

REDE CLIMATOLÓGICA URBANA APLICADA AO ESTUDO DA ILHA DE CALOR EM ARACAJU-SE

Max Anjos

IGOT - Instituto de Geografia e Ordenamento do Território/Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa
maxanjos@campus.ul.pt

António Lopes

IGOT - Instituto de Geografia e Ordenamento do Território/ Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa
antonio.lopes@campus.ul.pt

Elis Dener Lima Alves

Instituto Federal Goiano/Ceres
elisdener@hotmail.com

Andrews José de Lucena

Instituto de Agronomia/Departamento de Geociências/Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
lucenageo@gmail.com

Recebido em: 17/04/17; Aceito em: 13/06/17

RESUMO

Este estudo avalia a Ilha de Calor Urbana (ICU) em Aracaju com base numa Rede Climatológica Urbana (RCU). Esta rede seguiu princípios e conceitos definidos para as áreas urbanas, particularmente no que concerne às questões relacionadas às escalas climáticas, à exposição dos equipamentos, à morfologia urbana e aos metadados. Os presentes resultados atualizaram a intensidade da ICU de Aracaju confrontando a tendência encontrada nos estudos iniciais. Embora, observou-se a máxima intensidade da ICU de 5,5°C, em termos médios a ICU tanto diurna como noturna não foi expressiva (entorno de 0,5°C) refletindo um predomínio de intensidades baixas (diferenças térmicas de até 2°C), cujas frequências superaram os 85% ao longo do ano. A RCU ajudou compreender melhor o impacto da ICU no ambiente disponibilizando informações climáticas úteis no planejamento da cidade.

Palavras-chave: Rede climatológica Urbana; Ilha de Calor Urbana; Clima Urbano; Aracaju.

URBANCLIMATOLOGICAL NETWORK APPLIED TO HEAT ISLAND STUDY IN ARACAJU-SE

ABSTRACT

This study evaluated the Urban Heat Island (UHI) in Aracaju based on Urban Climatological Network (UCN). This network observed principles and concepts defined for urban areas, particularly concerning matters that relate to climatic scales, sitting and exposure, urban morphology and metadata. The current findings updated UHI's intensities Aracaju refuting the trend found out in previous studies. Although, it was observed maximum intensity of UHI up to 5,5 °C, both daytime and nighttime UHI was not significant in average terms (about at 0,5°C) reflecting the prevalence of low intensities (thermal difference up to 2°C) whose frequencies exceeded 85% annually. UCN helped to understand better the UHI's impacts on environmental providing climatic information useful to urban planning.

Keywords: Urban Climatological Network; Urban Heat Island, Urban Climate; Aracaju.

INTRODUÇÃO

As observações meteorológicas estão entre as informações mais importantes para o funcionamento de qualquer cidade (GRIMMOND, 2013). Nos últimos anos, nota-se claramente um crescente aumento no monitoramento climatológico das cidades (MULLER et al., 2013a; LOPES et al., 2013; WARREN et al., 2016). Primeiro, devido aos avanços tecnológicos e científicos que disponibilizam equipamentos mais sofisticados e com precisão considerável, bem como um melhor entendimento da atmosfera urbana em termos de processos físicos em escalas de tempo e espaço, agora acessíveis à comunidade de pesquisa e usuários (GRIMMOND, 2006; OKE 2006a). Segundo, devido à necessidade de se investigar os impactos ambientais provocados pela urbanização, onde a Ilha de Calor Urbana (ICU) é um fenômeno de destaque. Terceiro, porque justamente é nas áreas urbanas onde coincidentemente há fraca cobertura ou mesmo a inexistência de dados climatológicos contínuos nas escalas meso, local e microclimáticas.

De fato, a ICU em cidades brasileiras tem sido pouco estudada com base numa rede climatológica urbana estruturada. Vários estudos têm-se valido de duas abordagens fundamentais que apresentam vantagens e desvantagens. A primeira abordagem é a a partir da comparação da temperatura do ar entre as estações meteorológica (e/ou alguns sensores fixos) localizadas no espaço urbano (nem sempre na área central da cidade) com as do espaço periurbano ou rural (ΔT_{u-r}). Essa abordagem tem sido útil pela ausência de rede de monitoramento dentro da área urbana e pela limitação de recursos, mas a sua resolução espacial é restrita aos locais de observação que não abarcam satisfatoriamente a complexidade do uso do solo, ao passo que, quando se utilizam de sensores fixos (*dataloggers*), a análise restringe-se a um período limitado, geralmente a alguns dias, semanas ou meses. Quando analisam séries longas de dados, esse tipo de abordagem se utiliza de estações automáticas ou convencionais que, todavia, são representativas do clima regional e não local (ALCOFORADO, 2006). Em alternativa à primeira, a abordagem pelo transecto móvel tem uma vantagem compensatória que é a alta resolução espacial das medições, mas é limitada ao aspecto temporal, geralmente efetuado em poucas horas do dia. Os dias escolhidos para as medições nesse tipo de abordagem são geralmente durante condições anticiclônicas que, embora são favoráveis a melhor manifestação da ICU (OKE e MAXWELL, 1975; RIZWAN et al., 2008), elas podem representar somente uma limitada parte das condições de tempo atuantes na região (MORRIS et al., 2001).

Há que sinalizar, que não é tarefa fácil estar em conformidade com as orientações padronizadas pela Organização Mundial Meteorológica (OMM) quanto à localização dos equipamentos meteorológicos na cidade. Segundo Oke, (2006a), a obstrução do fluxo de ar, a troca de radiação pela massa de edifícios e árvores, a cobertura de superfícies artificiais e a perda de calor e vapor de água causadas por atividades humanas são algumas questões práticas que desafiam os estudiosos que projetam uma rede de monitoramento na cidade. Além disso, o elevado grau de complexidade da cidade exige uma atualização frequente da documentação referente à estação urbana, pois há uma tendência maior na mudança de locais de observação e de uso do solo (OKE, 2006a; OKE e STEWART, 2012) que impactam diretamente na aferição e na qualidade dos dados.

Stewart (2011) verificou que um terço dos artigos analisados sobre o clima urbano não forneceu uma descrição qualitativa ou quantitativa dos locais selecionados, e que dois terços restantes incluiu descrições apenas qualitativas do local. Portanto, é preciso registrar todas as informações, desde os locais de instalação e de equipamentos, passando pelo processamento dos dados até o usuário final, são os chamados metadados. Estes são informações estruturadas que descrevem, explicam, localizam ou, de outro modo, tornam mais fácil recuperar, usar ou gerenciar um recurso de informação; são dados sobre os dados ou informações sobre as informações (NISO, 2004; BACA, 2008). Os metadados são essenciais para “garantir que o usuário final dos dados não tenha qualquer dúvida sobre as condições em que os dados foram gravados, reunidos e transmitidos, a fim de extrair conclusões precisas a partir de sua análise” (AGUILAR et. al., 2003, p. 2).

Por outro lado, o objetivo específico de uma rede de monitoramento na cidade deve estar intrinsecamente ligado à escala de análise. Oke (2006b) admite que o reconhecimento das

diferenças de escala nas cidades é uma chave fundamental para a concepção de estudos de clima urbano, de laboratório ou computador e também para criar conceituações válidas, modelos ou interpretações de dados. Em 2006, o autor propôs uma concepção científica de definição de escalas climáticas aplicadas em áreas urbanas (OKE, 2006a). Muller et. al., (2013b) sugeriram a adoção de alguns critérios para a classificação de uma rede urbana: a *extensão da área* que constitui o mais comum critério para definir a 'escala de rede' ou 'tamanho da rede'; a *resolução espacial* ou *densidade da rede*, que depende da densidade de pontos de observação e da distância entre os sensores; a *representatividade espacial* ou *escala de comprimento* das estações de monitoramento individuais que depende da atual localização do instrumento, intervalo de medida e exposição do sensor.

Diante disso, entende-se que as abordagens ΔT_{u-r} e o transecto móvel, se não bem avaliadas criticamente a limitação espacial e temporal, pode aumentar as inconsistências verificadas no modelo conceitual ou da natureza da ICU (STEWART, 2011) ou pode levar a ideia generalista da literatura que apenas as diferenças de temperatura dentro da cidade é o suficiente para explicar o fenômeno (Oke, 2009). A ICU, quando é levada a um monitoramento consistente ao longo do tempo, sinaliza para o fato que a diferença de temperatura entre o urbano e seus arredores pode ser mais complexa. Em Melbourne, Morris et. al., (2001) verificaram que a ICU se desenvolveu em condições de vento forte e céu encoberto (8 octas). Utilizando uma rede de mesoescala, Lopes et al., (2013) e Alcoforado et al., (2014) mostraram em Lisboa que as maiores frequências de intensidades da ICU incluindo as de intensidades mais forte ocorreram em ventos de 2 a 6 ms^{-1} , bem como indicaram que a intensidade da ICU, de um modo geral, decresceu em situações de ventos fracos (abaixo de 2 ms^{-1}). Em Aracaju, utilizando-se das abordagens acima discutidas, alguns estudos têm indicado para um maior aquecimento nas áreas centrais (de até 7,5°C) em relação a área periurbana e aos espaços verdes, sugerindo que as intensidades da ICU são igualmente expressivas (ANJOS, 2012, ANJOS et. al., 2014ab). Por outro viés, baseando-se numa rede climatológica de mesoescala em Aracaju, Anjos e Lopes (2015) demonstraram que as intensidades da ICU em Aracaju não foram expressivas (média de apenas 0.5 °C) confrontando a tendência encontrada nos estudos anteriores.

Aracaju é uma cidade de pequeno porte e tem uma morfologia urbana bem diversificada, considerando a densidade de construção, a geometria urbana, os espaços verdes e corpos d'água os quais "interagem" com a atmosfera urbana e, como tal, são parte do ambiente onde as pessoas vivem e trabalham cotidianamente. Os espaços urbanos são predominantemente ocupados por atividades do tipo residências, seguido pelo serviço, comércio e a indústria. O padrão de uso e ocupação do solo da cidade é originário historicamente de uma sucessão de ações socioeconômicas e políticas dentro de uma lógica de produção e valoração do espaço urbano. Como resultado, a compreensão dos espaços sociosegregados é importante para a avaliação do clima urbano (SANT'ANNA NETO, 2011), pois as resiliências do ambiente frente aos efeitos climáticos variam de acordo com a infraestrutura socialmente criada.

Nesse sentido, uma cobertura climatológica suficientemente densa na cidade oferece uma oportunidade para compreender melhor a intensidade da ICU pois o fornecimento de dados climatológicos contínuos nas escalas meso, local e microclimáticas, por um tempo suficientemente longo, permite uma melhor apreciação das influências climáticas advindas da complexidade do uso do solo. Como parte de um trabalho que visa fornecer orientações climáticas para o planejamento urbano de Aracaju, esta vigente pesquisa tem como objectivo avaliar a dinâmica temporal da ICU com um uso de uma rede climatológica urbana, a fim de identificar os efeitos da cobertura do solo e morfologia urbana na intensidade do fenômeno.

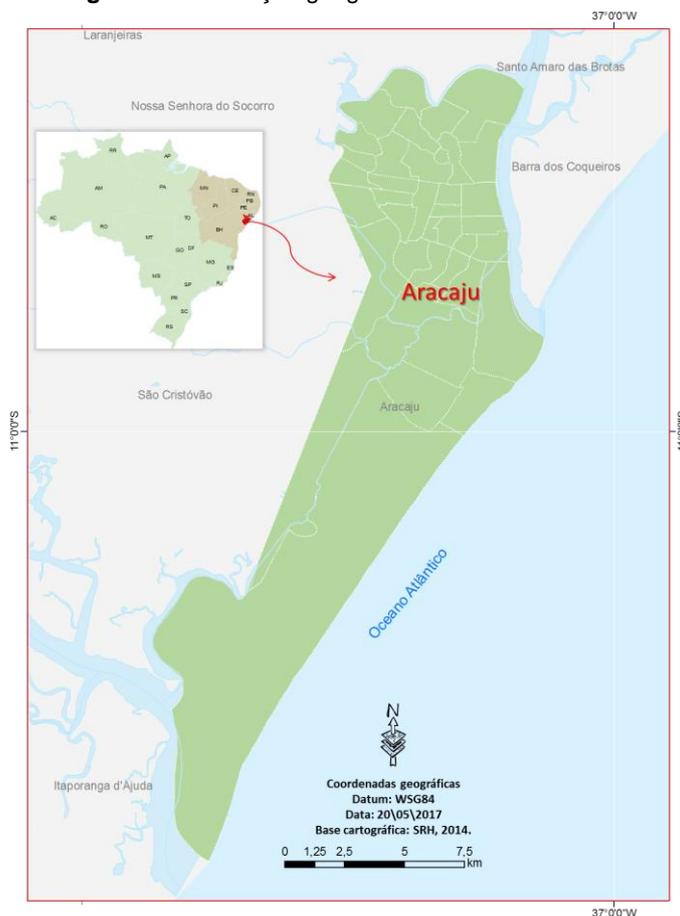
MATERIAIS E MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDO

Aracaju está situada no litoral do nordeste brasileiro com mais de 600 mil habitantes vivendo numa área compreende 181,8 km^2 , cuja densidade populacional é de 3 mil (hab/km^2) (IBGE, 2016). A cidade está delimitada pelas coordenadas de 10° 51' 45" e 11° 07' 49" de latitude sul e de 37° 02' 02" e 37° 09' 04" de longitude oeste, posicionando-se completamente na zona

intertropical, a qual lhe atribui características climáticas como verões quentes e invernos suaves (Figura 1).

Figura 1. Localização geográfica da área de estudo



As posições latitudinal e costeira expõem Aracaju a vários centros de ação e aos sistemas de mesoescala que explicam, em grande parte, a sua condição climática. Os ventos alísios de Leste e Sudeste e o sistema de brisas marítimas, por exemplo, parecem influenciar as condições meteorológicas na cidade (ANJOS, 2012). O clima de Aracaju pode ser caracterizado como tropical e úmido correspondendo ao tipo *Am* na classificação climática de Köppen. As médias anuais de temperatura ficam entorno dos 27°C, da pluviosidade acima nos 1.300 mm e da umidade relativa do ar por volta dos 70% (INMET, 2017). Os altos níveis de insolação solar diários, que variam em média 5 kWh/m²/dia ao longo do ano, conferem a Aracaju um ambiente térmico naturalmente quente com característica “estressante”.

DESCRIÇÃO DA REDE CLIMATOLÓGICA URBANA

A Rede Climatológica Urbana (RCU) se fundamenta nos princípios e conceitos de Oke, (2006a) que são únicos para áreas urbanas. Essa rede destina-se a avaliar a ICU da Camada Limite do Dossel (CLD), estratificada abaixo do nível dos telhados ou topo dos edifícios até o solo, onde ocorrem os processos atmosféricos em microescala localizados nas ruas, entre as edificações (OKE, 2006a; GRIMMOND, 2006). Trata-se da escala mais complexa do clima urbano para a compreensão dos processos formadores da ICU. Um fenômeno gerado ou identificado na CLD são os vales urbanos (*canyons urbanos*), que é representado pelas paredes entre as edificações que criam corredores (dispersores ou retentores de ar) separados por ruas. No *canyon* é considerada a relação entre a altura, a largura e o comprimento das construções e as propriedades térmicas dos materiais que as constituem. Em seu interior a radiação sofre

múltiplas reflexões entre as ruas e as paredes dos edifícios com diferentes absorções (OKE, 1981; OKE, 1987; GRIMMOND, 2006).

No que diz respeito à escala de rede, a RCU segue o nível mesoclimático (extensão da rede) para estudar a influência climática da toda cidade, considerando as amplas variedades (densidade da rede) de climas locais (representatividade espacial) influenciados pela morfologia urbana (densidade de construção, espaços verdes e corpos d'água) que, por sua vez, tem uma resposta microclimática semelhante.

Seguidamente, selecionaram-se os locais de observação através das *Local Climate Zones* (LCZ). Proposta por Stewart e Oke (2012), as LCZs consistem em 17 padrões térmicos e são definidas como as unidades térmicas de mesma cobertura de superfície, estrutura, materiais de construção e atividade humana que se estendem de centenas de metros a vários quilômetros em escala horizontal. As LCZs foram pensadas para ser representativas da escala de bairro ou local (> 1km²), onde para cada padrão térmico estão atribuídos à morfologia urbana homogênea, ao metabolismo urbano e à posição topográfica.

As LCZs foram elaboradas no âmbito do projeto *The World Urban Database and Access Portal Tools* (WUDAPT). O projeto WUDAPT é uma iniciativa internacional para desenvolver uma base de dados sobre as características físicas de cidades ao redor do mundo (MILLS et. al., 2015). De posse do mapa das LCZs, procedeu-se à instalação dos equipamentos meteorológicos (chamadas de estações urbanas) nas LCZs que melhor representam os diferentes padrões térmicos na cidade.

A classificação dos locais de observação contou também com o conhecimento local. Além de avaliar as condições térmicas de vários locais dentro da cidade, as estações urbanas foram estrategicamente instaladas em perfis transversais paralelos à costa, o que permite avaliar a influência do conjunto de características não urbanas nos padrões térmicos locais como a influência marítima e a circulação local do ar. Entende-se que esses aspectos sejam determinantes para compreender o desenvolvimento da ICU numa cidade costeira e, portanto, foram levados em consideração na arquitetura da rede. A topografia, por ser relativamente plana (cotas altimétricas variam até aproximadamente 100 m acima do nível do mar), não foi levada em consideração durante o processo de seleção dos locais de observação, pois assim não desempenha papel relevante nas diferenças térmicas à escala local.

Os sensores usados na RCU foram do tipo Onset® (EUA) HOBO U23 *Pro v2 Temperature/Relative Humidity Data Logger* - U23-001 (dois) e HOBO U23 *Pro v2 External Temperature Data Logger* - U23-00 (cinco). Estes sensores são destinados para o uso de ambientes externos (*outdoor*), em que cada sensor é acompanhado de um protetor solar que protege dos efeitos do aquecimento solar, do vento, da chuva e de outras intempéries a fim de assegurar a precisa medição. Os sensores do tipo HOBO têm sido usados em outros estudos que abordam os climas locais em Lisboa (LOPES et. al., 2013), Florença (PETRALLI et. al., 2010) e Alaska (HINKEL e NELSON, 2007). Neste estudo, todos os sensores foram instalados a 3,5 metros acima do solo para registrar os processos de troca de aquecimento e arrefecimento da CLD.

OPERAÇÃO DA REDE

Antes de serem levados a campo, todos os sensores da RCU foram ajustados de acordo com estação meteorológica automática do INMET bem como passaram pelo controle de qualidade a fim de verificar a coerência interna da série analisada (por exemplo, dessincronização, valor irreal). A análise vigente usou dados horários (UTC) de temperatura no período referente a 19 de Julho de 2014 a 10 de Outubro de 2016 (referenciado doravante como 2014-2016) para avaliar a intensidade de ICU de Aracaju, cuja série consistiu em 19.547 casos analisados. Sendo a rede de carácter permanente, o teste de homogeneidade e a recuperação dos dados foram incluídos no projeto da RCU. O teste de homogeneidade é realizado para assegurar que as flutuações de tempo nos dados são apenas devido aos caprichos do tempo e do clima (AGUILAR et al., 2003). A homogeneidade temporal de um registro climático é essencial na investigação climatológica, especialmente quando os dados são usados para validar os modelos climáticos, as estimativas por satélite ou para avaliar as mudanças climáticas e seus

impactos ambientais e socioeconômicos associados (AGUILAR et al., 2003). A recuperação dos dados é para aqueles que foram modificados ou faltantes e posteriormente preenchidos. Por exemplo, quando as observações são submetidas a algum tipo de validação, controle de qualidade ou teste de homogeneidade, uma quantidade variável de valores é sinalizada como desaparecidos, suspeito ou não homogêneo (AGUILAR et al., 2003).

Campanhas de recolhas de dados e manutenção dos equipamentos meteorológicos têm sido realizadas a cada 3 meses para garantir o estado de bom funcionamento da rede. Para isso, algumas técnicas têm sido empregadas (FIEBRICH et al., 2006; AGUILAR et al., 2003): padronizar os procedimentos de manutenção em cada local de observação; documentar as características do local incluindo fotografias digitais; garantir a manutenção da vegetação proactiva (quando necessário para as áreas representativas de espaço verde e áreas rurais); limpar e inspecionar os sensores; testar o desempenho de sensores em campo (a cada 2 anos de funcionamento); realizar rotações de sensores (quando necessário). O procedimento padronizado de manutenção é extremamente útil para que a rede opere eficientemente fornecendo dados confiáveis. Essa atualização da rede é parte importante dos metadados.

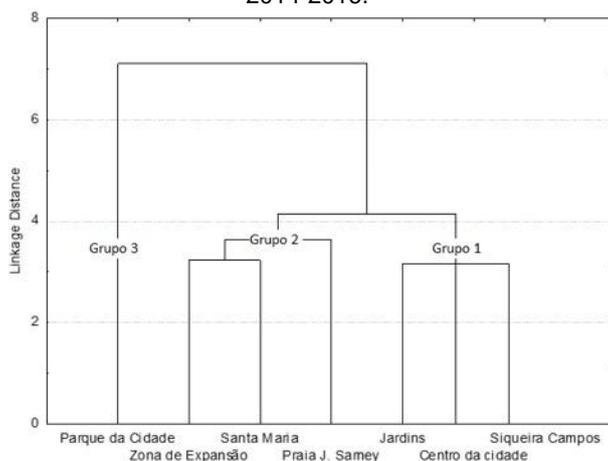
Seguindo as orientações e recomendações de Aguilar et al., (2003), Oke (2006a) e Muller et al., (2013a), foi desenvolvida uma plataforma de metadados para a RCU com o objetivo de melhorar a qualidade e aplicabilidade das informações coletadas. Os metadados da rede foram estruturados basicamente em quatro partes. Na *primeira parte*, encontram-se as informações gerais da rede (pessoal e entidade responsável, o tipo da rede se é meso, local ou micro climática, objetivo); as especificações dos equipamentos utilizados. Na *segunda parte*, são fornecidas as informações específicas da cada estação urbana e a classificação térmica dos locais dentro de um círculo de influência térmica. O círculo de influência ou *thermal source area* para um local de medição é o total de área de superfície “vista” pelo sensor a 1.5 ou a 2m acima do solo, em que o sinal de temperatura é derivado dependendo das características geométricas da superfície e como se dá o seu processo de transporte até o sensor, ele depende também da camada limite urbana e das condições de estabilidade (KLJUN et al., 2002; OKE, 2006a; ALVES e BIUDES, 2013). Neste estudo, foi usado o círculo de influência de 500 metros a partir do sensor para ser representativo da escala local. Nesta escala, a modificação da temperatura do ar e do campo de vento está relacionada com características da superfície mais próxima (edifícios individuais, árvores, ruas), enquanto na escala local, tais modificações são influenciadas pela morfologia urbana homogênea (densidades dos edifícios, materiais mais frequentes), metabolismo urbano e posição topográfica (OKE, 2006a; ALCOFORADO, 2010).

A *terceira parte* se destina à representação do ambiente físico envolvente através de imagens de satélite, fotografias digitais (localização, aérea, SVF, panorâmica e cardinal) e vídeos. A *quarta etapa* compreende o registro histórico da estação para verificar se houve, suspensão ou deslocamento da estação urbana devido à mudança no uso do solo ou atos de vandalismo. Nessa parte, são documentados também erros identificáveis durante o registro e período de coleta de dados ou quaisquer eventualidades que possam interferir na acessibilidade e na qualidade dos dados.

DEFINIÇÃO DA INTENSIDADE DA ICU

A arquitetura da RCU permitiu avaliar objetivamente a intensidade da ICU em Aracaju. Com base no algoritmo Classificação Hierárquica (*Cluster Analysis*), as temperaturas horárias foram agrupadas na medida em que as suas similaridades aumentavam. Desse modo, permitiu encontrar grupos de similaridades térmicas entre as estações urbanas, levando em conta além da presença de espaços verdes, o enquadramento urbano (densidades), a influência de corpos d'água e a circulação local do ar. Tais considerações orientaram, pese embora a subjetividade, a divisão das estações urbanas em 3 grupos até ao nível 4 (*linkage distance*) do dendrograma. Formaram-se assim, o grupo 1 com edificações mais compactas na área central da cidade representado pelas estações urbanas Jardins, Centro da Cidade e Siqueira Campos, o grupo 2 com edifícios baixos e mais espaçados nas áreas periurbanas da cidade representado pelas estações urbanas Zona de Expansão, Santa Maria e Praia José Sarney e, por fim, o grupo 3, tendo a estação urbana Parque da Cidade como representativa do espaço verde (Figura 2).

Figura 2. Grupos de similaridade de temperatura entre as estações urbanas da RCU entre o período de 2014-2016.



Fonte: Adaptado de Anjos e Lopes (2015).

Em posse dos grupos de similaridade térmica acima referidos, procedeu-se ao cálculo da intensidade da ICU (IICU), cujo critério foi a ocorrência, no dado momento específico, de temperaturas da área central da cidade superiores às temperaturas das áreas periurbanas. Desse modo, a IICU foi calculada conforme a seguinte equação (LOPES et al., 2013; ALCOFORADO et al., 2014):

$$IICU = T_u (T_{max}) - T_{pr} (T_{min})$$

onde, T_u corresponde a máxima horária de temperatura nos três pontos da área central da cidade (grupo 1) e T_{pr} a mínima horária de temperatura nos três pontos da área periurbana (grupo 2). As médias térmicas foram usadas em conjunto para evitar que a influência microclimática de cada estação urbana predomine sobre a escala local (ANDRADE, 2003; LOPES et al., 2013; ALCOFORADO et al., 2014).

Para examinar o efeito sazonal e diário da IICU, os dados horários foram divididos em estações do ano e em período diurno e noturno. A divisão em período diurno e noturno foi usada para evitar anomalias térmicas microclimáticas causadas pelo sombreamento dos edifícios e árvores próximas ao sensor (LOPES et al., 2013, p.5). O software SOLWEIG (LINDBERG e GRIMMOND, 2010) foi usado para determinar as horas correspondentes ao período diurno (10:00 as 20:00h UCT) e noturno (22:00 as 07:00h UTC), sendo excluídas as horas de transição entre o nascer do sol e o pôr-do-sol. Além disso, optou-se por analisar os dados em estação quente e estação fresca (LIN, 2009). A “estação quente” compreende o período entre Agosto e Março quando a maior parte das temperaturas anuais são elevadas (média de 27°C, segundo a normal climatológica de 1961-1990\INMET) e os restantes meses (Abril a Julho) definiram-se como “estação fresca” quando concentra as baixas temperaturas anuais (média de 25°C).

A estratificação das intensidades da ICU se baseou nas classes de García (1996), sendo classificadas desta forma: baixa intensidade, quando as diferenças térmicas são de até 2°C; média intensidade, quando se situam entre 2 a 4°C e forte intensidade, quando são superiores a 4°C.

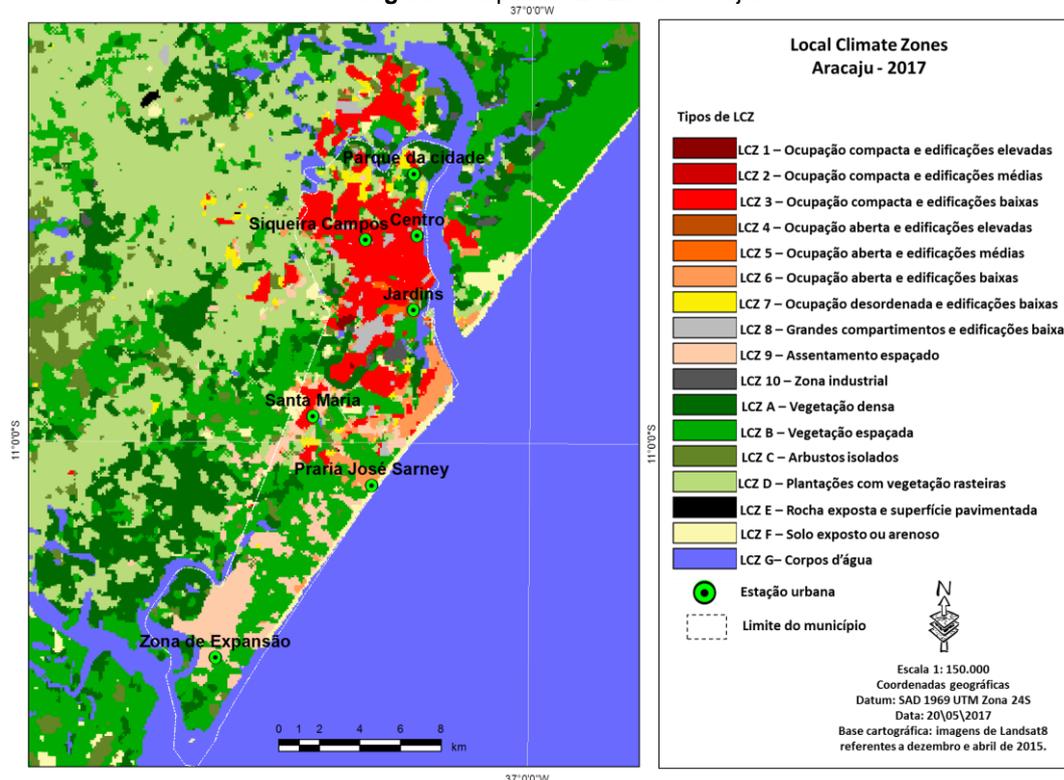
RESULTADOS E DISCUSSÃO

APRESENTAÇÃO DAS LCZs

A maior parte da área (central e Norte) de Aracaju foi classificada predominantemente pela LCZ3 (Ocupação compacta e edificações baixas), seguida pela LCZ4 (Ocupação aberta e

edificações elevadas), LCZ5 (Ocupação aberta e edificações médias) e LCZ7 (Ocupação desordenada e edificações baixas). Isso indica que as áreas centrais podem ser interpretadas com o possível aquecimento térmico quando comparada com a área periurbana, onde foi classificada seguidamente pelas LCZ9 (Assentamento espaçado), LCZ6 (Ocupação aberta e edificações baixas), LCZA (Vegetação densa) e LCZB (Vegetação espaçada) (Figura 3).

Figura 3. Mapa das LCZs de Aracaju.



APRESENTAÇÃO DA RCU

Com base na espacialização das LCZs, foi apresentada a RCU em que as estações urbanas selecionadas refletem os padrões de temperatura intra-urbana em Aracaju, permitindo avaliar a intensidade da ICU a partir dos grupos de similaridade térmica entre os locais de observação. A RCU também foi acompanhada de uma parte dos metadados da rede com exemplos de duas estações urbanas representativas da área central e periurbana (Figura 4).

Figura 4. RCU de Aracaju.

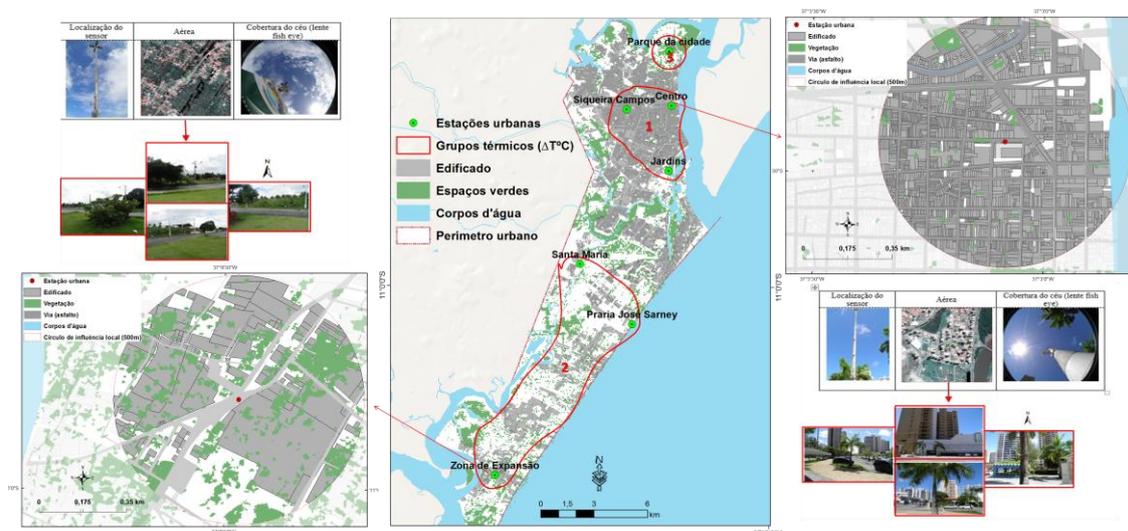
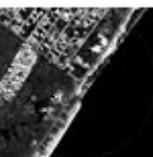
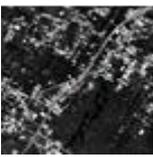


Tabela 1. Caracterização das estações urbanas e as correspondentes LCZs.

Estação Urbana	Tipo de ZCL	ESCALA LOCAL (> 1km ²) ¹					Foto Aerial
		FVC ² (0 a 1)	Taxa de edificação (%)	Taxa de superfície impermeável (%)	Taxa vegetação (%)	Taxa corpos d'água (%)	
Siqueira Campos	Ocupação compacta e edificações baixas (LCZ 3)	0,808	76,6	95,8	3,4	0	
Centro da Cidade	Ocupação compacta e edificações baixas (LCZ 3)	0,708	69,3	92,9	2,2	0	
Jardins	Ocupação aberta e edificações elevadas (LCZ 4)	0,768	46,5	50,7	12,4	6,4	
Parque da Cidade	Vegetação densa (LCZ A)	0,948	5,6	7,5	53,0	0	
Santa Maria	Ocupação desordenada e edificações baixas (LCZ 7)	0,953	24,8	49,32	9,4	0	
Praia José Sarney	Ocupação aberta e edificações baixas (LCZ 6)	0,965	12,5	23,7	6,0	50,0	
Zona de Expansão	Assentamento espaçado (LCZ 9)	0,981	91,3	73,4	24,1	0	

¹A medição dentro de um círculo de 500 metros, centrado a partir do sensor.

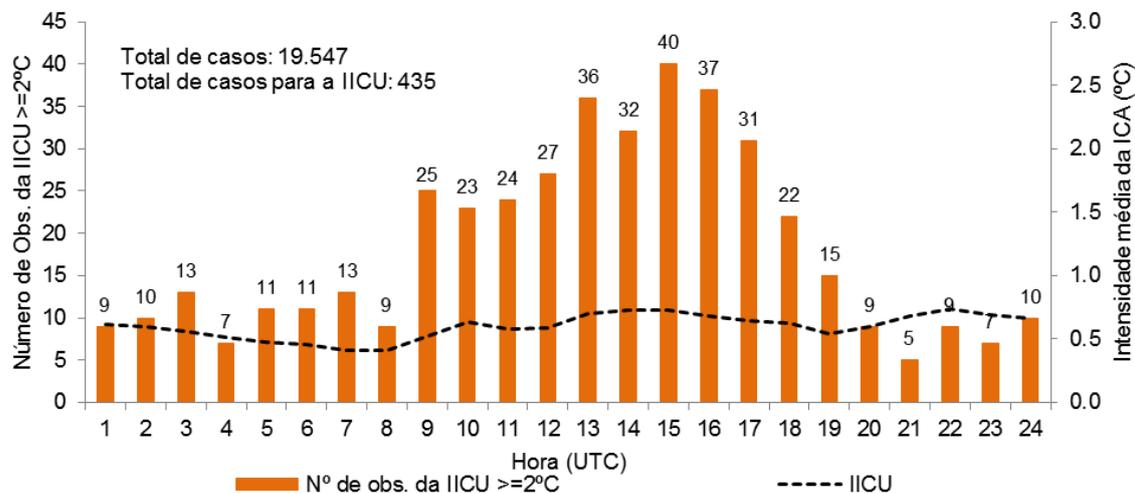
²Cálculo a partir do software SVF mapping tool (Gál e Unger, 2014).

INTENSIDADE DA ICU DE ARACAJU

De acordo com o número total de observações em que as intensidades foram iguais ou maiores que 2°C (IICU >=2°C), observou-se que a ICU em Aracaju ocorreu em 435 casos de um total de 19.547 casos analisados e, se distribuídos em cada hora do dia, os casos da ICU não ultrapassam os 40, verificando-se um pequeno aumento no número de observações da ICU no período entre as 9h as 18h, que, somados, contudo, não chegaram a 200 dos casos. A

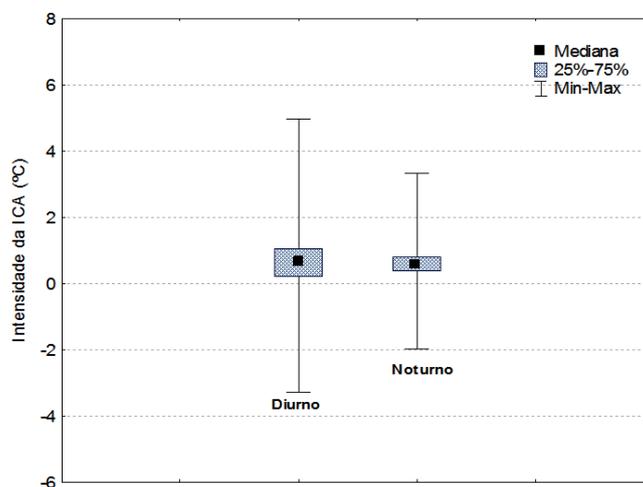
variação diária da intensidade da ICU em Aracaju se caracterizou por valores médios abaixo de 1°C no período analisado (Figura 5).

Figura 5. Média horária e número de observações maiores ou iguais a 2°C das intensidades da ICU no período de 2014-2016.



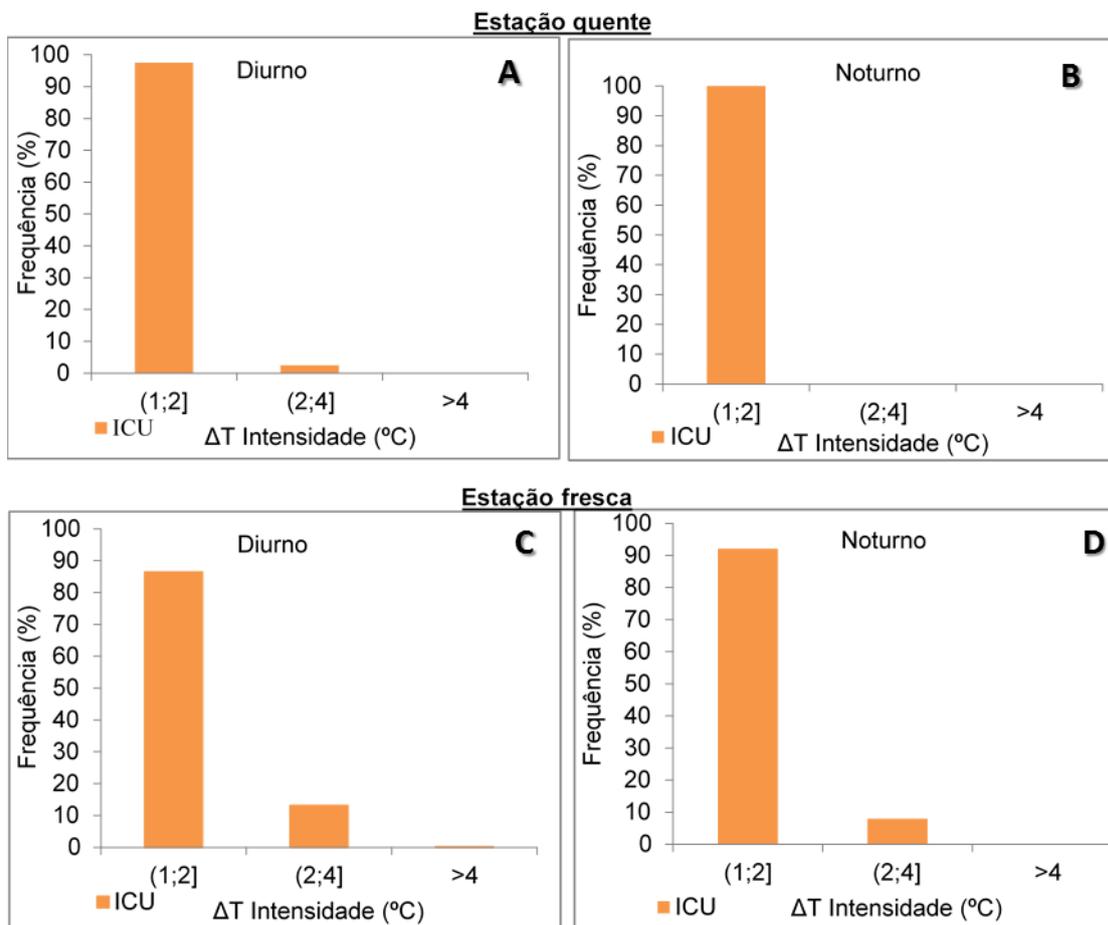
Em relação à síntese da série completa das intensidades da ICU, nota-se que a IICU não ultrapassou 1°C em ambos os turnos, diurno e noturno, entre 25% a 75% das observações. Concomitantemente, a média e a mediana da IICU ao redor de 1°C revelam o caráter pouco marcado desse fenômeno, embora verificaram-se extremos máximos da IICU de 5,5°C e mínimos de -3,3°C no período diurno e máximos de 3,5°C e mínimos de -2°C no noturno (Figura 5).

Figura 5. Síntese da série completa da intensidade da ICU no período de 2014-2016.



No que diz respeito às frequências relativas sazonais da IICU diurna e noturna, verificou-se que a classe de *intensidade baixa* (até 2°C) foi largamente a mais predominante em mais de 87% dos casos analisados quer na *estação quente* (Figura 6a,b) quer na *estação fria* (Figura 6c,d). Quanto às frequências de *intensidade média* e *intensidade forte* (entre 2 – 4°C e a partir de 4°C, respectivamente) onde se espera mais efeito sobre o estresse térmico, essas não foram expressivas, sobretudo na *estação quente* quando as mais altas temperaturas são frequentes.

Figura 6. Frequência sazonal da intensidade da ICU durante o período diurno (10h-20h) e noturno (22h-07h) referente ao período de 2014-2016.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora tenha-se verificado extremos máximos da intensidade da ICU de até 5,5°C, atualmente sabe-se que, em termos médios, a intensidade da ICU em Aracaju tanto diurna como noturna não é expressiva (entorno de 0,5°C), refletindo-se no predomínio de intensidades baixas (diferenças térmicas de até 2°C), cujas frequências superaram os 85% ao longo do ano. Essas conclusões basearam-se na RCU, a qual se mostrou fundamental na avaliação da ICU, devido principalmente aos seguintes fatores: (a) à arquitetura da rede que permitiu desenvolver uma metodologia adequada para medir a intensidade da ICU, em que a representatividade escalar (local) fosse garantida, e ao invés de considerá-la apenas pelas suas diferenças de temperatura do ar de um único ponto na área urbana e outro na área rural; (b) à atualização e ao lançamento de algumas generalizações a respeito da ICU condizentes com a realidade local.

O uso da RCU ajudou no desenvolvimento do modelo conceitual ou da natureza da ICU, fornecendo informações climáticas credíveis para serem consideradas no planejamento das cidades, principalmente num contexto em que as generalizações ou informações advindas da ICU são, em muitos casos, insuficientes ou inconsistentes nas cidades brasileiras. A crença é que, cada vez mais, os planejadores urbanos necessitam de informações mais consistentes sobre a ICU para integrá-la nos seus projetos.

O protótipo de rede apresentado neste estudo pode ser explorado em outras oportunidades de pesquisas e parcerias com setores estratégicos da sociedade em que soluções para os

problemas ambientais urbanos sejam discutidas e propostas soluções eficazes, sobretudo para as cidades que carecem e padecem de uma rede articulada.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho tem sido financiado pelo Ciência Sem Fronteiras / CAPES, programa do Ministério da Educação do Brasil (MEC), processo nº 1135-13-9. Os autores agradecem ao Professor Gerald Mills e Michael Foley pela ajuda dada na elaboração do mapa LCZs de Aracaju bem como a Alyson Fortuna pelo importante contributo dado na operação e na manutenção da RCA.

REFERÊNCIAS

- AGUILAR, E. et al. **Guidance on metadata and homogenization**: WMO/TD, n. 1186. Geneva: World Meteorological Organization. 2003. Report.
- ALCOFORADO, M. J. Planning procedures towards high climatic quality cities. Example referring to Lisbon. **Finisterra**, v. 41, n. 82, p. 49-64, 2006.
- ALCOFORADO, M. J. **Climatologia urbana para o ensino**. Lisboa: Centro de Estudos Geográficos, 2010. N.º 3. (Coleção Clima e Mudanças Ambientais – CLiMA).
- ALCOFORADO, M. J. et al. Lisbon heat island statistical study (2004-2012). **Finisterra**, v. 49, n. 98, p. 61-80, 2014.
- ALVES, E. D. L.; BIUDES, M. S. Method for determining the footprint area of air temperature and relative humidity. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 35, n. 2, p. 187–194, 2013. <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v35i2.11791>
- ALVES, E. D. L. et al. A temperatura do ar e umidade absoluta em cidade de pequeno porte: características espaciais e temporais. **Acta Scientiarum. Human and Social Sciences**, vol. 38, n. 2, p. 219-231, 2016. <https://doi.org/10.4025/actascihumansoc.v38i2.31468>
- ANDRADE, H. **Bioclima humano e a temperatura do ar em Lisboa**. Tese (Doutoramento em Geografia) – Lisboa: Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa. 2003
- ANJOS, M. W. B. **Ambiente urbano**: contrastes térmicos e higrométricos espaciais em Aracaju-Sergipe (Brasil). Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Coimbra: Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra. 2012.
- ANJOS, M. W. B. ; GANHO, N.; ARAÚJO, H. M. Uma análise dos contrastes topoclimáticos no espaço urbano e periurbano de Aracaju/SE: os campos térmicos e higrométricos. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 13, p. 298-318, 2014a. Disponível em: <<http://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/31090>>. Acesso em: 20 de novembro de 2016.
- ANJOS, M. W. B.; GANHO, N.; ARAÚJO, H. M. A ilha de calor e a umidade relativa em Aracaju-Sergipe (Brasil). Intensidade e comportamento intradiurno. **Cadernos de Geografia**, n. 33, p. 47-57, 2014b.
- ANJOS, M. W. B.; LOPES, A. Urban Heat Island first statistical assessment based on an Mesoscale Climatological Network in Aracaju/Brazil (Poster). In: 9th International Conference on Urban Climate. **Proceedings**. Toulouse: International Association for Urban Climate/ American Meteorological Society. 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Max_Anjos/publication/280566196_Urban_Heat_Island_first_statistical_assessment_based_on_an_Mesoscale_Climatological_Network_in_AracajuBrazil/links/55ba237408ae092e965d9915.pdf?origin=publication_list>. Acesso em: 20 de novembro de 2016.
- BACA, M. (Ed.) **Introduction to Metadata**: Online Edition, Version 3.0. 2008. Disponível em: <<http://www.getty.edu/publications/intrometadata>>. Acesso em: 20 de novembro de 2016.

- FIEBRICH, C. A. et al. Quality Assurance Procedures for Mesoscale Meteorological Data. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, v. 27, n. 10, p. 1565–1582, 2010. <https://doi.org/10.1175/2010JTECHA1433.1>
- GÁL, T.; UNGER, J. A new software tool for SVF calculations using building and tree-crown databases. **Urban Climate**, v. 10, n. 3, p. 594-606, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2014.05.004>
- GARCÍA F. F. **Manual de Climatología Aplicada: Clima, Medio Ambiente Y Planificación**. Madrid: Síntesis Editorial, 1996.
- GRIMMOND, C. S. B. Progress in measuring and observing the urban atmosphere. **Theoretical and Applied Climatology**, vol. 84, pp. 3–22, 2006. <https://doi.org/10.1007/s00704-005-0140-5>
- GRIMMOND, C. S. B. **Observing London: Weather data needed for London to thrive**. London: London Climate Change Partnership, 2013. Report.
- HINKEL, K. M.; NELSON, F. E. Anthropogenic heat island at Barrow, Alaska, during winter: 2001-2005. **Journal of Geophysical Research Atmospheres**, v. 112, n. 6, p. 2001–2005, 2007. <https://doi.org/10.1029/2006jd007837>
- KLJUN, N.; ROTACH, M. W.; SCHMID, H. P. A Three-Dimensional Backward Lagrangian Footprint Model For A Wide Range Of Boundary-Layer Stratifications. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 103, n. 2, p. 205–226, 2002. <https://doi.org/10.1023/A:1014556300021>
- LIN, T. P. Thermal perception, adaptation and attendance in a public square in hot and humid regions. **Building and Environment**, v. 44, n. 10, p. 2017-2026, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.02.004>
- LINDBERG, F.; GRIMMOND, C. S. B. Continuous sky view factor maps from high resolution urban digital elevation models. **Climate Research**, v. 42, n. 3, p. 177-183, 2010. <https://doi.org/10.3354/cr00882>
- LOPES, A. et al. Lisbon Urban Heat Island Updated: New Highlights about the Relationships between Thermal Patterns and Wind Regimes. **Advances in Meteorology**, v. 2013, p. 1–11, 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/487695>
- MILLS, G. et al. An introduction to the WUDAPT project. In: 9th International Conference on Urban Climate. **Proceedings**. Toulouse: International Association for Urban Climate/ American Meteorological Society, 2015. Disponível em: <http://www.wudapt.org/wp-content/uploads/2015/05/Mills_et_al_ICUC9.pdf> Acesso em: 20 de novembro de 2016.
- MULLER, C. L. et al. Sensors and the city: a review of urban meteorological networks. **International Journal of Climatology**, v. 33, n. 7, p. 1585-1600, 2013a. <https://doi.org/10.1002/joc.3678>
- MULLER, C. L. et al. Toward a Standardized Metadata Protocol for Urban Meteorological Networks. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 94, n. 8, p. 1161–1185, 2013b. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-12-00096.1>
- MORRIS, C. J. G.; SIMMONDS, I.; PLUMMER, N. Quantification of the Influences of Wind and Cloud on the Nocturnal Urban Heat Island of a Large City. *J. Appl. Meteorol.* 40, 169–182, 2001. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(2001\)040<0169:QOTIOW>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(2001)040<0169:QOTIOW>2.0.CO;2)
- NISO - National Information Standards Organization. **Understanding Metadata**. 2004. Disponível em: <<http://www.niso.org/publications/press/UnderstandingMetadata.pdf>>. Acesso em: 20 de novembro de 2016.
- OKE, T. R. Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observation. **Journal of Climatology**, vol. 1. pp. 237-254, 1981. <https://doi.org/10.1002/joc.3370010304>
- OKE, T.R. **Boundary Layer climate**. 2 ed. Methuen, London, 1987.
- OKE, T. R.; MAXWELL, G. B. Urban heat island dynamics in Montreal and Vancouver. *Atmos. Environ.* 9, 191–200, 1975. [https://doi.org/10.1016/0004-6981\(75\)90067-0](https://doi.org/10.1016/0004-6981(75)90067-0)

OKE, T. R. **Initial Guidance to Obtain Representative Meteorological Observations at Urban Sites**: Report n. 81, WMO/TD, n. 1250. Geneva: World Meteorological Organization. 2006a. Report.

OKE, T. R. Towards better scientific communication in urban climate. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 84, n. 1-3, p. 179–190, 2006b. <https://doi.org/10.1007/s00704-005-0153-0>

PETRALLI, M.; MASSETTI, L.; ORLANDINI, S. Five years of thermal intra-urban monitoring in Florence (Italy) and application of climatological indices. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 104, n. 3-4, p. 349–356, 2010. <https://doi.org/10.1007/s00704-010-0349-9>

RIZWAN, A. M.; DENNIS, L. Y. C.; LIU, C. A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. *J. Environ. Sci.* 20, 120–128, 2008. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(08\)60019-4](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(08)60019-4)

SANT'ANNA NETO, J. L. O clima urbano como construção social: da vulnerabilidade polissêmica das cidades enfermas ao sofisma utópico das cidades saudáveis. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 8, p. 45-60, 2011.

STEWART, I. D. A systematic review and scientific critique of methodology in modern urban heat island literature. **International Journal of Climatology**, v. 31, n. 2, p. 200–217, 2011. <https://doi.org/10.1002/joc.2141>

STEWART, I. D.; OKE, T. R. Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 93, n. 12, p. 1879-1900, 2012. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>

WARREN, E. L. et al. The Birmingham Urban Climate Laboratory – A high density, urban meteorological dataset, from 2012–2014. **Scientific Data**, n. 3. Disponível em: <<http://www.nature.com/articles/sdata201638>> Acesso em: 20 de novembro de 2016.