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE, United States of America, 2012. **Proceedings**...New York: IAUC, 2018.
OLIVEIRA, M. T.; GANEM, K. A.; BAPTISTA, G. M. M. Análise sazonal da relação entre sequestro de carbono e ilhas de calor urbanas nas metrópoles de São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte e Brasília. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 69, n.

4, 2017.
OKE, T. R. Evapotranspiration in urban areas and its implications for urban climate planning. In: CONFERENCE TEACHING THE TEACHERS ON BUILDING CLIMATOLOGY, 1973. **Proceedings …** Estocolm: The National Swedish Institute for Building Research, 1973.
OKE, T. R.; CROWTHER, J. M.; McNAUGHTON, K. G. The micrometeorology of the urban forest. **Philosophical Transactions of the Royal Society**. Series B - Biological Sciences, v. 324, n. 1223, p. 335-348, 1989.
OWEN, S. M. *et al.* Biogenic volatile compound (VOC) emission estimates from an urban tree canopy. **Ecological Applications**, v. 13, n. 4, p. 927-938, 2003.
PATAKI, D. E. Urban greening needs better data. **Nature** [Correspondence], v. 502, n. 7473, p. 624, 2013.
PATAKI, D. *et al.* Transpiration of urban forests in the Los Angeles metropolitan area. **Ecological Applications**, v. 21, n. 3, p. 661-677, 2011.
PEREIRA, G.; CAMARGO, F. F.; OLIVEIRA, L. G. L; GUERRA, J. B. Identificação do fenômeno de ilhas de calor para a região metropolitana de São Paulo através de dados provenientes do satélite Landsat-7 ETM+. In: III SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO, Sergipe, 2006. **Anais...**Aracaju: Geonordeste, v. 3, 2006.
REBELATTO, D.; LEAL, T. S.; MORAES, C. P. Fenologia de duas espécies de ipê em área urbana do município de Araras, São Paulo, Brasil. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**. Piracicaba, v. 1, n. 8, p. 1-16, 2013.
RITCHIE, H.; ROSER, M. **Urbanization**. September 2018. Disponível em https://ourworldindata.org/urbanization. Acesso em 11/03/2019.
ROMERO, G. V. Simulation of the influence of vegetation in urban microclimate of height and thermal comfort in the city of Arequipa – Peru. In: 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE, Japan, 2009. **Proceedings**...Yokorama: IAUC, 2009.
ROPPA, C. *et al.* Diagnóstico da percepção dos moradores sobre a arborização urbana na Vila Estação Colônia–Bairro Camobi, Santa Maria–RS. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 2, n. 2, p. 11-30, 2007.
SANTOS, C. O.; PINTO, J. E. S. S. Consciência ambiental, princípios e indicadores de qualidade de vida: um estudo no campo da climatologia urbana. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 7, 2010.
SHASHUA-BAR, L.; PEARLMUTTER, D.; ERELL. E. Microscale vegetation effects on outdoor thermal comfort in a hot-arid environment. In: 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE, Japan, 2009. **Proceedings**...Yokorama: IAUC, 2009.
SHINZATO, P.; DUARTE, D.; BARROS, F.; MOREIRA D. O impacto da vegetação nos microclimas urbanos: estimativa do índice de área foliar em diferentes grupos arbóreos. In: XII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO E VIII ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Brasilia, 2013. **Anais**... Brasilia: ANTAC, 2013.
SILVA, B. F.; BASTOS, M. S.; FARIAS, T. E. F. O impacto ambiental do espaço construído: estudo de caso em Florianópolis. **Revista Técnico Científica do IFSC**, v. 1, n. 5, 2015.
SILVA, W. D. **Arborização de vias urbanas: potencial de sombreamento das espécies**. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Bauru, 2016.
SMITH, I. A.; DEARBORN, V. K.; HUTYRA, L. R. Live fast, die young: accelerated growth, mortality and turnover in street trees. **PLoS ONE**, v. 14, n. 5, 17p. (e0215846), 2019.
SOZA, J. L.; SILVA, M. P.; FARIA, J. R. G. Temperatura superficial de materiais sob a influência do sombreamento de diferentes espécies arbóreas. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 12, n. 1, 2016.
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 da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 3, n. 2, p. 1-19, 2008.
TAIZ, L. *et al*. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6° edição. Porto Alegre: Artmed Editora, 2017.
TESHIROGI, U.; ISHIDA, Y.; MOCHIDA, A. Study on long-term measurement of transpiration from multiple urban vegetation for grasping latent heat consumption under various conditions. In: 10TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE, United States of America, 2012. **Proceedings**...New York: IAUC, 2018.
THEEUWES, N. E. *et al*., Mitigation of the urban heat island effect using vegetation and water bodies. In: 8TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE, Ireland, 2012. **Proceedings**...Dublin: IAUC, 2012.
UNITED NATIONS, Human Settlements Programme (UN-HABITAT). **State of the World's cities 2008/2009 – harmonious cities.** London: Earthscan, 2008.
UNITED NATIONS, Population Fund (UNFPA). **Earlier UN estimates indicated that this urban transition would occur in 2007**. 2007. In: UN-HABITAT. State of the World's Cities 2008/9: Harmonious Cities. Routledge, 2012.
VELASCO, E. *et al*. The role of vegetation in the CO_2 flux from a tropical neighborhood. In: 8TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE, Ireland, 2012. **Proceedings**...Dublin: IAUC, 2012.
WATSON, G. W. *et al.* The management of tree root systems in urban and suburban settings: a review of soil influence on root growth. **Arboriculture & Urban Forestry**, v. 40, n. 4, 2014.
ZAIDAN, C. G. *et al.* Avaliação da influência da vegetação arbórea no microclima: estudo de caso na Praça da Liberdade, Belo Horizonte, MG. In: XIV ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO E X ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Santa Catarina, 2017. **Anais**... Balneário Camboriú: ANTAC, p. 385-394, 2017.
ZANLORENZI, H. C. P.; SILVA FILHO, D. F. O papel da vegetação no controle dos ventos para o conforto térmico. **Revista LABVERDE**, v. 9, n. 1, p. 74-94, 2018.
ZHAO, S.; LIU, S.; ZHOU, D. Prevalent vegetation growth enhancement in urban environment. **PNAS**, v. 113, n. 22, p. 6313-6318, 2016.
ZHAOWU, Y. *et al*. Strong contributions of local background climate to the cooling effect of urban green vegetation. In: 10TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE, United States of America, 2012. **Proceedings**...New York: IAUC, 2018.