



Artigo de Revisão

e-ISSN 2177-4560

DOI: 10.19180/2177-4560.v17n12023p23-44

Submetido em: 18 jul. 2022

Aceito em: 30 dez. 2023

Estudo da ilha de calor urbano para aplicação em Itaperuna: revisão sistemática das metodologias para classificação da área urbana em zonas climáticas locais

Study of urban heat island for application in Itaperuna: systematic review of methodologies for classification of urban areas in local climate zones

Estudio de isla de calor urbano para aplicación en Itaperuna: revisión sistemática de metodologías para clasificación de áreas urbanas en zonas climáticas locales

Rílden Gomes Rodrigues  <https://orcid.org/0000-0002-1046-5851>

Instituto Federal Fluminense.

Mestre em Engenharia Ambiental pelo Instituto Federal Fluminense: Macaé, RJ, BR

E-mail: rildengr@gmail.com

Luiz Pinedo Quinto Junior  <https://orcid.org/0000-0002-0608-2524>

Instituto Federal Fluminense.

Doutorado em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade de São Paulo. Professor Titular do Instituto Federal Fluminense, Brasil

E-mail: luizpinedo@uol.com.br

Hélio Gomes Filho  <https://orcid.org/0000-0002-6221-9898>

Instituto Federal Fluminense.

Doutorado em Políticas Públicas e Formação Humana pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Professor do Instituto Federal Fluminense, Brasil

E-mail: heliogomes58@gmail.com

Resumo: Áreas urbanas apresentam uma temperatura mais elevada do que a região rural, um fenômeno climático conhecido como Ilhas de Calor Urbano (ICU). A partir de uma revisão sistemática, que identificou inconsistências comuns nas publicações sobre as ICU, as Zonas Climáticas Locais (ZCL) foram desenvolvidas como uma forma de melhor classificar os espaços urbanos e rurais, a fim de relatar e comparar os estudos de ICU. O objetivo deste artigo é compreender as metodologias empregadas na classificação da área urbana em ZCL ao realizar uma revisão sistemática dos artigos que avaliam a ICU com o uso das ZCL, o que irá direcionar o estudo da ICU em Itaperuna. Um total de 264 artigos foram encontrados a partir do uso de palavras-chave na base de dados Web of Science, sendo que 79 foram selecionados para a análise a partir da aplicação de critérios de seleção. Desta forma, foram investigados os métodos e programas utilizados para classificar áreas em ZCL, além das técnicas e programas utilizados para analisar os dados meteorológicos nesses artigos. Os resultados possibilitam um direcionamento para a melhor forma de classificação das ZCL, além de orientar quanto à forma de obtenção e análise dos dados meteorológicos.

Palavras-chave: Zonas Climáticas Locais. Ilha de Calor Urbana. Itaperuna. Revisão.

Abstract: Urban areas experience a higher temperature than their rural region, a climatic phenomenon known as Urban Heat Islands (UHI). From a systematic review, which identified common inconsistencies in publications on the UHI, the Local Climate Zones (LCZ) were developed to better classify urban and rural spaces, in order to report and compare the UHI studies. The objective of this article is to understand the methodologies used in the classification of urban areas in LCZ by carrying out a systematic review of articles that assess the UHI with the use of LCZ, which will guide the study of the UHI in Itaperuna. A total of 264 articles were found using keywords in the Web of Science database, 79 of which were selected for analysis based on the application of selection criteria. In this way, the methods and programs used to classify areas in LCZ were investigated, in addition to the techniques and programs used to analyze the meteorological data in these articles. The results provide guidance for the best way to classify the LCZ, in addition to providing guidance on how to obtain and analyze meteorological data.

Keywords: Local Climate Zones. Urban Heat Island. Itaperuna. Review.

Resumen: Las áreas urbanas experimentan una temperatura más alta que su región rural, un fenómeno climático conocido como Islas de Calor Urbano (ICU). A partir de una revisión sistemática, que identificó inconsistencias comunes en las publicaciones sobre la ICU, se desarrollaron las Zonas Climáticas Locales (ZCL) como una forma de clasificar mejor los espacios urbanos y rurales, para informar y comparar los estudios de la ICU. El objetivo de este artículo es comprender las metodologías utilizadas en la clasificación de las áreas urbanas en las ZCL mediante la realización de una revisión sistemática de los artículos que evalúan la ICU con el uso de las ZCL, que orientará el estudio de la ICU en Itaperuna. Se encontraron un total de 264 artículos utilizando palabras clave en la base de datos Web of Science, de los cuales 79 fueron seleccionados para su análisis en base a la aplicación de criterios de selección. De esta forma, se investigaron los métodos y programas utilizados para clasificar áreas en ZCL, además de las técnicas y programas utilizados para analizar los datos meteorológicos en estos artículos. Los resultados brindan orientación sobre la mejor manera de clasificar los ZCL, además de brindar orientación sobre cómo obtener y analizar datos meteorológicos.

Palabras clave: Zonas Climáticas Locales. Isla de Calor Urbana. Itaperuna. Revisión.

1 Introdução

As alterações que a humanidade gera no ambiente natural mudam os ecossistemas e, por consequência, os fluxos de matéria e energia existentes, criando uma dinâmica diferente da que existia anteriormente. A urbanização representa uma dessas alterações, onde asfalto e concreto passam a dominar as superfícies, no lugar da cobertura natural. A presença desses materiais e a falta de espaços verdes tende a aumentar a absorção da radiação solar e a quantidade de calor nessas áreas, mantendo uma temperatura mais elevada do que a região ao seu entorno que se encontra pouco ou não urbanizada, causando o fenômeno climático conhecido como Ilha de Calor Urbana (ICU).

Além desse fenômeno, o intenso uso de energia para transporte, refrigeração, climatização, iluminação e processos industriais também são fontes antropogênicas de calor e geram emissões de gases que intensificam o efeito estufa e provocam o aquecimento global, que já é de 1°C acima dos níveis pré-industriais (IPCC, 2018). As causas e consequências desses fenômenos, que se estendem do microclima até o macroclima, se somam, dando a essa questão uma dimensão global, que é sentida com maior intensidade, porém, no ambiente urbanizado. Um exemplo desse aumento se encontra na zona norte de São Paulo, onde pode-se observar um aumento de 2°C na temperatura média em relação a 1961 (TAKAHASHI, 2020).

Cerca de 55% da população mundial vive em cidades e a expectativa da ONU é que essa proporção aumente para 70% até 2050. Para que essas pessoas possam viver em um ambiente mais favorável, torna-se importante que as cidades implementem medidas que visem a mitigar os fenômenos de aquecimento,

sabendo que eles provocam uma série de impactos sobre a população urbana, aumentando o consumo de energia para climatização, resfriamento e a demanda de pico durante o verão, além de causar efeitos danosos à saúde da população, prejudicando o conforto térmico interno e externo, aumentando a concentração de poluentes na baixa atmosfera e, conseqüentemente, prejudicando a saúde (SANTAMOURIS, 2015b). Existe ainda um impacto econômico advindo da queda da produtividade, humana e agrícola, causado por temperaturas elevadas (DERYUGINA e HSIANG, 2014).

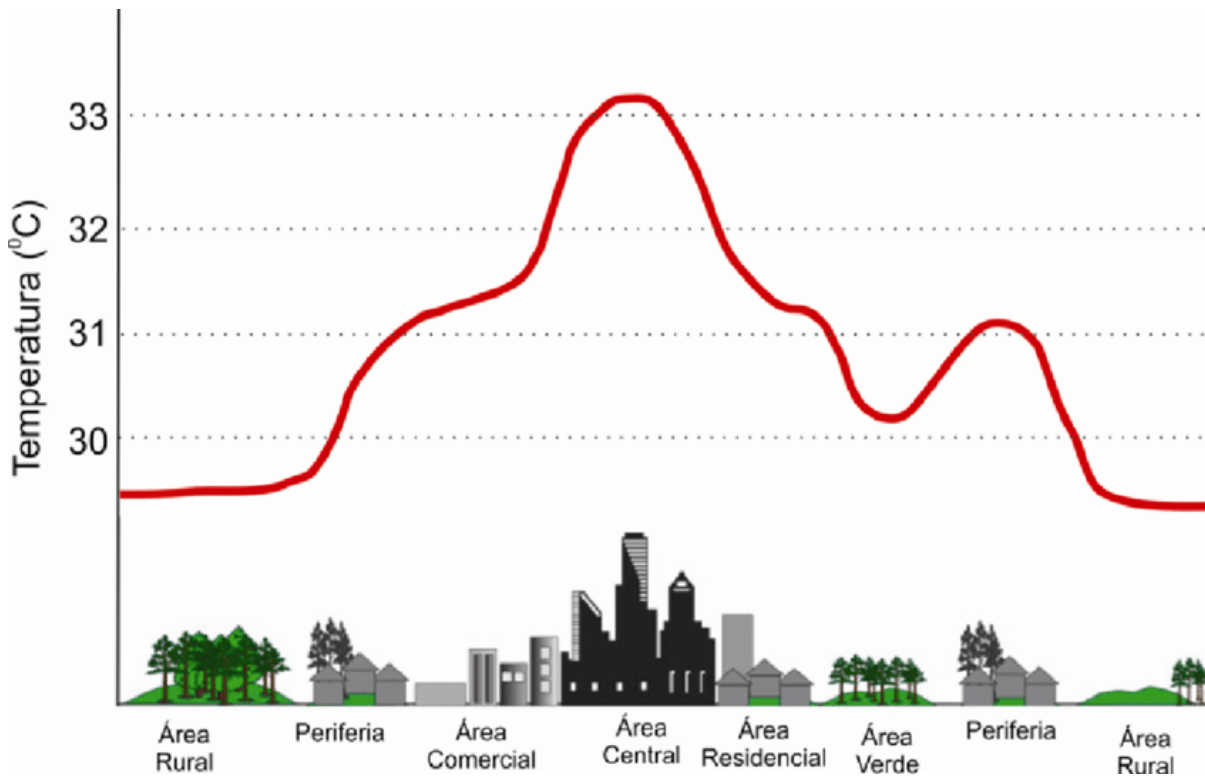
Itaperuna é uma cidade conhecida pelo desconforto térmico causado pelas elevadas temperaturas, chegando aos 40°C (G1, 2015). Xavier *et al.* (2000) indicam que a temperatura média está se elevando, e análise realizada pelo Climate Impact Lab estima o aumento da quantidade de dias com temperatura igual ou maior que 32°C de 114 em 1990 para 145 em 2017, com projeções de aumento entre 180 e 232 dias até 2070 (The New York Times, 2018). Isso intensifica a necessidade de compreender a dinâmica climática local que causa essas temperaturas elevadas, bem como de encontrar formas de planejar a construção do espaço urbano a fim de mitigá-las.

2 Revisão Teórica

2.1 Ilhas de Calor Urbano (ICU)

Ilhas de calor são caracterizadas pela manifestação de temperaturas notavelmente elevadas nas áreas urbanas em relação às áreas rurais de seu entorno, como ilustra a Figura 1. São formadas em áreas urbanas e suburbanas devido à transformação de nossas cidades e são resultado da redução da vegetação e da evapotranspiração, da prevalência de superfícies escuras e com baixo albedo, além da produção antropogênica de calor, como é possível observar na Figura 2 (MOHAJERANI, 2017).

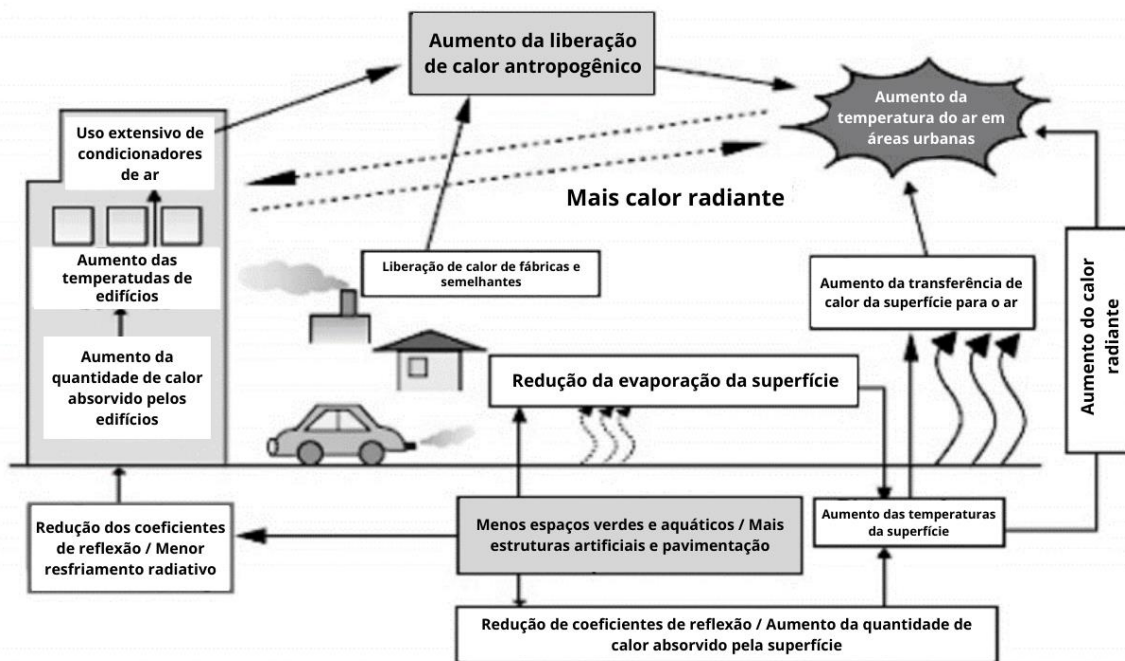
Figura 1 - Perfil da ilha de calor urbana



Fonte: AZEVEDO *et al.* (2013)

Muitas cidades em todo o mundo experimentam a presença de ICU, sendo que sua intensidade depende fortemente das características urbanas, das condições sinóticas, das características meteorológicas locais, do tipo de materiais urbanos e da presença, ou falta, de áreas verdes. Além disso, o aquecimento e o resfriamento artificiais de edifícios, transporte e processos industriais introduzem fontes antropogênicas de calor no ambiente urbano causando ilhas de calor distintas e até mesmo intensificadas (WILBY, 2007), com suas intensidades mostrando um aumento geral ao longo dos anos. A ICU está presente em qualquer latitude e pode ocorrer durante o dia ou a noite em função do equilíbrio térmico local. Sua magnitude, ou intensidade se dá pela diferença entre o máximo da temperatura urbana e o mínimo da temperatura rural e apresenta um padrão de aumento durante os dias de ventos calmos e sem nuvens, embora seja altamente afetada pela brisa do mar e precipitação (SANTAMOURIS, 2015a).

Figura 2 - Fatores causadores da ICU.



Fonte: Adaptado de Yamamoto (2006)

A ICU tem um sério impacto na qualidade da vida dos cidadãos urbanos, aumentando o consumo de energia para fins de resfriamento, aumentando o pico de eletricidade demandada durante o período de verão, deteriorando o conforto térmico externo e interno, aumentando a concentração de poluentes nocivos como o ozônio troposférico e tendo um sério impacto nas condições de saúde da população urbana vulnerável (SANTAMOURIS, 2015b).

O conforto térmico é a condição da mente em que a satisfação é expressa com o ambiente térmico (ANSI/ASHRAE, 2004). Essa satisfação está diretamente ligada ao funcionamento do organismo humano que regula a temperatura corporal para cerca de 37°C (termorregulação corporal). Um indivíduo pode classificar-se confortável termicamente quando não ocorrem esforços para a termorregulação corporal tendo capacidade de trabalho máxima, caso as condições térmicas sejam calor ou frio o organismo ganha ou perde calor forçando a termorregulação o que faz o organismo trabalhar mais, gerando uma sobrecarga que, por sua vez, gera um desconforto térmico (FROTA e SCHIFFER, 1995).

No que se refere à saúde humana, Heaviside (2017) aponta que estudos têm mostrado maiores riscos à saúde em populações urbanas em comparação com populações rurais ou suburbanas em clima quente e um impacto desproporcional em grupos sociais mais vulneráveis e que as estimativas dos impactos de várias técnicas de mitigação sugerem que uma série de medidas podem reduzir os impactos do calor na saúde e trazer outros benefícios para a saúde e o bem-estar.

A infraestrutura urbana também é vulnerável a eventos meteorológicos extremos que são causados dada a mudança do clima. Entre eles estão as ondas de calor, que, dependendo da localização no planeta, vão acontecer com maior frequência e intensidade. Eventos que causam a elevação da temperatura aumentam

também a demanda por energia, que pode exceder a oferta e causar instabilidades e até mesmo queda no fornecimento de energia elétrica nas regiões afetadas, o que por sua vez leva a outras consequências negativas, tais como a perda de alimentos pela falta de refrigeração.

Gago (2013) aponta que o aumento do coeficiente de albedo, a geometria de cânions urbanos e a otimização do design/planejamento urbano podem aumentar entre 20 e 70% a economia de energia, sendo que cada uma dessas medidas possui um impacto específico. Em termos práticos, um projeto urbano ruim pode aumentar os impactos das mudanças climáticas, já que os edifícios que foram originalmente projetados para certas condições térmicas podem precisar operar em climas mais secos e quentes no futuro (WHO, 2008).

Sabendo dos efeitos causados pela ICU e da tendência de aumento global da temperatura e da ocorrência de ondas de calor, esforços têm sido feitos a fim de compreender o fenômeno de uma melhor forma. Não sendo possível avaliar a alteração climática desde a primeira presença dos seres humanos, a principal referência para se avaliar a interferência das cidades no clima urbano é a comparação com o entorno rural próximo, sendo a diferença entre o máximo da temperatura urbana e o mínimo da temperatura rural denominada a intensidade da ICU, sua característica mais importante (AMORIM, 2019; OKE, 1978).

Amorim (2017) destaca três principais tipos de ICU: a ilha de calor superficial, a ilha de calor atmosférica inferior (*urban canopy layer*) e a ilha de calor atmosférica urbana superior (*urban boundary layer*). Cada uma delas possui especificidades em relação a ferramentas e técnicas de análise. Dentre esses tipos, podemos destacar a ilha de calor atmosférica inferior, que busca analisar a ilha de calor com base na temperatura do ar na faixa da atmosfera entre o solo e o nível médio dos telhados.

Lucena (2019) avalia quatro técnicas diferentes de análise (Quadro 1), dissertando que podem ser utilizadas de forma isolada ou complementar, e concorda com Amorim (2019) que o sensoriamento remoto e a modelagem permitem maior detalhamento das ICU no intraurbano e rural próximo, sendo que o primeiro autor aborda uma metrópole e o segundo aborda cidades de pequeno e médio porte.

Para a identificação de dados históricos e tendências do clima pode ser utilizada a análise de série temporal a partir de dados presentes em estações meteorológicas padrão, que possuem até mesmo dados de mais de um século e, juntamente com dados sobre mudanças no uso e cobertura do solo, podem auxiliar a compreender as mudanças locais e suas influências.

Transectos fixos e móveis permitem um melhor detalhamento do local a ser estudado tendo em vista que é realizada a medição da temperatura do ar a partir da escolha de locais e/ou trajetos que representem diferentes morfologias urbanas e, conseqüentemente, diferentes padrões de balanço energético que causam maior ou menor influência na temperatura do local.

Amorim (2017) destaca Amorim e Dubreuil (2017), que utilizaram sensores de temperatura do ar que registravam a temperatura do ar a cada 10 minutos e obtinham temperaturas médias, máximas e mínimas a cada hora. A partir desses dados com elevada resolução temporal, análises podem ser feitas dessas variações

de temperatura e dos fatores que causam essas variações. Dados de diferentes estações do ano e condições meteorológicas podem ser estudados e comparados.

Quadro 1 - Técnicas para estudo das variáveis meteorológicas da ICU e suas respectivas aplicabilidades de acordo com Lucena (2019)

Técnicas	Aplicabilidade
Análise de série temporal - Estação meteorológica padrão	<ul style="list-style-type: none"> • Estudar tendências e apontar cenários do clima
Transectos fixos e móveis	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar experimentação em áreas menores, como um bairro, que possuem diferentes usos do solo
Sensoriamento remoto	<ul style="list-style-type: none"> • Classificação do uso do solo urbano de acordo com a temperatura de superfície continental • Mapeamento espacial de uma grande área
Modelagem numérica	<ul style="list-style-type: none"> • Simular outros produtos além da temperatura • Mapeamento espacial de uma grande área

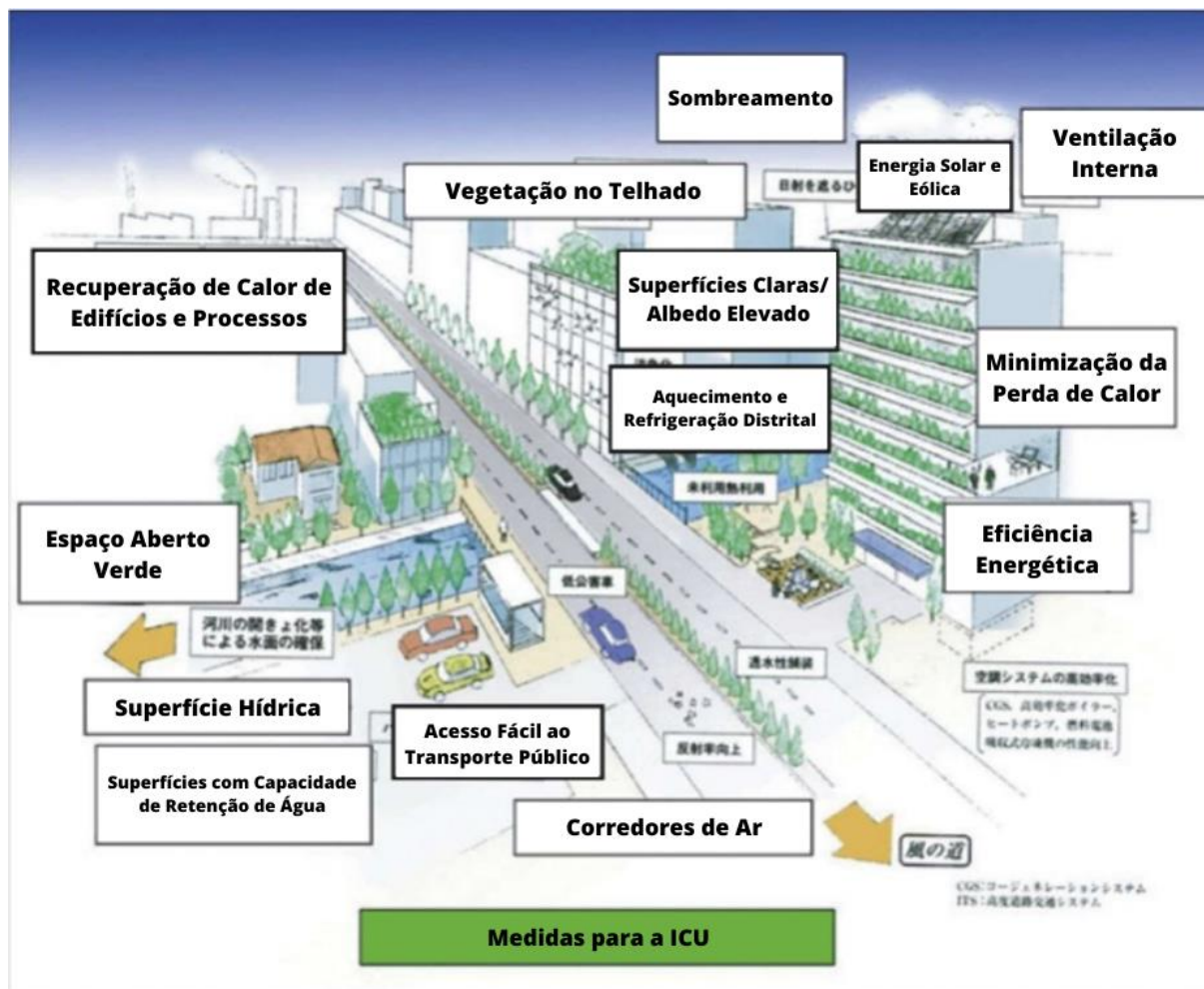
Fonte: Lucena (2019)

Stewart (2011), ao fazer uma análise sistemática da literatura de estudos sobre ilha de calor urbana, identificou fragilidades nos estudos, que apontam que cerca de metade falhava no controle das medições para os efeitos do clima, do relevo ou do tempo, mas, especialmente relacionados ao método, que muitas vezes falhavam em comunicar a precisão dos equipamentos e a natureza física das superfícies ao entorno desses equipamentos no momento da medição. Sabendo disso, Stewart (2011) trouxe recomendações para a melhoria da qualidade metodológica dos estudos de ICU e das estimativas da magnitude da ilha de calor urbana.

As pesquisas inicialmente buscavam entender o fenômeno das ilhas de calor e depois buscaram identificar mudanças potenciais na estrutura urbana buscando promover mudanças que afetariam o uso de energia em edifícios urbanos no verão (AKBARI, 1992). Hoje podemos ver o desenvolvimento de tecnologias e estratégias para mitigação do efeito da ICU, que levam à redução de consumo e gastos com energia, melhoria na qualidade do ar e contribuem no combate ao aquecimento global (Akbari *et al.*, 2016).

Mohajerani *et al.* (2017) destacam as propriedades térmicas do asfalto e do concreto como fator que contribui de forma expressiva na ICU. Destacam também que existem diversas medidas mitigadoras propostas na literatura, como é possível observar na Figura 3, sendo a melhor estratégia, frequentemente, o uso das medidas em conjunto. Diversos métodos têm sido investigados e mais estudos são necessários para garantir que a melhor solução possível seja encontrada, considerando que as condições variam em cada ambiente urbano, variando também suas demandas.

Figura 3 - Medidas mitigadoras da ICU.



Fonte: Adaptado de Ichinose *et al.* (2008)

2.2 Zonas Climáticas Locais

A partir da identificação das lacunas em estudos anteriores, uma nova proposta metodológica foi apresentada por Stewart e Oke (2012), sendo denominada como Zonas Climáticas Locais (ZCL). Essa metodologia classifica as áreas urbanas e rurais de forma mais específica, considerando o padrão de construções e a cobertura do solo, existindo 10 padrões construtivos e 7 diferentes tipos de cobertura do solo a serem usados na classificação, com 4 propriedades de cobertura do solo que são variáveis e podem ser incorporados à classificação (Figura 4).

Essa metodologia promove uma padronização universal da classificação das áreas que serão analisadas em estudos de clima urbano em geral. No que se refere à ICU, ele promove uma mudança do cálculo de sua magnitude, possibilitando não só a comparação entre o ambiente urbano e rural, mas também a comparação entre todas as diferentes áreas disponíveis em sua classificação. Essas magnitudes encontradas, por sua vez, podem ser comparadas com magnitudes encontradas em outras cidades, sejam elas semelhantes ou diferentes em relevo, clima ou outros fatores. Esses atributos fazem com que as técnicas de

análise sejam mais efetivas e que os estudos realizados sejam otimizados.

Figura 4 - Topologia das Zonas Climáticas Locais.



Fonte: Adaptado de WUDAPT (2022)

Apesar de facilitar o estudo da ICU, existe um desafio que foi criado pelas ZCL, o qual se encontra na metodologia utilizada para classificar as áreas urbanas. Há uma diversidade na morfologia urbana ao redor do planeta e, apesar de Stewart e Oke (2012) já apresentarem uma metodologia, novas podem surgir para otimizar o processo de classificação das ZCL. Geletic *et al.* (2019) destacam 4 diferentes formas de classificar, sendo elas:

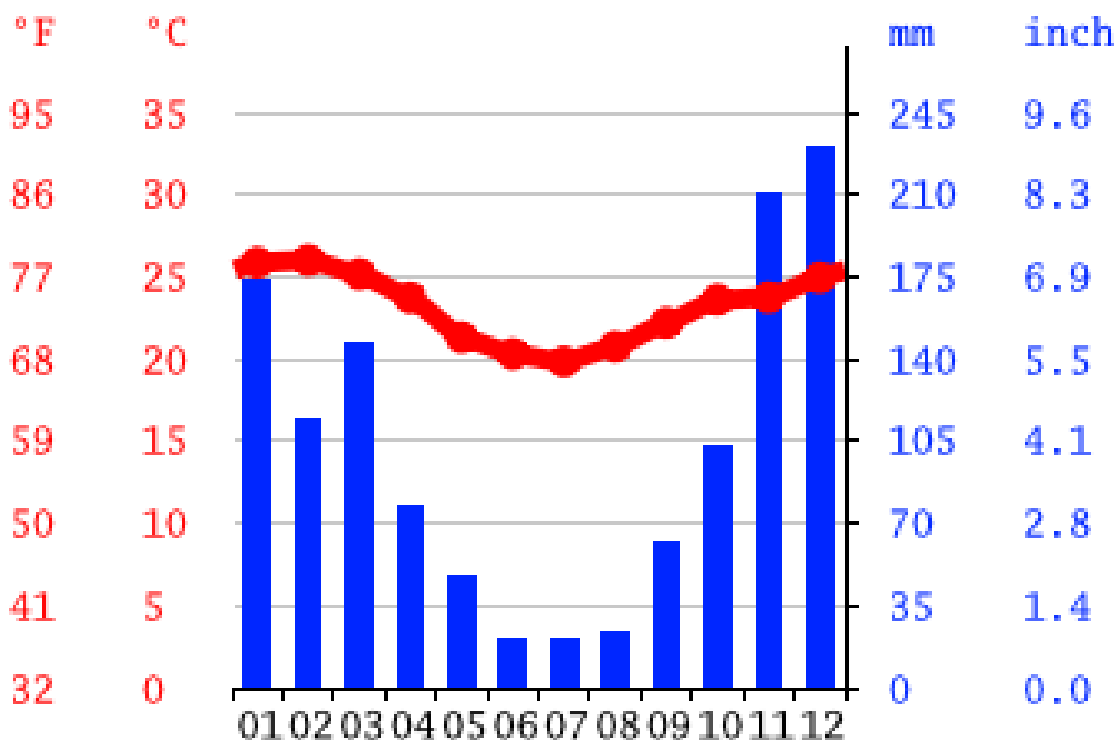
1. Manual – classificação manual, baseada em dados primários e secundário;
2. Baseada em SIG – classificação automatizada a partir de dados primários e secundários sobre o uso do solo;
3. Sensoriamento remoto – classificação automatizada a partir do uso de imagens aéreas ou de satélite junto de áreas de treinamento;
4. Método combinado – classificação que une o método baseado em SIG e por sensoriamento remoto.

2.3 Itaperuna

Itaperuna é um município localizado no Estado do Rio de Janeiro, mais especificamente na Mesorregião do Noroeste Fluminense, a 300 quilômetros da capital. Sua população, conforme estimado pelo IBGE em 2021, é de 104354 pessoas, o que permite classificá-la como uma cidade de médio porte (entre 100 mil e 500 mil habitantes).

Itaperuna possui 1106694 km² de área, está em 112m acima do nível do mar, no bioma Mata Atlântica, seu clima é tropical, tendo como padrão um volume maior de chuvas no verão em relação ao inverno (Figura 5). A classificação do clima é Aw de acordo com a Köppen e Geiger e possui média anual de pluviosidade de 1225 mm (CLIMATE-DATA.ORG, 2021).

Figura 5 - Gráfico demonstrando a sazonalidade da precipitação média e da temperatura média do ar em Itaperuna.



Fonte: Climate-Data.org (2021)

A temperatura média anual em Itaperuna é de 23,6°C; a média das máximas, 29,7°C e a das mínimas, 19,0°C. Fevereiro é o mês mais quente, com máximas de 33,1°C e julho o mais frio, com mínimas de 15,2°C. Com relação ao regime térmico, considerando os 32 anos de dados em Itaperuna, verificou-se que a média das máximas foi de 29,7°C e das mínimas de 19,0°C. O mês mais quente foi fevereiro, com temperaturas médias máximas chegando aos 33,1°C.

Ao analisarem as séries das normais climatológicas referentes aos períodos 1931-1960 e 1961-1990 para Itaperuna, Xavier *et al.* (2000) mostram que existem indícios de que o clima da região vem se tornando mais seco e mais quente, sendo classificado como clima Megatérmico Subúmido Seco, com precipitação insuficiente em todas as estações do ano.

Amorim (2019) destaca a importância da realização de estudos em cidades de pequeno e médio porte, além dos realizados nas metrópoles, porque essas cidades possuem especificidades climáticas que devem ser consideradas, podem interferir além da escala local do clima e são habitadas por grande parte das pessoas tanto na escala nacional quanto na escala planetária, possuindo assim grande importância. Cardoso (2017), destaca estudos em que cidades desse porte apresentam um padrão diferente de aquecimento, onde bairros distantes do núcleo exibem temperaturas mais altas em razão de sua geometria.

Uma das particularidades da área urbana a ser estudada é o fato de estar circundada por formações de relevo mais elevadas, que influenciam algumas variáveis, tais como a quantidade de radiação solar recebida, a temperatura do ar, a velocidade do vento e a direção do vento. Essas influências são importantes para

formação da ICU, principalmente tendo em vista que Oke (1982) destaca que a velocidade do vento é a variável meteorológica mais significativa para a intensidade da ICU, seguida da cobertura de nuvens.

Dentre os municípios próximos à Itaperuna, já houve a investigação da ICU em Campos dos Goytacazes em dois estudos. Sales (2020) realizou a análise da temperatura da superfície através de sensoriamento remoto e realizou simulações no programa WRF (*Weather Research and Forecasting*), o que permitiu identificar uma ICU diurna que oferecia desconforto para a maioria dos habitantes e uma ICU noturna de fraca intensidade, sugerindo o aumento da densidade da vegetação como medida mitigatória, e permitiu também modelar diferentes cenários relacionados às configurações da cidade quanto à implementação ou não de medidas mitigadoras da ICU.

Beraldi (2020), através de uma pesquisa de percepção ambiental e da medição da temperatura do ar através de transectos móveis, identificou uma desigualdade na arborização da cidade, fatores que limitam o interesse dos habitantes em arborizarem seu entorno, uma ICU de média intensidade e um alinhamento entre a percepção dos habitantes e as temperaturas medidas.

3 Material e Método

Foi realizada uma revisão sistemática de artigos que envolvem Ilhas de Calor Urbanas e a metodologia de classificação de uso e cobertura da terra chamada de Zonas Climáticas Locais na escala da área urbana. A pesquisa foi realizada na base de pesquisa *Web of Science*, conforme é possível observar na Quadro 2.

Quadro 2 – Termos de filtro epistemológico.

Base de Pesquisa	<i>Web of Science</i>
Termos de Pesquisa	"urban heat island" AND (lcz OR "local climate zones")
Filtro pelo Idioma	Inglês e português
Filtro pela área de pesquisa	<i>Environmental Sciences Ecology, Meteorology Atmospheric Sciences, Urban Studies, Engineering</i>
Critério de inclusão	Aderência ao tema, acesso ao texto, artigo completo primário período de publicação entre 2013 e 2021

Autor: Elaboração própria

Os termos de pesquisa utilizados buscaram encontrar apenas publicações que envolvessem ICU e ZCL em conjunto, sendo que o operador booleano “AND” foi utilizado para esse fim e o operador “OR” foi usado

para encontrar as palavras e a sigla referente a ZCL na língua inglesa. No que se refere aos idiomas, o inglês foi utilizado por ser o principal idioma empregado nas publicações, e o português, por permitir encontrar publicações realizadas no Brasil. As áreas de pesquisa foram selecionadas em razão de sua aderência ao tema da pesquisa.

O recorte de tempo para a seleção dos artigos se deu em 2013 em razão da publicação de Stewart e Oke (2012), referência fundamental na pesquisa, e para colocar um limite bem definido de tempo em razão de esta pesquisa estar sendo realizada no início de 2022. Através da seleção e leitura da metodologia desses artigos buscou-se investigar esse novo paradigma nos estudos de ilhas de calor urbanas em dois principais aspectos, ao quais são relacionados ao método usado para a classificação das ZCL e ao método análise dos dados meteorológicos.

A quantidade de artigos encontrados a partir dos termos de pesquisa foi de 264 na plataforma Web of Science, havendo sido reduzidos a 79 após a aplicação de diferentes critérios de seleção.

Quadro 3 – Quantidade de artigos resultantes após a aplicação de cada um dos critérios de seleção.

Crítérios de seleção	Total de artigos
Termos de Pesquisa	264
Limitação entre 2013 e 2021	244
Idioma	243
Área de Pesquisa	187
Aderência ao tema e acesso ao texto	79

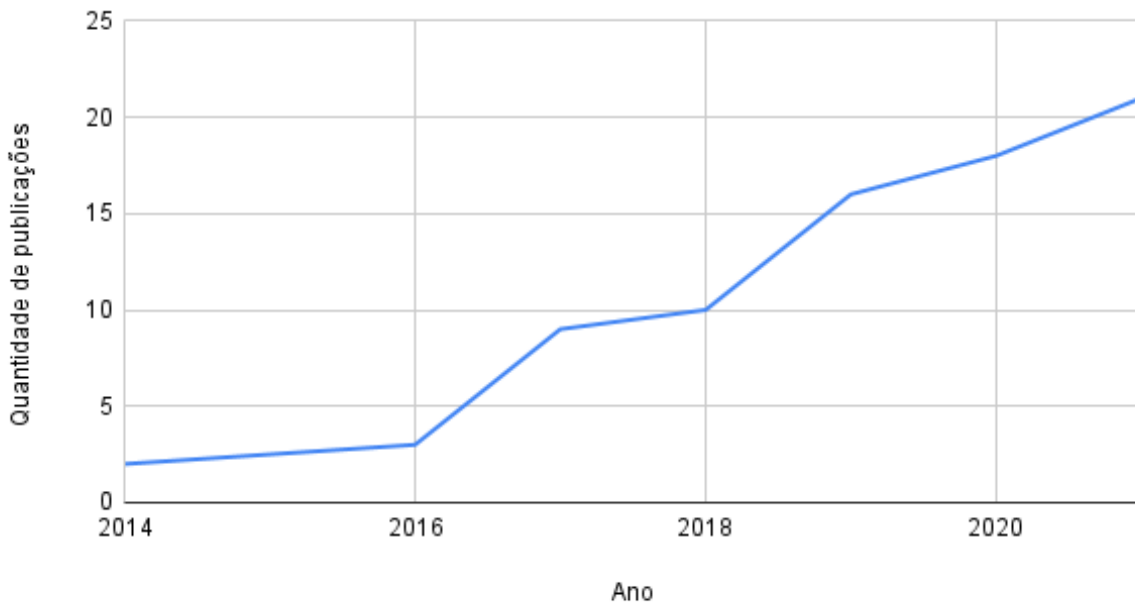
Fonte: Elaboração própria

4 Resultados

Ao ser realizada uma análise na quantidade de publicações ao longo dos anos, é possível observar um aumento, o que corrobora com a relevância do método de classificação para estudos de ilha de calor e do clima urbano (Figura 6). Quase 90% de toda a produção se dedica aos continentes da Ásia e da Europa, com a China sendo o país que representa quase 40% de toda a produção (Figura 7). Quatro publicações tratam de cidades brasileiras, sendo duas em Aracaju-SE, uma em Franca-SP e outra em Londrina-SC.

Figura 6 - Artigos que passaram no processo de pesquisa e de quantidade de publicações por ano.

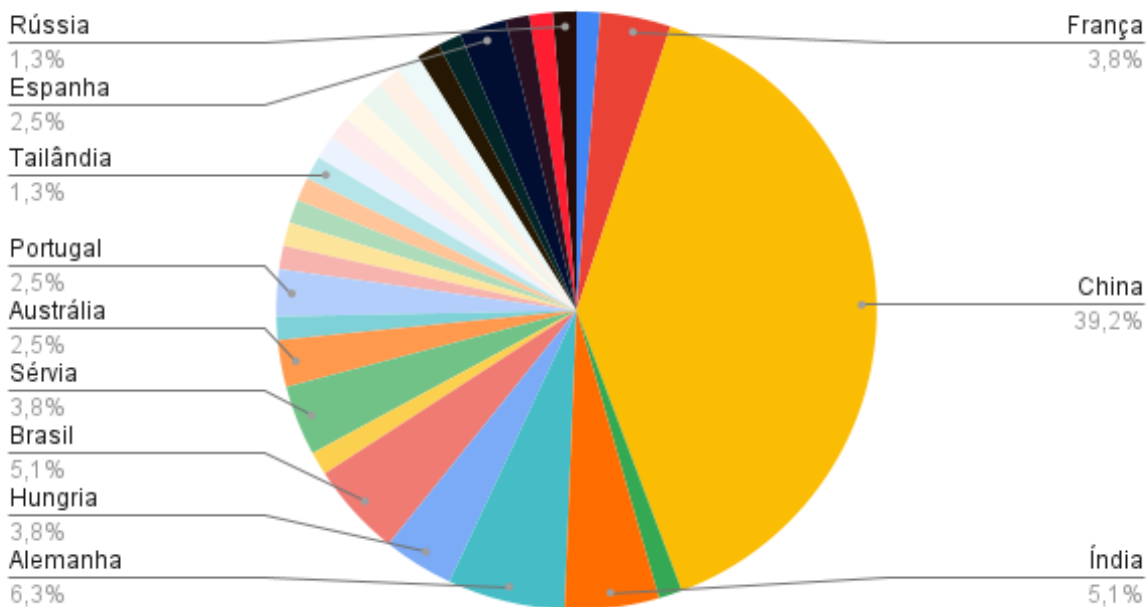
Publicações por ano



Fonte: Elaboração própria

Figura 7 - Gráfico indicando a parcela de artigos publicados por país.

Países onde os artigos foram produzidos



Fonte: Elaboração própria

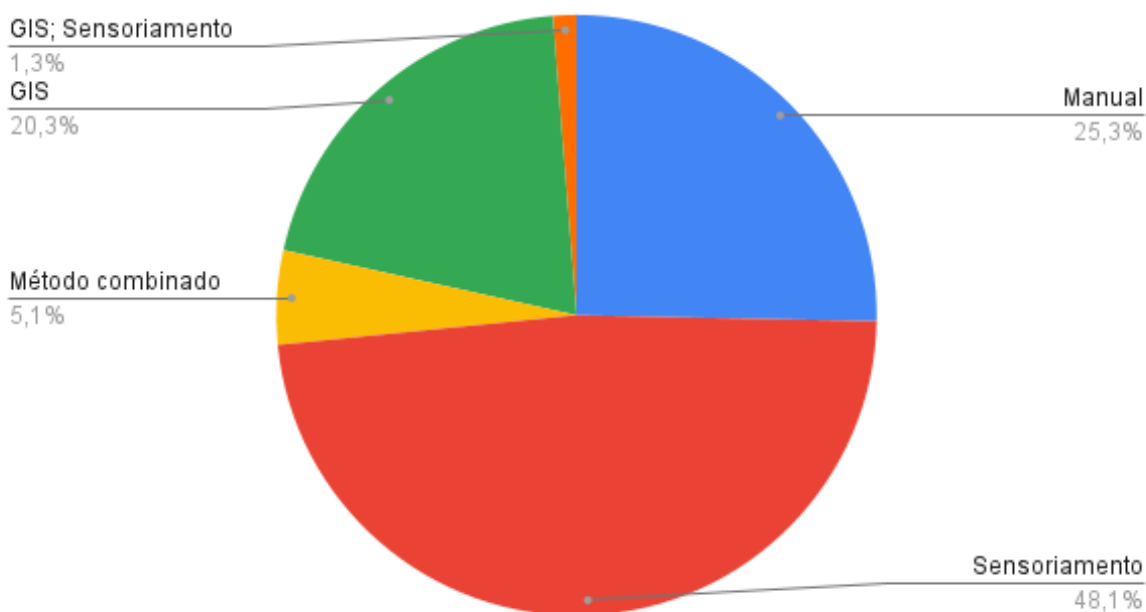
No que se refere à classificação do uso do solo, é possível observar um predomínio no emprego do método por sensoriamento remoto (Figura 8), com um total de 39 artigos, ao incluir na contagem o artigo que também usou o método baseado em GIS, a fim de comparar os dois métodos. A razão para o maior uso desse método recai sobre o fato de depender de uma menor quantidade de informações acerca do local a ser

analisado, de utilizar informações facilmente disponíveis em plataformas como o Google Earth e do uso de programas abertos, tais como SAGA GIS e Google Earth. Outro fator que se destaca nesse método é a plataforma WUDAPT (*World Urban Database and Access Portal Tools*), que busca organizar a informação acerca da forma e da função das áreas urbanas relevantes para estudos ambientais e climáticos, sendo uma plataforma dedicada ao levantamento de informações através de colaboração coletiva.

O método baseado em SIG se destaca pela maior precisão no resultado da classificação, mas depende de muitos dados sobre o uso e a cobertura do solo, que muitas vezes não estão disponíveis, o que leva à existência do método combinado, que busca criar uma complementação entre os métodos para otimizar a classificação. O método manual continua a ser utilizado e possui novas metodologias, como a “*coarse to fine*” (grosseiro ao fino) de Kotharkar e Bagade (2018) e o método combinado, que junta os demais métodos a fim de produzir um resultado mais representativo na classificação, tendo em vista que pode haver falha na classificação de algumas configurações urbanas, tais como a altura dos edifícios.

Figura 8 - Gráfico indicando a parcela de artigos publicados por método de classificação.

Método para classificação de uso e cobertura do solo



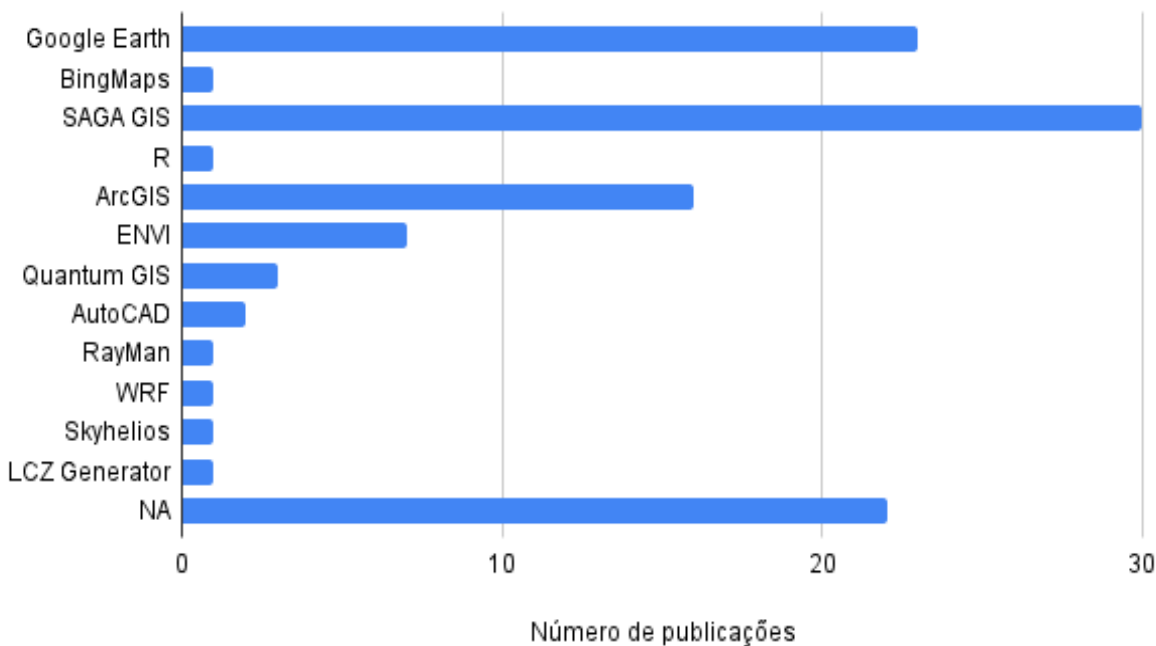
Fonte: Elaboração própria

Os programas mais utilizados para a classificação refletem o predomínio do método de sensoriamento remoto desenvolvido pela plataforma WUDAPT, que utiliza o Google Earth e o SAGA GIS no mapeamento das ZCL (Figura 9). Vale destacar que 22 publicações não informaram o programa utilizado para a classificação. O LCZ Generator, utilizado em apenas um artigo, se trata de uma nova versão do método do projeto WUDAPT e foi apresentado por Demuzere *et al.* (2021). Inicialmente, o método de classificação WUDAPT dependia, em parte, da pessoa responsável pela classificação, da aquisição de

imagens Landsat, da preparação das imagens no programa SAGA GIS e da classificação das áreas nesse mesmo programa. O LCZ Generator eliminou esses passos, podendo se tornar importante na classificação em função da otimização do processo.

Figura 9 - Gráfico indicando os programas utilizados na classificação das ZCL e a quantidade de artigos que utiliza esses programas.

Softwares utilizados para a classificação das ZCL



Fonte: Elaboração própria

Outra observação importante está relacionada à análise dos dados meteorológicos: apesar de as ZCL terem sido criadas para estudos da temperatura do ar da ICU, existe uma relevante participação do uso da temperatura de superfície através do sensoriamento remoto (Figura 10). Dois fatores podem ajudar a explicar tal fenômeno; são eles:

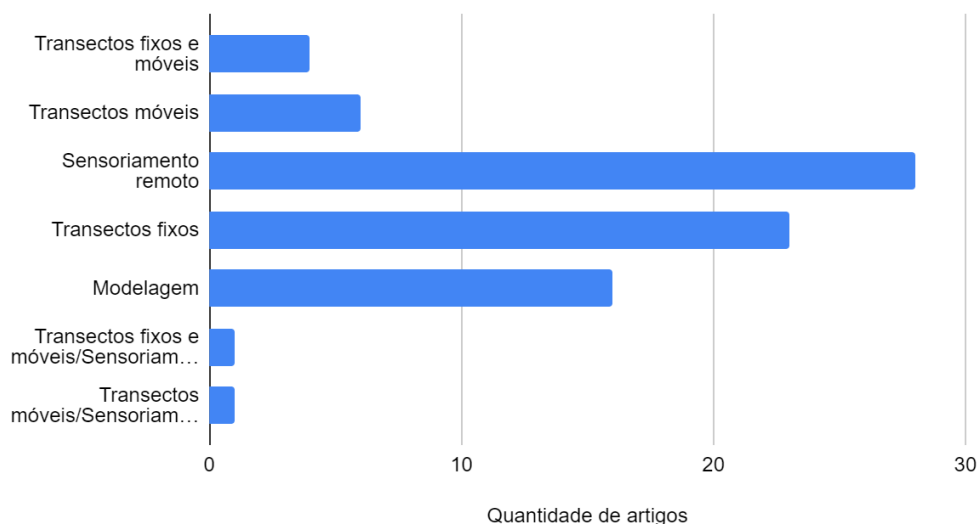
1. Facilidade de obtenção dos dados de temperatura com uma grande resolução espacial e temporal, diferentemente dos transectos fixos e móveis que dependem de uma grande rede de sensores e de dados históricos;
2. As restrições impostas pela pandemia à realização de idas a campo.

Os transectos fixos e/ou móveis ainda assim são os mais utilizados ao considerar as diferentes combinações encontradas, e suas posições e trajetórias podem ser melhor definidas de acordo com as ZCL existentes na área urbana. Isso facilita inclusive a implementação de redes permanentes de medição de dados meteorológicos na cidade, como realizado na Hungria por Skarbit *et al.* (2017). Os transectos fixos permitem uma excelente resolução temporal das temperaturas, podendo até ser num intervalo de poucos minutos, o que possibilita identificar como a ICU se desenvolve em diferentes horários do dia. Há que se destacar a

modelagem em razão de que a metodologia de ZCL permite um melhor detalhamento urbano nas simulações, viabilizando um resultado mais correto das projeções, o que já pode ser realizado no programa WRF.

Figura 10 - Gráfico indicando as técnicas de análise utilizadas e a quantidade de artigos que utiliza esses programas

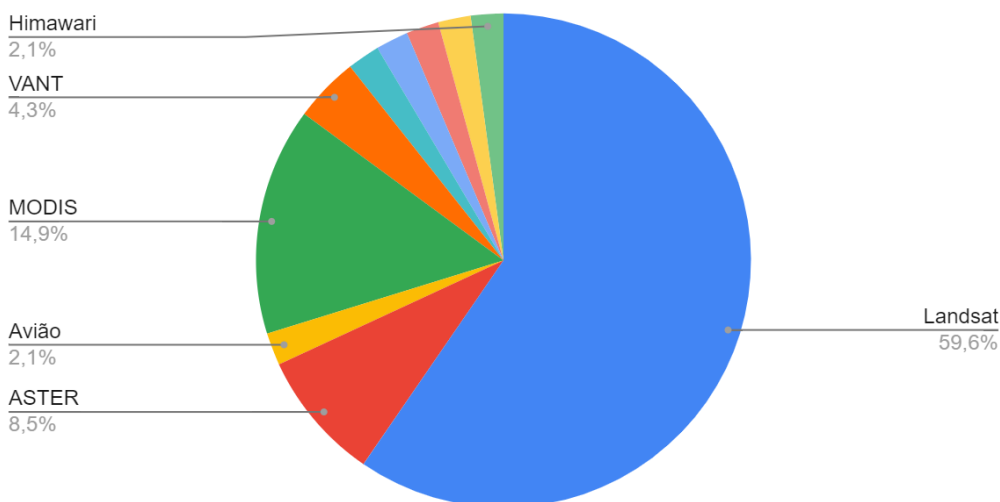
Técnica de análise dos dados meteorológicos



Fonte: Elaboração própria

Figura 11 - Gráfico indicando as plataformas/equipamentos utilizados para obtenção da temperatura de superfície e a parcela de artigos que as utilizou.

Plataforma ou equipamento utilizado para medição da temperatura por sensoriamento remoto



Fonte: Elaboração própria

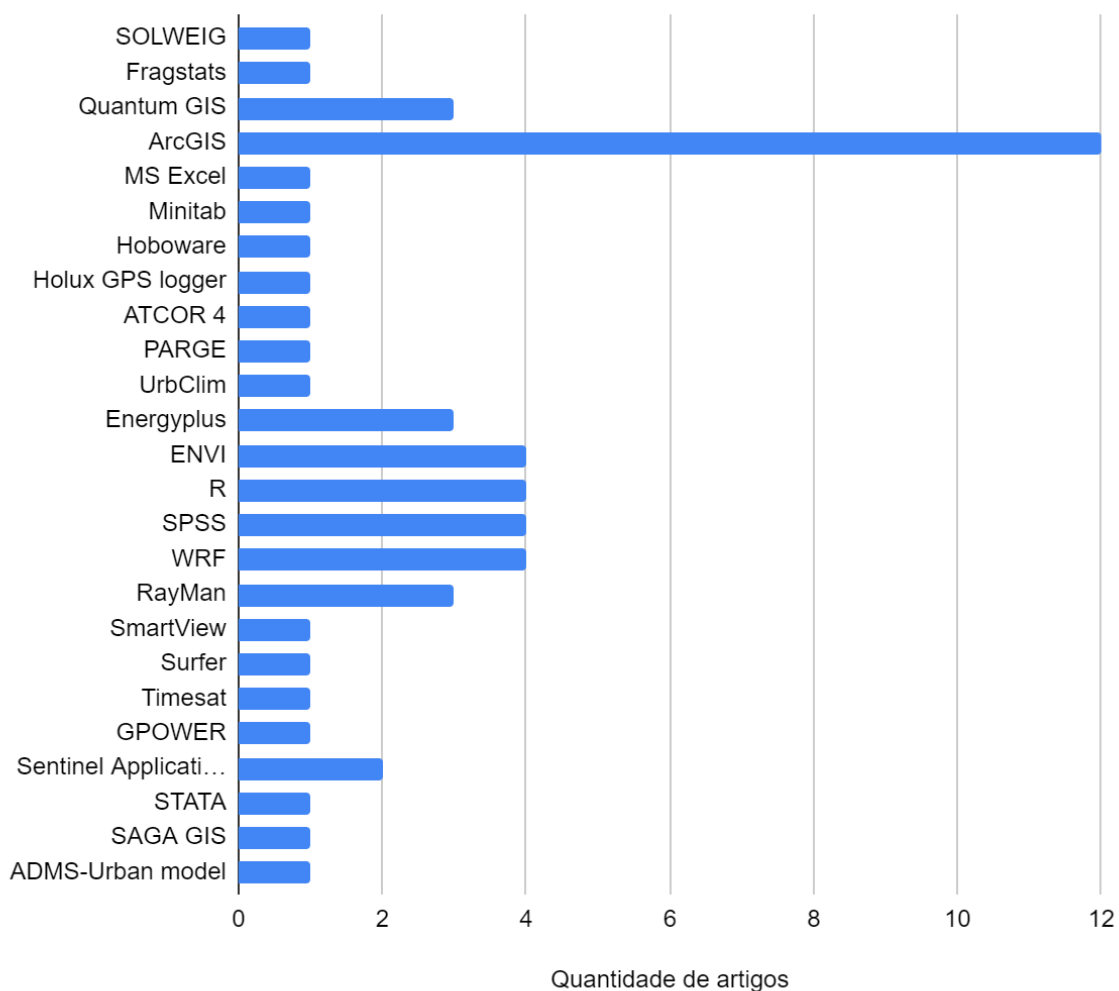
A medição de temperatura da superfície utilizou principalmente o programa Landsat (Figura 11), principalmente o satélite 8, com um dos artigos utilizando também o 5 e o 7 a fim de obter um maior recorte

de tempo. Após o Landsat, podemos ver o MODIS e o ASTER sendo utilizados, com destaque para a obtenção de informações da temperatura da superfície à noite, o que não é disponível no Landsat, mas relevante tendo em vista que a intensidade da ICU tende a ser maior no início da noite.

Quanto aos programas utilizados para a análise dos dados, foi possível observar que 42 artigos não reportaram os programas e que existe uma grande diversidade de programas utilizados, como pode ser visto na Figura 12, variando em suas funções e especificidades no tratamento de dados de acordo com as demandas criadas pela metodologia utilizada no estudo.

Figura 12 - Gráfico mostrando os programas utilizados para a análise dos dados meteorológicos e a quantidade de artigos que os utilizou.

Software utilizado para a análise dos dados meteorológicos



Fonte: Elaboração própria

Por fim, é importante destacar a percepção de uma continuidade nos estudos utilizando as ZCL, tendo em vista que artigos mais recentes possuem uma menor descrição do processo de classificação por utilizar dados de estudos anteriores na realização de novas análises nas ZCL já classificadas. Um exemplo é

Beckmann *et al.* (2021) que pesquisou sobre limites de temperaturas dentro de apartamentos tomando como base a classificação de ZCL realizada por Beck (2018), que havia feito uma análise da temperatura do ar nas diferentes zonas.

5 Considerações finais

Diante das metodologias analisadas, destacamos a relevância da implementação da classificação do município em Zonas Climáticas Locais, a fim de descrever as características da diversidade de uso e cobertura presente na área urbana do município de Itaperuna. As ZCL têm se provado eficientes em refletir a influência das diferentes configurações do espaço urbano e rural.

A existência de diversas metodologias para a classificação colabora com as diferentes condições e realidades encontradas ao redor do planeta, facilitando a realização da classificação mesmo em uma realidade em que os dados sobre o uso e a ocupação do solo não existem ou são escassos, como é o caso do método de classificação realizado por sensoriamento remoto. Esse método se destaca não só pelo aproveitamento de imagens e programas disponibilizados gratuitamente, como pelo fato de a maior parte dos estudos que utilizam esse método serem parte de um projeto que busca organizar a informação acerca das cidades ao redor do planeta.

No que se refere à obtenção e análise dos dados meteorológicos, é importante observar as limitações de tempo e de dados disponíveis. Sendo um estudo inicial, seria relevante uma medição da temperatura de superfície, através de satélites. O período de primavera e verão são os mais importantes em razão de exibirem elevadas temperaturas, o que, por sua vez, causa impactos econômicos e sociais negativos. Sabendo que a temperatura superficial guarda uma relação com a temperatura do ar, algumas tendências podem ser apontadas a partir do foco em dias representativos ou de uma análise da variação do comportamento dessa temperatura superficial ao longo dos anos nessas estações do ano, auxiliando próximas etapas desse e de demais estudos.

Uma das questões a serem respondidas por esse estudo é a identificação das causas da ICU em Itaperuna, a fim de propor medidas mitigatórias. A análise estatística dos dados em relação a diferentes variáveis existentes naquela área pode, então, identificar fatores causadores bem como a possibilidade de modelagem de diferentes cenários para identificar as melhores soluções disponíveis na literatura. Sabendo da topografia local e de sua provável influência significativa na formação da ICU em Itaperuna, é importante observar o comportamento da radiação solar, da velocidade do vento e da direção do vento, além da temperatura, a fim de investigar essa hipótese.

A análise por meio de transectos fixos e/ou móveis das temperaturas e das variáveis relacionadas ao vento podem permitir uma compreensão da dinâmica dessas variáveis meteorológicas com uma grande resolução temporal, auxiliando a desvendar as causas da manifestação de temperaturas elevadas nessa área urbana e, conseqüentemente, apresentando formas de mitigação dos impactos negativos à população.

Referências

- AKBARI, H. **Cooling our communities: a guidebook on tree planting and light colored surfaces**. Lawrence Berkeley National Laboratory, Heat Island Group LBNL, USA. 245 p, 1992
- AKBARI, H *et al.* **Local climate change and urban heat island mitigation techniques—the state of the art**. Journal of Civil Engineering and Management, v. 22, n. 1, p. 1-16, 2016.
- AMORIM, M. C. C. T. **Ilhas de calor urbanas: métodos e técnicas de análise**. Revista Brasileira de Climatologia, [S.l.] p. 22-46, jun. 2019
- AMORIM, M. C. C. T; DUBREUIL, V. **Intensity of urban heat islands in tropical and temperate climates**. Climate, v. 5, n. 4, p. 91, 2017.
- ANSI/ASHRAE. Standard 55—**Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. ASHRAE, Atlanta, 2004.
- AZEVEDO, T. S. *et al.* **Ilhas de calor e Aedes aegypti: um estudo preliminar para a cidade de Santa Bárbara d’Oeste, SP-BRA, utilizando sensoriamento remoto**. Geografia da Saúde: experiências do grupo de pesquisas sobre desastres (NUPED) da UNESP, Rio Claro, São Paulo, Brasil. Herstellung: Novas Edições Acadêmicas, p. 19-33, 2013.
- BECK, C. *et al.* **Air temperature characteristics of local climate zones in the Augsburg urban area (Bavaria, southern Germany) under varying synoptic conditions**. Urban Climate, v. 25, p. 152-166, 2018.
- BECKMANN, S. K.; HIETE, M.; BECK, C. **Threshold temperatures for subjective heat stress in urban apartments—Analysing nocturnal bedroom temperatures during a heat wave in Germany**. Climate Risk Management, v. 32, p. 100286, 2021.
- BERALDI, W.S. **Estudo da Conformação da Ilha de Calor e da Percepção Sensorial e Ambiental a Ela Relacionada no Município de Campos dos Goytacazes-RJ**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – PPEA, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Campos dos Goytacazes. p. 54. 2020.
- CARDOSO, R. dos S., *et al.* **Assessment of urban heat islands in small-and mid-sized cities in Brazil**. Climate 5.1 (2017): 14.
- CLIMATE-DATA.ORG, 2021. **Clima Itaperuna: Temperatura, Tempo e Dados climatológicos Itaperuna** - Climate-Data.org. Climate-data.org. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/rio-de-janeiro/itaperuna-4041/>>. Acesso em: 30 Apr. 2021.
- DEMUZERE, M.; KITTNER, J.; BECHTEL, B. **LCZ Generator: A Web Application to Create Local Climate Zone Maps**. Frontiers in Environmental Science, 2021.
- DERYUGINA, T.; HSIANG, S. M. **Does the environment still matter? Daily temperature and income in the United States**. National Bureau of Economic Research, 2014.
- FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R.. **Manual de conforto térmico**. Studio Nobel, 1995.
- G1. Em seis dias de 2015, **Sobral teve a maior temperatura do Brasil**. Ceará. 2015. Disponível em: <<http://g1.globo.com/ceara/noticia/2015/01/temperatura-em-sobral-no-interior-do-ceara-e-maior-do-brasil-em-2015.html>>. Acesso em: 30 Apr. 2021.

- GAGO, E. J. *et al.* **The city and urban heat islands: A review of strategies to mitigate adverse effects.** *Renewable and sustainable energy reviews*, v. 25, p. 749-758, 2013.
- GELETIČ, J. *et al.* **Inter-/intra-zonal seasonal variability of the surface urban heat island based on local climate zones in three central European cities.** *Building and Environment*, v. 156, p. 21-32, 2019.
- HEAVISIDE, C.; MACINTYRE, H.; VARDOULAKIS, S. **The urban heat island: implications for health in a changing environment.** *Current environmental health reports*, v. 4, n. 3, p. 296-305, 2017.
- HUANG, K. *et al.* **Projecting global urban land expansion and heat island intensification through 2050.** *Environmental Research Letters*, v. 14, n. 11, p. 114037, 2019.
- ICHINOSE *et al.* **Counteracting urban heat islands in Japan.** *Urban Energy Transition*. Elsevier, 2008. 365-380.
- IPCC. Summary for Policymakers. In: **Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty** [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. In Press. 2018.
- KOTHARKAR, R.; BAGADE, A. **Evaluating urban heat island in the critical local climate zones of an Indian city.** *Landscape and Urban Planning*, v. 169, p. 92-104, 2018.
- LUCENA, A. **Uma análise de técnicas nos estudos de clima urbano para a região metropolitana do Rio de Janeiro.** *Geo UERJ*, Rio de Janeiro, n. 34, e,40954, 2019
- MOHAJERANI, A.; BAKARIC, J; JEFFREY-BAILEY, T. **The urban heat island effect, its causes, and mitigation, with reference to the thermal properties of asphalt concrete.** *Journal of environmental management*, v. 197, p. 522-538, 2017.
- OKE, Timothy R. **Boundary layer climates.** Routledge, 2002.
- OKE, T. R. **The energetic basis of the urban heat island.** *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, v. 108, n. 455, p. 1-24, 1982.
- SALES, R.S.B. **Caracterização e Modelagem Microclimática da Ilha de Calor Urbana Utilizando Parâmetros Biofísicos em Campos dos Goytacazes.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – PPEA, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Campos dos Goytacazes. p. 54. 2020.
- SANTAMOURIS, M. **Analyzing the heat island magnitude and characteristics in one hundred Asian and Australian cities and regions.** *Science of the Total Environment* 512– 513: 582–598, 2015a.
- SANTAMOURIS, M. **Regulating the damaged thermostat of the cities—Status, impacts and mitigation challenges.** *Energy and Buildings*, v. 91, p. 43-56, 2015b.
- SKARBIT, N. *et al.* **Employing an urban meteorological network to monitor air temperature conditions in the ‘local climate zones’ of Szeged, Hungary.** *International Journal of Climatology*, v. 37, p. 582-596, 2017.
- 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.
- 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.

TAKAHASHI *et al.* **Chuvas e secas em São Paulo estão mais intensas com aquecimento, mostram dados.** Folha de S.Paulo. 2020. Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2020/03/chuvas-e-secas-em-sao-paulo-estao-mais-intensas-com-aquecimento-mostram-dados.shtml>>. Acesso em: 4 dez. 2020.

The New York Times, 2018. **How Much Hotter Is Your Hometown Than When You Were Born?** Disponível em: <<https://www.nytimes.com/interactive/2018/08/30/climate/how-much-hotter-is-your-hometown.html>>. Acesso em: 30 abr. 2021.

WHO, 2008. **Closing the gap in a generation: health equity through action on the social determinants of health: Commission on Social Determinants of Health final report.** WHO COMMISSION ON SOCIAL DETERMINANTS OF HEALTH; WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2008.

WILBY, R. L. **A review of climate change impacts on the built environment.** Built environment, v. 33, n. 1, p. 31-45, 2007.

WUDAPT. **LCZ resources – World Urban Database.** Wudapt.org. 2022. Disponível em: <<https://www.wudapt.org/lcz-resources/>>. Acesso em: 5 maio 2022.

XAVIER, M. C. A.; PAIVA, C. M.; ALVES, G. S. **Classificação e índice de mudança climática em Itaperuna, RJ.** In: Congresso Brasileiro de Meteorologia. 2000.

YAMAMOTO, Y. **Measures to mitigate urban heat islands.** NISTEP Science & Technology Foresight Center, 2006.