

SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO À CLASSIFICAÇÃO DE ZONAS CLIMÁTICAS LOCAIS

REMOTE SENSING APPLIED TO CLASSIFICATION OF LOCAL CLIMATE ZONES

Camila Amaro de Souza, Doutora, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

arq.camila.amaro@gmail.com

Antonio Conceição Paranhos Filho, Doutor, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

toniparanhos@gmail.com

Eliane Guaraldo, Doutora, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

arq.artes@gmail.com

Resumo

Monitoramento das características térmicas intra-urbanas representativas é uma tarefa difícil devido à complexidade do terreno urbano (OKE, 2004). As características de áreas urbanizadas podem ser quantificadas por diferentes métodos. Um deles é o sistema de classificação LCZ (Local Climate Zones) que descreve as condições físicas de uma determinada área com escala considerada local. É constituído de aplicação com padronização universal e relativamente fácil baseada em aspectos geométricos, propriedades térmicas e de radiação da superfície. O objetivo desta pesquisa é caracterizar a paisagem urbana e entorno rural da cidade de Campo Grande (Centro-Oeste, Brasil) utilizando adaptação do método LCZ. Como resultado, seis classes construídas foram detectadas e descritas a partir das modelagens: 2 – compacta de média elevação, 3 – compacta de baixa elevação, 4 – aberta de alta elevação, 6 – aberta de baixa elevação, 8 – grandes construções de baixa elevação, 9 – construção esparsa. O método pode ser utilizado em qualquer área urbana se os dados de entrada necessários estiverem disponíveis.

Palavras-chave: Mapa climático; Conforto térmico; SIG; Brasil.

Abstract

Monitoring of representative intra-urban thermal features is a difficult task due to the complexity of urban terrain (OKE, 2004). The characteristics of urbanized areas can be quantified using different methods, including the classification system of Local Climate Zones (LCZs), which describes the local-scale physical conditions of a given area. It is applied, with universal and relatively easy standardization, based on geometric, thermal and radiative surface properties. This study aims to characterize the urban and rural areas of the municipality of Campo Grande (Midwest region, Brazil) using an adaptation of the LCZ method. Results from the modeling detected the following six built types: 2 - compact midrise, 3 - compact low-rise, 4 - open high-rise, 6 - open low-rise, 8 - large low-rise, 9 - sparsely built. This method can be used in any urban area if the required input data is available.

Keywords: climate mapping, thermal comfort, GIS, Brazil.

1. Introdução

A rápida expansão urbana global faz com que ações adaptativas sejam necessárias nas cidades. Pesquisas sobre o impacto dos efeitos das mudanças climáticas devido ao aquecimento urbano local (caracterizada por ilhas de calor urbanas) permanecem com dificuldades quanto às análises computacionais e paramétricas, bem como cálculos estatísticos que envolvam modelos climáticos com as características específicas das cidades (EMMANUEL; LOCONSOLE, 2015).

A situação está em constante evolução (STEWART, 2011a; HEBBERT e JANKOVIC, 2013) mas muito ainda precisa ser feito para amenizar o efeito de ilha de calor urbana (ICU) e utilizar técnicas de mitigação de ICU como parte da adaptação às mudanças climáticas locais.

A expansão urbana de Campo Grande, localizada no centro do Estado de Mato Grosso do Sul, Brasil (Figura 3 – Área de Estudo) está inserida nesse cenário de alterações espaciais, de densidade, alterações metabólicas e consequentemente, térmicas.

Os diferentes tipos de uso e ocupação do solo, associados às características do relevo, de presença ou ausência de corpos d'água, arborização e outros fatores, provocam mudanças na qualidade ambiental, que se materializam de diversas maneiras e uma destas diz respeito à atmosfera urbana (MASSON *et al.*, 2014; MIDDLE, 2014).

Diante da situação atual, a classificação da paisagem “*Local Climate Zones*” (LCZ) (STEWART, 2011a; STEWART e OKE, 2012), ou zonas climáticas locais, surge como um método de ordenação da paisagem urbana a partir de classes e subclasses, cada uma com o mesmo número de propriedades físicas e radiativas analisadas.

Cada zona recebe uma denominação e uma sigla, e é ordenada por propriedades como: altura e rugosidade dos elementos. Revela-se como uma maneira de classificar a paisagem dos ambientes climáticos intraurbanos, aferindo a variação de temperatura entre cada zona climática local (ΔT LCZ) (STEWART, 2011a).

A classificação da paisagem urbana aqui utilizada é uma simplificação da variedade de situações encontradas nos ambientes urbanos, composta por arranjos entre vários elementos urbanos: edifícios, vias, vegetação, solos, rocha, e água, cada um em diferentes quantidades e distribuição. Esta simplificação reduz todos estes arranjos em 17 padrões reconhecíveis, 10 relacionados a tipologias construtivas e 7 relacionados a cobertura do solo. A classificação ainda conta com uma classe para zona industrial e 4 subclasses para ocorrências sazonais como neve ou solo alagado.

De acordo com o autor (STEWART, 2011a), o esqueleto do sistema tem como apoio dados coletados e dados de observação, além de relações numéricas, e as nomenclaturas de cada Zona são chamadas de *Local Climate Zones* (LCZ), pelo fato de serem locais na escala de análise, climáticas devido às propriedades (físicas e radiativas) estudadas e zonais no aspecto de distribuição espacial.

As propriedades físicas (geométricas e de cobertura superficial) do método LCZ são as seguintes:

- 1: Relação da quantidade de hemisfério do céu visível a partir do nível do solo até a de um hemisfério desobstruído;
- 2: Relação média entre altura e largura dos cânions das ruas (LCZs 1–7), espaçamento entre edifícios (LCZs 8–10) e espaçamento das árvores (LCZs A – G);
- 3: Relação entre a área do plano de construção e a área total do plano (%);
- 4: Relação entre a área do plano impermeável (pavimentada, rocha) e a área total do plano (%);
- 5: Relação entre a área do plano permeável (solo nu, vegetação, água) e a área total do plano (%);
- 6: Média geométrica de alturas de construção (LCZs 1–10) e alturas de árvores / plantas (LCZs A – F) (m);
- 7: Classificação de rugosidade efetiva do terreno (z_0) para paisagens da cidade e do país (DAVENPORT et al., 2000).

Os valores de propriedades térmicas, radiativas e metabólicas para as zonas climáticas locais são os seguintes:

- 1: Capacidade da superfície para acumular ou liberar calor ($J \cdot m^{-2} \cdot s^{-1/2} \cdot K^{-1}$). Varia com a umidade do solo e densidade do material;
- 2: Relação entre a quantidade de radiação solar refletida por uma superfície e a quantidade recebida por ela. Varia com a cor da superfície, umidade e rugosidade.
- 3: Densidade média anual do fluxo de calor ($W \cdot m^{-2}$) da combustão do combustível e da atividade humana (transporte, refrigeração / aquecimento do espaço, processamento industrial, metabolismo humano), varia significativamente com a latitude, estação e densidade populacional.

A elevada rugosidade nas áreas urbanas leva a uma diminuição da velocidade média do vento regional e o fluxo de vento é direcionado para a zona de menor pressão (OKE, 1987). Sendo assim, a rugosidade da superfície é um conceito importante para trabalhar com pesquisas descritivas e preditivas a respeito do comportamento dos ventos em determinada superfície.

Grimmond e Oke (1999), realizaram um estudo com a finalidade de determinar a rugosidade em diferentes tipos de cidades. Uma de suas referências foi a metodologia de Davenport (1960; 1967). Já Stewart e Oke (2012) empregaram a classificação de rugosidade efetiva do terreno de Davenport et al. (2000) em suas análises de correspondência com as zonas climáticas locais (LCZ).

A primeira etapa desta classificação consiste em elaborar fichas técnicas descritivas das características físicas e radiativas dos diferentes ambientes intraurbanos a partir de adaptação de Stewart e Oke (2012).

Este artigo tem como objetivo geral analisar as diferentes zonas climáticas locais de Campo Grande a partir da adaptação da metodologia de Stewart (2011a). Os objetivos específicos são: sistematizar os dados de modo a adequá-los à situação da cidade estudo de aplicação; identificar as zonas climáticas locais da cidade de Campo Grande – MS; elaborar fichas técnicas inéditas para cada zona climática local da cidade com os mesmos critérios (físicos e de radiação) de análise para cada zona, servindo como ferramenta de gestão urbana e ambiental na região centro-oeste.

2. Material e Métodos

A rápida expansão urbana global faz com que ações adaptativas sejam necessárias nas cidades. Pesquisas sobre o impacto dos efeitos das mudanças climáticas devido ao aquecimento urbano local (caracterizada por ilhas de calor urbanas) permanecem com dificuldades quanto às análises computacionais e paramétricas, bem como cálculos estatísticos que envolvam modelos climáticos com as características específicas das cidades (EMMANUEL; LOCONSOLE, 2015).

A situação está em constante evolução (STEWART, 2011a; HEBBERT e JANKOVIC, 2013) mas muito ainda precisa ser feito para amenizar o efeito de ilha de calor urbana (ICU) e utilizar técnicas de mitigação de ICU como parte da adaptação às mudanças climáticas locais.

3. Área de Estudo

A cidade de Campo Grande, localizada no centro do Estado de Mato Grosso do Sul, Brasil (Figura 3), com perímetro urbano de 155 km² e cerca de 874.210 habitantes (IBGE, 2017), também está inserida nesse contexto atual de modificações no âmbito, por exemplo, de: canalização de seus corpos hídricos, aumento de áreas impermeáveis, desequilíbrio no balanço de energia liberada a partir de radiação solar.

A área de estudo desta pesquisa se estende pelo seu perímetro urbano e seus limites com as zonas rurais do município. A escala de análise inicial é a mesma das Regiões Urbanas de Campo Grande, podendo ser detalhada ao número de bairros com sobreposição em mapas de limites dos mesmos.

3.1. Zonas Climáticas Locais (LCZ)

Foi realizada uma seleção dos critérios do modelo de zonas climáticas locais que se encaixam na cidade de Campo Grande, Mato Grosso do Sul. Adotando-se as zonas LCZ de Stewart (2011a) como ponto de partida.

Existem diversos métodos de classificação de imagens que já foram aplicados para identificação de LCZs, tais como: a metodologia proposta por (BECHTEL *et al.*, 2015) com uso de *software* gratuito SAGA GIS e plataforma online de apoio (*World Urban Database and Access Portal Tools Project* - WUDAPT) e (BECHTEL *et al.*, 2016) que fez comparações entre o esquema de classificação LCZ e a metodologia GHSL LABEL (*Global Human Settlement Layer*) desenvolvida por *Joint Research Centre (JRC)*; o método de (GELETIC; LEHNERT, 2016) com algoritmos para decisões de *pixels* para cada classe (LCZ) sendo nove (9) equações sequenciais; e a classificação a partir de análise de padrões com elaboração de tabela de atributos, feita por (CARDOSO; AMORIM, 2017) com uso de *software* ArcGIS. A comparação entre os métodos acima permitiu interpretar também a tomada de decisão de cada um dos procedimentos adotados.

Foi elaborado um mapa com a distribuição das LCZs no perímetro urbano, ou seja, até 17 classes (conforme ilustrado na Figura 1), com o auxílio de ferramentas do *software* QGIS versão 3.4.5 – Madero (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2015) e do *software* SAGA versão 7.0 (Sistema de Análises Geocientíficas Automatizado) seguindo o tutorial da plataforma online de apoio (*World Urban Database and Access Portal Tools Project - WUDAPT*) e o embasamento teórico e matemático de Stewart (2011a) para a leitura dos dados de saída gerados pelo *software*.

Por fim, foram elaboradas fichas técnicas padronizadas para sistematização dos dados de cada zona climática local contemplada com a pesquisa conforme Figura 2. As fichas contemplam: sigla, nome, função (comércio, residência, uso misto, área verde), localização, características da classe (morfologia, cobertura da terra, fluxo antropogênico), imagens ilustrativas da classe e propriedades.

As propriedades físicas enumeradas anteriormente foram analisadas com os métodos GIS, a partir de bancos de dados baseados em vetores e raster, usando principalmente informações de sensoriamento remoto. Estes cálculos foram feitos para áreas circulares com centro em pontos de medições de temperatura (obtidas a partir de transectos móveis de inverno 2018 e verão 2019) e com raio de 250 m. Este tamanho é necessário, pois a busca a montante de tipicamente 200 a 500 m é necessária para que o ar na altura da medição se torne totalmente ajustado à superfície subjacente e relativamente homogêneo (STEWART e OKE, 2012).

A capacidade da superfície em liberar calor e o albedo (itens 1 e 2 da Tabela 2) foram analisadas a partir de mapa de temperatura de superfície gerados a partir do uso das bandas termais 10 e 11 das imagens de satélite LANDSAT-8 obtidas através do Earth Explorer do USGS (*United States Geological Service - <http://earthexplorer.usgs.gov/>*), Google-Earth, órbita e ponto (225/74), data de passagem 26/04/2015, hora local 09h45.

O fluxo de calor antropogênico (item 3 da Tabela 2) foi previsto a partir da análise da densidade populacional das amostras de cada zona climática local e da quantidade de veículos que alí circulam (análise feita a partir do zoneamento da cidade, verificando as vias coletoras e corredores existentes).

A relação da quantidade de hemisfério do céu visível a partir do nível do solo foi aferida a partir do uso de câmera fotográfica de celular Samsung Galaxy A8 com lente olho de peixe apontada para cima, em nível do solo, em condições de céu claro (descoberto) e, posteriormente realizado tratamento no software gratuito *RayMan PRO* versão 2.3 beta de acordo com Matzarakis *et al.* (2007; 2010).

A relação entre a área do plano de construção e a área total do plano (%) foi aferida no raio de 250 m de cada amostra selecionada de cada Zona Climática Local identificada na cidade. No caso de edifícios na fronteira do círculo, apenas a área de intersecção foi levada em consideração.

A relação entre a área do plano impermeável (pavimentada, rocha) e a área total do plano (%) e a relação entre a área do plano permeável (solo nu, vegetação, água) e a área total do plano (%) foram analisadas a partir de mapa gerado com imagens de satélite LANDSAT-8 obtidas através do *Earth Explorer* do USGS (*United States Geological Service - <http://earthexplorer.usgs.gov/>*), Google-Earth com análise da cobertura vegetal a partir do

índice de vegetação normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* - NDVI) para imagem do ano de 2015 como base inicial de observação da área de estudo, órbita e ponto (225/74), data de passagem 26/04/2015, hora local 09h45.

A classificação de rugosidade efetiva do terreno (z_0) para paisagens da cidade foi realizada de acordo com modelo de Davenport et al. (2000) – conforme ilustrado na Tabela 3. As áreas do círculo foram classificadas com interpretação visual de fotografias aéreas, mapas topográficos e banco de dados do edifício.

4. Resultados e Discussão

Foram coletadas pelo menos cinco amostras das zonas climáticas locais detectadas no perímetro urbano e no entorno. As coletas foram realizadas a partir de elaboração de polígonos no Google Earth PRO, estes foram exportados em formato KML e utilizados para o processamento do mapa no *software* SAGA GIS versão 7.0 a partir do passo-a-passo da plataforma *online* WUDAPT.

As classes selecionadas a partir das modelagens foram: 2 – compacta de média elevação, 3 – compacta de baixa elevação, 4 – aberta de alta elevação, 6 – aberta de baixa elevação, 8 – grandes construções de baixa elevação, 9 – construção esparsa, A – vegetação arbórea densa, B – vegetação arbórea esparsa, D – vegetação rasteira, E – pavimentação asfáltica, rocha exposta, F – solo exposto, areia.

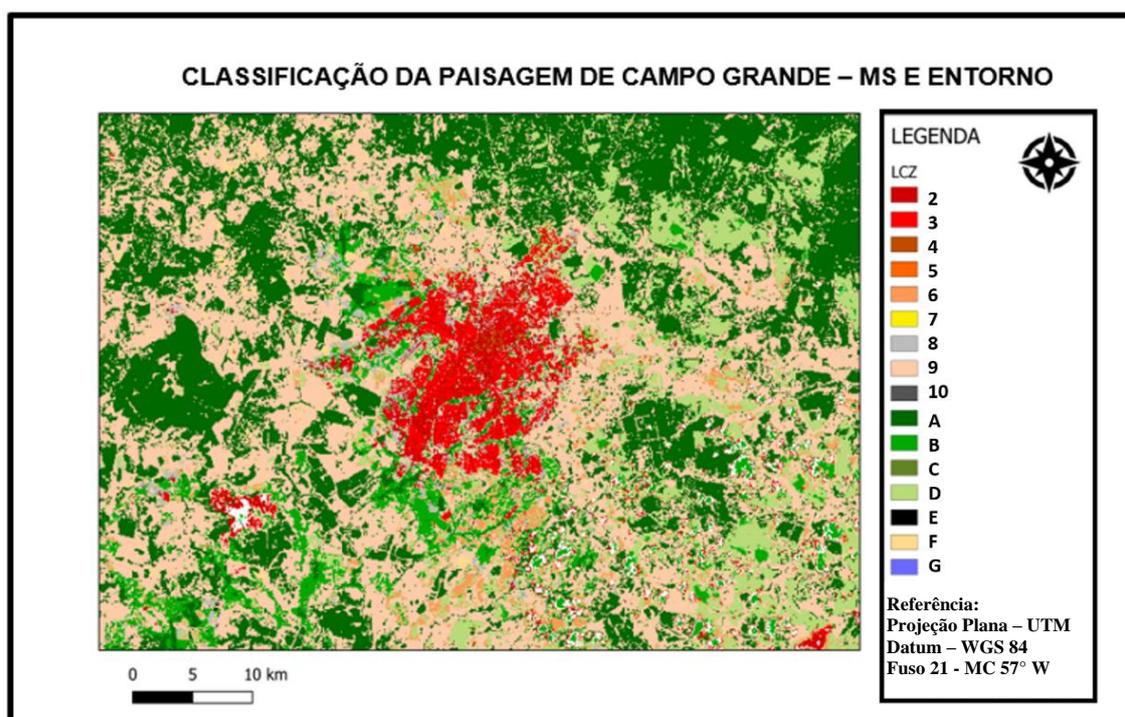


Figura 1. Classificação da Paisagem da cidade de Campo Grande, Mato Grosso do Sul e entorno rural (20km) a partir do método LCZ. Resolução espacial: 100m. Mapa elaborado a partir de algoritmo do *software* SAGA GIS versão 7.0 e classificação no *software* QGIS versão 3.4.5 (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2018).

A Figura 1 apresenta o mapa de morfologia urbana de 2019, segundo *local climate zones* (LCZ). A comparação visual com imagens GOOGLE EARTH (2018 e 2019) evidenciou boa correspondência para as principais morfologias; porém, algumas incertezas na classificação foram verificadas.

A principal incerteza é a classificação incorreta de áreas de vegetação arbórea esparsa ou vegetação rasteira na zona rural, que são classificadas como LCZ 9 (construção esparsa). Mesmo com a alteração das áreas de treinamento o problema persistiu. Ferreira et al. (2016) discutem esse erro, sugerindo que a quantidade de pavimentos nas margens dos rios, bem como os altos níveis de poluição poderiam ser a causa dos erros de classificação.

A correção manual dessas áreas foi considerada, porém, dadas as dimensões do pixel (100m), ora este deveria ser alterado para a classe Vegetação Arbórea Esparsa (LCZ B), ora para a classe Vegetação Rasteira (LCZ D), a depender do percentual de participação da vegetação arbórea na área do pixel. Esse processo teria que ser feito visualmente, o que demandaria elevado tempo de processamento. Além disso, o maior impacto desse erro de classificação seria na aferição da temperatura de superfície (Tsup) ou da temperatura do ar (Tar) por classe LCZ, o que não foi realizado no entorno rural inteiro, apenas em uma amostragem corretamente classificada.

A aproximação do mapa para a área rural, evidencia tanto a boa correspondência para as principais características morfológicas na escala local (Figura 2), quanto algumas das principais confusões verificadas em todas as classificações LCZ. O entorno da área considerada LCZ A (vegetação densa) ficou classificado predominantemente como LCZ 9 (construção esparsa), sendo que deveria ter obtido a classificação LCZ B (vegetação arbórea esparsa) ou LCZ D (vegetação rasteira).



Figura 2. 1) Imagem Google Earth (2019). 2) Mapa LCZ (2019). Área rural. Fonte: 1) Google (2019). 2) Elaboração a partir de algoritmo do *software* SAGA GIS versão 7.0 e classificação no *software* QGIS versão 3.4.5.

Na Figura 3, o entorno da área considerada LCZ A (vegetação densa) ficou corretamente classificado como LCZ B (vegetação arbórea esparsa) e LCZ D (vegetação rasteira), havendo alguma distribuição de LCZ 9 (construção esparsa) indevidamente.



Figura 3. 1) Imagem Google Earth (2019). 2) Mapa LCZ (2019). Área rural. Fonte: 1) Google (2019). 2) Elaboração a partir de algoritmo do *software* SAGA GIS versão 7.0 e classificação no *software* QGIS versão 3.4.5.

Verifica-se a classificação de alguns eixos viários como LCZ 2 (compacta de baixa elevação) e LCZ 8 (grandes construções de baixa elevação). A grande quantidade de áreas pavimentadas existentes nas zonas do tipo 8 possivelmente explica a classificação equivocada de algumas grandes avenidas (Figura 4).

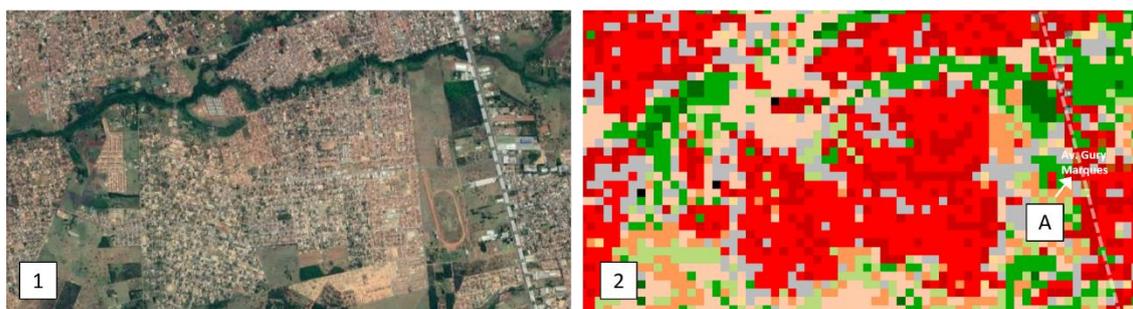


Figura 4. 1) Imagem Google Earth (2019). 2) Mapa LCZ (2019). Eixo viário da Av. Gury Marques. Fonte: 1) Google (2019). 2) Elaboração a partir de algoritmo do *software* SAGA GIS versão 7.0 e classificação no *software* QGIS versão 3.4.5.

As Zonas Climáticas Locais (LCZ) de Campo Grande foram organizadas e descritas de acordo com as fichas técnicas elaboradas por Stewart (2011a), as quais foram preenchidas com os dados observados pela cidade e nos modelos de regressão, com ilustrações correspondentes as LCZs e fotografias. As fichas técnicas se encontram na íntegra na tese de doutorado de SOUZA (2019).

A LCZ 2 é uma zona climática composta por áreas construídas com alta densidade; os edifícios são residenciais e comerciais, de médio porte e baixa elevação; o albedo das superfícies das fachadas corresponde a pedra, cimento, tijolo, e nas coberturas: cimento, cerâmica e telhados metálicos. A cobertura da terra predominante é impermeável, baixo índice de áreas verdes e arborização rarefeita ou inexistente. LCZ 2 está localizada principalmente na região urbana centro de Campo Grande e distribuída ao longo das avenidas Afonso Pena e Ernesto Geisel, onde o fluxo antropogênico (calculado a partir do tráfego de veículos) é considerado elevado.

A LCZ 3 caracteriza-se por áreas densamente construídas, com edifícios considerados baixos (até três pavimentos) e de pequeno porte. Os albedos das superfícies incluem materiais de construção como bloco cerâmico, fibrocimento e telhas cerâmicas. A cobertura da terra em sua maior parte é impermeável com pavimentação asfáltica e pouca vegetação ao longo da zona climática local, inserida na região urbana centro, em bairros

residenciais espalhados pela cidade, com algum comércio local, concentradas também em bairros populares nas porções sul (Moreninhas I, II, III e IV), oeste (vila Santo Amaro), sudoeste (Aero Rancho), e nas porções nordeste (Nova Lima, jardim Campo Belo) e leste (loteamento Marçal de Souza).

A LCZ 4 é representada por edifícios de dezenas de andares, dispostos em arranjo geométrico aberto. Edifícios uniformes em altura, largura e espaçamento. Vista do céu a partir do nível do solo significativamente reduzida. Materiais de construção pesados e telhados e paredes espessas. Telhados tipicamente planos como as lajes. Árvores dispersas e abundante cobertura vegetal. Moderada-baixa demanda de aquecimento / resfriamento do espaço. O fluxo de tráfego de veículos é moderado. Nesta zona climática observa-se a função residencial (blocos de apartamentos, conjuntos habitacionais altos), localizada em algumas avenidas principais, como a av. Afonso Pena, Ernesto Geisel e Joaquim Murtinho.

A LCZ 6 é representada por edifícios com dispersão aberta de baixa elevação, pequenos edifícios de 1 a 3 andares organizados em distribuição ortogonal, em linhas ou dispersos aleatoriamente. A vista do céu a partir do nível do solo é ligeiramente reduzida. São utilizados materiais de construção variados, leves e pesados (madeira, pedra, cimento, tijolo). Poucas árvores e cobertura de vegetação em abundância. Baixa demanda de aquecimento/resfriamento dos espaços. O fluxo de tráfego de veículos é baixo. A função principal é residencial (unifamiliar ou multifamiliar) com comércio local entremeadado. Em Campo Grande, esta zona climática local, ocorre nas franjas urbanas (periferia da cidade), esta zona climática também é comum em cidades consideradas rurais.

A LCZ 8 apresenta grandes construções de baixa elevação, galpões dispersos ou aglomerados. Os materiais de construção utilizados são variados (madeira, pedra, cimento, tijolo), os telhados são de fibrocimento e telha cerâmica. São regiões com infraestrutura consolidada, cobertura da terra pouco permeável, poucas ou nenhuma árvore entre as edificações, presença de solo exposto. O fluxo de veículos é considerado baixo a médio. Nestas zonas climáticas observou-se primordialmente a presença de indústrias leves (armazéns modernos), estabelecimentos comerciais (shopping centers, instalações de armazenamento) e pontos de transporte (aeroporto, rodoviárias, ferroviárias, paradas de caminhões). Ocorre nas franjas urbanas (periferia da cidade), nos anéis viários e ao longo de corredores urbanos (av. Ernesto Geisel, av. Afonso Pena, av. Duque de Caxias).

A LCZ 9 tem por característica predominante o fato de ser pouco adensada, com edifícios baixos de pequeno e médio porte dispersos na paisagem natural. Céu completamente visível a partir do nível do solo. Materiais de construção variados. Cobertura da terra com alto percentual de permeabilidade, presença de árvores entre as edificações, entorno próximo vegetado (cobertura arbórea e rasteira) ou altamente adensado. Caracterizada por fluxo de tráfego baixo e função residencial (unifamiliar ou multifamiliar), comércio local, institucional (parques de pesquisas/ negócios) e agricultura (fazendas). Sua localização ocorre na porção norte, nordeste e em alguns bairros pontuais da cidade onde ocorrem chácaras remanescentes (porção leste e entorno rural leste).

LCZ A, cuja forma consiste em paisagens densamente arborizadas e árvores dispersas em terrenos permeáveis com vegetação rasteira. Em seu entorno podem ser verificadas poucas ou nenhuma estrada ou edifício, onde o fluxo de tráfego é nulo ou baixo. Compreende áreas com floresta remanescente natural e de função recreativa urbana, como

alguns parques arborizados. Sua localização se estende desde pequenos fragmentos no espaço intraurbano até o entorno rural próximo à cidade e fundos de vale vegetados.

A LCZ B apresenta paisagens levemente arborizadas, com a presença de árvores dispersas em áreas permeáveis cobertas por vegetação rasteira. É possível verificar a presença de vias e edifícios próximos a essa LCZ, que lhe conferem fluxo de tráfego moderado a alto. Consiste em áreas com vegetação arbórea remanescente natural ou replantio, utilizadas para a recreação urbana (parques e áreas verdes). Pode ser encontrada no intraurbano, mas a maior concentração está no entorno rural próximo.

A LCZ D está localizada na cidade e no entorno rural. Apresenta paisagens de superfície permeável com vegetação rasteira predominante, possui poucas ou nenhuma árvore, rodovias ou edifícios, e o céu é visível a partir do nível do solo. O tráfego de veículos é baixo. A característica de sua vegetação é rasteira natural ou replantio e voltada para recreação urbana (parques, áreas verdes).

LCZ E é a classe que apresenta superfície de pavimentação asfáltica e rocha exposta como característica de seu albedo. Paisagem sem características de solo permeável, predominantemente rochosa, pavimentada ou compacta. Sua cobertura do solo é variada (pavimentação asfáltica, concreto, cascalho). Poucas ou nenhuma árvore, plantas ou edifícios. Céu completamente visível do nível do solo. Pouco ou nenhum tráfego de veículos. Nesta zona climática não ocorre a demanda de aquecimento/ resfriamento. Cumpre a função de deserto natural (rochas) e escudo geológico, áreas de transporte (estacionamento de veículos, portos para container, terminais de ônibus, trens, aviões). Sua localização ocorre tanto na cidade como no entorno rural.

A LCZ F é representada por solo exposto e areia, ambos definindo o albedo desta classe. Paisagem sem características de superfície impermeável, areia e solo predominante. Poucas ou nenhuma árvores, plantas, rodovias ou edifícios. Céu completamente visível do nível do solo. Pouco ou nenhum tráfego de veículos. Demanda de aquecimento / resfriamento de espaço é considerada nula. Cumpre a função de deserto natural (calor), agricultura (campos arados ou em pousio) e terra estéril, sua localização ocorre tanto na cidade como no entorno rural.

A organização das LCZs e suas respectivas informações em fichas técnicas propiciou a visualização dos elementos que as distinguem entre si e o conhecimento dos fatores que mais interferem na temperatura do ar próximo à superfície representada por cada LCZ (forma construída, materiais construtivos, tipo de cobertura da terra e fluxo de tráfego).

5. Conclusão

No que diz respeito às modificações térmicas e formação de ilhas de calor urbana, a simplificação dos métodos de análises amplamente adotados desde os anos 1950 pode mascarar o cenário real, por exemplo, por utilizar dados higrotérmicos de estações meteorológicas afastadas dos pontos de análise; e os métodos tradicionais de classificação que adotam apenas as características de uso e cobertura do solo, não são vistos como

suficientes para descrever as características dos ambientes climáticos intraurbanos, e fazem uma relação apenas entre o que é considerado ambiente urbano e zona rural.

A identificação e a caracterização das zonas climáticas locais da cidade e do entorno rural próximo permitiu um quadro descritivo da situação de Campo Grande. A criação de cenários de cada superfície analisada, foi base para a formação de um banco de dados atualizado para pesquisas e trabalhos extensíveis a cidades similares e à região centro-oeste brasileira.

Um dos efeitos diretos da Ilha de Calor Urbana é no conforto térmico e saúde da população, sendo assim, a identificação de morfologias urbanas seguindo um padrão pré-estabelecido por Stewart & Oke (2012) bem como a cobertura do solo, fazem com que essas áreas já sejam eleitas para coleta de dados climáticos de forma continuada, e assim, auxiliam na caracterização da distribuição de ICU.

Referências

BECHTEL, B.; ALEXANDER, P. J.; BOHNER, J.; CHING, J.; CONRAD, O.; FEDDEMA, J.; G. MILLS, G.; SEE, L.; STEWART, I. D. Mapping Local Climate Zones for a Worldwide Database of the Form and Function of Cities. *Isprs International Journal of Geo-Information*. V. 4, n. 1, p. 199-219, 2015.

BECHTEL, B.; SEE, L.; GERALD, M.; FOLEY, M. Classification of Local Climate Zones Using SAR and Multispectral Data in an Arid Environment. *Ieee Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. v. 9, n.7, p.3097-3105, 2016.

CARDOSO, R.; AMORIM, M. (2017). Estimativa da distribuição espacial da temperatura do ar com base em zonas climáticas locais (LCZ) e modelos de regressão. *Revista de Geografia e Ordenamento do Território (GOT)*, n. 12 (dezembro). Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território, p. 75-99, [dx.doi.org/10.17127/got/2017.12.004](https://doi.org/10.17127/got/2017.12.004)

DAVENPORT, A. G.; GRIMMOND, C. S. B.; OKE, T. R.; WIERINGA, J. Estimating the roughness of cities and sheltered country. *12ª Conferência em Climatologia Aplicada*, Asheville, American Meteorological Society. V. 4B, n.2, p. 96–99, 2000.

EARTH EXPLORER. 2015. Imagens Landsat 8. Disponível em: <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 10 de junho de 2018.

EMMANUEL, R.; LOCONSOLE, A. Green infrastructure as an adaptation approach to tackling urban overheating in the Glasgow Clyde Valley Region, UK. *Landscape and Urban Planning*. V. 138, p. 71-86, 2015. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2015.02.012.

GELETIC, J.; LEHNERT, M. GIS-based delineation of local climate zones: The case of medium-sized Central European cities. *Moravian Geographical Reports*. V. 24, n.3, p. 2-12, 2016.

GRIMMOND, C. S. B.; OKE, T. R. Heat Storage in Urban Areas: Local-Scale Observations and Evaluation of a Simple Model. *Journal of Applied Meteorology*. V. 38, n. 7, p. 922-940, 1999.

HEBBERT e JANKOVIC. Cities and Climate Change: The Precedents and Why They Matter. *Urban Studies Journal*, v. 50 (7) p. 1332-1347, 2013. doi: 10.1177/0042098013480970.

MASSON, V. Adapting cities to climate change: A systemic modeling approach. *Urban Climate*, Paris, v. 10, p. 407-429, 2014.

MATZARAKIS, A.; RUTZ, F.; and MAYER, H., 2007: Modelling radiation fluxes in simple and complex environments - application of the RayMan model. *International Journal of Biometeorology*, 51(4), 323-334. doi: 10.1007/s00484-006-0061-8.

MATZARAKIS, A.; RUTZ, F.; and MAYER, H., 2010: Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: basics of the RayMan model. *International Journal of Biometeorology*, 54(2), 131-139. doi: 10.1007/s00484-009-0261-0.

MIDDLE, A.; HÄB, K.; BRAZEL, A. J.; MARTIN, C. A.; GUHATHAKURTA, S. Impact of urban design on mid-afternoon microclimate in Phoenix Local Climate Zones. *Landscape and Urban Planning*. 122 (2014) p. 16-28.

OKE, T. R. *Boundary Layer Climates*. London: Methuen & Co. 2nd edn. 1987, 435p.

QGIS DEVELOPMENT TEAM. *QGIS Geographic Information System*, 2018.

REIS, A. L. Influência da rugosidade do terreno para o perfil vertical do vento. 2016. 77f. Monografia (Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas). Universidade Federal Itajubá - UNIFEI, Itajubá.

REVISÃO DO PLANO DIRETOR MUNICIPAL DE CAMPO GRANDE-MS, URBTEC, 2016. Disponível em: <<http://www.campogrande.ms.gov.br/planurb/wp-content/uploads/sites/18/2017/05/Relatório-P2-CG-analise-da-situacao-atual.pdf>>. Acesso em 28 jun. 2018.

SOUZA, C. A. Determinação do campo térmico a partir da classificação da paisagem dos ambientes climáticos intraurbanos. 2019. 172f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais). Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS, Campo Grande.

STEWART, I. D. Redefining the urban heat island. 2011-a. 368f. Tese (Doutorado em Filosofia). The Faculty of Graduate Studies, The University of British Columbia, Vancouver.

STEWART, I. D.; OKE, T. R. Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. *Bull. American Meteorological Society*, v. 93, p. 1879-1900, 2012. doi: 10.1175/BAMS-D-11-00019.1