

Mensuração e frequência da intensidade da ilha de calor urbana noturna de Santo Anastácio, São Paulo, Brasil¹

Danielle Cardozo Frasca Teixeira

da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho - Presidente Prudente – Brasil
danielle.frasca@unesp.br

Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim

da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho - Presidente Prudente – Brasil
margarete.amorim@unesp.br

Resumo: Estudos dedicados ao clima urbano e à atmosfera das cidades revelam há muito tempo a preocupação com o aquecimento urbano em relação às áreas rurais circundantes, o que convencionou-se chamar ilhas de calor urbanas. No presente artigo, as ilhas de calor atmosféricas foram investigadas no nível do dossel urbano (OKE, 1987) considerando o escopo teórico e metodológico do Sistema Clima Urbano (MONTEIRO, 1976) em estudo aplicado a Santo Anastácio, cidade de pequeno porte localizada no oeste paulista. Para atingir os objetivos do estudo, foram realizados registros da temperatura do ar às 21 horas entre os meses de abril e dezembro de 2017, em pontos representativos urbanos e rural, através dos quais obtiveram-se intensidades térmicas tomando o rural como referência. Os resultados comprovam a configuração de ilhas de calor de fraca, moderada e forte magnitude, bem como de ilhas frias que alternaram-se na presença dos diferentes tipos de tempo. A frequência das intensidades variou conforme os tipos de tempo, as características geoambientais e urbanas dos pontos representativos. Os resultados demonstram a importância da incorporação do conhecimento em climatologia para o planejamento e ordenamento urbano resiliente ao desconforto térmico, notadamente no ambiente tropical continental.

Palavras-chave: Clima urbano. Ilha de calor urbana. Intensidade e magnitude. Frequência.

Introdução

Estudos comprometidos com o clima e a atmosfera das cidades revelam há muito tempo a preocupação com o aquecimento urbano em relação às áreas rurais circundantes. A essa anomalia de origem termodinâmica convencionou-se chamar ilhas de calor urbanas (ICU), (HOWARD 1818 apud OKE *et al.*, 2017), constituindo “um dos mais claros exemplos de alterações climáticas inevitavelmente associada à presença humana” (OKE *et al.* 2017, p. 197, tradução nossa).

¹ Resultados de Tese de doutorado da primeira autora.

Concebidas como um produto direto do clima urbano, as ICU, que interferem diretamente no conforto térmico humano (MONTEIRO, 1976), definem-se como uma “[...] peculiaridade climática que acarreta na modificação térmica a favor do centro urbano e entre este e a periferia das cidades” (CARRERAS *et al.*, 1990, p. 53, tradução nossa). Em contrapartida, as ilhas de frescor ou ilhas frias se referem aos locais urbanos que possuem menores temperaturas em relação ao seu entorno, notadamente os parques urbanos e as áreas providas de vegetação (OKE *et al.*, 2017; GARTLAND, 2010).

A ICU é um dos fenômenos climáticos mais documentados na literatura do clima urbano, historicamente associado a grandes cidades de vocação industrial (LANDSBERG, 1981). Contudo, a partir da disseminação de estudos dessa natureza e a incorporação de bases teórico-metodológicas mais conjuntivas do estudo do clima urbano, verificou-se que cidades de todos os portes reúnem particularidades para manifestar esta anomalia térmica (MONTEIRO, 1976; FERNÁNDEZ GARCÍA, 1996; AMORIM, 2017).

Isso se deve ao fato de que a sua ocorrência tem múltiplas derivações, combinando forçantes como as alterações no uso da terra, as características físicas do sítio urbano e os tipos de tempo atuantes, num jogo integrado entre natureza e sociedade (MONTEIRO, 1976; OKE 1987). Ocorre na cidade um acúmulo de energia resultante do balanço de radiação da superfície urbana que é composta por materiais urbanos estanques, pouco evaporativos e com menor capacidade de refletância tais como o concreto e o asfalto (GARTLAND, 2010). A geometria, assim como o metabolismo urbano regulado por atividades antrópicas como a circulação de veículos também favorecem a adição e aprisionamento do calor (OKE *et al.* 2017). Desta forma, as áreas urbanas tornam-se mais aquecidas do que seu rural circundante dotado de superfícies permeáveis ou dos setores da malha urbana que preservam a vegetação, onde se formam as ilhas frias (OKE *et al.* 2017).

Assumindo que as cidades de pequeno porte podem configurar as ICU, o presente artigo, pautado nas bases teóricas e conceituais do Sistema Clima Urbano (MONTEIRO, 1976), reúne resultados de estudo aplicado à cidade de Santo Anastácio, localizada no oeste do estado de São Paulo (figura 1), em área de ocorrência de clima do tipo Aw, que de acordo com a classificação de Köppen é marcado por verões quentes e chuvosos (DUBREUIL *et al.*, 2017).

O estudo dedicou-se à análise da frequência da intensidade e magnitude da ilha de calor urbana noturna desta localidade, tomando o rural como referência e considerando o recorte temporal entre os meses de abril e dezembro de 2017.

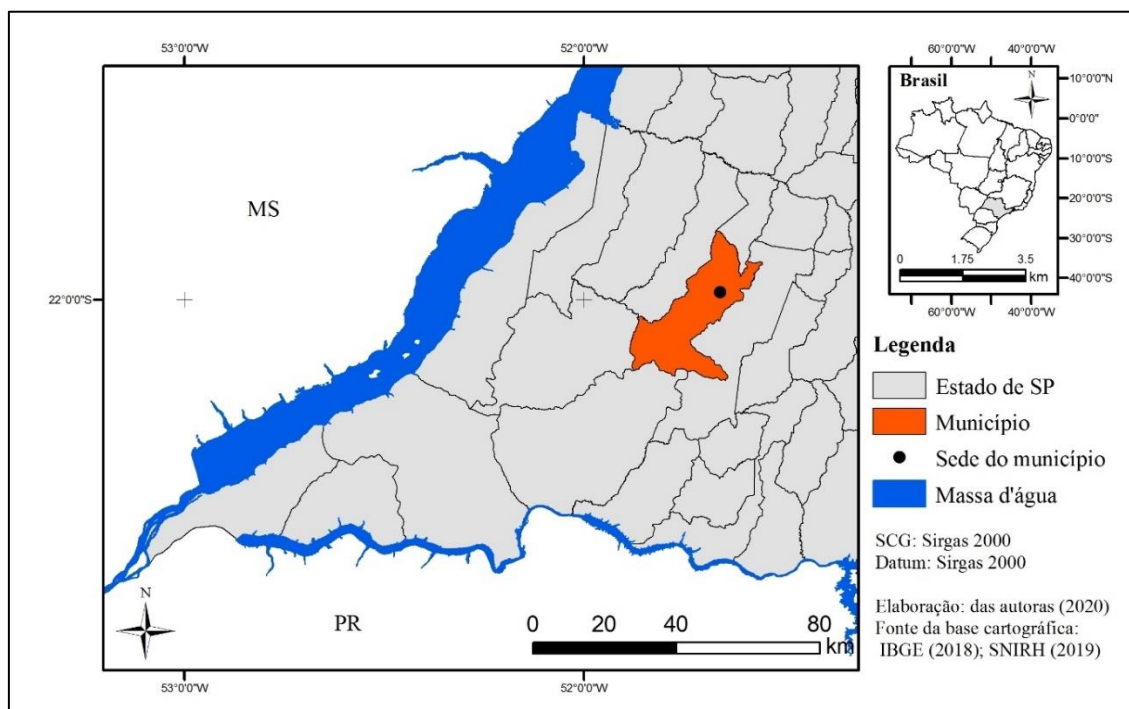


Figura 1: Mapa de localização de Santo Anastácio (SP).

A aplicação de estudos desta ordem é relevante, especialmente no ambiente tropical continental, que é naturalmente marcado pelo calor excessivo e a manifestação da ICU intensifica o desconforto térmico da população. Tendo isso em vista, o diagnóstico dessas anomalias pode oferecer importantes direcionamentos para o planejamento ambiental das cidades a fim da amenização dos efeitos da ilha de calor (AMORIM, 2012).

Inserida em área de clima tropical continental, a cidade de Santo Anastácio, com população estimada em 20.866 habitantes no ano de 2020 (IBGE, 2020), tem a sua economia baseada no comércio, na prestação de serviços e nas indústrias ligadas às atividades agropastoris.

Materiais e métodos

Para o estudo da ICU da atmosfera do nível inferior, portanto, dedicando-se ao monitoramento do ar comprometido entre a superfície urbana até a altura média dos telhados e copa das árvores (OKE, 1987), foi utilizado procedimento de observação empírica pelo estabelecimento de pontos fixos de registro da temperatura do ar. Locais representativos foram definidos seguindo critérios como a densidade construtiva, o tamanho dos terrenos e a densidade de cobertura vegetal arbórea. Considerando-se as heterogeneidades das feições urbanas por classificação subjetiva, definiu-se na área

urbana três pontos representativos e um ponto de controle rural do município, que no recorte territorial caracteriza-se pelo predomínio das pastagens (quadro 1).

Quadro 1: Síntese das características geoambientais, valores e posições extraídas por ponto de medição a partir da cartografia do sítio de Santo Anastácio (SP)

Pontos fixos	Localização	Altitude (metros)	Declividade (%)	Orientação vertente
1	Rural	422	3 a 8%	noroeste
2	Urbana	442	0 a 3%	sudoeste
3		437	2 a 8%	oeste
4		427	3 a 8%	sul

Fonte: Processamento de imagens SRTM – INPE TOPODATA (mosaico das quadrículas 21525ZN e 22525ZN). Elaboração das autoras (2020).

Os pontos fixos foram instalados em locais com cotas de altitude aproximadas, visando opcionalmente minimizar a influência do relevo na amostra (BRANDÃO, 1996). Assim, restringiu-se a análise da variação térmica em função da declividade, orientação das vertentes, dos tipos de tempo atuantes e da urbanização. Os sensores foram instalados à 1,5 metros da superfície, em locais de máxima exposição solar (OKE, 2006) considerando ainda a vigilância dos residentes e a proteção dos equipamentos.

O registro da temperatura do ar ocorreu através de sensores² automáticos abrigados, durante o período compreendido entre os meses de abril e dezembro de 2017, do qual destacou-se o horário das 21 horas atendendo ao critério definido pela literatura como horário ideal para a manutenção do fenômeno (AMORIM, 2017).

As características dos pontos foram diversas nos aspectos geoambientais (Quadro 1). O ponto de controle rural (ponto 1) está localizado a 3,5 km da malha urbana em cota de altitude de 422 metros, vertente voltada para o noroeste e relevo suavemente ondulado com declividade entre 3% a 8%, segundo classificação baseada no Sistema Brasileiro de classificação de solos (EMBRAPA, 2009). É caracterizado pela presença de pastagem, que é uma condição rural modificada, onde a atividade humana é restrita à gestão do terreno pela agricultura, silvicultura e pastoreio, mas representativo do rural circundante pela ausência da densidade construtiva (OKE *et al.*, 2017).

O ponto 2, localizou-se na porção Sul da malha urbana no bairro Jardim América, onde os terrenos são maiores em profundidade do que em largura, com edificações que combinam telhas cerâmicas e de fibrocimento, ocorrendo cobertura vegetal nos lotes ou nos passeios públicos. O terreno que abrigou o sensor possui altitude

² Foram utilizados instrumentos *ThermaData Logger*, marca registrada *Eti Eletronic temperature instruments*, inseridos em abrigos meteorológicos *Ambient weather*, modelo SRS 100 *Pagoda Temperature and Humidity Radiation Shield*, marca registrada da *Ambient LLC*, 2011.

de 442 m, direcionado para o sudoeste em baixa declividade (plano) sendo provido de vegetação arbórea no interior. A residência apresenta telhas cerâmicas.

O ponto 3 foi posicionado em área próxima ao centro da malha urbana, caracterizando alta densidade construtiva. Os terrenos neste setor são menores, colocando as residências em justaposição. No terreno selecionado, a superfície é totalmente impermeabilizada, a residência apresenta cobertura cerâmica e a vegetação arbórea nas proximidades é esparsa. A altitude do local é de 437 m, o relevo é suavemente ondulado (3 a 8%) e a vertente é inclinada a oeste.

No setor Leste da malha urbana foi fixado o ponto 4, de localização periférica. Trata-se de um conjunto habitacional onde os terrenos são menores, densamente construídos sem a preservação dos gabaritos construtivos. As edificações combinam coberturas de telhas diversas, tais como cerâmicas e fibrocimento. A cobertura vegetal é dispersa, mas presente no lote selecionado que preservava uma parte de superfície permeável. A altitude do ponto é 427 m, posicionado em relevo suavemente ondulado e vertente direcionada para o Sul. A figura 2 exibe a distribuição dos pontos na malha urbana e entorno rural de Santo Anastácio com detalhamento definido em 100 metros de raio.

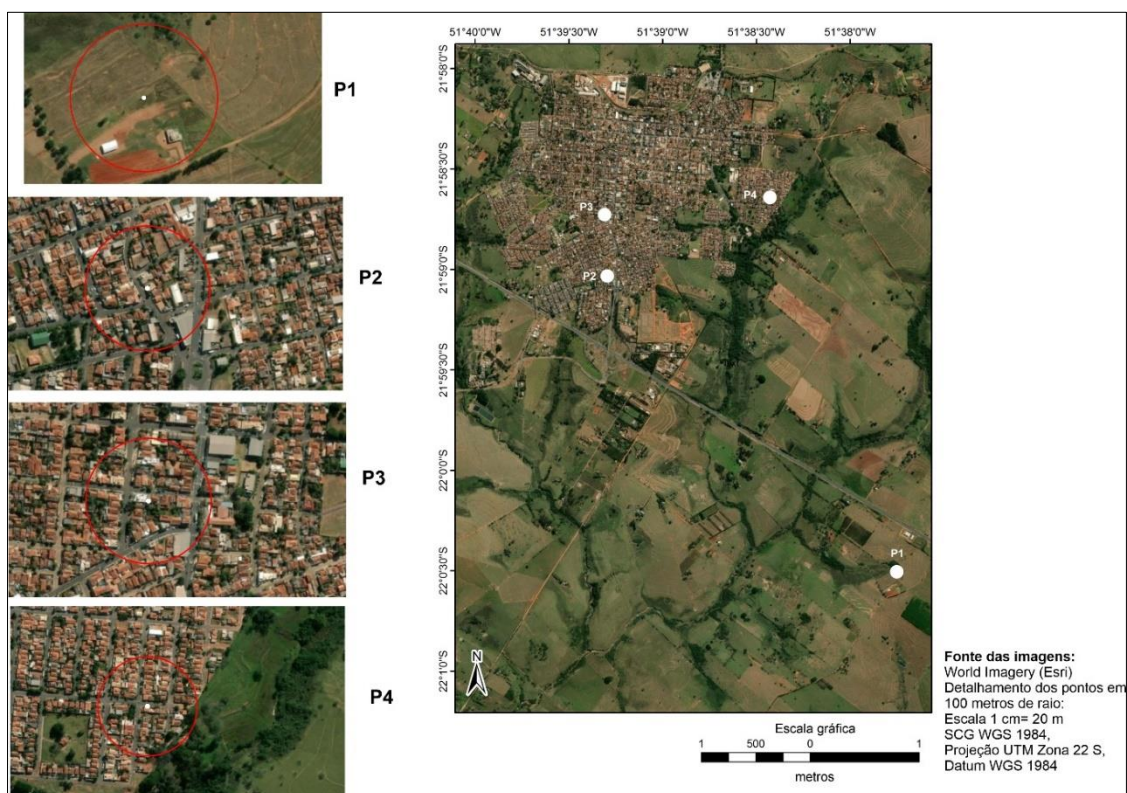


Figura 2: Localização dos pontos representativos instalados na malha urbana e rural circundante de Santo Anastácio (SP).

Fonte: Word Imagery (ESRI), organizado pelas autoras.

O tratamento dos dados com foco no estudo da ICU frequentemente ocupa-se de analisar a sua variação espaço temporal e a quantificação da força, considerados a partir dos seguintes moduladores:

- a) A intensidade como indicativa da magnitude do fenômeno. Depende em grande parte do tamanho do espaço urbano e das condições meteorológicas dominantes.
- b) As variações espaciais estão quase todas relacionadas com as diferentes estruturas urbanas.
- c) O ritmo diário e sazonal depende dos ciclos diários e estacionais da radiação (FERNÁNDEZ GARCÍA, 1996, p. 263, tradução nossa).

Referindo-se à força do fenômeno, assumiu-se o critério quantitativo da intensidade e qualitativo da magnitude da ilha de calor urbana, conforme a classificação de Fernández García (1996, p. 264, tradução nossa):

- a) **Fraca**, quando as diferenças variam entre 0°C e 2°C.
- b) **Moderada**, entre 2°C e 4°C.
- c) **Forte**, entre 4°C e 6°C.
- d) **Muito forte**, quando as diferenças são superiores a 6°C.

Nesta aplicação o tratamento dos dados foi direcionado para a obtenção das intensidades térmicas (FERNANDEZ GARCÍA, 1996), calculadas em planilhas do aplicativo Excel®³ tomando como referência o ponto de controle rural (OKE *et al.*, 2017; VOOGT, 2002) através da expressão:

$$\Delta T = T^{\circ}\text{C urbano} - T^{\circ}\text{C rural} \quad (1)$$

Onde:

ΔT = Diferença de temperatura (°C);

T°C urbano = temperatura registrada no ponto fixo urbano;

T°C rural = temperatura registrada no ponto fixo rural.

Os dados foram tabulados e apresentados em nível de detalhamento mensal na forma de painéis espaçotemporais (SANT'ANNA NETO, 1990) gerados no aplicativo Surfer®⁴, nos quais se projetou as intensidades obtidas nos pontos (eixo y – ordenada)

³ Excel é marca da Microsoft Corporation.

⁴ Surfer é marca da Golden Software.

em função do tempo da observação (eixo x – abcissas), a partir da *krigagem* como método interpolador (FERREIRA, 2014). Admite-se que a representação em painéis é apropriada para amostragem de dados coletados sem contiguidade espacial, especialmente gerada por poucos pontos amostrais, visto que o trabalho voltou-se à quantificação das diferenças térmicas entre os pontos representativos.

A articulação com a dinâmica atmosférica regional fez-se pelo conhecimento dos sistemas atmosféricos atuantes e tipos de tempo decorrentes a partir da análise rítmica (MONTEIRO, 1971; ZAVATTINI, 1998), fundamental para a identificação dos padrões térmicos. Na inexistência de uma estação meteorológica oficial na localidade foram utilizados dados meteorológicos da estação meteorológica de referência localizada em Presidente Prudente (SP)⁵, distante 34 km de Santo Anastácio. Apesar da distância, assume-se que não há perda de generalidade dos dados pois são cidades inseridas numa mesma realidade regional. Desta estação, foram utilizados dados da temperatura do ar, umidade relativa, pressão atmosférica, direção predominante e velocidade do vento às 09 h (hora local) para a elaboração dos gráficos de análise rítmica. A nebulosidade foi obtida pela observação de imagens do satélite *Goes13* em virtude da falta dessa informação no banco de dados oficial. Dados de acumulados de precipitação mensal foram obtidos através da estação pluviométrica local mantida pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) no município de Santo Anastácio (prefixo C8-009) localizada na latitude 21° 58' 08", longitude 51° 38' 34" e em altitude de 444 metros. A identificação dos sistemas atmosféricos baseou-se nas cartas sinóticas da Marinha do Brasil e no boletim técnico do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Para os efeitos da presente análise, uma síntese dos gráficos de análise rítmica foi adaptada para demonstração dos resultados, pela qual priorizou-se a ocorrência da precipitação, a velocidade e direção dos ventos, nebulosidade e sistemas atmosféricos atuantes nos meses do monitoramento.

Encerram os procedimentos a avaliação da intensidade pela representação da frequência de ocorrência ao longo do monitoramento climático considerando-se somente os dias sem precipitação.

⁵ Estação automática do Instituto Nacional de Meteorologia, Presidente Prudente A- 707, altitude 432 metros.

Resultados

Conforme os tipos de tempo presenciados, constatou-se que episódios sem precipitação e ventos fracos favoreceram a ocorrência da ilha de calor que distribuiu-se em magnitudes fraca, moderada e forte. As magnitudes moderada e forte foram verificadas especialmente nos dias em que os ventos eram fracos e provenientes do quadrante leste, pela ação das Massas Tropical Atlântica e Massa Polar Atlântica e de suas derivações, Massa Tropical Atlântica Continentalizada e Massa Polar Atlântica Tropicalizada, respectivamente. De forma geral, padrões de ventos com velocidade e direção muito variáveis marcaram maiores diferenciações entre os pontos urbanos e rural.

Os sistemas instáveis atenuaram as intensidades da ilha de calor noturna ou extinguiram-na manifestando ilhas de frescor, o que se presenciou mediante a ocorrência de precipitação e de ventos originados nos quadrantes norte, sul e oeste. Durante o monitoramento climático, os sistemas Frente Polar Atlântica, Repercussão de Frente, Frente Estacionária, Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e Zona de Convergência de Umidade (ZCOU) foram produtores de precipitação e maior fluxo de ventos. O total de precipitação acumulada por mês da observação está apresentado na figura 3.

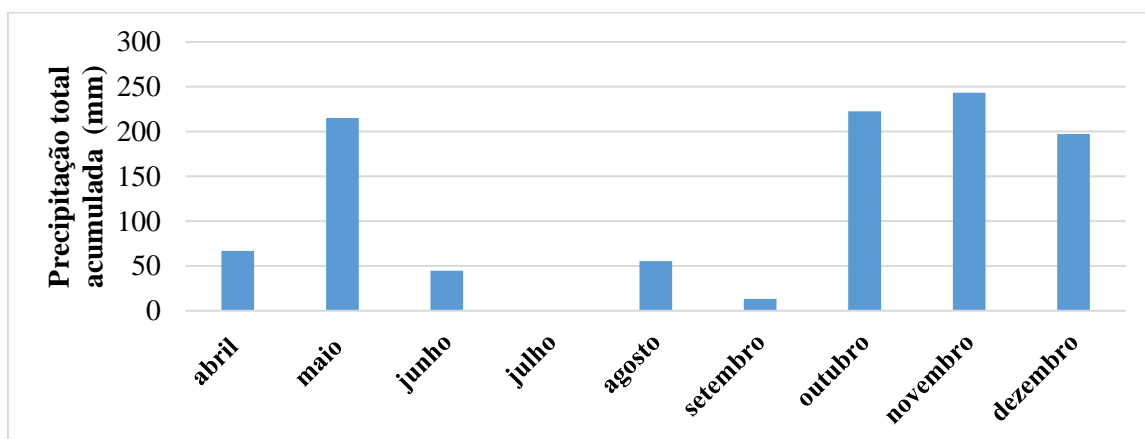


Figura 3: Total pluviométrico mensal, Santo Anastácio (Estação DAEE), meses de abril a dezembro de 2017.

Fonte dos dados: DAEE Estação C8009 de Santo Anastácio. Disponível em: <<http://www.hidrologia.dae.sp.gov.br/>> Acesso em 10 nov. 2020. Organização: da autora (2020).

Em relação à distribuição espacial, considerando a disposição dos pontos no sentido sul-norte, no ponto 3, de maior densidade construtiva, posicionado em terreno de vertente voltada para o oeste e superfície totalmente impermeabilizada, a ilha de calor noturna de moderada magnitude prevaleceu, em resposta ao aquecimento urbano diurno

armazenado até o período noturno. Notadamente o efeito da ilha de calor nesse ponto foi potencializado em episódios de maior estabilidade atmosférica, atingindo a magnitude forte sob regência da Massa Tropical Atlântica e Polar Atlântica.

Nos pontos 2 e 4, as intensidades térmicas foram claramente menores, configurando ilhas de calor de fraca magnitude e ilhas de frescor na atuação de sistemas úmidos. Essas respostas térmicas sugerem que as características do sítio urbano, a menor densidade construtiva, a presença de cobertura vegetal e, no caso do ponto 2, o lote maior, são determinantes para esses resultados. Acrescenta-se que o ponto 4, distribuído em vertente voltada ao sul e menor altitude recebeu menor incidência de radiação solar, com exceção para a estação do verão, representado pelo mês de dezembro (AMORIM, 2017).

Adentrando ao refinamento episódico, no mês de abril as intensidades foram reduzidas nos dias chuvosos (figura 4) com exceção do dia 27, que mesmo registrando precipitação (14,3 mm), caracterizou-se por intensidades térmicas que atingiram 5°C nos pontos urbanos em relação ao rural. Esse resultado é indicativo de que a precipitação ocorreu somente na área rural.

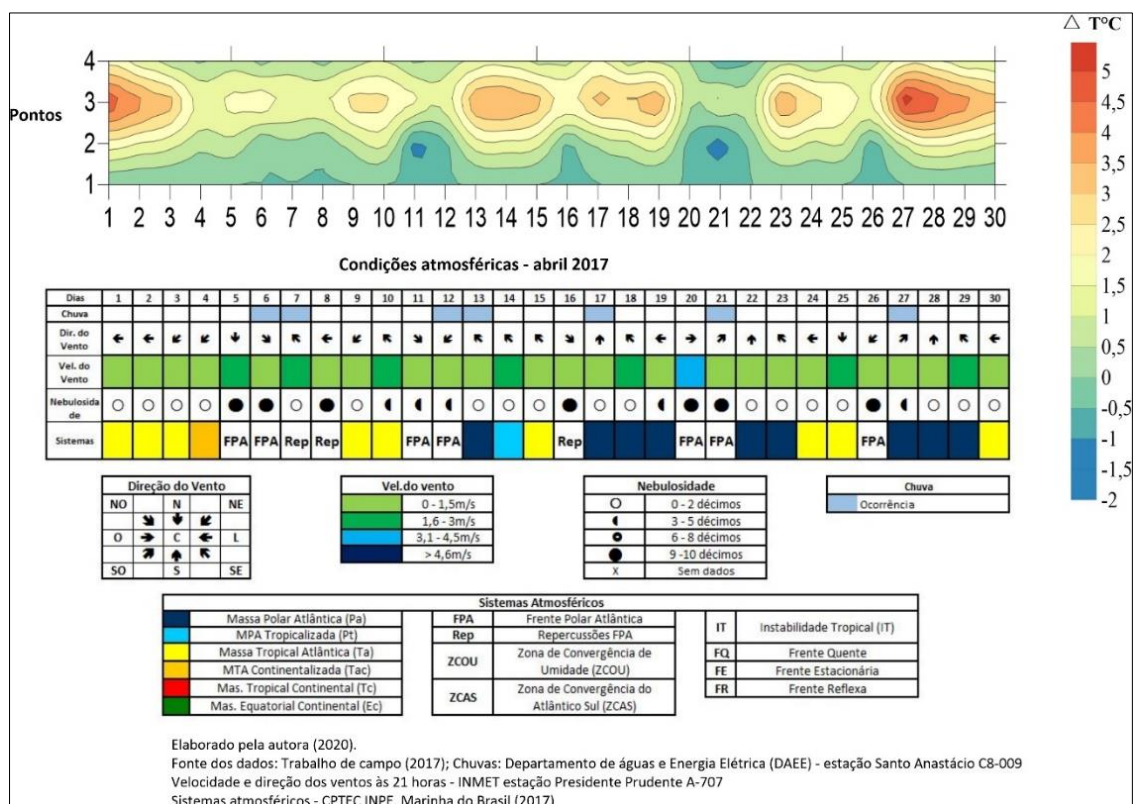


Figura 4: Intensidade da ilha de calor, condições atmosféricas às 21 horas em Santo Anastácio (SP), abril de 2017
 Fonte: trabalho de campo (2017).

O mês de maio (figura 5) foi marcado pela ocorrência de menores intensidades térmicas que atingiram 3°C no ponto 3. Esse padrão associa-se à distribuição da precipitação no mês que teve um acumulado mensal de 215 mm. Sob a ação da ZCOU entre os dias 18 e 22, quando a velocidade do vento atingiu 4,5 m/s às 21 horas, as intensidades urbanas e rural se homogeneizaram e no ponto 2 formou a ilha de frescor. Mesmo que na ausência de precipitação, o ingresso de sistemas instáveis na região favoreceu maior nebulosidade e condicionou respostas térmicas reductoras das intensidades da ICU.

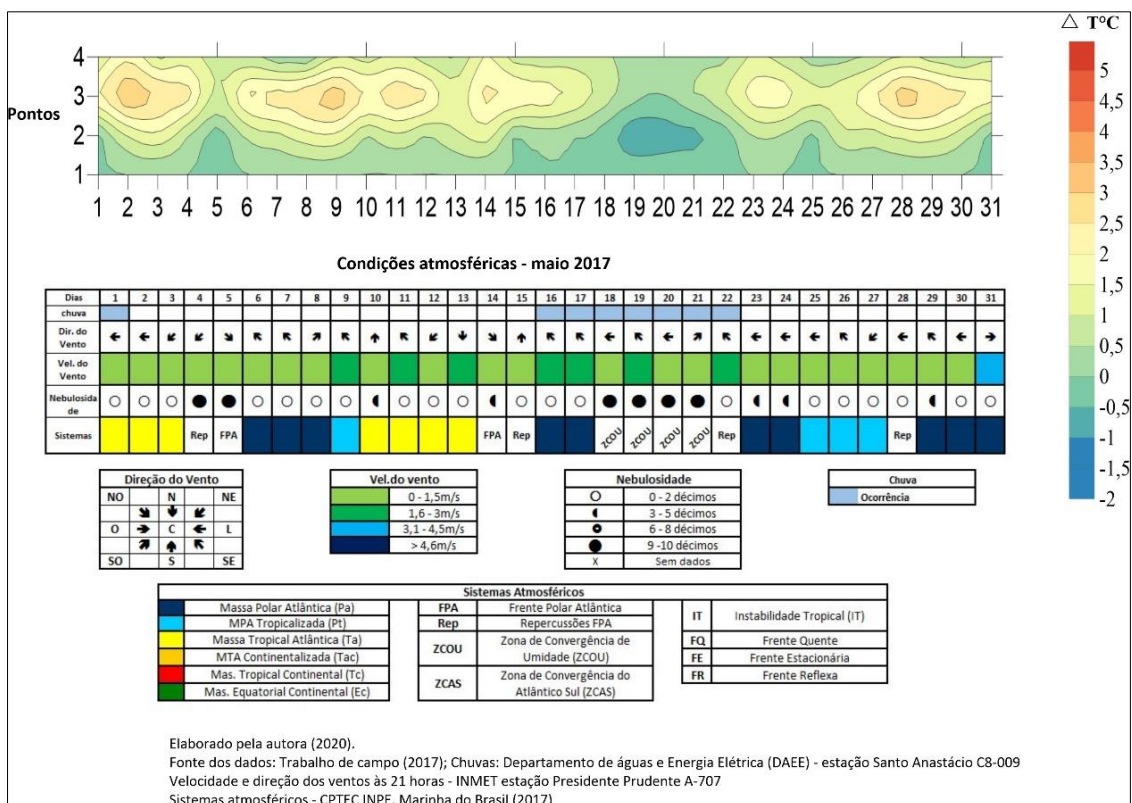


Figura 5: Intensidade da ilha de calor, condições atmosféricas às 21 horas em Santo Anastácio (SP), maio de 2017

Fonte: trabalho de campo (2017).

Em junho (figura 6) a ilha de calor de moderada magnitude foi configurada no ponto 3 sob condições atmosféricas proporcionadas pelos sistemas Massa Polar Tropicalizada, Tropical Atlântica e Tropical Atlântica Continentalizada. Na influência dos sistemas instáveis como Frente Polar Atlântica, Frente Estacionária, Repercussão de frente e Instabilidade Tropical as intensidades foram reduzidas tanto no ponto 3 como nos demais que caracterizaram a ilha fria. Mesmo que esses sistemas não tenham propiciado precipitação, o aumento da nebulosidade favoreceu a homogeneização entre a área urbana e o rural, como presenciado nos dias 5, 28 e 29 de junho.

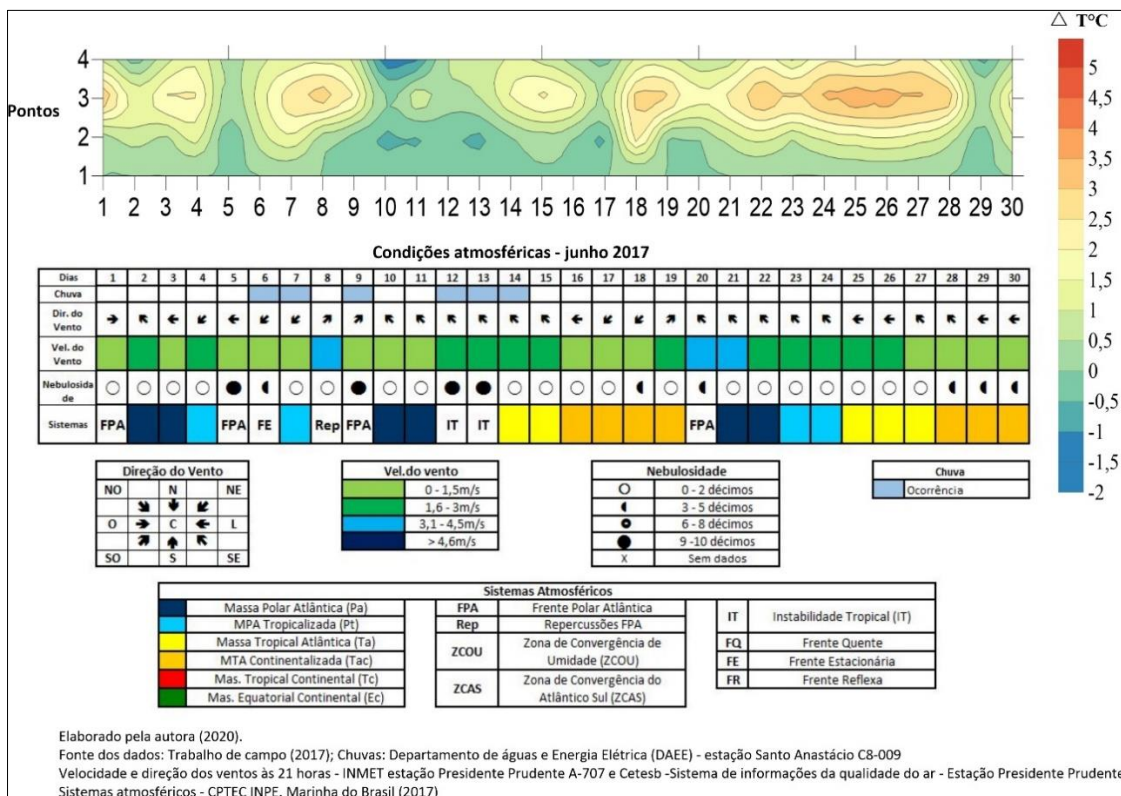


Figura 6: Intensidade da ilha de calor, condições atmosféricas às 21 horas em Santo Anastácio (SP), junho de 2017
 Fonte: trabalho de campo (2017).

Como no mês de Julho não se registrou precipitação, correspondendo à estação seca no ambiente tropical continental, a força dos ventos foi determinante para a configuração das ilhas de calor (figura 7). Episódios com velocidade de vento variável entre 1,5 a 3,0 m/s registraram ilhas de calor de fraca magnitude, com exceção do ponto 3, onde a densidade construtiva favoreceu intensidades térmicas variáveis entre 2° e 5°C. Em contrapartida, entre os dias 25 e 28, com padrão de ventos do quadrante leste de até 1,5 m/s, as intensidades térmicas foram maiores, atingindo a forte magnitude (5°C).

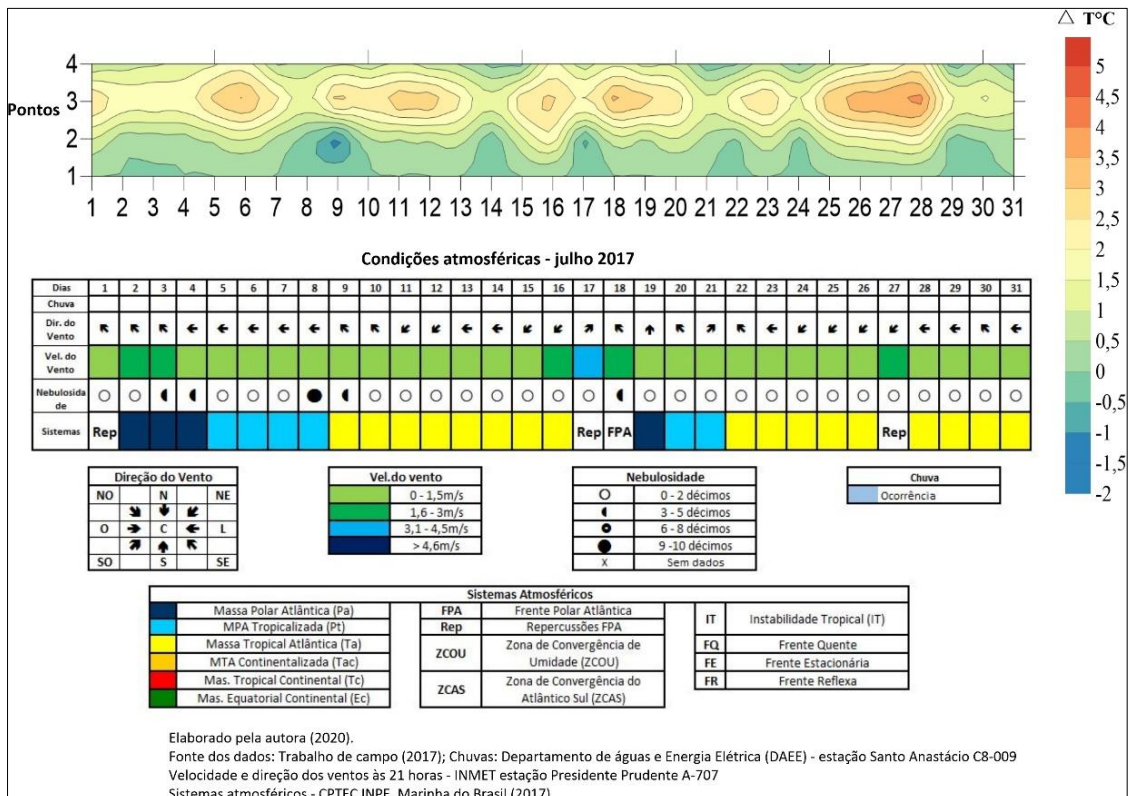


Figura 7: Intensidade da ilha de calor, condições atmosféricas às 21 horas em Santo Anastácio (SP), julho de 2017

Fonte: trabalho de campo (2017).

No mês de agosto, apresentado na figura 8, a fraca magnitude foi resposta da força dos ventos ou da precipitação. Na primeira dezena do mês, os dias registraram ventos de até 4,5 m/s, provenientes do quadrante norte e oeste que favoreceram a dissipação do calor diurno, e por isso, às 21 horas as diferenças térmicas foram reduzidas até mesmo no ponto 3 de maior densidade construtiva. Entre os dias 14 e 21, a sucessão de sistemas produtores de precipitação (Frente Polar Atlântica e Frente Estacionária) condicionaram as respostas térmicas urbanas, registrando-se ilhas de fraca magnitude (até 2°C nos pontos 3 e 4) e ilha de frescor, ou seja, diferenças inferiores a zero formadas no ponto 2 às 21 horas. A partir do dia 26 de agosto, quando o fluxo de ventos foi fraco durante os dias (até 1,5 m/s), as intensidades da ICU se pronunciaram às 21 horas.

Na figura 9 estão reunidos os resultados de setembro, mês marcado por ventos predominantes do quadrante leste. A ausência da precipitação influenciou na configuração de maiores intensidades da temperatura às 21 horas. Nos dois dias que registraram precipitação (29/09/17 e 30/09/17 – total de 13 mm) as diferenças térmicas foram atenuadas e as ilhas de calor detectadas foram de fraca magnitude.

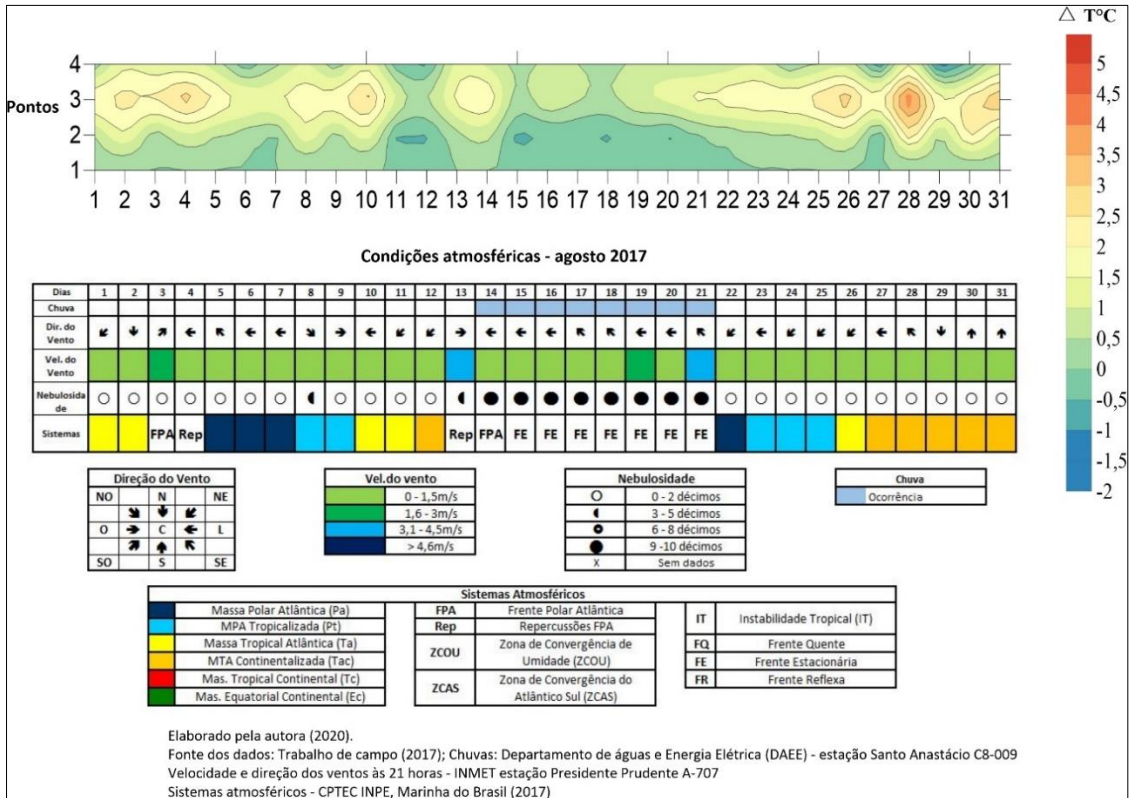


Figura 8: Intensidade da ilha de calor, condições atmosféricas às 21 horas em Santo Anastácio (SP), agosto de 2017

Fonte: trabalho de campo (2017).

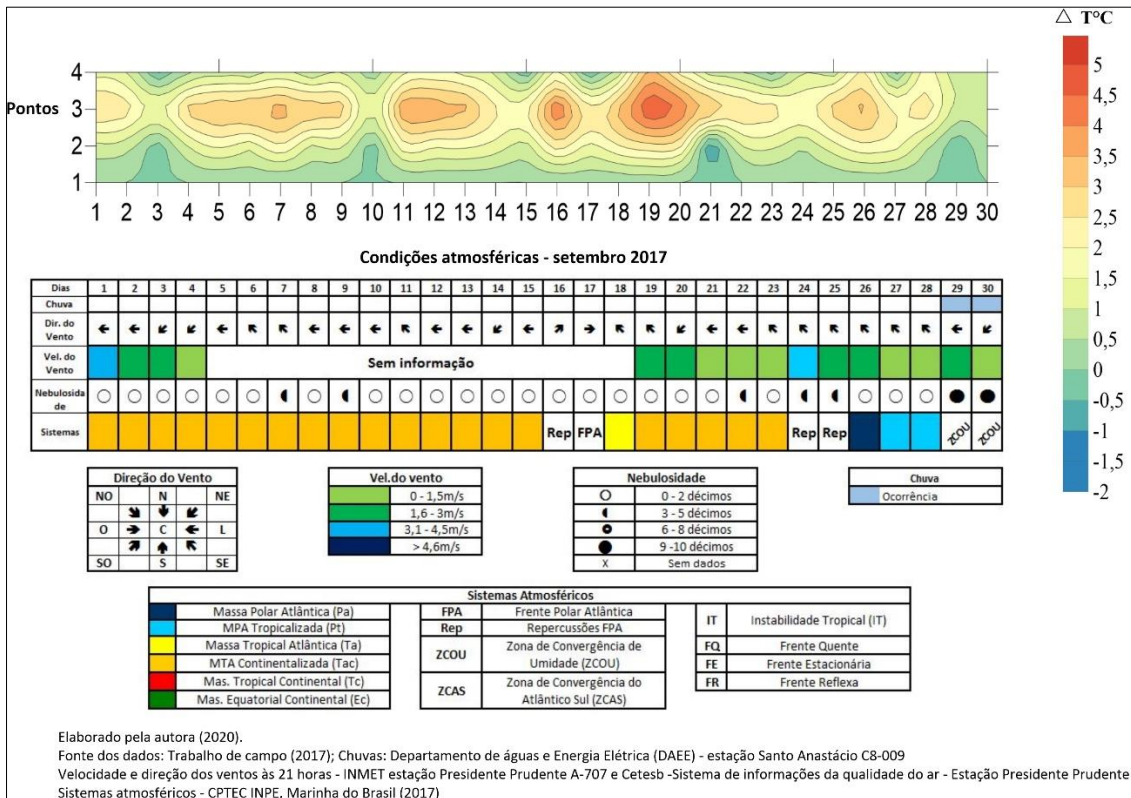


Figura 9: Intensidade da ilha de calor, condições atmosféricas às 21 horas em Santo Anastácio (SP), setembro de 2017

Fonte: trabalho de campo (2017).

Nos meses de outubro, novembro e dezembro (figuras 10, 11 e 12), as ilhas de calor foram potencializadas nos dias estáveis, cujos ventos eram originados no quadrante leste. Em dias chuvosos, as diferenças térmicas foram evidentemente menores entre os pontos urbanos e o rural circundante, contudo, em episódios chuvosos que registraram maiores diferenças térmicas assume-se que a precipitação ocorreu exclusivamente na área rural. De maneira geral, fluxo de ventos mais fortes favoreceram a homogeneização térmica entre os ambientes urbanos e rurais.

A maior intensidade da ICU ocorreu em 11 de dezembro, quando o ponto 3 registrou a forte magnitude (5°C) e os demais pontos urbanos caracterizaram moderada magnitude, em resposta da atuação da massa Tropical continental que proporcionou elevada temperatura absoluta no dia (34,5°C). Nestas condições, as características construtivas sobressaíram-se em relação às condicionantes geoambientais e o calor urbano armazenado foi detectado nos pontos urbanos.

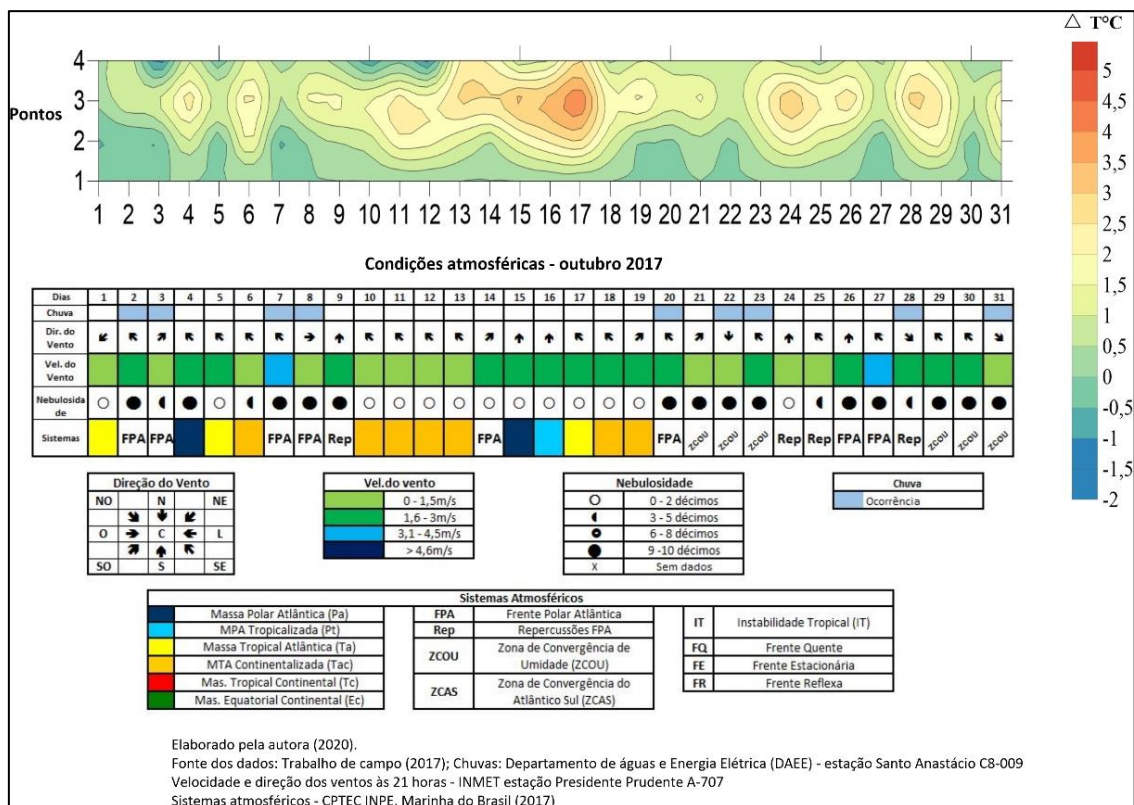


Figura 10: Intensidade da ilha de calor, condições atmosféricas às 21 horas em Santo Anastácio (SP), outubro de 2017
 Fonte: trabalho de campo (2017).

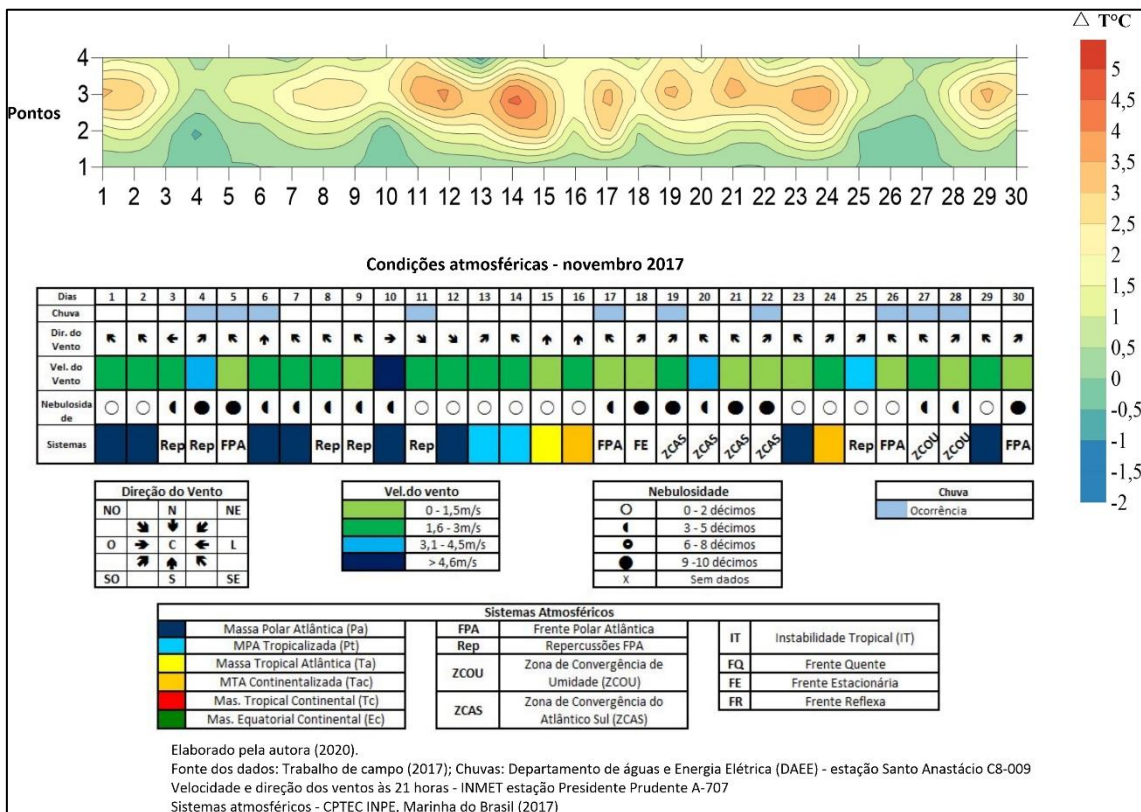


Figura 11: Intensidade da ilha de calor, condições atmosféricas às 21 horas em Santo Anastácio (SP), novembro de 2017. Fonte: trabalho de campo (2017).

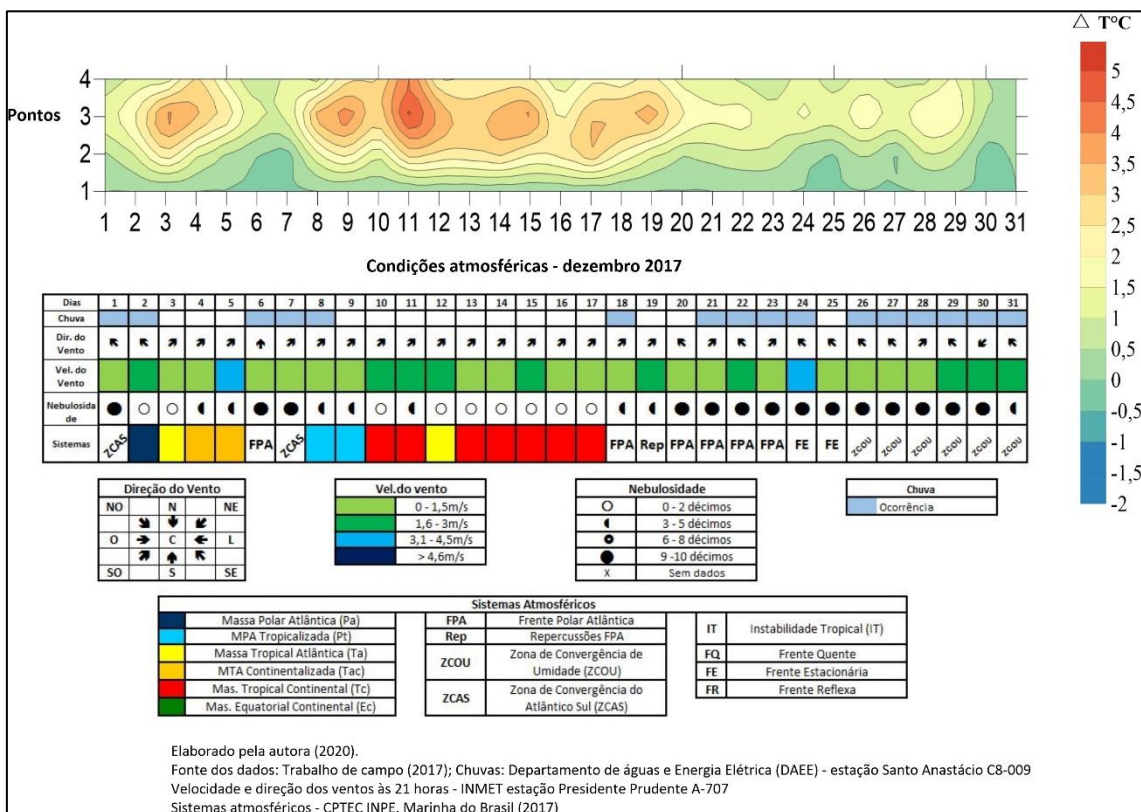


Figura 12: Intensidade da ilha de calor, condições atmosféricas às 21 horas em Santo Anastácio (SP), dezembro de 2017. Fonte: trabalho de campo (2017).

Visando sintetizar os resultados realizou-se a análise da frequência de ocorrência por classe de intensidade e magnitude da ICU considerando somente os dias estáveis, pois são nessas condições meteorológicas que a formação da ICU é claramente definida (DORIGON, 2019). Dessa maneira, excluiu-se os dias que registraram precipitação e ventos mais fortes (66 dias) em relação ao total de registros de 274 dias (figura 13).

Analisando-se a distribuição das frequências, no ponto 3, 62% dos registros foram de ilhas de calor de moderada magnitude sendo o único ponto urbano a manifestar a forte magnitude com frequência de 3% dos dias. Ilhas de calor de fraca magnitude foram constatadas em 35% dos dias. Neste local não foram constatadas ilhas de frescor.

Nos pontos 2 e 4 as ilhas de calor de fraca magnitude prevaleceram em 78% e 72% dos dias, respectivamente. Ilhas de frescor foram diagnosticadas também nos dois locais, contudo foram mais frequentes no ponto 4, correspondendo a 19% dos dias.

Esses resultados corroboram que as respostas térmicas são individualizadas em função da densidade construtiva, das características do sítio relativas à orientação da vertente e à presença de cobertura vegetal que são condicionantes da intensidade e magnitude das ilhas de calor urbanas em Santo Anastácio.

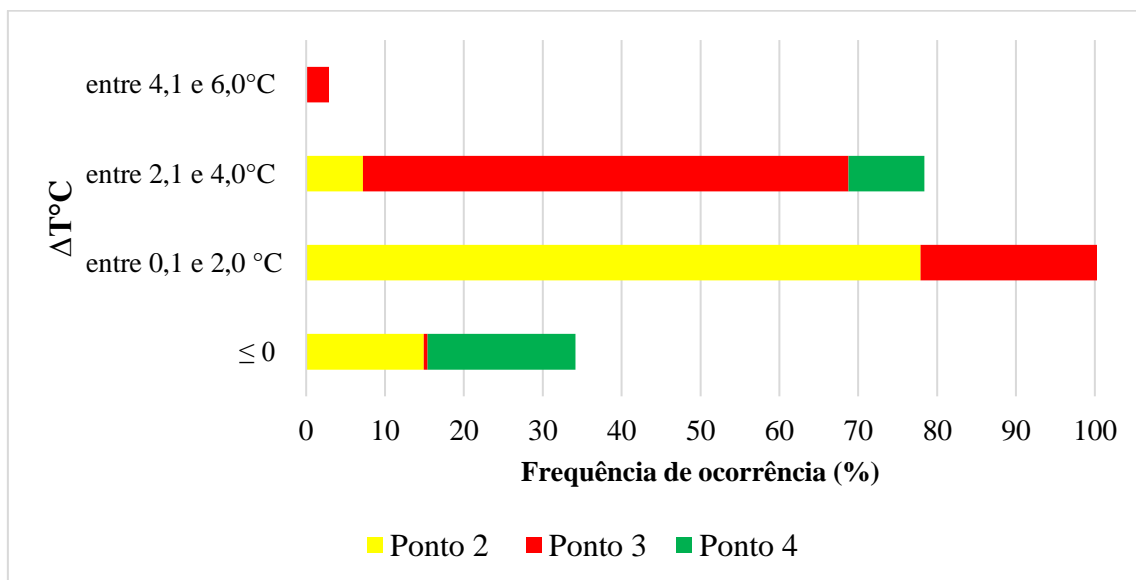


Figura 13: Frequência da ocorrência (%) da intensidade ($\Delta T^{\circ}\text{C}$) das ilhas de calor distribuídas nos pontos representativos urbanos considerando os dias sem precipitação, Santo Anastácio (SP).

Fonte: trabalho de campo (2017).

Considerações finais

Comprovou-se por meio desta investigação que as ilhas de calor atmosféricas foram registradas em Santo Anastácio, sendo que as suas intensidades e magnitudes dependeram de influências de derivação natural e antropogênica.

Tais elementos combinados à dinâmica atmosférica explicam que “[...] a magnitude da ICU diminuiu em função das influências moduladoras do ciclo diário, sazonal e do tempo atmosférico (OKE *et al.*, 2017, p. 213, tradução nossa). Nesta aplicação, nos pontos urbanos 2 e 4, suas características geoambientais em interação com os tipos de tempo favoreceram a ocorrência de ilhas de calor de fraca magnitude e de ilhas de frescor, contrastando com o ponto 3, onde sobressaíram-se as características urbanas, expressas pela maior densidade construtiva que é um dos controles locais.

A influência geoambiental foi percebida no aspecto da orientação das vertentes já que os pontos 2 e 4 localizaram-se em vertentes direcionadas para o quadrante sul, por isso, foram menos aquecidos durante o dia, exceto no período do verão (dezembro). Quanto ao ponto 3, a vertente voltada ao oeste, expõe o local à maior incidência de radiação no período próximo ao pôr do sol, onde a ICU de moderada magnitude foi um padrão no período noturno. Nesse ponto, a influência urbana, expressa pela maior densidade construtiva também contribuiu para esses resultados, diferentemente dos pontos 2 e 4, dotados de vegetação e mantendo superfície parcialmente permeável. Nestes dois locais, as ilhas frias foram presenciadas nos dias estáveis e sua prevalência, sobretudo, ocorreu em episódios regidos pelos sistemas úmidos. A intensidade e a magnitude das ilhas de calor relacionaram-se com os sistemas atmosféricos atuantes e com a força e direção dos ventos, que intensificaram ou reduziram as ICU.

Constatando-se que a densidade construtiva é uma das forçantes para a variação da temperatura, percebida também em cidades de pequeno porte, faz-se necessário a incorporação do conhecimento em climatologia para um planejamento e ordenamento urbano resiliente ao desconto térmico (MONTEIRO *et al.*, 2018). Tais estratégias perpassam por medidas de caráter regulatório de incumbência do poder público, tais como o controle eficiente do uso da terra, a manutenção dos gabaritos construtivos, a exigência pela conservação das áreas permeáveis para conter a densidade construtiva, medidas viáveis de executar especialmente nas novas áreas em expansão. A nível do microclima, a substituição dos materiais construtivos compatíveis com as características climáticas do ambiente tropical pode ser considerada para a amenização das temperaturas, sobretudo com referência aos telhados e coberturas.

Nocturnal measurement and intensity frequency of the urban heat island in Santo Anastácio, São Paulo, Brazil

Abstract: Studies dedicated to the urban climate and the atmosphere of cities have long revealed the concern with urban heating in relation to the surrounding rural areas, in what has become generally known as urban heat islands. In this article, atmospheric heat islands were investigated at the level of the urban canopy (OKE, 1987), considering the theoretical and methodological scope of the Urban Climate System (MONTEIRO, 1976) in a study applied to Santo Anastácio, a small city located in the western region of the state of São Paulo, Brazil. To achieve the purposes of the study, air temperature records were made at 9:00 PM between April and December 2017, in points representative of the urban and rural areas, through which heat intensities were obtained taking the rural area as a reference. The results confirm the configuration of heat islands of weak, moderate and strong magnitude, as well as cold islands alternating in the presence of different types of weather. The frequency of the magnitudes varied according to the types of weather and the geo-environmental and urban characteristics of the representative points. The results demonstrate the importance of incorporating knowledge in climatology for urban planning and organization that is resilient to thermal discomfort, particularly in the continental tropical environment.

Keywords: Urban climate. Urban heat island. Intensity and magnitude. Frequency.

Medición y frecuencia de la intensidad de la isla urbana de calor nocturna de Santo Anastácio, São Paulo, Brasil

Resumen: Estudios dedicados al clima urbano y a la atmósfera de las ciudades revelan hace mucho tiempo la preocupación con el calentamiento urbano con relación a las áreas rurales circundantes, lo que se acordó llamar Islas de calor urbanas. En el presente artículo, las islas de calor atmosféricas fueron investigadas al nivel del baldaquino (OKE, 1987) considerando el alcance teórico y metodológico del Sistema Clima Urbano (MONTEIRO, 1976) en estudio aplicado a Santo Anastácio, ciudad de pequeño tamaño localizada en el Oeste paulista. Para alcanzar los objetivos del estudio, fueron realizados registros de la temperatura del aire a las 9:00 PM entre los meses de abril y diciembre del 2017, en puntos representativos urbanos y rural, a través de los cuales se obtuvieron intensidades térmicas tomando a lo rural como referencia. Los resultados comprueban la configuración de islas de calor de débil, moderada y fuerte magnitud, así como de islas frías que se alternaron ante la presencia de los diferentes tipos de tiempo. La frecuencia de las magnitudes varió conforme los tipos de tiempo, las características geoambientales y urbanas de los puntos representativos. Los resultados demuestran la importancia de la incorporación del conocimiento en climatología para la planificación y ordenamiento urbano resistente a la incomodidad térmica, específicamente en el ambiente tropical continental.

Palabras-clave: Clima urbano. Isla de calor urbana. Intensidad y magnitud. Frecuencia.

Agradecimentos:

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, pelo apoio financeiro à pesquisa de doutorado (vigência 2016-2019).

Referências

AMORIM, M. C. de C. T. A produção do clima urbano em ambiente tropical: o exemplo de Presidente Prudente (SP). **Revista GeoNorte**, v. 2, p. 52-64, 2012.

AMORIM, M. C. de C. T. **Teoria e método para estudo das ilhas de calor em cidades tropicais de pequeno e médio porte**. 2017. Tese (Livre-docência) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2017.

BRANDÃO, A. M. de P. M. **O clima urbano da cidade do Rio de Janeiro**. 1996. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

CARRERAS, C. *et al.* Modificaciones térmicas en las ciudades. Avance sobre la *isla de calor* en Barcelona. **Documents d'Analisi Geografica**, Barcelona, n. 17, p. 51-77, 1990.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). **Banco de dados hidrológicos**. São Paulo: Portal do Departamento de Águas e Energia Elétrica, [2018]. Disponível em: <http://www.hidrologia.dae.sp.gov.br/> Acesso em: 16 out. 2018.

DORIGON, L. P. **As ilhas de calor urbanas em Jundiá (SP)**. 2019. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2019.

DUBREUIL, V. *et al.* Les types de climats annuels au Brésil: une application de la classification de Köppen de 1961 à 2015. **EchoGéo**. n. 41. p. 1-27, 2017.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Brasil). Centro Nacional de Pesquisa de solos, **Sistema Brasileiro de Classificação de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2009.

FERNÁNDEZ GARCÍA, F. **Manual de climatología aplicada: clima, medio ambiente y planificación**. Madrid: Síntesis, 1996.

FERREIRA, M. C. **Iniciação à análise geoespacial: teoria, técnicas e exemplos para geoprocessamento**. São Paulo: Ed. UNESP, 2014.

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

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. [Malha de setores censitários e faces de logradouros]. [2017]. Bases cartográficas das cidades do estudo. Disponível em: https://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm. Acesso em: 19 jul. 2017

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Santo Anastácio**. [2020]. Estimativa populacional 2020. Sinopse. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/santo-anastacio/panorama>. Acesso em: 07 jul. 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (Brasil). **Santo Anastácio, São Paulo**. São José dos Campos: INPE, 2017. Banco de dados geomorfométricos. Imagem SRTM Topodata. Quadrículas 21S525, 22S525. Lat. -21°97'50"S, Long. -

51°65'31"W. Disponível em: <http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>. Acesso em: 15 maio 2017.

LANDSBERG, H. E. **The urban climate**. New York: Academics, 1981.

MONTEIRO, C. A. de F. **Análise rítmica em climatologia**. São Paulo: IGEOG/USP, 1971.

MONTEIRO, C. A. de F. **Teoria e clima urbano**. São Paulo: IGEOG/USP, 1976.
OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. 2nd ed. London: Methuen; New York: John Wiley & Sons, 1987.

MONTEIRO, A. *et al.* **O(s) clima(s) de Gaia**. Câmara Municipal de Gaia. 59p, 2018.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. 2nd ed. London: Methuen; New York: John Wiley & Sons, 1987.

OKE, T. R. **Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites**. Geneva: World Meteorological Organization, 2006. (Instruments and Observing Methods. Report n. 81). Disponível em: http://library.wmo.int/pmb_ged/wmo-td_1250.pdf. Acesso em: 12 fev. 2017.

OKE, T. R. *et al.* **Urban climates**. Cambridge: Cambridge University Press, 2017.

OKE, T. R. Siting and exposure of meteorological Instruments at urban sites. *In*: INTERNATIONAL TECHNICAL MEETING ON AIR POLLUTION MODELLING AND ITS APPLICATION, 27., 2004, Banff. **Proceedings** [...]. [Banff]: NATO/CCMS, 2004. p. 1-14. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/225881560_Siting_and_Exposure_of_Meteorological_Instruments_at_Urban_Sites Acesso em: 10 mar. 2016.

SANT'ANNA NETO, J. L. **Ritmo climático e a gênese das chuvas na Zona Costeira Paulista**. 1990. (Dissertação de Mestrado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1990.

VOOGT, J. A. Urban Heat Island: Causes and consequences of global environmental change. **Encyclopedia of Global Environmental Change**, vol. 3, pp. 660-666, 2002.

ZAVATTINI, J. A. A Climatologia Geográfica Brasileira, o enfoque dinâmico e a noção de ritmo climático. **Geografia** (Rio Claro), Rio Claro, v. 23, n.3, p. 5-24, 1998.

Sobre as autoras

Danielle Cardozo Frasca Teixeira – Licenciada, mestre e doutora em Geografia pela Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Ciências e Tecnologia campus Presidente Prudente. Membro do Grupo de Pesquisa Interações na Superfície, água e atmosfera - GAIA. Pesquisadora/bolsista pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) entre os anos 2013 e 2015.

Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim - Bolsista de Produtividade em Pesquisa 1C. Livre-docente pela UNESP-FCT. Doutora em Geografia pela Universidade de São Paulo. Mestre em Geografia pela Universidade Estadual Paulista

Júlio de Mesquita Filho, Presidente Prudente, Brasil (1993). Pós-Doutora pela Universidade do Porto. Professora da UNESP.

Recebido para avaliação em julho de 2020

Aceito para publicação em janeiro de 2021