Revista Brasileira de Climatologia
ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

VARIAÇÃO HIGROTÉRMICA URBANA DE GOIÂNIA/GO EM UM MÊS DE CALOR INTENSO

SANTOS, Júnio Gregório Roza dos – juniogregorio2011@gmail.com
Universidade Federal de Goiás / UFG

Submetido em: 26/03/2020
Aceito para publicação em: 18/06/2020
Publicado em: 30/07/2020
DOI: http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v27i0.72432

RESUMO: As alterações nas paisagens urbanas decorrentes do intenso processo de urbanização das cidades ocasionam perturbações no balanço de energia no sentido de haver maior quantidade de calor disponível para a promoção de aquecimento do ar a depender dos níveis de urbanização e das características ambientais e urbanas dos locais. A presente pesquisa tem como objetivo verificar como as diferenças espaciais e ambientais da malha urbana da cidade de Goiânia/GO afetam o comportamento espacial e temporal das variáveis climáticas temperatura e umidade relativa do ar em um mês de calor intenso na capital goiana (outubro de 2014). Para tanto, adotou-se a proposta teórico metodológica de Monteiro (1976), Sistema Clima Urbano (SCU), mais especificamente o subsistema termodinâmico. A escolha dos pontos de monitoramento das variáveis climáticas foi baseada na caracterização do sítio urbano e na classificação dessas áreas em Zonas Climáticas Urbanas (ZCUs). Ao todo, 5 pontos foram selecionados: dois deles localizados na porção mais densamente ocupada da cidade, mas com diferenças nos padrões construtivos, dois parques urbanos e um na periferia da cidade. A avaliação temporal e espacial das variáveis ocorreu em três horários do dia, às 6h, 14h e 21h e considerou: registros in loco de temperatura e umidade do ar; informações como saldo e perda energético em determinados períodos do dia; tempo máximo diário de aquecimento e desaquecimento e as amplitudes térmica e higrométrica. Os resultados obtidos apontaram variação espacial de temperatura e umidade do ar bem definida em resposta às diferenças de níveis de urbanização, dando-se maior aquecimento na área densamente urbanizada ausente de sombreamento de prédios ou de controladores naturais do campo higrotérmico e menor aquecimento na periferia e nos parques intraurbanos, em virtude da presença dos controladores naturais do campo higrotérmico.

PALAVRAS-CHAVE: clima urbano, Goiânia, comportamento higrotérmico, Zonas Climáticas Urbanas.

URBAN HIGROTHERMIC VARIATION IN GOIÂNIA / GO IN A MONTH OF INTENSE HEAT

ABSTRACT: The changes in urban landscapes resulting from the intense urbanization process of cities cause disturbances in the energy balance in the sense that there is a greater amount of heat available to promote air heating depending on the levels of urbanization and the environmental and urban characteristics of the places. The present research aims to verify how the spatial and environmental differences of the urban fabric of the city of Goiânia / GO affect the spatial and temporal behavior of the climatic variables temperature and relative humidity in a month of intense heat in the capital of Goiás (October 2014). For this purpose, Monteiro's (1976) theoretical methodological proposal, Urban Climate System (UCS) was adopted, more specifically the thermodynamic subsystem. The selection of monitoring points for climatic variables was based on the characterization of the urban site and the classification of these areas in Urban Climate Zones (UCZs). In all, 5 points were selected: two of them located in the most densely occupied part of the city, but with differences in construction patterns, two urban parks and one on the suburban area of the city. The temporal and spatial evaluation of the variables occurred at three times of the day, at 6 am, 2 pm and 9 pm and considered: on-site records of air temperature and humidity; information such as gain and energy loss at certain times of the day; maximum daily time of heating and

cooling and thermal and hygrometric amplitudes. The results obtained showed a well-defined spatial variation in temperature and air humidity in response to differences in urbanization levels, giving greater heating in the densely urbanized area without shading of buildings or natural controllers of the hygrothermal field and less heating in the periphery and in intra-urban parks, due to the presence of natural controllers of the hygrothermal field.

KEYWORDS: urban climate, Goiânia, hygrothermal behavior, Urban Climate Zones

VARIACIÓN HIGROTÉRMICA URBANA EN GOIÂNIA / GO UN MES DE CALOR INTENSO

RESUMEN: Los cambios en los paisajes urbanos como resultado del intenso proceso de urbanización de las ciudades causan perturbaciones en el equilibrio energético en el sentido de que hay una mayor cantidad de calor disponible para promover el calentamiento del aire dependiendo de los niveles de urbanización y las características ambientales y urbanas de los lugares. La presente investigación tiene como objetivo verificar cómo las diferencias espaciales y ambientales del tejido urbano de la ciudad de Goiânia / GO afectan el comportamiento espacial y temporal de las variables climáticas temperatura y humedad relativa en un mes de calor intenso en la capital de Goiás (octubre de 2014) Para ello, se adoptó la propuesta metodológica teórica de Monteiro (1976), Urban Climate System (SCU), más específicamente el subsistema termodinámico. La elección de los puntos de monitoreo para las variables climáticas se basó en la caracterización del sitio urbano y la clasificación de estas áreas en Zonas de Clima Urbano (ZCU). En total, se seleccionaron 5 puntos: dos de ellos ubicados en la parte más densamente ocupada de la ciudad, pero con diferencias en los patrones de construcción, dos parques urbanos y uno en las afueras de la ciudad. La evaluación temporal y espacial de las variables se realizó tres veces al día, a las 6 a.m., a las 2 p.m. y a las 9 p.m. y consideró: registros in situ de la temperatura y humedad del aire; información como el equilibrio y la pérdida de energía en ciertos momentos del día; Tiempo máximo de calentamiento y enfriamiento diario y amplitudes térmicas e higrométricas. Los resultados obtenidos mostraron una variación espacial bien definida en la temperatura y la humedad del aire en respuesta a las diferencias en los niveles de urbanización, dando un mayor calentamiento en el área densamente urbanizada sin sombrear los edificios o controladores naturales del campo higrotérmico y menos calentamiento en la periferia y en parques intraurbanos, debido a la presencia de controladores naturales del campo higrotérmico.

PALABRAS CLAVE: clima urbano, Goiânia, comportamiento higrotérmico, zonas climáticas urbanas

1. INTRODUÇÃO

Um relatório de 2018 produzido pelas Nações Unidas a respeito da urbanização mostrou que, ao longo do último século, o processo de crescimento e expansão das cidades se intensificou de modo bastante acelerado. Rapidamente, pequenas e médias cidades se converteram em grandes metrópoles se consolidando como verdadeiros polos de atração de mercadorias, serviços e pessoas. O ritmo, segundo esse relatório, foi tão intenso que em 2007, a população global deixou de ser predominantemente rural e passou a ser predominantemente urbana. Em 2018, 55% da população mundial já vivia em áreas urbanas (ONU, 2019).

Para comportar esse *input* demográfico, as cidades tiveram que se ajustar à demanda crescente. Primeiro, expandindo sua área e, posteriormente, a partir da verticalização que impulsionou a ocupação, sobretudo, de áreas nobres (SANTOS et al., 2015). O padrão arquitetônico estabelecido privilegiou modelos de construção que limitavam a existência de áreas permeáveis e recobertas por vegetação nativa, as quais foram suprimidas e revestidas por

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

concreto e asfalto (ADLER e TANNER, 2015). Até mesmo os rios e córregos que corriam dentro das cidades passaram por processos de canalização que alteraram seu fluxo e funcionamento (TUCCI, 2008). Mais tarde, começou-se a notar que uma série de impactos surgiram decorrentes dessas intervenções (ADLER e TANNER, 2015) afetando, de certo modo, o bem estar das pessoas, seja pela ocorrência de alagamentos e inundações, seja pela poluição gerada pelos veículos e indústrias ou pelo aparecimento de áreas mais quentes dentro da malha urbana das cidades (OKE, 1973; 1981; GRIMMOND, 2007).

Dentro da Climatologia, estudos identificaram que as transformações nas paisagens urbanas, de alguma forma, mantinham relação com as alterações observadas sobre o comportamento das variáveis climáticas como temperatura, umidade e precipitação (GRIMMOND, 2007; MONTEIRO, 1976). Tais alterações ocorriam no sentido de propiciarem a geração de uma espécie de funcionamento climático urbano próprio que se diferenciava daquele observado nas áreas menos densamente ocupadas ou áreas rurais circundantes (SANTAMOURIS, 2001; 2014).

Para explicar o clima nas grandes cidades, Monteiro (1976) lança mão da teoria do Sistema do Clima Urbano (SCU) que demonstra a sua importância a partir do momento em que assume a existência de um microclima urbano formado por elementos climáticos e por elementos não atmosféricos, incluindo o homem e suas interferências nas paisagem urbanas. Desse modo, à medida que se intensificam as intervenções antrópicas, observa-se que o comportamento espacial e temporal das variáveis climáticas como a temperatura e a umidade do ar é diretamente afetado por um campo higrotérmico "produzido". Como resultado, o autor aponta a ocorrência de uma perturbação do balanço energético do meio urbano indicando maior calor disponível para o aquecimento do ar, o que caracteriza, portanto, a estrutura própria do SCU.

As perturbações sobre o balanço energético são induzidas por diversos fatores, entre eles: 1) **a impermeabilização e a supressão da vegetação** que afetam a disponibilidade de vapor de água que captam o calor e impedem o imediato aquecimento do ar; 2) **o impedimento físico à circulação dos ventos** ocasionada pela presença e concentração de prédios e 3) **a utilização de materiais de construção potencialmente armazenadores de calor** que aumentam a energia disponível durante o dia e que após a insolação direta vai ser liberada ao longo da noite prolongando a sensação de calor e 4) **a produção de calor antropogênico** decorrente das intensas atividades advindas de várias fontes, como automóveis, processos industriais, e até mesmo pelas próprias pessoas (GARTLAND, 2010).

Diversos estudos produzidos têm mostrado os impactos dessas alterações sobre as variáveis climáticas e, como consequência, têm destacado os efeitos dessas alterações sobre o bem estar da população. Por exemplo, Li et al. (2015) e Li e Bou-Zeid (2013) indicaram haver uma sinergia entre ondas de calor e as chamadas ilhas de calor de modo que, em dias quentes, os efeitos das ilhas de calor são amplificados. Entre as causas dessa sinergia, os autores destacam a redução da velocidade dos ventos devido a presença de altos prédios, e a ausência de corpos hídricos e áreas úmidas nas proximidades. Van Hove *et al.* (2015) realizaram um detalhado estudo sobre a distribuição das áreas de calor e frescor dentro da cidade de Rottendan na Holanda e identificaram que as áreas mais quentes e termicamente desconfortáveis

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

coincidiram com as áreas construídas e as áreas de maior impermeabilidade do solo, ao passo em que não se notou mesma relação entre as áreas verdes e a configuração de áreas de aquecimento excessivo. Callejas et al. (2016) analisaram as variações do balanço energético comparando a porção central e rural de Cuiabá/MT e verificaram redução na dissipação do calor e aumento em cerca de três vezes do armazenamento de calor pelas superfícies na porção mais densamente urbanizada, dando-se o oposto para as áreas rurais. Romero (2011), ao estudar o microclima da cidade de Brasília demonstrou relação entre padrões construtivos urbanos e o retardamento da dispersão do calor fazendo com que ele esteja por mais tempo disponível para o aquecimento do ar, e com isso, podendo prolongar a sensação de desconforto térmico. Paixão e Luiz (2013) e Paixão (2016) atestam situação preocupante no que diz respeito ao desempenho de atividades que exigem esforço físico, sobretudo, em locais de aglomeração como feiras livres em períodos do ano mais quentes.

Assim, é primordial que estudos climáticos urbanos sejam realizados a fim de verificar como o campo higrotérmico é afetado e passa a funcionar frente às mudanças provocadas pelos intensos processos de urbanização, seja para alertar a população dos momentos e lugares mais críticos de calor, seja como instrumento para o planejamento da cidade visando garantir a qualidade ambiental e o bem estar das pessoas.

A cidade de Goiânia, capital do estado de Goiás, é um exemplo de metrópole que passou por um rápido e intenso processo de urbanização desacompanhado de um planejamento urbano ecológico eficiente que disciplinasse a sua expansão e ocupação. Como consequência, atualmente, sofre com uma série de problemas de natureza social e ambiental (NASCIMENTO e PODESTÁ FILHO, 1993; SANTOS e ROMÃO, 2010). Estudos recentes, têm indicado que a cidade apresenta um microclima específico e que, nas últimas décadas, os efeitos de sua configuração têm se manifestado com mais intensidade sobre a população. Luiz (2012) identificou tendência positiva de aumento das temperaturas e redução da umidade relativa do ar. Nascimento, Lima e Cruz (2019) identificaram aumento na frequência e intensidade de eventos climáticos extremos nas últimas décadas, sobretudo, nos últimos dez anos.

Considerando o exposto, a presente pesquisa selecionou a cidade de Goiânia como sua área de estudo e determinou como seu objetivo verificar, em um mês de calor intenso, como o comportamento espacial e temporal das variáveis climáticas temperatura e umidade relativa do ar é afetado pelas diferentes configurações espaciais e ambientais da malha urbana.

2. CATACTERIZAÇÃO DA CIDADE DE GOIÂNIA/GO: ASPECTOS CLIMÁTICOS E O SEU PROCESSO DE URBANIZAÇÃO

A cidade de Goiânia é um exemplo de metrópole que passou por um rápido processo de urbanização ausente da aplicação de um planejamento eficiente que disciplinasse a sua expansão e ocupação. Para se ter uma noção do ritmo acelerado das transformações na paisagem, de acordo com Nascimento e Oliveira (2015), estima-se que entre 1986 e 2010, a área urbana cresceu 92,8% e a área de vegetação nativa reduziu 52,7%.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Entre 1940 e 2018, o crescimento populacional observado também mostrou ritmo célere. De acordo com dados demográficos do IBGE, em 1940, a população da recém fundada Goiânia era de cerca de 48.000 habitantes e, em 2019, alcançou 1.516.113 habitantes se tornando a 10ª cidade mais populosa do Brasil. Paralelamente, houve o crescimento acelerado da frota de carros. Estudo realizado pela Confederação Nacional dos Municípios em 2018, identificou que Goiânia já tinha a 6ª maior frota do país, somando 605 mil veículos circulando.

Luiz (2012) explica que a dinâmica regional da atmosfera em Goiânia é comandada pela atuação dos centros de ação inter e extratropicais da América do Sul, que se individualizam como massas de ar que associadas aos fatores físicos-geográficos, conferem à cidade características climáticas do tipo sub-úmido, definindo forte sazonalidade. O verão caracteriza o período quente e chuvoso e o inverno é marcado pelas quedas na temperatura, baixa umidade relativa, elevadas amplitudes térmicas e praticamente ausência de precipitações.

Nascimento, Lima e Cruz (2019) afirmam que durante o período chuvoso (out.-abr.) predomina a ação da Massa Equatorial Continental (mEc) e da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Durante o período de estiagem (maio-set.) há a predominância da atuação da Massa Tropical Atlântica. Dados da série histórica 1961-2018 levantados pelos autores, apontam que as temperaturas mais elevadas ocorrem nos meses de setembro e outubro com máximas médias de 33,1°C e 32,3°C e os meses mais frios são junho e julho, com médias mínimas médias de 14,8°C e 14,3°C.

Luiz (2012) ao avaliar dados meteorológicos registrados entre 1961 e 2008 aponta tendência positiva para o campo térmico e negativo para a umidade relativa do ar na cidade de Goiânia. Segundo a autora, a temperatura do ar indicou acréscimo em média entre 0,8 a 2,4°C. Enquanto, os índices de umidade relativa do ar demonstraram decréscimo em torno de 6,9% na média. Essa mesma tendência de aquecimento foi observada por Nascimento e Oliveira (2012) ao utilizar imagens termais entre a década de 1986 e 2010. Os autores identificaram que as maiores temperaturas das superfícies dentro da malha urbana coincidem com o centro urbano densamente ocupado e, na evolução temporal, constataram que a quantidade de área onde foram registradas as maiores faixas de temperatura mostraram oscilação positiva. De acordo com os autores:

> "A faixa compreendida entre 24,1 e 26°C dobrou de área, passando de 12,7%, em 1986, para 23,3%, em 2010. A classe de 26,1 a 28°C, com 0,6% de ocorrência em 1986, passou a ocupar 24,2% da área total em 2010 (uma evolução de quase 40 vezes!). E, por fim, as classes entre 28,1 e 38°C, que eram inexistentes em 1986, passaram a ocupar 13,6% da área total do município em 2010." (NASCIMENTO e OLIVEIRA, 2012, p. 124).

Indo ao encontro do resultados anteriores, Nascimento, Lima e Cruz (2019) identificaram que os picos máximos de temperatura durante os anos de 1961 e 2018 têm se mantido sempre acima de 35°C e foram registrados, principalmente, durante a primavera nos meses de setembro (52,6% dos episódios) e outubro (35,1% dos episódios). Os autores incluem esses picos de temperatura máxima dentre os eventos climáticos extremos, os quais, segundo

eles, têm acontecido com maior frequência e intensidade em Goiânia nas últimas duas décadas, sobretudo, nos últimos 10 anos. Considerando apenas o maior evento anual, os autores elencam os cinco maiores em ordem de intensidade que ocorreram em 2015 (40°C), 2014 e 2017 (39,7°C), 2007 (39,4°) e 2016 (39°C) e relacionam-se, em termos atmosféricos, com a atuação da massa Equatorial Continental (mEc) e massa Tropical do Atlântico (mTa).

3. METODOLOGIA

A metodologia dessa pesquisa se respalda na proposta teórica, conceitual e metodológica estruturada por Monteiro (1976), Sistema do Clima Urbano (S.C.U), considerando os subsistemas termodinâmico (conforto térmico) e encontra-se estruturada em 6 etapas interdependentes. São elas:

Etapa I - Calibração dos termohigrômetros

Utilizou-se para os registros *in situ* termohigrômetros *KlimaLogg* Pro modelo 3030.39.0.00 com sistema Datalloguer. Estes aparelhos apresentam resolução de 0,1°C para temperatura e de 1% para umidade relativa do ar. Os mesmos, foram configurados para captar e registrar informações de temperatura ar e da umidade relativa do ar em intervalos de 15 min. A calibração dos aparelhos ocorreu entre abril e maio de 2014 junto à estação meteorológica da Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás (EA/UFG) que opera desde 1975. Não foram identificadas variações consideráveis entre os dados dos termohigrômeros e os produzidos pela estação da EA, eliminando quaisquer dúvidas quando à acurácia dos dados ou quanto ao funcionamento dos dispositivos utilizados.

Etapa II – Campanhas de campo para identificação e seleção dos locais estratégicos para a instalação dos termohigrômetros

Oke (2004) assinala que a escolha de locais adequados à instalação de estações requer, de antemão, uma avaliação do sítio urbano que envolva a descrição de suas propriedades. Entre elas, o autor destaca a estrutura urbana (dimensão dos prédios e dos espaços entre eles, largura das ruas), cobertura urbana (área construída, área pavimentada, área vegetada, solo exposto, massa d'água), o tecido urbano (materiais de revestimento das superfícies sejam elas naturais ou construídos) e o metabolismo urbano (calor, água e poluentes decorrentes das atividades humanas). Adotou-se, portanto, essa metodologia de descrição do sítio urbano utilizando como apoio ferramentas de geoprocessamento, fotografias aéreas, modelos em três dimensões disponibilizadas pelo google maps, dados demográficos, ferramentas de monitoramento de tráfego e campanhas de campo. No quadro 1 pode ser verificado quais características urbanas foram levantadas e com o auxílio de quais ferramentas.

Quadro 1 - Propriedades urbanas e ferramentas para a sua avaliação

Propriedades Urbanas	**Características Urbanas**	**Ferramenta**
Estrutura Urbana	Dimensões dos prédios	Imagens 3D disponíveis no Google Maps
	Espaçamento entre prédios	Imagens 3D disponíveis no Google Maps

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

	Largura das ruas	Imagens aéreas
Cobertura Urbana	Área construída	Mapeamento do Uso e Cobertura do Solo utilizando imagens de satélite e ferramentas de geoprocessamento
	Área pavimentada	
	Área vegetada	
	Solo exposto	
	Massa d'água	
Tecido Urbano	Materiais de revestimento das superfícies	Visitas de campo e informações do Google Street View
Metabolismo Urbano	Atividades antrópicas	Dados demográficos (pop. total, densidade demográfica) e informações de trânsito do *Google Maps*

Fonte: Oke, 2004.

Para a caracterização da estrutura urbana e do tecido urbano, utilizou-se imagens aéreas e em 3D do ano de referência deste estudo disponibilizadas pelo Google Maps. Além, delas, utilizou-se para a descrição informações obtidas por meio de campanhas de campo e fotografias tiradas nos locais de interesse. Para a cobertura urbana, realizou-se mapeamento das classes de usos e cobertura do solo utilizando ferramentas de geoprocessamento. Quanto à caracterização do metabolismo urbano considerou-se dados demográficos, mais especificamente, os números de população total dos bairros focalizados e suas densidades demográficas (hab./km²), informações estas, levantadas pelo projeto Mapa Urbano Básico Digital do Município de Goiânia (MUBDG, 2012) e disponibilizados pela Prefeitura de Goiânia. Utilizou-se para o mesmo fim, informações sobre tráfego disponibilizadas pelo *Google Maps* abertas para consulta pública por meio do site https://www.google.com.br/maps, as quais mostram em tempo real, através de dados de geolocalização dos aparelhos de telefones móveis, a situação de uma via quanto à velocidade do fluxo de veículos, mas também mostram o trânsito típico de uma determinada via num determinado dia da semana e horário. Preferiu-se por trabalhar com o trânsito típico das áreas aqui focalizadas, pois essa opção de visualização de informações permite caracterizar o tráfego e identificar áreas de maior e menor concentração de fluxo de veículos considerando intervalos longos de informação. Julgou-se mais adequado trabalhar com informação de tráfego em horário de pico diário, o qual ocorre por volta das 18h no meio de semana.

Conforme mostra Oke (2004), a finalidade desse levantamento descritivo das propriedades urbanas é delinear as chamadas Zonas Climáticas Urbanas (ZCUs) que são delineamentos amplos que conjugam áreas com certas propriedades urbanas comuns. Devido às limitações operacionais desta pesquisa que impossibilitaram a caracterização de zonas climáticas urbanas de modo a abranger todo o limite municipal, alguns bairros da cidade foram selecionados para descrição e caracterização, considerando, obviamente, alguns critérios como áreas potencialmente quentes e frias, além de diferenças existentes entre o padrão construtivo, a presença ou não de controladores do campo higrotérmico, a concentração de fluxos e serviços e as distintas funções desempenhadas por cada uma dessas localidades dentro da malha urbana. As áreas selecionadas foram: conforme mostra a Figura 1, quatro bairros localizados na porção mais densamente ocupada da cidade, mas com diferenças

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

nos padrões construtivos e um ponto localizado na periferia da cidade no limite do perímetro urbano.

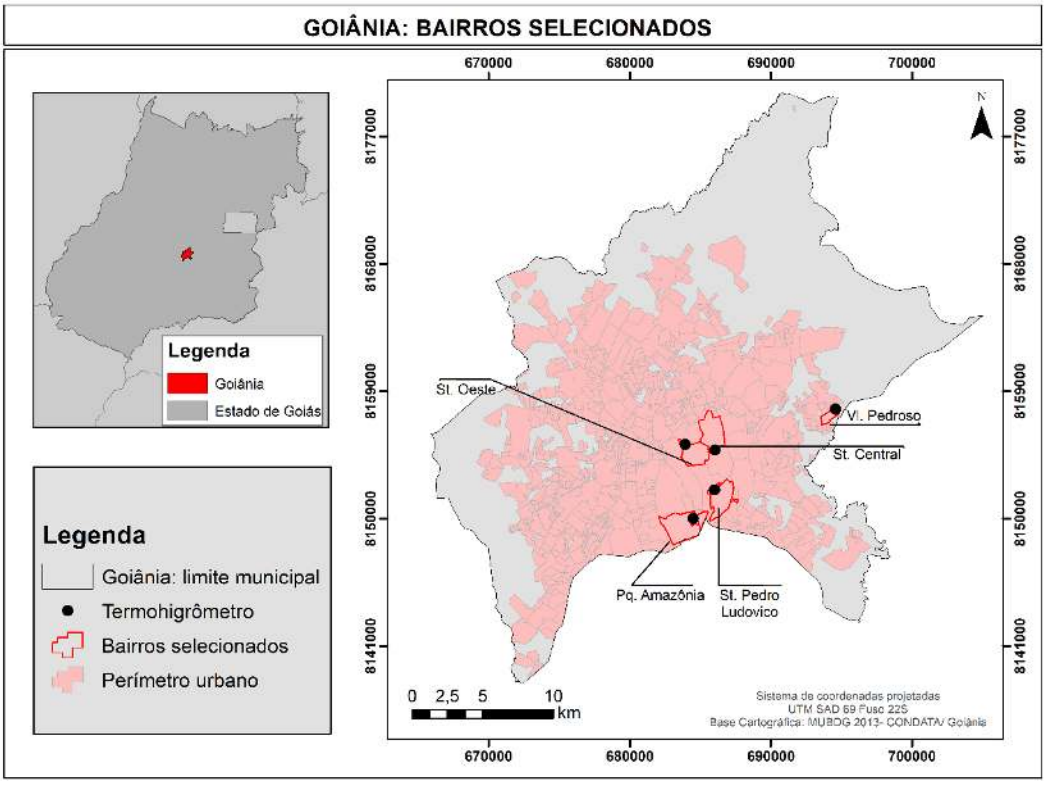
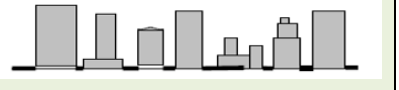
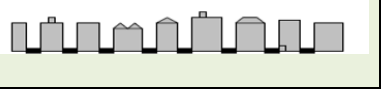


Figura 1 - Goiânia: bairros selecionados. Fonte: Perímetro urbano e divisões de bairros – MUBDG 2013.

Para dar conta da definição das ZCUs, utilizou-se uma adaptação simplificada da classificação apresentada por Oke (2004) que categoriza em sete classes as distintas formas urbanas, considerando, principalmente, os padrões construtivos, as funções urbanas, a presença de vegetação e o revestimento ou não das superfícies (Quadro 2). Ao invés de calcular a altura média das construções e árvores e o espaçamento médio entre eles, optou-se pelo enquadramento das formas urbanas levando em conta o levantamento descritivo das áreas focalizadas com o apoio de imagens de satélite, imagens 3D disponibilizadas pelo *Google Maps* e as observações realizadas em campo.

Quadro 2 - Classificação simplificada das formas urbanas

Classes	Zonas Climáticas Urbanas (ZCUs)	Paisagem urbana Simplificada
1	Desenvolvimento urbano intenso. Arranha-céus muito próximos com revestimento em suas fachadas. Ex.: Prédios centrais.	
2	Desenvolvimento urbano intenso. Alta densidade de construções com 2 – 5 pisos conectados ou muito próximos, frequentemente revestidos por tijolos ou	

	similares. Ex.: centro urbano antigo.	
3	Altamente desenvolvido, densidade urbana média com casas e lojas bastante próximas. Ex.: bairros residenciais urbanos.	
4	Altamente desenvolvido. Baixa ou média densidade urbana com construções largas e baixas e área de estacionamento. Ex.: shoppings centers e depósitos e galpões.	
5	Desenvolvimento médio, baixa densidade suburbana, com casas de 1 – 2 pisos. Ex.: bairros periféricos distantes do centro urbano.	
6	Uso misto por construções largas em paisagens abertas. Ex.: universidades e aeroportos.	
7	Desenvolvimento semi rural, casas dispersas em área de vegetação natural ou agrícola. Ex.: fazendas.	
Legenda	 Construções	 Vegetação	Superfície permeável	 Superfície impermeável

Fonte: adaptado de Oke (2004).

Etapa III – Preparação e instalação dos miniabrigos meteorológicos

Cinco mini abrigos de madeira com abertura frontal e em sua parte inferior foram preparados para receberem os termohigrômetros que ficaram a uma altura de pelo menos 1,5m da superfície (Figura 2). Buscou-se, na medida do possível, aproveitar ao máximo as características das formas urbanas dos locais de instalação, optando sempre por locais externos. Alguns cuidados com agentes de interferência que porventura pudessem afetar os parâmetros analisados foram tomados, como evitar a proximidade de fontes industriais de calor, de coberturas e telhados, ou barreiras físicas que dificultassem a circulação dos ventos.



Figura 2 - Mini abrigos

Etapa IV - Mapeamento e Classificação do Uso e Cobertura do Solo no entorno das estações

A classificação do Uso e Cobertura do solo se deu no âmbito da descrição das ZCUs, mais especificamente no levantamento das áreas construídas, áreas pavimentadas e áreas vegetadas. Esse mapeamento foi realizado sobre as imagens de alta resolução espacial do ano de 2014 disponibilizadas pelo próprio *Google Earth*. Tal procedimento foi realizado utilizando-se de *software* de geoprocessamento *Arcgis* 10.3.1 versão gratuita para estudantes, que se encontra disponível no sítio eletrônico da ESRI. A ferramenta utilizada para desenvolver a classificação em si foi a *Classification* a partir do método automático não supervisionado, no qual o analista identifica classes e em seguida são colhidas amostras na imagem para completar a classificação. O resultado obtido conjuga alvos com valores espectrais semelhantes dentro da classe definida. Para a definição das classes de Uso e Cobertura do Solo, utilizou-se aquelas vistas em Van Hove et al. (2014), mas com algumas simplificações e adaptações em suas nomenclaturas. São elas: área construída; área cobertura por gramíneas, contemplando gramados e pastagens; cobertura arbórea; massas d'água e área sombreada por edifícios.

O mapeamento ocorreu dentro de um raio de 300m ao redor do ponto de instalação das estações. A escolha do raio de 300m se deu de modo a contextualizar a área diretamente próxima ao ponto de coleta de dados e destacar com isso, a influência do arranjo urbano sobre os registros de temperatura e umidade. Não foi verificado na literatura consultada nenhuma definição exata do raio a ser delimitado e mapeado ao redor do ponto de coleta, mas, apenas a necessidade de caracterização dos seus arredores imediatos.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Etapa V- Organização dos dados coletados em planilhas Excel

Etapa VI - Identificação da variação da temperatura e da umidade relativa do ar dos locais de registro em um mês de calor intenso

Luiz (2012) e Nascimento, Lima e Cruz (2019) destacam os meses de setembro e outubro como aqueles nos quais são observados os picos temperatura máxima e picos de umidade mínima na cidade de Goiânia/GO. Dados das normais climatológicas (1990 – 2020) confirmam essa tendência ao evidenciarem que todos os 20 maiores episódios de temperatura máxima na cidade estão contemplados dentro desses dois meses do ano, em especial, em outubro, mês que concentra os dez mais intensos episódios de temperatura máxima na cidade conforme mostra a tabela 1. Ao observar as médias diárias no mesmo período, nota-se que os registros de outubro se sobressaem aos de setembro, uma vez que as 10 maiores médias diárias ocorreram durante meses de outubro.

Tabela 1 - Goiânia: os 10 maiores registros de temperatura máxima e de médias diárias entre 1990 – 2020

Posição do registro na série histórica	Temperatura máxima	Data de ocorrência	Temperatura média diária	Data de ocorrência
1°	40,0	15/10/2015	32.42	19/10/2015
2°	40,0	18/10/2015	31.96	17/10/2007
3°	39.9	19/10/2015	31.90	16/10/2017
4°	39.8	15/10/2017	31.60	15/10/2015
5°	39.7	16/10/2017	31.52	18/10/2015
6°	39.6	15/10/2014	31.52	15/10/2017
7°	39.6	17/10/2014	31.44	20/10/2015
8°	39.6	14/10/2015	31.40	14/10/2015
9°	39.5	16/10/2015	31.40	14/10/2017
10°	39.4	17/10/2007	31,36	21/10/2015

Fonte: Dados da estação 83423 – Goiânia/GO. Banco de dados meteorológicos para Ensino e Pesquisa – BDMEP/INMET.

Os registros obtidos *in situ* entre os meses de junho e dezembro de 2014, em cinco pontos distribuídos em áreas distintas da cidade confirmam os meses de setembro e outubro como os mais quentes e secos. No entanto, verificou-se concentração dos episódios de temperatura máxima, sobretudo, no mês de outubro (Tabela 2), habilitando-o como o mais propício para se verificar o comportamento do campo higrotérmico na capital do estado de Goiás em um período de calor intenso.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Tabela 2 - Os 10 maiores episódios de temperatura máxima nos meses mais quentes de 2014.

Posição do registro	Vila Pedroso		Parque Areião		Lago das Rosas	
	Data do registro	$T_{máx}$	Data	$T_{máx}$	Data	$T_{máx}$
1°	16/10/2014	40,8	17/10/2014	35,8	18/10/2014	36,8
2°	17/10/2014	40,2	16/10/2014	35,7	19/10/2014	36,6
3°	18/10/2014	40,1	15/10/2014	35,5	16/10/2014	36,4
4°	14/10/2014	39,4	18/10/2014	35	17/10/2014	36,4
5°	15/10/2014	39	14/10/2014	34,8	05/09/2014	36,1
6°	19/10/2014	39	19/10/2014	34,8	29/09/2014	36
7°	12/10/2014	38,9	13/10/2014	34,1	15/10/2014	36
8°	29/09/2014	38,8	19/09/2014	34	18/09/2014	35,8
9°	13/10/2014	38,8	21/10/2014	33,7	17/09/2014	35,4
10°	28/09/2014	38,3	18/09/2014	33,6	28/09/2014	35,4

Posição do registro	Parque Amazônia		Setor Central	
	Data	$T_{máx}$	Data	$T_{máx}$
1°	16/10/2014	42,8	06/10/2014	39,9
2°	17/10/2014	42,8	15/10/2014	37,2
3°	15/10/2014	42,0	16/10/2014	36,6
4°	14/10/2014	41,5	17/10/2014	35,8
5°	21/10/2014	41,1	14/10/2014	35,5
6°	12/10/2014	41,0	13/10/2014	35,3
7°	13/10/2014	40,9	18/10/2014	35,3
8°	19/10/2014	40,7	18/09/2014	35,1
9°	18/10/2014	40,6	19/10/2014	34,6
10°	18/09/2014	40,5	17/09/2014	34,3

* os registros de Tmáx ocorridos em outubro de 2014 foram destacados. Fonte: dados obtidos *in situ.*

A avaliação higrotérmica dos pontos de coleta de dados levou em conta o comportamento médio diário dos parâmetros umidade relativa do ar e temperatura. Além de informações trabalhadas decorrentes desses dados primários, como levantamento das amplitudes térmica e higrométrica, do saldo e perda energética e de umidade em determinados períodos do dia e a identificação do tempo decorrido para o máximo aquecimento e desaquecimento diário. Todas informações médias para o mês de outubro de 2014.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Levando em conta a variação diária de temperatura e umidade do ar, três horários demonstraram serem os mais propícios ao entendimento da influência da presença/ausência de insolação sobre o aquecimento/resfriamento do ar. A saber: 1) O horário das 6h, por anteceder a influência da insolação e por ser o horário menor aquecimento. 2) O horário das 14h, ao contrário do horário anterior, demonstra ser o melhor momento do dia para compreender a influência da insolação sobre o aquecimento do ar, nesse instante, o ar já se aqueceu a ponto de fazer com que as maiores temperaturas do dia sejam registradas. 3) O horário das 21h, pois os efeitos diretos da insolação já não são sentidos, porém, os efeitos indiretos predominam, uma vez que, nesse horário do dia, nem todo o calor armazenado pelas superfícies foi liberado e, portanto, o ar continua ganhando calor, agora não mais por incidência solar direta, mas por convecção.

4. CARACTERIZAÇÃO DAS ZONAS CLIMÁTICAS URBANAS

Considerando as propriedades urbanas, as cinco áreas selecionadas foram classificadas em Zonas Climáticas Urbanas conforme mostra o quadro 3. Três delas como Zonas climáticas do Tipo 2, que se refere às áreas de desenvolvimento urbano intenso com alta densidade de construções, estas, com 2 a 5 pisos conectados ou muito próximos frequentemente revestidos por tijolos ou similares. Duas das três zonas climáticas do tipo 2 apresentam uma especificidade que merece destaque no que tange à avaliação do comportamento do campo higrotérmico, uma vez que possuem parques, os quais são destacados e classificados como áreas de frescor dentro da malha urbana por serem reguladores naturais da umidade e temperatura (RODRIGUES, PASQUALETTO e GARÇÃO, 2017). As demais Zonas climáticas são do tipo 3 e 5. Respectivamente, referindo-se a áreas de alto desenvolvimento com densidade urbana média com casas e lojas próximas e a áreas desenvolvimento médio, baixa densidade suburbana, com casas de 1 a 2 pisos, o que condiz com bairros suburbanos periféricos.

Quadro 3 - Síntese da caracterização das ZCUs e reguladores naturais do campo higrotérmico.

Propriedades Urbanas	**Características Urbanas**	**Zonas Climáticas Urbanas**				
		ZCU-2a Setor Central	**ZCU-2b Pq. Areião**	**ZCU-2c Lago das Rosas**	**ZCU-3 Pq. Amazônia**	**ZCU-5 Vila Pedroso**
Estrutura Urbana	Dimensões dos prédios	Concentração de Prédios com mais de 5 pisos	Concentração de Prédios com mais de 5 pisos	Concentração de Prédios com mais de 5 pisos	Predominância de construções com 2 pisos ou menos	Ausência de construções com mais de 2 pisos
	Espaçamento entre prédios	Prédios próximos	Prédios próximos	Prédios próximos	Prédios afastados	—
	Largura das ruas	Vias duplicadas largas e vias	Vias duplicadas largas e vias	Vias duplicadas largas e vias	Vias duplicadas largas e vias	Vias estreitas

			estreitas	estreitas	estreitas	estreitas	
Cobertura Urbana	Área construída		68%	49%	65%	66%	38%
	Cobertura arbórea		19%	41%	25%	11%	30%
	Gramíneas		13%	4%	5%	23%	31%
	Massa d'água		-	6%	5%	-	1%
Tecido Urbano	Materiais de revestimento das superfícies		Superfícies revestidas de concreto e asfalto	Superfícies revestidas de concreto e asfalto e gramíneas	Superfícies revestidas de concreto e asfalto e gramíneas	Superfícies revestidas de concreto e asfalto e gramíneas	Superfícies revestidas de concreto e asfalto e gramíneas
Metabolismo Urbano	Dados populacionais	Pop. total	24.204 hab.	24.890 hab.	26.519 hab.	20.907 hab.	5.555 hab.
		Dens. Demográfica	6.949,27 hab./km²	6.577,28 hab./km²	9.670,10 hab./km²	4.830,11 hab./km²	7.272,30 hab./km²
	Tráfego		Trânsito rápido à moderadamente rápido em todas as vias. Um pequeno trecho de lentidão	Trânsito rápido à moderadamente rápido em todas as vias	Trânsito rápido à moderadamente rápido em todas as vias	Trânsito rápido à moderadamente rápido em todas as vias	Trânsito rápido à moderadamente rápido em todas as vias
Reguladores naturais do campo higrotérmico	Área com vegetação arbórea densa		✗	✓	✓	✗	✓
	Extensa área permeável		✗	✓	✓	✗	✓
	Massa d'água		✗	✓	✓	✗	✓

Quanto à estrutura urbana, verifica-se a partir da figura 3 que nas ZCUs do tipo 2, de alto desenvolvimento urbano, há a presença e concentração de prédios comerciais e residenciais com mais de 5 pisos, não obstante à presença de construções menores que ocorrem em frequência e concentração semelhante. Todas as ZCUs do tipo 2 são recortadas por vias largas extremamente importantes que ligam diferentes regiões da cidade, mas também por vias mais estreitas que as cruzam e respondem pelo acesso às residências e lojas espalhadas pela região. A ZCU do tipo 3, de alto desenvolvimento urbano, não apresenta concentração de construções com cinco pisos ou mais. Construções desse tipo, ocorrem de forma pontual e dispersa. O

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

padrão construtivo típico ali, diz respeito a construções menores com no máximo 2 pisos utilizadas como residências, comércio e estabelecimentos prestadores de serviços diversos. No entanto, apresenta vias largas que ligam essa região às demais, principalmente, aquelas localizadas mais ao centro da cidade. A ZCU do tipo 5, de médio desenvolvimento urbano, se difere das demais por estar numa área mais distante do centro da cidade, próxima a áreas rurais, áreas não loteadas ou em processo de ocupação. As características urbanas observadas mostram ausência de prédios ou construções maiores que 5 pisos e vias estreitas que servem de acesso a residências e a pequenos comércios.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

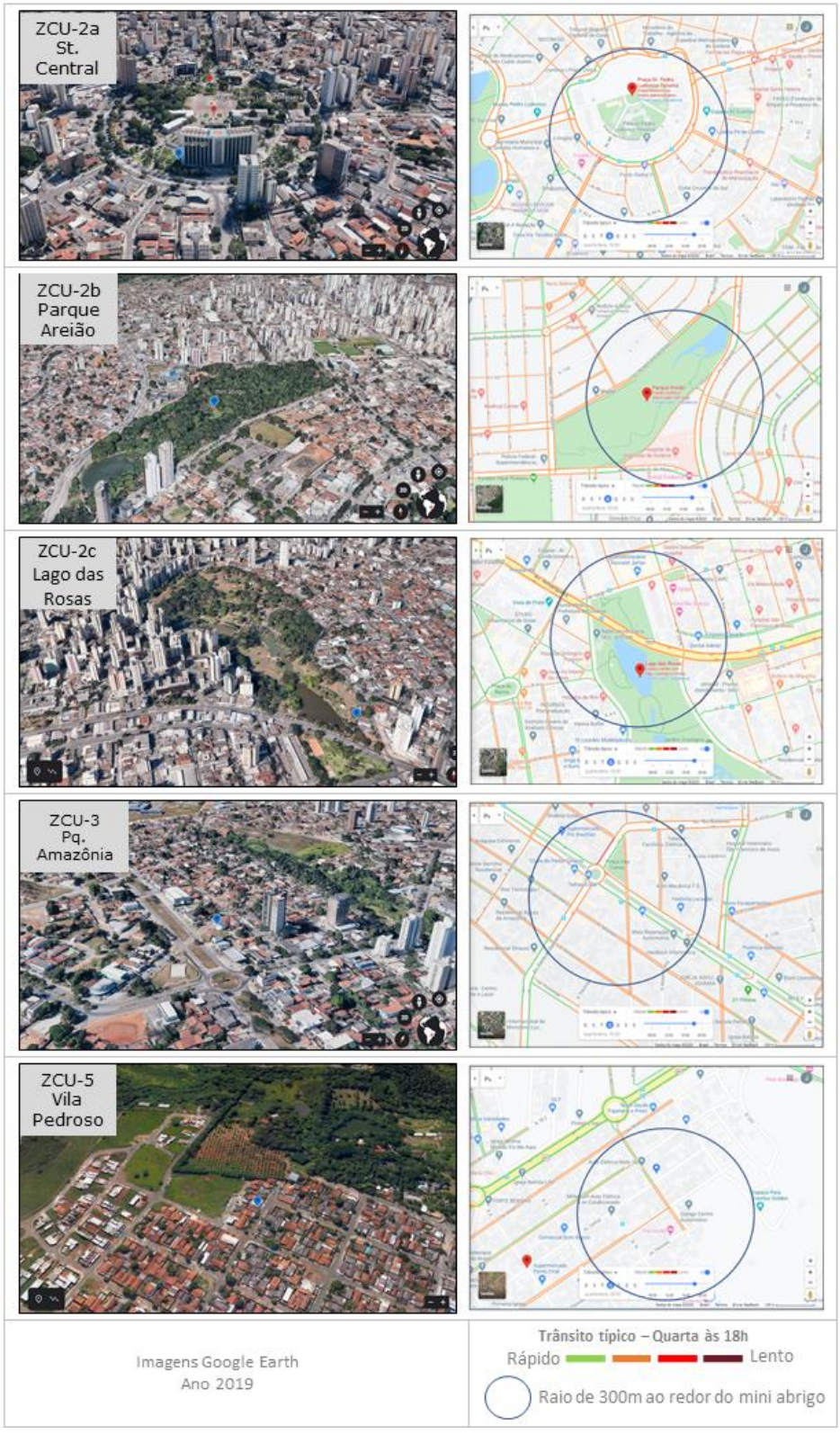


Figura 3 - Vista de cima das ZCUs e trânsito típico em horário de pico.Fonte: Imagens do Google Earth do ano de 2019 e informações sobre tráfego do Google Maps.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

A avaliação do metabolismo urbano considerou dados demográficos e dados de trânsito. Quanto ao tráfego nas áreas de interesse, conforme mostra a figura 3, verificou-se que em todos os bairros da porção centro-sul da cidade houve predominância de vias com trânsito moderadamente rápido (cor laranja). Apenas no Setor Central, foi identificado um pequeno trecho de lentidão moderada (cor vermelha), indicando concentração de veículos num determinado intervalo espacial. Não obstante às informações apontadas, é necessário ponderar que os bairros do núcleo urbano são aqueles que recebem o maior fluxo de pessoas e veículos durante o dia num movimento típico observado nos grandes centros. Na Vila Pedroso, à leste dos pontos mais centralizados, verificou-se, a predominância de vias de tráfego rápido (cor verde) e ausência de trechos de lentidão.

Ainda sobre o metabolismo urbano, a partir da tabela 3 é possível verificar que os dados demográficos absolutos confirmam maior presença de habitantes nos bairros da porção centro-sul da capital e menos habitantes no bairro mais periférico localizado na região leste da capital. Mostram ainda que, em todos os pontos ocorre uma densidade demográfica superior à média da cidade que é de 2.052,2 hab./km² (IBGE, 2010).

Tabela 3 - Bairros selecionados: dados demográficos

Região	Bairro	Nome do ponto de coleta de dados	Área do bairro (km²)	População total	Densidade demográfica (hab./km²)
Central	St. Central	St. central	3,48	24.204	6.949,27
Sul	Pq. Amazônia	Pq. Amazônia	4,33	20.907	4.830,11
Sul	St. Oeste	Lago das rosas	2,74	26.519	9.670,10
Sul	St. Pedro Ludovico	Pq. Areião	3,78	24.890	6.577,28
Leste	Vila Pedroso	Vila Pedroso	0,76	5.555	7.272,30

Fonte: Fonte: MUBDG v.23 – 2012; Elaboração: Prefeitura de Goiânia.

Quanto à cobertura urbana dentro de um raio de 300m ao redor do ponto de instalação dos mini abrigos, o mapeamento realizado indicou, conforme mostra a figura 4, diferenças nas proporções de cada uma das classes de uso e cobertura. Aquelas ZCUs onde foram verificada maior área construída estão localizadas, como esperado, na porção mais densamente urbanizada da cidade (ZCUs 2 e 3), resultado que mostra a prevalência de superfícies concretadas e revestidas por manta asfáltica propícias ao armazenamento de calor, dando-se o oposto para superfícies permeáveis como aquelas revestidas por gramíneas. A maior proporção de áreas desse tipo foi verificada na ZCU 5, localizada na periferia da cidade, e nas ZCUs do tipo 2 localizadas em parques urbanos.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

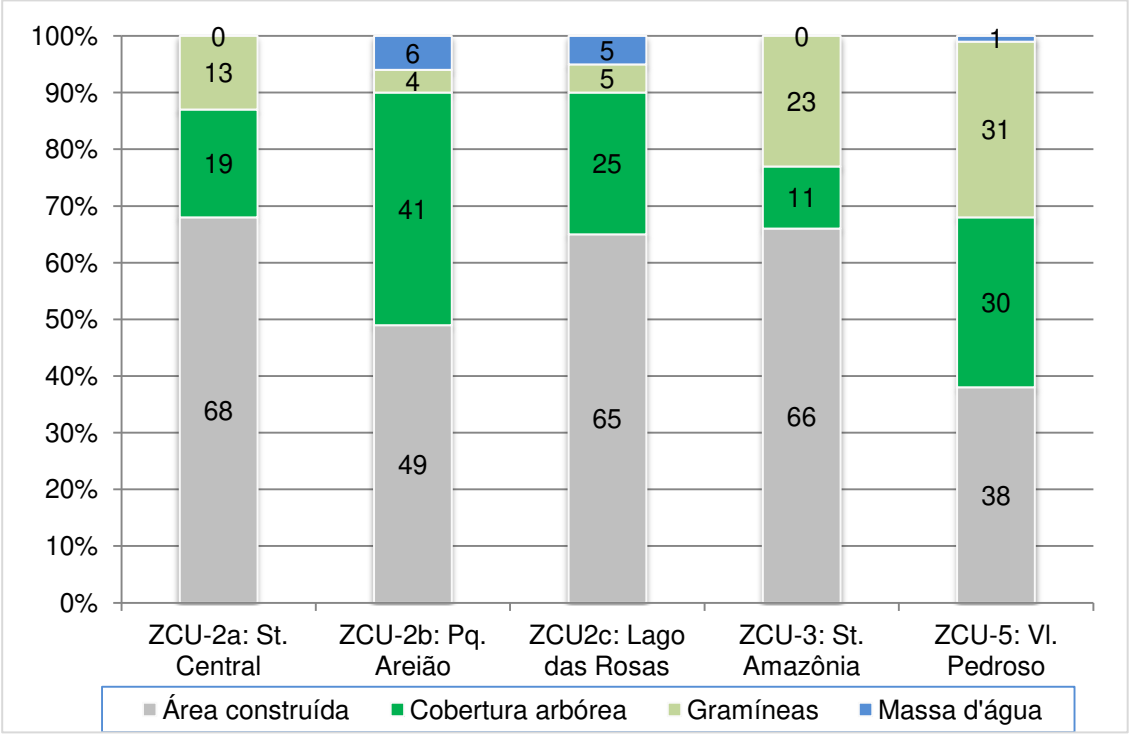


Figura 4 - Área (%) ocupada por cada uma das classes de Uso e Cobertura do Solo. Fonte dos dados: uso e cobertura do solo realizado sobre imagens disponibilizadas pelo *Google Earth*. Elaboração: Santos, 2020.

5. A VARIAÇÃO DIÁRIA DA TEMPERATURA E UMIDADE MÉDIAS EM OUTUBRO/2014 EM 5 PONTOS ESTRATÉGICOS DA CIDADE DE GOIÂNIA

A seguir, é exibida na figura 5, de modo a permitir a avaliação comparada, a cobertura urbana dentro de um raio de 300 ao redor de cada um dos pontos de coleta de dados. Na mesma figura, é apresentada a respectiva variação média para o mês de outubro de 2014 das variáveis temperatura e umidade relativa do ar em três horários do dia. Em seguida, é exibido um quadro síntese (Quadro 4) com informações mais detalhadas sobre o comportamento higrotérmico nos pontos de coleta. As informações apresentadas na figura 5 e no quadro 4 são discutidas mais especificamente nos subtópicos 5.1 ao 5.6.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

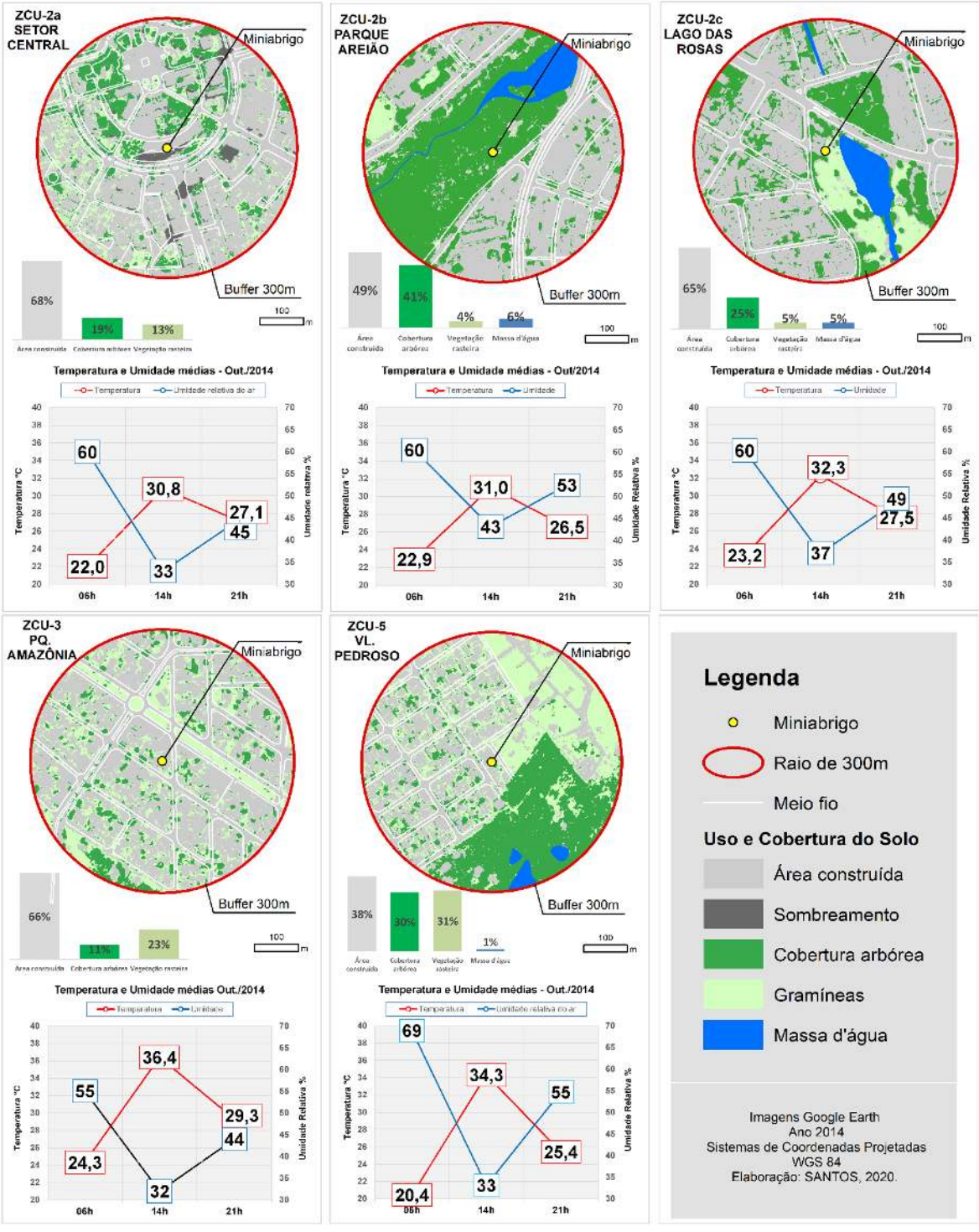


Figura 5 - Pontos de coleta de dados higrotérmicos: uso e cobertura do solo e variação média da temperatura e umidade relativa em outubro de 2014.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Quadro 4 - Síntese do comportamento higrotérmicos nos pontos de coleta de dados

		ZCU2a Setor Central	ZCU-2b Parque Areião	ZCU-2c Lago das Rosas	ZCU-3 Parque Amazônia	ZCU-5 Vila Pedroso
Temperatura	Amplitude Térmica	10°C	8,8°C	9,8°C	13,7°C	15,1°C
	Ganhos de temperatura entre 6h e 14h	+9	+8°C	+9°C	+12°C	+14°C
	Perdas de temperatura entre 21h e 6h	-5°C	-4°C	-4°C	-7°C	-9°C
	Tempo médio p/ atingir a Tmáx diária	10h	8h10min	8h07min	8h13min	7h56min
Umidade Relativa	Amplitude Higrométrica	33%	26%	31%	28%	41%
	Perda de UR entre 6h e 14h	-27	-17%	-23%	-23	-36
	Ganho de UR entre 21h e 6h	15%	8%	12	11	14
	Tempo médio p/ atingir a URmín diária	10h	8h24min	9h16min	7h50min .	8h1min

*Todos os dados apresentados referem-se a dados médios para o mês de Out./2014.

5.1 ZCU-2a: comportamento do campo higrotérmico numa área densamente urbanizada e verticalizada sem reguladores térmicos naturais

O ponto de coleta de dados situado no Setor Central está dentro de uma ZCU do tipo 2. Conforme mostra a figura 5, a paisagem ali, é caracterizada pela artificialização intensiva dos ambientes, sendo notável a concentração dos tipos de superfícies apontadas por Gartland (2010) como armazenadoras de calor e pouco refletoras, caracterizadas, sobretudo, pela presença de cobertura asfáltica ao longo das avenidas e por superfícies revestidas por concreto nos calçamentos. Juntas, elas somam 68% da área ao redor do ponto do ponto de coleta de dados. Os poucos espaços com potencial para a infiltração, quando ocorrem, ficam restritos em pequenas "ilhas" e canteiros ao longo das avenidas que somam 13%. Outros controladores naturais do campo higrotérmico como corpos hídricos não foram identificados.

Durante um mês de calor intenso verificou-se que às 6h, horário de maior desaquecimento, grande parte do calor ganho no dia anterior já havia sido liberado, reduzindo assim, as temperaturas. A temperatura média, às 6h, foi de 22°C e a umidade relativa média de 60%. Dados médios mostram que a perda de temperatura registrada entre as 21h do dia anterior e as 6h, foi de 5°C e que entre as 21h e às 6h, o saldo de umidade foi de 15%.

Além do sombreamento decorrente da cobertura arbórea (19%), ali, ainda ocorre sombreamento advindo do bloqueio da radiação incidente

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

provocada presença de prédios altos e concentrados que agem de modo a reduzir e retardar, durante o dia, os efeitos da insolação direta sobre a superfície logo abaixo. Como efeito, observa-se que às 14h, o ponto de coleta do Setor Central foi o menos aquecido na média para o mês de outubro de 2014, mostrando relação entre o sombreamento provocado pelas edificações e o aquecimento do ar. O pico de aquecimento diário ocorreu mais tarde, por volta das 15h e 16h. Em média, o tempo gasto para se atingir a Temperatura máxima e a umidade mínima diárias foi de 10 horas, o maior tempo entre os pontos de coleta avaliados, o que explica o retardamento do pico do aquecimento do ar. O ganho médio de temperatura registrado entre as 6h e as 14h foi de 9°C e a perda média de umidade relativa no mesmo período foi de 27%.

Às 21h, os registros mostraram que o calor absorvido pelas superfícies ainda estava em processo de liberação provocando aquecimento do ar. A média mensal, nesse momento do dia foi de 27°C e a umidade média foi de 45%, um ponto percentual acima do que foi registrado na ZCU mais seca localizada no Parque Amazônia. A amplitude térmica e a amplitude higrométrica mostraram valores de 10°C e 33%, respectivamente, valores intermediários quando comparado aos demais pontos.

5.2 ZCU-2b e ZCU-2c: Comportamento do campo higrotérmico nos Parques urbanos

Dois parques intraurbanos foram selecionados para o registro das variáveis temperatura e umidade relativa, são eles o Parque Areião e o Lago das Rosas. Ambos apresentam lagos e uma considerável área permeável. No entanto, por estarem no meio da malha urbana da cidade, apresentam em suas imediações, uma extensa área construída, como por exemplo, superfícies revestidas de concreto e asfalto, além de concentrarem um elevado fluxo de pessoas e veículos ao longo do dia.

Apesar das similaridades na estrutura urbana e na presença de controladores naturais do campo higrotérmico, as diferenças entre esses dois pontos se dão, sobretudo, nas proporções das classes de cobertura urbana. O mapeamento indicou que, no Parque Areião, a área construída compreende 49%, a cobertura arbórea 41%, a área de gramíneas e massa d'água, 4% e 6%, respectivamente. No Lago das Rosas, a proporção de área construída é maior do que a verificada no Parque Areião, sendo 65%, reduzindo assim, a área de cobertura arbórea que compreende 25%, seguida por 5% de gramíneas. O lago em si, ocupa 5% do raio de 300 metros em torno de coleta de dados.

Às 6h, os parques urbanos apresentaram temperatura e umidade médias bastante aproximadas, no Parque Areião, 22,9°C e no Lago das Rosas, 23,2°C, perfazendo uma diferença de apenas 0,3°C e umidades iguais de 60%. Os registros mostraram que, nesse momento do dia, ambos apresentaram capacidade similar em se livrar do ganho de energia ocorrido durante as horas de insolação direta uma vez que entre as 21h e as 6h, a perda de temperatura em ambos casos foi de 4°C e o ganho de umidade relativa do ar foi maior no Lago das Rosas, 12% contra 8% no Parque Areião.

Às 14h, a diferença dos registros de temperatura e umidade médias dos parques se ampliou. Os valores obtidos mostram que enquanto o Lago das Rosas apresentou temperatura média de 32,3°C e umidade relativa média de

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

37%, o Parque Areião apresentou temperatura de 31°C e 43% de umidade relativa do ar, compondo uma diferença de 1,3°C e de 6 pontos percentuais de umidade relativa do ar. Entre as 6h e as 14h, horário de intensa insolação, no Parque Areião foi registrada a menor perda de umidade, 17 pontos percentuais. No Lago das Rosas a perda no mesmo período foi, em média, de 23 pontos percentuais de umidade relativa do ar.

Esses valores explicitam a capacidade dos parques em aquecerem menos entre às 6h e 14h do que os demais pontos inseridos na malha urbana em função da presença de área permeável e de massa d'água que favorece a formação de vapor. Para demonstrar a importância do vapor no arrefecimento dos ambientes, Mendonça e Danni-Oliveira (2007) explicam que durante o processo de passagem da água do estado líquido para o estado gasoso (evaporação, formação de vapor d'água), induzido pela insolação, ocorre o consumo de energia na ordem de 600 calorias pela molécula de água. Essa energia é chamada de calor latente de evaporação. Os autores afirmam que: "Assim, a evaporação, ao consumir calor sensível e transformá-lo em calor latente, está resfriando o ar, uma vez que a energia que foi consumida não mais será utilizada para aquecê-lo." (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007, p. 59).

Os dados de ganho médio de temperatura mostraram diferenças entre os pontos de coleta ao indicarem menores ganhos térmicos nos parques e maior potencial de arrefecimento. Entre as 6h e as 14h, o ganho de temperatura no Parque Areião foi de 8,1°C e, no Lago das Rosas, 9°C. Enquanto, neste mesmo horário, os ganhos de temperatura no Parque Amazônia foram de 12,1°C e de 13,9°C na Vila Pedroso. No Setor Central o ganho foi de 8,8°C, mas cabe lembrar que o pico de aquecimento nesse ponto ocorreu mais tarde em função de sua configuração urbana específica. Os dados de ganho de calor, menores nos parques entre às 6h e as 14h, mostram ainda o efeito da cobertura arbórea que age de modo a barrar a radiação solar direta, diminuindo a disponibilidade de energia para aquecimento do ar.

Às 21h, as diferenças higrotérmicas verificadas nos parques que se ampliaram um pouco às 14h voltam a diminuir. A temperatura no Parque Areião nesse momento do dia foi, em média, de 26,5°C e 53% de umidade, contra 27,5°C e 49% no Lago das Rosas, perfazendo uma diferença de 1°C e 4 pontos percentuais de umidade relativa do ar.

Em síntese, notou-se que em virtude das variações entre as classes de uso e cobertura do solo observadas parques, que mostraram maiores valores de área construída no Lago das Rosas e maiores valores de área permeável e cobertura arbórea no Parque Areião, o comportamento das variáveis higrotérmicas foi afetado, sempre apontando, independente do horário avaliado, valores de temperaturas um pouco maiores e valores de umidade do ar um pouco menores no Lago das Rosas. Apesar das diferenças sutis entre os dados dos parques, constatou-se a partir dos registros, suas funções enquanto áreas de frescor, assim como apontou Rodrigues, Pasqualetto e Garção (2007), sobretudo, nos períodos do dia de intenso calor e, principalmente, em virtude dos maiores valores de umidade relativa do ar, os quais foram sempre mais elevados no horário de maior insolação direta quando comparados com os valores dos demais pontos de análise.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

5.3 ZCU-3: comportamento do campo higrotérmico em um ponto de coleta localizado em área densamente ocupada e impermeabilizada e sem controladores naturais da temperatura e umidade

A caracterização do uso e da cobertura do solo ao redor do ponto de coleta de dados do Parque Amazônia, conforme mostra a figura 5, indicou urbanização acentuada evidenciada pela elevada presença de áreas construídas. Notou-se também a inexistência de barreiras físicas eficazes quanto ao bloqueio da radiação solar incidente, como prédios vistos no Setor Central, ou a presença de dosséis fechados e contínuos da vegetação, como aqueles observados nos parques urbanos e na periferia, ou ainda a existência de reguladores naturais como massas d'água.

Os dados obtidos mostraram que 66% do raio em torno do ponto de coleta de dados é ocupado por área construída, predominando edificações de baixo porte. Os números indicam a menor cobertura arbórea entre todos os pontos, ocorrendo apenas 11% de cobertura arbórea de forma pontual, não havendo a formação de dosséis contínuos e extensos. O restante da área é ocupado pelas chamadas "ilhas" e canteiros identificados entre as vias, que perfazem a área permeável, e que em sua maioria, é recoberta por gramíneas, somando 23% da área total mapeada. Massas d'água de nenhum tipo foram identificadas durante a classificação do uso e cobertura do solo.

Às 6h, a ZCU-3 foi a mais aquecida, 24,3°C, o que mostra que as superfícies que apresentam alta potencial para absorção de calor ainda estavam se livrando da energia armazenada durante as horas do dia em que houve incidência solar direta. Esse comportamento, observado no Parque Amazônia confirma que, em áreas altamente desenvolvidas da malha urbana, o desaquecimento das superfícies ocorre de forma lenta, prolongando o aquecimento do ar no período sem insolação direta conforme explicitado por Gartland (2010) quando elenca os materiais mais condutivos, entre eles, o asfalto e concreto.

Às 6h, a umidade relativa do ar média no mês de Out./2014 foi a menor entre os pontos de coleta de dados, 55% de umidade relativa do ar, mostrando uma diferença de 14 pontos percentuais quando comparado com o ponto mais úmido localizado na periferia. A baixa umidade, neste caso, reflete a configuração urbana da região, caracterizada pela impermeabilização excessiva das superfícies que impede as trocas de umidade ar-atmosfera e pela ausência de controladores naturais do campo higrotérmico como cobertura arbórea e massas d'água consideráveis dentro do raio de 300m do ponto de coleta de dados.

Os ganhos de umidade e as perdas de temperatura médias observadas entre às 21h e às 6h foram de 11% e de 7°C respectivamente, mostrando-se insuficientes para promoção de arrefecimento do ambiente. O saldo energético, às 6h, horário de máximo desaquecimento, ainda era relativamente o mais alto indicando temperatura de 24,3°C contra 20°C no ponto mais frio, perfazendo uma diferença de 4,3°C no mesmo horário.

A ausência de sombreamento natural e artificial, somado à intensa urbanização e a ausência de controladores térmicos eficientes, aumentaram a possibilidade de picos positivos de temperatura nos horários de intensa insolação direta e picos negativos de umidade do ar. A figura 5 mostra que, às

14h, o ponto de coleta de dados do Parque Amazônia foi o mais aquecido e seco, com valores médios de temperatura de 36°C e 32% de umidade relativa, demonstrando uma diferença de 5°C e 11% de UR quando comparados com o valores do ponto de coleta mais frio e úmido no mesmo horário. Se às 6h a ZCU-3 já era a mais aquecida e mais seca, às 14h ainda houve um ganho médio de mais 12°C e uma perda de 23 pontos percentuais de umidade relativa do ar agravando a situação em um período do dia de calor crítico. O tempo médio para se atingir as Tmáx diárias foi de 8h13min e o tempo médio para se atingir a URmín foi 7h50min, o mais rápido entre os pontos de coleta, o que também confirma o baixo potencial para arrefecimento do ar nos horários de calor intenso. Essa tendência ao aquecimento do ar revelado pelos dados coletados, confirmaram o potencial apontado por Gartland (2010) de maior aquecimento dos locais de concentração de superfícies revestidas por concreto e asfalto que ao se exporem à insolação direta, sem barreiras físicas quanto à insolação direta, se aquecem intensamente.

À noite, às 21h, na ausência de insolação direta, a literatura mostra que a influência indireta da insolação sobre o aquecimento do ar passa a ser predominante nos ambientes, uma vez que, a liberação de calor ganho pelas superfícies não se encerra após o pôr-do-sol, mas segue ocorrendo de forma lenta e com ele, o aquecimento do ar é mantido (GARTLAND, 2010). Como resultado dessa condição, as temperaturas no ponto de coleta de dados do Parque Amazônia ainda são, comparativamente, as mais elevadas no período noturno, 29°C e os valores de umidade relativa do ar os mais reduzidos, 44%. Quando comparados com os valores do ponto de coleta localizado na região suburbana da cidade, a diferença verificada foi em média de 3,9°C e de 11 pontos percentuais de umidade relativa no mesmo horário.

5.4 ZCU-5: Comportamento do campo higrotérmico em um ponto de coleta de dados localizada na periferia da cidade com presença de reguladores naturais do campo higrométrico

Dentre os cinco pontos de coletas de dados distribuídas pela cidade, aquele localizado na Vila Pedroso é o que se encontra mais deslocado da porção central, estando no limite do perímetro urbano de Goiânia, mais especificamente no limite com o município de Senador Canedo. O sentido de situar um ponto de coleta de dados ali, foi justamente aproveitar a proximidade de áreas menos adensadas como as áreas rurais e, assim, criar um contraponto àqueles pontos inseridos dentro da malha urbana mais desenvolvida e marcada pela artificialização excessiva dos ambientes.

Os dados obtidos de uso e cobertura do solo ao redor do miniabrigo indicam que a presença de cobertura arbórea e áreas permeáveis recobertas por gramíneas, apresenta o maior quantitativo dentre os cinco pontos analisados. A figura 5 indica que 30% da superfície dentro do raio de 300m é coberta por vegetação arbórea e outros 31% são cobertos gramíneas, ou seja, a área permeável ali verificada atinge 61% quando somadas. Tais superfícies favorecem a infiltração e aumentam as chances troca de umidade entre o solo e o ar, contribuindo para o arrefecimento do ar logo acima e para a redução da sensação de calor e o *stress* térmico (AYOADE, 1996; GARTLAND, 2010).

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Em vistas disso, os dados de umidade relativa do ar, mostram que, às 6h, o ponto de coleta da Vila Pedroso foi o mais úmido, registrando 69%, contra 55% no ponto de coleta menos úmido. A diferença identificada foi bastante acentuada perfazendo 14 pontos percentuais. A umidade mais elevada conforme observado, reduz a quantidade de calor disponível para o aquecimento do ar. Os dados confirmam esse potencial, pois pela manhã este foi o ponto menos aquecido, apresentando média de 20°C sendo aquele que conseguiu com maior intensidade se livrar do calor ganho durante as horas de insolação direta do dia anterior. As perdas de calor foram de 9°C em média.

Na Vila Pedroso o padrão construtivo das residências e comércios limita-se a um piso, não havendo prédios ou altas construções que viriam a bloquear parte da radiação incidente de modo a reduzir o aquecimento do ar logo abaixo. Em vistas disso, a incidência da insolação é direta sobre as superfícies, possibilitando o rápido ganho de calor ao longo da manhã e início da tarde. Tal condição fez com que às 14h, este fosse o ponto de coleta que apresentou o maior potencial ao ganho de calor, perfazendo um acréscimo de 14°C em relação às 6h, além de apresentar uma perda de 36% de umidade relativa no mesmo período do dia. O tempo médio gasto para se atingir a tmáx diária, foi de 7h56min, o menor entre os pontos de coleta selecionados e para se atingir a URmím decorreu-se de 8h1min, o segundo menor tempo.

Percebeu-se que da mesma forma que o ponto da Vila Pedroso ganha calor, o ritmo de perda também foi acelerado, em média de 9°C entre às 21h e às 6h. No horário das 21h, esse ponto passa a tornar o mais frio entre as cinco. Esse potencial, pode ser explicado pelo ganho de umidade, pois nesse horário, o saldo médio verificado foi de 14%, o que favorece a perda substancial do calor ganho ao longo do dia, propiciado, é claro, pela predominância de áreas permeáveis favoráveis às trocas energéticas e de umidade entre o solo e o ar.

Gartland (2010), explica esse maior potencial ao esfriamento das áreas rurais e suburbanas das cidades no período noturno. Para a autora, a tendência é que nessas porções das cidades as superfícies estejam resfriadas por terem se desfeito do calor armazenado ao longo do dia, possibilitando com isso, a ocorrência de uma camada de ar estável e mais frio logo acima delas, o que não é observado nas porções mais urbanizadas, onde existe grande quantidade de calor armazenado pelas superfícies suficientemente a promover aquecimento do ar ao longo da noite por mais tempo. Portanto, essa camada de ar frio responde pelo desaquecimento mais intenso verificado na Vila Pedroso.

A capacidade observada no referido ponto de coleta de dados de esquentar mais e mais rápido durante o período de insolação direta e, em seguida, de se desfazer do calor ganho em ritmo similar no período noturno, ficou evidente quando verificados os dados de amplitude. A variação média diária de temperatura e umidade relativa do ar foram as mais elevadas, superando até mesmo os registros do ponto de coleta mais quente e seco, indicando 15,1°C e 41% de UR. Estes valores evidenciaram que, durante o dia, ali predomina o aquecimento do ar que se dá diretamente sem barreiras físicas e, à noite, predominou sobre os registros a ação das trocas de calor entre superfície e o ar levando ao maior desaquecimento em virtude da maior área permeável.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

5.5 Análise comparada da variação média da temperatura e umidade relativa nos pontos de coleta de dados

Comparativamente, os dados médios de temperatura e umidade relativa do ar expõem diferenças espaciais bem definidas ao longo dos três horários de referência conforme mostra a figura 6.

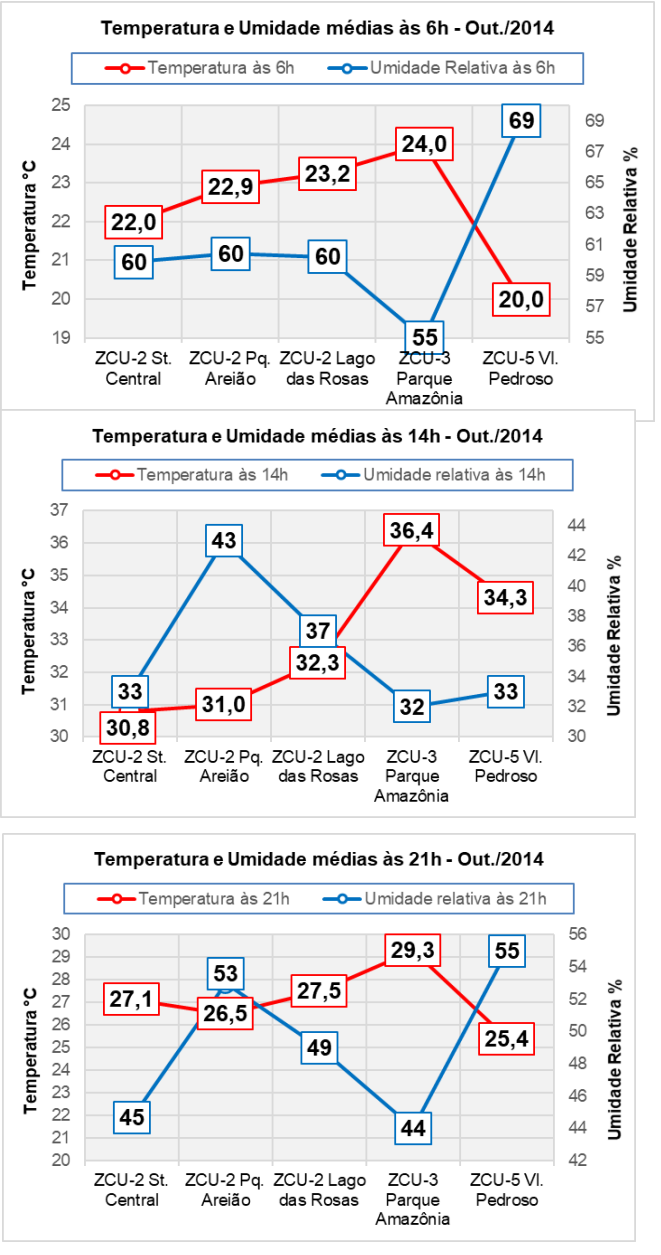


Figura 6 - Variação espacial da Temperatura e Umidade médias – Out./2014. Fonte: dados obtidos pelos autores *in loco*. Elaboração: Santos, 2019.

Ao observar o comportamento termogritérmico nas cinco zonas climáticas urbanas, verificou-se que nos horários do dia sem insolação direta, às 6h e às 21h, o ponto mais frio e úmido foi aquele localizado na ZCU-5, enquanto, nesses mesmos horários, o ponto mais quente e seco foi aquele

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

localizado numa ZCU-3. Os dados mostraram uma diferença entre esses dois pontos de 3,9°C e 15 pontos percentuais de umidade relativa, às 6h, e de 3,9°C e 11 pontos percentuais de umidade relativa do ar, às 21h. Quando examinada as propriedades urbanas de cada uma dessas ZCUs, certas características ajudam a entender as diferenças observadas no comportamento higrotérmico. Primeiro, verificou-se aquelas relacionadas ao nível de desenvolvimento, que é alto na ZCU do tipo 3, mais quente e seca, e médio na ZCU do tipo 5, mais fria e úmida. Com relação à cobertura urbana, notou-se predominância de superfícies impermeáveis revestidas por concreto e massa asfáltica tipicamente armazenadoras de calor e pouco refletoras (GARTLAND, 2010), sendo 66% na ZCU-3 e 38% na ZCU-5. Com relação às superfícies permeáveis propícias às trocas de umidade solo-ar, as diferenças se mantem, uma vez que 61% das superfícies são recobertas por cobertura arbórea e gramíneas, enquanto apenas 34% das superfícies na ZCU do tipo 5 apresentam tais características.

Às 14h, período do dia de calor mais intenso, o ponto de coleta mais frio foi aquele localizado na porção central da cidade contradizendo o esperado. Imaginou-se que nesse horário do dia, a confluência de propriedades urbanas que denotam alto desenvolvimento fariam com que este fosse o ponto mais aquecido, no entanto, verificou-se que o sombreamento promovido pelos prédios bloqueou parte da radiação solar incidente sobre as superfícies mais a baixo, de modo a retardar o pico diário médio de aquecimento do ar, que somente ocorreu mais tarde. A ZCU-3 foi aquela onde ocorreu, independente do horário de avaliação, maior temperatura e menor umidade relativa do ar. Há de se destacar as similaridades com as ZCU-2a, pois ambas apresentam ausência de controladores naturais do campo higrotérmico e o padrão construtivo verificado denota alta desenvolvimento com elevada impermeabilização das superfícies revestidas por materiais armazenadores de calor. No entanto, a ZCU-3 não apresenta a mesma concentração de prédios da ZCU-2 em quantidade e altura suficientes para bloquear parte da radiação que, neste caso, chega diretamente sem barreiras físicas promovendo o aquecimento do ar logo abaixo. A diferença de temperatura registrada entre o ponto mais quente (Parque Amazônia) e o menos quente (St. Central), nesse período do dia, foi em média de 6,4°C. A diferencia de temperatura média entre a ZCU-3, mais quente, e os parques foi de 5,4°C, quando comparada a ZCU-2b, e 4,1°C, quando comparada com a ZCU-2c.

Às 14h, os pontos de coleta de dados mais úmidos foram aqueles localizados nas ZCUs do tipo 2 com presença de parque. Ao comparar a umidade relativa média às 14h, notou-se diferença de 12 pontos percentuais entre o ponto mais úmido (Parque Areião – UR 43%) e o ponto menos úmido (Parque Amazônia – UR 31%). A maior presença de umidade evidencia que parques são de fato, em períodos vespertinos, os ambientes da malha urbana mais propícios para a ocorrência de maior arrefecimento do ar pelas transferências de calor por convecção evitando com isso, picos elevados temperatura e picos negativos de umidade ao longo dos dias. Essa capacidade ficou ainda mais evidente quando consideramos a amplitude térmica diária que se manteve comparativamente menor nos parques. Os dados apontaram que ambos apresentaram as menores diferenças diárias entre a temperatura máxima e mínima, sendo em média, 8,7°C no Parque Areião e 9,7°C no Lago das Rosas contra 10°C no Setor Central, 13,7°C no Parque Amazônia e 15,1°C na Vila Pedroso.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Em conjunto, os dados de umidade relativa e amplitude térmica confirmaram que os parques intraurbanos são certamente as áreas mais agradáveis da cidade para se estar em dias de calor intenso, configurando-se como as chamadas áreas de frescor.

6. CONCLUSÕES

Em vistas dos resultados obtidos que indicaram níveis de aquecimento e desaquecimento distintos na cidade de Goiânia, seria fundamental inserir o conforto térmico no bojo das políticas de promoção de bem estar e saúde da população, sobretudo, em períodos de calor intenso e baixas umidades. Nesse sentido, adaptar os ambientes urbanos de modo a controlar o comportamento higrotérmico com vistas ao arrefecimento do ar, contribuiria para a redução dos picos ascendentes de temperatura e descendentes de umidade relativa do ar.

As formas de mitigação envolvem uma série de intervenções urbanas que visam reduzir a quantidade de calor disponível ao aquecimento do ar. E, além das intervenções de ordem paisagística e arquitetônica, uma série de cuidados com a saúde em dias de calor intenso também devem ser adotados como, por exemplo, evitar atividades que demandam esforço contínuo e prolongado em ambientes externos visando a diminuição do *stress* provocado pelas altas temperaturas e baixas umidades. Além do mais, conhecer o comportamento higrotérmico em variados pontos da cidade poderia auxiliar, em dias quentes e secos, na emissão de alertas climáticos voltados à indicação de horários e áreas críticas para o desempenho de certas atividades.

Espera-se que em outra oportunidade possa ampliar a área de monitoramento das variáveis higrotérmicas e com isso, delimitar regiões quentes e frias evitando ao máximo lacunas e generalizações na espacialização dos dados. Da mesma forma, espera-se aprofundar a avaliação do conforto térmico utilizando-se de índices específicos que requerem uma gama mais ampla de variáveis climáticas e equipamentos de aferição.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio do CLIMAGEO - Laboratório de Climatologia Geográfica do Instituto de Estudos Socioambientais da Universidade Federal de Goiás

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADLER, F. R.; TANNER, C. J. *Ecossistemas urbanos:* princípios ecológicos para o ambiente construído. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 384p.

AYOADE, J. O. *Introdução a climatologia para os trópicos*. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. 332 p.

CALLEJAS, I. J. A. et al. Seasonal variation of surface energy balance of a central Brazil city. *Mercator*, Fortaleza, v. 15, n. 3, p.85-106, 23 set. 2016.

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

GRIMMOND, S. Urbanization and global environmental change: local effects of urban warming. ***The Geographical Journal***, v. 173, n. 1, p, 83-88, mar. de 2007.

LI, D. et al. Contrasting responses of urban and rural surface energy budgets to heat waves explain synergies between urban heat islands and heat waves. *Environmental Research Letters*, v. 10, n. 5, p.1-10, 1 maio de 2015.

LI, D.; BOU-ZEID, E. Synergistic Interactions between Urban Heat Islands and Heat Waves: The Impact in Cities Is Larger than the Sum of Its Parts. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, v. 52, n. 9, p. 2051-2064, set. 2013.

LUIZ, G. C. *Influência da relação solo-atmosfera no comportamento hidromecânico de solos tropicais não saturados:* estudo de caso - Município de Goiânia. 2012. 246 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I.M. (2007). *Climatologia:* noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 206 p.

MONTEIRO, C. A. F. *Teoria e Clima Urbano*. São Paulo: IGEO/USP, 1976.

NASCIMENTO, D. T. F.; OLIVEIRA, I. J. de. Análise da evolução do fenômeno de ilhas de calor no município de Goiânia-GO (1986-2010). *Boletim Goiano de Geografia*, Goiânia, v. 31, n. 2, p.113-127, 12 jan. 2012.

NASCIMENTO, D.; LIMA, L. V.; CRUZ, V. Episódios e gênese dos eventos climáticos extremos em Goiânia-GO. *Caderno de Geografia*, Belo Horizonte/MG, v. 29, n. 57, p.583-608, 25 abr. 2019.

NASCIMENTO, M. A. L. S; PODESTÁ FILHO, A. CARTA DE RISCO DE GOIÂNIA. *Boletim Goiano de Geografia*, v. 13, n. 1, p. 95-105, 8 set. 2008.

OKE, T. R. Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: Comparison of scale model and field observations. *Journal Of Climatology*, v. 1, n. 3, p.237-254, jul. 1981.

OKE, T. R. City size and the urban heat island. ***Atmospheric Environment***, v. 7, n. 8, p.769-779, ago. 1973.

OKE, T. R. *Initial guide to obtain representative meteorological observations at urban site*. Word Meteorological Organization. Canada, 2004.

ONU – Organização das Nações Unidas, Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais. *World Urbanization Prospects:* The 2018 Revision. New York: United Nations, 2019. Disponível em <https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Report.pdf>. Acesso em: 30 de abr. de 2020.

PAIXAO, K. C. S. ; LUIZ, G. C. Análise do conforto térmico em duas feiras livres na cidade de Goiânia. In: XI Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, 2014, Curitiba. Variabilidade e mudanças climáticas globais: Estado da arte e perspectivas para a interação sociedade natureza. *Anais...*Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2013. p. 690-702.

PAIXÃO, K. C. S. *Variação da temperatura do ar e sua relação com o conforto térmico em Goiânia-GO durante o mês de outubro entre os anos de 1990 e*

2015. 2016. 38 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciências Ambientais, Instituto de Estudos Socioambientais (IESA), Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

RODRIGUES, A. P. M.; PASQUALETTO, A.; GARÇÃO, A. L. O. A influência dos parques urbanos no microclima de Goiânia. *Baru*. Goiânia, v. 3, n. 1, p. 25-44, jan./jul., 2017.

ROMERO, M. A. B. Correlação entre o microclima urbano e a configuração do espaço residencial de Brasília. *Fórum Patrimônio:* Mudanças Climáticas e o impacto das cidades, Belo Horizonte, v. 4, n. 1, p. 9-22, jan., 2011.

SANTAMOURIS, M. Cooling the cities – A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. *Solar Energy*, v. 103, p.682-703, maio de 2014.

SANTAMOURIS, M. *Energy and climate in the urban built environment*. Londres: James and James Publishers, 2001. 410p.

SANTOS, A. S. et al. Impactos socioambientais resultados do processo de verticalização. In: VI Congresso brasileiro de Gestão Ambiental. Porto Alegre/RS, 2015. Uso Sustentável da água. Anais...Porto Alegre: Instituto brasileiro de estudos ambientais, 2015. pp. 1-7.

SANTOS, K. R.; ROMÃO, P. A. Espacialização de inundações em Goiânia (go) (2004-2007). *Boletim Goiano de Geografia*, v. 30, n. 2, p. 81-97, 5 abr. 2011.

TUCCI, C. Águas urbanas. *Estudos Avançados*, v. 22, n. 63, p. 97-112, 1 jan. 2008.

VAN HOVE, L.W. A. et al. Temporal and spatial variability of urban heat island and thermal comfort within the Rotterdam agglomeration. *Building and Environment*, v. 83, p.91-103, jan. 2015

.