

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS - ICH
FACULDADE DE GEOGRAFIA - FG**

DEYVID DA SILVA SOUSA

**GEOPROCESSAMENTO NA IDENTIFICAÇÃO DE ILHA DE CALOR DE
SUPERFÍCIE SOB A INFLUÊNCIA DOS FATORES ANTROPOGÊNICOS NO
PERÍMETRO URBANO DO MUNICÍPIO DE MARABÁ - PA**

**Marabá-PA
2016**

DEYVID DA SILVA SOUSA

**GEOPROCESSAMENTO NA IDENTIFICAÇÃO DE ILHA DE CALOR DE
SUPERFÍCIE SOB A INFLUÊNCIA DOS FATORES ANTROPOGÊNICOS NO
PERÍMETRO URBANO DO MUNICÍPIO DE MARABÁ - PA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Geografia da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, como requisito para a obtenção dos títulos de licenciado e bacharel em Geografia.

Orientador: Prof. Me. Abraão Levi dos Santos Mascarenhas

**Marabá-PA
2016**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Josineide da Silva Tavares da UNIFESSPA. Marabá, PA

Sousa, Deyvid da Silva

Geoprocessamento na identificação de ilha de calor de superfície sob a influência dos fatores antropogênicos no perímetro urbano do município de Marabá - PA / Deyvid da Silva Sousa ; orientador, Abraão Levi dos Santos Mascarenhas. — 2016.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Campus Universitário de Marabá, Instituto de Ciências Humanas, Faculdade de Geografia, Curso de Licenciatura e Bacharelado em Geografia, Marabá, 2016.

1. Ilha de calor urbana - Marabá (PA). 2. Climatologia urbana - Marabá (PA). 3. Planejamento urbano - Fatores climáticos. 4. Sensoriamento remoto. I. Mascarenhas, Abraão Levi dos Santos, orient. II. Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará. III. Título.

CDD: 22. ed.: 551.66098115

DEYVID DA SILVA SOUSA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Geografia da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, como requisito para a obtenção dos títulos de licenciado e bacharel em Geografia.

Banca Examinadora:

Prof. Me. Abraão Levi dos Santos Mascarenhas
Orientador

Prof^a. Dr^a. Maria Rita Vidal
(Examinadora I – ICH-FG/UNIFESSPA)

Prof. Dr. Rodrigo de Almeida Muniz
(Examinador II – ICH-FEC/UNIFESSPA)

Aprovado em 28 de Setembro de 2016.
Conceito: BOM

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus por estar presente em todos os momentos da minha vida.

Agradeço ao meu pai Raimundo Nonato, a minha mãe Maria Lucinete e a minha avó Maria de Lourdes. Saibam que essa é a realização de um sonho meu e sobretudo de vocês, pessoas humildes, mas que em nenhum momento deixaram de propiciar os ensinamentos básicos para a minha vida, essa conquista é nossa.

A minha querida e amada esposa, lamilly Ferreira que esteve presente durante toda a elaboração deste trabalho. A você agradeço plenamente por todo o carinho e apoio para esta construção textual, e por me suportar durante as etapas de estresse na elaboração do mesmo.

Um agradecimento aos meus amigos, em especial a minha equipe conhecida por "EUPS", composta por Magno Ricardo, José Neto, Rômulo Maximo e Maycon Santos, amigades estas que se estenderam para além da Universidade. Saibam que vocês são amigos para todos os momentos.

Aos meus professores do curso de Geografia, que através de debates e leituras técnicas e teóricas foram substanciais para minha formação enquanto profissional e mais do que isso, contribuíram na minha formação como cidadão.

Um agradecimento especial a professora Dr. Maria Rita Vidal e ao professor Dr. Rodrigo de Almeida Muniz, que se dispuseram a compor a banca para avaliação deste trabalho. Suas contribuições são de grande valia para o aperfeiçoamento do mesmo.

Ao meu orientador, professor Me. Abraão Levi dos Santos Mascarenhas, por ter aceitado o convite para me orientar, e por ter contribuído de forma significativa nas correções e sugestões deste TCC, meu muito obrigado.

A turma de Geografia 2011, da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, a cada um meus sinceros agradecimentos por ter ajudado de forma significativa a minha formação pessoal e profissional.

A Secretaria Municipal de Planejamento de Marabá, por ter cedido as informações necessárias para a elaboração deste trabalho.

Agradeço a todos que contribuíram de forma direta e indireta para que esta conquista se concretizasse. A cada um o meu muito obrigado!

RESUMO

Compreender a dinâmica do clima é de fundamental importância para uma aplicação mais eficiente do planejamento urbanístico. O perímetro urbano de Marabá (PA), apresenta uma configuração onde pode ser evidenciado um aumento da expansão de sua malha urbana. Este trabalho tem por objetivo Identificar a ocorrência de ilha de calor de superfície da cidade de Marabá – PA, relacionando-a com o uso e cobertura da terra por meio das técnicas de sensoriamento remoto e modelagem em Sistema de Informações Geográficas, buscando entender como a dinâmica da expansão da malha urbana influenciou de forma direta o aumento da temperatura de superfície durante os anos de 2000, 2005, 2010 e 2015. Para isto, foi realizado uma revisão bibliográfica de autores que tratam sobre o clima urbano e sobre o fenômeno ilha de calor. Foram trabalhados produtos de sensoriamento remoto, imagens do satélite Landsat - 5 sensor TM, Landsat - 7 sensor TM+, Landsat – 8 sensor OLI e para proposta de zoneamento imagens do satélite RapidEye nível A3. As mudanças do uso e cobertura da terra foram identificadas através da análise multi-temporal dos anos de 2000, 2005, 2010 e 2015 como referência para verificar tal dinâmica, definindo-se quatro classes à saber: a) hidrografia, b) vegetação primária, c) vegetação secundária e d) áreas antrópicas. As principais técnicas de geoprocessamento tiveram como suporte o ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas), em especial a utilização do software de geoprocessamento QGIS e seu *plugin Semi-Automatic Classification* (SCP), foram substanciais para a classificação supervisionada de uso e cobertura da terra através do algoritmo máxima verossimilhança e elaboração das cartas de temperatura de superfície, que foram validadas a partir de consulta dos dados registrados pela estação meteorológica do INMET. Pode-se concluir que o perímetro urbano de Marabá (PA), passa por um gradativo aumento da classe áreas antrópicas, e devido a isto a temperatura da superfície também aumentou gradativamente constatando em determinados locais do perímetro urbano a formação de ilha de calor de superfície.

PALAVRAS-CHAVE: Uso e cobertura da terra, Temperatura da superfície, Sensoriamento remoto, Geoprocessamento, Ilha de calor.

ABSTRACT

Understanding the dynamics of the climate is of fundamental importance for a more efficient enforcement of the urban planning. The urban perimeter of Marabá (PA), presents a setting where it can be demonstrated an increase in the expansion of its urban mesh. This study aims to identify the occurrence of island of heat from surface of the city of Marabá - PA, linking it with the use and land cover by means of remote sensing techniques and modeling in Geographic Information System, seeking to understand how the dynamic expansion of the urban mesh influenced directly the increase in surface temperature during the years 2000, 2005, 2010 and 2015. To that end, we performed a literature review of authors that deal on the urban climate and on the phenomenon of heat. We have worked free of remote sensing, images from Landsat satellite - 5 TM, Landsat 7 TM sensor+, Landsat - 8 OLI sensor and to proposed zoning images of tv RapidEye Level A3 The changes in the use and land cover were identified through the analysis multi-temporal patterns of years 2000, 2005, 2010 and 2015 as a reference to check such dynamics, defining four classes to learn: a) hydrographic, b) primary vegetation, c) secondary vegetation and (d) human areas. The main geoprocessing techniques had to support the environment GIS (Geographic Information System), in particular the use of the software of GEOPROCESSING qgis and its plugin Semi-Automatic Classification (SCP), Were substantial for the classification supervised use and land cover through the algorithm maximum likelihood and preparation of letters of surface temperature, which were validated from consulting the data recorded by the meteorological station of the INMET. It can be concluded that the urban perimeter of Marabá (PA), goes through a progressive increase in the class anthropic areas, and due to this the surface temperature also increased gradually, noting in certain locations of the urban perimeter the formation of island of heat from the surface.

KEYWORDS: Use and land cover. Temperature of the surface. Remote sensing. Geoprocessing. Island of heat.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Mapa de localização do perímetro urbano do município de Marabá – PA.	29
Figura 2- Fluxograma do processo de tratamento dos dados raster no Software QGIS.	36
Figura 3- Gráfico do uso e cobertura da terra, ano 2000.....	37
Figura 4- Gráfico do uso e cobertura da terra, ano 2005.....	38
Figura 5- Gráfico do uso e cobertura da terra, ano 2010.....	39
Figura 6- Gráfico do uso e cobertura da terra, ano 2015.....	40
Figura 7- Temperatura de superfície.	40
Figura 8- Mapa do uso e cobertura da terra e temperatura de superfície, ano 2000.	41
Figura 9- Mapa do uso e cobertura da terra e temperatura de superfície, ano 2005.	42
Figura 10- Mapa do uso e cobertura da terra e temperatura de superfície, ano 2010.	43
Figura 11- Mapa do uso e cobertura da terra e temperatura de superfície, ano 2015.	44
Figura 12- Quadro de escala do valor Kappa.	45
Figura 13- Proposta de zoneamento.	49

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVOS	11
2.1.	Objetivo Geral	11
2.2.	Objetivos Específicos	11
3	CLIMA URBANO E GEOTECNOLOGIAS	11
3.1.	História de Estudos do Clima Urbano	11
3.2.	Ilha de Calor e suas definições conceituais	18
3.3.	Geotecnologias aplicadas ao Clima Urbano	20
3.4.	Metodologias Aplicadas aos Estudos do Clima Urbano	25
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	27
4.1.	Classificação supervisionada do uso e cobertura da terra	30
4.2.	Obtenção da temperatura da superfície	33
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
5.1	Zoneamento térmico do perímetro urbano de Marabá	47
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	50
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52

1 INTRODUÇÃO

O crescimento das cidades sem uma infraestrutura adequada ocasionou o surgimento de vários problemas ambientais como poluição do ar, da água e geração, específica de um clima urbano, sendo o último influenciado diretamente pelos materiais usados nas construções, circulação de veículos e as atividades antrópicas. São estas alterações na dinâmica da natureza que irão modificar diretamente o clima das cidades. O ambiente urbano das cidades com o seu tempo meteorológico (Clima) próprio fruto de diversos fatores dentre eles naturais e antropogênico, nesse contexto têm-se à ocorrência do fenômeno de ilha de calor ocasionado pela absorção diferenciada de energia na superfície (AMORIM, 2013a).

A ilha de calor pode ser definida como anomalia térmica resultado das diferenças de energia entre as áreas urbanas e rural. Encontradas em diferentes dimensões a Ilha de Calor (IC) varia de acordo com a morfologia da superfície, bem como suas características climáticas (OKE, 1978, apud AMORIM, 2013b).

Em áreas urbanas este fenômeno é mais frequente devido a presença de materiais de construção que comumente absorvem e retém energia solar em maior quantidade comparada a materiais naturais utilizados no meio rural (GARTLAND, 2010).

Para Schutzer (2012), ilha de calor e crescimento urbano não podem ser desassociados. O uso e ocupação do solo é um ponto crucial para diagnosticar a qualidade e conforto ambiental da cidade. Assim o planejamento urbano das cidades deve levar em consideração as características climáticas e a inserção de técnicas que se adequem a realidade climática local (AMORIM, 2013a; MENDONÇA, 2011).

Os atuais estudos voltados para o fenômeno ilha de calor têm contribuído com a inovação de técnicas afim de compreender a sua formação. Técnicas como sensoriamento remoto, modelagem em Sistema de Informações Geográficas (SIG) e métodos estatísticos tem sido de grande utilidade para observar tais fenômenos. (SANT'ANNA NETO, 2014).

2 OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Identificar a ocorrência de ilha de calor de superfície da cidade de Marabá – PA, relacionando-a com o uso e cobertura da terra por meio das técnicas de sensoriamento remoto e modelagem em Sistema de Informações Geográficas, buscando entender como a dinâmica da expansão da malha urbana influenciou de forma direta o aumento da temperatura de superfície durante os anos de 2000, 2005, 2010 e 2015.

2.2. Objetivos Específicos

- Disseminar o uso e aplicação dos Sistemas de Informações Geográficas como ferramenta auxiliadora na produção de dados primários.
- Propor um zoneamento ambiental para as áreas que apresentaram as mais elevadas temperaturas, contribuindo para melhorar o conforto térmico dessas áreas.

3 CLIMA URBANO E GEOTECNOLOGIAS

3.1. História de Estudos do Clima Urbano

Os estudos relacionados aos fenômenos atmosféricos são realizados pela meteorologia e a climatologia, sendo que a meteorologia primazia pelos registros e medições dos fenômenos climáticos, enquanto que a climatologia está incluída ao campo da geografia física, o qual estuda os fenômenos atmosféricos e a sua relação com a superfície terrestre bem como a sua espacialização (SORRE, 1934; FERREIRA, 2012). Os estudos de clima urbano na Europa são datados a partir do século XIX, devido ao interesse de compreender as alterações que esta vinha sofrendo devido as atividades industriais (SILVA; FERREIRA; SANTOS, 2015).

O marco para o desenvolvimento da climatologia brasileira parte inicialmente das propostas de Max Sorre, que coloca em destaque a revisão da base conceitual da forma em que é tratado os estudos climáticos até então. Estes eram voltados para a meteorologia, ciência que estuda o clima de forma mais estática. Max Sorre, sobre a análise do clima, propõe mudanças nas definições de tempo e clima pois estes eram voltados para abordagem mais estatísticas. Ainda que tecesse críticas sobre a forma

estatística de entender o clima, Sorre não o descartava para estudos climáticos (TARIFA, 1975).

As definições clássicas dão importância exagerada à noção de valores médios. Propusemos substituí-lo por uma fórmula mais diretamente utilizável pelos biólogos: o clima, num determinado local, é a série de estados da atmosfera, em sua sucessão habitual. E o tempo que faz, nada mais é do que cada um desses estados considerado isoladamente. Essa definição conserva o caráter sintético da noção de clima, enfatiza seu aspecto local e, ao mesmo tempo, evidencia o caráter dinâmico do clima, introduzindo as idéias de variação e de diferenças incluídas nas de sucessão (SORRE, 1943, p. 32 apud SANT'ANNA NETO, 2008).

É a partir das propostas de Max Sorre, que é atribuído aos estudos climáticos um caráter mais dinâmico, que vai ser aperfeiçoado na França, por Pierre Pédélaborde na década de 1950, que por meio de técnicas voltaria seus estudos para a totalidade dos tipos de tempos (MENDONÇA, 1995 apud MENDONÇA, 2007). Pédélaborde *apud* Zavattini (2000), define Climatologia como o estudo das características da atmosfera em interação com a superfície terrestre, visando, principalmente, analisar como essas características são distribuídas no espaço. O autor destaca ainda, que apesar da Climatologia ter sido derivada da Meteorologia, esta também está relacionada a outros ramos tanto da Geografia Física, como da Geografia Humana, pois a interação de características físicas do ambiente com as alterações realizadas no espaço pelo homem também geram influências no clima.

A climatologia assim como a Meteorologia possui duas linhas de estudos, sendo elas, a Climatologia Separativa que calcada na meteorologia tradicional, realiza a análise dos elementos climáticos de modo separado com o intuito de obter-se médias para elaboração de material gráfico e cartográfico. A outra linha de pensamento é a Climatologia Sintética que se fundamenta na Meteorologia Dinâmica, pautando-se na análise do clima por meio de sua totalidade afim de entender o processo climático (BARROS; ZAVATTINI, 2009). É válido ressaltar que as duas linhas de estudos climáticos são complementares, na medida que os estudos climáticos são essenciais para o fortalecimento dos conhecimentos climatológicos (MONTEIRO, 1969 apud BARROS, ZAVATINI, 2009).

Já no Brasil, Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro com base também nas obras de Max Sorre, concentra seus estudos para os mecanismos do clima, criando o

conceito de análise rítmica em climatologia, a partir de suas demasiadas obras é que vai surgir no Brasil uma “escola de climatologia urbana brasileira” (MENDONÇA, 1995 apud MENDONÇA, 2007).

A contribuição de Monteiro, com a formulação da teoria Sistema Clima Urbano, é sem dúvida um marco para os estudos do clima urbano, ele entende que para compreender o clima urbano das cidades é necessário analisar todos os elementos que o constituem, e é a partir daí que se terá condições para planejar de forma eficaz as problemáticas que assolam a cidade de cunho socioambiental por meio de políticas públicas (SOUZA; NERY, 2002).

O Sistema Clima Urbano (SCU), apresentado como proposta por Monteiro, calcado na Teoria Geral dos Sistemas que analisa de forma integrada os elementos climáticos, processos ambientais e ação antrópica, foi de suma importância para firmar as ideias que se formara para aquele momento, rompendo com a forma estática de tratar o clima, e são essas contribuições que vão fomentar os estudos climáticos até os dias de hoje (SILVA; FERREIRA; SANTOS, 2015).

Monteiro (1990b), mais tarde vem destacar que seus princípios metodológicos para os estudos climáticos talvez não tenham sido compreendidos de forma correlata, o que destaca também as condições para os estudos que ora ou outra não são favoráveis, os quais são evidenciadas pela falta de aparato tecnológico e a limitação financeira. É diante destes pressupostos que vem enfatizar que mesmo frente das situações mais adversas o emprego de metodologias eficazes que possam expressar as condições climáticas da cidade, é válido tendo em vista a escassez de produção de conhecimento nesta temática.

Observa-se que o percurso traçado inicialmente pela climatologia esteve estritamente ligado a meteorologia, sendo a atmosfera analisada por bastante tempo na perspectiva estática, matematizada e não ocorrendo diálogo com demais ciências. Para o tratamento estático do clima é necessário uma série de observações tendo foco para análises quantitativas. É a partir da aplicação da teoria de sistemas¹ que o clima da cidade passa a ser analisado de um ponto de vista mais holístico, com um

¹ [...] consiste em ter o conhecimento do todo. A visão sistêmica é formada a partir do conhecimento do conceito e das características dos sistemas. Assim é a capacidade de identificar as ligações de fatos particulares do sistema social como um todo. (ROSSATO, 2010)

tratamento dinâmico buscando análises qualitativas, o que vai originar os estudos de clima urbano (MENDONÇA, 2011; MONTEIRO 1969, apud ZAVATTINI, BOIN, 2013).

Para Assis (1997), a dificuldade em determinar um limite da análise sistêmica para os estudos climáticos, vem ocasionando a não colaboração em fornecer informações de devida relevância para o planejamento urbano. No entanto, tais estudos, voltados para o ambiente urbano têm proporcionado soluções que ajudam a minimizar impactos ambientais nas cidades, tendo em vista as abruptas transformações da paisagem natural à paisagem artificial ocasionadas a partir das atividades antrópicas (MENDONÇA, 2011).

A urbanização e a industrialização modificam as características naturais do meio ambiente, tais como relevo, vegetação, fauna, uso da terra e o clima. As dimensões destas alterações estão diretamente ligadas a intensidade de industrialização, as áreas de construção civil e a densidade populacional (DREW, 2002 apud POLIZEL, 2009).

O debate sobre urbanização está intrinsicamente atrelado as questões ambientais, e para as aplicações benéficas sobre a temática para pensar a cidade e a sua qualidade de vida é necessário a aplicação de um planejamento exponencial, que delimite o uso do solo de forma sustentável. Assim como Penna (2002) destaca.

[...] as cidades parecem não representar o uso mais adequado que se pode fazer do solo: destruição da vegetação; canalização, assoreamento e poluição dos rios e córregos; compactação e asfalto das vias – enchentes; poluição, contaminação – do ar, da água, do solo; pobreza, violência, marginalidade. Enfim é a generalização, tanto da devastação ambiental, quanto social.

As cidades temporalmente irão passar por processos de alteração da paisagem e estes, que dependendo de sua amplitude irão modificar os atributos climáticos, o que incumbirá a formação de um clima urbano (MONTEIRO 1990a).

Referente a climatologia geográfica brasileira instituída e reconhecida nacionalmente pelo paradigma do ritmo climático proposto por Monteiro, cabe elencar também as considerações propostas por Sant'Anna Neto (2008), que considera válido o vasto conhecimento produzido até então, porém atribui a necessidade de revisão conceitual sobre a relação clima e sociedade, o qual o autor intitula de geografia do clima, pois para o mesmo além de caracterizar e compreender o complexo climático,

é necessário inserir nessa dinâmica os agentes sociais e as suas particularidades no processo de produção do espaço urbano, tendo em vista que tal junção implementará os estudos climáticos e compreensão dos fenômenos geográficos (SANT'ANNA NETO, 2008).

No atual momento vivido pela sociedade brasileira sobre as problemáticas ambientais que vem ocorrendo em suas diversas escalas, percebemos o quão evidente os debates climáticos se fazem presente para tentar explicar tais acontecimentos. Problemas relacionados a crise hidrológica, enchentes, poluição atmosférica e aquecimento demasiado dos grandes centros urbanos assolam a natureza e vem a corroborar sobre a qualidade de vida das populações, sobre este, o homem por meio de suas atividades também influencia negativamente as alterações no clima (AYOADE, 1996). As cidades neste contexto têm o seu clima próprio, resultado das diversas atividades em seu interior urbano (MONTEIRO, 1976, apud AMORIM, 2013b).

Penna (2002), problematiza as questões urbano ambientais, considerando que se propagam a partir da produção contraditória do espaço urbano, o qual é constituído derivado de sua fragmentação, que incorre na atuação de diferentes atores sociais acarretando nas segregações dos cidadãos.

O avanço dos estudos sobre clima no Brasil se dá pela preocupação com a queda de qualidade ambiental das grandes cidades brasileiras a partir da década de 1960 (MENDONÇA, 2011, p. 181). Sendo em 1970 registrado os primeiros estudos de caso com ênfase em climatologia urbana, a maioria delas localizada na porção centro sul, tal ênfase se justifica dada as proporções de São Paulo com um elevado número de instituições de ensino que estariam voltadas para esta temática, Rio de Janeiro com as justificativas supracitadas de São Paulo, e Curitiba por ter uma imagem de “capital ecológica” e “modelo de planejamento” (MENDONÇA, 2001 apud MENDONÇA, 2011).

A cidade de Curitiba intitulada como capital ecológica, ressalta a atenção que deve ser tomada, devido a esta, conforme Mendonça (2002), não representar de fato tal intitulação. Pois é evidenciado a ineficiência de elementos básicos que se encontra em condições insatisfatórias, como é o caso da poluição dos rios que percorrem as áreas urbanizadas da região, a qualidade do ar que foi detectado a elevada concentração de partículas sólidas, utilizando como parâmetro a resolução (5/89) do

CONAMA², a espacialização das áreas verdes que se concentram nas porções de classe média e alta e os resíduos sólidos que a cidade produz em elevados índices.

É notável que ainda é um desafio a inserção dos estudos do clima voltados ao planejamento urbano, conforme Mendonça (2011), os estudos do clima urbano já se apresentam com metodologias bem interessantes, no entanto falta ser atribuída a devida importância por aqueles que são responsáveis pelo planejamento urbano, que em muitos casos são profissionais de outras áreas do conhecimento. Aborda também a necessidade que as técnicas de planejamento se adequem a realidade climática local.

Concorda com esta ideia Amorim (2013b), a qual diz que o planejamento urbano não considera as condições climáticas locais, e o desenho urbano são traços advindos das técnicas adotadas por países europeus. É tido como importante aspecto a ser trabalhado pelos profissionais a interdisciplinaridade, que segundo Monteiro (1990a), destaca:

Seja apoiando-nos nos subsídios uns dos outros, seja – o que seria desejável – trabalhando em conjunto ou, pelo menos relacionando-se em torno de um projeto comum a temática “clima urbano” poríamos em prática o que poderíamos ser o campo legítimo de uma “interdisciplinaridade”.

Ainda conforme Assis (1997), devido à falta de interdisciplinaridade, para os estudos climáticos, observou-se que mesmo aqueles planos urbanos que consideraram estes aspectos como é citado pelo autor o exemplo de Brasília, foi ineficaz sucedendo em problemas climáticos. Segundo Oke (2006) apud Lucena (2013), devido ao interesse de diversas áreas do conhecimento sobre o tema clima urbano, é necessário criar-se uma forma de interação sobre o assunto, sobretudo aos que estudam a temática voltada para o planejamento e gestão do espaço geográfico.

As pesquisas voltadas para o clima urbano além de caracterizar as condições climáticas, devem também perceber no espaço urbano as diversas situações econômico-sociais, e relacioná-las com o intuito de possíveis contribuições ao planejamento das cidades (MONTEIRO 1990a). É válido atentar que a elaboração de material cartográfico nas perspectivas horizontais e verticais, são de suma importância

² Resolução CONAMA n° 5, de 15 de 1989. Dispõe sobre o Programa Nacional de Controle do Ar.

para inferir ao diagnóstico da realidade urbana, no entanto demais dados e informações que vão desde uma indispensável carta de uso do solo, a elementos que caracterizam a dinâmica urbana das cidades como o exemplo do tráfego de veículos, vêm a engradecer a pesquisa (MONTEIRO 1990a).

Estudos como o aplicado por Amorim (2013a), para a cidade de Presidente Prudente – SP, reforça a necessidade e desafio que o planejamento urbano das cidades deve ter sobre perspectiva climática, observando as suas especificidades geográficas. Dentre os aspectos identificados através de sua pesquisa, destaca as variações espaciais relacionadas ao tipo de uso e ocupação do solo para um planejamento com mais eficácia, pois a adoção de espaços verdes, tamanhos de lotes e grau de impermeabilidade do solo são propostas consideráveis e desafiantes para a expansão das cidades.

Contudo percebe-se na evolução dos estudos climáticos no Brasil a inserção de novas técnicas, uma delas é a utilização do sensoriamento remoto. Mendonça (2011), chama a atenção para os estudos que empregaram imagens de satélites, dando destaque para Lombardo (1985), Mendonça (1995) e Collishon (1998), este último, além da utilização de imagens de satélites tem como inovação o uso da ferramenta geoprocessamento auxiliando as análises climáticas no ambiente urbano, tal pesquisa por meio dos resultados alcançados possibilitou um grau de confiabilidade na aplicação desta técnica para os estudos sobre o clima urbano (MENDONÇA, 2011).

Dentre o vasto campo de técnicas para análise do clima urbano, Monteiro (1990a), destaca a importante contribuição que a aplicação das imagens de satélites na faixa de infravermelho termal, viriam a complementar as análises do campo térmico urbano. As técnicas de sensoriamento remoto auxiliam substancialmente na identificação de áreas urbanas mais quentes e frias (ASSIS, 1997). Segundo Lucena (2013), uma das primeiras pesquisas de clima urbano que conteve a aplicação da técnica de sensoriamento remoto, foi a de RAO (1972), que mapeou a temperatura da superfície das cidades da costa do Atlântico.

3.2. Ilha de Calor e suas definições conceituais

As atividades exercidas pelo homem têm impactado significativamente as condições climáticas, que permeiam desde a escala local até a escala global, é devido as alterações ambientais que se tem percebido as mudanças dos atributos climáticos, gerando diversos fenômenos e um deles é a “ilha de calor”, que eleva a temperatura da área central da cidade devido ao alto grau de urbanização (TORRES; MACHADO, 2012).

Conforme Gartland (2010), a ilha de calor se trata da diferenciação do ar e da temperatura da superfície, que são estes mais quentes do que as áreas rurais circundantes, sendo que em áreas urbanas este fenômeno é frequente devido a presença de materiais de construção que comumente absorvem e retêm energia solar em maior quantidade comparada a materiais naturais utilizados no meio rural.

O conceito inicial de ilha de calor está atribuído as atividades humanas sobre a superfície, no entanto ainda não é verificado na literatura qual o fator determinante para alegar a existência deste fenômeno no ambiente urbano (FIALHO, 2012).

Dentre as diversas alterações ocorridas no limite urbano, para Amorim (2013a, p. 174):

As ilhas de calor tem sido outro fenômeno detectado nos ambientes urbanos, resultando na formação de bolsões de ar quente, decorrentes da capacidade diferenciada dos materiais encontradas na superfície de armazenar e refletir a energia solar.

As ilhas de calor consistem na principal manifestação do clima urbano e um dos principais problemas ambientais do século XXI em ambientes urbanos (RIZWAN; DENNIS; LIU, 2008 apud SILVA; FERREIRA; SANTOS, 2015). “A ilha de calor é um dos fenômenos mais dramáticos da saúde ambiental da grande cidade, pois a ela se associam poluição do ar e inversão térmica, num efeito cuja causa é puramente humana, mais precisamente a ocupação urbana” (SCHUTZER, 2012, p. 86).

Os avanços tecnológicos são significativos para os estudos sobre ilha de calor, a exemplo das imagens termais por meio de satélites, contudo é importante ressaltar que não é sólido a afirmativa para o estudo de um único fenômeno, os quais diferem os tipos de ilha de calor, a partir dos seus métodos de observação, como a

Ilha de Calor Atmosférica, identificada a partir da oscilação de temperatura diária, localização latitudinal, orientação das vertentes, os quais sofrem alterações a partir das atividades humanas, e os materiais empregados nas construções, sendo esta observada por meio de transecto fixo ou móvel; a **Ilha de Calor Vertical**, que está em duas escalas, a camada de cobertura urbana (UCL – *UrbanCanopyLayer*) e a camada limite urbana (UBL – *UrbanBoundaryLayer*), sendo o primeiro que vai do solo até próximo ao nível das coberturas das edificações, e o segundo que vai do nível dos telhados até a faixa de influência da cidade; a **Ilha de Calor de Superfície**, que por meio do advento do sensoriamento remoto e as imagens de satélites com suas resoluções espaciais vem satisfazendo, a identificação de Ilha de Calor de Superfície, por meio da correlação ao tipo de uso e ocupação do solo (FIALHO, 2012, grifo do autor).

Sobre a Ilha de Calor Urbana, (SILVA; FERREIRA; SANTOS, 2015, p. 161), aborda que:

Atualmente também tem sido estudada uma outra categoria de ilha de calor, a ilha de calor urbana da superfície a qual difere da ilha de calor urbana por captar a temperatura de superfície através das técnicas de sensoriamento remoto, ao contrário da ilha de calor urbana que é mensurada com a utilização de termômetros de estações convencionais ou automáticas.

E ainda (VOOGT e OKE, 2003 apud 2003 LUCENA, 2013):

Uma categoria de ilha de calor urbana adotada atualmente é a ilha de calor urbana da superfície (do inglês *Surface UrbanHeatIsland* – SUHI). Essa categoria difere da UHI por captar a temperatura de superfície por meio do sensoriamento remoto, enquanto aquela se restringe em registrar a temperatura do ar por meio do termômetro de uma estação convencional ou automática ou de instrumentos de campanha de campo. A SUHI é uma medida indireta da temperatura e exige a correção das propriedades da superfície radiativa que influenciam a emissão e reflexão da radiação de comprimentos de ondas espectrais detectadas pelo sensor.

Mesmo que a ilha de calor seja evidenciada sobretudo nas cidades desordenadas, merece destaque o exemplo de Barcelona, que mesmo planejada ocorreu de no ambiente urbano se elevar a intensidade das ilhas de calor devido a construção de edifícios, ou seja para esse planejamento não se ateu as

características físicas do ambiente urbano (MARTIN-VIDE, MORENO, ESTEBAN, 2000 apud SOUZA, NERY, 2012).

VIANA (2006) apud SOUZA; NERY (2012), demonstra que as alterações climáticas urbanas até então debatidas sobretudo para os grandes centros urbanos e cidades de porte médio, pode-se perceber que tais fenômenos vêm a ocorrer também nas pequenas cidades, citado o estudo de caso de Teodoro Sampaio – SP, que devido as atividades de uso e ocupação do solo no ambiente urbano, têm se percebido alterações nas dinâmicas climáticas da cidade.

Faz-se necessário além de uma quantificação e análise geográfica do fenômeno ilha de calor a relação destes com os demais componentes das cidades, tendo em vista que o fenômeno agrava um desconforto térmico, doenças respiratórias e circulatórias, afim de propiciar para o ambiente urbano uma melhoria de qualidade ambiental. Já que as preocupações sobre o tema se voltam apenas para construções isoladas em ambiente interno sendo sanadas com climatização desconsiderando-se o espaço externo (AMORIM, 2013a).

Crescimento econômico-urbano e ilha de calor caminham juntos, como faces de uma mesma moeda, como é a natureza contraditória do modo de produção dominante. A ilha de calor é, assim, um dos maiores diagnósticos da saúde de uma cidade, de sua forma de uso e ocupação do território. Por analogia, poder-se-ia dizer que o estudo da ilha de calor se caracteriza pela medição do “estado febril” da cidade, em que a temperatura e a frequência de ocorrência desse estado são os referenciais da saúde urbana. (SCHUTZER, 2012, p. 87).

Embora seja reconhecido os significativos avanços das tecnologias voltadas para os estudos sobre ilha de calor, deve-se destacar a necessidade para um debate teórico afim de aprofundamento sobre o tema, o qual segundo o autor *na literatura brasileira ainda não está claro qual tipo de ilha de calor se analisa* (FIALHO, 2012, grifo nosso).

3.3. Geotecnologias aplicadas ao Clima Urbano

O uso das novas tecnologias ligadas às geociências tem trazido grandes avanços no campo das pesquisas, ações de planejamento, gestão, manejo, dentre outros aspectos ligados a estrutura do espaço geográfico (FITZ, 2008a). As

ferramentas de Geoprocessamento, como o Sistema de Informação Geográfica (SIG) vêm ganhando uma importância especial no Estudo do Clima Urbano (POLIZEL, 2009).

Para melhor entender sobre a importância dessa técnica inicialmente será feita a análise semântica do termo. De acordo com Moura (2014, grifo do autor):

O termo **Geografia** que, no latim é *geographia*, vem do grego γεωγραφία, que é o somatório de *gh* – Terra e *grafia* – grafia, ou seja, a grafia, a representação da Terra. Vem também dos gregos o pensamento geográfico sistematizado, objetivando a localização dos lugares, ainda muito ligada à matemática e à geometria. Já o sufixo ‘processamento’, de **geoprocessamento**, vem de **processo**, que é do latim *processus*, que significa ‘andar avante’, ‘progresso’. Os vocábulos latinos *processus* e *progressus* têm o mesmo significado, que é ‘andar avante’, ‘avançar’.

Assim, pode-se acreditar que o termo **geoprocessamento**, surgido do sentido de processamento de dados georreferenciados, significa implantar um **processo** que traga um **progresso**, um andar avante, na **grafia** ou na representação da **Terra**. Não somente representar, mas é associar a esse ato um novo olhar sobre o espaço, um ganho de conhecimento, que é a informação.

Desta forma, pode-se dizer que o Geoprocessamento é uma área do conhecimento interdisciplinar, que emprega conceitos matemáticos e computacionais para a análise de informações geográficas e que vem de certo modo trazendo grandes avanços para a Cartografia e influenciando em estudos ambientais, socioeconômicos, e no desenvolvimento urbano (CÂMARA, 2005).

Para possibilitar a abertura de novos caminhos nos campos das atividades ambientais, zoneamento, planejamento e gestão dos recursos ambientais territoriais, do meio urbano ou do rural, e assim estabelecer metodologias para melhor efetuar o uso mais racional e eficiente dos espaços e regiões, é imprescindível o incentivo à aplicação de instrumentos de Geoprocessamento, pois este é capaz de oferecer informações completas, precisas e atualizadas (MELLO FILHO; SILVA, 2011).

No âmbito computacional do geoprocessamento surge o Sistema de Informação Geográfica (SIG). Criado em 1960, pelo Departamento Canadense de Florestas e Desenvolvimento Regional, o SIG pode ser considerado um sistema composto de hardwares, softwares, dados e metodologias que permitem a coleta,

armazenamento, processamento e análise de dados georreferenciados, bem como a transformação destes em informações (LANG; BLASCHKE, 2009).

Os Sistemas de Informações Geo-referenciadas ou Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) são usualmente aceitos como sendo uma tecnologia que possui o ferramental necessário para realizar análises com dados espaciais e, portanto, oferece, ao ser implementada, alternativas para o entendimento da ocupação e utilização do meio físico, compondo o chamado universo da Geotecnologia, ao lado do Processamento Digital de Imagens (PDI) e da Geoestatística (SILVA, 2003).

É notório que por vezes, o Sistema de Informação Geográfica – SIG é confundido com o geoprocessamento, mas deve se ressaltar que o geoprocessamento é um conceito mais abrangente relacionado a vários tipos de processamento de dados georreferenciados, e já um SIG volta-se para o processamento de dados gráficos e não gráficos, com a finalidade de análises espaciais e modelagens da superfície (BURROUGH, 1987 apud ROSA, 2005).

Todavia o geoprocessamento condiz a *uma tecnologia, ou mesmo conjunto de tecnologias, que possibilita a manipulação, a análise, a simulação de modelagens e a visualização de dados georreferenciados* (FITZ, 2008a, grifo nosso). O autor ainda ressalta que devido à ligação que há entre as geotecnologias e a ciência geográfica, o entendimento sobre os SIGs e as técnicas de geoprocessamento é facilitado.

Um SIG tem os seguintes componentes, *Hardware* – que é a plataforma computacional; *Software* – são os programas e módulos; *Dados* – é o registro de informações coletada de diversas fontes e formatos; *Peopleware* – profissional responsável por a operação (FITZ, 2008a). *Os SIGs, hoje apresentam ferramentas de tratamento de dados que permitem a aplicação de modelos matemáticos na análise espacial* (MOURA, 2014, grifo nosso).

Rosa (2005), sobre o SIG:

GIS é um conjunto de ferramentas computacionais composto de equipamentos e programas que, por meio de técnicas, integra dados, pessoas e instituições, de forma a tornar possível a coleta, o armazenamento, o processamento, a análise e a oferta

de informação georreferenciada produzida por meio de aplicações disponíveis, que visam maior facilidade, segurança e agilidade nas atividades humanas referentes ao monitoramento, planejamento e tomada de decisão relativas ao espaço geográfico.

Para trabalhar com um SIG, é essencial uma base de dados, que atenda uma gama de especificações técnicas cartográficas, tais dados podem ser originados de diversas fontes, uma delas é o sensoriamento remoto.

O sensoriamento remoto é tido como uma importante técnica na obtenção de informações sobre o território, considerando que no Brasil por ser um país extenso e há-se a necessidade de conhecimento dos recursos nele presente, é partindo destas premissas que o país se inseriu nos programas de sensoriamento remoto por satélite (ROSA, 2005).

Fitz (2008b) define sensoriamento remoto, como “técnica que utiliza sensores para a captação e registro à distância, sem o contato direto, da energia refletida ou absorvida pela superfície terrestre”.

Conforme Florenzano (2011, p. 114 – 115, grifo nosso), *as técnicas de sensoriamento remoto contribuem efetivamente com a análise e elaboração de um diagnóstico que subsidie o planejamento do uso do solo das áreas urbanas*. O sensoriamento associado ao SIG vem muito a potencializar na identificação e espacialização de fenômenos urbanos tais como as áreas de expansão e localização dos espaços verdes da cidade (FLORENZANO, 2011).

Os sensores responsáveis pela transformação da energia de forma a serem registradas para a interpretação do usuário são definidos como ativos e passivos, sendo o primeiro o que possui uma fonte de energia própria e o segundo não possui, dependendo assim de fontes externas a exemplo da energia solar, para que possa captar a imagem. É o sol o principal emissor de Radiação Eletromagnética (REM), que possui diversas frequências e comprimentos, os mesmos estão inseridos a uma região definida como Espectro Eletromagnético, os quais são caracterizados e definidos por meio de bandas ou faixas espectrais. (FITZ, 2008a; NOVO, 2010).

Para este trabalho, merecem destaque a faixa do infravermelho e a faixa do visível, pois permitem a identificação de índices da radiação solar, possíveis de realização de mapas de temperatura capazes de caracterizar as ilhas de calor de superfície. Assim as faixas espectrais são resumidas por Fitz (2008a):

Faixa do Infravermelho (IV ou IR – InfraRed), largamente utilizada em trabalhos de sensoriamento remoto pelo fato de estar associada ao calor. Esse tipo de radiação é emitido por corpos aquecidos. A faixa do infravermelho está situada entre os comprimentos de onda de 0,7 μm a 1,0 mm, apresentando subdivisões: *infravermelho próximo* (entre 0,7 μm e 5 μm), *infravermelho médio* (entre 5 μm e 30 μm) e *infravermelho distante* (entre 30 μm e 1,0 mm). A porção situada entre cerca 8 μm a 14 μm é chamada de *infravermelho termal*, pois nela se estabelecem as emissões máximas de calor de um corpo.

Faixa do visível, que possui como principal característica a propriedade de abarcar os comprimentos de onda cuja radiação pode ser percebida pelo olho humano. Essa condição a transforma na principal porção do espectro eletromagnético para uso em sensoriamento remoto. A banda do visível possui comprimentos de onda situados entre cerca de 0,38 μm (violeta) e 0,74 μm (vermelho), apresentando simplificadamente, as seguintes subdivisões:

- Violeta: 0,380 μm a 0,440 μm
- Azul: 0,440 μm a 0,485 μm
- Ciano: 0,485 μm a 0,500 μm
- Verde: 0,500 μm a 0,565 μm
- Amarelo: 0,565 μm a 0,590 μm
- Laranja: 0,590 μm a 0,625 μm
- Vermelho: 0,625 μm a 0,740 μm

Para que seja possível analisar por meio de um SIG, as informações recolhidas através do sensoriamento remoto, é necessário que as mesmas estejam armazenadas em um “banco de dados”. Neste, as informações geográficas ficam organizadas tanto em atributos descritivos, como em geometrias espaciais para representação do meio. Em um banco de dados do cadastro urbano de um município, por exemplo, é possível encontrar tanto informações acerca do proprietário, valor do IPTU – Imposto Predial Territorial Urbano, forma de ocupação (informações alfanuméricas), como as coordenadas de perímetro do lote e o polígono que representa o mesmo (informações cartográficas) (CÂMARA, 2005).

Os dados textuais e numéricos podem ser eventualmente capturados utilizando do teclado do computador ou via *scanner*, produzindo um arquivo raster. O dado numérico corresponde ao atributo, categoria ou variável não espacial de determinado fato concernente ao meio físico (SILVA, 2003).

O dado vetorial é a representação gráfica do mundo real através de sistema de coordenadas, dessa forma, a unidade fundamental do dado vetorial é o par de coordenada x,y. O dado raster ou matricial refere-se a representação gráfica do

mundo real através de pixel (*Picture element*) ou cédulas, com forma poligonal regular, geralmente quadradas, que são definidas pelas suas posições em relação as colunas e linhas de uma malha. Em termos mais gerais, podemos dizer que o dado raster representa o que ocorre em todos os lugares. O dado vetorial representa onde determinado fenômeno ocorre, ou seja, expressa a localização de todos os objetos (SILVA, 2003).

As variações geográficas do mundo real são infinitamente complexas. Quanto mais próximo está o observador mais detalhes podem ser vistos. É evidente que seria necessário um extraordinário e infinito banco de dados para conter precisamente os dados descritivos do mundo real. Dessa forma, de alguma maneira os dados têm que ser reduzidos em um número finito para serem manipulados e essa redução se dá através de generalizações e abstrações (SILVA, 2003).

A aplicação das geotecnologias, voltadas para estudos climáticos é tido como recente, os quais advêm, sobretudo das evoluções tecnológicas desde o início de 1970, onde vê-se o surgimento do processamento de imagens de satélite, já viria a subsidiar estudos generalizados de identificação e configuração do espaço urbano, na década de 1980 até 1990, os avanços são significativos, ora as imagens obtidas por meio de satélite contribuíam substancialmente para estudos devido a um melhoramento de resolução espacial, para a atualidade é de extrema relevância os aportes as quais foram dadas as pesquisas urbanas e avanços tecnológicos que suplementaram ainda mais a identificação e caracterização do espaço urbano (LOMBARDO, 2011).

3.4. Metodologias Aplicadas aos Estudos do Clima Urbano

Uma breve revisão bibliográfica sobre as metodologias aplicadas para estudos de clima urbano é possível identificar diversos estudos e em diferentes escalas. Estudos como os apresentados a seguir.

O estudo de Bias, Baptista e Lombardo (2003), demonstra a eficiência da combinação de dados de satélites, colaborando para a aplicação do planejamento urbano, tendo em vista que para esse trabalho foi realizado o procedimento de identificação da temperatura da superfície, com a utilização das imagens do LANDSAT 5, com a banda termal do mesmo e posteriormente foi possível identificar

as áreas com a utilização da imagem de alta resolução espacial IKONOS, é válido destacar a aplicação do software IDRISI, que possui um módulo para conversão dos níveis de cinza da imagem para temperatura em graus centígrados.

O trabalho de Lombardo (2011), utilizando as imagens do satélite LANDSAT 7, consistiu inicialmente na captura de radiação dos corpos terrestres, para a identificação da temperatura da superfície, utilizando o software de geoprocessamento Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas SPRING e para processamento de dados o LEGAL (Linguagem Espacial para Processamento Algébrico). Posteriormente foi realizada a caracterização do uso e ocupação do solo, por meio do algoritmo MAXVER (Máxima Verossimilhança). Onde com o cruzamento destes dois produtos foi possível identificar a variação de temperatura para as áreas vegetadas, e urbanizadas, onde pode ocasionar uma baixa na qualidade de vida da população.

O estudo de Honorato e Andrade (2012), o qual tem por materiais a utilização de imagens de satélite LANDSAT 5, e aplicação da técnica de sensoriamento é de grande valia, tendo em vista a sua aplicação para identificar fenômenos climáticos neste caso ilhas de calor e frescor na área urbana da cidade de Aquidauana – MS, sendo esta cidade de pequeno porte. O roteiro metodológico para este trabalho consistiu na utilização do software SPRING 5.3 e o LEGAL, para geração de cartas de temperatura da área estudada, no entanto foram aplicadas as metodologias para geração de NDVI, que consiste na identificação de índice de vegetação por meio das bandas do satélite correspondente ao infravermelho próximo e do visível. Também foi gerado o NDWI o qual calcula o teor de umidade da vegetação a partir do infravermelho próximo e do infravermelho médio. A sobreposição e análise das informações foi possível constatar o processo de urbanização da cidade, e o processo de uso e ocupação do solo que aflige diretamente os espaços verdes da cidade.

Dentre as metodologias, cabe destaque a de Coelho (2009), que fomenta sobre a utilização de dados gratuitos, no caso do mesmo é utilizado informações advindas do Landsat-8 e Aster que contém informações sobre a altitude da área em estudo, e demais informações de Instituições como IBGE, e verificação a partir de dados municipais. Sobre o procedimento técnico é detalhado o tratamento da imagem Landsat-8, para extração da radiância, em seguida transformação em temperatura valor Kelvin e posteriormente a geração do raster da temperatura da superfície em graus Celsius (°C). Já para a imagem do satélite Aster é realizada a elaboração de

um Modelo Digital de Elevação. Outra etapa deste trabalho consistiu na composição de imagem para a classificação supervisionada com controles de campo, da área em estudo. Onde com a junção e análise dos produtos gerados foi possível verificar a eficiência das técnicas empregadas, afim de conhecimento e aplicação para área urbana e identificação de problemas advindos da expansão urbana. É válido ressaltar que o software utilizado para etapa de processamento de dados do referido estudo é o ArcGIS 10.1, software de geoprocessamento de cunho comercial.

Há também estudos que aplicam metodologias que busca analisar fenômenos climáticos em diversas escalas como o aplicado por Coltri *et al.* (2009), que através das técnicas de sensoriamento remoto buscou analisar as ilhas de calor no município de Piracicaba – SP, e em um segundo momento por meio de modelagem climática, foi possível observar significativas alterações que o fluxo de calor e a temperatura do ar exercem sobre a dinâmica regional.

Este trabalho fará uso do Qgis 2.12.3-Lyon e seus módulos em específico o *plugin Semi-Automatic Classification* (SCP), desenvolvido por Luca Congedo (2015) apud Pamboukian (2015), que permite a criação de áreas de treinamento, e posteriormente o SCP calcula automaticamente gerando a classificação supervisionada, além desta função o *plugin* conta também com ferramentas para download de imagens de satélite, foram estas ferramentas computacionais que deram base para o processamento de todas as informações cartográficas disponibilizadas no presente trabalho

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O município de Marabá – PA, Região Sudeste Paraense, situa-se entre as coordenadas geográficas: latitude 5°21' Sul° e longitude 49°09' Oeste de Greenwich, a uma altitude de 95 m. A cidade está localizada a cerca de 475 km (em linha reta) da Capital do Estado, Belém do Pará. Koppen (1928), em uma escala climática regional define o clima da região de Marabá como tropical quente e úmido (Awi), onde as precipitações anuais ficam na média de 1800 mm, apresentando um período chuvoso bastante regular entre dezembro e abril e período de estiagem entre julho e outubro, com temperatura média de 26 °C. Os dados apresentados pelo INMET referente às médias mensais de temperatura e precipitação do período de 1961 a 1990 indicaram

deficiência hídrica de 386 mm anuais, concentrados no período de junho a setembro, sendo o mês de agosto o mais seco, com deficiência de 115 mm.

Os limites do município são definidos: ao norte com os municípios de Rondon do Pará, Itupiranga, Novo Repartimento e Nova Ipixuna; ao sul com os municípios de São Geraldo do Araguaia, Curionópolis, Parauapebas e Eldorado do Carajás; a leste com os municípios de São Domingos do Araguaia, São João do Araguaia e Bom Jesus do Tocantins; e a oeste com o município de São Félix do Xingu (IBGE, 2016).

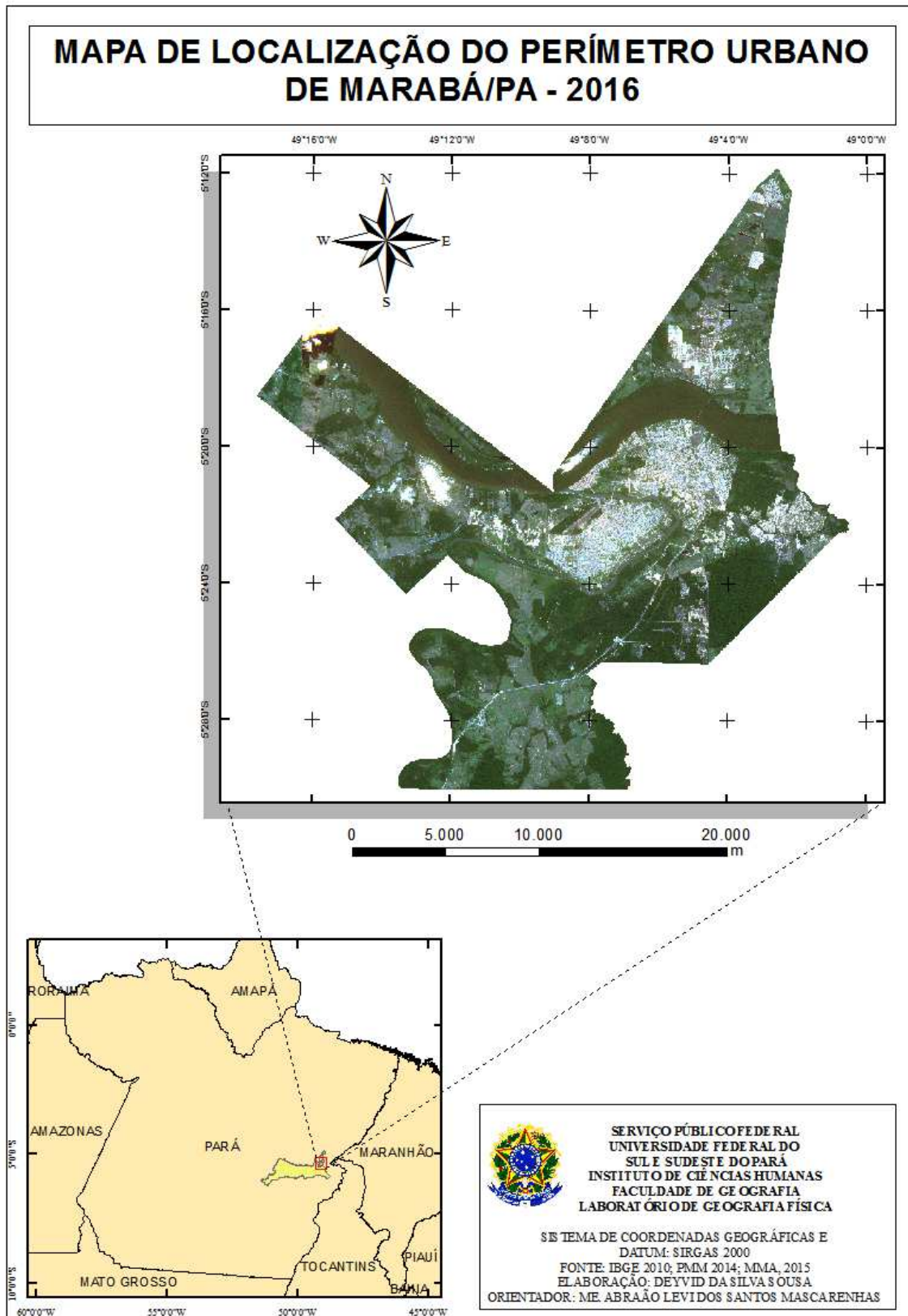
A vegetação nativa da região é constituída predominantemente de Floresta Densa Submontana em relevo aplainado a sub-região da superfície arrasada da Serra dos Carajás, ao norte do município e da sub-região da superfície dissecada do Araguaia a sudeste. Além dessa tipologia típica das terras firmes, encontram-se, também as florestas densas dos terraços em trechos que margeiam o rio Tocantins, florestas ciliares e matas de galeria, acompanhando os cursos d'água de menor porte. É notada, também, a intensa presença da floresta secundária e pastagens nas áreas de terra firme, onde ocorreram desmatamentos e campos artificiais destinados à atividade pecuária (IDESP, 1990 apud BARROS; BARP, 2002).

O principal acidente hidrográfico é a bacia do rio Itacaiúnas, afluente pela margem esquerda do rio Tocantins, em cuja foz encontra-se a sede municipal. Cortando o seu território com direção geral oeste/leste, apresenta como principais tributários pela margem direita os rios: Madeira, Parauapebas, com seus afluentes, rio Sapucaia, Caracol e Castanheira, da Onça, Vermelho com seu afluente rio Sereno, que limita ao sul com o município de Curionópolis, e o rio Sororó, cujo afluente o Sororozinho, faz limite, também, ao sul com o município de Curionópolis. Pela margem esquerda, destacam-se os rios Aquiri, Tapirapé com seus tributários, rios Salobro, Salobrinho e Bernardino, Preto, igarapé Cinzeiro e Grota do Café. Importante ainda é a presença do rio Tocantins, em um pequeno trecho do seu médio curso, com seus afluentes os rios Taurazinho, limite natural leste com o município de São João do Araguaia, o Flecheira, que limita ainda a leste, com o município de Bom Jesus do Tocantins (IDESP, 1990 apud BARROS; BARP, 2002).

A região de Marabá é ocupada predominantemente por áreas de produção agropecuária. A criação de gado de corte e a produção de culturas anuais ocupam um lugar de destaque dentro do cenário produtivo regional (OLIVEIRA et al., 1998).

O estudo será realizado na área que compreende o perímetro urbano do município de Marabá – PA (Figura 1).

Figura 1 - Mapa de localização do perímetro urbano do município de Marabá – PA.



Fonte: MMA, 2015, IBGE, 2010, PMM, 2014

Organização: Elaborado pelo autor.

Com o intuito de identificar áreas propícias para a formação de ilha de calor de superfície, através das técnicas em SIG, e sensoriamento remoto, este trabalho foi dividido em duas etapas, sendo elas: 1) Classificação supervisionada do uso e cobertura da terra, e 2) Obtenção da temperatura da superfície.

Para tratamento e confecção de gráficos dos dados gerados nas duas etapas foi utilizado o Microsoft Excel (2013).

As imagens de Satélites, família Landsat 5, 7 e 8, foram adquiridas de forma gratuitas no site do Serviço de Levantamento Geológico Americano (USGS/NASA) e as imagens RapidEye A3, foram adquiridas pelo convênio Ministério do Meio Ambiente (MMA) e Laboratório de Geografia Física e Cartografia da Unifesspa/UFPA.

A constelação RapidEye é composta por 5 satélites, as suas imagens possuem uma resolução espacial de 5 m. propiciando o mapeamento em diferentes escalas, validando a sua extrema eficiência técnica como produto geoespacial. (SCCON, 2016).

A medida que a cidade de Marabá passa por transformações em sua malha urbana, causada basicamente pelo aparecimento dos conjuntos residenciais evidencia-se que a supressão da cobertura vegetal acompanha tais mudanças. Essas transformações começam a ocorrer com maior intensidade nos anos de 2005 à 2010 experimentando um arrefecimento nos últimos cinco anos (SOUZA, 2015). Com a intenção de confirmar nossas primeiras impressões utilizamos imagens de satélite do ano de 2000, onde não se tem notícias de implementação de grandes conjuntos residências, sendo que a partir de 2005 esse fenômeno tende a aumentar e nos últimos anos decrescer.

4.1. Classificação supervisionada do uso e cobertura da terra

Para realizar a elaboração da carta de uso e cobertura da terra do perímetro urbano de Marabá – PA, dos anos de 2000, 2005, 2010 e 2015 foi utilizado o arquivo shapefile do Perímetro Urbano do Município de Marabá – PA, ano 2014, cedido pela Secretaria Municipal de Planejamento de Marabá (SEPLAN) e imagens dos satélites Landsat 5, 7 e 8 obtidas através do site da USGS/NASA (2015).

Com posse dos arquivos supracitados, os dados foram tratados pelo software de geoprocessamento QGIS Desktop 2.12.3-Lyon, sendo inicialmente todos projetados para o sistema de coordenadas SIRGAS2000.

Em seguida, realizou-se a aquisição do *plugin Semi-Automatic Classification* (SCP), desenvolvido para o software QGIS, que possibilita a classificação semi-automática ou supervisionada de imagens, capturadas por diversos sensores/satélites (ARAÚJO, 2015).

Foram definidas as macroclasses para serem coletadas amostras nas imagens com o objetivo de realizar uma classificação supervisionada para as imagens orbitais. Para cada macroclasse foram coletadas 10 amostras significativas que correspondessem a sua assinatura espectral, sendo as macroclasses classificadas a partir das características:

- 1- Hidrografia: águas superficiais;
- 2- Vegetação Primária: floresta densa;
- 3- Vegetação Secundária: áreas de agricultura, pastagem e vegetação menos densa;³
- 4- Áreas Antrópicas: solo exposto.

Em seguida foi definido no *plugin SCP* o algoritmo de classificação MAXVER⁴ (Máxima Verossimilhança), gerando ao final desse processo um arquivo raster e um vetorial com a classificação supervisionada da área do perímetro urbano. O passo seguinte constituiu-se na verificação de acurácia da classificação supervisionada, neste processo o *plugin SCP* gera 50 amostras aleatórias para que o observador (*peopleware*), possa classifica-las em suas devidas macroclasses. Após a classificação foi gerado a matriz de confusão, realização do cálculo do percentual de acurácia das amostras, com o objetivo de avaliar a veracidade da classificação. Também é calculado pelo *plugin* o índice *Kappa*, o qual consiste em quantificar a concordância entre as escolhas de amostras realizada pelo observador e a escolha feita de forma aleatória.

³ A definição desta macroclasse se deu com o intuito de distinguir as áreas agrícolas e de pastagens das áreas urbanas, devido a semelhança em suas assinaturas espectrais.

⁴ Algoritmo de classificação supervisionada bastante empregado, onde o observador classifica as probabilidades de um determinado pixel compor as classes estabelecidas na fase de treinamento correspondente as suas assinaturas espectrais. (MOREIRA, 2011).

O *plugin* gera o resultado do Coeficiente de *Kappa*, no entanto o mesmo também pode ser calculado utilizando as seguintes etapas, de acordo com a tabela gerada após o processo da acurácia:

- a) Cálculo da soma das observações concordantes (soma dos valores na diagonal).
- b) Com os valores das observações concordantes – OC e das observações totais – OT, foi calculado a relação de concordância desses dois fatores - **K1**, utilizando a fórmula 01:

Fórmula 1 - Relação de Concordância.

$$K1 = OC/OT$$

- c) Em seguida, para calcular a probabilidade do observador (evento A) e da amostra coletada aleatória (evento), classificar igualmente um mesmo pixel foi feito o produto das probabilidades individuais de A e B.

Exemplo:

- Selecionando um pixel ao acaso, dentre o total de amostras recolhidas.
A probabilidade do evento A classificá-lo como hidrografia foi dada pela relação entre o total de amostras encontradas no evento A e número total de amostras.
A probabilidade do evento B classificá-lo como hidrografia foi dada pela relação entre o total de amostras encontradas no evento B e número total de amostras.
A probabilidade de ambos classificarem simultaneamente como hidrografia é o produto das duas relações anteriores = P(A) x P(B).

Foi calculado o produto das probabilidades individuais para cada Macroclasse.

- d) A soma das probabilidades individuais gerou o valor de **K2**.
- e) O Coeficiente de *Kappa* foi dado pela seguinte expressão:

Fórmula 2 - Cálculo da probabilidade do observador.

$$K = \frac{K1 - K2}{1 - K2}$$

Quanto maior for o resultado do Coeficiente de *Kappa*, melhor terá sido feita a classificação.

4.2. Obtenção da temperatura da superfície

A organização dos dados raster iniciaram com o recorte da área de interesse (perímetro urbano de Marabá – PA), das bandas termais dos satélites Landsat 5 – sensor TM (banda 6), Landsat 7 sensor ETM - (banda 6) e Landsat – 8 sensor OLI/TIRS (banda 10). Posteriormente foi realizado o tratamento do infravermelho termal utilizado os parâmetros fixos de conversão de níveis de cinza da imagem (NC) para radiância, e posteriormente para temperatura Kelvin. Para as imagens TM/Landsat-5 e TM/Landsat-7, o cálculo foi fundamentado nas equações e valores presentes nos quadros 1 e 2 propostos por Chander et al. (2009) apud Coelho (2013), e para a imagem TM/Landsat-8 foram utilizadas as fórmulas e valores dos quadros 3 e 4, propostos pelo USGS (2016), inseridas na calculadora raster do software QGIS.

Fórmula 3 - Fórmula para a conversão de valores ND para Radiância.

$$L\lambda = \left(\frac{Lmax\lambda - Lmin\lambda}{QCALMAX - QCALMIN} \right) * (QCAL - QCALMIN) + Lmin\lambda$$

Quadro 1 - Elementos da fórmula para conversão para radiância.

$L\lambda$	Radiância espectral em sensor de abertura em Watts
$QCAL$	Valor quantizado calibrado pelo pixel em DN.
$Lmin\lambda$	Radiância espectral, que é dimensionado para QCALMIN em Watts*
$Lmax\lambda$	Radiância espectral, que é dimensionado para QCALMAX**
$QCALMIN$	O mínimo valor quantizado calibrado pixel (correspondente a $Lmin\lambda$), em DN = 1
$QCALMAX$	Máximo valor quantizado calibrado pixel (correspondente a $LMax\lambda$) no DN = 255

*Para a imagem TM/Landsat-5, valor = 1.238 e para imagem TM/Landsat-7, valor = 3.200.

** Para a imagem TM/Landsat-5, valor = 15.303 e para imagem TM/Landsat-7, valor = 12.650.

Fonte: Chander et al. (2009) apud Coelho (2013).

Conforme exposto, após a transformação dos valores em radiância se aplicou a Fórmula 04, com a finalidade de transformar os valores obtidos na primeira equação para temperatura de Kelvin:

Fórmula 4 - Fórmula para a conversão de valores de Radiância para temperaturas

$$T = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L\lambda} + 1\right)}$$

Onde:

T = Temperatura efetiva no satélite em Kelvin;

$K2$ = Constante de Calibração;

$K1$ = Constante de calibração;

$L\lambda$ = Radiância espectral em Watts / (metro quadrado).

Quadro 2 - TM + Constante de calibração da banda termal.

	Constante de calibração K1	Constante de calibração K2
<i>TM/Landsat-5</i>	607.76	1260.56
<i>TM/Landsat-7</i>	666.09	1282.71

Fonte: Landsat-5; Landsat-7 (2016).

Após este procedimento os valores de temperatura Kelvin encontrados foram subtraídos pelo seu valor absoluto (273,15), gerando o raster de temperatura de superfície em graus Celsius (°C).

Para a imagem TM/Landsat-8, o mesmo processo foi feito a partir das seguintes fórmulas:

Fórmula 5 - Fórmula para a conversão de valores de Radiância

$$L\lambda = MLQ_{cal} + AL$$

Quadro 3 - Elementos da fórmula de conversão para radiância.

$L\lambda$	Radiância espectral em sensor de abertura em Watts/(m ² sr μm)
M_L	Fator multiplicativo de redimensionamento da banda 10=3.3420E-04
A_L	Fator de redimensionamento aditivo específico da banda 10=0.10000.
Q_{cal}	Valor quantizado calibrado pelo pixel em DN=banda 10.

Fonte: USGS (2016).

Para transformação dos valores em radiância aplicou-se novamente a fórmula 04, com os valores apresentados na quadro 4.

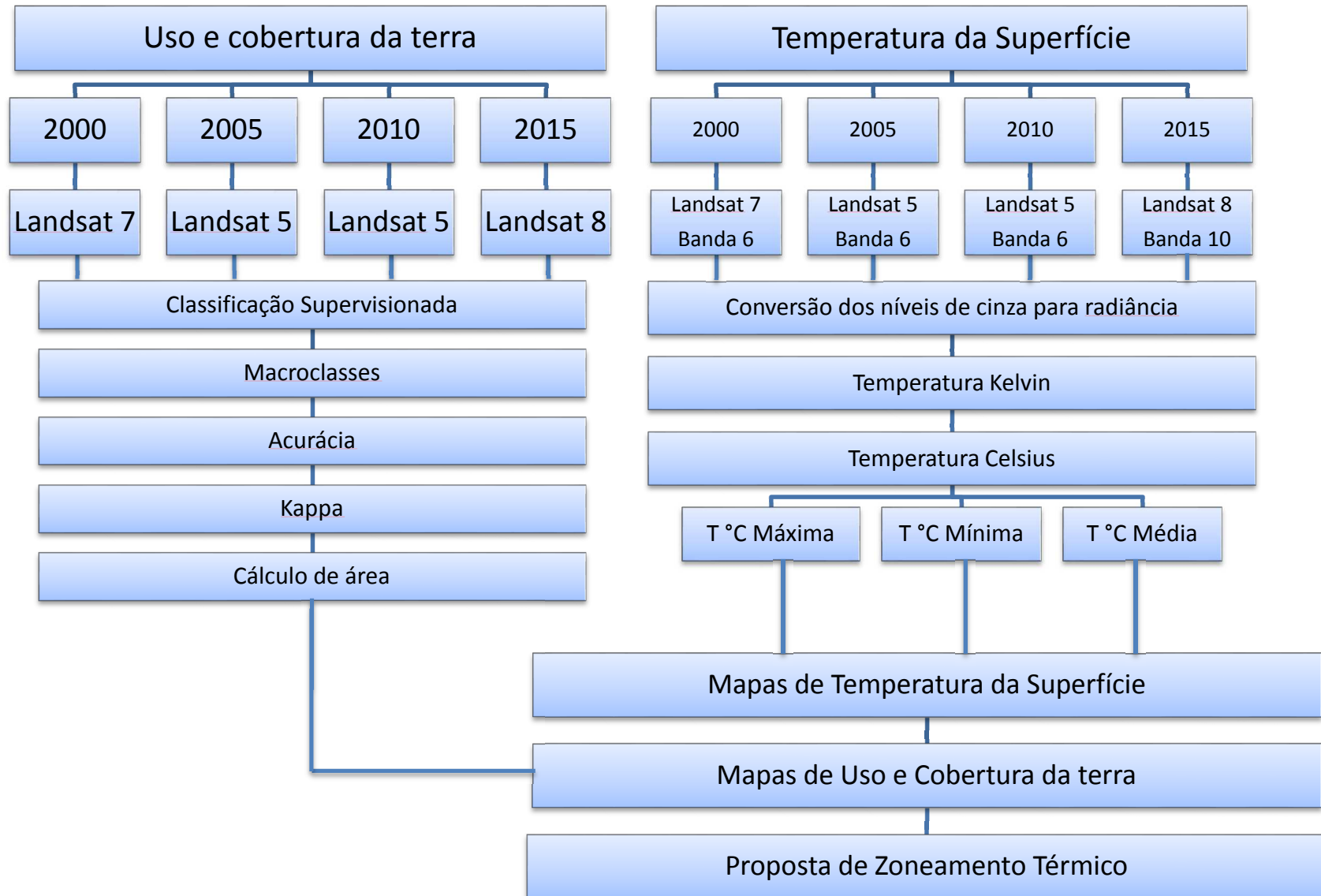
Quadro 4 - Elementos e valores das constantes de calibração.

T	Temperatura efetiva no satélite em Kelvin (K).
K2	Constante de calibração 2 = 1.321,0789.
K1	Constante de calibração 1 = 774,8853.
$L\lambda$	Radiância espectral em sensor de abertura em Watts/(m ² sr μ m)

Fonte: Landsat-8 (2016).

Após este procedimento os valores foram também subtraídos pelo seu valor absoluto (273,15) gerando o raster de Temperatura de superfície em graus Celsius (°C).

Figura 2 - Fluxograma do processo de tratamento dos dados raster no Software QGIS.



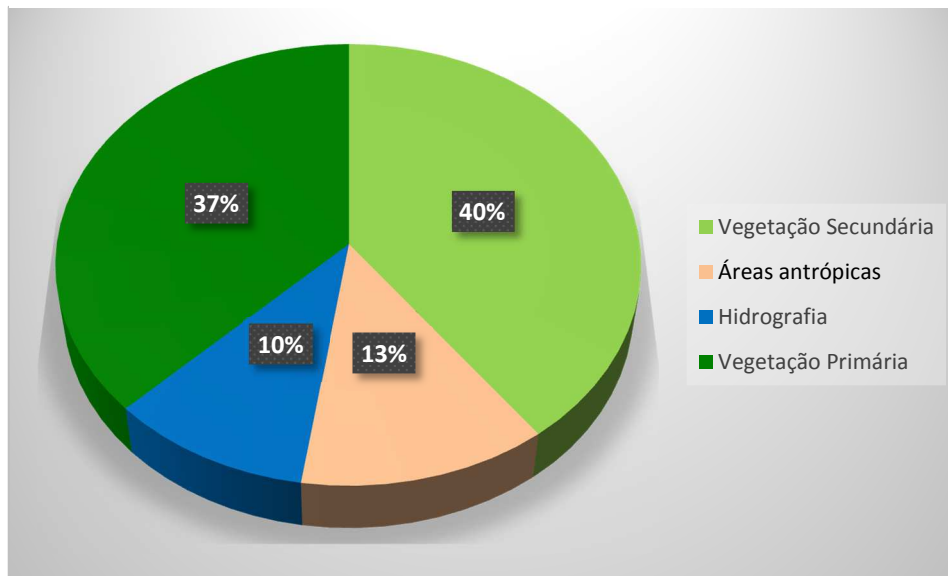
Fonte: Elaborado pelo autor.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através da elaboração das cartas de temperatura da superfície, foi possível identificar através das técnicas de sensoriamento remoto ⁵as áreas que apresentavam um elevado aquecimento, com o intuito de validar as informações obtidas da temperatura da superfície através das imagens de satélite, foi coletado no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), os dados referentes as condições climáticas dos dias das imagens de satélite. Os quais são apresentados a seguir.

No ano de 2000, a área compreendida pelo o perímetro urbano de Marabá, apresentava uma área de 172,42 km² de vegetação secundária, seguido por a vegetação primária com 161,01 km², na sequência 54,32 km² de áreas antrópicas, e por último a hidrografia equivalente a 44,21 km² (Figura 3).

Figura 3 - Gráfico do uso e cobertura da terra, ano 2000.



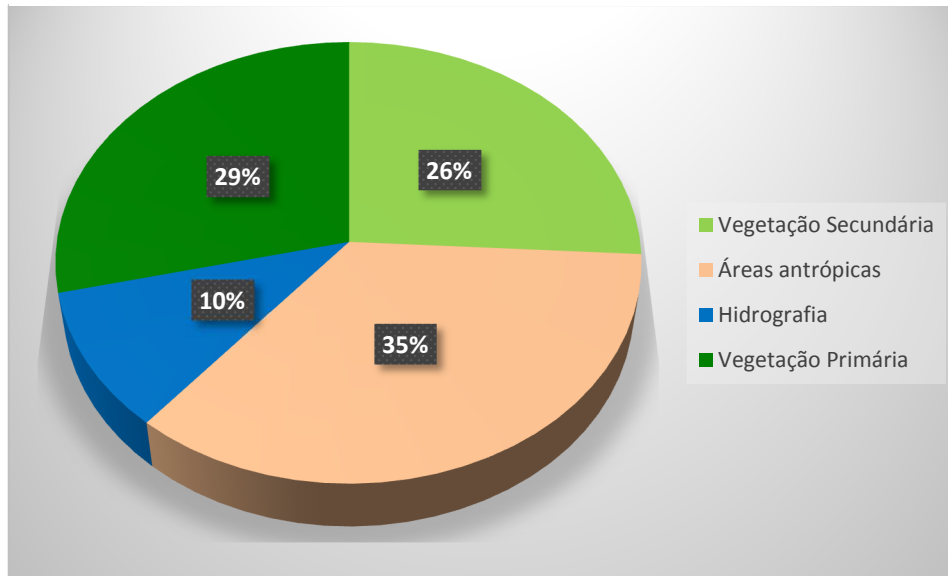
Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação à temperatura de superfície o satélite ETM/Landsat – 7, registrou no dia 31/07/2000, no horário central 13:15 hs, a temperatura mínima de 16,7°C, máxima de 36,9°C e média de 26,8°C (Figura 8). As condições meteorológicas capturadas pela estação do INMET, no dia da passagem do satélite foram de 21,5°C a 33,9°C, sem precipitação.

⁵ A passagem do satélite, naquele momento registrou os dados aqui trabalhados.

No ano de 2005, houve um decréscimo na área de vegetação secundária, sendo a mesma de 111,58 km², e aumento nas áreas antrópicas representando 151,75 km² (Figura 4). Houve uma diminuição também nas áreas de vegetação primária, 123,57 km². Não houve alteração significativa na área de hidrografia.

Figura 4 - Gráfico do uso e cobertura da terra, ano 2005.

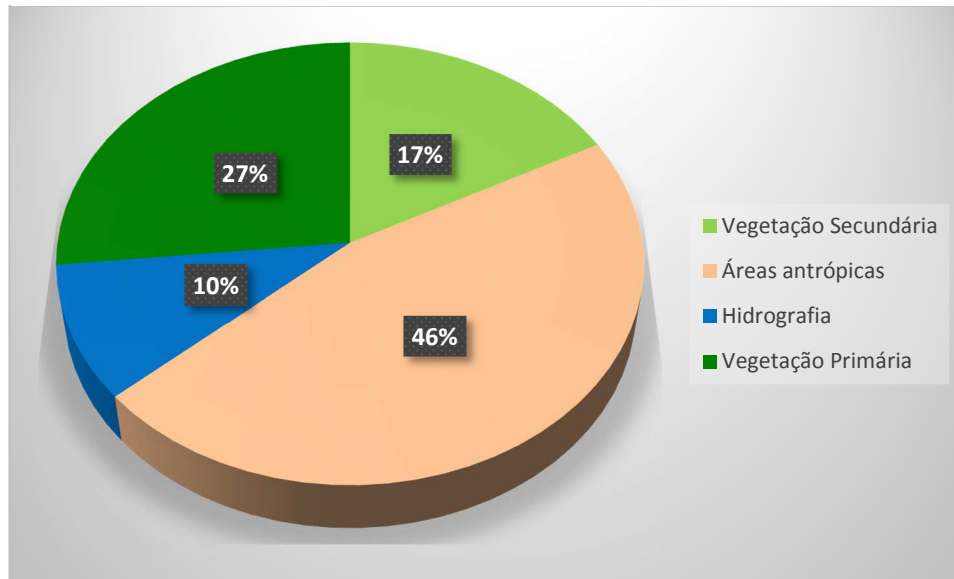


Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a temperatura de superfície, o registro feito pelo satélite TM/Landsat – 5, em 06/08/2005, no horário central de 13:12 hs, foi de temperatura mínima de 22,8°C, máxima 45,9°C e média de 34,3°C (Figura 9). Os dados registrados pelo INMET, apresentaram a mínima e máxima de 23,1°C e 37,8°C respectivamente.

O ano de 2010, também sofreu decréscimo nas áreas de vegetação primária e secundária, sendo representadas por 114,59 km² e 74,34 km² respectivamente. A área de hidrografia não sofreu alterações. No entanto, percebeu-se um aumento significativo das áreas antrópicas, equivalente a 199,62 km², representando 46% da área total do perímetro urbano (Figura 5).

Figura 5 - Gráfico do uso e cobertura da terra, ano 2010.

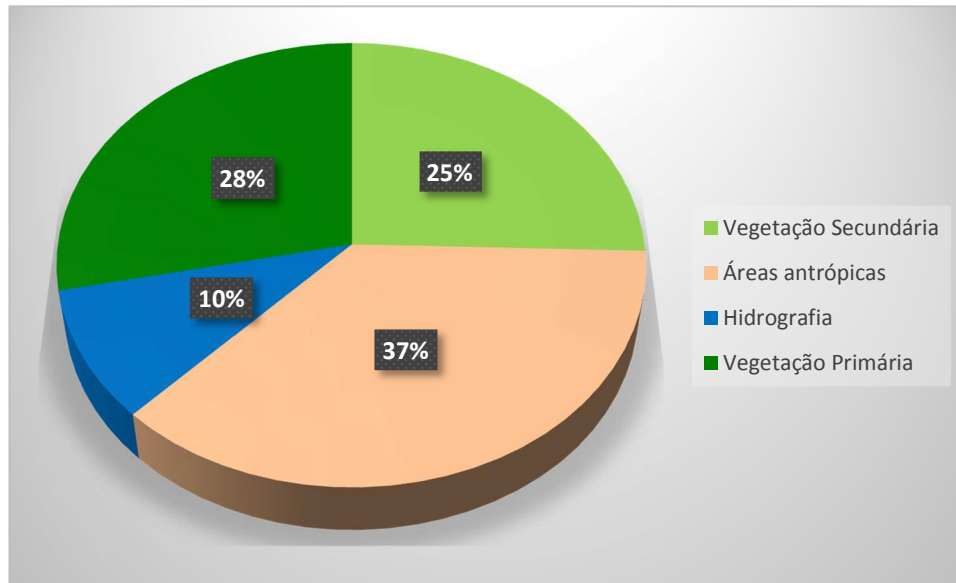


Fonte: Elaborado pelo autor.

A temperatura da superfície registrada pelo satélite TM/Landsat – 5, na data de 05/09/2010, as 13:14 hs, foi de 20,6°C temperatura mínima e 40,7°C temperatura máxima, com média de 30,6°C (Figura 10). Já os dados registrados na estação meteorológica foram de 24,2°C e 37,9°C.

O ano de 2015, apresentou 152,30 km² de áreas antrópicas, 122,00 km² de vegetação primária e 109,77 km² de vegetação secundária, sem alterações na macroclasse de hidrografia. Pode-se perceber uma manutenção/aumento na área de vegetação primária, podendo ser explicada pela maior rigorosidade da legislação ambiental a partir do ano de 2008 (Figura 6).

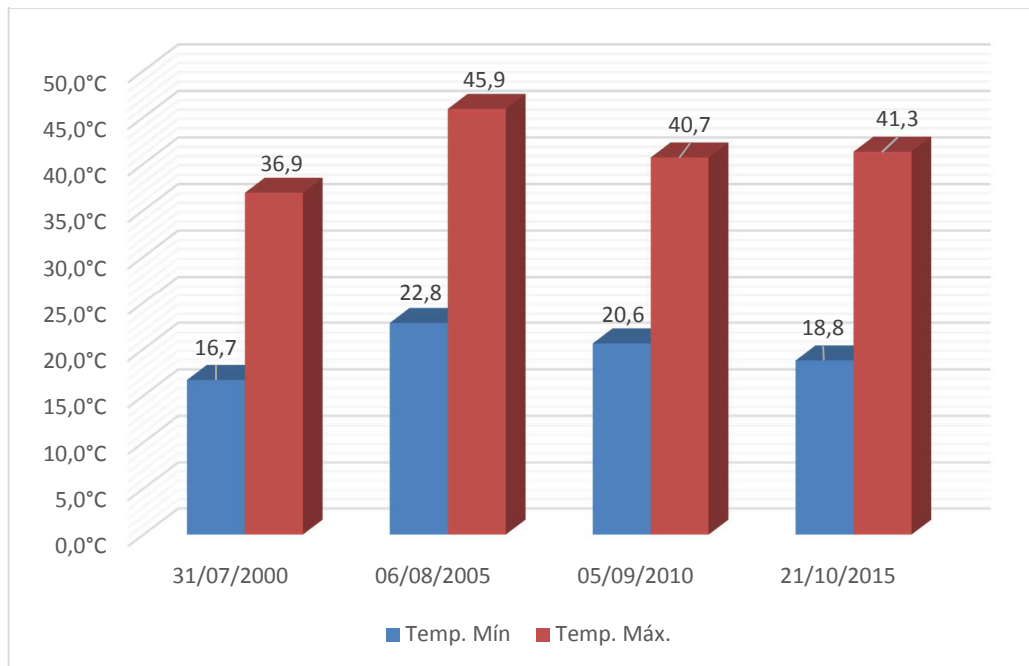
Figura 6 - Gráfico do uso e cobertura da terra, ano 2015.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A temperatura registrada pelo satélite “OLI” “TIRS”/Landsat – 8, em 21/10/2015, as 13:24 hs, foi de mínima de 18,8°C, máxima de 41,3°C, e média 30,0°C (Figura 11), o registro da estação meteorológica do INMET, foi de temperatura mínima de 25,1°C e máxima de 37,6°C.

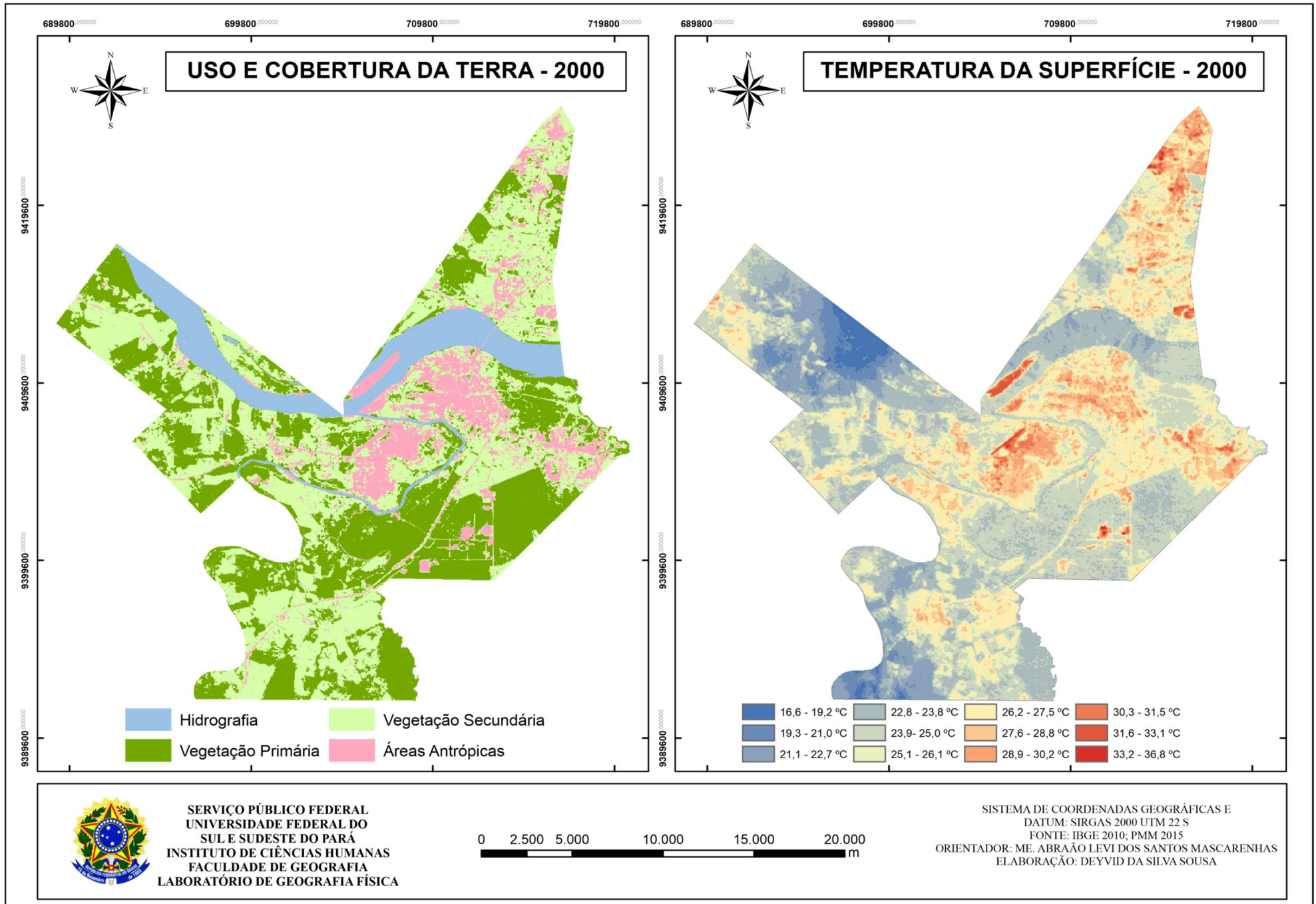
Figura 7 - Temperatura de superfície.



Fonte: Banda termal do Landsat 5, 7 e 8.

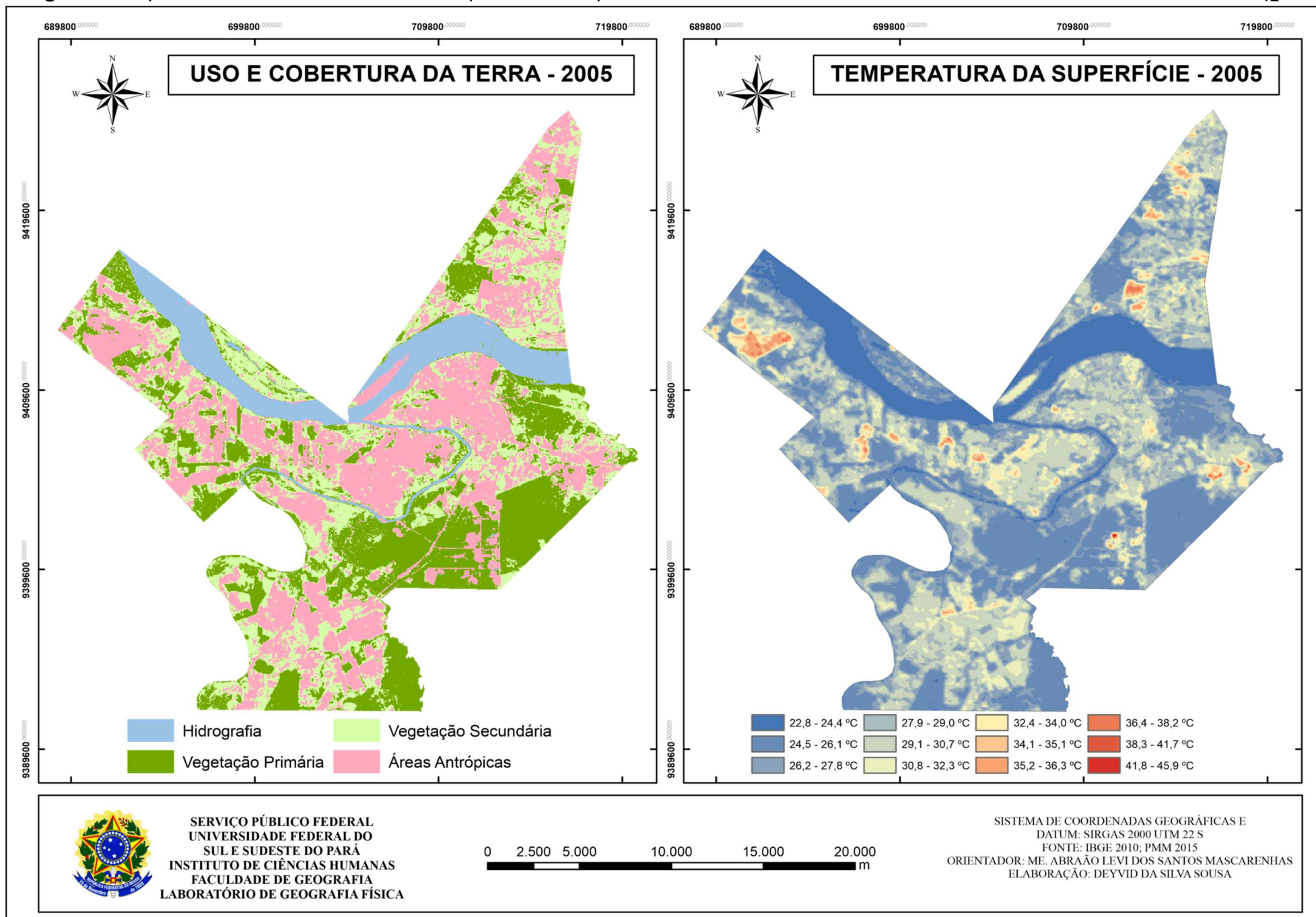
Organização: Elaborado pelo autor.

Figura 8 - Mapa do uso e cobertura da terra e temperatura de superfície, ano 2000.



Fonte: IBGE, 2010; PMM,2015. Organização: Elaborado pelo autor.

Figura 9 - Mapa do uso e cobertura da terra e temperatura de superfície, ano 2005.



Fonte: IBGE, 2010; PMM,2015. Organização: Elaborado pelo autor.

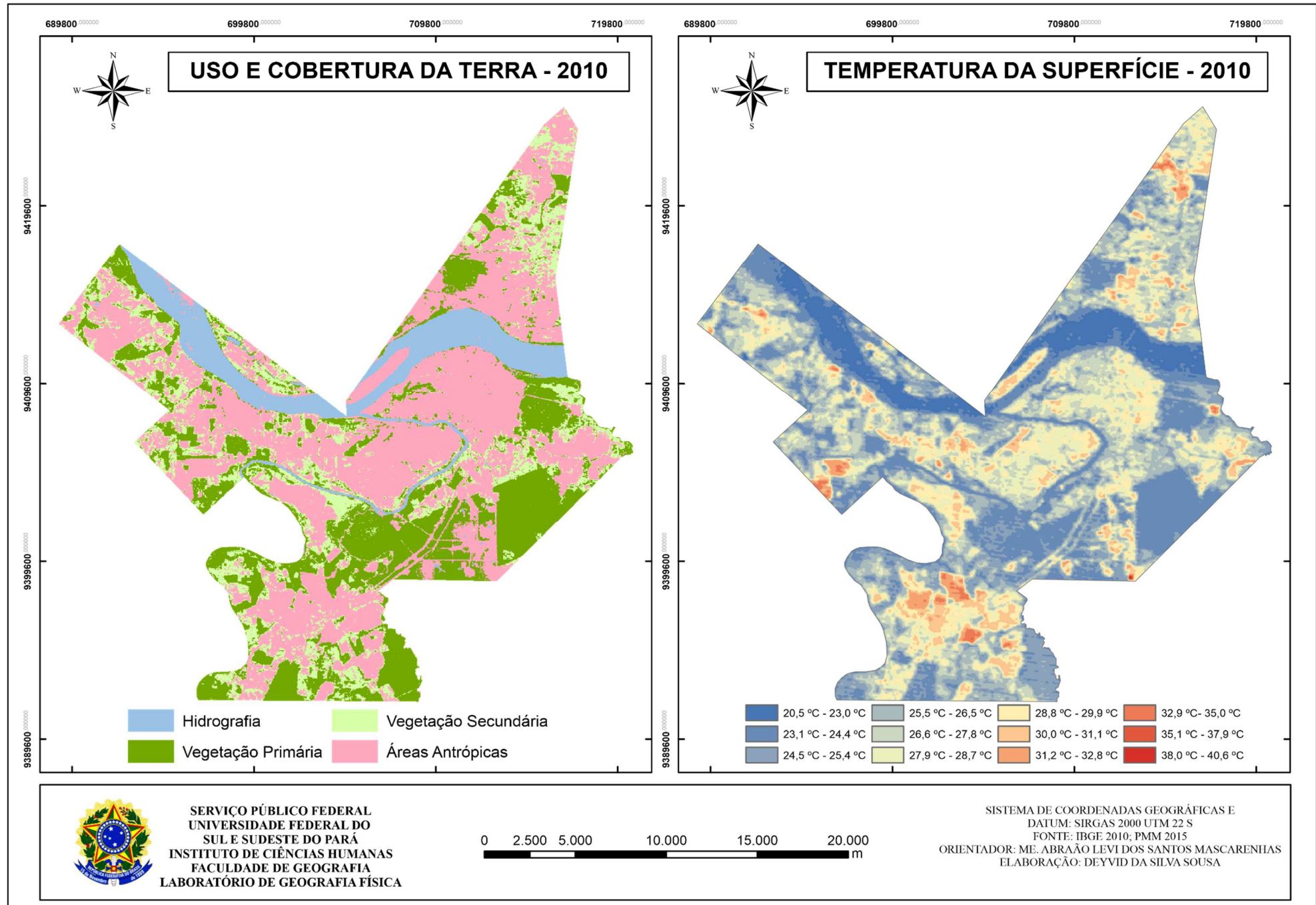
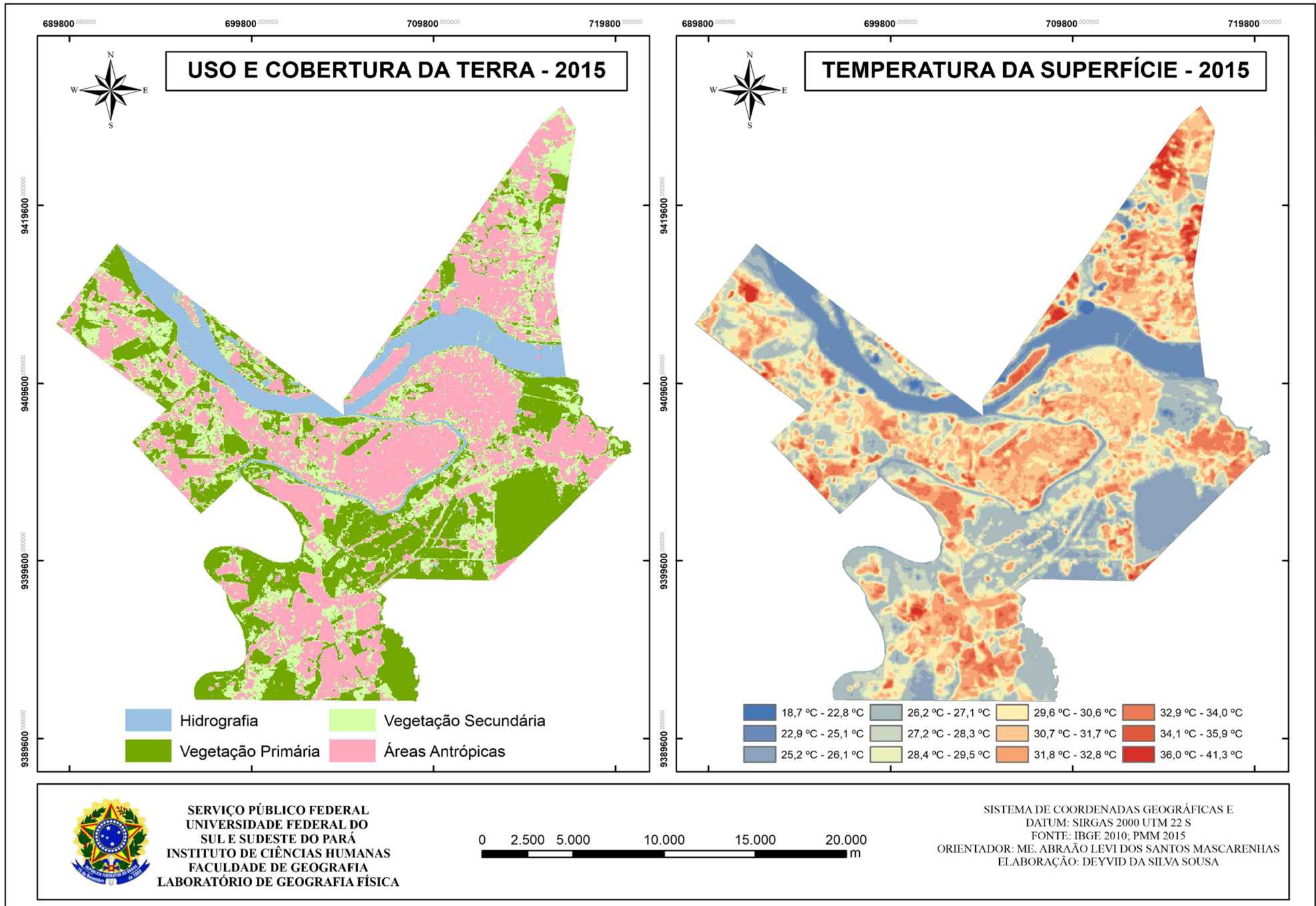


Figura 11 - Mapa do uso e cobertura da terra e temperatura de superfície, ano 2015.



Fonte: IBGE, 2010; PMM,2015. Organização: Elaborado pelo autor.

A classificação supervisionada realizada para a elaboração das cartas de uso e cobertura da terra, foram validadas a partir do cálculo de índice *Kappa*, que consiste em validar a confiabilidade dos produtos gerados. As quais são apresentadas a seguir. (Figura 12 e Tabela 1).

Figura 12 - Quadro de escala do valor *Kappa*.

Escala de valor <i>Kappa</i>	
Coeficiente de <i>Kappa</i>	Força da concordância
Menor que zero	<i>Poor</i>
0 a 0,2	<i>Slight</i> (desprezível)
0,21 a 0,4	<i>Fair</i> (suave)
0,41 a 0,6	<i>Moderate</i> (moderada)
0,61 a 0,8	<i>Substantial</i> (substancial, grande)
0,81 a 1	<i>Almost perfect</i> (quase perfeita)

Fonte: MARTINEZ (2015) apud ARAÚJO (2015).

Tabela 1 - Grau de concordância das amostras.

Grau de concordância das cartas	
Ano	Coeficiente de <i>Kappa</i>
2000	0,84
2005	0,62
2010	0,74
2015	0,62

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 2 - Comparativo de resultados.

MATRIZ COMPARATIVA DA DINÂMICA DE TEMPERATURA E USO E COBERTURA DA TERRA							
ANO	TIPOS DE USO (%)				TEMP. DA SUPERFÍCIE (°C)		
	Hidrografia	Vegetação primária	Vegetação secundária	Áreas Antrópicas	Mínima	Máxima	Média
2000	10,26	37,36	39,78	12,61	16,7	36,9	26,8
2005	10,23	28,23	25,89	35,21	22,8	45,9	34,3
2010	9,84	26,59	17,25	46,32	20,6	40,7	30,6
2015	9,48	28,31	25,47	36,74	18,8	41,3	30,0

Fonte: Elaborado pelo autor.

A tabela 2, faz uma relação direta dos usos e cobertura da terra com as temperaturas de superfície, onde é apresentado, o percentual de cada tipo de uso ao longo dos anos de 2000, 2005, 2010 e 2015, é apresentado também as temperaturas mínimas e máximas dos respectivos anos.

É possível verificar que no perímetro urbano de Marabá - PA, houve o aumento significativo das áreas antrópicas sobretudo no ano de 2005 (35,21%) em relação ao ano 2000 (12,61%), tal fato influencia diretamente a temperatura da superfície, no qual registra valores mais elevados, sendo a máxima de 45,9°C, percebeu-se que esta disparidade entre as temperaturas máximas registradas pelo satélite e pela estação meteorológica (37,8°C). É importante ressaltar que foi observado na imagem do ano de 2005 a existência de áreas que haviam sido recentemente queimadas. O fogo, a curto prazo, causa o aumento da temperatura superficial do solo devido a liberação da energia durante a combustão (OLIVEIRA; SILVA, 1994), este fato, explica a alta temperatura encontrada para este ano.

Nos anos de 2000 a 2010 é notório a crescente da classe áreas antrópicas, este fato, pode ser explicado devido a expressiva expansão da mancha urbana que Marabá passou nesse período, sobretudo pela acentuada implantação de empreendimentos imobiliários nas áreas de expansão urbana (SOUZA, 2015). Porém no ano de 2015, vê-se uma baixa referente a esta classe, podendo se considerar a dinâmica espacial do município, que obteve uma queda na economia imobiliária onde teve um decréscimo significativo após o ano de 2010 (SOUZA, 2015). Estas premissas influenciaram diretamente a classificação supervisionada que na análise através do algoritmo de máxima verossimilhança, assimilou as assinaturas espectrais da classe outrora de áreas antrópicas para vegetação secundária e vegetação primária. Demonstrando assim uma recuperação nas classes vegetação primária e vegetação secundária.

Paralelo as transformações nos padrões de uso e cobertura da terra, na temperatura da superfície ainda verifica-se uma elevação substancial. Tal fenômeno deve ser explicado se ampliarmos a visão sobre as escalas do clima, sendo imprescindível observar as complexidades e interações que pairam acima da escala climática regional, que pode sofrer interações causadas por atividades antrópicas, e também ser influenciada pela escala climática global, que cria padrões climáticos para todo o planeta (SANT'ANNA NETO, 2013).

É conforme a afirmação supracitada, que se fez necessário evidenciar no período que foi realizado o imageamento pelos satélites, se havia algum fenômeno em escala global, que poderia afligir diretamente o clima em escalas inferiores.

Através de pesquisa realizada no site *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA⁶), foi observado que no ano de 2000 e 2010, a região norte sofria influência do fenômeno La Niña, que ocasiona um esfriamento das águas do Oceano Pacífico, acarretando um aumento nos índices pluviométricos da região. Contrário a este fenômeno, existe também o fenômeno El Niño, o qual atuou no ano de 2015, onde foi observado que o aquecimento das águas do Oceano Pacífico trouxe como consequência a diminuição das precipitações na Amazônia, ocasionando um aquecimento da superfície Nobre et al. (2009) apud Souza (2012).

É a partir desta relação sistêmica, considerando as variáveis de escala global (fenômeno El niño e La niña), com a escala regional (forma e organização do espaço urbano), que foi possível identificar que tais fatores foram substanciais para a configuração da temperatura da superfície nos anos de 2000, 2010 e 2015.

Pode-se considerar que a expansão da mancha urbana da cidade de Marabá – PA, está em relação direta a formação de ilha de calor de superfície, sendo que a classificação supervisionada na elaboração da carta de uso e cobertura da terra e a carta de temperatura da superfície nos fornece evidências que comprovam a estrita relação da ação antrópica com o aumento da temperatura da superfície.

5.1 Zoneamento térmico do perímetro urbano de Marabá

Através dos resultados obtidos por meio da classificação supervisionada e da temperatura da superfície, elaboradas a partir das bandas termais dos sensores dos satélites, foi possível pensar um zoneamento térmico das áreas propícias a formação de ilha de calor de superfície no perímetro urbano de Marabá.

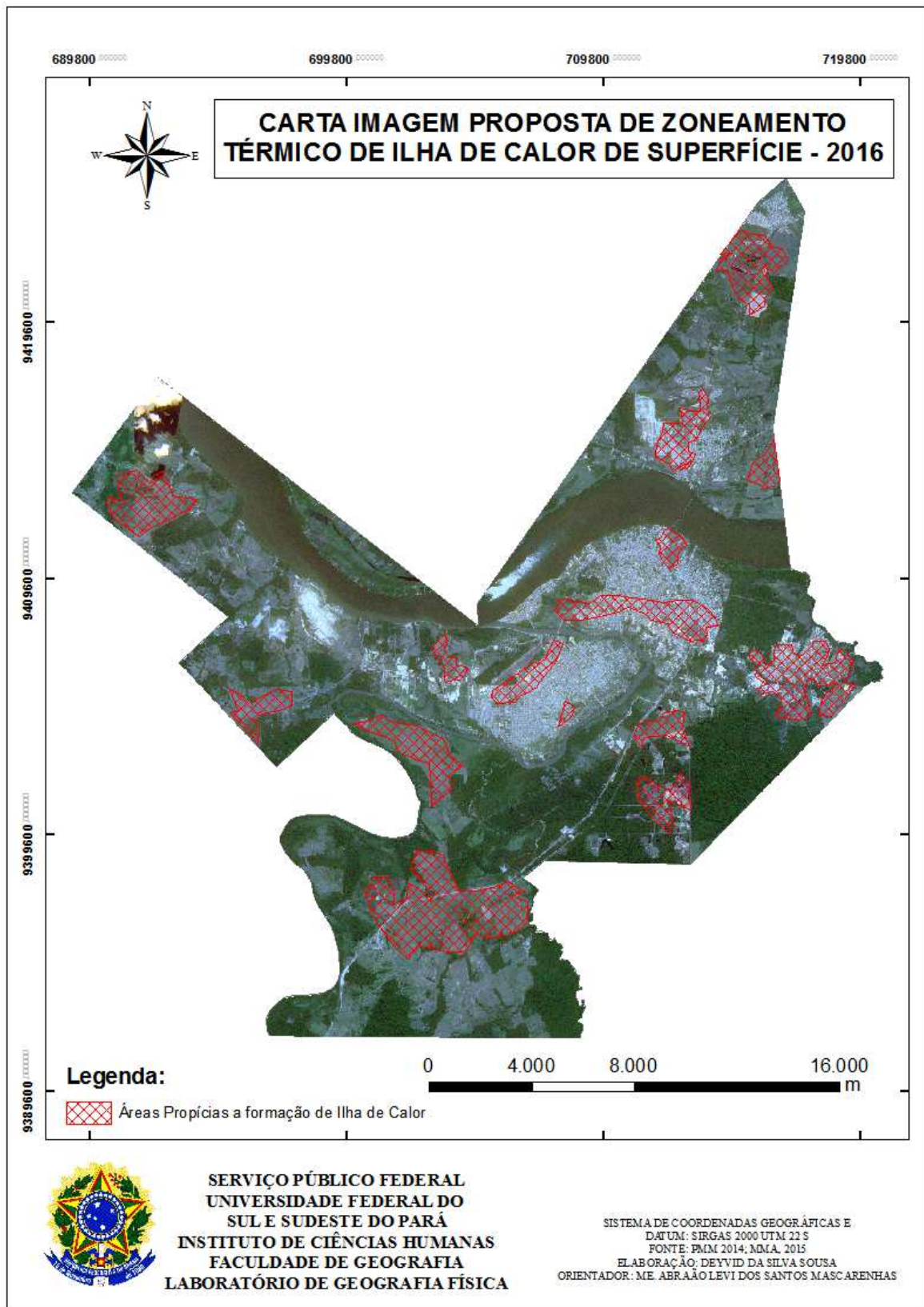
Para o zoneamento foi utilizado como critério a interpretação visual das cartas de temperaturas dos anos observados, considerando as áreas onde foram

⁶ Informações coletadas através do site: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml. Acesso em 15 set. de 2016.

constatadas a incidência constante de elevadas temperaturas, realizada esta identificação partiu-se para o procedimento de vetorização das mesmas.

A figura 13 apresenta as áreas onde foram identificadas uma maior temperatura da superfície, no entanto é importante ressaltar que no perímetro urbano, e dentre as áreas identificadas temos uma série de singularidades para cada área, o que deve ser enfatizado em estudos mais específicos, porém em diagnóstico prévio já é possível identificar que o aumento da temperatura na superfície ocorre sobretudo nos adensamentos urbanos, é importante ressaltar, que após esta identificação de áreas propícias a formação de ilha calor, e a caracterização das devidas áreas, seja realizada a padronização de diretrizes que venha a condizer com a realidade do local, não menosprezando também a visão do perímetro urbano como um todo.

Figura 13 - Proposta de zoneamento.



Fonte: MMA, 2015, PMM, 2014.

Organização: Elaborado pelo autor.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho mostrou-se de cunho relevante para o fortalecimento das pesquisas no eixo dos estudos climáticos, tendo em vista que várias são as técnicas para compreender as dinâmicas climáticas em suas diferentes escalas. As alterações na mudança da paisagem do perímetro urbano de Marabá, foram fatores cruciais para o aumento da temperatura da superfície. Foi possível identificar que as áreas antrópicas vêm sofrendo um aumento gradativo, corroborando com o aumento da temperatura da superfície.

As técnicas de sensoriamento remoto aliadas ao geoprocessamento, foram de grande valia para observar a dinâmica espacial correlacionando o uso e cobertura da terra e a temperatura da superfície, contudo é evidente a eficiência das metodologias empregadas afim de subsidiar e diagnosticar a identificação de áreas propícias a existência de ilha de calor de superfície.

Observando a necessidade de elaboração de diretrizes que relacionem o uso adequado da terra, é sugerido que haja no município um plano de arborização que parta do conhecimento prévio das áreas mais aquecidas dentro do perímetro urbano, afim de propiciar a população que ali reside um conforto térmico.

No entanto é sabido, da complexidade ainda atual do trabalho interdisciplinar nos diversos órgãos e em suas diferentes esferas, sobre os estudos climáticos e a identificação de ilha de calor é necessário a participação conjunta tanto de profissionais que atuam na área e também a participação da população que é diretamente afetada por tal fenômeno.

Desta forma, é importante frisar que o município deve tomar a frente do planejamento, por meio de seus órgãos fiscalizadores, sobretudo e inicialmente através de programas educacionais que tenham por objetivo debater a importância da vegetação para o arrefecimento das áreas com uma elevada temperatura de superfície. A proposta é que os órgãos municipais fiscalizadores adotem um programa de compensação fiscal para a população, que beneficie o paisagismo urbanístico verde das áreas onde se apresenta com uma temperatura de superfície propícias a formação de ilha de calor, com isso a intenção é por meio da intervenção de equipamentos que primem por uma superfície permeável, e incentivar o aumento da

cobertura vegetal para estas áreas, os quais irão beneficiar a qualidade de vida dos cidadãos.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, M. F. **Caracterização Agrometeorológica do Município de Marabá-PA**. 2007. 77 p. Trabalho de Conclusão de Curso-Faculdade de Ciências Agrárias de Marabá, Universidade Federal do Pará, Marabá, 2007.

AMORIM, M. C. C. T. Ritmo climático e planejamento urbano. AMORIM, M. C. C. T.; SANT'ANNA, J. L.; MONTEIRO, A (org.). In: **Climatologia urbana e regional: questões teóricas e estudos de caso**. – 1.ed. – São Paulo: Outras Expressões, 2013. p. 173 – 190.

_____. Clima urbano: estrutura térmica e ilhas de calor. In: AMORIM, M. C. C. T.; SANT'ANNA, J. L.; MONTEIRO, A (org.). **Climatologia urbana e regional: questões teóricas e estudos de caso**. – 1.ed. – São Paulo: Outras Expressões, 2013b. p. 191 – 220.

ARAÚJO, M. P. de. **Classificação Supervisionada de Imagens Orbitais Classificação Supervisionada com o Semi-Automatic Classification Plugin**. Disponível em: <qgisbrasil.org/blog/wp-content/uploads/2015/08/tutorial_scp_01.pdf>. Acesso em: 29 ago. 2015.

ASSIS, E. S. de. **Bases teóricas para a aplicação da Climatologia ao Planejamento Urbano**. EAUFMG, Belo Horizonte, MG, 1997. Disponível em: www.fau.usp.br/cursos/graduacao/arq_urbanismo/disciplinas/aut0225/Assis_1997_bases_teoricas_clima_e_planejamento.pdf. Acesso em: 30 de Jul. 2016.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. Tradução de Maria Juraci Zani dos Santos; Revisão de Suely Bastos, 4 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

BARROS, J. R.; ZAVATTINI, J. A. Bases Conceituais em Climatologia Geográfica. In: **Mercator – Revista de Geografia da UFC**, ano 08, número 16, 2009.

BARROS, M. de L. C.; BARP, A. R. B. Modelo numérico: análise de viabilidade de aproveitamentos múltiplos em bacias hidrográficas. **Revista Traços**, Belém, v. 5, n. 10, p. 21-26, 2002.

BIAS, E. de S; BAPTISTA, G. M. de M; LOMBARDO, M. A. Análise do fenômeno de ilhas de calor urbanas, por meio da combinação de dados LANDSAT e IKONOS. In: SBSR, 11, 2003. **Anais...** . Belo Horizonte: INPE, 2003. p. 1741-1748.

Brasil, M. M. A. **Ministério do Meio Ambiente**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/>>. Acesso em: 18 ago. 2016.

CÂMARA, G. Representação computacional de dados geográficos. In: CASANOVA, M; CÂMARA, G; DAVIS, C; VINHAS, L; QUEIROZ, G. R. **Banco de Dados Geográficos**. Curitiba: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2005.

COELHO, A. L. N. **Imagens LANDSAT-8/TIRS/OLI e ASTER/GDEM aplicadas na avaliação do comportamento termal de superfície, usos e topografia.** Espírito Santo: UFES, 2009.

COELHO, A. L. N. **Sensoriamento Remoto Infravermelho Termal: Contribuições para o Estudo do Clima Urbano.** In: Simpósio Nacional de Geografia Urbana, XIII, 2013, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 2013.

COLTRI, P. P.; MACEDO JUNIOR, C.; VELASCO, G. D. N.; FERREIRA, N. J.; FREITAS, S. Influência do uso e cobertura do solo nas ilhas de calor local e regional no município de Piracicaba, São Paulo. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14, 2009. **Anais...** Natal: INPE, 2009, p. 639-646.

FERREIRA, J. S.; Teoria e Método em Climatologia. **Revista Geonorte**, Edição Especial 2, V. 1, N. 5, p. 766-773, 2012.

FIALHO, E. S. Ilha de Calor: reflexões acerca de um conceito. **ACTA Geográfica.** Edição especial Climatologia Geográfica, Boa Vista, 2012. p. 61-76.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação.** São Paulo: Oficina de Textos, 2008a.

_____. **Cartografia básica.** São Paulo: Oficina de Textos, 2008b.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto.** 3ª edição, São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

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

HONORATO, A. F. A.; ANDRADE, V. S. da A. Ilhas de Calor e frescor na área urbana da cidade de Aquidauana – MS. **Revista Geonorte**, edição especial, v. 2, n. 4, p. 878-886, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=150420&search=||infogr%E1ficos:-informa%E7%F5es-completas> Acesso em: 03 out. 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/> Acesso em: 01 set. 2016.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde.** Gotha: Verlag Justus Perthes. Wall-map 150cmx200cm, 1928.

LANG, S; BLASCHKE, T. **Análise da Paisagem com SIG.** São Paulo: Oficina de Textos, 2009. Tradução de: Hermann Kux.

LOMBARDO, M. A. O uso de Geotecnologias na análise das mudanças climáticas na metrópole de São Paulo. **Revista Geográfica de América Central.** Costa Rica,

2011. Trabalho apresentado no XIII Encontro de Geógrafos da América Latina, 25 a 29 de julho de 2011.

LUCENA, A. J. Notas conceituais e metodológicas em clima urbano e ilhas de calor. **Revista Continentes**, ano 2, n. 2, 2013.

MELLO FILHO, J. A. de; SILVA, J. X. da. Geoprocessamento Aplicado à Segurança e à Qualidade de Vida na Região da Tijuca (Rio de Janeiro, RJ). In: Jorge Xavier da Silva; Ricardo Tavares Zaidan. (Org.). **Geoprocessamento & Meio Ambiente**. 1 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil Ltda., 2011, v. 1, p. 253-289.

MENDONÇA, F. Aspectos da problemática ambiental urbana da cidade de Curitiba/PR e o mito da “Capital Ecológica”. **GEOUSP – Espaço e Tempo**, São Paulo, N° 12, p., 2002.

MENDONÇA, F. O estudo do clima urbano no Brasil. In: **Clima urbano**. 2. ed. – São Paulo: Contexto, 2011.

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

MICROSOFT Excel for Windows 8. Versão 2013: Microsoft Corporation, 2013. 1 CD-ROM.

MONTEIRO, C. A. F. A cidade como processo derivador ambiental e a geração de um clima urbano – Estratégias na Abordagem Geográfica. **GEOSUL**, n° 9 – Ano V – 1° semestre de 1990a.

MONTEIRO, C. A. F. Adentrar a Cidade para tomar-lhe a temperatura. **GEOSUL**, n° 9 – Ano V – 1° semestre de 1990b.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**/ 4. ed. atual. e ampl. – Viçosa, MG : Ed. UFV, 2011.

MOURA, A. C. M. **Geoprocessamento na Gestão e Planejamento Urbano** - 3ª Edição. Rio de Janeiro: Interciência, 2014.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento remoto**: princípios e aplicações. 4ª edição. São Paulo: Blucher, 2010.

OLIVEIRA, M. E. de; SILVA, I. L. da. Efeitos do fogo sobre o solo. **Floresta e ambiente**, ano 1. Rio de Janeiro: UFRRJ, 1994.

OLIVEIRA JÚNIOR, R. C. de; RODRIGUES, T. E.; SILVA, J. M. L. VALENTE, M. A. **Caracterização físico-hídrica dos principais solos da região de Marabá-Carajás, Estado do Pará**. Belém: Embrapa-CPATU, 1998. 46 p. [Embrapa-CPATU Boletim de pesquisa, 205].

PAMBOUKIAN, S. V. D. **Classificação supervisionada**. São Paulo: Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2015. Disponível em: <http://labgeo.mackenzie.br/fileadmin/LABGEO/Curso/09._Aula_09/0901._Classificacao_supervisionada.pdf>. Acesso em: 16 set. 2016.

PENNA, N. A. Urbanização, cidade e meio ambiente. **GEOUSP – Espaço e Tempo**, São Paulo, N° 12, p., 2002.

POLIZEL, J. L. **Geotecnologias e clima urbano**: aplicação dos recursos de sensoriamento remoto e sistema de informações geográficas na cidade de Piracicaba, SP, São Paulo, 2009. Tese (Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, 2009. 154 f.

MARABÁ. Prefeitura Municipal. Secretaria Municipal de Planejamento. Marabá, 2014.

MARABÁ. Prefeitura Municipal. Secretaria Municipal de Planejamento. Marabá, 2015.

QGIS: Um Sistema de Informação Geográfica livre e aberto. Disponível em: <http://qgis.org/pt_BR/site/forusers/download.html> Acesso em: 20 set. 2014.

QGIS: Semi-automatic classification plugin. Versão 4.9.2. Disponível em: <<https://fromgistors.blogspot.com/p/semi-automatic-classification-plugin.html>> Acesso em: 20 set. 2014.

ROSA, R. Geotecnologias na geografia aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, Uberlândia, v. 16, p. 81-90, 2005.

ROSSATO, P. S. **O Sistema Termodinâmico do Clima Urbano de Nova Palma, RS: Contribuição ao Clima Urbano de Cidades Pequenas**. 2010, Originalmente apresentado como dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, 2010.

SANT'ANNA NETO, J. L. Da Climatologia Geográfica à Geografia do Clima Gênese, Paradigmas e Aplicações do Clima como Fenômeno Geográfico. In__ **Revista da ANPEGE**, v. 4, 2008.

SANT'ANNA NETO, J. L. Escalas geográficas do clima mudança, variabilidade e ritmo. In: AMORIM, M. C. C. T.; SANT'ANNA, J. L.; MONTEIRO, A. **Climatologia urbana e regional: questões teóricas e estudos de caso**. – 1.ed. – São Paulo: Outras Expressões, p. 75 – 91, 2013.

SANT'ANNA NETO, J. L. Introdução. In: SILVA, C. A. da; FIALHO, E. S; STEINKE, E. T. **Experimentos em Climatologia Geográfica**. Dourados – MS: UFGD, 2014.

SCCON – Santiago & Cintra Consultoria. Disponível em:<<http://www.scccon.com.br/br/>>. Acesso em: 16 set. 2016.

SCHUTZER, J. G. **Cidade e meio ambiente: a apropriação do relevo no desenho ambiental urbano**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2012.

SILVA, A. de B. **Sistemas de Informações Geo-Referenciadas**. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2003.

SILVA, J. F. da S; FERREIRA, H. dos S; SANTOS, M. O. dos SANTOS. Considerações sobre os estudos em clima urbano. **GEAMA**, Recife, v. 2, n. 1, p. 156-170, set. 2015.

SORRE, M. **Objeto e Método da Climatologia**. Traduzido por José Bueno Conti. Paris, 1934.

SOUZA, D. M. de; NERY, J. T. O conforto térmico na perspectiva da Climatologia Geográfica. **Geografia**, Londrina, v. 21, n. 2. P. 65-83, maio/ago. 2012.

SOUZA, D.O. de. **Influência da ilha de calor urbano nas cidades de Manaus e Belém sobre o microclima local**. 2012. 219 f. Tese de doutorado do curso de pós-graduação em meteorologia. São José dos Campos, 2012. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3BHRQFH>>. Acesso em: 15 set. 2016.

SOUZA, M. V. M. de. **O projeto Alpa e a produção do espaço urbano em Marabá (PA): A cidade-mercadoria e as desigualdades socioespaciais**. 2015. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Geografia. Uberlândia, 2015. 324 f.

TARIFA, J. R. **Fluxos polares e as chuvas de primavera – verão no estado de São Paulo**. São Paulo, n. 19, 1975. Série Teses e Monografias.

TORRES, F. T. P; MACHADO, P. J de O. **Introdução a Climatologia**. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

UGEDA JUNIOR, J. C. Correlação entre a temperatura da superfície e temperatura do ar na cidade de Jales/SP. In: AMORIM, M. C. C. T.; SANT'ANNA, J. L.; MONTEIRO, A. **Climatologia urbana e regional: questões teóricas e estudos de caso**. – 1.ed. – São Paulo: Outras Expressões, p. 291 – 316, 2013.

USGS – Geological Survey/ Serviço de Levantamento Geológico Americano. **Aquisição de imagens orbitais digitais gratuitas do satélite Landsat-5, 7 e 8 EUA**. Acesso em 31 ago. de 2016. Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>.

ZAVATTINI, J. A. O Paradigma da Análise Rítmica e a Climatologia Geográfica Brasileira. **Revista Geografia**, Rio Claro, v. 25, n. 3, p. 25-43, 2000.

ZAVATTINI, J. A.; BOIN, M. N. **Climatologia Geográfica: Teoria e Prática de Pesquisa**. Campinas, SP: Alínea, 2013.