

## **ANÁLISE CIENCIOMÉTRICA DE ILHAS DE CALOR URBANAS COM USO DE SENSORIAMENTO REMOTO DE 2000 A 2020**

### ***SCIENTOMETRIC ANALYSIS OF URBAN HEATING ISLANDS USING REMOTE SENSING FROM 2000 TO 2020***

**Estéfane da Silva Lopes**, Mestranda Programa de Pós-Graduação Projeto e Cidade  
Universidade Federal de Goiás  
email: estefane\_lopes@hotmail.com

**Karla Emmanuela Ribeiro Hora**, Dr<sup>a</sup>. em Meio Ambiente e Desenvolvimento pela  
Universidade Federal do Paraná  
email: karla\_hora@ufg.br

#### **Resumo**

No período recente, as mudanças climáticas globais verificadas pelo aumento da temperatura decorrente do lançamento de Gases de Efeito Estufa (GEE) é uma das principais evidências da ação transformadora do homem sobre o globo terrestre. Em se tratando de variações térmicas entre áreas urbanas e rurais, numa escala local ou regional, os estudos tendem a avaliar o fenômeno ilha de calor. Compreender a importância do estudo das ilhas urbanas, suas principais investigações e ocorrência podem contribuir para a análise do fenômeno nos países de urbanização tardia. Para isto, desenvolveu-se uma análise cienciométrica sobre os estudos que se debruçaram nessa temática no período de xxx a xxx, cuja triagem resultou em 169 artigos. Para esse universo foi avaliada toda a produção científica; incluindo país, ano, autores, instituições, palavras-chave, jornal (fator de impacto), clima, população e área geográfica. A metodologia empregada permite afirmar que o número de publicações relacionadas a ilhas de calor urbanas tem aumentado constantemente desde 2000. O país que mais se destacou foi a China, responsável por cerca de 40% do total dos artigos sobre ilhas de calor urbanas. Chinese Academy of Sciences, Nanjing University, foram as duas Universidades da China em que mais publicaram artigos sobre ilhas de calor urbanas. A modelagem continua sendo o principal método, e o uso de ferramentas de sensoriamento remoto ou (SIG - Sistema de Informações Geográficas) vem tomando destaque cada vez mais.

**Palavras-chave:** Ilhas de Calor Urbanas; Temperatura; Sensoriamento Remoto

#### ***Abstract***

*In the recent period, climate change, such as the increase in temperature by means of Greenhouse Gases (GHG), is one of the main evidences of the transforming action of man on the globe. In terms of thermal variations between urban and rural areas, the heat island phenomenon is not new. Understanding the importance of studying urban islands, their main investigations and occurrences can contribute to the analysis of the phenomenon in countries with late urbanization. For this, a statistical scientometric analysis was developed on the studies that focused on this theme. The screening resulted in 169 articles. For this universe, all scientific production was evaluated; including country, year, authors, institutions, keywords, newspaper (impact factor), climate, population and geographic area. The methodology used allows us to state that the number of publications related to urban heat islands has steadily increased since 2000. The country that stood out the most was China, responsible for about 40% of the total articles on urban heat islands. Chinese Academy of Sciences, Nanjing University, were the two Universities in China*

where they published the most articles on urban heat islands. Modeling continues to be the main method, and the use of remote sensing tools or (GIS - Geographic Information System) has been increasingly highlighted.

**Keywords:** Urban Heat Islands; Temperature; Remote Sensing.

## 1. Introdução

As ilhas de calor urbanas são um fenômeno que tem sido estudado por muitos anos, cujos trabalhos iniciais datam da década de 50 (Lombardo, 1985).

Para Oke (1997) as ilhas de calor urbanas são causadas principalmente pelo desenvolvimento urbano que resulta uma maior temperatura de superfície terrestre, além de poder ser observada usando dados de sensoriamento remoto e não apenas dados meteorológicos. Entretanto os estudos sobre ilhas de calor urbanas não ajudam apenas a perceber o desenvolvimento de um meio urbano em longo prazo, mas melhorar a qualidade de vida de uma dada região. (Chen et al.,2020)

Métodos tradicionais de monitoramento de ilhas de calor urbanas, incluindo estações meteorológicas, observação de ponto fixo custam muita mão de obra, recursos materiais e dinheiro. No entanto, o uso de dados de sensoriamento remoto via satélite infravermelho vem sendo uma tecnologia vantajosa devido a sua eficácia que pode detectar de forma dinâmica e abrangente a mudança do ambiente térmico urbano de grandes áreas com maior agilidade. (ZHA et al.,2003)

Deng et al., (2009); Hu; Brunsell, (2013); Budhiraja; Pathak; Agrawal, (2017); Dorigon; Amorim,(2011); Wang et al., (2019) apresentam os efeitos causados pelas ilhas de calor urbanas ao redor do mundo.

Conhecer a magnitude e o significado das ilhas de calor urbanas numa dada localidade torna-se relevante para definir diretrizes para um planejamento urbano eficiente e sustentável, considerando, assim, o bem-estar da população que na cidade reside.

Revisões cenciométricas sobre ilhas de calor urbanas, além oferecem uma melhor base para pesquisas atuais e futuras são cruciais para a formulação de estratégias eficazes para a mitigação de ilhas de calor urbanas. Ademais, considerando o cenário de aumento demográfico nos países em desenvolvimento e com urbanização tardia, a sua compreensão pode auxiliar na tomada de decisão sob uma perspectiva ambiental. Com a pesquisa ora proposta, pode-se interpretar o grau de relevância do tema e obter material de apoio para futuras pesquisas.

## 2. Metodologia

Esta seção apresenta uma revisão de literatura dos estudos sobre ilhas de calor urbanas por meio de sensoriamento remoto ou (SIG-Sistema de Informações Geográficas) de 2000 a 2020, incluindo país, ano, autores, instituições, palavras-chave, jornal (fator de impacto), clima, população e área geográfica, foram examinadas usando um conjunto de estatística descritiva cuidadosamente examinada na literatura de ilhas de calor urbanas.

Os artigos selecionados foram provenientes de publicações em revistas em inglês de 2000 a 2020, usando os bancos de dados Science Direct, Scopus, Web of Science e Enginner Village, e os seguintes strings de busca “island heat urban” AND “remote sensing” OR “GIS”. A pesquisa gerou

um total de 5558 artigos. Eles foram rastreados para verificar se estudavam a temperatura da superfície urbana ou o ambiente térmico, lendo o título, resumo e artigo completo. A triagem resultou em 169 artigos. Estes foram lidos e examinados com maior acurácia. A sua seleção considerou todas as publicações e artigos utilizaram imagens de satélite para calcular a Temperatura de Superfície da Terra e Ilhas de Calor Urbanas.

De acordo com Grant (2007); Booth (2001), a revisão sistemática de literatura pode ser definida como sendo um método para integrar ou comparar os resultados dos estudos qualitativos. De acordo com os autores, o conhecimento acumulado ao longo deste tipo de revisão sistemática, permite identificar o desenvolvimento de uma nova teoria, uma "narrativa" abrangente, uma generalização mais ampla ou uma "tradução interpretativa". Para uma confiança nestes estudos é imprescindível o rigor do método e sua descrição.

De acordo com Perillo; Campos; Abreu-Harbach, (2017), a revisão sistemática de literatura (RSL) é constituída pelas seguintes etapas: planejamento, condução e extração ou documentação. A etapa de planejamento define-se questões importantes para uma condução adequada e precisa. A escolha da questão de pesquisa que se deseja obter com a revisão bem como a seleção das bases dados que serão utilizadas para pesquisas bem como a formulação de strings.

Para a pesquisa em questão, a RSL pretende responder as seguintes questões:

Quais são as imagens que são mais utilizadas?

Quais são os programas mais utilizados para o tratamento de imagens com esta finalidade?

Quais os modelos para quantificar as ilhas de calor?

Resultados obtidos na determinação das ilhas de calor urbanas em situações semelhantes com a pesquisa proposta. Entendem-se como situações semelhantes, pesquisas realizadas em cidades do porte de Goiânia e localizadas em climas semelhantes.

Uma vez que as questões foram escolhidas, optou-se em utilizar as bases de dados que mais possuem trabalhos na área para a realização da busca. De acordo com trabalhos semelhantes, as seguintes bases de dados foram utilizadas: Science Direct, Scopus, Engineering Village e Web of Science.

Ressalta-se que, como objetivo de atingir trabalhos de relevância internacional, optou-se em utilizar apenas bases de dados internacionais. Existem no Brasil diversas pesquisas que avaliam o uso de imagens de satélites para mapeamento de ilha de calor e alguns deles não foram relatados aqui. Isto não quer dizer que os trabalhos não tenham qualidade nem são relevantes. Apenas utilizou-se um critério que permitisse uma busca sistematizada e optou-se em utilizar estas bases de dados internacionais.

A partir da escolha das bases de dados, optou-se em construir uma string de busca para auxiliar a responder as perguntas propostas inicialmente. Assim, analisou-se palavras-chave de alguns artigos relevantes. Constatou-se que a maioria utiliza o termo *remote sensing* em relação aos dados obtidos por imagens de satélite, todavia alguns artigos usam o termo *Geographic Information System* (GIS). Foi constatado que existem inúmeras publicações relacionadas às ilhas de calor urbanas e *heat island urban* foi o mais encontrado.

Assim definiram-se os *strings* de busca, formulada com base em pesquisas preliminares e contendo as palavras chaves (*heat island, urban*) AND (SIG or *Remote Sensing*). Para este trabalho, restringiu-se a busca ao ano de publicação, limitando entre os anos de 2000 e 2020.

A etapa de Condução parte das definições anteriores, determinaram-se critérios de inclusão e exclusão de artigos por meio da leitura de títulos, resumos e dos artigos completos. Neste processo também ocorreu à exclusão de artigos em outra língua, que não fosse inglês e português, bem como àqueles em que não foi possível ter disponibilidade ao acesso gratuito ao texto completo, por meio do convênio dos Periódicos CAPES.

Com a leitura dos artigos foram excluídos aqueles em que cujo tema era apenas análise da temperatura da superfície da terra, mitigação de ilhas de calor urbanas, conceitos sobre o tema ilhas de calor urbanas ou que não realizassem o uso de ferramentas de sensoriamento remoto.

A etapa de Extração ou Documentação é a última do processo de RSL. Uma vez que os artigos forem aderentes a busca, a síntese dos resultados foi realizada. Nesta etapa, os resultados serão separados em análise cienciométrica onde informações como bases de dados que estão inseridos, autores, ano de publicação, institutos de pesquisas, locais de pesquisas, palavras-chave, fator de impacto JCR (Journal Citation Report), entre outras informações. Nas etapas seguintes do trabalho, os artigos serão classificados em áreas de atuação e principais resultados obtidos, além da análise crítica dos artigos encontrados.

A análise cienciométrica faz parte da primeira etapa da documentação, onde foram levantadas dos arquivos selecionados, as seguintes informações:

- Base de dados;
- Ano de publicação;
- Instituições envolvidas;
- Países das instituições envolvidas;
- Autores que mais publicaram;
- Fator de impacto: tanto o JCR (jornal citation report) como citiscore);
- Palavras-chave mais utilizadas;
- Países do estudo de caso;
- Tamanho da cidade estudo de caso bem como a região climática que ela se localiza.

Além destes aspectos bibliométricos, outras informações qualitativas de cada trabalho foram levantados. Nesta etapa, as informações levantadas permitirão responder as questões supracitadas, de forma a permitir a conclusão do trabalho de revisão sistemática. São essas:

- Fonte da imagem utilizada;
- Forma de vetorização;
- Programa computacional utilizado para análise das imagens;
- Estação do ano analisada nos estudos;
- Varição das temperaturas obtidas nas ilhas de calor;
- Turno.

### 3. Resultados

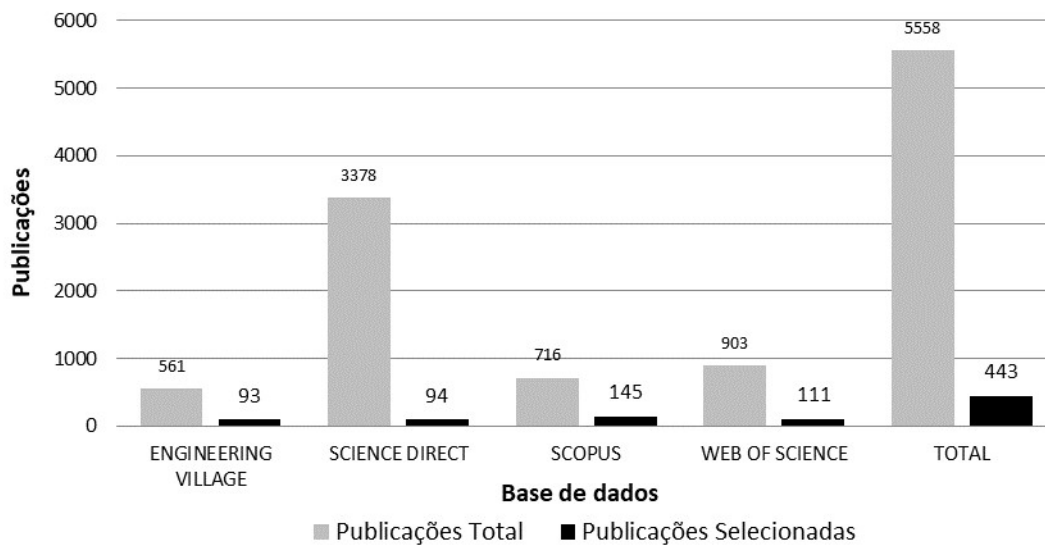
A busca nas bases de dados internacionais ocorreu em março de 2020, com uma seleção prévia de 5.558 artigos, que resultou em 169 artigos aderentes, conforme apresentado na Tabela 1.

Artigos selecionados nas bases de dados escolhidas	5558
Artigos com duplicidade	711
Artigos selecionados por títulos	443
Artigos selecionados por resumos	219

Artigos completos não disponíveis/outro idioma	45
Artigos completos selecionados	169

**Tabela 1: Critérios de seleção dos artigos. Fonte: Elaborado pela autora**

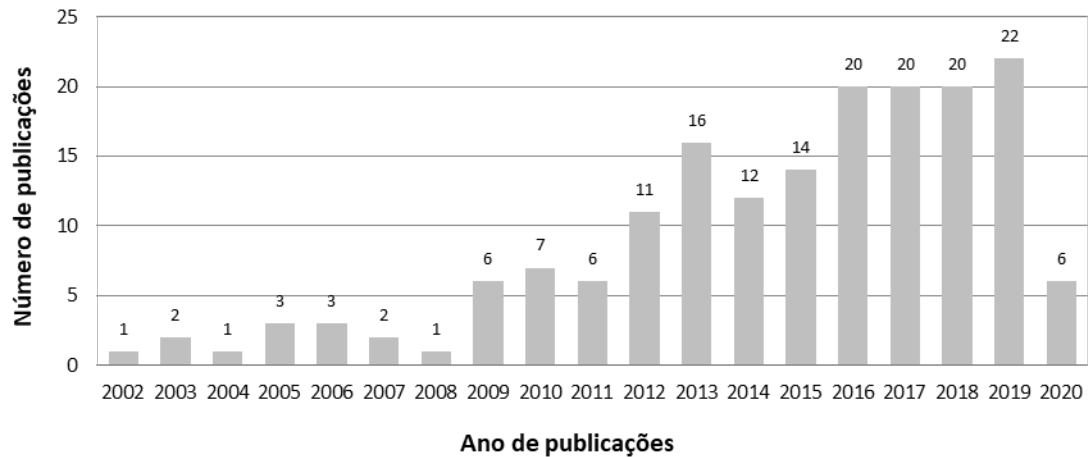
A Figura 1 apresenta a distribuição dos arquivos encontrados por bases de dados. Observa-se que a Science direct foi a que mais apresentou artigos selecionados (3378 sendo 60 % do total). Entretanto, observa-se que apenas 94 % foram aceitos por títulos. Sendo assim, podemos destacá-la como a base que apresentou a maior porcentagem de artigos selecionados.



**Figura 1: Distribuição das publicações pela base de dados. Fonte: Elaborado pela autora**

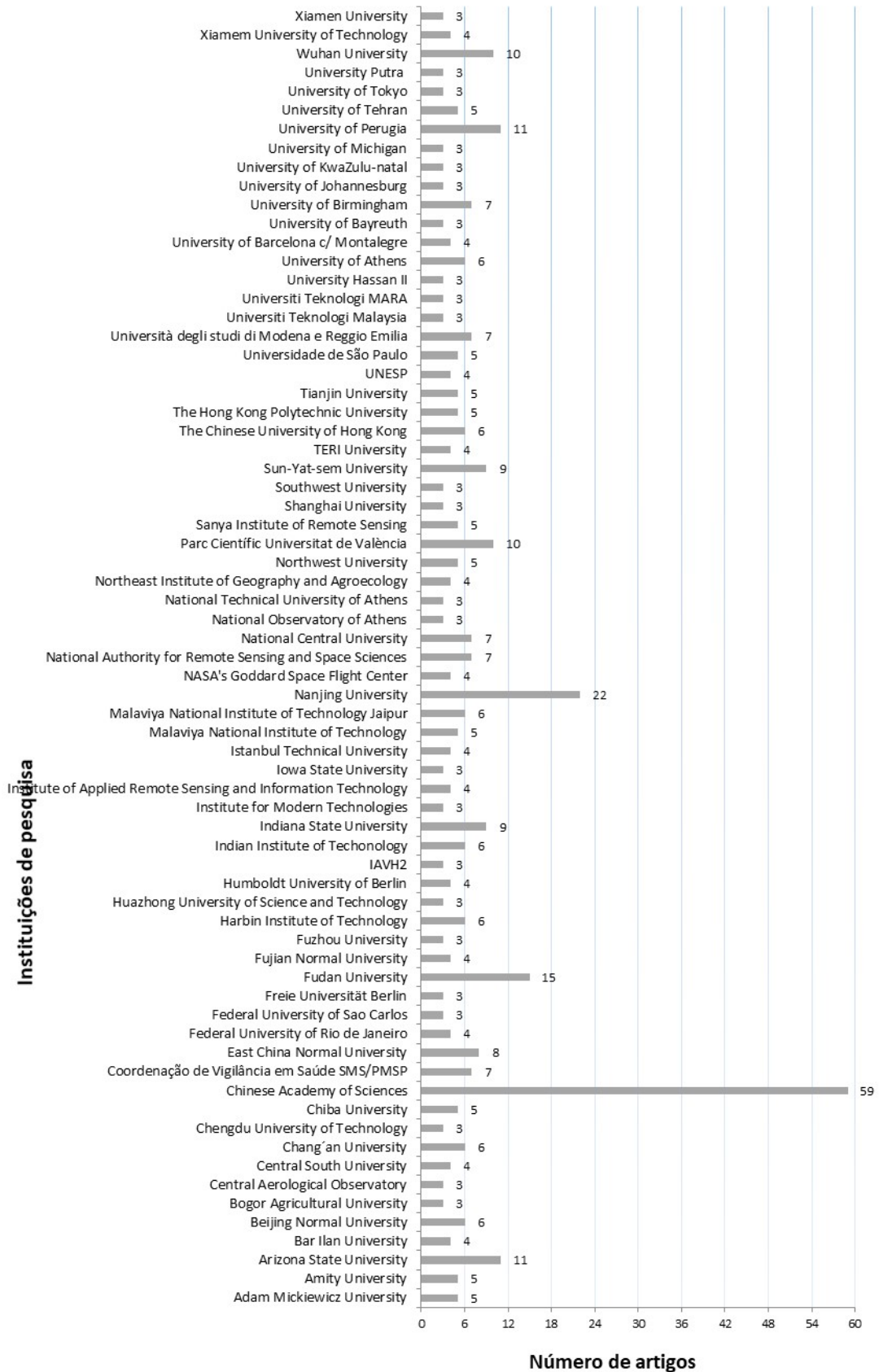
Revisões anteriores de autores de Perillo (2017), Pacheco (2016) E Paula (2017) foram feitas utilizando a mesma base de dados e obtiveram a mesma eficiência em relação à porcentagem de aceitação dos artigos, notando-se que, a base de dados Scopus apresenta maior confiança com 20% de aceitação dos artigos, sendo comparada a Engineering Village com 16%, Web of Science com 12%, e Science Direct com 2% de aceitação dos artigos, dados que nos mostram que o programa Scopus apresenta melhor precisão na realização de buscas por Strings de buscas e, conseqüentemente, melhor resultado.

Quanto ao período das publicações, é importante ressaltar que a pesquisa se compreendeu nos últimos 20 anos. A distribuição das publicações aderentes ao longo destes anos pode ser vista na Figura 2. É possível observar que ocorreu um aumento dos números de publicações nos últimos anos. No início do século, era possível observar uma tendência de 2 publicações anuais e atualmente o número de publicações é em torno de 22 publicações por ano. Quase 66% das publicações deste período ocorreram nos últimos sete anos, fato este que pode ser justificado pelo aumento da busca por conforto térmico no ambiente urbano.



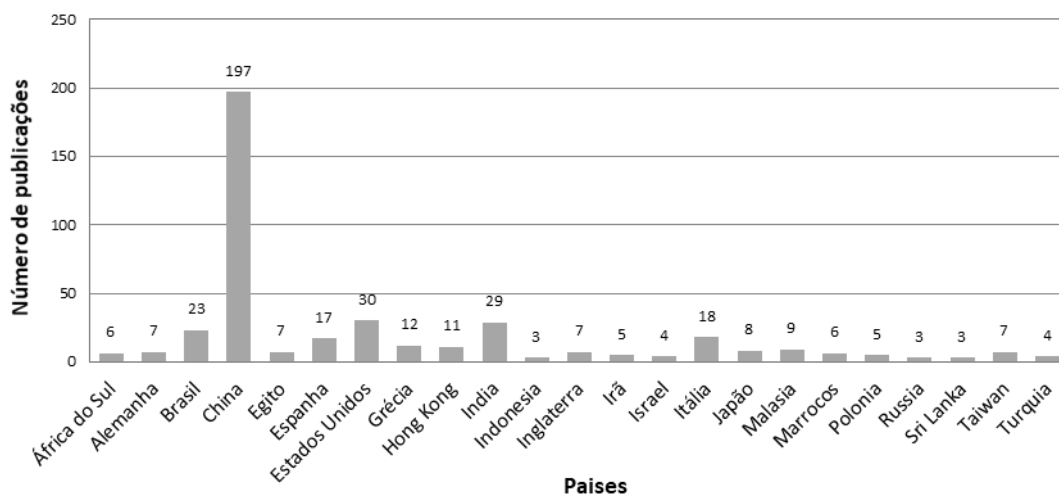
**Figura 2: Distribuição das publicações por ano. Fonte: Elaborado pela autora**

Examinaram-se, também, as instituições de pesquisa que mais tem se preocupado com este assunto. Conforme pode ser verificado na Figura 3, as instituições com os maiores números de publicações são Chinese Academy of Sciences com 59 publicações, seguida pela Nanjing University com 22 publicações e Fudan University com 15 publicações, ambas localizadas na China.



**Figura 3: Distribuição dos artigos pelas Instituições de pesquisa . Fonte: Elaborado pela autora**

Além desta análise, se verificou os países de origem das instituições de ensino. No total, 23 países possuem instituições de ensino e/ou pesquisa que apresentam pesquisadores que publicaram artigos sobre o tema proposto. Em destaque absoluto, a China apresentou 197 instituições que participaram das pesquisas, enquanto Estados Unidos e Índia 30 e 29 instituições, respectivamente. A Figura 4 apresenta o conjunto dos 23 países com o respectivo número de instituições de cada um deles.



**Figura 4: Número de instituições de pesquisa/ensino por País. Fonte: Elaborado pela autora**

Ao se analisar os autores envolvidos nas publicações aderentes, um total de 502 autores diferentes foram encontrados. Deste total, apenas 41 possuíam mais de uma publicação, sendo 31 destes com 2 publicações, outros 7 com 3 publicações, 1 com 4 e 2 autores com 5 publicações. A Figura 5 apresenta os respectivos autores e o total de publicações.



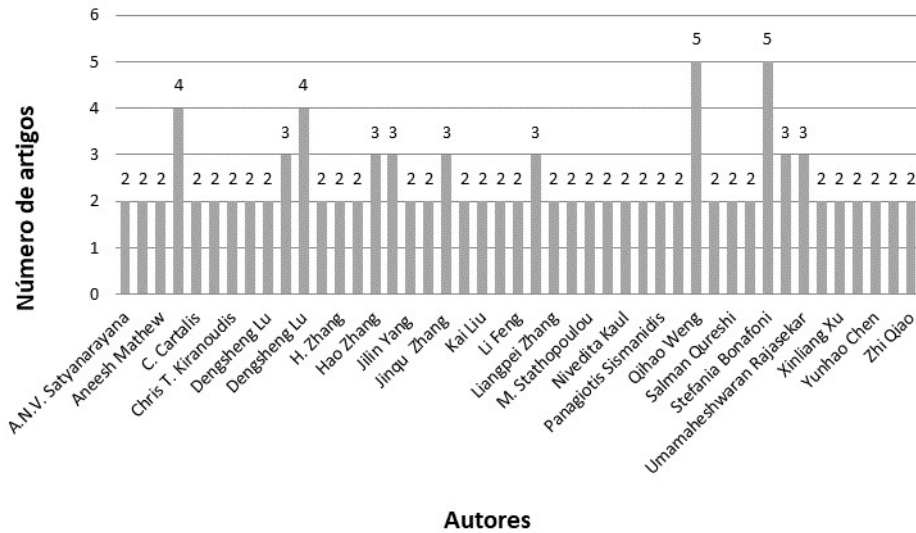
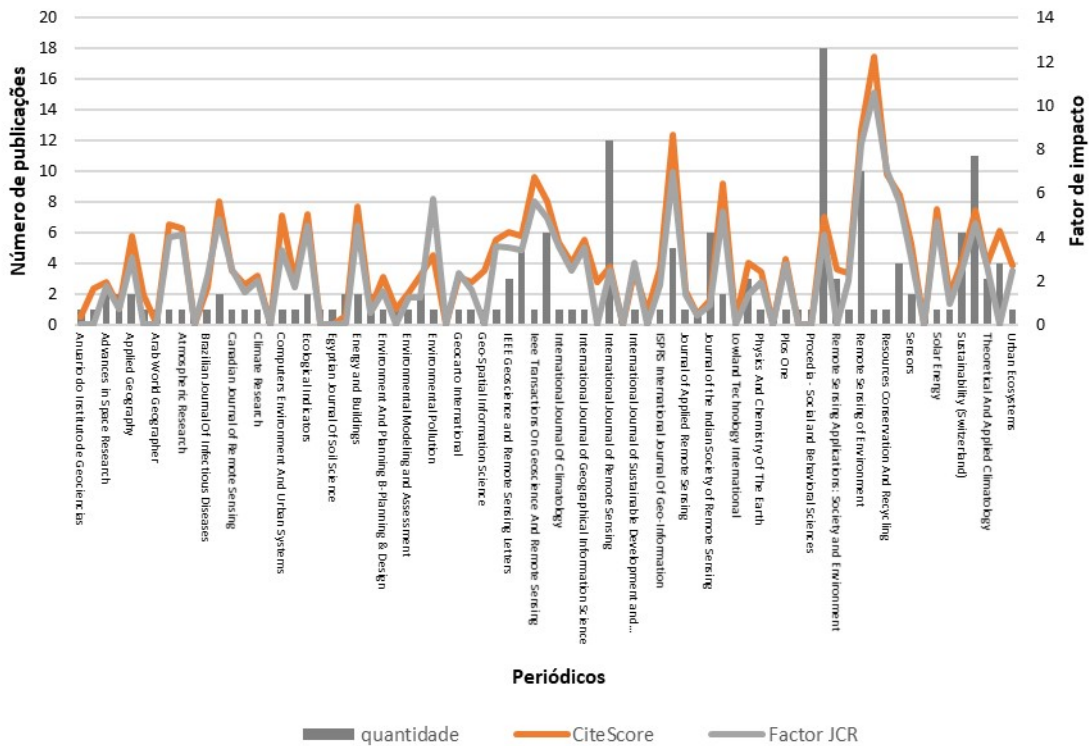


Figura 5: Distribuição de número de artigo por autores. Fonte: Elaborado pela autora

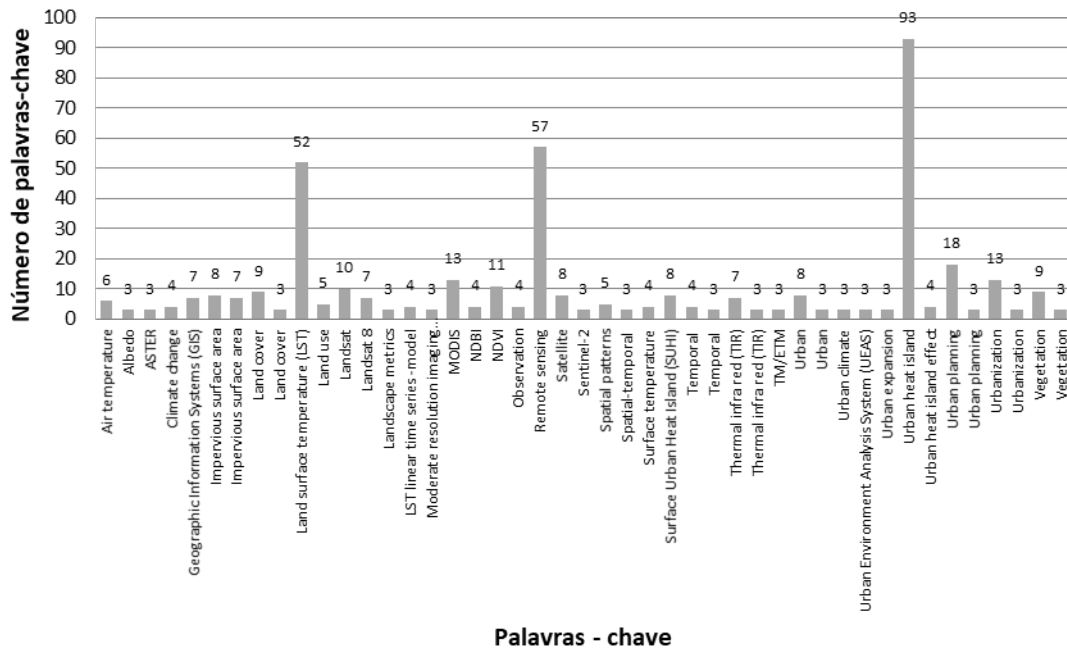
Outro aspecto bibliométrico analisado foi o local das publicações dos artigos aderentes. Para tal, se verificou os periódicos que mais publicaram. Além disto, verificou-se também o fator de impacto dos mesmos. Foram verificados dois fatores de impactos: o CiteScore, da Elsevier e o (JCR –Journal Citation Report ), da Clarivate Analytics. Estes dois fatores de impacto são os mais relevantes no cenário mundial. A Figura 6 apresenta a quantidade de artigos por cada periódico bem como os dois fatores de impacto supracitados.



**Figura 6: Publicações por periódicos e fator de impacto. Fonte: Elaborado pela autora**

É possível verificar que o periódico que mais teve artigos selecionados foi *Remote Sensing*, com 18 publicações e JCR de 4,12 e um *CiteScore* de 4,89. Em média, os periódicos que constavam os artigos selecionados possuem um JCR de 2,81 e um *CiteScore* de 2,29. Dentre os periódicos, destaca-se o *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Embora só um dos artigos selecionados faça parte deste periódico (YANG, WANG, KALOUSH, 2015), este periódico é o que possui o maior fator de impacto (JCR =12,21 e *CiteScore* =10,55). Dos 169 artigos, apenas 10 fazem parte de periódicos que não possuem nenhum fator de impacto. Isto aponta para uma amostra relevante, publicada, em grande maioria, em locais de relevância internacional.

O último aspecto da parte cienciométrica foi as palavras-chave verificadas nos trabalhos aderentes. No total, verificou-se 850 palavras-chave diferentes. Deste total, 564 apareceram mais de uma vez. A Figura 7 apresenta as palavras-chave que se repetiram 3 ou mais vezes. Destas, destacam-se: *Urban heat island*; *Remote Sensing* e *Land Surface Temperature (LST)*, com aparições em 93, 57 e 52 artigos, respectivamente.



**Figura 7: Principais palavras-chave. Fonte: Elaborado pela autora**

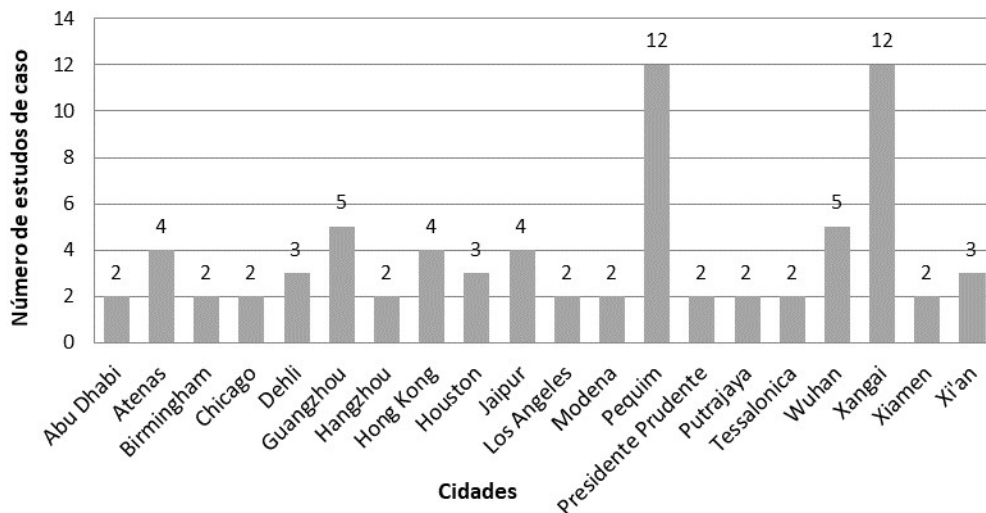
Sendo assim, iniciou-se a análise do local de estudos destes artigos aderentes. Uma vez que estamos falando de clima urbano, tanto o tamanho da cidade como a posição geográfica delas afetam diretamente os resultados obtidos.

Os artigos selecionados realizaram estudos de caso em 32 países diferentes (Alemanha, Bélgica, Brasil, China, Coreia do Norte, Coreia do Sul, Egito, Emirados Árabes, Espanha, Estados Unidos, Estônia, Filipinas, França, Grécia, Hong Kong, Ilha da Reunião, Índia, Indonésia, Inglaterra, Irã, Israel, Itália, Japão, Malásia, Marrocos, Nigéria, Países Baixos, Polônia, Romênia, Sri Lanka, Tailândia e Vietnã, distribuídos por quatro continentes, conforme pode ser visto na Figura 8. A Ásia foi o continente com maior porcentagem dos trabalhos aderentes, com quase 70% dos estudos de caso.



**Figura 8: Distribuição dos estudos de casos por continente. Fonte: Elaborado pela autora**

Do total de 169 artigos, foram estudados 32 países, sendo a China o país que recebeu o maior número de estudos (63 artigos sendo responsável por quase 40% dos estudos). Além da China, destacam-se os Estados Unidos e Índia, com 13 artigos cada, além do Brasil (6 artigos) e a Grécia (5 artigos) conforme apresentado na Figura 9.



**Figura 9: Distribuição dos estudos de caso entre os Países. Fonte: Elaborado pela autora**

No total, ocorreram estudos de casos em 32 cidades. Algumas destas tiveram mais de um estudo, destacando as cidades chinesas Pequim e Xangai (12 estudos cada) e Guangzhou Wuhan (5 estudos cada). Estes estudos contemplaram cidades de diversos tamanhos o que acarreta uma maior intensidade da ilha de calor. Destaca-se que a grande maioria dos estudos ocorreu em cidade acima de 1 milhão de habitantes, principalmente um número maior de estudos em cidades acima de 5 milhões de habitantes.

#### 4 . Considerações Finais

A revisão cienciométrica permitiu verificar aumento significativo nas publicações de ilhas de calor urbanas com o uso de imagens de satélite desde 2009, com grande viés para o período, autores e países de publicação, jornais e fator de impacto publicado, além de palavras que mais se repetem e áreas geográficas, bem como clima e tamanho populacional foram focos de pesquisa.

O conhecimento de vários estudos de caso sobre ilhas de calor urbanas foi muito enriquecido pelos estudos anteriores, embora as variações de temperatura obtidas em ilhas de calor urbana permanecem altas. Atualmente vem crescendo consideravelmente o uso do sensoriamento remoto ou (GIS - Sistema de Informações Geográficas) para o uso de determinação de LST, incluindo as diferenças obtidas entre resolução de imagens, e o aumento do uso de pesquisas espaço temporais.

É importante que seja dada maior atenção as regiões ainda não estudadas como (no Brasil, por exemplo, existem estudos de caso apenas em São Paulo, no Rio de Janeiro e Goiânia), já as cidades da China apresentam 60% da concentração dos estudos. É notória também certa resistência a utilização de dados de sensoriamento remoto, já que existem consideráveis pesquisas com metodologias que utilizam informação espacial da

temperatura do ar por meio de estações meteorológicas, fator que limita a pesquisa devido à falta de agilidade e facilidade de mapeamento de maiores proporções de cidades, visto que mapeamentos com dados de sensoriamento remoto podem ser uma abordagem fácil e direta para aquisição de dados da temperatura do ar.

Observa-se que dentre os estudos apontados, parte relevante investiga a formação e identificação de ilhas de calor urbanas, apontando à média e/ou variação de temperatura em determinada área da cidade, se tratando de pesquisas quantitativas, e pouco se pesquisa se partindo do qualitativo, sobre as interferências do fenômeno ilhas de calor urbanas em relação às cidades. Sendo assim sugere-se uma segunda abordagem, selecionando os artigos aderentes pelos fatores morfológicos urbanos ou geometria urbana e materiais de superfície ou uso do solo.

## REFERÊNCIAS

- Amorim M.C.C.T., Dubreuil V., Quenol H., Sant'anna Neto J.L., "Características das ilhas de calor urbanas em cidades de porte médio: exemplos de Presidente Prudente (Brasil) e Rennes (França)", *Revista Confins (Paris)*, v. 7, p. 1-16, 2009
- Booth, A. Systematic reviews of health information services and systems. *Health Information and Libraries Journal* 2001, 18, 60–3.
- BUDHIRAJA, B.; PATHAK, P.; AGRAWAL, G. Spatio-temporal variability of urban heat islands in local climate zones of Delhi-NCR. In: REMOTE SENSING TECHNOLOGIES AND APPLICATIONS IN URBAN ENVIRONMENTS, 4 out. 2017, Warsaw, Poland. Anais. Warsaw, Poland: SPIE, 4 out. 2017. p. 37. Disponível em: <<https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-ofspie/10431/2280253/Spatio-temporal-variability-of-urban-heat-islands-in-local-climate/10.1117/12.2280253.full>>. Acesso em: 11 maio 2019.
- CHEN Z., HAO X., ZHANG X.. ,Have traffic restrictions improved air quality? A shock from COVID-19. *Journal of Cleaner Production*. 2020.
- Grant, M. J. The role of reflection in the library and information sector: a systematic review. *Health Information and Libraries Journal* 2007, 24, 155–66.
- HU, L.; BRUNSELL, N. A. The impact of temporal aggregation of land surface temperature data for surface urban heat island (SUHI) monitoring. *Remote Sensing of Environment*, v. 134, p. 162–174, jul. 2013.
- LOMBARDO, Magda Adelaide. A ilha de calor nas Metrôpoles: o exemplo de São Paulo. São Paulo: Hucitec, 1985.
- OKE, T. R. Boundary layer climates. 2 nd ed. London and New York: Routledge. 1987.
- PERILLO, P. J. L.; CAMPOS, M. A. S.; ABREU-HARBICH, L. V. DE. Conforto térmico em salas de aula: revisão sistemática da literatura. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, v. 8, n. 4, p. 236–248, 31 dez. 2017.
- WANG, Z F, The Relationship Between Land Use, Land Cover Change, And The Heat Island Effect In Xi'an City, China, *Applied Ecology and Environmental Research*, v. 17, n. 4, 2019.
- ZHA, Y., GAO, J. e NI, S. (2003). Uso de diferença normalizada índice incorporado no mapeamento automático de áreas urbanas Imagens da TM. *Jornal Internacional de Sensoriamento Remoto*, 24 (3), 583–594.

