



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

**GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

## URBAN CLIMATIC MAP DA CIDADE DE FORTALEZA/CE

Antonio Ferreira Lima Júnior <sup>(a)</sup>, Maria Elisa Zanella <sup>(b)</sup>

<sup>(a)</sup> Departamento de Geografia, Universidade Federal do Ceará, juniorgeoufc@gmail.com

<sup>(b)</sup> Departamento de Geografia, Universidade Federal do Ceará, elisazv@terra.com.br

**Eixo:** A Climatologia no contexto dos estudos da paisagem e socioambientais

### Resumo

O objetivo deste trabalho foi elaborar o Urban Climatic Map do município de Fortaleza, a partir da elaboração de layers do uso e ocupação da cidade. Para tanto utilizou-se a metodologia de Katzschner (1997), para identificar os elementos que contribuem para a carga térmica e potencial dinâmico. Foram mapeados o volume edificado, calor antropogênico, altimetria, vegetação, cobertura do solo, porte da vegetação, orientação das vertentes e rugosidade, a fim de somar os valores positivos e negativos ponderados, tendo como resultado o mapa climático urbano. É possível identificar que a cidade de Fortaleza apresenta importantes características urbanas, que interferem diretamente nas condições climáticas de escala local, onde a maioria da cidade apresenta-se em situação de estresse térmico.

**Palavras chave:** Clima urbano; Urban Climatic Map; Modelagem

### 1. Introdução

No decorrer dos últimos séculos, a humanidade vivenciou um grande processo de êxodo populacional de áreas rurais em direção às áreas urbanas. Nesse contexto, as cidades vêm passando por diversas transformações relacionadas aos modelos econômicos, sociais, políticos e ambientais os quais permeiam sua construção e desenvolvimento. Desta forma, a estrutura das cidades se apresenta mais



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

extensa e mais densa, o que contribui para o surgimento de variadas desordens, em relação às diversas esferas sociais e ambientais.

Nas cidades, as alterações da cobertura e uso do solo são proeminentes, o que pode ocasionar uma mudança na interação da energia (radiação) com a matéria (superfície), e assim gerar um balanço de radiação urbano específico, influenciando os elementos climáticos locais, como temperatura de superfície e do ar, umidade relativa, velocidade e direção dos ventos e etc (MONTEIRO, 1976). A origem dessas alterações está intimamente relacionada à impermeabilização do solo, os materiais construtivos utilizados nos processos de expansão das cidades, e organização e estrutura dos aparelhos urbanos.

Por tanto, o objetivo deste trabalho foi construir um *Urban Climatic Map* (Mapa Climático Urbano) do município de Fortaleza/CE, no intuito de entender os elementos urbanos que influenciam diretamente no ganho e perda de calor, contribuindo para a evolução e distribuição espacial dos elementos climáticos locais.

### 1.1. Área de estudo

O município de Fortaleza está localizado no litoral da Região Nordeste do Brasil (Figura 1), está entre as coordenadas de 3° 43' 02" de latitude sul e 38° 32' 35" de longitude oeste de Greenwich. Ao norte limita-se com o Oceano Atlântico e Caucaia, ao sul com Maracanaú, Pacatuba, Itaitinga e Eusébio, à leste com Eusébio, Aquiraz e o Oceano Atlântico, e à oeste com Caucaia e Maracanaú. Está inserido na Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), juntamente com outros 18 municípios, sendo a capital do estado do Ceará e o município mais populoso do Estado, com estimativa de 2.643.247 habitantes em 2018 (IBGE, 2018), com área territorial de 314,930 km<sup>2</sup> e densidade demográfica de 7.786,44 hab/km<sup>2</sup> (IBGE, 2010), sendo que, o território fortalezense caracteriza-se como sendo 100% urbano.



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

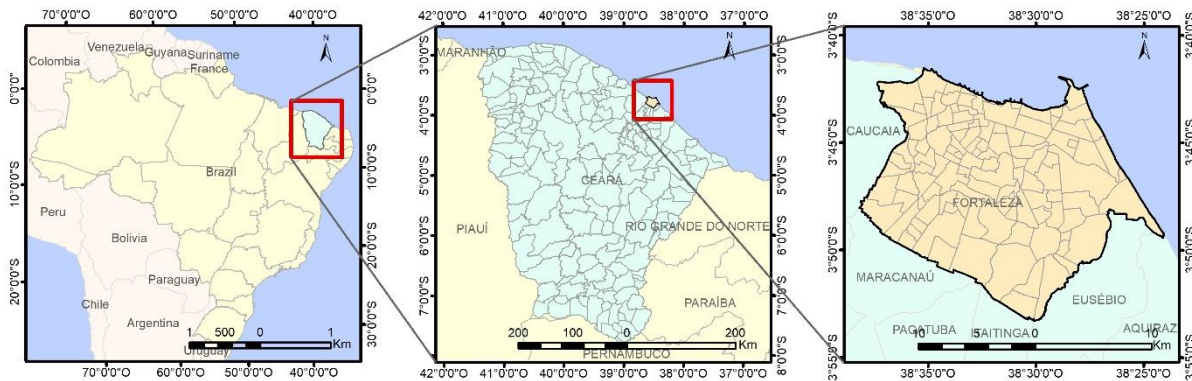


Figura 1 – Cartograma de localização do município de Fortaleza/CE.

O crescimento da cidade de Fortaleza, especialmente no que se refere à expansão da malha urbana e ao início da verticalização, tornou-se evidente durante os anos 1970 a 1980, quando a RMF foi constituída oficialmente, pela Lei Complementar Federal nº 14. Atualmente, o município de Fortaleza apresenta urbanização acentuada, com variados padrões de uso e ocupação, sendo verificados diversos aspectos organizacionais dentro de seu território.

## 2. Materiais e Métodos

Segundo Moura (2008, p. 57) “A climatologia urbana é uma parte especializada dentro da climatologia que tem como objeto de estudo principal o conhecimento dos mecanismos próprios do clima urbano e a evolução da alteração da atmosfera causada pelas cidades”. As cidades apresentam cenários particulares em suas esferas sociais, políticas e econômicas, o que gera um uso e ocupação dos solos de modo diferenciado, gerando impactos no meio físico.

Autores discutem acerca dos diversos componentes que formam as bases conceituais do clima urbano, além de estudos aplicados e implementação de novas técnicas de análise, (LANDSBERG, 1956; KNOX, 1987; OKE, 1987; PARTIDÁRIO, 2001; LAWRENCE, 2003; MOURA, 2008; GARTLAND, 2010; VIANA & AMORIM, 2009; LEAL, 2012), apreciam sobre o ambiente físico urbano, os elementos naturais e construídos, aspectos morfológicos, e as interações dinâmicas entre o homem e o meio. No Brasil, os primeiros estudos tratando sobre o clima urbano foram desenvolvidos por Gallego (1972) e Monteiro (1973), em meados dos anos 70, com o intuito de subsidiar o planejamento urbano.



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

Entendendo a natureza do clima urbano, descrita por Monteiro (1976), é possível identificar as componentes urbanas que contribuem para a formação de um sistema climático específico nas cidades, podendo ser realizadas discriminações ponderadas sobre essas variáveis. É nesse sentido que surge o *Urban Climatic Map* (UCMap), que consiste em uma série de *layers* de dados espaciais que contém informações como, dados geográficos do terreno, informações sobre vegetação e parâmetros de planejamento. A elaboração de UCMaps, é realizada por Katzschner (1997), para estabelecer diretrizes para o planejamento urbano, utilizando da avaliação bioclimática.

### 2.1. Metodologia UCMap

O modelo de urbanização objetiva a produção de um mapa climático urbano, espacializando o potencial de aquecimento e arrefecimento através da área da cidade, baseando-se principalmente no uso e cobertura do solo, no relevo e na ventilação. Advém da proposta metodológica de Katzschner (1997). O UCMap está relacionado à caracterização do clima urbano levando em consideração os efeitos da carga térmica e do potencial dinâmico no balanço de energia da cidade. A carga térmica envolve a intensidade de calor que é armazenada ou emitida pelas estruturas urbanas e tem como consequência o aumento da temperatura do ar. Já o potencial dinâmico, relaciona-se com a ventilação natural e resfriamento da superfície.

Para a elaboração do UCMap foram utilizados dados espaciais referentes a aspectos da estrutura urbana e que se relacionam com o balanço de energia do município. Os dados utilizados foram: Mapa básico de uso e ocupação do solo, Mapa urbano digital, Mapa Hipsométrico (SRTM), Cartas Imagem Quickbird, Landsat 8 e Imagens de Satélite do programa Google Earth Pro. Para o tratamento dos dados obtidos e a elaboração dos mapas desenvolvidos foi utilizado o software ArcMap 10.3. Sendo realizadas operações de álgebras de mapas, definindo áreas com características homogêneas, e determinando as classes climáticas urbanas e o mapa final.

### 3. Resultados e discussões

Para a elaboração dos aspectos da carga térmica e do potencial dinâmico foi realizada a identificação, classificação e ponderação de elementos que contribuem, de forma positiva ou negativa, no balanço de energia do município. Para cada camada do sistema, foi elaborado um mapa temático com



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

**GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

valores arbitrários. O mapa de Carga Térmica é constituído das seguinte camadas: Volume edificado; Potencial de calor antropogênico; Altimetria; e Vegetação. O mapa de Potencial Dinâmico possui as seguintes camadas: Cobertura do solo; Paisagens naturais; Orientação das vertentes; e Rugosidade. Somados e reclassificados os mapas de carga térmica e potencial dinâmico geram o UCMMap (Figura 2).

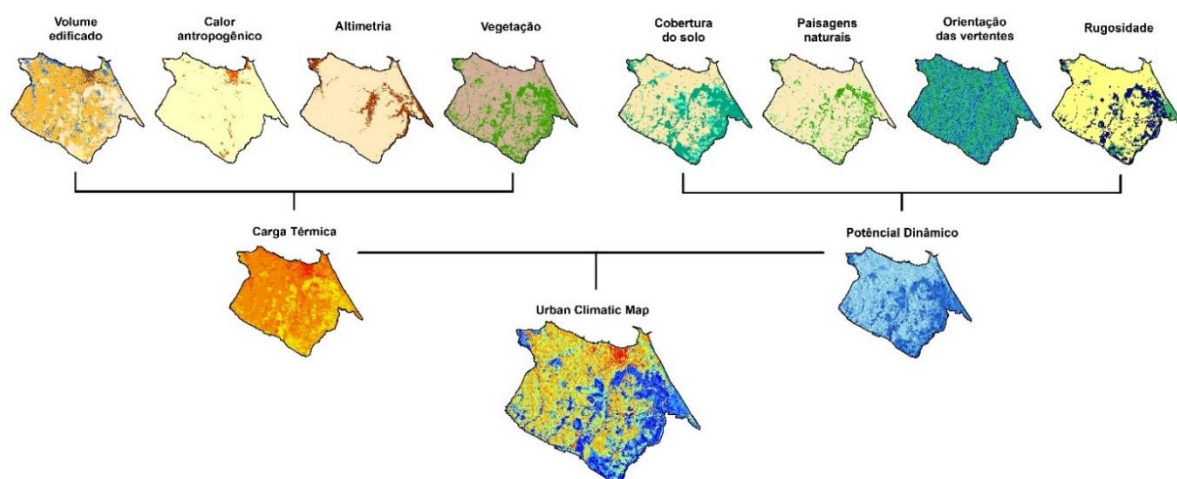


Figura 2 – Esquema de elaboração do UCMMap.

### Camada 1: Volume edificado

A camada 1 refere-se ao tipo de edificação e sua função, sendo dividida em 6 classes (Tabela D), de acordo com o padrão construtivo da edificação. Para a elaboração desta camada houve uma combinação de diferentes fontes de dados. Utilizou-se um mapa de uso e ocupação do solo, gerado a partir de uma imagem Landsat 8 para identificar as áreas sem edificações; os aglomerados subnormais foram adquiridos através do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE); e os padrões Industrial, Residencial, Verticalização intermediária e Verticalização avançada foram vetorizados através de imagens Quickbird e Google Earth Pro.

Tabela I – Classificação da Camada 1

Carga Térmica	Edificação	Valoração
Nenhuma	Sem edificação	0



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

**GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

Muito baixa	Industrial	1
Baixa	Residencial	2
Média	Aglomerado subnormal	3
Alta	Verticalização intermediária	4
Muito alta	Verticalização avançada	5

### Camada 2: Potencial de calor antropogênico

Determinadas atividades demandam maiores consumos de eletricidade e gás e apresentam maior potencial de aquecimento antropogênico em virtude do uso predominante, neste sentido foram definidas duas classes principais com base nas classes de uso do solo estabelecidas para toda a cidade. Desta forma, a partir do mapa anterior, foi realizada uma reclassificação, unindo classes, e gerando o Mapa de Potencial de calor antropogênico (Tabela II).

Tabela II – Classificação da Camada 2

Carga Térmica	Edificação	Valoração
Baixa	Sem edificação, residencial, aglomerados subnormais e verticalização intermediária	0
Alta	Industrial e verticalização avançada	1

### Camada 3: Altimetria

Estudos demonstram que o movimento do ar aumenta acompanhando o valor de elevação, apresentando uma redução de cerca de 1° Celsius a cada 100 metros de aumento no valor de elevação e vice-versa. O aumento da rugosidade reduz o movimento do ar e, por conseguinte, o efeito da Ilha de Calor Urbana é maior nos valores mais baixos de elevação, sendo mais expressivos nos valores abaixo de 10 metros (Tabela III).

Tabela III – Classificação da Camada 3

Carga Térmica	Altimetria	Valoração
---------------	------------	-----------



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

Média	10 – 200 metros de altitude	2
Alta	0 – 10 metros de altitude	3

#### Camada 4: Vegetação

O sombreamento que protege pedestres e superfícies da exposição do sol e interfere na velocidade do ar nas ruas, contribui para a redução da temperatura do ar na vizinhança e o arrefecimento promovido pela evapotranspiração da vegetação. Foram estabelecidas duas classes de vegetação urbana, com base na sua existência e ausência na área urbana. Para a identificação dos espaços verdes do município utilizou-se o Índice de SAVI (*Soil-adjusted vegetation index*), através da imagem de satélite Landsat 8, de resolução espacial 30 m (Tabela IV).

. Tabela IV – Classificação da Camada 4

Carga Térmica	Presença de vegetação	Valoração
Baixa	Sim	-1
Alta	Não	0

#### Camada 5: Cobertura do solo

Utilizando o mapa de volume edificado como base principal, foram calculadas estatisticamente as áreas das zonas de cobertura de edificação ou ausência da mesma por cada bairro, sendo assim foi tomado em consideração as classes que distinguem os padrões da edificação (Tabela V).

Tabela V – Classificação da Camada 5

Potencial dinâmico	Cobertura por edificação	Valoração
Alto	Sem edificação	0
Médio	Entre 0 e 50%	1
Baixo	Entre 50 e 100%	2



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

**GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

### **Camada 6: Paisagens naturais**

O incremento das áreas verdes concorre para a redução dos efeitos da Ilha de Calor Urbana. A vegetação natural somada a declividade de encostas pode promover o resfriamento através dos movimentos de ar. Utilizando-se também do SAVI, distingue-se entre classe de vegetação rasteira e classe de arborização. (Tabela VI).

Tabela VI – Classificação da Camada 6

<b>Potencial dinâmico</b>	<b>Cobertura por edificação</b>	<b>Valoração</b>
Alto	Vegetação rasteira	-2
Médio	Vegetação arbórea	-1

### **Camada 7: Orientação das vertentes**

O município de Fortaleza localiza-se em baixas latitudes, em média 3° de latitude sul, o que contribui para que não haja grandes diferenciações em relação à distribuição da radiação solar, devido à orientação das vertentes. No entanto, considera-se outro elemento no qual é influenciado pela orientação das vertentes: o vento. Sabe-se que, o vento é um importante elemento para o arrefecimento das temperaturas e funciona como amenizador nos índices de conforto térmico. A imagem SRTM foi reprojeta, sujeita a um tratamento de dados a partir da ferramenta Aspecto da Análise Espacial, com o intuito de realçar as orientações das vertentes, seguido da reclassificação destas em 4 classes preponderantes a influência sobre o clima urbano (Tabela VII).

Tabela VII – Classificação da Camada 7

<b>Potencial Dinâmico</b>	<b>Orientação das vertentes</b>	<b>Valoração</b>
Alto	Sudeste, Leste	-3
Médio	Norte, Nordeste	-2
Baixo	Sul	-1
Inexistente	Oeste, Sudoeste, Noroeste	0





XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

### Camada 8: Rugosidade

De acordo com o tipo de cobertura do solo há maior ou menor comprimento de rugosidade, o qual influencia no potencial de arrefecimento. Com o emprego do mapa de volume edificado como base, foi necessário a reclassificação das áreas em 3 classes, para assim evidenciar as áreas com maior potencial de arrefecimento, obtendo assim as áreas. (Tabela VIII).

Tabela VIII – Classificação da Camada 8

Potencial Dinâmico	Comprimento de rugosidade	Valoração
Alto	Sem comprimento/efeito cumulativo	-2
Médio	Baixo	-1
Baixo	Alto	0

A criação do UCMMap se deu pela adição dos valores de classificação existentes nas camadas de carga térmica e potencial dinâmico. Para Fortaleza, essa adição realizada dentro do SIG ArcGIS 10.3, resultou em vinte e uma categorias de classificação numa escala de valores de -6 a 7. Com o propósito de facilitar o entendimento dos aspectos climáticos para o planejamento urbano, os valores extremos da escala de valores resultantes da sobreposição das camadas de carga térmica e potencial dinâmico, devem ser reclassificados e agrupados, enquanto que os valores médios devem ser mantidos. Desse modo, foi realizada a reclassificação de acordo com as quebras naturais no software SIG.

Analisando o UCMMap do município de Fortaleza/CE (Figura 3), percebe-se que as áreas com maior potencial dinâmico, coincidem com as zonas moderadas, leves e neutras nas perspectivas de conforto térmico. As classes 3 e 4 são pouco adensadas ou adensadas por pequenas edificações, com a presença de vegetação e espaços abertos, sendo assim permitidas alterações no adensamento, com índices de influência no conforto variando de neutro a leve.

A classe 5 é caracterizada por ser uma área predominantemente residencial com edifícios de 1 e 2 pavimentos, no entanto, é possível observar pontos de verticalização intermediária (com até quatro pavimentos), poucos espaços verdes e abertos, e baixa rugosidade. Nas classes 6 e 7 é possível identificar carga térmica relevante e alta, tendo forte influência no conforto térmico. A maioria do território fortalezense está inserido nessa classe climática, sendo áreas fortemente adensadas por edificações



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

residenciais de baixa altura, com baixos índices de vegetação e espaços abertos, impõe considerável rugosidade e coincidem com presença de aglomerados subnormais.

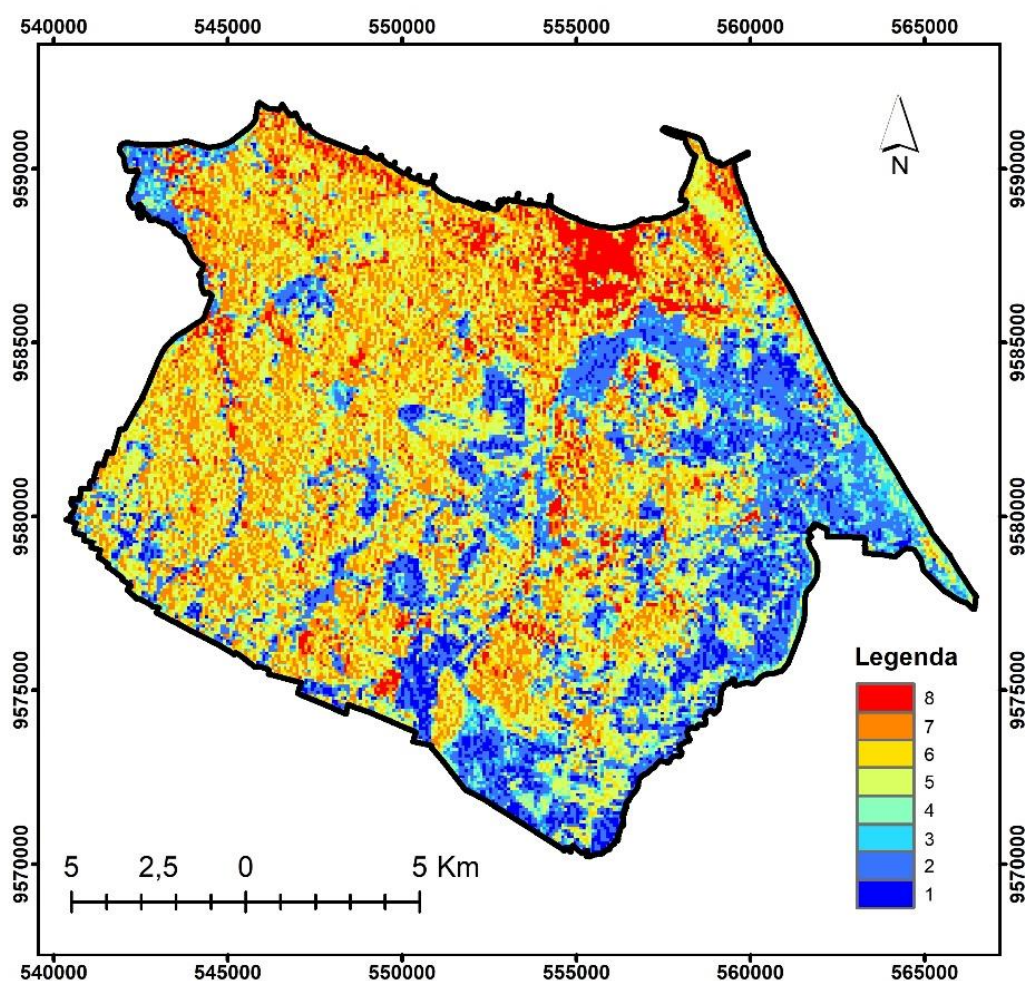


Figura 3 – Urban Climatic Map do município de Fortaleza/CE.

A classe 8, representada pela cor vermelha no UCMaP, é considerada na metodologia como ilha de calor urbana, e exerce forte interferência negativa sobre o conforto térmico na cidade de Fortaleza. São representadas por áreas intensamente adensadas, baixa permeabilidade do solo, pouca



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

**GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

vegetação e espaços abertos e alta rugosidade. Apresenta características urbanas de verticalização intensa, tanto para fins residenciais como comerciais, representa áreas industriais e subnormais importantes. São consideradas áreas críticas, tendo que haver medidas importantes de mitigação tendo em vista os elementos do clima.

#### **4. Considerações finais**

Através do Urban Climatic Map, é possível identificar as áreas da cidade que possuem um padrão urbanístico propício ao aquecimento ou arrefecimento da atmosfera urbana. Analisando o UCMMap identificou-se que a cidade apresenta padrões de edificações adensadas e em crescente processo de verticalização, ocasionando possíveis Ilhas de Calor Urbanas. Também é importante destacar os aglomerados subnormais como padrões construtivos que contribuem para o possível aquecimento da atmosfera local, mostrando-se ambientes altamente adensados e com materiais de alta emissividade.

As áreas verdes no entanto, funcionam como um importante fator para o arrefecimento do ar, sendo a porção leste da cidade a com melhores condições térmicas, mantendo-se nas classes 1, 2 e 3 do UCMMap. Destaca-se a importância de proteger as áreas verdes da cidade, visto que estas mostraram-se fundamentais para a amenização dos efeitos térmicos no município. Conclui-se que, a metodologia do UCMMap desenvolvida por Katzschner (1997) é de fundamental importância para a investigação do clima nas cidades, tendo em vista os panoramas futuros não favoráveis em relação às mudanças climáticas.

#### **5. Agradecimentos**

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado no período de realização da pesquisa. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo financiamento da pesquisa, à Universidade Federal do Ceará (UFC) e ao Laboratório de Climatologia Geográfica e Recursos Hídricos (LCGRH), pela estrutura disponibilizada.



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

## Referências Bibliográficas

GALLEGO, L. P. **Tipos de Tempo e Poluição Atmosférica no Rio de Janeiro (Um Ensaio em Climatologia Urbana)**. Tese de Doutorado. São Paulo: Departamento de Geografia da USP, 1972. 104 p.

GARTLAND, L. **Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. Tradução: Silvia Helena Gonçalves. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Agência IBGE**, 2018. Disponível em <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/22374-ibge-divulga-as-estimativas-de-populacao-dos-municipios-para-2018>, acesso em 11/01/2019.

KATSCHENER, L. The contribution of urban Climate studies to a new urbanity. **Anais Encac**, 1997.

KNOX, P. **Urban Social Geography**. Longman, Harlow, 1987.

LANDSBERG, H. E. **The climate of towns. Man's Role in Changing the Face of the Earth**. W. L. Thomas, Ed., University of Chicago Press, 1956.

LAWRENCE, R. S. **Human ecology and its applications. Landscape and Urban Planning**. (1-2), 2003, p. 31 – 40.

LEAL, L. **A influência da vegetação no clima urbano da cidade de Curitiba–PR** (Tese de Doutorado). Curitiba: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal/UFPR, 2012.

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e Clima Urbano**. IGEOG-USP, Série Teses e Monografias, n. 25, São Paulo: USP, 1976. 181p.

MOURA, M. O. **O clima urbano sob o nível do conforto térmico**. (Dissertação de Mestrado). Fortaleza: PPGG/UFC- Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2008.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. London: Routledge. 1987.

PARTIDÁRIO, M. R. **Indicadores de Qualidade do Ambiente Urbano**. Direção Geral do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Urbano, Lisboa, 2001.

VIANA, S. M. V.; AMORIM, M. C. C. T. Caracterização do clima urbano em Teodoro Sampaio/SP: Uma introdução. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, 20 (2): 19-42, DEZ. 2008.