

---

# ANÁLISE DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DA EXPANSÃO URBANA EM CIDADES DE MINERAÇÃO A PARTIR DE PRODUTOS TERMAIS DE SENSORES ORBITAIS

ANALYSIS OF THE URBAN EXPANSION' ENVIRONMENTAL IMPACTS IN MINING CITIES FROM THERMAL PRODUCTS OF ORBITAL SENSORS

ANÁLISIS DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES DE LA EXPANSIÓN URBANA EN CIUDADES MINERAS A PARTIR DE PRODUCTOS TÉRMICOS DE SENSORES ORBITALES

Abraão Levi dos Santos Mascarenhas<sup>1</sup>

Maria Rita Vidal<sup>2</sup>

Marcus Vinícius Mariano de Souza<sup>3</sup>

---

**RESUMO:** As cidades cumprem um papel importante na formação territorial e no desenvolvimento regional na Amazônia. Contudo, pouco tem se estudado sobre mudanças na temperatura de superfície do solo (TSS) pós-implementação dos assentamentos urbanos. Assim, o objetivo da presente secção é demonstrar as alterações da TSS, por meio de imagens Landsat 5,7,8 para os anos de 2001, 2009, 2019 no Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) dentro das cidades do Sudeste do Pará que têm seu crescimento associado às atividades mineradoras. Alterações na rugosidade florestal têm provocado mudança no padrão de umidade e de ventilação, os dados de temperatura apontam aumento das médias de temperatura de 2°C para Marabá e Canaã dos Carajás e 3°C para Parauapebas. Estes condicionantes do clima urbano revelam-se elementos essenciais para pensar o desenvolvimento destas cidades, atrelado ao planejamento ambiental, o qual permita intervenções de caráter paisagístico e de plano de arborização.

**Palavras-chave:** Temperatura de superfície. Urbano. Amazônia.

**ABSTRACT:** Cities have an essential role in the territorial formation and regional development in the Amazon. However, little has been studied about changes in soil surface temperature (SST) after the implementation of urban settlements. Thus, the objective of this article is to demonstrate the changes in SST through Landsat images 5, 7, and 8 for the years 2001, 2009, and 2019 in the Minha Casa Minha Vida Program (MCMVP) within the cities of Southeast Para that have their growth associated with mining activities. Changes in forest roughness have caused an alteration in the pattern of humidity and ventilation. Temperature data indicate an increase in temperature averages of 2°C for Maraba and

---

1 Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (Unifesspa). E-mail: abraaolevi@unifesspa.edu.br.

2 Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (Unifesspa). E-mail: ritavidal@unifesspa.edu.br.

3 Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (Unifesspa). E-mail: marcussouza@unifesspa.edu.br.

Canaa dos Carajas and 30°C for Parauapebas. These urban climate conditions are essential elements to think about the development of these cities, linked to environmental planning, which allows interventions of a landscape character and afforestation plan.

**Keywords:** Soil temperature. Urban. Amazon.

**RESUMEN:** Las ciudades cumplen un papel importante en la formación territorial y en el desarrollo regional en la Amazonia. Sin embargo, poco se ha estudiado sobre cambios en la temperatura de superficie del suelo (TSS) post implementación de los asentamientos urbanos. Así, el objetivo de la presente sección es demostrar las alteraciones de la TSS, por medio de imágenes Landsat 5,7,8 para los años de 2001, 2009, 2019 en el Programa Mi Casa Mi Vida (PMCMV), dentro de las ciudades del Sudeste de Pará que tiene su crecimiento asociado a las actividades mineras. Alteraciones en la rugosidad forestal han provocado cambio en el estándar de humedad y de ventilación, los datos de temperatura apuntan un aumento de las medias de temperatura de 2 0 C para Marabá y Canaã dos Carajás y 3 0 C para Parauapebas. Esos condicionantes del clima urbano se revelan elementos esenciales para reflexionar sobre el desarrollo de esas ciudades, entrelazado con la planificación ambiental que permita intervenciones de carácter paisajístico y de plan de reforestación.

**Palabras clave:** Temperatura de superficie. Urbano. Amazonia.

## **INTRODUÇÃO**

O surgimento das cidades ocupa um lugar de destaque na conquista do território, atualmente associada à presença do Estado no Ordenamento Territorial como lugar de passagem de fluxos de mão de obra e mercadoria, assumindo as funções junto a rede urbana (MONTE-MOR, 2004; OLIVEIRA, 2014; BARTOLI, 2018).

A origem das cidades na Amazônia tem sua singularidade a despeito dos objetivos impostos pelo poder central, na tentativa de usá-la como objeto de demarcação de poder geopolítico sobre o território e construir um espaço dependente de forças exógenas (BECKER, 2009; 2013).

Não há como negar que a formação de núcleos urbanos esteve ligada às atividades econômicas de explorações de recursos naturais e experimentaram vertiginosos crescimentos a cada nova fase do extrativismo mineral, na abertura e construção de rodovias, ou mesmo nas fases iniciais da construção de usinas hidroelétricas, mas também houve muita estagnação e/ou declínio de espaços urbanos.

Mudanças no uso do solo levam a implicações de toda ordem. Impermeabilização com manta asfáltica, adoção de concreto nas construções comerciais e habitacionais têm construído um clima antropocênico intraurbano, alterando significativamente as temperaturas de superfícies. Estas implicações devem ser levadas em conta quando se pensar a política de desenvolvimento urbano, onde o planejamento ambiental pode auxiliar junto aos tomadores de decisões.

Aumentos de temperatura de superfície em áreas de mineração são produtos da formação de assentamentos urbanos. Há pouca preocupação em adotar materiais que possam emitir menos radiação e absorver maior radiação.

O presente trabalho tem por objetivo realizar uma análise espacial e temporal, comparando os impactos ambientais no tocante ao aumento das temperaturas, provocado

pela expansão urbana em três empreendimentos residenciais no estado do Pará – Marabá, Parauapebas e Canaã dos Carajás – a partir da política habitacional do Programa Minha Casa, Minha Vida (PMCMV).

As técnicas para medir as variações de fluxo de energias da superfície serão essenciais para definir a porcentagem de aumento de temperatura de superfície e entender a relação entre a proporcionalidade de taxas de urbanização (aumento da população urbana) e o aumento de temperatura. O entendimento desta relação leva à compreensão de como os novos arranjos geométricos urbanos tendem a elevar os valores da temperatura de superfície do solo.

É nesta ótica que a presente seção procura problematizar a necessidade de pensar o ordenamento urbano, levando em consideração as mudanças de temperatura em meso e microescala provocadas pelos materiais usados na construção dos assentamentos urbanos. Parte-se da premissa que não há uma preocupação com o clima urbano e há necessidade de adequabilidade dos materiais usados junto aos equipamentos urbanos e que eles são responsáveis por mudanças na temperatura de superfície do solo.

## **TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE DO SOLO E URBANIZAÇÃO**

A política de colonização dirigida, a partir dos anos de 1960 e 1970, estabeleceu definitivamente a formação de núcleos urbanos de maneira bastante precária, já que não houve planejamento voltado para ordenar a cidade com seus equipamentos urbanos básicos (VELHO, 2009; COELHO *et al.*, 2006; BECKER, 2013). A conversão da floresta em espaços urbanos provocou, e ainda hoje tem provocado, modificações nos serviços ambientais (BATISTELLA; MORAN, 2005; MELLO-THÉRY; THÉRY, 2018).

A temperatura de superfície do solo é um parâmetro ambiental usado para definir padrões de fluxos de energia da superfície terrestre e conforto térmico nas áreas urbanas em escala de clima local (VOOGT; OKE, 2003; WENG, 2009). Em seu trabalho pioneiro, Rao (1972 *apud* WENG, 2009) analisou parâmetros de fluxo de energia da superfície com o intuito de aferir padrões de temperatura em produtos de sensoriamento remoto, para avaliação de ambientes urbanos. O referido autor aprimorou metodologias geoestatísticas usando algoritmos acoplados em ambientes geoinformativos. Os modernos satélites meteorológicos auxiliam no entendimento da atmosfera terrestre e no estabelecimento dos padrões e tipologias do clima (STULL, 2017).

Sabe-se que o desconforto térmico é responsável por provocar fadiga, que consequentemente leva ao baixo rendimento no trabalho, dificuldade e perturbações para raciocinar. Este estresse térmico aumenta as tensões no ambiente de trabalho, como bem demonstrado por Camargo e Furlan (2011, p. 283):

As condições térmicas ambientais desfavoráveis que ocasionam situações de estresse térmico influenciam no desempenho das atividades humanas e, em certos casos, geram grandes tensões no trabalho, pois podem causar, além do desconforto, fadiga, sonolência, risco de acidentes e ainda sérios danos à saúde.

Apesar da pesquisa das autoras supracitadas ser em ambiente laboral, pode-se aferir que estes mesmos estresses podem acontecer em ambientes residenciais, principalmente em casos em que não há capacidade técnica e econômica de aclimatar melhor o ambiente. Daí a necessidade de compreensão das questões do clima que devem ser reflexionadas à luz da

relação homem-sociedade – em outras palavras, envolve a qualidade dos condicionantes socioambientais urbanos, são ‘as suscetibilidades climáticas à temperatura do ar’ de Mendonça (2001), e/ou o ‘*subsistema termodinâmico*’ referendado por Sant’Anna Neto (2011).

Mas quais os fatores responsáveis em afetar diretamente a qualidade e a sustentabilidade do ambiente urbano? E como os planejadores e técnicos podem adotar medidas para equacionar os impactos negativos nas cidades? Qual o papel do desenvolvimento territorial e urbano nas tomadas de decisões?

De antemão, assegura-se que os fatores que alteram a temperatura da superfície do solo têm nos componentes físicos do ambiente urbano alguns indicadores, já estudados por Nunez e Oke (1976), Landsberg (1981), Voogt e Grimmond (2000), Stull (2017), Alcofarado (2009), Morato *et al.* (2011), Stewart e Oke (2012), Molnár (2016), Lin, Chen e Matzarakis (2017) e Fonseca *et al.* (2019).

Estes estudos relevam mudanças nas direções do vento, no gradiente da superfície terrestre, no desflorestamento – todas estas alterações modificam substancialmente o ambiente urbano, entre elas destacamos:

I) vento – o movimento de ar sobre características regionais, tem padrões naturais diversos em relação à direção que adentra a cidade; contudo, pode ser influenciado pelo gradiente de rugosidade na qual está assentado o sítio urbano;

II) topografia – as características altimétricas têm relevância no direcionamento das correntes de ar, bem como nos desenhos geométricos; pode ou não favorecer a direção dos ventos nos ambientes intraurbanos e dinamizar as variações de temperatura, construindo padrões de áreas de frescor e/ou áreas de intenso calor;

III) desflorestamento – a incrementação do desflorestamento leva a mudanças significativas nos padrões regionais de precipitação e descargas dos rios, ou seja, as taxas de ressecamento são responsáveis diretas pelo aumento das temperaturas, potencializando o aumento das correntes de ar pela ausência da rugosidade vegetal;

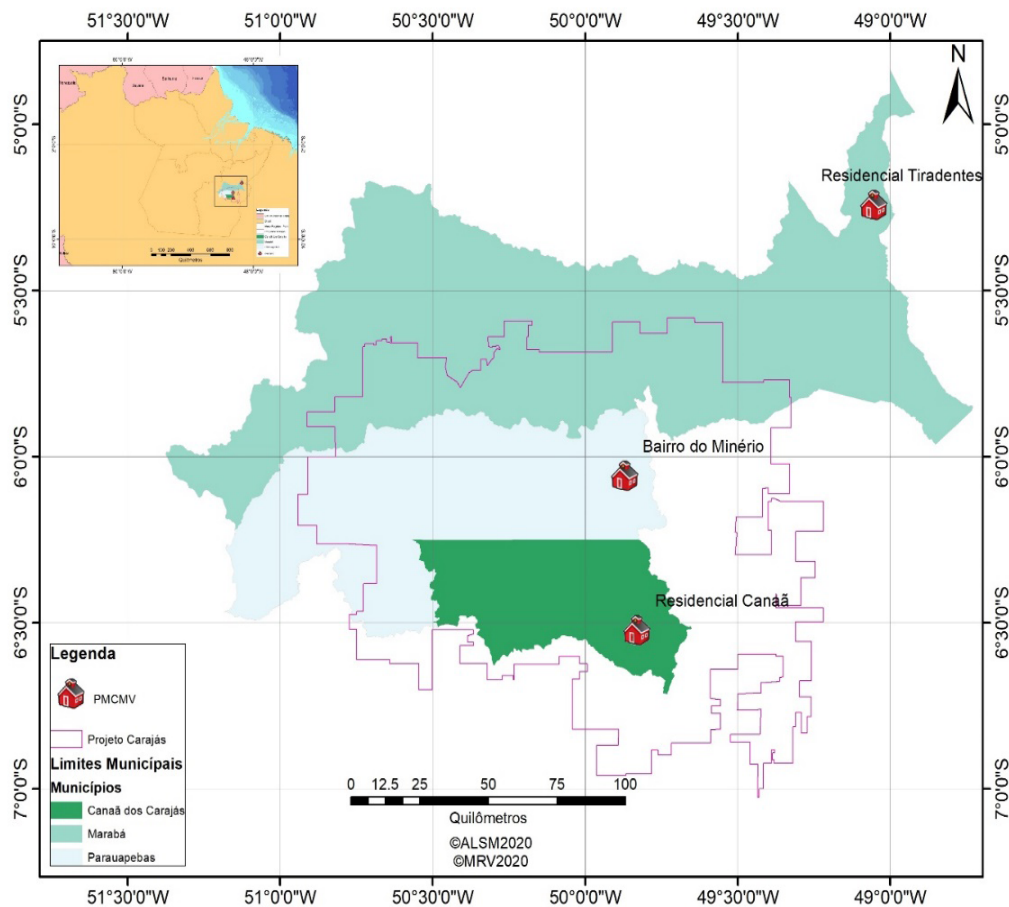
IV) taxas elevadas de urbanização – as elevadas taxas de urbanização levam conseqüentemente a uma expansão da malha urbana, que trazem consigo demandas por infraestruturas e equipamentos urbanos, com transportes, construção e/ou ampliação de hospitais e escolas etc.;

V) adensamento das construções – a geometria do desenho urbano em seus aspectos das construções, impermeabilidade do solo, tipo de material (cimento, telhas de amianto, manta asfáltica), bem como sua cor, dentre outros, afetam significativamente as temperaturas no ambiente urbano.

A análise de projetos de assentamentos urbanos idealizados pelo Governo Federal, materializados por casas populares, com seu tipo de habitação e sua relação com a temperatura do solo nas cidades de Marabá, Parauapebas e Canãa dos Carajás, no estado do Pará, visa demonstrar as variações nas taxas de temperatura e a susceptibilidade da população diante das implicações e efeitos da biometeorologia humana (Figura 1).

Originalmente a formação de núcleos urbanos na Região Sudeste do Pará relaciona-se com as atividades extrativistas, associadas ao mercado internacional. A região é vista como repositório de recursos naturais para demandas *outsider* à realidade local. Os projetos de colonização e os projetos modernos, de dotação de infraestrutura portuária e de transporte multimodal aos eixos de desenvolvimento, são orientados e estão atrelados às demandas internacionais.

As políticas territoriais envolvem um caráter geoestratégico na ocupação e na integração efetiva da região ao cenário internacional, onde a cidade articula as redes de comunicação, circulação de bens, serviços, mercadorias e informação.



Fonte: CPRM (2020) e IBGE (2010), trabalho de campo (2019).

**Figura 1.** Localização dos PMCMV na área de influência do Projeto Carajás-PA.

Marabá é uma cidade que, de acordo com o IBGE (2011), contava com 233.669 habitantes, contendo uma estimativa populacional de 279.349 (IBGE, 2019), todos assentados sobre uma área de 15.128,05 km<sup>2</sup>. Para Marabá, os indicadores ambientais estão longe de serem os ideais, tendo as taxas de pouco mais de 31% de esgotamento sanitário, adequando vias públicas arborizadas com apenas 10,8% e somente 11% de vias públicas urbanizadas, tornando-se um desafio para os objetivos de seu plano diretor urbano, o qual se compromete na melhoria do ambiente antrópico (MARABÁ, 2018).

Entre as três cidades destacadas em nosso estudo, a cidade de Marabá é a que menos tem sua economia dependente das atividades mineradoras (apesar da importância do setor para o PIB Municipal), haja vista que tem diversificado a oferta de serviços urbanos, em que nos últimos anos vem se constituindo como entreposto comercial da região Sul-Sudeste do estado do Pará e tem oferecido potencial para as atividades logísticas e transporte modal (rodovias, ferrovias, hidrovias, portos e aeroporto).

Parauapebas tem sua origem no desmembramento de parte do território do município de Marabá no ano de 1988. No ano de 2010 contava com um total populacional de 153.908, com um desenvolvimento social e econômico atrelado às atividades de mineração.

Em Parauapebas os problemas de ordem ambiental vêm se tornando frequente, haja vista que as demandas por moradia e os elevados preços dos aluguéis induzem a ocupações irregulares, principalmente em áreas de preservação permanente.

A origem da Cidade de Canaã dos Carajás como novo município começa a ser pensada por meio das políticas instituídas pelo Grupo Executivo das Terras do Araguaia-Tocantins (GETAT) nos anos de 1980, que tinha a responsabilidade de realizar processos de colonização e regularização fundiária. A partir da instituição do Projeto de Assentamento Carajás, via Centro de Desenvolvimento Regional, houve a formação do núcleo urbano, logo se constituiu em vila atrelada ao município de Parauapebas.

O sucesso da colonização promovida pelas políticas governamentais, principalmente o Programa de Polos Agropecuários e Agrominerais da Amazônia (Polamazônia), foi o grande responsável em dinamizar as terras do Araguaia-Tocantins e alavancar fluxos populacionais para a área da mineração de Carajás. Assim, o desempenho do Projeto de Assentamento Carajás motivou os processos de desmembramento territorial e no ano de 1994 houve a criação do município de Canaã dos Carajás.

Observa-se que a dinâmica populacional motivada pelos modelos de urbanização e colonização dirigida está intimamente relacionada com a exploração dos recursos naturais, que criam uma seletividade na condução de aportes de capital ligado à agropecuária e ao capital imobiliário, configurando-se como uma nova fronteira de expansão imobiliária, construindo estratégias fundiárias e a financeirização do capital imobiliário (CARDOSO; CÂNDIDO; MELO, 2018; MELO; CARDOSO, 2014; MELAZZO, 2013).

## **URBANIZAÇÃO E IMPLICAÇÕES NA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE: O PERCURSO METODOLÓGICO DA PESQUISA**

Tem-se como recorte espacial da análise as áreas de expansão urbana ligadas à criação de conjuntos habitacionais da Faixa 1 do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV). Os parâmetros de geometria da rua, baixa verticalização, densidade de ocupação, rugosidade topográfica e presença de vegetação foram levados em consideração nos resultados encontrados nas imagens orbitais.

A análise temporo-espacial foi realizada entre 2001 e 2019 com a ajuda de uma poligonal correspondendo à malha urbana dos empreendimentos em tela, da qual foi possível aferir temperaturas anos antes do empreendimento (2001), ano de implementação do programa (2009) e consolidação do empreendimento (2019), para que houvesse uma melhor distribuição das amplitudes termográficas.

Para a análise do clima urbano, e as questões metodológicas para a avaliação da amplitude térmica e seus efeitos, nos baseamos em Dubreuil (2005), Mendonça (2000), Oke (2002) e Sant'Anna Neto (2011), os quais recorrem às ferramentas de geoprocessamento para analisar dados de sensores orbitais para ambientes urbanos.

Pensando em um ambiente urbano antes da efetivação do PMCMV nas cidades de pequeno e médio porte, optamos pelo produto de teledetecção das imagens termais do sensor Landsat-5, Landsat-7 e Landsat-8 para os meses de agosto ou o mais próximo deste, nos três períodos temporais, 2001, 2009 e 2019 – esta escolha refere-se ao final da estação do inverno, pois, ainda há considerável umidade e começa haver um aumento nas taxas médias de temperatura.

O uso do Algoritmo *Semi-Automatic Classification Plugin* (SCP), na versão 6.4, dentro da plataforma Qgis 3.0, possibilitou realizar todos os procedimentos de correções de radiância, reflectância e conversões de números digitais para grandezas físicas, que com uso das Bandas Termiais do Sensor Landsat (5, 7, 8) foi possível realizar cálculo das

temperaturas da superfície terrestre junto aos residenciais Tiradentes (Marabá-PA), Bairro dos Minérios (Parauapebas-PA) e Residencial Canaã (Canaã dos Carajás-PA), lastreados pelos trabalhos de Chavez (1996) e Weng, Lu e Schubring (2004), os quais buscam analisar as variações termais da superfície do solo por meio de imagens orbitais termais (Quadro 1).

**Quadro 1.** Síntese dos empreendimentos, tipos de imagens e o comportamento termográfico antes, durante e pós consolidação das moradias.

Cidades	Nome dos Projetos	Coordenadas Geográficas	Variações das Médias Termográficas		
			Anos		
			2001 Landsat 7 – Banda Termal	2009 Landsat 5 – Banda Termal	2019 Landsat 8 – Banda Termal
Marabá	Residencial Tiradentes (ano de criação: 2009) Total de 1.410 unidades com 40 m <sup>2</sup> .	5.33780°S 49.10101°W	29° C	29° C	31° C
Parauapebas	Residencial dos Minérios (ano de criação: 2012) Total de 1.000 unidades com 41m <sup>2</sup> .	6.07672°S 49.89885°W	28° C	28° C	31° C
Canaã dos Carajás	Residencial Canaã (ano de criação: 2016). Total de 933 unidades com 36m <sup>2</sup> .	6.52938°S 49.85098°W	31° C	29° C	33° C

Fonte: Landsat 5,7,8. Organizado pelos autores (2020).

## **ANÁLISE DAS IMPLICAÇÕES NA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE NO PROGRAMA MINHA CASA MINHA VIDA**

A produção contemporânea do espaço urbano nas cidades brasileiras, observada a partir da perspectiva da produção material da cidade, manifesta-se a partir da atuação de diferentes agentes e lógicas, dotadas de interesses diversos, mas que na última década foi bastante influenciada pelo Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV).

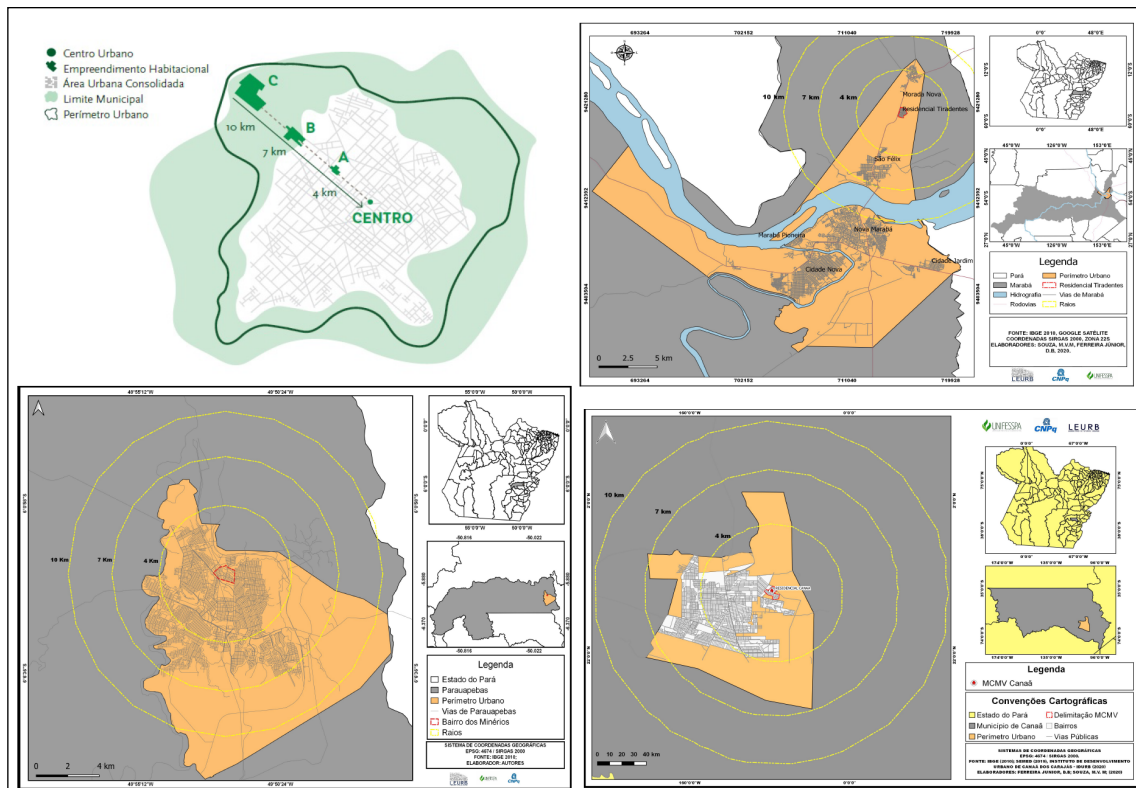
Diferentes autores, como Shimbo (2010), Fix (2011) e Rolnik (2015) destacam o PMCMV como medida anticrise adotada pelo governo brasileiro e como estratégia para evitar os efeitos da crise econômica internacional de 2008, a partir dos investimentos no setor da construção civil, já que este conseguia alocar um volume expressivo de empregos de baixa qualificação, contribuindo para a manutenção das fontes de renda e do poder de consumo da população.

Entre os efeitos espaciais resultantes deste movimento de financeirização da política habitacional está o aumento das discontinuidades no tecido urbano, pela incorporação de novos terrenos ao mercado imobiliário e a produção de habitação social, com construção de conjuntos habitacionais destinados a famílias com renda de até três salários-mínimos.

Uma das críticas mais recorrentes que se faz ao PMCMV é com relação à localização periférica dos empreendimentos. As áreas dos assentamentos urbanos têm problemas de

integração urbana e disponibilidade de equipamentos públicos de uso coletivo. Conforme Biderman *et al.* (2019), a tal localização periférica dos residenciais pode exacerbar a segregação e o isolamento dos pobres na cidade.

O Ministério das Cidades publicou estudos a respeito da qualificação da inserção urbana dos residenciais ligados ao PMCMV em 2017, em um destes (BRASIL, 2017) propõe um modelo hipotético de localização dos residenciais, com três cenários distintos de situação locacional, a partir das distâncias dos empreendimentos e as áreas mais centrais da cidade, dotadas das melhores infraestruturas. Os cenários propostos levam em consideração as distâncias de 4, 7 e 10 quilômetros. A partir desta proposição, elaboramos mapas (Figura 2) para verificar a situação locacional dos residenciais aqui estudados, a partir dos modelos propostos pelo Ministério das Cidades. Brasil (2017)



Fonte: Brasil (2017). Elaborado por Dionel Ferreira Júnior (2020).

**Figura 2.** Modelo e Situação locacional dos residenciais do PMCMV em Marabá, Parauapebas e Canaã dos Carajás.

A partir da imagem é possível perceber que a situação do Residencial Tiradentes, de Marabá, é aquela mais preocupante em termos de acessibilidade às infraestruturas e equipamentos públicos, pois, no cenário hipotético de 10 quilômetros de raio de distância, as principais áreas da cidade de Marabá ficam fora deste raio, o que acarretará diferentes custos adicionais aos cofres públicos, para que sejam satisfeitas as condições de inserção urbana do referido residencial, garantindo, portanto, o *habitar* na cidade.

Comparativamente, em Parauapebas (Residencial dos Minérios) e Canaã dos Carajás (Residencial Canaã) a situação não é tão agravante como a de Marabá. Apesar de estarem em áreas periféricas e afastadas das principais centralidades, nestas cidades os residenciais do PMCMV estão mais próximos do “Cenário A”, proposto pelo Ministério das Cidades (BRASIL,



2017), que considera a localização do empreendimento a uma distância de até quatro quilômetros do centro urbano do município, dotado de equipamentos e serviços públicos.

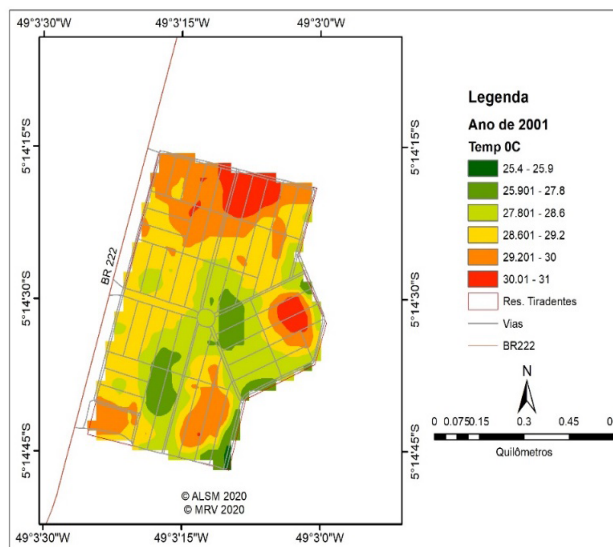
Neste caso, a morfologia urbana tem grande relevância para a inserção urbana e para a qualidade de vida da população destes residenciais, à medida que em cidades com uma estrutura urbana mais compacta, como Parauapebas e Canaã dos Carajás, os custos adicionais com deslocamentos e provisão de infraestruturas serão menores do que em cidades que apresentam um tecido urbano disperso e descontínuo, como é o caso de Marabá.

Entretanto, para além das questões urbanas, relacionadas à inserção, mobilidade, desigualdades socioespaciais, faz-se também necessária a análise do PMCMV a partir de uma perspectiva ambiental, porque isto também influencia na qualidade de vida. De tal maneira, procedemos à análise dos residenciais em questão, a partir de variáveis ambientais, como a variação da temperatura e da cobertura vegetal.

As variações de temperaturas sobre o solo urbano, aqui retratadas, passam pelo exercício teórico e técnico que leva em consideração a variação temporo-espacial da Temperatura da Superfície do Solo (TSS), como indicador de mudanças na variabilidade ambiental nos espaços urbanos, destinados ao PMCMV.

O residencial Tiradentes localizado na cidade de Marabá tem sua origem no ano de 2009, com 1.410 unidades habitacionais; sua área é de aproximadamente 5.0403m<sup>2</sup>, distante 15km do centro antigo da cidade. A área destinada ao Programa estava na zona rural e pela revisão do plano diretor municipal foi incorporada ao perímetro urbano. Assim, durante muitos anos esta área foi sendo valorizada até ser adquirida pela prefeitura como contrapartida ao Programa Federal.

No ano de 2001 o Residencial Tiradentes apresentava uma TSS máxima de 31<sup>o</sup>C e mínima de 25.4<sup>o</sup>C, com média de 28.8<sup>o</sup>C. Esta variação de gradiente de temperatura está intimamente ligada à cobertura do solo, onde tem-se uma área de pasto degradado e com vegetação secundária em processo de recuperação (Figura 3).



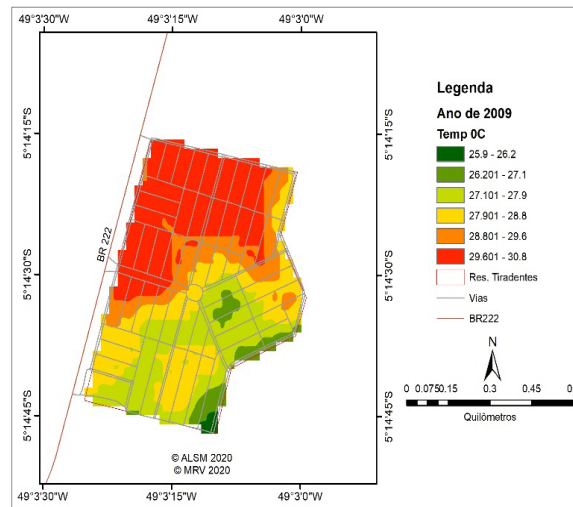
Fonte: Landsat 7 (2001). Organizado pelos autores (2020).

**Figura 3.** Distribuição espacial das temperaturas no ano de 2001, Residencial Tiradentes.

As áreas centrais e porção Sudoeste têm variação de temperatura entre 25.4<sup>o</sup>C a 28.6<sup>o</sup>C e estão sob a influência da floresta secundária, pequenas redes de drenagens

fluviais e de resquícios de pastos degradados; as temperaturas de 29.2°C a 31°C revelam a presença de solos arenosos expostos, são cicatrizes na paisagem provocadas pela pecuária.

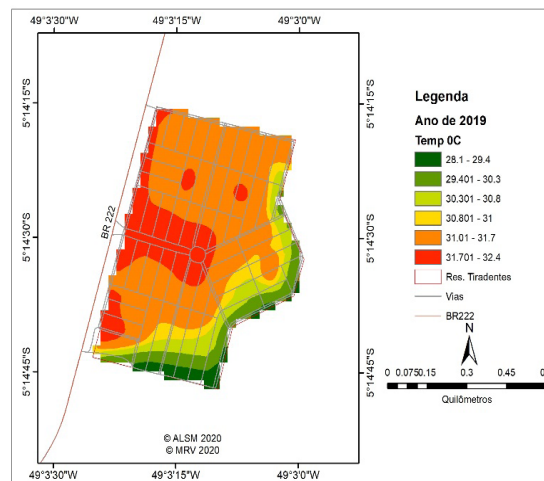
Para os anos de 2009, a maior mudança na variabilidade da TSS (Figura 4) localiza-se na porção Noroeste e parte central da área do residencial. Este fator pode ser explicado pela ação de raleamento da vegetação do terreno. No início das obras do empreendimento do PMCMV, observamos que a mata ciliar foi mantida, tornando-se uma área de maior frescor ainda na faixa de 25.9°C a 27.9°C em relação as demais áreas. Posteriormente, esta área sofreu aterramento dos igarapés e lagoas.



Fonte: Landsat 5 (2009). Organizado pelos autores (2020).

**Figura 4.** Distribuição espacial das temperaturas do Residencial Tiradentes no ano de 2009.

Os impactos mais significativos relacionados a TSS aconteceram no ano de 2019 – fase de consolidação do empreendimento. A construção das casas, definição de ruas e meio fio, uso de concreto para a pavimentação das vias e a manta asfáltica definem o aumento significativo da TSS para este ano (Figura 5).



Fonte: Landsat 8 (2019). Organizado pelos autores (2020).

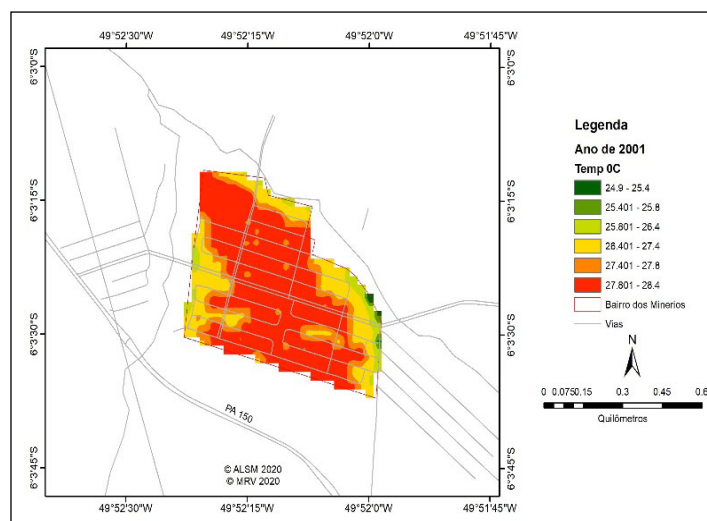
**Figura 5.** Mapa de distribuição espacial das temperaturas no ano de 2019, Residencial Tiradentes.

As mudanças nos padrões da TSS no ano de 2019 são bastante significativas; ficando distribuídas na faixa acima de  $30.8^{\circ}\text{C}$ , são exemplos de clima antropogênico, derivado das ações da sociedade. O aparecimento de uma pequena borda de frescor na parte Leste do residencial reflete a influência positiva da vegetação.

Pode-se destacar duas áreas circulares na porção Norte do residencial, estas áreas correspondem a duas quadras de esporte que têm como material de construção o uso do cimento, material este com alto poder de radiância. Para a análise das médias gerais do comportamento da TSS nos três períodos de 2001, 2009, 2019, pode-se aferir que houve uma variação de 6,9%; essa taxa revela o grau de mudanças ocorridas no período de 18 anos no qual criou-se um clima antropogênico.

No piemonte da Serra dos Carajás encontra-se localizado o Bairro dos Minérios da cidade de Parauapebas. Ao longo das últimas décadas a cidade experimentou uma vertiginosa expansão da sua malha urbana, atrelada ao desenvolvimento das atividades de extração de minério de ferro e de toda a infraestrutura que esta atividade demandou. O advento de programas habitacionais exigiu a reestruturação da política de habitação para esta região.

O Ano de 2012 foi o ponta pé para a construção de 1.000 unidades sobre uma área total de aproximadamente  $3.706\text{ m}^2$ . Esta construção ocorreu em área rural convertida em área urbana. A Figura 6 retrata a temperatura de superfície do solo (TSS) encontrada no ano de 2001.



Fonte: Landsat 7 (2001). Organizados pelos autores (2020).

**Figura 6.** Mapa de distribuição espacial das temperaturas no ano de 2001, Bairro dos Minérios.

Sua localização está a 4 km dos principais equipamentos urbanos como Shopping e Câmara Municipal, ou seja, está integrado à malha urbana, garantindo a oportunidade de acesso aos bens e serviços, daí sua especificidade em relação aos demais projetos do PMCMV na região de mineração.

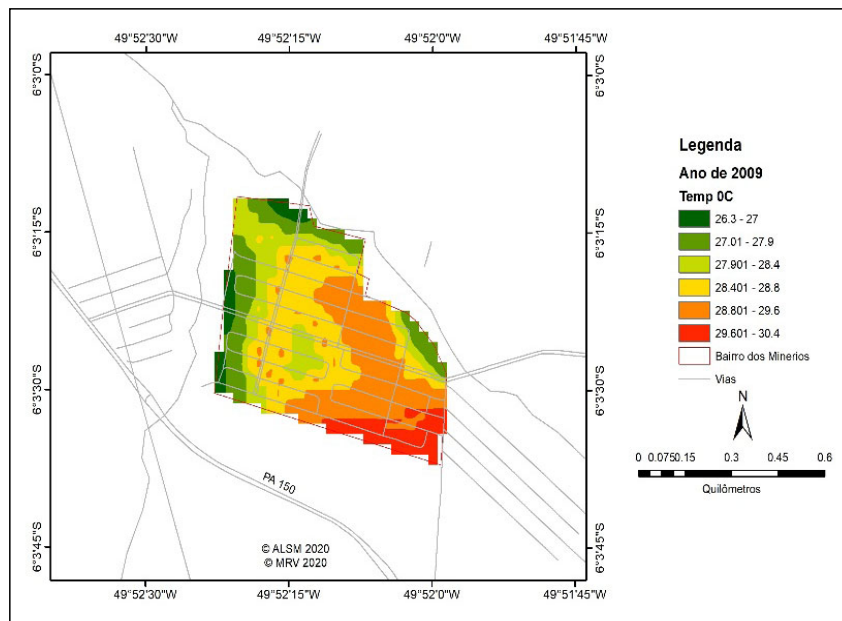
Quanto as TSS, a caracterização por estar em um ambiente urbano, somando-se ao fato que ela se encontra sobre uma área de planície fluvial, a Oeste tem-se o complexo de Serra dos Carajás (700m de altitude) e morros em altimetrias de mais ou menos 400m, adiciona-se a isso uma área de calmia meteorológica onde poucos ventos descendentes são gerados.

É possível ver que as temperaturas elevadas estão distribuídas na porção central, em uma diagonal NO-SE, as temperaturas já se apresentam elevadas, entre  $26.4^{\circ}\text{C}$  a  $28.4^{\circ}\text{C}$ ,

muito provavelmente revelando baixa cobertura vegetal e diminuta taxa de umidade, associada aos poucos ventos – apesar de estar nas confluências de dois pequenos córregos, a mata ciliar não foi capaz de trazer amenidade climática para a área. A máxima foi de 28.3°C e a mínima foi de 24.8°C com média de 27.6°C.

Para o ano de 2009, o Residencial Bairro dos Minérios apresenta a TSS mais bem distribuída e, apesar do aumento das taxas de temperatura, houve o equacionamento de áreas de maior frescor, mas a média ficou constante em relação ao ano anterior analisado (Figura 7). Tudo leva a crer que a forma como foram organizadas as construções dos imóveis, preservando remanescente de áreas degradadas em níveis de recuperação, possibilitou o equilíbrio da temperatura na área.

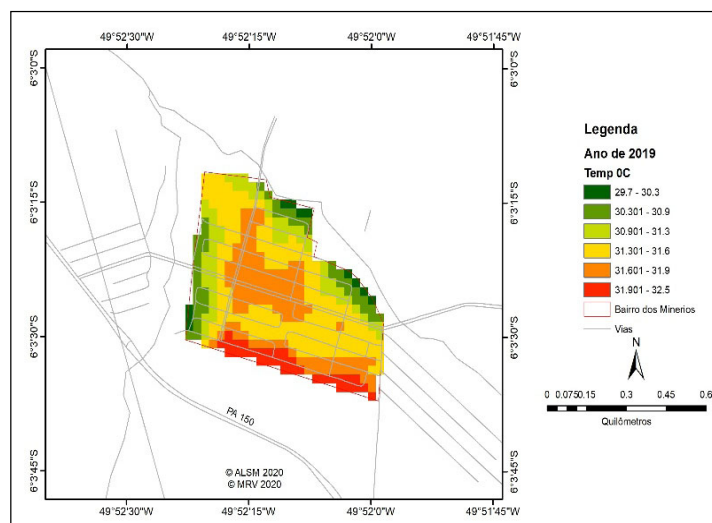
A máxima TSS no ano de 2009 ficou em 30.4°C e a mínima esteve em 26.2 com média de 28.5, gerando um aumento de 3.2% de temperatura, ou seja, mesmo com a distribuição mais equitativa da TSS na área, os valores de temperatura se elevaram por conta dos fatores da urbanização, como densidade das construções, materiais etc.



Fonte: Landsat 5 (2009). Organizado pelos autores (2020).

**Figura 7.** Mapa de distribuição espacial das temperaturas no ano de 2009, Residencial Bairro dos Minérios.

Ao passo que o empreendimento vai se consolidando, o clima antropogênico vai se delineando de maneira mais intensa na área, porém, se percebeu o aumento da TSS junto a esta área (Figura 8). Podemos aferir que a máxima esteve em 32.5°C e a mínima em 29.7°C com médias em torno de 31.4°C.



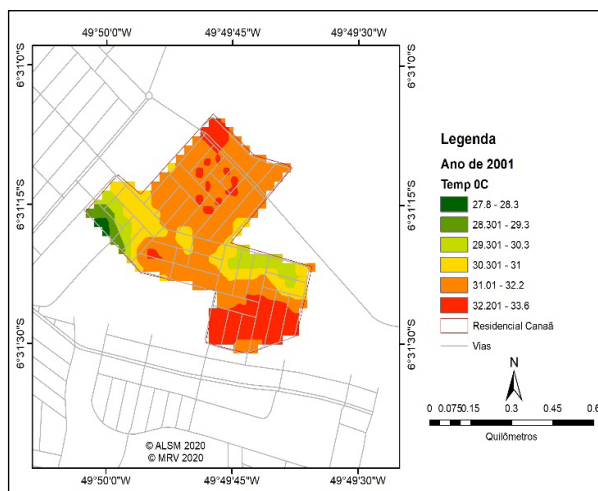
Fonte: Landsat 8 (2019). Organizado pelos autores (2020).

**Figura 8.** Mapa de distribuição espacial das temperaturas no ano de 2019, Bairro dos minérios.

Fazendo a análise das médias gerais do comportamento da TSS nos três períodos (2001, 2009 e 2019), houve uma variação de 10.7%. Esta taxa revela o grau de mudanças ocorridas no período de 18 anos, sendo a maior variação entre os empreendimentos estudados. Mesmo havendo cuidados mínimos com a questão da arborização, outros elementos não foram levados em consideração e precisam ser revistos dentro do plano diretor urbano.

O Residencial Canaã possui uma área de aproximadamente 3.155 m<sup>2</sup> com um total de 933 imóveis, construído às margens da área urbana encravada no complexo da Serra dos Carajás, assentado sobre um vale fluvial. Este residencial traz as marcas do rápido processo de ocupação e expansão urbana que a região vem vivenciando nas duas últimas décadas.

As taxas de TSS revelam este rápido crescimento de formação de um clima antropogênico na área, do qual é possível reafirmar que a retirada da cobertura vegetal, impermeabilização e os tipos de materiais utilizados na construção do residencial com base de cimento, modificaram as taxas de temperatura local (Figura 9).

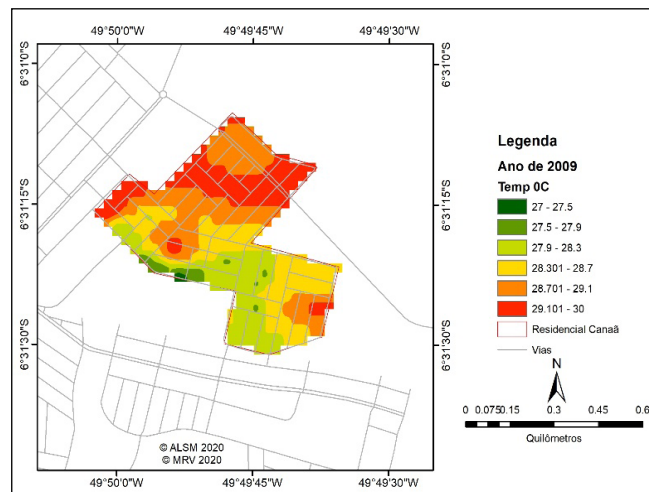


Fonte: Landsat-7 (2001). Organizado pelos autores (2020).

**Figura 9.** Mapa de distribuição espacial das temperaturas no ano de 2001, Residencial Canaã.

Assim, realizando uma análise espacial e temporal da distribuição das taxas de TSS para o ano de 2001, encontramos máximas temperaturas entre 33.6°C e mínima de 27.8°C, com média de 31.4°C. Isto nos revela a influência significativa da ausência dos ventos e umidade para a área.

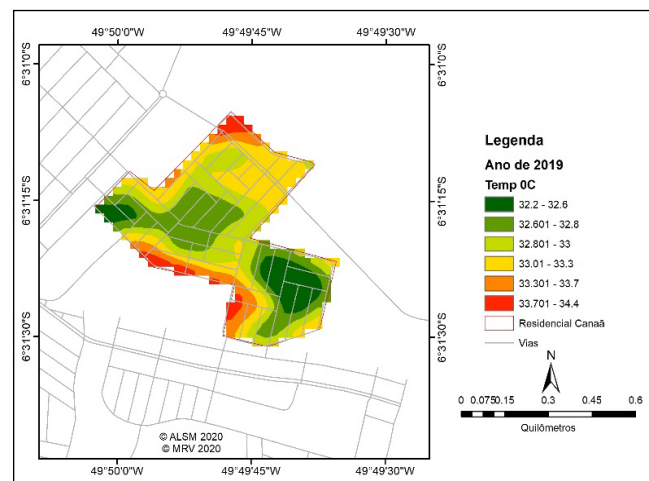
Para os anos de 2009 houve uma queda de 10,7% nas taxas de TSS (Figura 10), muito provavelmente associada à variabilidade de sistemas ondulatórios do clima regional, o qual influenciou de forma direta esta queda – foi um ano do fenômeno *la-niña* que ocasiona mudanças nos padrões de precipitações e temperatura.



Fonte: Landsat 5 (2009). Organizado pelos autores (2020).

**Figura 10.** Mapa de distribuição espacial das temperaturas no ano de 2009, Residencial Canaã.

O período de consolidação do empreendimento só reafirma que as mudanças no padrão e distribuição dos elementos do clima são influenciadas em escala de topo-clima pelas ações antropogênicas. Cessadas as influências globais/regionais do Clima, percebe-se que o adensamento das construções na área eleva significativamente as taxas de TSS para patamares de 10.7% em relação ao ano de 2001 (Figura 11).



Fonte: Landsat 8 (2009). Organizado pelos autores (2020).

**Figura 11.** Mapa de distribuição espacial das temperaturas no ano de 2019, Residencial Canaã.

## **A SÍNTESE DA PESQUISA NOS RESIDENCIAIS DO PMCMV EM ÁREA DE MINERAÇÃO**

As principais causas na mudança da variação termográfica estão associadas à retirada da cobertura vegetal, impermeabilização do solo, aumento de materiais de maior reflectância como telhas de amianto e concretos das casas. No caso da mudança da cobertura vegetal, o impacto está sobre a mudança no padrão de umidade e de ventilação, uma vez que a rugosidade florestal é alterada. Alterando a interação vegetação, umidade, velocidade do vento, modifica-se as propriedades ecofísicas da cobertura vegetal.

Para as mudanças provocadas nos dados hidrológicos, a perda de umidade resseca o solo e fisionomicamente acarreta a sensação de fadiga e de irritabilidade. Esta resposta fisiológica certamente se agrava em áreas construídas dos imóveis do PMCMV, que possuem aproximadamente 40 m<sup>2</sup>. As mudanças nos dados de temperatura, apontam aumento das médias na ordem entre 6,9% para Marabá, 5% para Canaã dos Carajás e 10,7% para Parauapebas.

A priori, não é possível aferir dentro destes pequenos espaços (PMCMV) uma variação significativa da temperatura por uso e ocupação do solo, a fim de identificar ilhas de calor/frescor, mas há um claro indicativo de mudanças da temperatura. Neste sentido, tais condições podem vir a se agravar no futuro, visto que não há uma preocupação paisagística nos projetos de construção dos residenciais.

A ausência de arborização urbana e de outras superfícies arborizadas, como parques, bosques, jardins, quintas produtivos, poderia contribuir para minimizar os efeitos da substituição da vegetação original e da impermeabilização nestas áreas. Neste caso, a exceção fica por conta do Residencial Canaã, cujas casas foram entregues aos moradores já com árvores plantadas na frente do imóvel (Figura 12).



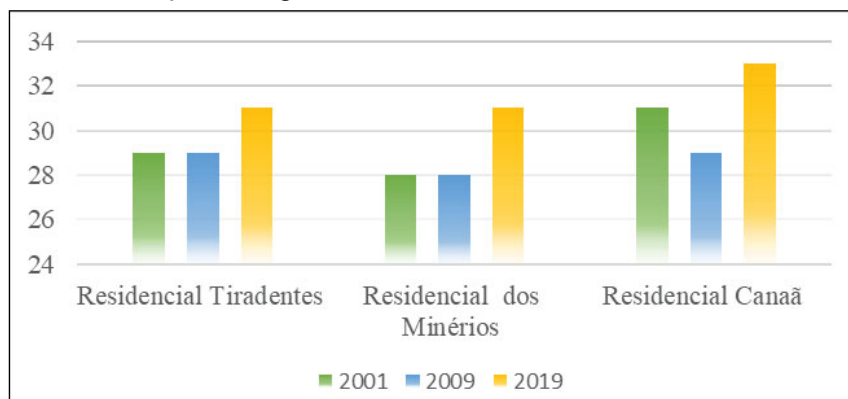
Fonte: Pesquisa de Campo (2019). Foto: Andressa Soares (2019).

**Figura 12.** Arborização urbana Residencial Canaã – Canaã dos Carajás (PA).

Mesmo quando se fala em características de micro e mesoescala e de variações topográficas (Parauapebas e Canaã dos Carajás), não apresentam influências físicas dos elementos climáticos da Serra dos Carajás, a não ser por momentâneas formações de nebulosidade e/ou chuvas orográficas. Para Marabá, os rios Tocantins e Itacaiúnas exercem

pouca influência hidrométrica, onde as temperaturas de superfícies têm se modificado nos últimos dezoito anos. Estes valores são reflexos da exponencial impermeabilização do solo, supressão da vegetação e do material empregado nos imóveis para a construção dos residenciais (Gráfico 1).

**Gráfico 1.** Variação Termográfica dos Residenciais nos anos de 2001, 2009 e 2019.



Fonte: Landsat 5,7,8. Organizado pelos autores (2020).

Estes condicionantes do clima urbano nas cidades médias e pequenas revelam-se como elementos essenciais para pensar o desenvolvimento destas cidades, atrelados ao planejamento ambiental que permita intervenções de caráter paisagístico e de um plano de arborização, já que nos projetos iniciais não se levam em consideração estas questões.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O aumento da temperatura de superfície em áreas onde há substituição da vegetação natural pelo ambiente construído parece ser uma conclusão esperada. Entretanto, apesar da obviedade, tais características deveriam ser evitadas, ou ao menos levadas em consideração no momento da aplicação de políticas públicas, como no caso das políticas de habitação.

A literatura produzida a respeito do Programa Minha Casa Minha Vida é ampla e traz em grande medida a conclusão de que o referido programa foi elaborado, inicialmente, como estratégia anticíclica, objetivando diminuir os efeitos da crise econômica internacional no Brasil em 2008. Apesar disso, o programa consegue atuar sobre um problema estrutural das cidades brasileiras, que é o déficit habitacional.

As cidades de Canaã dos Carajás, Marabá e Parauapebas apresentam importantes taxas de crescimento populacional, inclusive acima das médias nacionais. A população destes municípios cresceu 144,6%, 39,1% e 115,1%, respectivamente, entre 2000 e 2010, consequentemente levando a uma expansão das manchas urbanas e da necessidade de novas moradias. O PMCMV resolveria, parcialmente, tal problema. Entretanto, percebe-se que outras situações de degradação da qualidade de vida são criadas, com relação à inserção urbana, acessibilidade e mobilidade dos moradores nos novos conjuntos habitacionais, frequentemente alocados nas periferias distantes das centralidades urbanas. No decorrer do trabalho, verificou-se que nas três cidades estudadas, a localização periférica é uma constante nos residenciais e a morfologia urbana pretérita acaba por se tornar fator determinante. Neste aspecto, a situação do Residencial Tiradentes, em Marabá, é mais preocupante.



Ressaltam-se também as condicionantes ambientais das áreas em que se inseriram os residenciais. Como verificado, os residenciais estudados foram construídos em áreas já ambientalmente degradadas e, com o processo de impermeabilização do solo, tiveram suas condições agravadas com o aumento da temperatura de superfície, o que gera diretamente impactos na qualidade de vida da população, em virtude do (des)conforto térmico das residências, bem como das áreas de circulação comum dos residenciais.

Por fim, a exceção nas áreas estudadas diz respeito ao Residencial Canaã, em que foi possível verificar algum tipo de preocupação com a questão ambiental, já que este apresenta uma arborização desde a entrega das residências aos seus moradores. Nos residenciais Tiradentes e Minérios, tais políticas são inexistentes.

## REFERÊNCIAS

- ALCOFORADO, M. J. *et al.* Application of climatic guidelines to urban planning: the example of Lisbon (Portugal). **Landscape and Urban Planning**, v. 90, 2009.
- BARTOLI, E. Cidades na Amazônia, sistemas territoriais e a rede urbana. **Rev. Mercator**, Fortaleza, v. 17, e17027, 2018.
- BATISTELLA, M.; MORAN, E. F. Dimensões humanas do uso e cobertura das terras na Amazônia: uma contribuição do LBA. **Rev. Acta Amazonica**, v. 35, n. 2, 2005.
- BECKER, B. K. Porque a participação tardia da Amazônia na formação econômica do Brasil. In: ARAÚJO, T. P. de; VIANNA, S. T. W.; MACAMBIRA, J. (org.). **Cinquenta anos de formação econômica do Brasil: ensaios sobre a obra clássica de Celso Furtado**. Rio de Janeiro: Ipea, 2009. p. 201-228.
- BECKER, B. K. **A Urbe Amazônica**. Rio de Janeiro: Garamond, 2013.
- BIDERMAN, C. *et al.* **Morar longe: o programa Minha Casa Minha Vida e a expansão das Regiões Metropolitanas**. São Paulo: CEPESP; FGV; Instituto Escolhas, 2019.
- BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Habitação **Minha casa + sustentável**. Brasília: WRI Brasil, 2017. (Caderno 1: análise de custos referenciais: qualificação da inserção urbana).
- CAMARGO, M. G.; FURLAN, M. M. D. P. Resposta fisiológica do corpo às temperaturas elevadas: exercício, extremos de temperatura e doenças térmicas. **Rev. Saúde e Pesquisa**, v. 4, n. 2, 2011.
- CARDOSO, A. C. D.; CÂNDIDO, L. S.; MELO, A. C. C. Canaã dos Carajás: um laboratório sobre as circunstâncias da urbanização, na periferia Global e no alvorecer do Século XXI. **Rev. Bras. Estud. Urbanos Reg.** (on line), São Paulo, v. 20, n. 1, 2018.
- CHAVEZ, P. S. Image-Based atmospheric corrections - revisited and improved photogrammetric engineering and remote sensing, Falls Church, Va. **American Society of Photogrammetry**, n. 62, 1996.
- COELHO, M. C. N. *et al.* Impactos ambientais da Estrada de Ferro Carajás no Sudeste do Pará. IV Parte. In: TEXEIRA, J. B. G.; BEISIEGEL, V. R. (orgs.). **Carajás: geologia e ocupação humana**. Belém: Museu Paraense Emilio Goeldi, 2006.
- DUBREUIL, V. Clima e teledeteção: uma abordagem geográfica. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, n. 1, 2005.
- FIX, M. **Financeirização e transformações recentes no circuito imobiliário no Brasil**. 2011. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Econômico) – Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

FONSEKA, P. H. U. *et al.* Urbanization and Its Impacts on Land Surface Temperature in Colombo Metropolitan Area, Sri Lanka, from 1988 to 2016. **Journal Remote Sens**, v. 11, n. 957, 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE. **Cidades@**. Brasília: IBGE, [s.d.]. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/maraba/panorama>. Acesso em: 21 fev. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE. **Sinopse censo demográfico do ano de 2010**. Rio de Janeiro, IBGE, 2011.

LANDSBERG, H. E. **The urban climate**. Academic Press, Elsevier Science, 1981.

LIN, T.-P.; CHEN, Y.-C. C.; MATZARAKIS, A. Urban thermal stress climatic mapping: combination of long-term climate data and thermal stress risk evaluation. **Journal Sustainable Cities and Society**, n. 34, 2017.

MARABÁ. **Lei nº 17.846, de 29 de março de 2018**. Plano diretor participativo do município de Marabá. Marabá: SEPLAN, 2018.

MELAZZO, E. S. Estratégias fundiárias e dinâmicas imobiliárias do capital financeirizado no Brasil. **Rev. Mercator**, v. 12, n. 2, n. esp., p. 29-40, set. 2013.

MELLO-THÉRY, N. A.; THÉRY, H. Amadurecimento das experiências de desenvolvimento sustentável: transformações recentes na APA Igarapé Gelado/PA. **Rev. NERA**, Presidente Prudente, ano 21, n. 42, 2018.

MELO, A. C. C.; CARDOSO, A. C. D. Cidade para quem? o descompasso entre políticas ambientais e urbanas na periferia do capitalismo. **Cadernos de Arquitetura e Urbanismo**, v. 21, n. 29, 2014.

MENDONÇA, F. O clima urbano de cidades de porte médio e pequeno: aspectos teórico-metodológicos e estudos de caso. *In*: SANT'ANNA NETO, J. L.; ZAVATINI, J. A. (Org.). **Variabilidade e mudanças climáticas: implicações ambientais e socioeconômicas**. Maringá. EDUEM, 2000.

MENDONÇA, F. **Crime e criminalidade: ensaio analítico da correlação entre a temperatura do ar e a incidência da criminalidade urbana**. Curitiba: Editora da UFPR, 2001.

MOLNÁR, G. Analysis of land surface temperature and NDVI distribution for budapest using Landsat 7 ETM+ data. **Journal Acta Climatologica et Chorologica**, Universitatis Szegediensis, t. 49-50, 2016.

MONTE-MOR, R. L. M. Urbanização e modernização na Amazônia contemporânea. *In*: LIMONAD, E.; HAESBAERT, R.; MOREIRA, R. (Orgs.). **Brasil, século XXI: por uma nova regionalização? Agentes, processos e escalas**. São Paulo: Max Limonad, 2004. p. 112-122.

MORATO, R. G. *et al.* Análise da expansão urbana por meio de composições coloridas multitemporais. **Rev. Mercator**, Fortaleza, v. 10, n. 22, 2011.

NUNEZ, M.; OKE, T. R. Long-wave radiative flux divergence and nocturnal cooling of the urban atmosphere. **Boundary-Layer Meteorol**, v. 10, 1976.

OLIVEIRA, J. A. As cidades da natureza, a natureza das cidades e o controle do território. *In*: COLÓQUIO INTERNACIONAL DE GEOCRÍTICA, 13., 2014, BARCELONA. **Anais [...]**. Barcelona: Universitat de Barcelona, 2014. Tema: El control del espacio y los espacios de control.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. London: Routledge, 2002.

OKE, T. R. Clima e organização do espaço. **Boletim de Geografia**, v. 16, n. 1, 2011.

ROLNIK, R. **Guerra dos lugares: a colonização da terra e da moradia na era das finanças**. São Paulo: Boitempo, 2015.

- SANT'ANNA NETO, J. L. O clima urbano como construção social: da vulnerabilidade polissêmica das cidades enfermas ao sofisma utópico das cidades saudáveis. **Rev. Bras. de Climatologia**, ano 7, v. 8, 2011.
- SHIMBO, L. Z. O “segmento econômico” do mercado imobiliário e os programas públicos: faces da política habitacional contemporânea no Brasil. *In*: LEAL, S.; LACERDA, N. (org.). **Novos padrões de acumulação urbana na produção do habitat: olhares cruzados Brasil - França**. Recife: Ed. UFPE, 2010. p. 123-149.
- STEWART, D.; OKE, T. R. Local climate zones for urban temperature studies. **Journal of Applied Meteorology**, American Meteorological Society, 2012.
- STULL, R. **Practical meteorology: an algebra-based survey of atmospheric science**, version 1.02b. Vancouver: Dept. of Earth, Ocean & Atmospheric Sciences University of British Columbia, 2017.
- VELHO, O. G. **Frente de expansão e estrutura agrária: estudo do processo de penetração numa área da Transamazônia** [online]. Rio de Janeiro: Centro Edelstein de Pesquisas Sociais, 2009, 172p. ISBN: 978-85-9966-291-5. Disponível em: <http://books.scielo.org>. Acesso em: 15 fev. 2020.
- VOOGT, J. A.; GRIMMOND, S. B. Modeling surface sensible heat flux using surface radiative, temperatures in a simple urban area. **Journal of Applied Meteorology**, American Meteorological Society, 2000.
- VOOGT, J. A.; OKE, T. R. Thermal remote sensing of urban climate. **Remote Sensing of Environment**, v. 86, n. 3, 2003.
- WENG, Q. Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 64, n. 4, 2009.
- WENG, Q.; LU, D.-S.; SCHUBRING, J. Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies. **Remote Sensing of Environment**, New York, n. 89, p. 467-483, 2004.