Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology
OPEN ACCESS

ILHA(S) DE CALOR URBANO DE SUPERFÍCIE EM TERRITÓRIOS DE URBANIZAÇÃO DIFUSA: O ESTUDO DE CASO DOS MUNICÍPIOS DE BRAGA E DE GUIMARÃES (PORTUGAL)

Surface urban heat island(s) in diffuse urbanization areas: the case study of Braga and Guimarães municipalities (Portugal)

Isla(s) de calor urbano superficial en territorios de urbanización difusa: el estudio de caso de los municipios de Braga y Guimarães (Portugal)

Catarina de Almeida Pinheiro
Departamento de Geografia, Universidade do Minho; Centro de Estudos de Comunição e Sociedade; Centro de Estudos de Geografia e Ordenamneto do Teritório
catarina-pinheiro@mail.com

Maria Manuela Laranjeira
Departamento de Geografia, Universidade do Minho; Centro de Estudos de Comunição e Sociedade
manuela.laranjeira@geografia.uminho.pt

Resumo: O processo de urbanização implica a conversão de superfícies permeáveis, com maior ou menor cobertura vegetal, em superfícies impermeáveis antrópica, com acentuada capacidade de armazenamento de calor e não evaporativas, pelo que desencadeiam a individualização de ilhas de calor. Nesta investigação analisa-se a evolução espaciotemporal da ilha de calor de superfície (ICS) nos municípios de Braga e de Guimarães, procurando-se estabelecer a sua relação com o crescimento urbano ocorrido no período 1984-2016. Concretamente, selecionaram-se 6 imagens Landsat, a partir das quais se extraiu o tecido urbano e a temperatura de superfície (Ts). As áreas sob efeito da ICS são delimitadas a partir de limiares definidos em função da média e do desvio-padrão de Ts em cada data, não requerendo este método a tradicional divisão prévia do território em urbano/não urbano. Sem embargo, considerando que a ICS não decorre em exclusivo das áreas urbanas, é fundamental determinar o real contributo destas. Entre 1984 e 2016 observa-se um aumento da intensidade e da extensão ICS, decorrente do crescimento urbano de Braga e de Guimarães. Consequentemente, verifica-se uma redução da proporção de área não urbana afetada pela ICS; porém, também diminui a proporção da área urbana sob efeito deste fenómeno. Este aparente paradoxo encontra explicação na edificação dispersa e nas vias rodoviárias que parecem não constituir pontos suficientemente quentes para a individualização da ICS. Neste território, a ICS assume uma configuração rizomática, que aliena a própria metáfora da ilha de calor.

Palavras-chave: Clima urbano. Temperatura de superfície. Urbanização difusa. Landsat.

Abstract: The urbanization process implies the conversion of permeable surfaces, with greater or lesser vegetation cover, into impervious surfaces (non-evaporative and strong heat storage capacity), which triggers the individualization of heat islands. This investigation analyzes the spatiotemporal evolution of the surface heat island (SHI) in the municipalities of Braga and Guimarães, seeking to establish its relationship with the urban growth that occurred in the period 1984-2016. Based on 6 Landsat images, we extract the urban tissue and the land surface temperature (LST) The areas with SHI effect are delimited from thresholds defined based on the mean and the standard deviation of LST in each date, do not requiring this method the previous traditional division of the territory in urban/non-urban. Nevertheless, considering that SHI does not occur exclusively in urban areas, it is importante to determine their real contribution. Between 1984 and 2016, there was an increase in the intensity and extent of SHI, due to the urban growth of Braga and Guimarães. Consequently, there is a reduction in the proportion of non-urban areas affected by SHI; however, the proportion of e urban area affected by this phenomenon also decreases. This apparent paradox is explained by the sparse edification and the roads which do not seem to constitute spots hot enough for the individualization of the SHI. In this territory, the assumes a rhizomatic configuration, alienates the heat island metaphor itself.

Keywords: Urban climate. Land surface temperature. Diffuse urbanization. Landsat.

Resumen: El proceso de urbanización implica la conversión de superficies permeables, con mayor o menor cobertura vegetal, en superficies antrópicas impermeables, con una marcada capacidad de almacenamiento de calor y no evaporativas, lo que desencadena la individualización de islas de calor. Esta investigación analiza la evolución espaciotemporal de la isla de calor superficial (ICS) en los municipios de Braga y Guimarães, buscando establecer su relación con el crecimiento urbano ocurrido en el período 1984-2016. En concreto, se seleccionaron 6 imágenes Landsat, de las que se extrajo el tejido urbano y la temperatura superficial (Ts). Las áreas afectadas por el ICS se delimitan a partir de umbrales definidos en función de la media y desviación estándar de Ts en cada fecha, no exigiendo este método la tradicional división previa del territorio en urbano/no urbano. Sin embargo, considerando que el ICS no se presenta exclusivamente en áreas urbanas, es fundamental determinar su contribución real. Entre 1984 y 2016, hubo un aumento en la intensidad y extensión de ICS, como resultado del crecimiento urbano de Braga y Guimarães. En consecuencia, se reduce la proporción de área no urbana afectada por el ICS; aunque, la proporción de áreas urbanas afectadas por este fenómeno también disminuye. Esta aparente paradoja encuentra una explicación en el edificio disperso y la rede de carreteras que no parecen estar lo suficientemente calientes para la individualización del ICS. En este territorio, el ICS asume una configuración rizomática, que aliena la metáfora misma de la isla de calor.

Palabras clave: Clima Urbano. Temperatura superficial. Urbanización difusa. Landsat.

Submetido em: 05/07/2022
Aceito para publicação em: 26/12/2022
Publicado em: 10/01/2023

1. INTRODUÇÃO

O crescimento urbano constitui um fenómeno ubíquo, do qual Portugal – e, particularmente, os municípios de Braga e de Guimarães – não são exceção. O processo de urbanização implica a conversão de superfícies permeáveis com maior ou menor cobertura vegetal em superfícies impermeáveis antrópicas, com grande capacidade de armazenamento de calor e não evaporativas (FORMAN, 2014). Estas transformações têm profundas implicações climáticas – que se manifestam tanto à escala local, como regional e global (WENG, 2011) –, dado que, entre outros aspetos, desencadeiam o aumento da carga térmica, e concomitantemente a individualização de ilhas de calor, por comparação com o território não alterado.

A ilha de calor urbano, presente em quase todos os aglomerados urbanos (KLOCK *et al*., 2012), constitui a manifestação mais icónica das modificações no clima causadas pela ação do Homem (ROTH, 2013). Este efeito climático da urbanização foi documentado pela primeira vez por Howard em 1820, quando o investigador constatou que a cidade de Londres detinha temperaturas mais elevadas do que o entorno rural (LIU; ZHANG, 2011). Contudo, o conceito de 'ilha de calor urbano' – do inglês '*urban heat island*' – surge apenas no início da segunda metade do século XX, com o trabalho de Mandey sobre a frequência de nevões em Inglaterra. Em 1970 o Simpósio Internacional de Clima Urbano, promovido pela Organização Meteorológica Mundial, impulsionou grandemente a investigação desta temática. O interesse despertado foi de tal modo significativo que nos dias de hoje a maior parte dos estudos e métodos da Climatologia Urbana se encontra dirigida nesse sentido (SOUCH; GRIMMOND, 2006), constituindo a ilha de calor o aspeto do clima urbano mais bem conhecido (CHEN *et al*., 2006; MIRZAEI, 2015).

Tradicionalmente, a ilha de calor urbano é identificada a partir da temperatura do ar na atmosfera urbana inferior medida nas estações meteorológicas ou obtida em medições itinerantes, porém, a recolha dos dados constitui um processo dispendioso e moroso. Face a este cenário, a utilização da temperatura de superfície (Ts) – derivada a partir de imagens de satélite – tem vindo a ganhar destaque nas investigações de Climatologia Urbana (RAO, 1972; VOOGT; OKE, 2003; GUO *et al*., 2015; JUNIOR; AMORIM, 2016; DEILAMI *et al*., 2018), uma vez que fornece uma visão sinótica e uniforme (segundo o grau de resolução) de todo o território

(WILSON *et al*., 2003; GANGULY; SHANKAR, 2014). A incorporação do infravermelho térmico nos satélites de média resolução (*e.g.*, Landsat, MODIS, ASTER), ao possibilitar uma análise detalhada da distribuição espacial e temporal de Ts à escala intraurbana, conferiu uma nova dinâmica nos estudos acerca do clima urbano, e muito particularmente da ilha de calor ao nível das superfícies (*e.g.*, WENG, 2001; OKE *et al*., 2017; ZHOU *et al*., 2019).

Vale ressalvar que, a Ts não constitui uma medição física direta, mas sim uma modelização a partir do registo da radiância efetuada por um sensor abordo de um satélite. Conquanto, como alerta Kuttler (2008), a elevação de Ts associada às superfícies artificiais constitui um dos fatores responsáveis pelo sobreaquecimento do ar nas áreas urbanas. Neste sentido, a longevidade de alguns satélites – especialmente do Landsat com mais de três décadas – permite não só monitorizar o crescimento urbano, como também comparar a temperatura (de superfície) de um dado lugar antes e depois do processo de urbanização. A este respeito lembrar que, Lowry (1977) defendia que idealmente da ilha de calor deveria ser determinada com base em medições de temperatura (do ar) antes e depois do processo de urbanização; porém, são muito raras as situações em que tal é possível, devido à inexistência de dados de estações meteorológicas que detenham a amplitude espacial e temporal necessária.

A despeito da consolidação teórica do conceito da ilha de calor na prática não se verifica consenso na sua definição (OKE, 2006), particularmente no que concerne à ICS. A multiplicidade de métodos desenvolvidos para o estudo da ICS poder-se-á agrupar em três categorias: (i) Ts como proxy da ilha de calor; (ii) diferença de Ts entre superfícies urbanas e não urbanas; e, (iii) definição de limiares de Ts em função dos valores de cada imagem. Cada método detém vantagens e desvantagens, que devem ser ponderadas em função dos objetivos da investigação. Por exemplo, a ampla utilização de Ts como proxy da ICS deve-se à sua simplicidade, porém este método não quantifica o efeito de ilha de calor, o que impossibilita a comparação entre diferentes áreas urbanas ou períodos (ZHOU *et al*., 2019). Os trabalhos assentes na diferença de Ts entre superfícies urbanas e não urbanas, mais próximos dos estudos da ilha de calor baseados na temperatura do ar (FORMAN, 2014), revelam-se de execução mais complexa. A delimitação da ICS com base neste método, intrinsecamente dependente da definição de área urbana e rural adotada (SOBRINO; IRAKULIS, 2020), encontra-se sujeita a profundas variações, impostas pelas características

quer da morfologia urbana, quer do espaço envolvente (*e.g.*, campos agrícolas, espaços florestais, desertos). A opção por métodos assentes em limiares de Ts visa minimizar estas oscilações, residindo o maior desafio neste caso na definição dos limites a adotar, da qual dependem os resultados (e conclusões) retiradas.

A despeito do aumento do número de estudo acerca da ICS, sínteses coerentes são raras (KWARTENG; SMALL, 2010), pelo que este fenómeno se encontra longe de ser plenamente entendido (VOOGT; OKE, 2003). Para tal, contribui o facto de a maior parte das investigações se centrar num único caso de estudo, ou numa data isolada, que não capta as implicações do processo de urbanização – que, por se tratar de um fenómeno *ongoing*, necessita de uma monitorização contínua. Além disto, as características climáticas (regionais, locais, sazonais, diárias), bem como a multiplicidade de formas e processos urbanos, impõem profundas variações espaciais e temporais no padrão térmico, que dificulta a generalização e transferibilidade dos resultados (OKE, 1984).

Realçar ainda que, os estudos dedicados à investigação do efeito climático da urbanização dispersa/difusa são deveras exíguos, ainda que diversos autores alertem para as diferenças entre morfologia urbana compacta e dispersa (*e.g.*, OKE, 1987; GUNAWARDENA *et al.*, 2017). Face ao exposto, o principal objetivo deste trabalho consiste no estudo da evolução espaciotemporal da ilha de calor de superfície (ICS) nos municípios de Braga e de Guimarães, entre 1984 e 2016, bem como da sua relação com o crescimento urbano verificado no mesmo período. Para tal, recorre-se a uma abordagem integrada da Deteção Remota com os Sistema de Informação Geográfica, mais concretamente ao satélite Landsat.

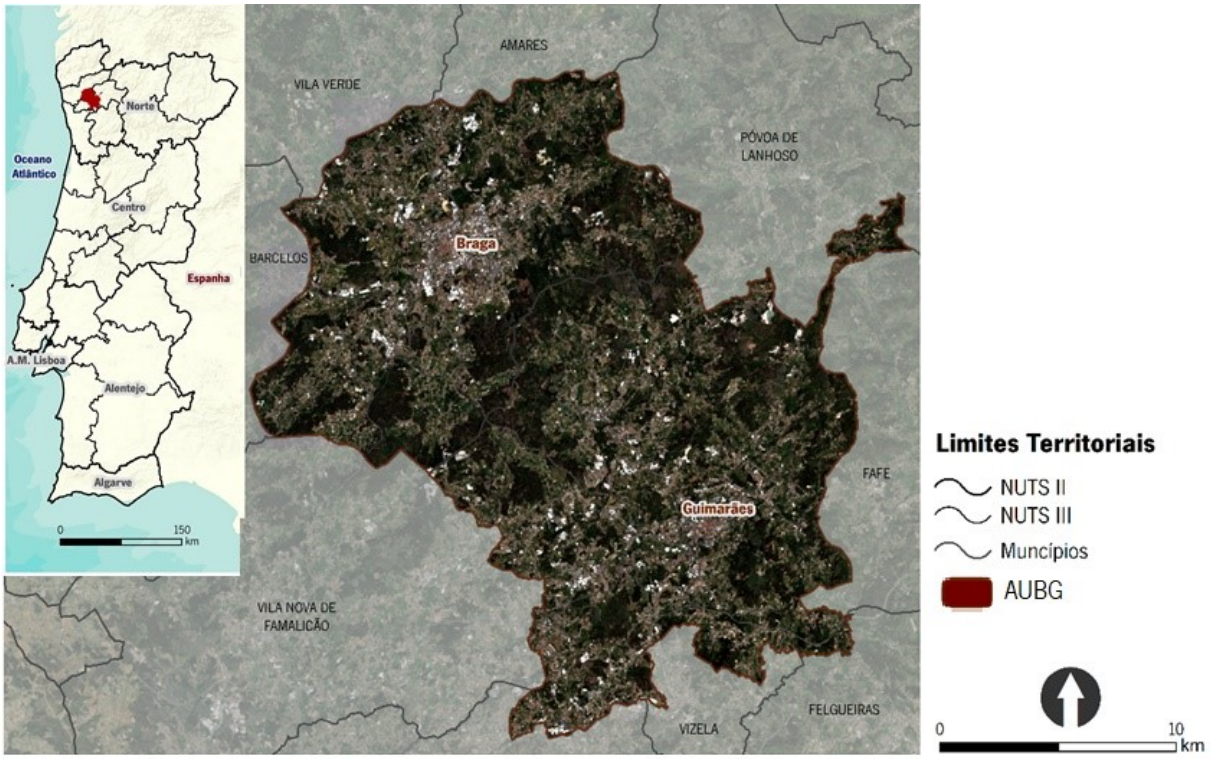
2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Área de Estudo

Os municípios de Braga e de Guimarães, adstritos, localizam-se no Norte de Portugal, mais especificamente no setor noroeste (Figura 1). Estes municípios, à semelhança de todo o noroeste português, exibem uma extensa área urbana de matriz difusa, porém densa (RIBEIRO, 1994), pelo que se poderá aludir a uma Área Urbana de Braga e de Guimarães (AUBG). Não obstante este contexto territorial comum de origens remotas, os dois municípios evidenciam, fruto de vicissitudes históricas mais recentes, uma estrutura urbana diferenciada

– sendo Braga mais densa e verticalizada do que Guimarães, onde a dispersão da habitação e das atividades económicas (*e.g.*, indústria, comércio) continuam a caracterizar o processo de urbanização (Figura 1).

Figura 1 - Localização dos municípios de Braga e de Guimarães**.**



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

No contexto da divisão climática proposta por Daveau (1985) para Portugal, os municípios de Braga e de Guimarães inserem-se na região climática designada 'fachada atlântica' (abaixo dos 600-700m). Este tipo climático relativamente chuvoso e caracterizado pela forte e persistente nebulosidade, dado ser influenciado pelas condições marítimas, apresenta alguns dias de calor moderado (temperatura média no mês mais quente entre 29 e 32^{0}C) e de frio sensível (temperatura média do mês mais frio entre 2 e 4^{0}C; DAVEAU, 1985). De acordo com a Normal Climatológica de 1970-2010 da Estação Climatológica de Braga (a única no território em estudo), a média anual da precipitação acumulada é de 1465,7mm. Os maiores quantitativos de precipitação registam-se entre o final do outono e o início da primavera. Relativamente à temperatura do ar verifica-se uma subida dos valores médios entre a primavera e o verão e uma descida destes entre o outono e o inverno (IPMA, 2019).

2.2. Procedimentos Metodológicos

Neste trabalho procedeu-se à triagem do arquivo Landsat, disponibilizado na Plataforma Earth Explorer, partindo do pressuposto que as imagens fossem da mesma estação do ano, nomeadamente do Verão, e adquiridas perante situações anticiclónicas de modo a minimizar a cobertura de nuvens, bem como as diferenças na elevação e inclinação do Sol e no estado fenológico da vegetação. Do cumprimento cumulativo destes pressupostos obtiveram-se 6 imagens adquiridas no mês de julho, designadamente: 3 do sensor TM, (1984, 2003, 2010), 1 do ETM+ (1999) e 1 do OLI (2016) (Tabela 1).

Tabela 1 - Características das imagens Landsat e anomalias da temperatura do ar (^{0}C) e da precipitação (mm) em relação à Normal Climatológica de 1971-2000

Imagem Landsat					Anomalias em relação aos valores de julho da Normal de 1971-2000*	
Sensor	**Data**	**Hora**	**Cobertura de nuvens (%)**	**Elevação do Sol**	**Temperatura média do ar (^{0}C)**	**Precipitação total (mm)**
TM	22/07/1984	10:42	0	57,4	-0,4	-7,0
ETM+	08/07/1999	11:06	0,40	63,0	+1,1	-6,0
TM	11/07/2003	10:50	10	60,2	-0,6	-2,0
TM	06/07/2007	11:07	0	63,3	-0,5	-1,0
TM	30/07/2010	11:04	0	59,2	+2,0	-12,5
OLI	14/07/2016	11:13	0,02	63,2	+2,2	-13,8

Fonte: IPMA (2016).

A série longitudinal selecionada encontra-se limitada a seis imagens, desde logo pelo facto do arquivo Landsat não dispor de imagens para a AUBG entre o final da década de 80 e a 90, do século XX. Em consequência, verifica-se uma lacuna de 15 anos, entre 1984 e 1999, ultrapassando o intervalo dos 10 anos considerado adequado para a análise do processo de crescimento urbano (BHATTA, 2010), porém o mesmo autor refere que um hiato até 15 anos é aceitável, em virtude da ausência de informação, Assim sendo, considerou-se preferível assumir estes hiatos, do que a utilização de uma data intercalar cujos resultados não fossem passíveis de uma comparação direta com as restantes imagens (*e.g.*, diferente inclinação do solo ou fenologia da vegetação).

As seis imagens Landsat foram pré-processadas no software ENVI, tendo sido efetuadas as necessárias correções radiométricas, atmosféricas (através do módulo FLAASH) e geométricas. Para a extração do tecido urbano recorre-se à combinação e classificação de diversos índices espectrais. A opção por este método assenta na simplicidade concetual e eficiência computacional (XUE *et al*., 2014). A Ts é extraída a partir da banda térmica do Landsat (*i.e*., a banda 6 no Landsat 5, a banda 6.1 no Landsat 7 e a banda 10 no Landsat 8), seguindo procedimentos descritos no Landsat Project Science Office (2001), no caso do Landsat 5 e 7, e em USGS (2013), no caso específico do Landsat 8. A emissividade adotada em cada pixel têm como referência empírica os valores definidos por Zhang *et al*. (2006) em função da segmentação do *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). A correção atmosférica segue a metodologia proposta por Coll *et al*. (2010), assente nos perfis atmosféricos do National Center for Environmental Prediction (NCEP), disponibilizados pela National Aeronautics and Space Administration (NASA).

As áreas sob efeito de ilha de calor de superfície (ICS) são delimitadas a partir do método proposto por Ma *et al*. (2009), que assenta na seguinte equação:

(1) $ICS = Ts > \mu_{Ts} + (0,5 * \sigma_{Ts})$

em que:

ICS corresponde às áreas com ilha de calor de superfície

Ts corresponde à temperatura de superfície;

$\boldsymbol{\mu_{Ts}}$ corresponde à média de Ts;

$\boldsymbol{\sigma_{Ts}}$ corresponde ao desvio-padrão de Ts.

Os valores utilizados na equação anterior (média de Ts e desvio-padrão de Ts), bem como o limiar de Ts indicativo de ICS, encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores de Ts (^{0}C) utilizados no cálculo da ilha de calor de superfície

Ano	Média (^{0}C)	Desvio-Padrão (^{0}C)	Limiar (^{0}C)
1984	27,5	2,4	28,7
1999	35,6	3,5	37,4
2003	33,8	3,1	35,4
2007	36,0	3,6	37,8
2010	38,5	4,0	40,5
2016	37,0	4,4	39,2

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

A intensidade da ICS é determinada para cada data com recurso a três formulações distintas. Assim, procede-se ao cálculo:

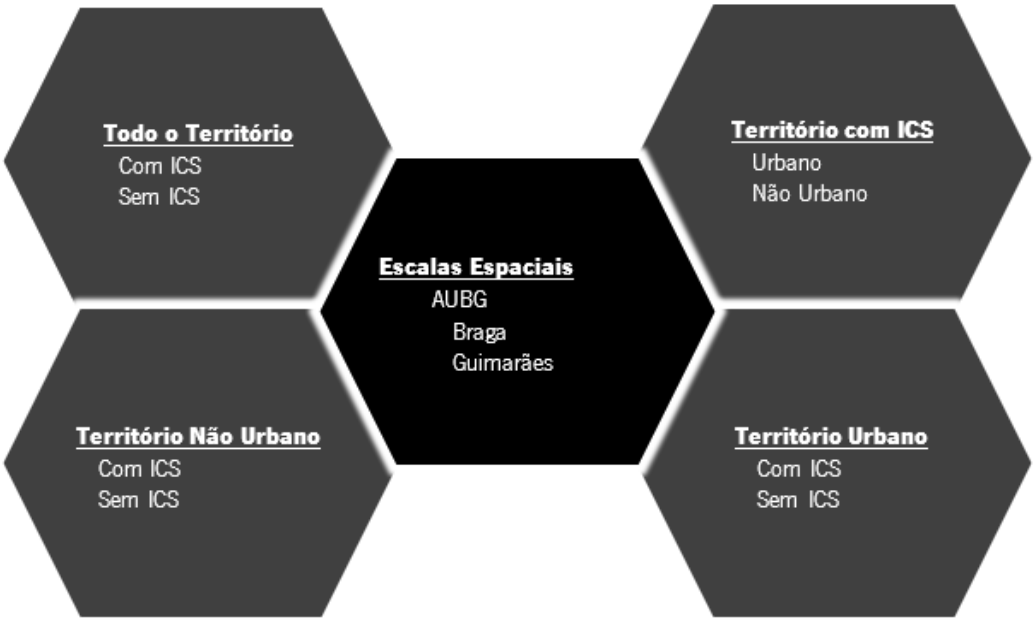
i) da amplitude de Ts na área de estudo (*i.e.*, Ts máxima – Ts mínima, no conjunto da área de estudo);

ii) da diferença de Ts entre as áreas sob efeito da ICS e as áreas sem efeito ICS (*i.e.*, Ts média do território com ICS – Ts média do território sem ICS).

iii) do índice regional de Ts, proposto por Xiong *et al*. (2012), dado pela diferença entre o valor máximo e mínimo de temperatura de uma dada área geográfica, que no caso corresponde à delimitação da ICS (*i.e.*, Ts máxima no território com ICS – Ts mínima no território com ICS; e, Ts máxima no território sem ICS – Ts mínima no território sem ICS).

Em seguida, determina-se a extensão espacial da ICS em cada uma das seis datas, tendo como referência o conjunto do território da AUBG, bem como cada um dos municípios de modo individual. Subsequentemente, partindo da divisão binária do território em urbano e não urbano, procede-se novamente ao cálculo da extensão espacial da ICS na AUBG, assim como em cada um dos municípios. Por fim, com base na interseção da ICS com o tecido urbano determina-se a percentagem de área urbana sob o efeito deste fenómeno, para as distintas escalas espaciais referidas. A Figura 2 traduz o esquema encetado na análise da ICS.

Figura 2- Esquema de análise da ilha de calor de superfície

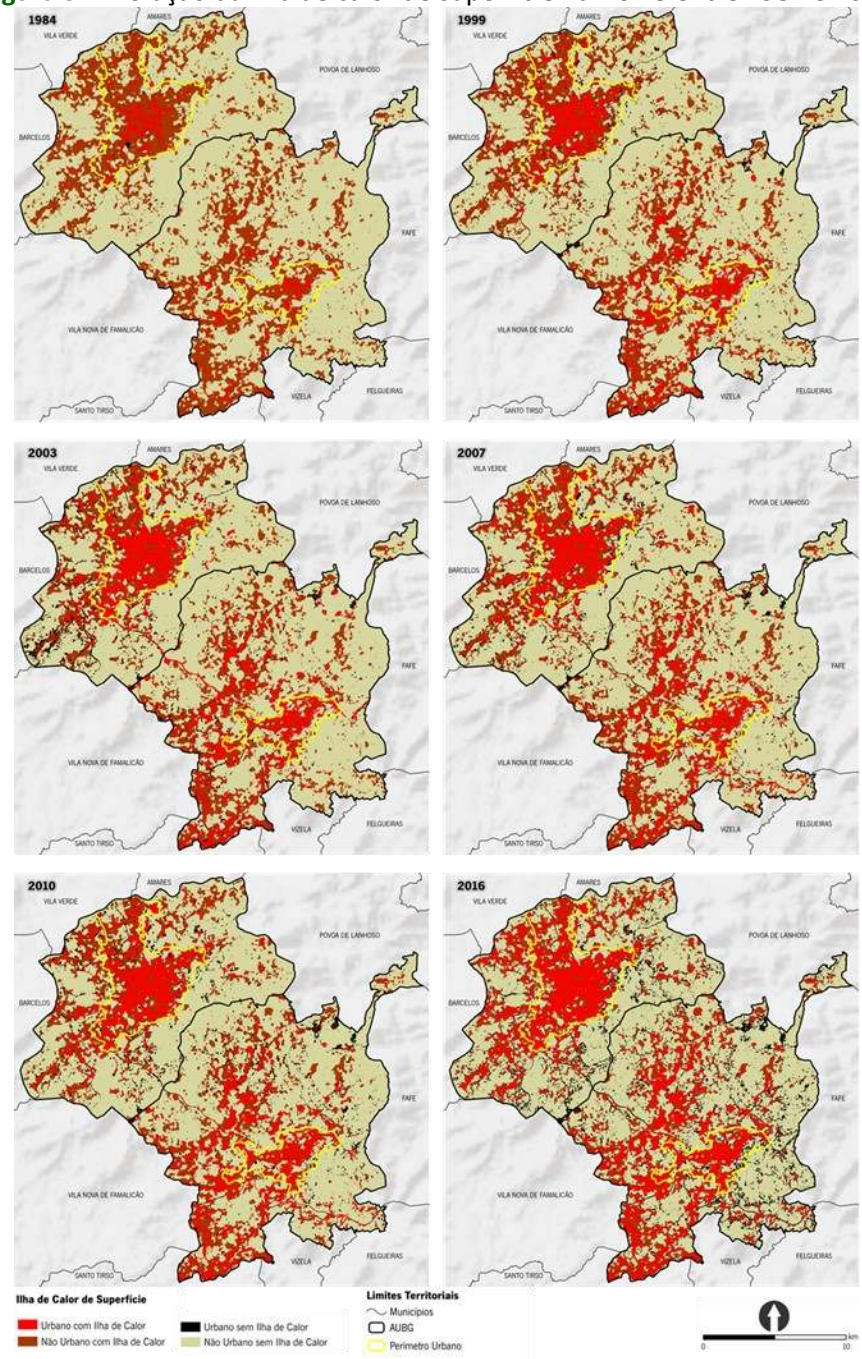


Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

3. RESULTADOS

Na AUBG a ICS apresenta um acentuado dinamismo espaciotemporal, sendo que a configuração espacial se afasta da tradicional imagem da ilha de calor, com um limite bem definido. Esta situação é particularmente evidente no município de Guimarães, onde dispersão da habitação e das atividades económicas (*e.g.*, agricultura, indústria, comércio) no território contínua a marcar o processo de urbanização (Figura 3).

Figura 3 - Evolução da ilha de calor de superfície na AUBG entre 1984 e 2016



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Nas áreas permeáveis (*i.e*., não urbano com ilha de calor) a maior volatilidade da ICS deve-se às variações interanuais nas condições meteorológicas (*e.g*., temperatura, humidade), que influenciam a cobertura do solo, que, por sua vez, ditam os fluxos de calor entre a Terra e a Atmosfera (Figura 3).

A diferença entre o valor máximo e mínimo de Ts de cada imagem traduz – em termos latos – a evolução da intensidade da ilha de calor na AUBG entre 1984 e 2016. No decorrer dos anos 32 anos em análise observa-se uma tendência de aumento da intensidade da ICS, que passa de 11, 32^{0}C, em 1984 para 23,87^{0}C, em 2016 (Tabela 3).

Tabela 3 - Intensidade da ICS (^{0}C) na AUBG entre 1984 e 2016

Data	Mínimo de Ts(^{0}C) na AUBG	Máximo de Ts (^{0}C) na AUBG	Diferença de Ts (^{0}C) na AUBG
1984	21,74	33,09	11,32
1999	26,27	45,12	18,85
2003	25,73	41,96	16,23
2007	26,81	45,08	18,27
2010	27,20	50,00	22,18
2016	26,27	50,14	23,87

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Dada a mescla dos usos do solo nos municípios de Braga e de Guimarães associada ao secular processo de urbanização difusa (Figura 3), aplica-se o método proposto por Ma *et al.* (2009) para delimitar as áreas sob efeito da ICS, que não requer uma visão dicotómica do território – *i.e*., urbano (cidade) *vs*. rural (campo). A diferença da Ts média nas áreas com ICS e nas áreas sem ICS – apresentados na Tabela 4 – confirma a tendência para o aumento da intensidade da ICS na AUBG, enunciada anteriormente (Tabela 3). A par disto, notar que, entre 1984 e 2016, a média de Ts aumenta tanto nos territórios com efeito da ICS como nos territórios que não estão sob efeito da ICS (Tabela 4; Figura 3).

Tabela 4 - Diferença da média de Ts (^{0}C) entre as áreas com ICS e sem ICS na AUBG (1984-2016)

Ano	Média de Ts nas áreas sem ICS (^{0}C)	Média de Ts nas áreas com ICS (^{0}C)	Diferença de Ts(^{0}C)
1984	26,45	30,70	4,26
1999	33,84	40,09	6,26
2003	32,26	37,79	5,53
2007	34,27	40,55	6,28
2010	36,31	43,41	7,09
2016	34,65	42,05	7,40

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

O índice regional de temperatura, proposto por Xiong *et al*. (2012), traduz as diferenças de Ts (ou seja, as amplitudes) numa dada área geográfica. A aplicação deste índice, de modo separado, aos territórios com efeito de ICS e sem efeito de ICS, coloca em evidência que as amplitudes mais elevadas se encontram nas áreas sob efeito de ICS (Tabela 5), o que indica uma maior possibilidade de mudança de Ts (XIONG *et al*., 2012). Estas áreas registam igualmente os aumentos mais expressivos do índice entre 1984 e 2016, que passa de 13,61^{0}C, em 1984, para 20,71^{0}C, em 2016 (pois, nas áreas sem ilha de calor a mudança é de 9,08^{0}C para 14,09^{0}C; Tabela 5).

Tabela 5 - Amplitude de Ts (^{0}C) nas áreas com ICS e sem ICS na AUBG entre 1984 e 2016.

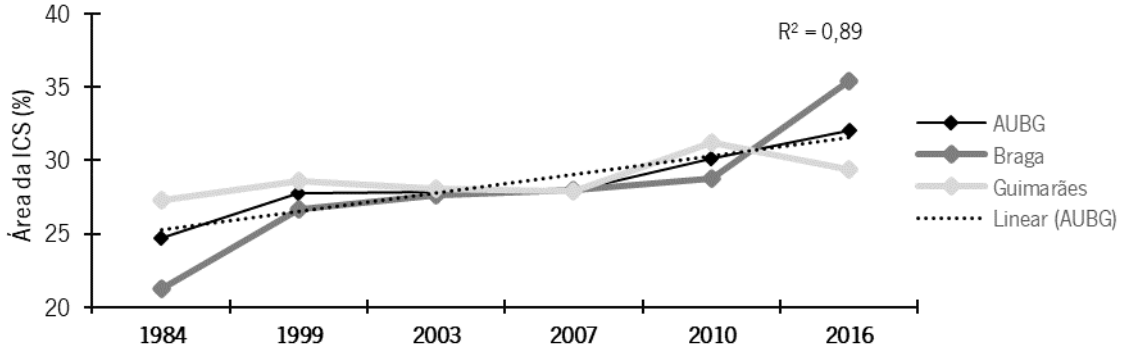
Ano	Amplitude de Ts nas áreas sem ICS (^{0}C)	Amplitude de Ts nas áreas com ICS (^{0}C)
1984	9,08	13,61
1999	16,42	18,71
2003	11,34	17,80
2007	15,27	22,15
2010	15,82	22,35
2016	14,09	20,71

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Entre 1984 e 2016, o aumento da intensidade da ICS na AUBG, transversal aos dois indicadores selecionados, é acompanhado do incremento linear da extensão espacial deste fenómeno, como comprova o R^2 de 0,89 (Figura 4). Adotando uma perspetiva comparativa entre os dois municípios, descobre-se que a ICS, por norma, é mais expressiva em Guimarães, pois somente em 2016 assume preponderância em Braga (Figura 4). A justificação para tal,

residirá no modelo urbano difuso de Guimarães, bem como a extensa mancha de solo nu, associado às áreas agrícolas, que pela baixa inércia térmica, apresentam no momento de passagem do Landsat (cerca das 11h) Ts tão ou mais elevadas do que as áreas urbanas (Figura 3). Em 2007 observa-se a distribuição mais equitativa da ilha de calor nos dois municípios (Figura 4).

Figura 4 - Extensão espacial (%) da ilha de calor de superfície na AUBG e nos municípios de Braga e de Guimarães entre 1984 e 2016**.**



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Considerando que a ICS não afeta exclusivamente as áreas urbanas, pois como referido anteriormente locais com solo nu ou com vegetação rasteira muito seca atingem igualmente Ts muito elevadas, revela-se imprescindível determinar o contributo efetivo das superfícies impermeáveis antrópicas para a sua formação. Na AUBG, observa-se um decréscimo do contributo das áreas não urbanas para a formação da ICS, e, em detrimento, um aumento da representatividade das áreas urbanas (Tabela 6). No município de Guimarães as áreas não urbanas (onde se incluem, os campos agrícolas com solo nu e seco e a áreas com vegetação rasteira, ou muito esparsa, e com baixo conteúdo de humidade) representam o maior contributo para a formação da ICS, ao contrário do que sucede em Braga. Note-se que, em Guimarães, somente em 2016 as áreas urbanas (formadas pelo tecido edificado, pavimentos, e estruturas viárias) passam a deter maior representatividade na formação da ICS, enquanto em Braga assumem primazia desde o advento do novo milénio (Tabela 6).

Tabela 6 - Repartição (%) da ilha de calor de superfície entre o território urbano e não urbano na AUBG e nos municípios de Braga e de Guimarães entre 1984 e 2016

Ano	AUBG		Braga		Guimarães	
	Urbano (%)	Não Urbano (%)	Urbano (%)	Não Urbano (%)	Urbano (%)	Não Urbano (%)
1984	17,05	82,95	20,44	79,56	15,03	84,97
1999	37,03	62,97	39,76	60,24	35,09	64,91
2003	46,69	53,31	52,03	47,97	42,68	57,32
2007	47,96	52,04	53,67	46,33	43,59	56,41
2010	48,56	51,44	55,63	44,37	43,59	56,41
2016	60,52	39,48	61,63	38,37	59,49	40,51

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Na AUBG a proporção de território não urbano afetado pela ICS regista uma diminuição quase linear entre 1984 e 2016 (verificando-se apenas uma ligeira inversão em 2010; Tabela 7), o que indica que o território permeável consumido no processo de urbanização foi o que mais contribuía para a formação da ICS. Ao mesmo tempo, a proporção de tecido urbano que não se encontra sob o efeito da ICS também aumenta neste período – esta situação transversal aos dois municípios, assume maior acuidade em Braga, com exceção da última data (Tabela 8). Assim, deste aparente paradoxo sobressai que nem todo o crescimento urbano ocorrido na AUBG entre 1894 e 2016 redundou em ICS.

Tabela 7 - Proporção das áreas não urbanas (%) sob o efeito de ICS na AUBG e nos municípios de Braga e de Guimarães entre 1984 e 2016

Ano	AUBG		Braga		Guimarães	
	Com ICS (%)	Sem ICS (%)	Com ICS (%)	Sem ICS (%)	Com ICS (%)	Sem ICS (%)
1984	21,51	78,49	17,90	82,10	24,21	75,79
1999	20,00	80,00	18,59	81,41	21,04	78,96
2003	17,79	82,21	16,40	83,60	18,80	81,20
2007	17,55	82,45	16,06	83,94	18,63	81,37
2010	19,16	80,84	16,18	83,82	21,33	78,67
2016	17,50	82,50	19,23	80,77	16,23	83,77

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Tabela 8 - Proporção de área urbana (%) sob o efeito de ICS na AUBG e nos municípios de Braga e de Guimarães entre 1984 e 2016

Ano	AUBG		Braga		Guimarães	
	Com ICS %	Sem ICS %	Com ICS %	Sem ICS %	Com ICS %	Sem ICS %
1984	88,75	11,25	80,62	19,38	96,62	3,38
1999	82,08	17,92	77,77	22,23	85,88	14,12
2003	78,88	21,12	74,49	25,51	83,36	16,64
2007	78,71	21,29	78,33	21,67	79,03	20,97
2010	76,70	23,30	75,69	24,31	77,63	22,37
2016	69,80	30,20	74,48	25,52	65,85	34,15

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Numa perspetiva sumária, observa-se que em 1984 se regista a menor proporção da AUBG afetada pela ICS (25%; Figura 4), que é determinada maioritariamente pelas áreas não urbanas (82,95%; Tabela 6), ainda que, o tecido urbano se encontre quase na totalidade sob efeito da ICS (88,75%; Tabela 8). Decorridos 15 anos, verifica-se um incremento de 3% da área sob efeito da ICS na AUBG (Figura 4), porém, no tecido urbano este é de 20% (Tabela 6). Ao mesmo tempo, também aumenta o tecido impermeável sem ICS (que passa de 11,25% em 1984 para 17,92% em 1999; Tabela 8).

Em 2003 a mudança mais significativa decorre do acréscimo do contributo do tecido urbano para a formação da ICS, sendo esta situação mais flagrante em Braga, onde passa a representar mais de metade das áreas com ICS (Tabela 8). Contudo, 25,51% do tecido urbano em Braga e 16,64% em Guimarães não originaram ICS (Tabela 5), evidenciando que o crescimento urbano disperso e as vias rodoviárias não acumulam carga térmica suficiente para se individualizarem como ilhas de calor. Em 2007 não se registam diferenças significativas na configuração da ICS, decorrente da estagnação urbana verificada nestes 4 anos (Figura 4).

Em 2010 sobressai a equidade do contributo das áreas urbanas e não urbanas para a formação da ICS (Tabela 6), ainda que aumente ligeiramente, face a 2007, a proporção das áreas não urbanas sob efeito de ICS (Tabela 7). Em 2016 regista-se a maior proporção da AUBG afetada pela ICS (32%; Figura 4), que é determinada maioritariamente pelo tecido urbano (60,52%; Tabela 6), permanecendo, ainda assim, uma parte significativa das áreas classificadas como urbana sem efeito da ICS (30,20%; Tabela 8).

4. DISCUSSÃO

Partindo da formulação proposta por Ma *et al.* (2009), que não requere uma divisão prévia do território em urbano/não urbano, delimita-se a ilha de calor ao nível das superfícies na AUBG em seis datas (1984, 1999, 2003, 2007 e 2016), por modo a entender a evolução da intensidade, extensão e configuração espacial deste fenómeno e a sua relação com o crescimento urbano. Neste sentido, o estudo encetado, ao consubstanciar tanto uma perspetiva longitudinal (balizada entre 1984 e 2016), como transversal (*i.e.*, comparação entre Braga e Guimarães), distancia-se da maior parte das investigações nesta temática que apenas se foca na variação da ICS à escala local (conforme apontado por Zhou *et al.*, 2019).

Na AUBG observa-se um aquecimento do ambiente térmico superficial entre 1984 e 2016, decorrente do incremento das temperaturas máximas e mínimas. A par disto, é igualmente notório o aumento da intensidade da ICS, ainda que este não seja claramente linear (a título de exemplo 1999 apresenta uma intensidade mais elevada do que 2003; Tabela 3, Tabela 4 e Tabela 5). A este respeito, também Chen *et al.* (2006) e Ma *et al.* (2009) não encontraram uma evolução perfeitamente linear no aumento intensidade da ICS, justificando as diferenças com as variações interanuais das condições meteorológicas.

A comparação da intensidade da ICS assume-se uma tarefa deveras complexa (SOBRINO; IRAKULIS, 2020), dada a multiplicidade de métodos e limiares empregues na definição deste fenómeno, particularmente quando se trata de estudos ao nível das superfícies. Como alertam Martin *et al* (2015), a intensidade da ICS permanece uma medida mais relativa do que absoluta. Sem embargo, o estudo efetuado por Guha *et al.* (2018) para as cidades de Nápoles e de Florença em Itália, assenta na metodologia de Ma *et al.* (2009) e igualmente imagens Landsat do mês de julho de 2016, permite-nos estabelecer algumas comparações. Assim, constata-se que na AUBG a intensidade da ilha de calor é consideravelmente mais elevada do que nas cidades italianas – concretamente 7^0C na AUBG (Tabela 4) *versus* os 3^0C de Nápoles e Florença (GUHA *et al.,* 2018). Ademais, lembrar que na AUBG em 1984 o referido valor já era de 4^0C (Tabela 4).

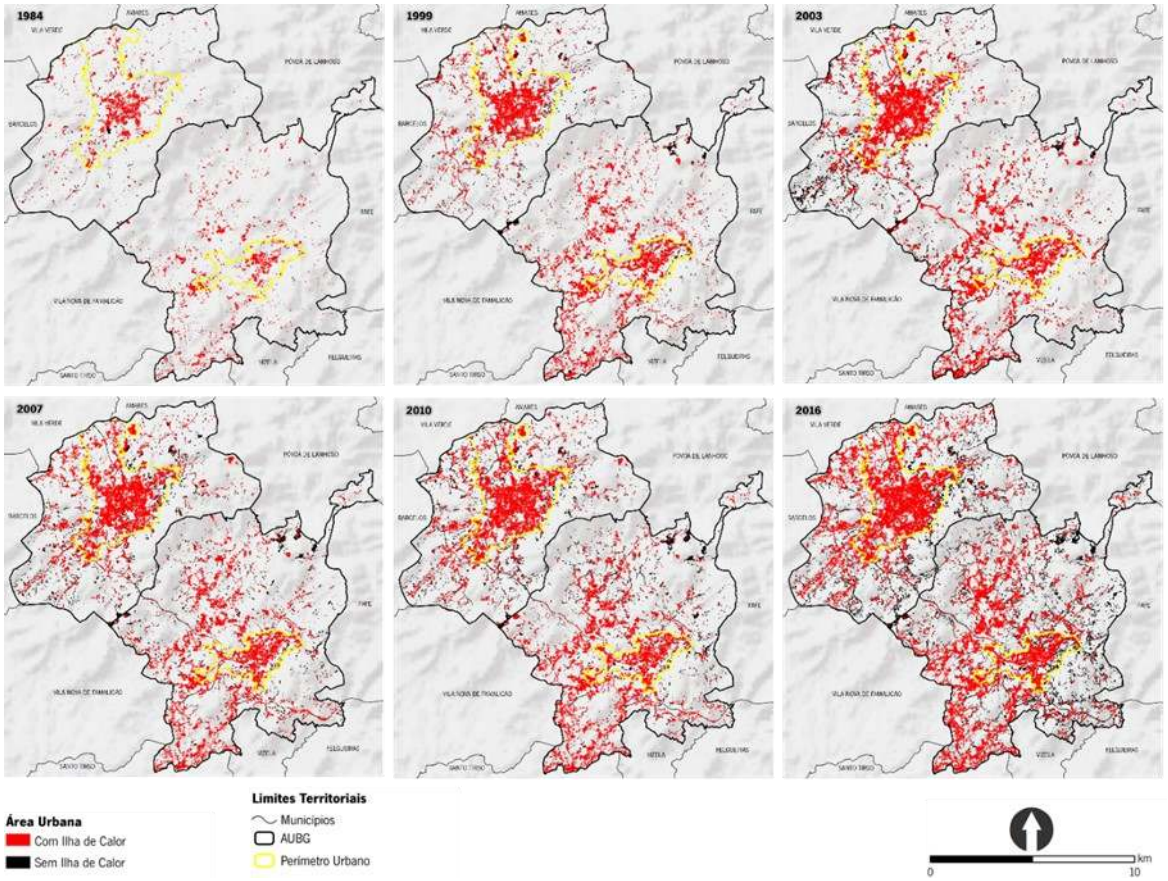
Para entender a relação da ICS com o crescimento urbano é fundamental efetuar a sua desagregação em função da bipartição do território urbano (impermeável)/não urbano (permeável), pois os locais com solo exposto ou com vegetação rasteira muito seca a Ts

atingem igualmente Ts muito elevadas. Esta situação é particularmente flagrante cerca das 11h, hora de passagem do Landsat, visto o solo nu e seco deter baixa inércia térmica (CURRAN, 1985), pelo que muda rapidamente de temperatura. De facto, na AUBG observa-se uma repartição desigual da ICS entre o urbano e não urbano, que se altera significativamente no tempo. Entre 1984 e 2016 é notório o decréscimo do contributo das áreas não urbanas para a formação da ICS, e, em detrimento, um aumento da representatividade das áreas urbanas (Tabela 6), consequência do intenso processo de urbanização verificado no município de Braga e no de Guimarães. Como manisfesta o relatório da EEA (2012), "*the observed increasing trend in land surface temperature worldwide is the most obvious aspect of anthropogenic climate change*" (p.51).

A redução das superfícies permeáveis sob efeito da ICS (Tabela 7) indica que as áreas consumidas no processo de urbanização eram precisamente as que mais contribuíam para a formação da ICS (muito provavelmente campos agrícolas, cujo solo nesta altura do ano geralmente se encontra lavrado para a sementeira do milho). Concomitantemente, também as áreas urbanas sob efeito de ICS diminuem (Tabela 8). A explicação para este paradoxo, que é apenas aparente, reside nas especificidades do modelo territorial da AUBG. De facto, ao observar-se a configuração espacial da ICS (Figura 3) percebe-se que nem todo o crescimento urbano redunda em ilha de calor, pois a edificação de carácter mais disperso, bem como as vias rodoviárias, parecem não constituir pontos suficientemente quentes para a formação da ICS, verificando-se tal apenas quando ocorre a densificação *in loco* da construção. Assim, como afirmam Qiao *et al*. (2014), *"at the same urban scale, a more compacted urban form indicated more severe UHI"* (p.7), atente-se às diferenças exibidas entre o núcleo urbano central de Braga e de Guimarães (Figura 3).

Atendendo em específico à ilha de calor urbano de superfície (ICUS) na AUBG (Figura 5), ou seja, considerando apenas as superfícies impermeáveis de origem antrópica sob efeito da ilha de calor (e colocando de parte o tecido permeável com Ts elevadas), constata-se que a própria metáfora de 'ilha' de calor se perde, pois, ancorada na rede viária – a ossatura do processo de urbanização difusa – ramifica em diversos sentidos. Como sublinha Forman (2014), "*the island metaphor or model, with core heat intensity concept (…) may be oversimplified and in need of a richer paradigm or broader perspective*" (p.137).

Figura 5 - Evolução da ilha de calor urbano de superfície na AUBG entre 1984 e 2016



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

No território da AUBG, fruto da constante interpenetração entre o urbano (impermeável) e o rural (permeável), as áreas com as Ts mais elevadas, entendidas como a 'ilha' de calor, exibem uma configuração rizomática (Figura 5) – pois como o rizoma cresce horizontalmente, sem uma direção pré-estabelecida (ou pelo menos não em primeira instância), florescendo sempre que encontra possibilidades. Adotando metaforicamente a linguagem de Deleuze e Guattari (2000), no difuso a ICUS parece que "não tem começo nem fim, mas sempre um meio, pelo qual (…) cresce e transborda" (p.31). Este conceito, advogado em específico para os resultados obtidos neste estudo, traduz ambientalmente o que Françoise Choay designa como a metamorfose da 'cidade' para o 'urbano'.

Por último, esclarecer que o padrão rizomático da ICS (e da ICUS) resultante das características *sui generis* do modelo territorial da AUBG apenas é capturado graças à elevada resolução espacial das imagens Landsat (30x30m), que possibilita uma maior separabilidade de materiais com propriedades térmicas distintas (*e.g*. albedo, emissividade, inércia). Em vista disso, com o aumento da resolução espacial da imagem de satélite (*e.g*., sensor MODIS cujo

pixel se encontra próximo de 1km) é expectável que a complexidade do padrão seja atenuada, e, que então, o rizoma ceda lugar configuração de 'ilha' mais canónica.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As especificidades do modelo territorial difuso dos municípios de Braga e de Guimarães, em associação com a elevada resolução espacial das imagens Landsat, colocam em evidência desafios no estudo da ilha de calor ao nível das superfícies. Desde logo, constata-se que ICS não afeta exclusivamente as áreas urbanas, pois áreas permeáveis, como o solo nu ou a vegetação rasteira seca, apresentam igualmente valores elevados de Ts. Entre 1984 e 2016 verifica-se um decréscimo do contributo das áreas não urbanas para a formação da ilha de calor, e, em detrimento, um aumento da importância do urbano. Com efeito, confirma-se que a evolução espaciotemporal da ICS na AUBG se encontra em estrita relação com o processo de urbanização.

Adicionalmente, observa-se que a proporção de área não urbana afetada pela ICS diminui, o que indica que as superfícies consumidas no processo de urbanização de Braga e de Guimarães foram sobretudo as que detinham Ts elevadas (*e.g.*, solo nu). Concomitantemente, também no tecido urbano se regista uma diminuição da proporção da área sob efeito da ICS. Este paradoxo, apenas aparente como mencionado anteriormente, decorre uma vez mais as peculiaridades do modelo territorial difuso da AUBG. De facto, a edificação dispersa e as vias rodoviárias parecem não constitui pontos suficientemente quentes para a individualização da ICS, pois tal apenas se verifica com a densificação urbana in loco.

Por último, o maior desafio decorrente da análise da ICS em áreas com urbanização difusa, como sucede no Noroeste de Portugal, a partir das imagens Landsat prende-se com a alienação da própria metáfora da ilha de calor – conceito âncora da Climatologia Urbana. Contudo, reforça-se que as asserções relativas à metáfora do rizoma são advogadas em específico para o território, dados e métodos empregues nesta investigação.

REFERÊNCIAS

BHATA, B. **Analysis of Urban Growth and Sprawl from Remote Sensing Data**. Heidelberg, Dordrecht, London, New York: Springer, 2010.

CHEN, X.; ZHAO, H.; LI, P.; YIN, Z. Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. **Remote Sensing of Environment**, 104(2), p.133-146, 2006. Disponível em https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.12.009. Acesso em: 04 mai. 2022.

CURRAN, P. **Principles of remote sensing**. London: Longman Group Limited, 1985.

DAVEAU, S. **Mapas Climáticos de Portugal Nevoeiros e Nebulosidade Contrastes Térmicos. Lisboa.** Lisboa**:** Memórias do Centro de Estudo Geográficos, 1985.

DEILAMI, K.; KAMRUZZAMAN, M.; LIU, Y. Urban heat island effect: A systematic review of spatio-temporal factors, data, methods, and mitigation measures. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, 67, p.30-42, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.11.016. Acesso em: 25 mai. 2022.

DELEUZE, G.; GUATTARI, F. **Mil platôs: capitalismo e esquizofrenia – volume. 1**. 2º ed. São Paulo: Editora 34, 2000.

EEA. **Climate change impacts and vulnerability in Europe 2012**. **An indicator-based report.** Copenhagen: European Environment Agency, 2012.

FORMAN, R. **Urban Ecology Science of Cities.** New York: Cambridge University Press, 2014.

GANGULY, K.; SHANKAR, G. Geo-environmental appraisal for studying urban environment and its associated biophysical parameters using remote sensing and GIS technique. **The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, 40(8), p.717, 2014. Disponível em: 10.5194/isprsarchives-XL-8-717-2014. Acesso em: 25 abr. 2022.

GUHA, S.; GOVIL, H.; DEY, A.; GILL, N. Analytical study of land surface temperature with NDVI and NDBI using Landsat 8 OLI and TIRS data in Florence and Naples city, Italy. **European Journal of Remote Sensing**, 51(1), p.667-678, 2018. Disponível em https://doi.org/10.1080/22797254.2018.1474494. Acesso em: 25 mai. 2022.

GUNAWARDENA, K.; WELLS, M.; KERSHAW, T. Utilising green and bluespace to mitigate urban heat island intensity. **Science of the Total Environment**, 584, p.1040-1055, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.158. Acesso em: 15 mai. 2022.

GUO, G.; WU, Z.; XIAO, R.; CHEN, Y.; LIU, X.; ZHANG, X. Impacts of urban biophysical composition on land surface temperature in urban heat island clusters. **Landscape and Urban Planning**, p.135, 1-10, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.11.007. Acesso em: 15 abr. 2022.

IPMA *Boletim Climatológico – julho 2016, 2016*. Disponível em http://www.ipma.pt/resources.www/docs/im.publicacoes/edicoes.online/20160804/ZtQLGjZAOdMxcajQukNP/cli_20160701_20160731_pcl_mm_co_pt.pdf. Acesso em: 25 mai. 2022.

IPMA. *Normal Climatológica de Braga*, 2019. Disponível em: http://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/004/. Acesso em: 25 mai. 2022.

JÚNIOR, J.; AMORIM, M. reflexões acerca do Sistema Clima Urbano e sua aplicabilidade: pressupostos teórico-metodológicos e inovações técnicas. **Revista do Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo**, Volume Especial(2016), p.160-173, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.11606/rdg.v0ispe.119402. Acesso em: 13 abr. 2022.

KLOCK, L.; ZWART, S.; VERHAGEN, H.; MAURI, E. The surface heat island of Rotterdam and its relationship with urban surface characteristics. **Resources, Conservation and Recycling**, 64, p.23-29, 2012. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.01.009. Acesso em: 07 mai. 2022.

KUTTLER, W. The urban climate–basic and applied aspects. *In:* SHULENBERGER, E., ENDLICHER, W., ALBERTI, M., BRADLEY, G., RYAN, C., ZUMBRUNNEN, C., SIMON, U., MARZLUFF, J. (eds.). **Urban Ecology**. Boston: Springer, 2008, p.233-248.

KWARTENG, A.; SMALL, C. Remote Sensing of Environmental Conditions. *In:* RASHED, T., JÜRGENS, C. (eds.). **Remote Sensing of Urban and Suburban Areas**. Heidelberg, Dordrecht, London & New York: Springer, 2010, p.219-244.

LIU, L.; ZHANG, Y. Urban heat island analysis using the Landsat TM data and ASTER data: A case study in Hong Kong. **Remote Sensing**, 3(7), p.1535-1552, 2011. Disponível em: https://doi.org/10.3390/rs3071535. Acesso em: 08 abr. 2022.

LOWRY, W. Empirical estimation of urban effects on climate: a problem analysis. **Journal of Applied Meteorology**, 16(2), p.129-135, 1977. Disponível em: https://doi.org/10.1175/1520-0450(1977)016%3C0129:EEOUEO%3E2.0.CO;2. Acesso em: 02 mai. 2022.

MA, Y.; KUANG, Y.; HUANG, N. Numerical study of urban expansion and its influence on urban environment using Landsat TM/ETM+ images. **Urban Remote Sensing Joint Event**, IEEE, 2009.

MARTIN, P.; BAUDOUIN, Y.; GACHON, P. An alternative method to characterize the surface urban heat island. **International Journal of Biometeorology**, 59(7), p.849-861, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s00484-014-0902-9. Acesso em: 19 mai. 2022.

MIRZAEI, P. Recent challenges in modeling of urban heat island. **Sustainable Cities and Society**, 19, p.200-206, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scs.2015.04.001. Acesso em: 02 mai. 2022.

OKE, T. Methods in urban climatology. **Applied Climatology**, 14, 19-29, 1984.

OKE, T. **Boundary layer climates**. London: Routledge, 1987.

OKE, T. Towards better scientific communication in urban climate. **Theoretical and Applied Climatology**, 84(1-3), p.179-190, 2006. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s00704-005-0153-0. Acesso em: 3 mar. 2022.

OKE, T.; Mills, G.; Christen, A.; Voogt, J. **Urban Climates**. Cambridge: Cambridge University Press, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1017/9781139016476. Acesso em: 08 abr. 2022.

QIAO, Z.; TIAN, G.; ZHANG, L.; XU, X. Influences of urban expansion on urban heat island in Beijing during 1989–2010. **Advances in Meteorology**, 11p, 2014. Disponível em: https://doi.org/10.1155/2014/187169. Acesso em:18 abr. 2022.

RAO, P. Remote sensing of urban heat islands from an environmental satellite. **Bulletin of the American Meteorological Society**, 53, p.647-648, 1972.

RIBEIRO, O. **Opúsculos Geográficos. V Volume – Temas Urbanos**. 2ª ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1994.

ROTH, M. Urban heat islands. *In:* FERNANDO, H. (ed.). **Handbook of Environmental Fluid Dynamics - Volume Two**. New York: CRC Press/Taylor & Francis Group, 2013, p.143-162.

SOBRINO, J.; IRAKULIS, I. A methodology for comparing the surface urban heat island in selected urban agglomerations around the world from Sentinel-3 SLSTR Data. **Remote Sensing**, 12(2052), 29p., 2020. Disponível em: https://doi.org/10.3390/rs12122052. Acesso em: 08 abr. 2022.

SOUCH, C.; GRIMMOND, S. Applied climatology: urban climate. **Progress in Physical Geography**, 30(2), p.270-279, 2006. Disponível em: https://doi.org/10.1191/0309133306pp484pr. Acesso em: 23 abr. 2022.

VOOGT, J.; OKE, T. Thermal remote sensing of urban climates. **Remote Sensing of Environment**, 86(3), p.370-384, 2003. Disponível em: https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00079-8. Acesso em:18 abr. 2022.

WENG, Q. A remote sensing GIS evaluation of urban expansion and its impact on surface temperature in the Zhujiang Delta, China. **International Journal of Remote Sensing**, 22(10), p.1999-2014, 2001. Disponível em: https://doi.org/10.1080/713860788. Acesso em:16 mar. 2022.

WENG, Q. Remote Sensing of Urban Biophysical Environments. *In* WENG, Q. (ed.), **Advances in Environmental Remote Sensing: Sensors, Algorithms, and Applications**. New York: CRC Press, 2011, p.503-516.

WILSON, J.; CLAY, M.; MARTIN, E.; STUCKEY, D.; VEDDER-RISCH, K. Evaluating environmental influences of zoning in urban ecosystems with remote sensing. **Remote Sensing of Environment**, 86(3), p.303-321, 2003. Disponível em: https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00084-1. Acesso em:18 abr. 2022.

XIONG, Y.; HUANG, S.; CHEN, F.; YE, H.; WANG, C.; ZHU, C. The impacts of rapid urbanization on the thermal environment: A remote sensing study of Guangzhou, South China. **Remote Sensing**, 4(7), p.2033-2056, 2012. Disponível em: https://doi.org/10.3390/rs4072033. Acesso em:16 mar. 2022.

ZHOU, D.; XIAO, J.; BONAFONI, S.; BERGER, C.; DEILAMI, K.; ZHOU, Y.; (...); SOBRINO, J. Satellite remote sensing of surface urban heat islands: progress, challenges, and perspectives. **Remote Sensing**, 11(1), 48, 36p., 2019. https://doi.org/10.3390/rs11010048. Acesso em: 23 abr. 2022.