



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE ESTUDOS SOCIOAMBIENTAIS
PROGRAMA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**Emprego de técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento
na análise multitemporal do fenômeno de ilhas de calor no município
de Goiânia-GO (1986/2010)**

Discente: Diego Tarley Ferreira Nascimento

Orientador: Dr. Ivanilton José de Oliveira

Goiânia, 2011.

Diego Tarley Ferreira Nascimento

Emprego de técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento na
análise multitemporal do fenômeno de ilhas de calor no município de
Goiânia-GO (1986/2010)

Discente: Diego Tarley Ferreira Nascimento

Orientador: Dr. Ivanilton José de Oliveira

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa
de Pesquisa e Pós-Graduação em Geografia do
Instituto de Estudos Socioambientais da
Universidade Federal de Goiás com vistas à
obtenção do título de Mestre em Geografia.

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação na (CIP)
GPT/BC/UFG**

244e

Nascimento, Diego Tarley Ferreira.

Emprego de técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento na análise multitemporal do fenômeno de ilhas de calor no município de Goiânia-GO (1986/2010) [manuscrito] / Diego Tarley Ferreira Nascimento. - 2010.

xv, 98 f. : il., figs, tabs.

Orientador: Prof. Dr. Ivanilton José de Oliveira.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Instituto de Estudos Sócio-Ambientais, 2010.

Bibliografia.

Inclui lista de figuras, quadros e tabelas.

1. Sensoriamento Remoto. 2. Geoprocessamento. 3. Ilhas de Calor. I. Título.

CDU:528.8(817.3)

Diego Tarley Ferreira Nascimento

Emprego de técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento na análise multitemporal do fenômeno de ilhas de calor no município de Goiânia-GO (1986/2010).

Dissertação apresentada ao Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Geografia, do Instituto de Estudos Socioambientais da Universidade Federal de Goiás, para a obtenção do título de Mestre em Geografia, aprovada em 04 de março de 2011, pela Banca Examinadora constituída pelos seguintes professores:

Prof. Dr. Ivanilton José de Oliveira
Presidente da Banca

Profa. Dra. Juliana Ramalho Barros
Examinadora

Profa. Dra. Zilda de Fátima Mariano
Examinador Externo

“Sinto na ciência o início de uma batalha entre aqueles que vivem pela teoria e aqueles que saem em campo na Terra para observar e medir. Os observadores são as Cinderelas da ciência, e sempre foram” – James Lovelock.

Trecho retirado da obra **Gaia: alerta final**, publicada em 2010, pela editora Intrínseca. Este polêmico e poético autor é o criador da Teoria de Gaia, na qual vê o planeta Terra como um organismo vivo, onde seus componentes interagem de forma a sustentar a vida – em um processo autorregulador.

Dedicatória

*À minha mamãe, o maior diamante de qualquer
tesouro que alguém sonharia ter. E eu o tenho.*

AGRADECIMENTOS

Em primeiro devo agradecer à minha família, por ter sido a base da minha vida:

à minha mãe, o maior amor que tenho, e ao meu pai, apesar dos conflitos, o reflexo do homem que sou hoje...

ao meu irmão Júnior, o meu herói; e às minhas irmãs, Cristiane e Tatiane, distantes em outra cidade e em outro país, mas que carrego no meu coração todo o dia...

às minhas tias Juliana, Marcilene e Silúcia, meus primos João Pedro, Geovana, Sara e Guilherme, meu avô Nelson e minha avó Terezinha, tão necessários em minha vida.

Obviamente, não poderia faltar a honra dos grandes amigos, a causa da pouca sanidade que ainda me restou:

Àqueles grandiosos, seja pelo seu valor e importância: Helayne, Joel; ou por possuírem uma cabeça enorme: Paulo Henrique, ou mesmo aqueles com baixa estatura: Luan...

Àqueles intensos: Valeska, Adalgiza, Tainá, tais como aqueles imprescindíveis em minha vida: Thiago Aires, Evelyn, Diele, Ana Claudia, Eliedna, Iuri, Lindamar, Eliz, Neto, Lorena, Welberg...

Àqueles irritantes, mas que da mesma forma me proporcionam tremenda diversão e tantas gargalhadas: Abimael, Carlos, Juliana Brandão...

Àqueles apaixonantes: Elaine, Kenia, Joana, Juliana Ramalho, Márcia, Maria Cristina, sobretudo aqueles com quem terei história mais à frente: Larissa (2012!) ...

Àqueles festejeiros, que seriam as companhias dos bares e das boates, mas que tornaram-se mais que isso: Marcus, Francisco, Rafael Vicente, Paulinho, Renatinho...

E tantos outros que não constam aqui, mas também fazem parte da minha vida.

Aos professores, funcionários e colegas da Universidade Federal de Goiás, principalmente ao Ivanilton e à Juliana, por terem sido mais que simples professores e orientadores, mas, sobretudo, GRANDES e ETERNOS amigos...

À CAPES, por ter apoiado este trabalho com a concessão de bolsa de estudos.

RESUMO

O crescimento das atividades econômicas e ao desenvolvimento das tecnologias propiciou um forte processo de crescimento urbano que tem desencadeado uma gama de impactos ambientais. Dentre esses problemas ambientais, ressalta-se a alteração do clima local – clima urbano. Nesse clima urbano é possível constatar diferenças nos elementos climáticos conforme a influência da cobertura do solo. Convém salientar que o comportamento espacial simultâneo da temperatura se revela como o mais importante elemento nesse complexo sistema, tendo como principal produto o fenômeno das “ilhas de calor”. Nesse contexto, a presente dissertação de mestrado possui como objetivo geral realizar uma análise comparativa da evolução histórica das ilhas de calor no município de Goiânia, capital do estado de Goiás, em relação ao crescimento urbano e as consequentes mudanças na cobertura do solo, tendo como recorte temporal o período de 1986 a 2010, valendo-se de dados de sensoriamento remoto para estimar os valores de temperatura superficial terrestre e técnicas de geoprocessamento. Para tanto, foram empregados as imagens do satélite Landsat 5 para os procedimentos de mapeamento de cobertura do solo de levantamento do campo térmico, sendo, no primeiro procedimento, realizado uma classificação automática no software Envi 4.5, definindo-se as classes de cobertura do solo: Cobertura Vegetal, Corpos Hídricos, Área Urbanizada e Agropecuária, e no segundo procedimento, executada a conversão das imagens do infravermelho termal em dados de temperatura superficial terrestre utilizando-se o software IDRISI versão Taiga, por meio do “módulo termal. Com base nos dados e nas análises realizadas, pode-se constatar que as temperaturas superficiais terrestre apresentaram certo padrão de variação espacial e, sobretudo, temporal, conforme as diferentes coberturas do solo. Enquanto as temperaturas mais elevadas – alcançando 36°C – ocorrem em maior proporção sobre as áreas urbanizadas, as temperaturas mais brandas – partindo de 19°C – são mais registradas nas áreas revestidas por cobertura vegetal e corpos hídricos. Na variação temporal, as áreas urbanizadas apresentam maior variação positiva da participação de valores elevados de TST, acompanhada de diminuição da presença de valores baixos. Isso demonstra o quanto essas áreas são as mais afetadas pela intensificação do fenômeno de ilhas de calor. Ao mesmo tempo em que constata-se o papel significativo das áreas verdes e corpos d’água como elementos eficazes na atenuação desse problema.

Palavras-Chave: Sensoriamento Remoto, Geoprocessamento, Ilhas de Calor.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Mapa de Localização do Município de Goiânia-GO	p. 4
Figura 2 – Gráfico do Crescimento Populacional de Goiânia-GO	p. 5
Figura 3 - Mapa do relevo em faixas hipsométricas de Goiânia – GO	p. 7
Figura 4: Mapa com o esquema de circulação atmosférica no Brasil	p. 9
Figura 5: Esquemática do Sistema Clima Urbano	p. 16
Figura 6: Sistema Clima Urbano – Articulações dos Subsistemas segundo os canais de percepção	p. 17
Figura 7: Subsistema Termodinâmico – Canal de percepção: conforto térmico	p. 19
Figura 8 – Perfil da Ilha de calor urbana conforme os diferentes usos do solo	p. 20
Figura 9: Mapa com isolinhas de temperatura superficial da região central dos Estados Unidos, registrada pelo TIROS II em 23 de novembro de 1960	p. 24
Figura 10: Passagem do satélite HCMM sobre Nova Iorque mostrando as diferenças de temperatura superficial nas áreas urbanas	p. 25
Figura 11: A ilha de calor da metrópole paulistana, obtida da imagem termal do satélite NOAA-7 do dia 16 de julho de 1981 (imagem gerada pelo INPE e tratada por meio do algoritmo desenvolvido pela autora)	p. 27
Figura 12: Balanço de radiação na atmosfera e superfície terrestre	p. 28
Figura 13: Janelas atmosféricas no espectro eletromagnético, com destaque para a janela compreendida na porção do infravermelho termal	p. 31
Figura 14: Intervalo do espectro eletromagnético, com destaque para as faixas do visível e do infravermelho termal	p. 38
Figura 15 – Mapa da Cobertura das cenas do satélite Landsat sobre o estado de Goiás, com destaque ao município de Goiânia.	p. 39
Figura 16: Composição colorida das bandas 5, 4 e 3 e banda 6 do satélite Landsat 5	p. 42
Figura 17: O agrupamento de pixel como pertencentes à determinada classe	p. 42
Figura 18: Pré-Processamento das imagens no software Envi 4.5 – Registro (A), Mosaico (B) e Máscara (C)	p. 43
Figura 19: Procedimentos de seleção de amostras e classificação supervisionada utilizando-se o algoritmo <i>Mahalanobis Distance</i>	p. 44
Figura 20: Procedimento de inspeção e correção da classificação de Cobertura do Solo	p. 45
Figura 21: Importando os arquivos ao software IDRISI (A) e convertendo-os ao seu formato padrão (B)	p. 46
Figura 22: Módulo <i>Thermal</i> existente no IDRISI para conversão dos níveis de cinza da imagem orbital em valores de temperatura superficial	p. 47

Figura 23: Caixa de definições do Módulo <i>Thermal</i> , com seleção da imagem a ser convertida e diretório de saída (A), seleção do satélite (B), definição da unidade de temperatura (C) e correção de emissividade (D)	p. 48
Figura 24: Delimitação dos intervalos das classes de temperatura superficial terrestre	p. 49
Figura 25: Mapa de Cobertura do Solo do município de Goiânia-GO em 1986	p. 53
Figura 26: Mapa de Cobertura do Solo do município de Goiânia-GO em 1996	p. 54
Figura 27: Mapa de Cobertura do Solo do município de Goiânia-GO em 2006	p. 55
Figura 28: Mapa de Cobertura do Solo do município de Goiânia-GO em 2010	p. 56
Figura 29: Gráficos de proporção da ocorrência de cada classe de Cobertura do Solo em Goiânia-GO – 1986/1996/2006/2010	p. 57
Figura 30: Crescimento da Área Urbanizada do município de Goiânia-GO entre 1986 e 2010	p. 59
Figura 31: Supressão da Cobertura Vegetal no município de Goiânia-GO entre 1986 e 2010	p. 61
Figura 32: Mapa de Temperatura Superficial Terrestre do município de Goiânia-GO – 1986.	p. 63
Figura 33: Mapa de Temperatura Superficial Terrestre do município de Goiânia-GO – 1996.	p. 64
Figura 34: Mapa de Temperatura Superficial Terrestre do município de Goiânia-GO – 2006.	p. 65
Figura 35: Mapa de Temperatura Superficial Terrestre do município de Goiânia-GO – 2010.	p. 66
Figura 36: Detalhes de amplitude na Temperatura Superficial de Goiânia-GO em 1986	p. 67
Figura 37: Detalhes de amplitude na Temperatura Superficial de Goiânia-GO em 1996.	p. 68
Figura 38: Detalhes de amplitude na Temperatura Superficial de Goiânia-GO em 2006.	p. 68
Figura 39: Detalhes de amplitude na Temperatura Superficial de Goiânia-GO em 2010	p. 69
Figura 40: Gráficos de proporção da ocorrência de cada classe de Temperatura Superficial Terrestre em Goiânia-GO – 1986/1996/2006/2010	p. 71
Figura 41: Gráfico da evolução da proporção (%) de cada classe de TST	p. 73
Figura 42: Gráficos da proporção de cada classe de TST por classe de cobertura do solo, por ano	p. 75
Figura 43: Mapa da Temperatura Superficial Terrestre na classe de cobertura do solo Corpos Hídricos - Goiânia-GO/2010	p. 80
Figura 44: Barragem do Ribeirão João Leite	p. 81
Figura 45: Córrego Botafogo	p. 81

Figura 46: Mapa da Temperatura Superficial Terrestre na classe de cobertura do solo Cobertura Vegetal - Goiânia-GO/2010	p. 82
Figura 47: Jardim Botânico	p. 82
Figura 48: Bosque dos Buritis	p. 83
Figura 49: Mapa da Temperatura Superficial Terrestre na classe de cobertura do solo Área Urbanizada - Goiânia-GO/2010	p. 84
Figura 50: Centro de Goiânia	p. 84
Figura 51: Mapa da Temperatura Superficial Terrestre na classe de cobertura do solo Agropecuária - Goiânia-GO/2010.	p. 85
Figura 52: Telhas de cerâmica frescas e seus valores de refletância solar	p. 90
Figura 53: Revestimentos metálicos frescos e seus valores de refletância solar	p. 90
Figura 54: Asfalto poroso desenvolvido pela pesquisa da Escola Politécnica (Poli) da USP	p. 91

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Quantificação das classes de cobertura do solo de Goiânia-GO – 1986/2010	p. 57
Tabela 2: Valores de Temperatura Superficial Terrestre registrados em Goiânia-GO	p. 72
Tabela 3: Área e proporção (%) de cada classe de TST por ano	p. 73
Tabela 4: Tabulação Cruzada das Classes de Cobertura do Solo e de Temperatura Superficial Terrestre, para cada ano	p. 77



LISTA DE QUADROS

Quadro 01: Subdivisões da Climatologia	p. 14
Quadro 2: Características dos Satélites LANDSAT	p. 35
Quadro 3: Características dos sensores TM e ETM+ do satélite Landsat	p. 36
Quadro 4: Principais características e aplicações das bandas do satélite LANDSAT 5	p. 37
Quadro 5: Data das imagens selecionadas para o mapeamento do campo térmico e classificação da cobertura do solo do município de Goiânia	p. 40
Quadro 6: Classes de temperatura definidas nos mapeamento da TST	p. 49



SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	p. 1
Caracterização da área de estudo	p. 2
Estrutura da dissertação	p. 10
CAPÍTULO 1 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO-METODOLÓGICA	p. 11
1.1 Uma breve discussão sobre paradigmas em Climatologia	p. 11
1.1.1 As correntes teórico-metodológicas da Climatologia	p. 12
1.1.2 Os ramos da ciência climatológica	p. 14
1.2 O Clima urbano	p. 14
1.2.1 O Sistema de Clima Urbano – S.C.U.	p. 16
1.3 O fenômeno de ilhas de calor	p. 20
1.4 O Sensoriamento Remoto nos estudos de ilhas de calor	p. 22
1.4.1 O histórico dos estudos que utilizaram dados orbitais na análise do fenômeno de ilhas de calor	p. 24
1.4.2 Os princípios físicos que norteiam o emprego do Sensoriamento Remoto nos estudos de Ilhas de calor	p. 27
1.4.2.1 A Temperatura Superficial Terrestre – TST	p. 27
1.4.2.2 Empecilhos do emprego do SR nos estudos de ilhas de calor	p. 29
1.4.3 Os satélites empregados nos estudos de ilhas de calor.	p. 33
1.4.3.1 A série de satélites Landsat (Land Remote Sensing Satellite)	p. 35
CAPITULO 2 - PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	p. 39
2.1 Operacionalização metodológica	p. 39
2.2 Mapeamento da Cobertura do Solo e Levantamento do Campo Térmico	p. 41
2.2.1 Procedimentos metodológicos empregados no mapeamento da Cobertura do Solo	p. 42
2.2.2 Procedimentos metodológicos empregados no levantamento do campo térmico	p. 45
2.3 Método	p. 50
CAPITULO 3 – O FENÔMENO DE ILHAS DE CALOR, SUA EVOLUÇÃO E SUA CORRELAÇÃO COM O PROCESSO DE CRESCIMENTO URBANO DE GOIÂNIA-GO	p. 51
3.1 O processo de Crescimento Urbano de Goiânia-GO	p. 51
3.1.1 Breve histórico do crescimento urbano de Goiânia até a década de 1980	p. 51
3.1.2 Mapeamento do crescimento urbano de Goiânia-GO entre 1986 e 2010	p. 52
3.2 O Fenômeno de ilhas de calor em Goiânia-GO	p. 62

3.2.1 A evolução do fenômeno de Ilhas de Calor em Goiânia-GO entre 1986 e 2010	p. 71
3.3 O papel do crescimento urbano no desenvolvimento da Ilha de Calor	p. 74
CONSIDERAÇÕES FINAIS	p. 87
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	p. 93



INTRODUÇÃO

A intensa expansão demográfica ocorrida nos últimos 200 anos, devido ao crescimento das atividades econômicas e ao desenvolvimento das tecnologias (os quais melhoram a expectativa de vida da população), propiciou um forte processo de crescimento urbano que tem desencadeado uma gama de impactos ambientais, oriundos da ocupação e transformação do meio natural sem um planejamento adequado e sustentável. Dentre esses problemas ambientais, ressalta-se a alteração do clima local – clima urbano –, como um importante reflexo do impacto da ocupação e da atividade antrópica sobre o meio ambiente.

O clima urbano, considerado como a alteração do clima local decorrente do processo de urbanização, é produto da ação do homem sobre o meio ambiente, principalmente no que diz respeito à alteração na superfície, no tocante à impermeabilização do solo e retirada da cobertura vegetal; à concentração de construções e atividades antrópicas, as quais armazenam e geram mais calor; à alteração na composição da atmosfera, por conta da poluição atmosférica; e à alteração da velocidade e fluxo dos ventos, desencadeada pela rugosidade e verticalização das construções antrópicas.

Nesse clima urbano é possível constatar diferenças nos elementos climáticos conforme a influência da cobertura do solo (essencialmente pelos materiais que a compõem), no que diz respeito à alteração no fluxo de matéria e energia sobre a atmosfera local. Convém salientar que o comportamento espacial simultâneo da temperatura se revela como o mais importante elemento nesse complexo sistema, tendo como principal produto o fenômeno das “ilhas de calor”.

Neste contexto, quando as diferenças simultâneas de temperatura ocorrem entre centro/área urbana (valores mais altos de temperatura) e periferia/área rural (valores mais baixos), denomina-se de ilha de calor a delimitação dessa(s) área(s) mais quente(s).

Os trabalhos pioneiros sobre clima urbano foram realizados por John Evelyn, em 1661, e Luke Howard, em 1833, ambos sobre a cidade de Londres. Desde então,

diversos trabalhos foram realizados, objetivando analisar e mensurar a influência do processo de urbanização – às vezes conjuntamente com outro(s) elemento(s) – no clima urbano.

Destaca-se então, a necessidade de um trabalho que aborde mais sistematicamente a influência da cobertura do solo, em meios urbanos, nos valores de temperatura superficial terrestre¹ com base na análise de séries históricas, haja vista a possibilidade de se verificar, por exemplo, o verdadeiro peso da ação antrópica na alteração do campo térmico superficial, independentemente da influência de outros elementos, como o topográfico. Soma-se a isso o fato da expansão das cidades resultar no aumento da intensidade das ilhas de calor.

Essa é a temática da presente dissertação de mestrado, que possui como **objetivo geral** realizar uma análise comparativa da evolução histórica das ilhas de calor no município de Goiânia, capital do estado de Goiás, com relação ao crescimento urbano e as consequentes mudanças na cobertura do solo, tendo como recorte temporal o período de 1986 a 2010.

Em particular, têm-se como **objetivos específicos**: 1) empregar dados de sensoriamento remoto para estimar os valores de temperatura superficial terrestre (TST) para o levantamento do desenho do campo térmico da cidade; 2) demonstrar detalhadamente os procedimentos metodológicos empregados para o levantamento dos valores de temperatura superficial terrestre (TST) com vistas à identificação das ilhas de calor; e 3) por meio de técnicas de geoprocessamento, mensurar e interpretar a correlação entre as temperaturas e as diferentes formas de cobertura do solo, nos períodos indicados para a pesquisa.

Caracterização da área de estudo

Este trabalho tem como área de estudo o município de Goiânia (Figura 1), cujo sítio urbano foi fundado em 24 de outubro de 1933, como uma cidade planejada para ser

¹ A temperatura superficial terrestre é um parâmetro físico que diz respeito ao fluxo de calor, dado em função do balanço de radiação que chega e que sai da superfície terrestre.

a capital do estado de Goiás, em substituição à antiga Vila Boa (atual Cidade de Goiás), atendendo aos anseios políticos, econômicos, sociais e ambientais² da época.

A mudança da capital ocorreu num período de transição política, social e ideológica, num esforço do país de enterrar o passado colonial e inserir-se no contexto capitalista mundial (CHAUL, 1999; RIBEIRO, 2004), sendo fruto da atuação política local e nacional, sendo a primeira sob perspectiva do interventor federal no estado de Goiás, Pedro Ludovico Teixeira, em seu interesse de desvincular a capital do domínio local da oligarquia dos Caiado, e a segunda, obra do presidente Getúlio Vargas, enquanto este pretendia efetivar o processo de acumulação capitalista nacional, seguindo sua política da “Marcha para o Oeste”. Portanto, a mudança da capital:

(...) extrapolava os interesses locais e regionais, onde a criação de um novo pólo urbano no centro do país, ao mesmo tempo o dinamizador da região e o ponto de ligação da economia de base urbano-industrial em expansão (RIBEIRO, 2004, p. 25).

Com uma população de 1.301.892 habitantes, segundo o censo demográfico de 2010, realizado pelo IBGE, Goiânia é considerada uma metrópole regional³. Destaca-se no comércio, na oferta de ensino superior, na prestação de serviços públicos (principalmente os de saúde), na agropecuária e na indústria, que geram um Produto Interno Bruto (PIB) anual de R\$ 17.867.338.000,00, o que perfaz uma renda per capita anual de R\$ 14.355,00, segundo dados do IBGE para o ano de 2007.

Por Goiânia apresentar tais características socioeconômicas, atraiu (e ainda atrai) um considerável fluxo de migrantes, oriundos principalmente dos estados de Minas Gerais, Bahia, Maranhão, Pará e Piauí (RIBEIRO, 2004). A esse processo, soma-se ainda o “êxodo rural promovido pela mudança no modo de produção no campo, a busca por emprego e melhores oportunidades” (idem, p. 22), responsável por uma forte atração de pessoas vindas do interior do estado, tanto das cidades quanto das zonas rurais.

² No tocante às características do sítio, Vila Boa apresentava-se inserida em meio a uma bacia hidrográfica com relevo acidentado, cercada por morros; apresentava fraca circulação dos ventos e elevados valores de temperatura do ar; e possuía, ainda, restrições de ordem sanitária, como o difícil abastecimento de água e a inexistência de uma rede de esgoto.

³ Conforme os trabalhos Região de Influência das Cidades (IBGE, 1993) e Caracterização e Tendências da Rede Urbana no Brasil (IPEA/UNICAMP/IBGE, 1999).

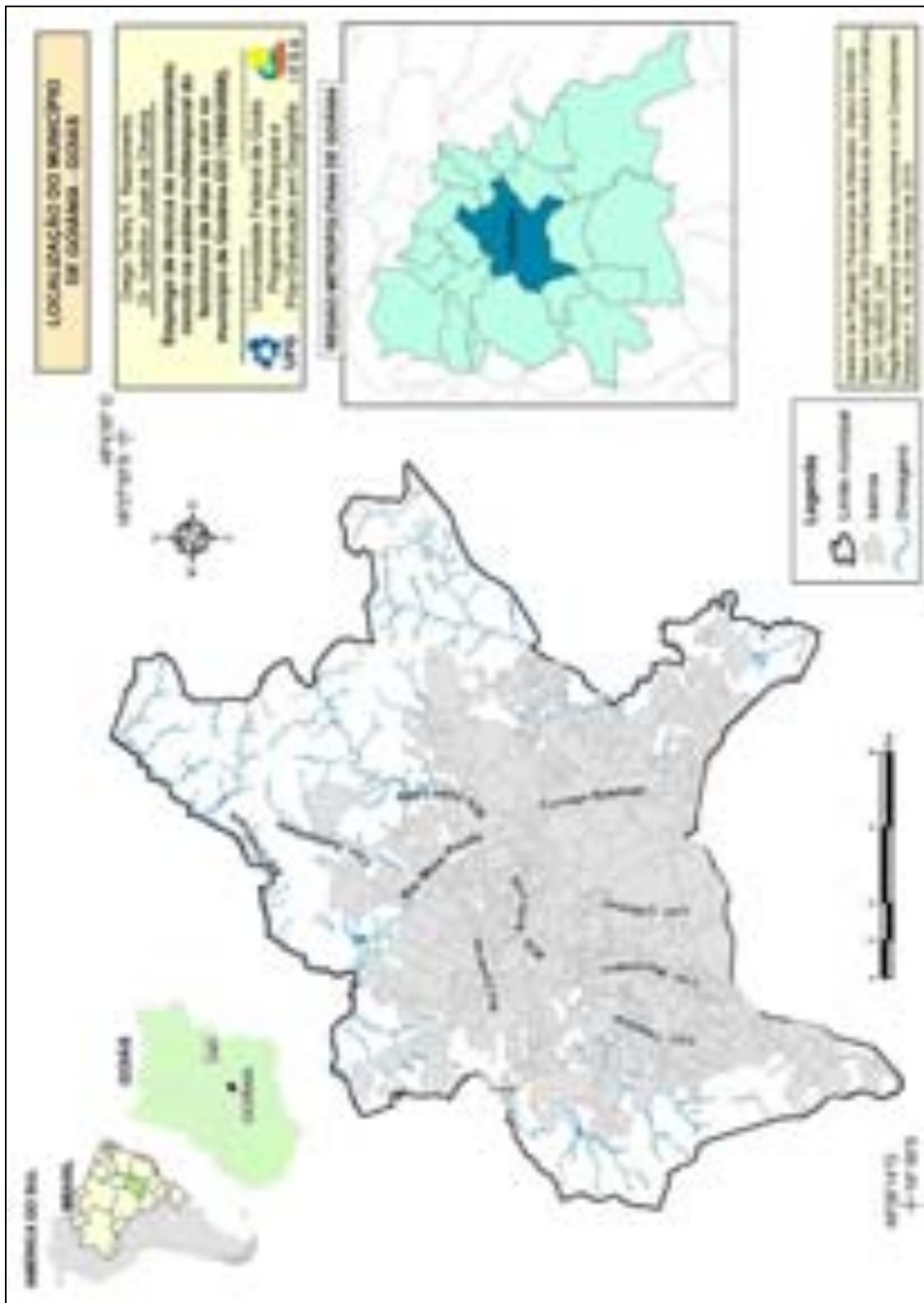
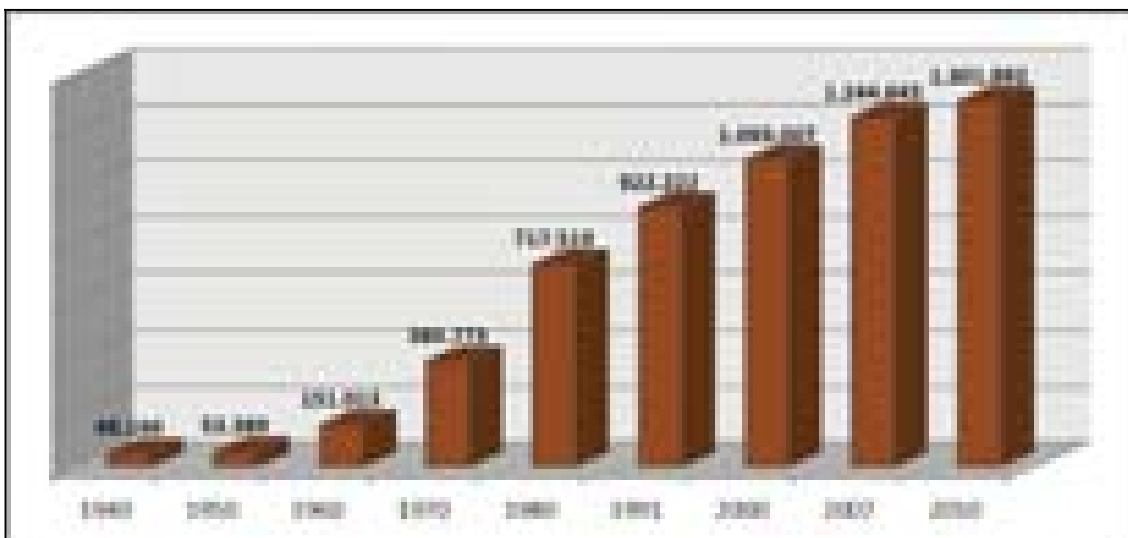


Figura 1: Mapa de Localização do Município de Goiânia-GO

Esse intenso fluxo migratório rumo à capital, juntamente com o crescimento vegetativo de 1,9%⁴ ao ano, condicionou (e condiciona) um vertiginoso processo de crescimento populacional (Figura 2) e também do espaço urbano, que já ocasionou inclusive a conurbação na região sul da área urbana de Goiânia com Aparecida de Goiânia e vem consolidando o mesmo fenômeno na região noroeste, com Goianira, na região oeste, com Trindade, e na região leste, com o município de Senador Canedo.



Fonte: Censos Demográficos, IBGE (1940, 1950, 1960, 1970, 1980, 1991, 2000, 2007 e 2010).

Figura 2: Gráfico do Crescimento Populacional de Goiânia-GO

Esse intenso processo de expansão demográfica e crescimento urbano, especialmente a partir da década de 1950, resultou numa gama de problemas socioambientais, entre os quais vale destacar a consolidação de um clima local (clima urbano) com repercussão, sobretudo, no campo térmico – algo já constatado por Casseti (1991), com a identificação de diferenças na temperatura do ar em dois pontos localizados no município, e por Nascimento e Barros (2009), com o mapeamento das temperaturas superficiais terrestres levantadas por sensoriamento remoto.

O sítio do município está inserido na área da Bacia do Rio Paraná, com a presença de duas sub-bacias, a do Ribeirão Anicuns, a sudoeste, e a do Ribeirão João Leite, a nordeste, ambos tributários do rio Meia Ponte. Também estão presentes no território goianiense algumas nascentes do Rio dos Bois, do Corumbá e do Caldas.

⁴ Porcentagem de incremento médio anual da população, no período de 1991 a 2000, segundo dados do IBGE/Contagem Populacional e Projeções Demográficas Preliminares.

Segundo Nascimento (1991), o município possui “cursos d’água volumosos, encaixados e controlados pela estrutura subjacente”, o que pode ser verificado na Figura 3.

Conforme também ilustrado pela Figura 3, o relevo local, inserido nos extensos chapadões tabulares do planalto brasileiro, apresenta altitudes que variam entre 853 e 1.037m, na porção nordeste, correspondente ao Planalto Dissecado de Goiânia; de 853 a 902m na porção sudoeste, correspondente aos Chapadões de Goiânia; e entre 661 e 756m, nos terraços e planícies do Rio Meia Ponte (CASSETI, 1991).

Originalmente, o setor setentrional do município apresentava vegetação arbórea densa, classificada como Floresta Estacional Semidecídua e Decídua, enquanto a porção meridional apresentava vegetação típica de Cerrado, com alguns encraves de Floresta Estacional (LOPES; ROMÃO, 2006). Tal divisão setentrional/meridional da vegetação guarda estreita relação com a ocorrência geológica, no norte, do Complexo Granulítico Anápolis-Itauçu (com ocorrências de para e ortogranulitos, metagranitóides e rochas metabásicas e metavulcanosedimentares), e, no sul, do Grupo Araxá (composto por micaxistos e quartzitos). De acordo com Lopes; Romão (2006, p. 18), “aos distintos grupos geológicos associam-se distintos padrões de relevo, solos e vegetação que [...] determinam o uso e ocupação da terra”.

A localização geográfica (entre as coordenadas 16° 27’ 30” e 16° 50’ de latitude Sul e 49° 4’ 30” e 49° 26’ 14” de longitude Oeste) confere ao município de Goiânia o tipo climático identificado como Cwa, na classificação de Köppen (KÖPPEN; GEIGER, 1928). Isso indica que Goiânia apresenta um clima subtropical quente, com inverno seco, temperatura média do mês mais frio menor que 18°C e do mês mais quente maior que 22°C. Segundo Monteiro (1951), em um estudo sobre o clima da região Centro-Oeste, o total pluviométrico para a região na qual se insere Goiânia é de, aproximadamente, 1.570mm, a média anual da temperatura do ar é de 21,2°C, com uma média de 22,3°C na estação mais quente (verão, entre dezembro e fevereiro), e de 19°C na estação mais fria (inverno, entre junho e agosto).

Com relação ao clima regional, observa-se, na Figura 4, a ocorrência, durante o ano, de centros de ação negativos de origem continental – massas Equatorial Continental e Tropical continental –, e centros de ação positivos individualizando-se sob a forma de massas de ar de origem marítima – massas Tropical Atlântica e Polar Atlântico. Essas massas de ar se deslocam sobre o continente, ora avançando, ora recuando (MONTEIRO, 1951; CAMPOS et al., 2002).

Além das massas de ar destacadas anteriormente, o município de Goiânia sofre influência de outro sistema atmosférico considerável: a Zona de Convergência do Atlântico Sul – o que Nimer (1976) considera como sendo as Linhas de Instabilidade Tropical (IT's). Esse sistema atmosférico resulta da intensificação do calor e da umidade provenientes do encontro de massas de ar quente e úmida da Amazônia e do Atlântico Sul (mEc e mTa) na porção central do Brasil, sendo verificada desde o sul da região Amazônica até a porção central do Atlântico Sul, em uma alongada distribuição de nebulosidade de orientação NW/SE (vide Figura 3), que repercute em um período de estiagem durante o período chuvoso, conhecido como veranico (NIMER, 1976).

Os ventos em Goiânia foram estudados por Caseti (1999), que reconheceu o domínio, de maio a outubro (outono e inverno), de “fluxos de leste e sudeste, associados à dinâmica atmosférica comandada principalmente pela massa Tropical Atlântica”, o que acarreta certa estabilidade atmosférica⁵. De novembro a março (verão e primavera) ocorre o predomínio de fluxos de noroeste e norte, condicionados pela expansão da Depressão do Chaco⁶, e que se traduzem na massa Equatorial Continental, o que resulta em um período de instabilidade atmosférica, responsável pelo período chuvoso.

Portanto, considera-se que o clima de Goiânia é justificado pelos sistemas regionais de circulação atmosférica que atuam na região Centro-Oeste e pelas características geográficas do município, sobretudo a altitude, posição latitudinal e ausência de corpos hídricos consideráveis. Isso faz com que apresente um verão quente e chuvoso, uma primavera com as temperaturas mais elevadas do ano e um inverno seco com elevada amplitude térmica (NASCIMENTO; et. al. 2006).

⁵ Além de haver um aumento da velocidade dos ventos, algo visto principalmente nos meses de agosto e setembro no município

⁶ A qual funciona como uma zona de depressão barométrica, que se expande no verão e primavera por conta do maior ganho de insolação e, por conseguinte, do aquecimento do continente.



Figura 4: Mapa com o esquema de circulação atmosférica no Brasil

Em um estudo sobre o comportamento das máximas e mínimas temperaturas do ar em Goiânia, Nascimento e Luiz (2007) indicam que as temperaturas mais elevadas durante o ano ocorrem no mês de outubro (primavera), com média mensal de 28,7°C. Os meses mais frios, por sua vez, correspondem a junho e julho (inverno), com média das mínimas variando entre 20,4°C e 21,8°C e média mensal de 25,1°C.

Estrutura da dissertação

A presente dissertação foi estruturada na forma de três capítulos. O primeiro deles apresenta o referencial teórico-metodológico que norteou a pesquisa, essencialmente sobre os pressupostos teóricos dos principais autores acerca das temáticas inerentes ao *clima urbano* e ao fenômeno de *ilhas de calor*. Também abarca as discussões metodológicas relativas ao emprego do sensoriamento remoto em estudos de ilhas de calor, abordando as possibilidades e as limitações de tal metodologia.

No segundo capítulo são transcritos detalhadamente os procedimentos metodológicos empregados no levantamento da temperatura superficial terrestre – assim como na classificação da cobertura do solo –, com vistas a contribuir com outros trabalhos que porventura venham a empregar tais procedimentos na análise das ilhas de calor.

O terceiro e último capítulo inclui a análise comparativa da evolução histórica das ilhas de calor no município de Goiânia, em relação ao crescimento urbano, no recorte temporal estipulado para a pesquisa (entre 1986 e 2010), com a mensuração e interpretação das possíveis correlações existentes entre as temperaturas e as diferentes formas de cobertura do solo.

Por fim, o trabalho é encerrado com considerações acerca dos resultados encontrados, das vantagens, potencialidades e deficiências encontradas num estudo dessa natureza, bem como a apresentação de sugestões de procedimentos teórico-metodológicos para futuros trabalhos sobre essa temática.

CAPÍTULO 1:

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO-METODOLÓGICA

1.1 Uma breve discussão sobre paradigmas em Climatologia

Perante qualquer trabalho que verse sobre a ciência climatológica é bastante oportuno discutir a diferença existente entre a Climatologia e a Meteorologia, pois ambas as ciências possuem o mesmo objeto de estudo – a atmosfera –, mas com noções, escalas e naturezas distintas.

A ciência climatológica se fundamenta como um ramo da Geografia Física, preocupada com o entendimento dos processos e mecanismos atmosféricos e dos elementos climáticos e a interação desses com a superfície terrestre, verificados durante um longo período de tempo (normalmente 30 anos), sempre considerando sua distribuição espacial. Em contrapartida, a Meteorologia é fruto da Física, sendo responsável pelo entendimento dos fenômenos físicos que ocorrem sobre a atmosfera, sempre atentando para a “[...] medida desses fenômenos, as condições físicas em que são produzidos, a natureza das relações que existem entre eles e os fatores que os condicionam” (SORRE, 2006, p. 89).

Todavia, ao mesmo tempo em que possuem tamanhas diferenças, uma ciência entremeia a outra. Isso porque o profissional meteorologista, “ao estudar os meteoros, está também preocupado com o registro e a medição destes fenômenos atmosféricos” (ZAVATTINI, 2000, p. 28), ao passo que “o climatólogo não pode dar um passo sem utilizar os resultados gerais e particulares da meteorologia” (SORRE, 2006, p. 89). Esse jogo de diferenças e semelhanças chega ao ponto em que a climatologia é considerada por muitos como sendo “uma meteorologia projetada a médio e longo prazo em escala zonal ou muito amplamente regional” (GEORGE, 1978, p. 66 apud ZAVATTINI, 2000, p. 27).

Talvez mais importante do que discutir a essencial distinção entre as duas ciências, seja analisar a noção fundamental do que venha a ser o clima.

O conceito de clima possui uma peculiar divergência perante as leituras dos textos clássicos de autores como Julius Hann, Max Sorre e Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro.

Hann (apud BARROS; ZAVATTINI, 2010, p. 256) considera o clima como sendo “o conjunto de fenômenos meteorológicos que caracterizam o estado médio da atmosfera em um ponto da superfície terrestre”, conceito este, segundo Barros e Zavattini (2010), que encara o clima como sendo uma média, uma abstração, sendo incapaz de revelar a realidade de forma concreta.

Em Sorre (2006, p. 91), o clima é compreendido como “o ambiente atmosférico constituído pela série de estados atmosféricos acima de um dado lugar em sua sucessão habitual dos tipos de tempo”, conceito este que considera os estados da atmosfera em sua totalidade.

Monteiro, nas palavras de Barros (2003, p. 24), “inconformado com a natureza dos estudos de climatologia realizados até então, (...) inaugura, na década de 1960, uma nova abordagem para as análises climáticas”. O autor insere a noção de ritmo, a qual fundamenta que, para qualquer análise climática, é necessário recorrer à dinâmica atmosférica, por meio da análise da circulação atmosférica regional. Monteiro defende o conceito de clima como sendo a sucessão dos fenômenos climáticos, considerando “que a abordagem alcança o nível geográfico quando colocamos a análise dos tipos de tempo em sequência contínua” (MONTEIRO, 1969, p. 13 apud BARROS, 2003, p. 25-26).

1.1.1 As correntes teórico-metodológicas da Climatologia.

O desenvolvimento da abordagem do pensamento climatológico tem como primórdio a introdução da climatologia como ciência, respaldada na tendência de uma climatologia separatista (tradicional), apresentando no decorrer do tempo uma mudança: passa, inicialmente, a uma climatologia considerada como dinâmica, e, em seguida, a uma climatologia retratada como “geográfica”.

A Climatologia Tradicional, comumente chamada de Analítico-Separatista, por Monteiro, e Separativa, por Pédelaborde, consistia no estudo separado dos elementos do clima, com base nas observações meteorológicas realizadas, empregando-se exageradamente de médias, possuindo, por isso, um caráter essencialmente quantitativo

(BARROS; ZAVATTINI, 2010). Seus principais representantes foram o meteorologista austríaco Julius Von Hann e o climatologista e meteorologista russo Wladimir Peter Köppen.

Com a restrição ao método analítico e os primórdios do entendimento da circulação geral, surge uma Climatologia Dinâmica – também conhecida como Sintética. Tal corrente “faz uma análise do complexo atmosférico em porções individualizadas (massas de ar) e seus conflitos (frontologia)” (MONTEIRO, 1962 apud BARROS, 2003, p. 23). Como principais seguidores dessa corrente, têm-se os nomes dos geógrafos franceses Maximilian Sorre e Pierre Pedelaborde e do geógrafo brasileiro Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro.

Diante do exposto, é bastante oportuno ressaltar que ambas as correntes podem (e devem) caminhar juntas, como bem salientam as seguintes passagens:

O método tradicional apenas quantifica e generaliza, enquanto o método dinâmico busca a gênese dos fenômenos, explicando e desvendando os processos (BARROS, 2003, p. 28).

[...]

A abordagem dinâmica não pretende invalidar ou substituir aquela analítico-separatista tradicional, de caráter eminentemente estático. É um complemento necessário ao aprimoramento dos conhecimentos climatológicos do globo. As duas técnicas de análise, que devem andar juntas, assumem atitudes diferentes em suas projeções no tempo e no espaço (MONTEIRO, 1969, p. 14 apud BARROS, 2003, p. 28).

[...]

Acreditamos que a verdadeira compreensão da síntese climática de um lugar advirá do equilíbrio entre os dois tratamentos (BARROS, 2003, p. 29).

É perante a Climatologia Dinâmica que Sant’Anna Neto (2001, p. 55) considera a abordagem de uma mais recente corrente da ciência, identificada como “Climatologia Geográfica”, embasada pela análise geográfica e fundamentada numa perspectiva que se sustenta no tripé: ritmo climático/ação antrópica/impacto ambiental. O mesmo autor atribui a concepção de tal corrente a Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro, por todo seu arcabouço teórico e metodológico.

1.1.2 Os ramos da ciência climatológica

O campo da climatologia é bastante amplo e se ramifica em diversas divisões, com base em seus tópicos/temas e escalas. Algumas dessas subdivisões são descritas no Quadro 1, a seguir.

Quadro 01: Subdivisões da Climatologia

Climatologia regional	Ocupa-se da descrição dos climas em áreas selecionadas da Terra.
Climatologia sinótica	Preocupa-se com a análise do tempo e do clima em uma área com relação ao padrão de circulação atmosférica predominante.
Climatologia física	Investiga o comportamento dos elementos do tempo ou dos processos atmosféricos em termos de princípios físicos.
Climatologia dinâmica	Analisa os movimentos atmosféricos em várias escalas, particularmente a circulação geral da atmosfera.
Climatologia aplicada	Enfatiza a aplicação do conhecimento climatológico e dos princípios nas soluções de problemas práticos.
Climatologia histórica	Ocupa-se do estudo do desenvolvimento dos climas através do tempo histórico.
Climatologia agrícola	Estuda os recursos hidroclimáticos visando a regionalização, mapeamento e zoneamento climático-agrícola.
Bioclimatologia	Investiga as interações entre a biosfera e a atmosfera.
Climatologia urbana	Ocupa-se da investigação do impacto da urbanização no clima local.

Fonte: Adaptado de Ayoade (2003).

Diante do exposto, ressalta-se a última subdivisão listada na Tabela 1, a climatologia urbana, por ser aquela empregada no presente estudo, sendo mais bem explanada no tópico que segue.

1.2 O Clima urbano

O estudo do clima urbano se baseia numa linha de pesquisa da climatologia responsável pela compreensão do clima da cidade, enfocando inicialmente uma análise espacial local (clima local) que se estende a níveis regionais (clima regional) e globais (clima zonal/global), destacando-se, em cada escala, a influência urbana (COLTRI, 2006).

Considerando-se que na organização geográfica do clima têm-se diferentes “ordens de grandeza” ou “graus de organização”, como climas zonais, regionais e

locais (MONTEIRO, 1976), Landsberg (2006) considera como clima urbano a perspectiva de escala do clima local, haja vista que é nessa escala que a ação antrópica age como fator de organização (integrando as características geoecológicas) e onde se processam as maiores alterações na atmosfera.

A literatura sobre trabalhos que versem sobre o clima urbano é bastante vasta, principalmente a internacional, sendo pioneiros os trabalhos de John Evelyn, em 1661, que analisou o impacto da contaminação da atmosfera de Londres por conta da combustão do carvão das indústrias, e Luke Howard, em 1833, sobre a mesma cidade, cujos registros meteorológicos apontavam diferenças entre a cidade e o campo⁷. Todavia, os trabalhos de Landsberg (1956) e Chandler (1965), realizados já no século XX, foram os primeiros a pautarem o fenômeno urbanização como indutor do clima urbano (COX, 2008).

No Brasil, são referências os nomes de Tavares (1975), que estudou o clima local de Campinas - SP; Monteiro (1976), que desenvolveu todo um referencial teórico para estudos de clima urbano; Sartore (1979), responsável pelo primeiro estudo de clima urbano de cidades de médio porte (Santa Maria - RS); e Lombardo (1985), que se utilizou do referencial teórico elaborado por Monteiro para investigar o fenômeno de ilhas de calor na metrópole de São Paulo, desenvolvendo todo um arcabouço metodológico – inclusive com uso de dados levantados por sensores orbitais.

Nesse sentido, o clima urbano pode ser definido como “um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização” (MONTEIRO, 1976, p. 95), sendo um sistema complexo, dinâmico, adaptativo e aberto que, recebendo energia do ambiente maior no qual se insere, a transforma substancialmente (MONTEIRO, 1976; MONTEIRO; MENDONÇA, 2003).

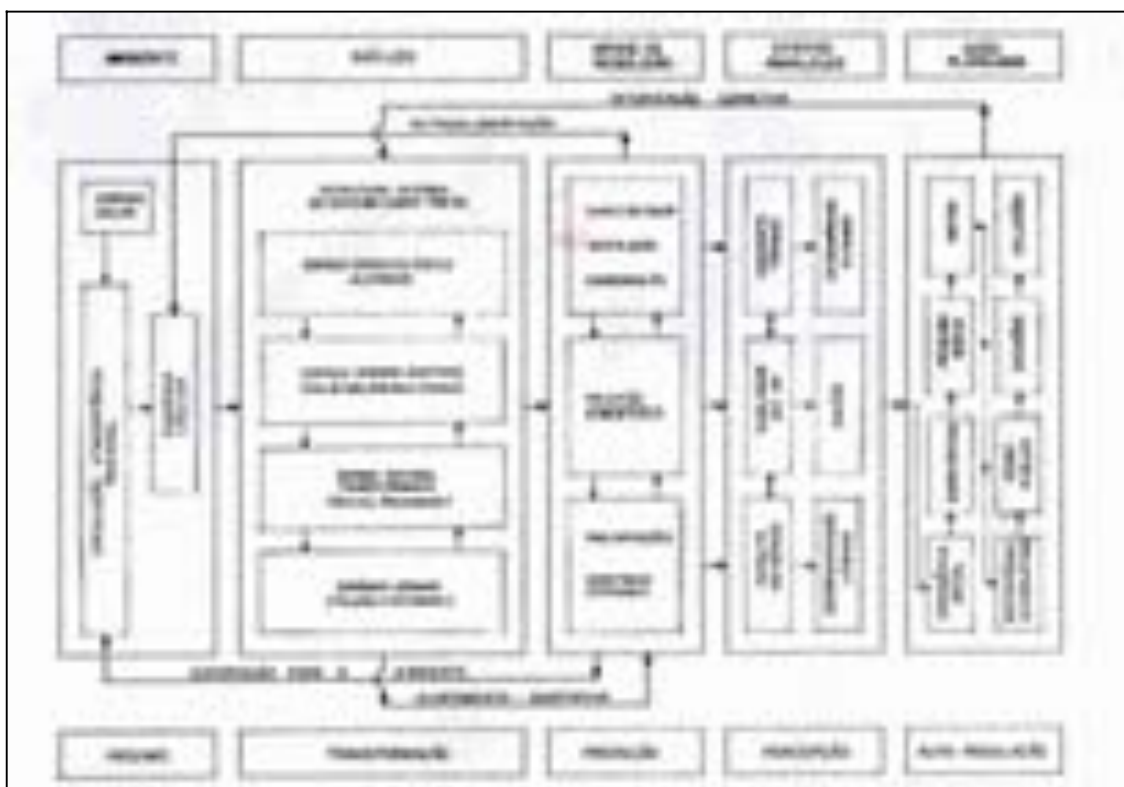
Monteiro (1976), em sua tese de livre docência, desenvolveu a teoria do “Sistema de Clima Urbano – S.C.U.”, visando compreender a organização climática peculiar da cidade.

⁷ O autor verificou 50,50° F (10,2° C) nas partes mais densas da metrópole em comparação com a temperatura média de cerca de 48,50° F (9,16° C) – portanto, uma diferença de 2° F, ou 1,1° C.

1.2.1 O Sistema de Clima Urbano – S.C.U.

Para o desenvolvimento da Teoria do “Sistema Clima Urbano (S.C.U.)”, Monteiro (1976) embasou-se no referencial teórico da “Teoria Geral dos Sistemas” de Bertalanffy (1977), por considerá-la como capaz de revelar a essência de um fenômeno tão complexo como o clima urbano e por utilizar-se de uma perspectiva organística em oposição ao “esquema mecanicista das séries causais isoláveis e do tratamento por partes” (BERTALANFFY, 1977, p. 28). O autor também se espelhou na teoria dos Geossistemas, tratando-a como “uma concepção teórica de efetiva integração nas diferentes esferas que compõem o escopo geográfico” (MONTEIRO, 2001, p.11).

O Sistema Clima Urbano importa energia do seu ambiente, desempenhando um processo contínuo de transformação. Essa energia possui natureza térmica, advinda da transformação de energia primária de toda a Terra, o Sol, sendo alimentada pelo calor antropogênico e retroalimentada na dinâmica da superfície, no tocante à circulação atmosférica regional, conforme representado pela Figura 5.



Fonte: Monteiro (1975).

Figura 5: Esquemática do Sistema Clima Urbano

Dentre estes subsistemas, destaca-se aqui o termodinâmico, que, segundo Monteiro (1976, p. 126), caracteriza-se como o “nível fundamental de resolução climática para onde convergem e se associam todas as outras componentes”. Este subsistema apresenta um desenvolvimento contínuo e possui, como principal produto, as ilhas de calor – fenômeno em análise nesta pesquisa.

Conforme representado na Figura 7, considera-se como causa essencial para as mudanças climáticas locais – essencialmente as “ilhas de calor” – o **processo de crescimento urbano**, no que diz respeito à alteração na superfície e no material que a compõem, ao calor gerado pelas construções e atividades antrópicas, às alterações na composição da atmosfera e na velocidade e fluxo dos ventos. Associado às características do sistema ecológico e meteorológico local, o processo de crescimento urbano gera uma modificação do balanço de energia da atmosfera urbana (MONTEIRO, 1975; LANDSBERG, 2006; GARCIA-CUETO, 2007).



Fonte: Monteiro (1975).

Figura 7: Subsistema Termodinâmico – Canal de percepção: conforto térmico.

Bias, Baptista e Lombardo (2003. p. 1742) afirmam que,

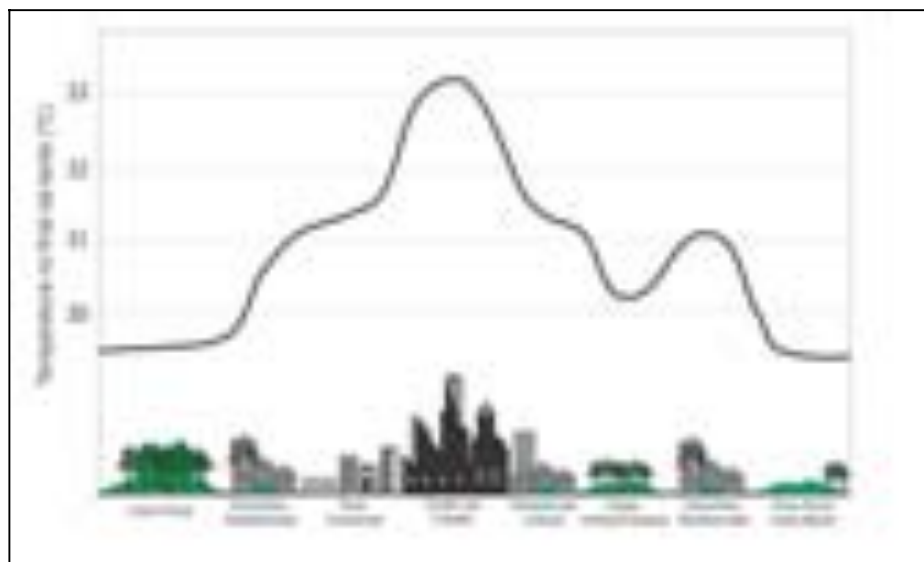
[...] dependendo do albedo, mais radiação será absorvida e mais calor será emitido pela superfície. Esses padrões diferenciados de emissão de calor acabam determinando uma temperatura mais elevada no centro e, à medida que se afasta deste, em direção aos subúrbios, as temperaturas tendem a diminuir.

Portanto, as ilhas de calor se originam essencialmente na diferença do balanço de radiação existente entre a superfície urbana central e a periférica. A energia que

provém da radiação solar é dividida entre calor latente e calor sensível, sendo o primeiro utilizado nas transformações físicas (principalmente na evapotranspiração) e o segundo empregado no aquecimento do ar. Quando há uma menor proporção de superfícies hídricas e cobertura vegetal, uma menor quantidade de energia é gasta na evapotranspiração – calor latente –, resultando em uma maior quantidade de energia para aquecer a temperatura do ar – calor sensível – (VOOGT; OKE, 1997; SOUCH; GRIMMOND, 2006).

1.3 O fenômeno de ilhas de calor

O fenômeno de ilhas de calor é a mais bem conhecida modificação climática de ordem antropogênica. As ilhas de calor são consideradas como uma anomalia térmica resultada do processo de crescimento urbano, no tocante a alteração da superfície (essencialmente no que se refere aos materiais que a compõem) e da atmosfera local, que favorecem a absorção do fluxo de radiação solar (CAMARGO et al., 2007). Isso propicia um aumento significativo da “irradiação de calor para a atmosfera [nas regiões centrais] em comparação com as zonas periféricas ou rurais”, onde não se processa uma ocupação tão intensa do solo (TEZA; BAPTISTA, 2005, p. 3911) – Vide Figura 8.



Fonte: Environmental Protection Agency, 2005.

Figura 8 – Perfil das ilhas de calor urbana conforme os diferentes usos do solo

Decorrente desse aumento de temperatura nas áreas centrais (mais ocupadas) se processa a formação de uma zona de baixa pressão, modificando o sistema de ventos

locais, essencialmente no que diz respeito à velocidade e ao fluxo de ventos⁸. Por sua vez, os ventos sopram para essa zona de baixa pressão, haja vista que o movimento do ar se dá pelos contrastes de pressão atmosférica, acrescentando mais poluentes aos já originados pelas atividades antrópicas ali desenvolvidas (BIAS; BAPTISTA; LOMBARDO, 2003; LOMBARDO, 1985; TEZA; BAPTISTA, 2005). Uma maior quantidade de material particulado no ar (poluentes), além de favorecer uma maior absorção e emissão de calor, resulta num aumento de núcleos de condensação de umidade que gera, por conseguinte, um aumento de precipitação (inclusive de intensidade) nos centros urbanos. Ou seja, consolidando um fenômeno cíclico e intensificador.

Voogt e Oke (1997) consideram como causas para a existência de ilhas de calor dois elementos: a condição da superfície e os controladores atmosféricos. O primeiro elemento se traduz na cobertura do solo, na topografia, na estrutura urbana e nas funções e atividades antrópicas, enquanto o segundo diz respeito aos sistemas atmosféricos e aos ventos (direção e intensidade), ambos os elementos influenciando na condição da estrutura térmica da superfície.

Convém destacar a ressalva apresentada por Landsberg (2006), ao afirmar que muitos dos contrastes observados entre centro e periferia das cidades seriam resultados essencialmente da própria topografia e provavelmente ocorreriam mesmo sem a influência do crescimento da cidade, a qual simplesmente atuaria como potencializadora. Um exemplo da maior influência da topografia em oposição ao uso e ocupação do solo na variação espacial das temperaturas superficiais é apresentado no trabalho de Nascimento, Sousa e Oliveira (2009), que analisa dados obtidos por sensores remotos, no município de Minaçu, no norte do estado de Goiás. Os resultados apresentados nesse trabalho mostraram uma correlação negativa direta entre a variação das temperaturas superficiais e as faixas de altitudes, o que não ocorreu na comparação entre as temperaturas e os diferentes tipos de uso da terra.

A anomalia térmica advinda das ilhas de calor possui diferentes escalas, primordialmente uma espacial, considerando que a variação espacial simultânea da temperatura pode ocorrer tanto na zona intraurbana quanto entre a zona urbana e a rural

⁸ Isso porque conforme varia a temperatura, varia a pressão atmosférica que, por conseguinte, determina a circulação dos ventos locais.

do município. Sem embargo, como todo fenômeno ambiental, apresenta ainda uma variação (evolução) temporal (COLTRI et al., 2007) – o qual será o método de investigação no presente trabalho, tendo por base a série histórica de dados levantados por sensores remotos.

Vários são os métodos de investigação de ilhas de calor. A utilização de dados meteorológicos provenientes de estações meteorológicas oficiais (a exemplo do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET) e a coleta local de dados de temperatura do ar em miniabrigos termométricos ou em transectos móveis são os mais indicados, pela confiabilidade do valor real dos dados. Porém, sua espacialização não apresenta a adequação quanto à compreensão do fenômeno, visto que a representação dos valores de temperatura do ar em isolinhas não informa a real extensão dos valores, mas sim a extensão da variação entre aqueles coletados, resultando, assim, numa forte generalização (MONTEIRO; MENDONÇA, 2003). Uma imensa dificuldade neste método é a quantidade de pontos de coleta de dados, bem como a sua espacialização.

A inexistência de uma rede de estações meteorológicas que possam fornecer dados de áreas relativamente extensas, associada à grande dificuldade de acesso aos dados de temperatura do ar, fez com que o sensoriamento remoto passasse, especialmente a partir da década de 1970, a ser bastante empregado na identificação e análise do fenômeno de ilhas de calor. Partiu-se do pontual, outrora com base em dados proveniente de estações meteorológicas, ao contínuo espacial e sinóptico.

1.4 O Sensoriamento Remoto nos estudos de ilhas de calor

O sensoriamento remoto pode ser compreendido como “a forma de obter informações de um objeto ou alvo, sem que haja contato físico com o mesmo” (ROSA, 2001, p.1), haja vista que diferentes objetos refletem/emitem diferentes quantidades de energia, em comprimentos de ondas distintos, que são registradas pelos sensores remotos na forma de valores radiométricos associados a cada pixel da imagem, e traduzidos como variações tonais de cinza.

O sensoriamento remoto no infravermelho termal, compreendido entre o intervalo de 8 a 14 μ m do espectro eletromagnético, é fundamentado no princípio de que todo objeto e superfície que possua temperatura acima do zero absoluto (0 K) emitem

energia eletromagnética. Sem embargo, alguns sensores remotos têm a capacidade de detectar a radiação em ondas longas emitida na faixa do infravermelho termal, assim considerada por ser nesta faixa que é detectada a radiação emitida pelos objetos, cujos valores variam em função de sua temperatura (STEINKE; STEINKE; SAITO, 2004).

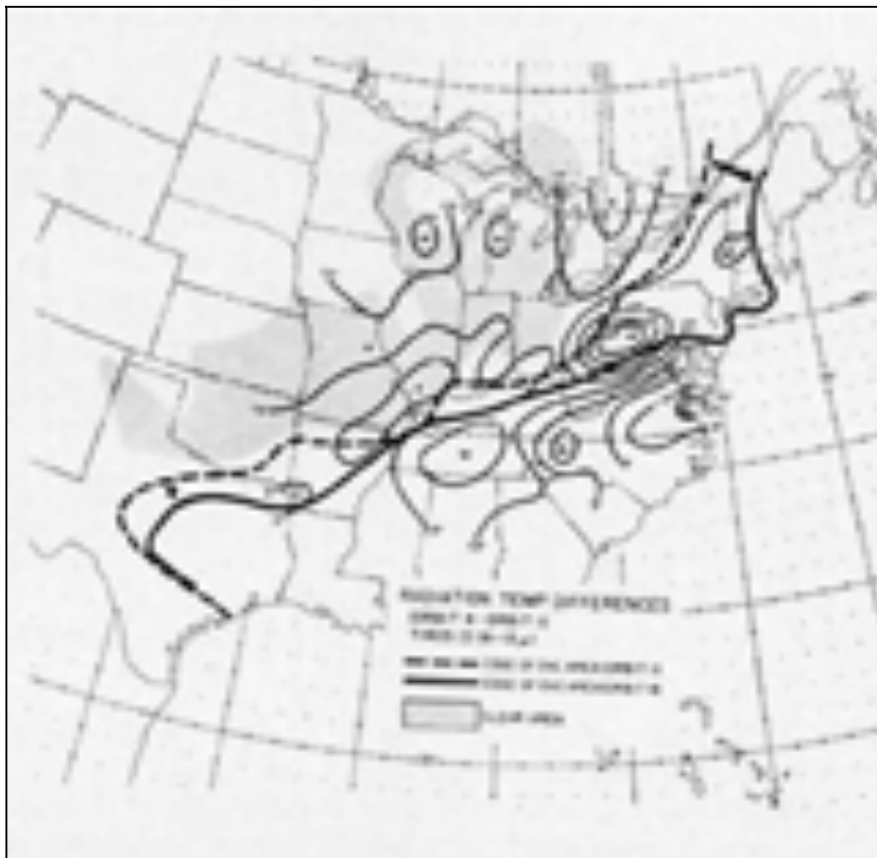
Ao considerar tal característica dos sensores, e o estipulado pela Lei de Plank, segundo a qual “quanto maior a temperatura de um dado comportamento de onda, maior será a quantidade de energia emitida por um corpo negro” (BIAS; BAPTISTA; LOMBARDO, 2003, p. 1742), pode ser possível levantar a temperatura de determinado local ou objeto por meio da transformação dos níveis de cinza das imagens termais em valores de temperatura aparente, baseando-se, para isso, na aplicação de um algoritmo.

Jensen (2007) destaca os satélites pioneiros na aplicação de dados do infravermelho termal, apontando como pioneiro o satélite *U.S. Television IR Operation Satellite* (TIROS), desenvolvido na década de 1960, com resolução grosseria, usado no monitoramento de padrões regionais de nuvens e movimento de frentes. Ainda segundo este mesmo autor, os primeiros estudos dedicados especificamente ao levantamento de valores de temperatura da superfície em escala regional e local valeram-se de satélites de baixa resolução espacial, como os da família NOAA – *National Oceanic and Atmospheric Administration* (sensor AHVRR, com 1km de resolução espacial), utilizados, por exemplo, nos trabalhos de Lombardo (1985), Paiva (2005) e Gusso, Fontana e Gonçalves (2007).

Contudo, as últimas duas décadas verificaram uma gigantesca evolução do sensoriamento remoto, consubstanciado pela evolução dos sistemas orbitais, essencialmente no que diz respeito à resolução espacial e/ou espectral, e também na disponibilidade de imagens. Essa evolução tecnológica possibilitou um maior emprego de dados obtidos em estudos sobre as características térmicas superficiais, por diferentes sensores remotos, como, por exemplo, os sensores MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), e ASTER (*Advanced SpaceBorne Thermal Emission and Reflection Radiometer*), ambos a bordo do satélite TERRA; o IRMSS, a bordo do CBERS; e os sensores TM e ETM+, ambos dos satélites da série Landsat.

1.4.1 O histórico dos estudos que utilizaram dados orbitais na análise do fenômeno de ilhas de calor

Um dos primeiros estudos que empregou dados orbitais de sensoriamento remoto na análise de ilhas de calor foi realizado por Sigmund Fritz, em 1963, no qual foram utilizados dados do satélite TIROS II para análise da variação diuturna da temperatura superficial da região central dos Estados Unidos – vide Figura 9. O autor chama a atenção para a relevância dos instrumentos a bordo de satélites serem bastante úteis em estimativas da variação temporal da temperatura superficial.



Fonte: FRITZ, 1963.

Figura 9: Mapa com isolinhas de temperatura superficial da região central dos Estados Unidos, registrada pelo TIROS II em 23 de novembro de 1960

Outro estudo de grande importância foi aquele desenvolvido por Rao (1972), que utilizou mensurações termais orbitais com resolução espacial de 7,4 km obtidas por meio do *Scanning Radiometer* (SR), a bordo do satélite *Improved TIROS* (ITOS-1), para demonstrar que um corredor urbano entre *New York, Philadelphia, Baltimore e Washington – DC* poderia ser delineado. Desde então, outros estudos têm sido

realizados por pesquisadores de todo o globo terrestre, utilizando-se de diferentes sensores orbitais.

Logo em seguida, foi publicado no periódico *Monthly Weather Review*, em 1979, o artigo de autoria do físico John C. Price, no qual é destacado o crescente interesse nas pesquisas de meteorologia urbana por conta das implicações da poluição na saúde humana. Neste estudo, o autor empregou dados orbitais do *HCMM (Heat Capacity Mapping Mission)* – lançado em 26 de abril de 1978 – para obter dados de infravermelho termal na faixa de 10.5 a 12.5 μm , com resolução espacial de 500 m^2 , para estudos de ilhas de calor em Nova Iorque e outras cidades em seus arredores. Com base nos registros das temperaturas verificadas nas áreas central e periférica das cidades analisadas (Figura 10), o autor registrou contrastes de até 17°C em Nova Iorque (NY), e 15°C em Hartford (CT).



Fonte: Price, 1979.

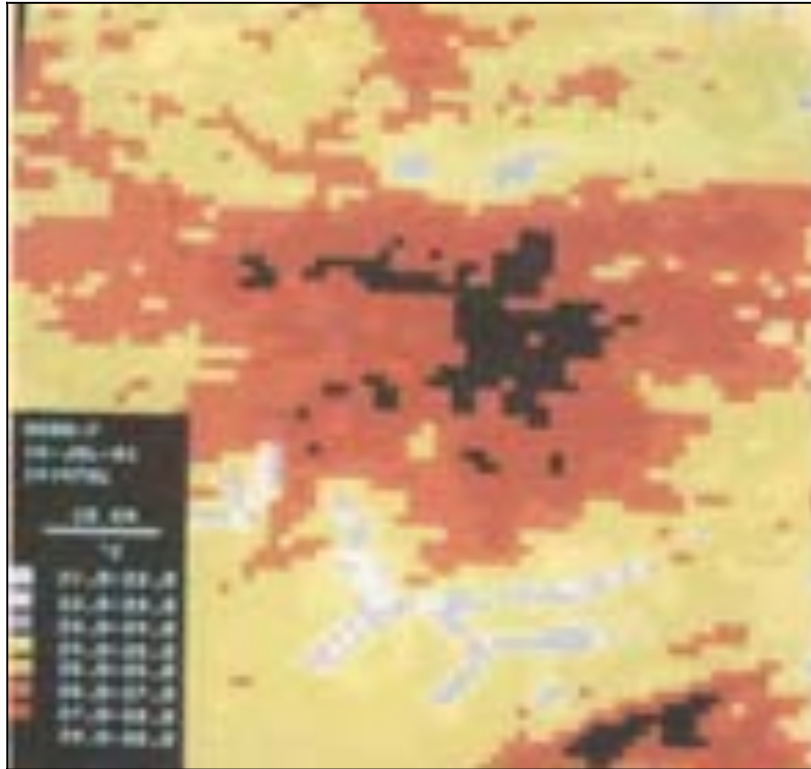
Figura 10: Passagem do satélite HCMM sobre Nova Iorque mostrando as diferenças de temperatura superficial nas áreas urbanas⁹

⁹ As tonalidades mais claras dizem respeito aos maiores valores de temperatura superficial

Voogt e Oke (2003) listam uma série de outros estudos que utilizaram o sensoriamento remoto termal para examinar o clima urbano, essencialmente no tocante à análise da estrutura e das características espaciais da temperatura superficial terrestre, estudos estes que utilizaram de diversas plataformas orbitais (a exemplo dos satélites NOAA, Landsat e SPOT), com distintas. Em geral, tais estudos se valeram de dados obtidos pelos sensores remotos para examinar a estrutura termal da superfície urbana, comparando-a ao uso e cobertura do solo. Os autores ressaltam que, mais recentemente, têm sido empregadas técnicas multiespectrais para levantar as características do uso e cobertura do solo da data em que as imagens termais foram obtidas, bem como imagens de alta resolução espacial para o levantamento do comportamento termal da superfície urbana (VOOGT; OKE, 2003).

No Brasil, o marco foi o trabalho pioneiro de Lombardo (1985), no qual a autora identificou ilhas de calor na região metropolitana de São Paulo, valendo-se do uso de imagens da banda termal (banda 6) do sensor TM a bordo do satélite Landsat 5, com resolução espacial de 120 metros, e do sensor AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) do satélite NOAA, com 1 km de resolução.

A Figura 11 representa a imagem termal de 16 de julho de 1981 das ilhas de calor da grande metrópole paulista. Nela é possível perceber, no centro da cidade, nas zonas leste e sudeste, na marginal do Tietê e em Santo Amaro, as maiores temperaturas (33°C); em contrapartida, as menores temperaturas são verificadas na serra da Cantareira e no Parque do Estado, com 23 e 24°C, respectivamente. A autora ainda destaca a cidade de Cubatão, na parte inferior da imagem, onde, devido à alta concentração de poluentes, registraram-se temperaturas elevadas de 30°C, coincidindo com as áreas centrais da cidade de São Paulo.



Fonte: Lombardo, 1985.

Figura 11: As ilhas de calor da metrópole paulistana, obtida da imagem termal do satélite NOAA-7 do dia 16 de julho de 1981 (imagem gerada pelo INPE e tratada por meio do algoritmo desenvolvido pela autora)

Steinke, Steinke e Saito (2004) destacam que, a partir desse trabalho, a utilização de dados de satélite em trabalhos de climatologia desenvolvidos no Brasil se tornou comum, possibilitando a realização de diversos estudos empregando diferentes sensores orbitais, com distintas características espectrais, radiométricas e, principalmente, de diferentes resoluções espaciais.

1.4.2 Os princípios físicos que norteiam o emprego do Sensoriamento Remoto nos estudos de Ilhas de calor

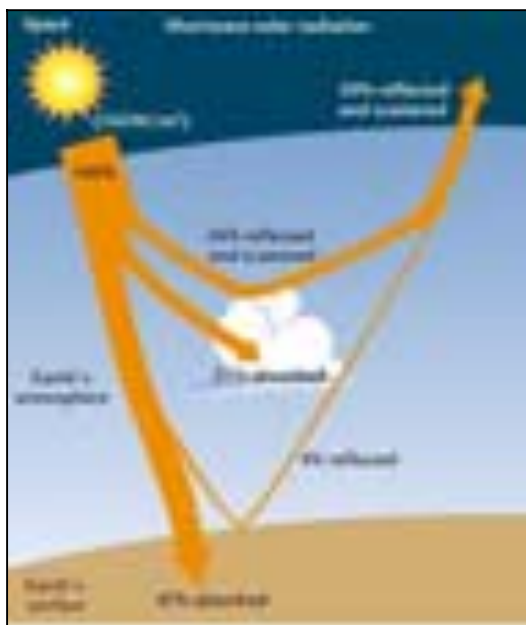
1.4.2.1 A Temperatura Superficial Terrestre - TST

A temperatura da superfície terrestre (TST), como já dito anteriormente, é um parâmetro físico que diz respeito ao fluxo de calor dado em função do balanço de radiação que chega e que sai de um corpo, sendo, conforme destacado por Sobrino e Kharraz (2003), de suma importância para o entendimento das interações entre a superfície e a atmosfera, por modelar a temperatura do ar nas camadas inferiores da

atmosfera urbana, ser o elemento central no balanço de energia da superfície e determinar o clima interno das construções e os efeitos da liberação da energia que afeta o conforto térmico nas cidades (VOOGT; OKE, 2003).

A temperatura superficial terrestre é dada em função do albedo, da emissividade, da propriedade termal do material usado nas construções urbanas e da estrutura da cobertura urbana (GOWARD, 1981) e, assim como a temperatura do ar, ela possui uma variação espacial, influenciada pela quantidade de insolação recebida, pela natureza da superfície, pela distância a partir dos corpos hídricos, pelo relevo e pela natureza dos ventos predominantes, e uma variação temporal, condicionada principalmente pelas variações sazonais no volume de radiação recebida, que varia conforme a latitude e com o grau de continentalidade (AYOADE, 2003).

Conforme ilustrado pela Figura 12, dos 100% de radiação solar que o planeta recebe, os 50% que ultrapassam a atmosfera têm na superfície terrestre o estabelecimento da proporção entre a radiação que será absorvida e aquela que será refletida, estabelecimento este definido pela capacidade da superfície terrestre em absorver calor, caracterizada essencialmente pela cobertura existente, mas também pelo relevo e pelo tipo de solo (GEIGER, 1961).



Fonte: GLOBAL CLIMATE CHANGE: IMAGES, disponível em <<http://www.sonoma.edu/users/f/freidel/.htm>>, acessado em 03 de dezembro de 2010.

Figura 12: Balanço de radiação na atmosfera e superfície terrestre.

Logo, considerando que o aquecimento do ar se dá basicamente por convecção, “a elevação da temperatura superficial provoca um aumento da convecção, que por sua

vez, tem um efeito regulador na temperatura do ar” (Ibidem, p. 163), haja vista que o ar é aquecido pela superfície terrestre, em função da radiação solar absorvida, convertida em calor e, logo, transferida (SILINGOVSKI JUNIOR; BARBOSA, 2006).

Portanto, atenta-se que, mesmo tendo relação íntima, a temperatura do ar (Tar) e a temperatura da superfície terrestre (TST) são elementos distintos. Todavia, é oportuno frisar que elas possuem estreita afinidade, haja vista o conhecimento das relações que possam ser estabelecidas entre elas, conceitualmente ou por meio de parametrizações (COLTRI et al., 2007).

Convém ressaltar que a maioria dos trabalhos a respeito de ilhas de calor, realizados com base no uso de dados orbitais, não pretende levantar o valor absoluto da temperatura urbana, mas sim a diferença que há entre a área urbana e a rural, valendo-se mais de um caráter qualitativo e não quantitativo.

Além do fato dos dados obtidos por sensores remotos não dizerem respeito à temperatura do ar, convém destacar outras importantes características do emprego do sensoriamento remoto em estudos de ilhas de calor.

1.4.2.2 Empecilhos do emprego do SR nos estudos de ilhas de calor

Embora o sensoriamento remoto possa fornecer um imenso arcabouço técnico-metodológico, seu emprego nos estudos de climatologia, em particular sobre ilhas de calor, não é tão intenso em função de algumas limitações.

Primeiramente, convém destacar que os sensores remotos armazenam a imagem em frações de unidade de área definida por *pixels*⁹, dizendo respeito à média dos valores de reflectância dos alvos localizados na área daquele pixel (que varia conforme sua resolução espacial), refletindo, portanto, a temperatura do elemento mais representativo que o compõe. Isso implica dizer que se trata de uma generalização.

Alguns autores ainda contestam a utilização de dados obtidos por sensores remotos no estudo de ilhas de calor, a exemplo de Steinke (2004), que em sua tese de doutorado, ao avaliar a aplicabilidade de uma técnica de estimativa de temperatura por meio de satélites, afirma que as imagens orbitais

⁹ Pixel por ser definido como a menor unidade gráfica de uma imagem.

[...] não podem proporcionar a expressão pronta do campo térmico [...]. As temperaturas derivadas do sensor não são idênticas à temperatura do ar medida na camada próxima à superfície” (STEINKE, 2004, p. 68).

Segundo a autora, conforme já abordado, as imagens termais detectam a energia emitida (irradiada) pela superfície, dizendo respeito não à temperatura do ar, mas sim à temperatura “aparente” da superfície terrestre, servindo apenas como uma estimativa para o real valor da temperatura do ar. Isso muitas vezes não é destacado pelos autores nos estudos de ilhas de calor.

Alguns autores (FRITZ, 1963; PRICE, 1979) ainda ressaltam que as variações (tanto espacial quanto temporal, seja diuturna) da temperatura superficial terrestre podem ser substancialmente maiores do que aquelas verificadas na temperatura do ar, podendo haver uma superestimativa da intensidade das ilhas de calor.

Outros problemas são ainda relevantes, como a necessidade de se efetuar correções atmosféricas, de emissividade e de rugosidade do relevo. Assim como a necessidade de considerar a atmosfera como um ambiente dinâmico no tempo, e que pode apresentar influências distintas em imagens históricas, além da possibilidade do próprio tratamento digital das imagens poder alterar os valores de temperatura a serem levantados.

Correções atmosféricas e de emissividade

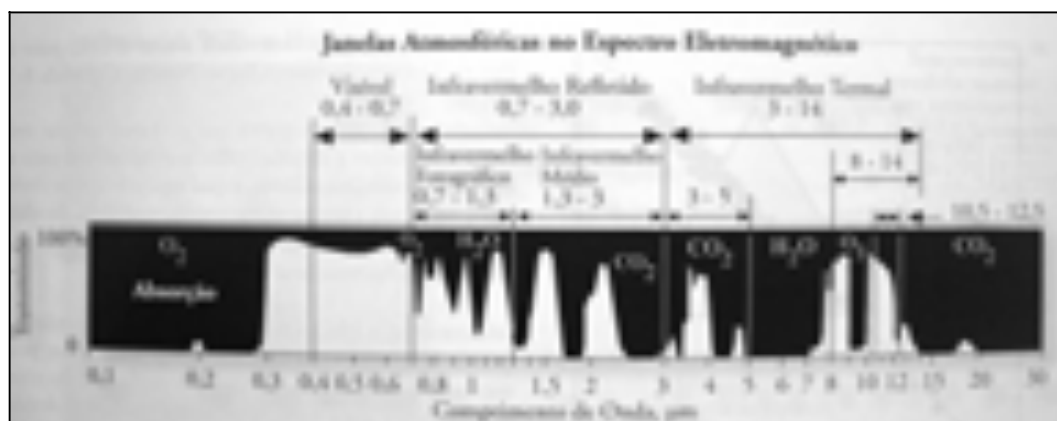
O emprego do sensoriamento remoto exige que sejam realizadas correções atmosféricas, ao considerar que a atmosfera interage com a radiação emitida pela superfície – pela capacidade do vapor d’ água (H_2O), do dióxido de carbono (CO_2) e do ozônio (O_3) em absorver a energia eletromagnética –; e também de emissividade, já que diferentes materiais e usos emitem diferentes quantidades de energia termal.

No caso da aplicação de dados orbitais em estudos de ilhas de calor, caso tais correções não sejam realizadas, pode haver uma “contestação dos valores de incremento de temperatura encontrados” (STEINKE, 2004, p. 56). De acordo com Voogt e Oke (1998), citados por Ummus et al. (2008), a falta da correção atmosférica, por exemplo, pode introduzir um erro de 4 a 7° C na temperatura obtida por um sensor.

Todavia, mesmo considerando que jamais a atmosfera apresentará nível de transparência o suficiente para ser desconsiderada (KERR et al., 1999 apud GUSSO;

FONTANA; GONÇALVES, 2007), conforme representado na Figura 13, é necessário salientar que

Na região do infravermelho termal (de 8 a 14 μm) do espectro eletromagnético, está situada uma janela atmosférica que é definida como a região onde ocorrem as menores interações da atmosfera com a radiação emitida ou refletida pela superfície da Terra (GUSSO; FONTANA; GONÇALVES, 2007, p. 2).



Fonte: Jensen (2007, p. 256).

Figura 13: Janelas atmosféricas no espectro eletromagnético, com destaque para a janela compreendida na porção do infravermelho termal.

Talvez esse fato explique a constatação do trabalho de Souza e Silva (2005) em que a diferença da temperatura de superfície com aquela obtida com correção da atmosfera, resultou em diferenças inferiores a 1°C.

Isso indica que a correção atmosférica não é necessariamente fundamental em estudos que se valem de mensurações registradas no espectro do infravermelho termal.

Rugosidade da topografia e a anisotropia do sensor orbital

A rugosidade da topografia, no tocante à exposição das vertentes, também deve ser considerada como capaz de induzir erro nos valores de temperatura levantados pelos sensores orbitais, haja vista possibilitar diferentes respostas espectrais dos alvos devido à exposição da vertente ao azimute solar ou ao próprio sensor orbital, onde são registradas distintas irradiâncias (ROSA, 1987; 1990). Isso é mais bem explanado nas passagens que seguem.

A superfície inclinada na direção do sensor ou no sentido oposto causa efeitos semelhantes ao movimento do sensor desde a vertical. Contudo, quando a superfície inclinada estiver voltada para o Sol, receberá maior irradiância, conseqüentemente terá maior radiância. Da mesma forma, a superfície inclinada no sentido oposto à iluminação

solar receberá menor irradiância tendo conseqüentemente menor radiância (ROSA, 1987, p. 49).

Se uma determinada feição topográfica orienta-se na direção do azimute solar, ambos os seus lados serão uniformemente iluminados, não aparecendo, assim, efeitos acentuados de sombreamento. Se, ao contrário, ela apresentar ângulos distintos de azimute, os seus lados serão diferencialmente iluminados, sendo os efeitos de iluminação tão mais intensos quanto mais frontal a vertente em relação à direção de iluminação (Ibidem, p. 41).

Acredita-se que, devido à anisotropia da superfície e posição do sensor, pode haver uma diferença de até 6° C ou mais na temperatura da superfície (VOOGT; OKE, 1997).

A atmosfera como um meio dinâmico no tempo e o tratamento digital incorreto das imagens

Um fator pouco mencionado pela bibliografia, e bem salientado por Latorre e colaboradores (2001), diz respeito ao fato que entre o sensor e a superfície há um meio extremamente dinâmico: a atmosfera. Ao frisar que ela (a atmosfera) interage com a radiação eletromagnética no percurso atmosfera/superfície/sensor, e possui uma variação no tempo – na sua composição, espessura, temperatura, pressão etc. –, é preciso considerar que “imagens obtidas em datas distintas apresentam-se sob diferentes condições atmosféricas” (SILVA et al. 2003). Por isso, ressalta-se que as imagens temporais apresentam certa predisposição a apresentar erros em seus dados quando não são observadas as diferenças nas condições atmosféricas entre elas.

Outra questão que não foi tratada em nenhum dos trabalhos consultados diz respeito à capacidade do pré-tratamento digital das imagens em alterar os valores digitais, a exemplo da aplicação de filtros, de realces e mesmo do processo de registro das imagens. Este último (registro de imagens), em particular, altera os valores da imagem por meio de operações matemáticas, essencialmente por conta do emprego de um algoritmo de interpolação (vizinho mais próximo, convolução cúbica, entre outros).

O interpolador Convolução Cúbica gera imagens com melhor qualidade visual (importante para atividades de inspeções visuais), ao passo que há uma degradação da qualidade radioelétrica dos dados, pois os valores de nível de cinza são definidos como a combinação linear dos níveis dos 16 pixels envolvidos. Não obstante, no interpolador de Alocação de Vizinho Mais Próximo (*nearest neighbor*) há a preservação dos valores

de nível de cinza, isto porque todo pixel na imagem registrada recebe o valor de nível de cinza do pixel mais próximo na imagem original. Daí o fato deste último interpolador (*nearest neighbor*) ser o mais recomendado para o registro das imagens termais; enquanto o primeiro (Convolução Cúbica) é o mais indicado para o registro das imagens empregadas no mapeamento de cobertura da terra.

Todavia, ainda que as imagens orbitais ofereçam dados referentes à temperatura da superfície (e não a temperatura do ar), e que se considerem as ressalvas acerca da necessidade de tais correções e considerações, o emprego de imagens orbitais em estudos de ilhas de calor se apresenta como satisfatório, haja vista que é possível levantar o desenho térmico da área em estudo, apresentando a real extensão da discrepância entre as temperaturas – partindo-se do pontual, com base em dados provenientes de estações meteorológicas, para o contínuo espacial. Há ainda a possibilidade de se analisar a variação espacial simultânea da temperatura considerando a rugosidade, as construções e os usos existentes. Além disso, o sensoriamento remoto se justifica pela melhor distribuição temporal dos dados, possibilitando o monitoramento da dinâmica da superfície terrestre – algo necessário para a compreensão de um fenômeno como as ilhas de calor.

1.4.3 Os satélites empregados nos estudos de ilhas de calor.

Os primeiros estudos dedicados especificamente ao levantamento de valores de temperatura da superfície para estudos de ilhas de calor valeram-se de satélites de baixa resolução espacial, como os da família NOAA – *National Oceanic and Atmospheric Administration* (sensor AHVRR, com 1km de resolução espacial), utilizados, por exemplo, nos trabalhos de Lombardo (1985), Streutker (2003), Paiva (2005), Gusso, Fontana e Gonçalves (2007) e Garcia-Cuetro et al. (2007).

Nas últimas décadas houve uma significativa evolução dos sistemas orbitais, essencialmente no que diz respeito às características das resoluções espacial e espectral, como ainda na disponibilidade de imagens, inclusive com a possibilidade de aquisição gratuita, como ocorre com as imagens dos satélites CBERS – *Chinese-Brazilian Earth Resources Satellite* (Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres) e Landsat – *Land Remote Sensing Satellite* (Satélite de Sensoriamento Remoto Terrestre), disponíveis no acervo do INPE – Instituto de Pesquisas Espaciais. A evolução tecnológica possibilitou

um maior emprego de dados obtidos por diferentes sensores remotos em estudos de ilhas de calor, como, por exemplo, os sensores MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) e ASTER (*Advanced SpaceBorne Thermal Emission and Reflection Radiometer*), ambos a bordo do satélite TERRA; o IRMSS, a bordo do CBERS; e os sensores TM e ETM+, ambos dos satélites da série Landsat.

Os diferentes sensores orbitais apresentam distintas características espectrais, radiométricas e, principalmente, resoluções espaciais, que resultam em diferentes aplicabilidades. Embasada na característica da resolução espacial, a definição do sensor determinará a escala de análise que poderá ser realizada, partindo de escalas pequenas (pelo uso de sensores de baixa resolução espacial, como os dos satélites NOAA e MODIS), que propiciam análises continentais/regionais; passando por escalas médias, que subsidiam análises regionais/locais; chegando a escalas grandes, que possibilitam análises locais (espaços urbanos), a exemplo do sensor ASTER, com 90 metros de resolução¹⁰.

Considerando o maior emprego de imagens de média resolução espacial em estudos de ilhas de calor, por possibilitarem análises de semi-detalhe (escala empregada em estudos de clima urbano), destaca-se o uso de dados orbitais provenientes dos sensores TM e ETM+, a bordo dos satélites Landsat 5 e 7, respectivamente, cujas imagens registradas na faixa do infravermelho termal apresentam resolução de 120m para o sensor TM e 60m para o ETM+.

Por possuírem acurada resolução radiométrica e espectral (SANO; FERREIRA JUNIOR, 2005), esses sensores geram imagens de muito boa qualidade, com a vantagem de apresentar ampla disponibilidade de acesso (são disponíveis gratuitamente no acervo de imagens do INPE), grande amplitude espacial e registro temporal constante. Esses fatores têm justificado o emprego majoritário das imagens Landsat em estudos de ilhas de calor.

¹⁰ O baixo emprego de imagens de alta resolução espacial em estudos de ilhas de calor, como por exemplo, propiciado pelo sensor ASTER justifica-se pelo elevado preço na aquisição de tais imagens.

1.4.3.1 A série de satélites Landsat (Land Remote Sensing Satellite)

Desenvolvido nos Estados Unidos, sob responsabilidade da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e da *United States Geological Survey* (USGS), o primeiro satélite da série Landsat foi lançado em 1972 e o último em 1999 (Landsat 7), sendo considerado como padrão de referência para sensores ópticos até os dias atuais (FERREIRA; FERREIRA; FERREIRA, 2008).

A continuidade do programa está sob responsabilidade do *Landsat Data Continuity Mission* (LDCM), que tem por objetivo lançar, em julho de 2011, o Landsat 8. Sobre isso, Ferreira, Ferreira e Ferreira (2008, p. 382) comentam que o sensor a bordo desse satélite, o OLI (*Operational Land Imager*), trará apenas duas inovações em relação ao ETM+:

uma banda azul adicional (433 a 453 nm), para monitoramento costeiro e de aerossóis, e uma banda entre 1.360 e 1.390 nm para detecção de nuvens Cirrus (que, por serem de difícil percepção, comprometem em muito a qualidade das imagens).

Deslocando-se do norte para o sul em órbita geocêntrica, circular, quase polar e heliosíncrona, os satélites Landsat imageiam uma faixa de 185 km num intervalo de tempo de 16 dias, operando numa altitude de 705 km (Quadro 2). O Landsat 5, lançado em 1994, e operando atualmente, possui a bordo o sistema de sensor TM (*Thematic Mapper*) com resolução espacial média (~30 m), bandas distribuídas nas regiões do visível, infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas e imagens de 8 bits. Já o Landsat 7, desativado em 2003, utiliza o sensor ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*), cujas diferenças em relação ao TM são a existência de uma banda pancromática (0.52 a 0.90 μm), com resolução de 15m, e a banda referente ao infravermelho termal com resolução de 60m, ao invés de 120m, como no TM (Quadro 3).

Quadro 2: Características dos Satélites LANDSAT

Satélite	LANDSAT 1	LANDSAT 2	LANDSAT 3	LANDSAT 4	LANDSAT 5	LANDSAT 6	LANDSAT 7
Lançamento	23/07/1972	22/01/1975	05/03/1978	16/07/1982	01/03/1984	05/10/1993	15/04/1999
Situação Atual	Inativo (06/01/1978)	Inativo (25/02/1982)	Inativo (31/03/1983)	Inativo (1993)	ativo	Inativo (05/10/1993)	Ativo
Órbita	Polar, heliosíncrona						

Altitude	917 km	917 km	917 km	705 km	705 km	705 km	705 km
Horário de Passagem no equador	9:30 AM	9:30 AM	9:30 AM	9:45 AM	9:45 AM	10:00 AM	10:00 AM
Período de Revisita	18 dias	18 dias	18 dias	16 dias	16 dias	16 dias	16 dias
Tempo de Vida Projetado	1 ano	1 ano	1 ano	3 anos	3 anos	s.d.	5 anos
Sensores	RBV e MSS	RBV e MSS	RBV e MSS	MSS e TM	MSS e TM	<u>ETM</u>	<u>ETM+</u>

Fonte: adaptado de EMBRAPA – Monitoramento por satélites, 2010.

Quadro 3: Características dos sensores TM e ETM+ do satélite Landsat.

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Área Imageada	Resolução Radiométrica
TM (Thematic Mapper)	(B1) AZUL	0.45 - 0.52 μm	30 m	16 dias	185 km	8 bits
	(B2) VERDE	0.50 - 0.60 μm				
	(B3) VERMELHO	0.63 - 0.69 μm				
	(B4) INFRAVERMELHO PRÓXIMO	0.76 - 0.90 μm				
	(B5) INFRAVERMELHO MÉDIO	1.55 - 1.75 μm	120 m			
	(B6) INFRAVERMELHO TERMAL	10.4 - 12.5 μm	30 m			
	(B7) INFRAVERMELHO MÉDIO	2.08 - 2.35 μm				
ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus)	(B1) AZUL	0.45 - 0.52 μm	30 m	16 dias	183km	8 bits
	(B2) VERDE	0.50 - 0.60 μm				
	(B3) VERMELHO	0.63 - 0.69 μm				
	(B4) INFRAVERMELHO PRÓXIMO	0.76 - 0.90 μm				
	(B5) INFRAVERMELHO MÉDIO	1.55 - 1.75 μm	60 m			
	(B6) INFRAVERMELHO TERMAL	10.4 - 12.5 μm	30 m			
	(B7) INFRAVERMELHO MÉDIO	2.09 - 2.35 μm				
	(B8) PANCROMÁTICO	0.52 - 0.90 μm	15 m			

Fonte: adaptado de EMBRAPA – Monitoramento por satélites, 2010.

Considerando que os dois sistemas de sensores possuem os mesmos intervalos espectrais, convém a ressalva de que o período de registro de imagens do Landsat 7 é bem curto, visto que o satélite foi ativado em 1999 e já em 2003 encerrou a disponibilização de suas imagens (devido a problemas técnicos), o que inviabiliza o seu emprego em estudos que carecem de dados de um longo recorte temporal. Por essa razão, os dados orbitais a serem empregados neste trabalho dizem respeito ao satélite Landsat 5, cujas características e aplicações de suas bandas são apresentadas no Quadro 4.

Quadro 4: Principais características e aplicações das bandas do satélite LANDSAT 5

Banda	Principais características e aplicações das bandas <i>TM do satélite LANDSAT</i>
1	Apresenta grande penetração em corpos de água, com elevada transparência, permitindo estudos batimétricos. Sofre absorção pela clorofila e pigmentos fotossintéticos auxiliares (carotenóides). Apresenta sensibilidade a plumas de fumaça oriundas de queimadas ou atividade industrial. Pode apresentar atenuação pela atmosfera.
2	Apresenta grande sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão, possibilitando sua análise em termos de quantidade e qualidade. Boa penetração em corpos de água
3	A vegetação verde, densa e uniforme, apresenta grande absorção, ficando escura, permitindo bom contraste entre as áreas ocupadas com vegetação (ex.: solo exposto, estradas e áreas urbanas). Apresenta bom contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetal (ex.: campo, cerrado e floresta). Permite análise da variação litológica em regiões com pouca cobertura vegetal. Permite o mapeamento da drenagem através da visualização da mata galeria e entalhe dos cursos dos rios em regiões com pouca cobertura vegetal. É a banda mais utilizada para delimitar a mancha urbana, incluindo identificação de novos loteamentos. Permite a identificação de áreas agrícolas.
4	Os corpos de água absorvem muita energia nesta banda e ficam escuros, permitindo o mapeamento da rede de drenagem e delineamento de corpos de água. A vegetação verde, densa e uniforme, reflete muita energia nesta banda, aparecendo bem clara nas imagens. Apresenta sensibilidade à rugosidade da copa das florestas (dossel florestal). Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo a obtenção de informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia. Serve para análise e mapeamento de feições geológicas e estruturais. Serve para separar e mapear áreas ocupadas com <i>pinus</i> e <i>eucalipto</i> . Serve para mapear áreas ocupadas com vegetação que foram queimadas. Permite a visualização de áreas ocupadas com macrófitas aquáticas (ex.: aguapé). Permite a identificação de áreas agrícolas.
5	Apresenta sensibilidade ao teor de umidade das plantas, servindo para observar estresse na vegetação, causado por desequilíbrio hídrico. Esta banda sofre perturbações em caso de ocorrer excesso de chuva antes da obtenção da cena pelo satélite.
6	Apresenta sensibilidade aos fenômenos relativos aos contrastes térmicos, servindo para detectar propriedades termais de rochas, solos, vegetação e água.
7	Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo obter informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia. Esta banda serve para identificar minerais com íons hidroxilas. Potencialmente favorável à discriminação de produtos de alteração hidrotermal.

Fonte: Divisão de Processamento de Imagens – INPE.

Tendo em vista as características descritas no quadro anterior, ressalta-se a aplicação conjunta das bandas 3, 4 e 5, no intervalo espectral do visível (Figura 14), para estudos de uso e cobertura do solo, apresentarem intervalos bem diferenciados do espectro eletromagnético e, por isso, apresentar o melhor contraste visual entre as feições da superfície, considerando as combinações possíveis entre as três bandas, em composições coloridas¹¹, e da banda 6, correspondente ao intervalo espectral do infravermelho termal (10.4 - 12.5 μm), devido a sua sensibilidade aos contrastes térmicos verificados na superfície.

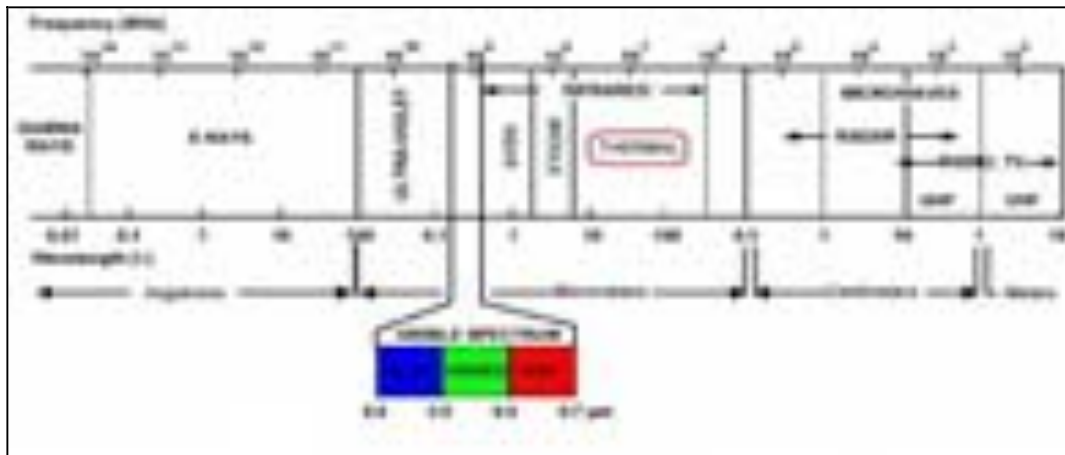


Figura 14: Intervalo do espectro eletromagnético, com destaque para as faixas do visível e do infravermelho termal

¹¹ Conforme destacado por Lobão et al. (2003), ao calcular a melhor combinação entre as três bandas a ser usada em uma composição colorida do Landsat 5, quando comparando a análise visual das melhores combinações entre as bandas obtidas com o OIF - *Optimum Index Factor*, desenvolvido por Chavez Jr. et al. (1982)

CAPITULO 2: PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

2.1 Operacionalização metodológica

O trabalho se baseou, inicialmente, no inventário e análise de dados secundários, informações e resultados de pesquisas sobre clima urbano e ilhas de calor, com enfoque principalmente no emprego do sensoriamento remoto. A pesquisa documental foi realizada em referenciais bibliográficos contidos em artigos, livros, monografias, dissertações e teses.

A segunda etapa do trabalho consistiu na coleta de dados primários, neste caso, das imagens do satélite Landsat 5, de órbita/pontos 221-71 e 72, que recobrem a área do município de Goiânia (Figura 15). As imagens foram acessadas no catálogo de imagens da Divisão de Geração de Imagens (*DGI*) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (*INPE*), em sua *homepage* (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>), especificamente para as bandas 3, 4, 5 e 6 (banda termal).



Figura 15 – Mapa da Cobertura das cenas do satélite Landsat sobre o estado de Goiás, com destaque ao município de Goiânia

Para garantir a possibilidade de análise comparativa das situações encontradas ao longo dos anos, a seleção das imagens respeitou a necessidade de condições homogêneas no tempo atmosférico e, para tanto, se pautou no exame das condições meteorológicas e sinóticas da data de aquisição pelo sensor¹² – conforme discriminado no Quadro 5. Para tanto, foram analisados os dados diários de temperatura do ar, umidade relativa do ar, precipitação atmosférica e direção e velocidade dos ventos, adquiridos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), registrados pela Estação Climatológica Principal de Goiânia, localizada no Setor Central, entre as coordenadas 16°40'S e 49°15'O. Também foram considerados os sistemas atmosféricos atuantes no período de aquisição das imagens, com base nas informações da revista CLIMANÁLISE, do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE), na qual não foi identificada a atuação de sistemas atmosféricos nas datas de registros das imagens selecionadas.

Quadro 5: Data das imagens selecionadas para o mapeamento do campo térmico e classificação da cobertura do solo do município de Goiânia¹³

Data das imagens	Dia da semana	Condições meteorológicas às 18 h UTC – equivalente às 15 h do horário de Brasília.			
		Temperatura do ar (°C) (às 12 horas)	Umidade (%)	Precipitação (mm)	Velocidade (m/s) / Direção dos ventos
23 de maio de 1986	sexta	29,6	45	0,2	0 / Calmo
02 de maio de 1996	quinta	29	42	0	0 / Calmo
30 de maio de 2006	terça	31,1	34	0	1,1 / Leste
23 de março de 2010	terça	30,2	42	0	0 / Calmo

As imagens selecionadas se referem preferencialmente a um dos meses representativos da estação outono, por apresentarem maior estabilidade atmosférica, com céu limpo e menor fluxo e velocidade dos ventos, o que ocasiona maior desenvolvimento do fenômeno de ilhas de calor. Preferencialmente as imagens relativas ao mês de maio, final da estação, ou outro mês, quando da falta de imagens compatíveis com os padrões pré-estabelecidos. Justifica-se, ainda, tal escolha, por serem meses com melhor acuidade e precisão nas discriminações das classes de cobertura do solo, haja vista a cobertura vegetal apresentar uma resposta espectral bastante distinta em relação

¹² Além de ser observado o dia da semana em que foram registradas as imagens orbitais, com vistas a não haver a comparação de uma imagem registrada em uma plena sexta-feira com outra registrada em um domingo (com proporção de atividade e fluxo antrópico tão distinto).

¹³ O horário de passagem do satélite sobre o município de Goiânia é aproximadamente às 13 horas.

às outras classes, principalmente quanto à pastagem – um dos principais problemas nos mapeamentos de uso e cobertura do solo elaborados para o bioma Cerrado (SANO; FERREIRA JUNIOR, 2005; SANO et al., 2007; SANO et al., 2008).

Nas datas selecionadas as condições atmosféricas apresentaram temperaturas variando entre 29,6 e 31,1°, isto é, com pouca amplitude térmica entre os dados registrados. A umidade relativa do ar oscilou entre 34 e 45%, valores relativamente baixos, indicadores de uma atmosfera mais limpa, sem presença de vapor d'água e outros aerossóis que podem ser considerados como prejudiciais às imagens de satélite. Os ventos, por sua vez, foram predominantemente calmos, não ultrapassando a velocidade de 1,1 m/s, o que proporciona uma maior intensificação do fenômeno de ilhas de calor. E, por fim, não houve ocorrência de precipitação – apenas o ano de 1986 registrou 0,2 mm, valor considerado irrisório.

As etapas seguintes do trabalho consistiram nos procedimentos de pré-tratamento (georreferenciamento, mosaico e máscara) e tratamento digital das imagens, executadas em ordens diferentes conforme se tratava do mapeamento de cobertura do solo ou do levantamento do campo térmico. Com vistas a uma melhor compreensão do processo, o item a seguir apresenta uma descrição detalhada dos procedimentos metodológicos realizados nessas etapas.

2.2 Mapeamento da Cobertura do Solo e Levantamento do Campo Térmico

Conforme já destacado, na classificação da cobertura do solo foram utilizadas as bandas 3, 4 e 5, empregando-se a composição colorida¹⁴ RGB/5-4-3, ou seja, atribuindo-se à banda 5, o vermelho, à banda 4, o verde, e à banda 3, o azul (Figura 16, display A). Já no levantamento do campo térmico utilizou-se a banda 6, conforme exemplificado na Figura 16, display B.

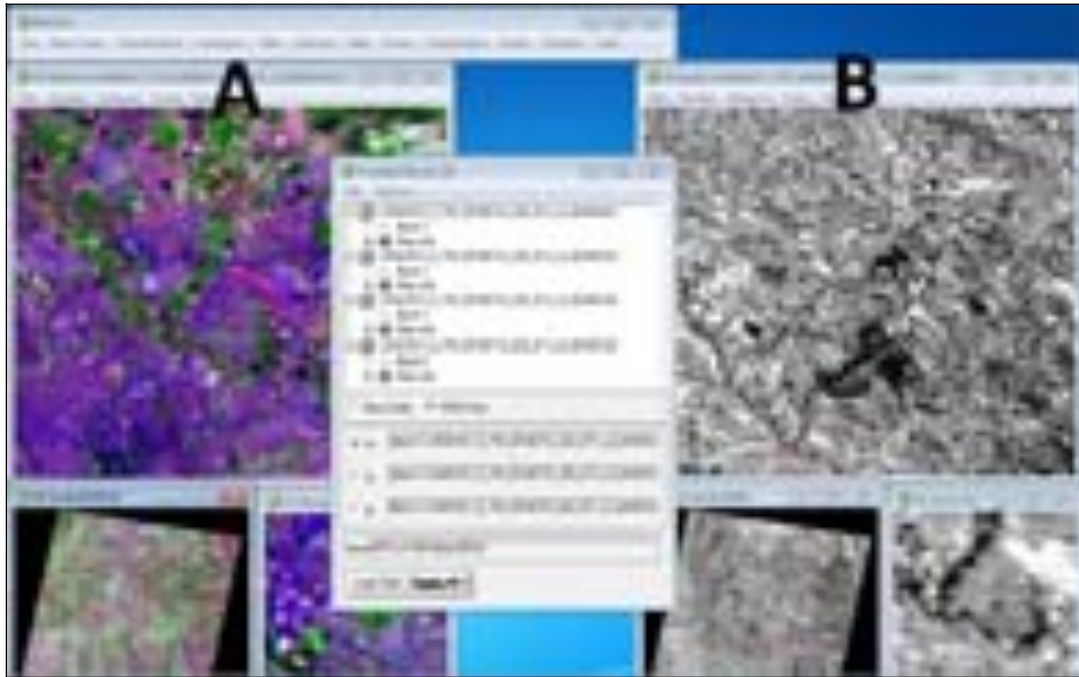


Figura 16: Composição colorida das bandas 5, 4 e 3 e banda 6 do satélite Landsat 5

2.2.1 Procedimentos metodológicos empregados no mapeamento da Cobertura do Solo

A classificação de imagens envolve o processo de considerar determinado grupo de pixels como pertencentes à determinada classe, conforme ilustrado pela Figura 17.

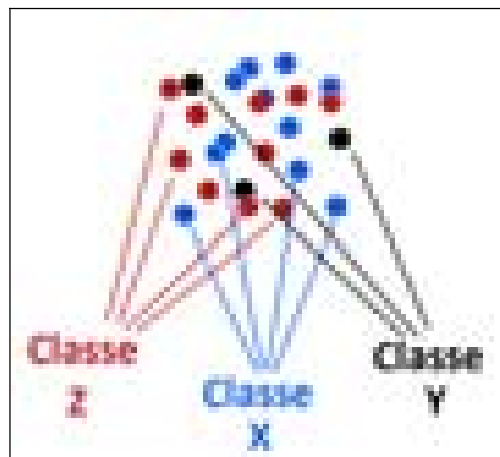


Figura 17: O agrupamento de pixel como pertencentes à determinada classe

Cabe salientar a diferença entre os termos uso e cobertura do solo, sendo o primeiro (uso) referente à utilização “cultural” da terra, enquanto o termo cobertura do solo se refere ao seu revestimento. Por exemplo: áreas florestadas que, embora sejam

um só tipo sob o ponto de vista de cobertura, podem ter diferentes usos: lazer, exploração de madeira, reservas etc. Sendo assim, ao se adotar um sistema de classificação de uso da terra, deve-se levar em conta um nível alto de detalhamento. Isso não foi necessário nesta pesquisa, em específico, uma vez que o objetivo foi identificar os principais revestimentos da superfície, e não seus usos característicos.

Para o mapeamento da cobertura do solo, inicialmente se procedeu ao pré-tratamento das bandas 5, 4 e 3 do satélite Landsat 5, que consistiu no procedimento de registro, que implica em atribuir parâmetros de localização geográfica (georreferenciamento), sendo empregado o interpolador de “Convolução Cúbica”, que gera imagens com melhor qualidade visual (importante para atividades de inspeções visuais). Essa fase foi seguida do mosaico das cenas que compõem a área de estudo. Concomitante a isso, foi elaborada a máscara com o recorte da área do município de Goiânia. Toda essa etapa foi realizada no software Envi 4.5 (Figura 18).

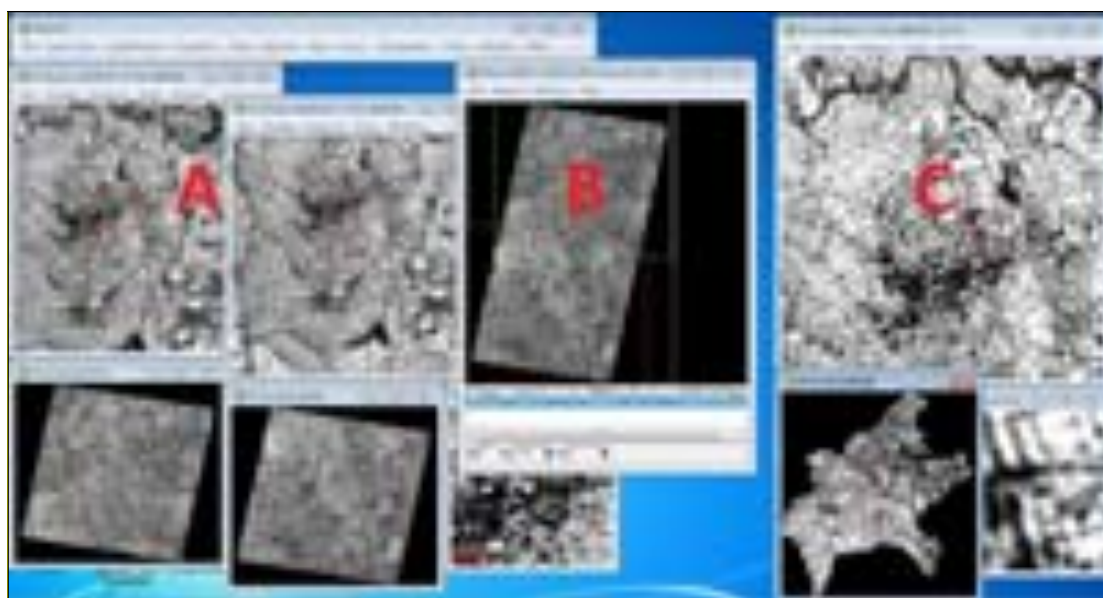


Figura 18: Pré-Processamento das imagens no software Envi 4.5 – Registro (A), Mosaico (B) e Máscara (C)

Em seguida, partiu-se para o procedimento de tratamento digital das imagens. A classificação automática das imagens foi realizada também no software Envi 4.5, conforme representado na Figura 19. Foram coletadas amostras para as seguintes classes de cobertura do solo: Cobertura Vegetal, Corpos Hídricos, Área Urbanizada e

Agropecuária, empregando-se o algoritmo “mahalanobis” para a classificação, selecionado após testes com os demais algoritmos e por apresentar, entre eles, o melhor resultado.



Figura 19: Procedimentos de seleção de amostras e classificação supervisionada utilizando-se o algoritmo *Mahalanobis Distance*

Ressalta-se que, após a classificação das imagens, processo este que nunca resulta em um produto 100% fidedigno (por conta da confusão espectral entre algumas classes), foi realizado um minucioso processo de inspeção visual, com exclusão, inserção e edição dos polígonos levantados na classificação supervisionada, utilizando-se as imagens orbitais em composição colorida RGB/5-4-3, do sensor TM do Landsat 5. Para tanto, em um Sistema de Informações Geográficas (SIG), neste caso o software ArcGIS 9.3, as imagens (*rasters*) provenientes do processo de classificação foram transformadas em vetores, com o uso do módulo *3D Analyst* e da ferramenta *Editor* (Figura 20).



Figura 20: Procedimento de inspeção e correção da classificação de Cobertura do Solo

Ainda no ambiente do software ArcGIS 9.3, utilizando-se a opção *Calculate Areas*, existente na ferramenta *Spatial Statistic Tools/Utilities*, procedeu-se a mensuração, compilação e tabulação dos dados e, por fim, foram elaborados os produtos cartográficos.

2.2.2 Procedimentos metodológicos empregados no levantamento do campo térmico

Com vistas a preservar os valores digitais das imagens brutas, essa etapa iniciou-se com o próprio tratamento digital da imagem, ou seja, o levantamento do campo térmico, e em seguida, foram realizados os procedimentos de “pré-tratamento”.

Para o levantamento do campo térmico superficial foi utilizado o software IDRISI, versão Taiga 16.0. Uma peculiaridade desse software é a necessidade em se trabalhar com um formato específico e padrão de imagem IDRISI, na extensão *.rst*. Assim, inicialmente é necessário importar as imagens com que se deseja trabalhar no IDRISI, convertendo-as para seu formato padrão, conforme demonstrado na Figura 21.

Também é recomendado, ao finalizar o tratamento das imagens no IDRISI, exportar a imagem, convertendo-a ao seu formato original, para que seja possível trabalhar com ela em outros SIG's.



Figura 21: Importando os arquivos ao software IDRISI (A) e convertendo-os ao seu formato padrão (B)

O método empregado no levantamento do campo térmico consistiu na conversão dos valores digitais das imagens do infravermelho termal em dados de temperatura superficial por meio do “módulo *THERMAL*, localizado no menu *Image Processing/Transformation*, existente IDRISI (Figura 22), o qual emprega o método do inverso da lei de Plank na conversão dos níveis de cinza da imagem em valores de temperatura superficial. Ressalta-se que o módulo *Thermal* foi elaborado fundamentalmente para conversão de imagens do satélite Landsat.

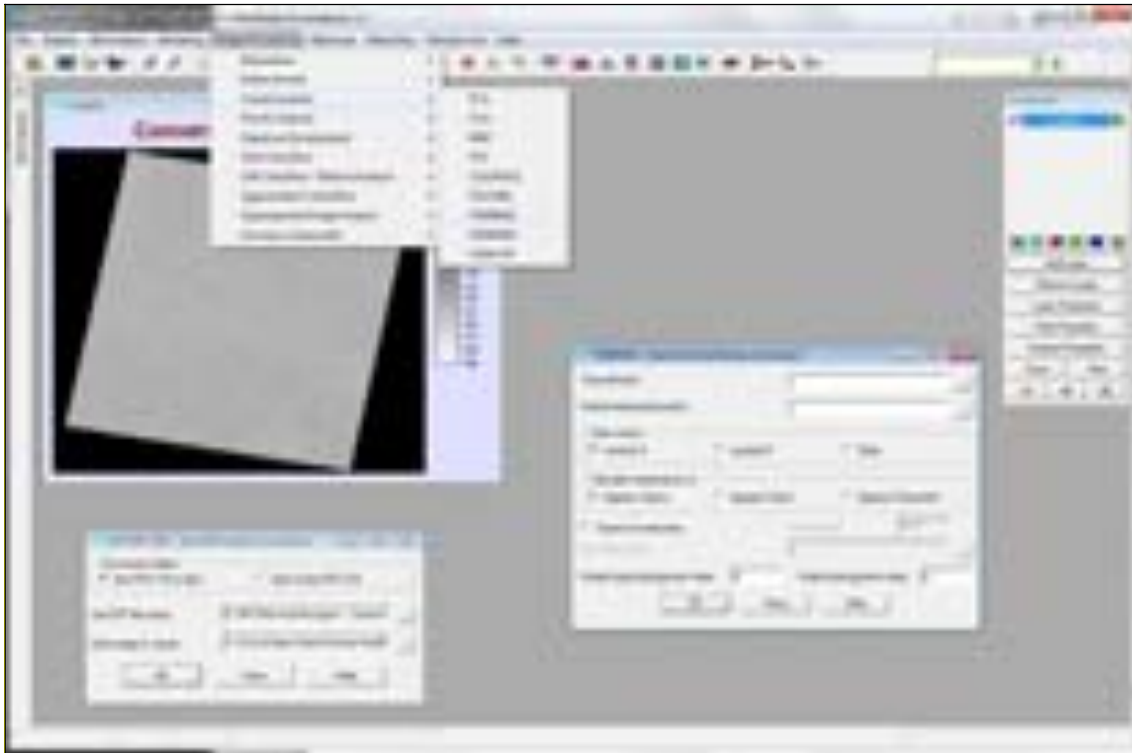


Figura 22: Módulo *Thermal* existente no IDRISI para conversão dos níveis de cinza da imagem orbital em valores de temperatura superficial

Na caixa de definições do módulo *Thermal*, ilustrada pela Figura 23, após a localização da imagem bruta já convertida para o formato padrão do IDRISI (na opção *Thermal band*) e seleção do diretório em que será salva a imagem após o tratamento, deve ser determinado a qual satélite se refere à imagem a ser convertida, podendo ser o Landsat 4 ou Landsat 5¹⁴, definindo-se, ainda, a unidade de temperatura (graus Celsius, Kelvin ou Fahrenheit). Também podem ser inseridos valores de emissividade a ser corrigida, o que, contudo, não foi realizado no presente estudo.



Figura 23: Caixa de definições do Módulo *Thermal*, com seleção da imagem a ser convertida e diretório de saída (A), seleção do satélite (B), definição da unidade de temperatura (C) e correção de emissividade (D)

Em seguida, no software ArcGIS 9.3 foram realizados os procedimentos de registro, mosaico das imagens e a máscara com o recorte da área em estudo. No processo de registro das imagens utilizou-se a ferramenta *Georeferencing*, empregando-se o interpolador de Alocação de Vizinho Mais Próximo (*nearest neighbor*), para preservação dos valores digitais das imagens. Para o mosaico das cenas foi empregada a função *Mosaic to new raster*, existente na ferramenta *Data Management Tools/Raster/Raster Dataset*, definindo-se no *Mosaic Method* e no *Mosaic Colormap Mode* as opções *MAXIMUM* e *MATCH*, respectivamente. Por fim, a máscara com o limite do município foi obtida por meio da função *Extract by Mask*, existente na ferramenta *Spatial Analyst Tool/Extraction*.

Ressalta-se que toda essa etapa foi realizada no software ArcGIS 9.3, haja vista ter sido constatado que ao submeter as imagens termais já tratadas no programa ENVI, os procedimentos de registro/máscara/mosaico resultavam em imagens com grande alteração nos valores de temperatura.

Em seguida, as imagens termais tiveram seus valores reclassificados no software ArcGIS, com delimitação manual do intervalo de cada classe de temperatura a ser preservado nas imagens de todos os anos definidos, possibilitando uma análise comparativa entre eles (Figura 24). O Quadro 6, a seguir, apresenta as classes de temperatura definidas para os mapeamentos.

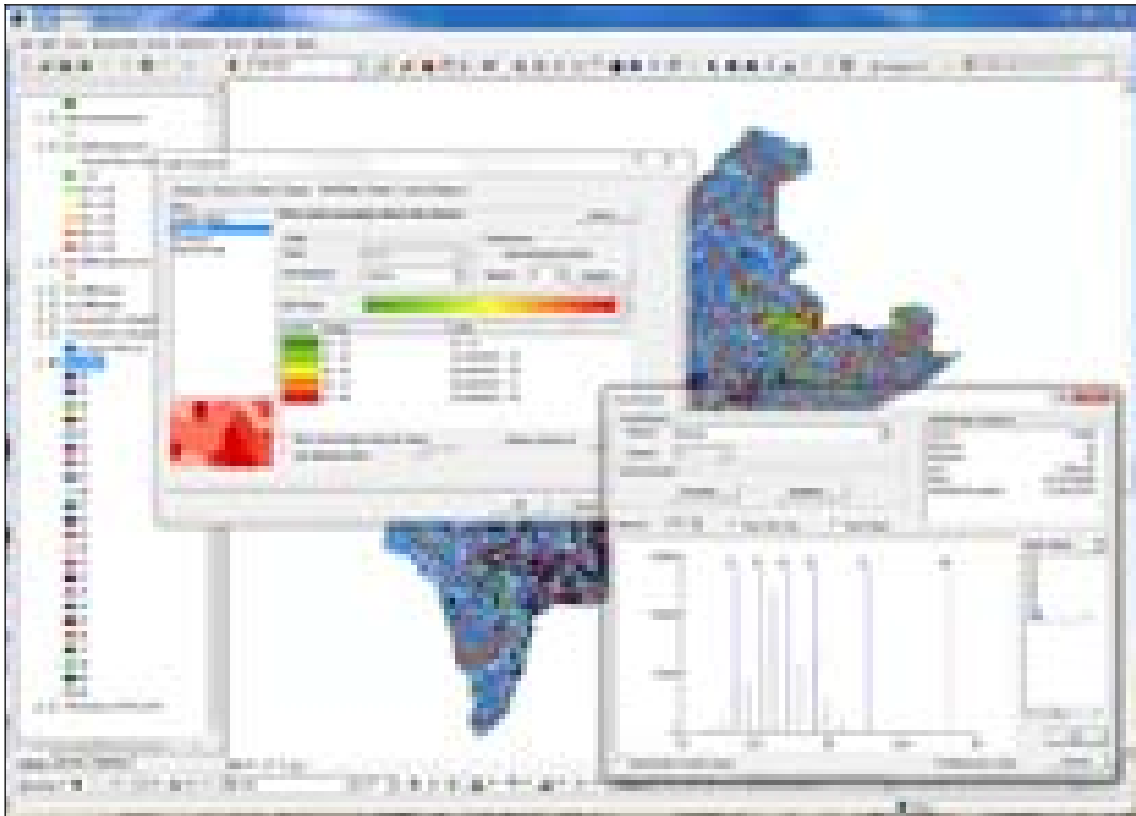


Figura 24: Delimitação dos intervalos das classes de temperatura superficial terrestre

Quadro 6: Classes de temperatura definidas nos mapeamento da TST

Valores inferiores a 22°C
22,1 a 24°C
24,1 a 26°C
26, 1 a 28°C
28,1 a 32°C
32,1 a 38°C

Conforme realizado no mapeamento da Cobertura do Solo, também se procedeu à mensuração, à compilação e à tabulação dos dados no software ArcGIS 9.3, convertendo-se as imagens (raster) em vetores e utilizando-se a opção *Calculate Areas* existente na ferramenta *Spatial Statistic Tools/Utilities*, e, por fim, foram elaborados os produtos cartográficos.

2.3 Método

Para o andamento do presente trabalho, foram abordadas as duas correntes teórico-metodológicas da climatologia: a **climatologia tradicional**, por ser investigado apenas o elemento climático temperatura, e a **climatologia dinâmica**, haja vista ser pesquisada a gênese do fenômeno de ilhas de calor, explicando e desvendando os seus processos – e também pelo fato de o trabalho ser embasado em uma análise geográfica fundamentada na perspectiva sustentada no tripé: ritmo / ação antrópica / impacto ambiental. Convém lembrar a ressalva de Barros (2003), ao pautar que a verdadeira compreensão da síntese climática de um lugar advirá do equilíbrio entre os dois tratamentos – climatologia tradicional e dinâmica (a qual consideramos como sinônimo da climatologia geográfica).

O método de análise empregado se baseia no referencial teórico proposto por Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro (1971), intitulado “**Sistema de Clima Urbano – S.C.U.**”, visando compreender a organização climática peculiar da cidade. Empregase, particularmente, o **subsistema termodinâmico** (inserido no S.C.U.), por apresentar o fenômeno de ilhas de calor como seu principal produto – fenômeno este que é o foco do presente trabalho.

Por fim, em posse dos produtos cartográficos do campo térmico e da cobertura do solo, a análise da evolução histórica das ilhas de calor no município de Goiânia, em relação ao crescimento urbano e as conseqüentes mudanças na cobertura do solo, utiliza-se, em parte da proposta metodológica desenvolvida por Xavier-da-Silva e Carvalho Filho (1993), no que diz respeito à **análise ambiental por geoprocessamento**.

A análise se baseia essencialmente na realização do diagnóstico de levantamento ambiental, que se traduz na planimetria, isto é, a mensuração da extensão territorial e identificação da área de ocorrência dos fenômenos; nas assinaturas, que correspondem às associações causais entre as variáveis; e na monitoria, que constitui um diagnóstico evolutivo de um evento ou fenômeno, sendo possível avaliar as transformações ocorridas no campo térmico do município de Goiânia no período de 1986 a 2010.

CAPITULO 3:

O FENÔMENO DE ILHAS DE CALOR, SUA EVOLUÇÃO E SUA CORRELAÇÃO COM O CRESCIMENTO URBANO DE GOIÂNIA-GO

3.1 O processo de Crescimento Urbano de Goiânia-GO

3.1.1 Breve histórico do crescimento urbano de Goiânia até a década de 1980

Corrêa (1981) historiza o crescimento urbano de Goiânia em cinco momentos: 1) de 1933 a 1935, com a implantação do Plano Diretor; 2) em 1938, crescimento da malha urbana em sentido sul (ampliação do Setor Sul); 3) de 1940 a 1950, crescimento da cidade no sentido leste-oeste em direção ao núcleo urbano existente antes de 1935 – Campinas (origem dos setores Oeste, Aeroporto, Funcionários etc.); 4) de 1950 a 1960, expansão rumo a oeste e estendendo-se para o sul; e 5) após 1960, uma expansão mais desordenada, com formação de vários núcleos habitacionais separados por enormes vazios demográficos.

Oliveira (2005, p. 4) destaca que “até 1950, a formação do espaço urbano de Goiânia respeitou os planos iniciais e teve seu crescimento “monitorado” pelo Estado”. Desse período em diante, o espaço goianiense foi marcado por um grande caos no processo de crescimento urbano, com a multiplicação, especialmente até a década de 1970, de inúmeros loteamentos irregulares.

Nos anos 1970-1980 prevaleceu a implantação de conjuntos habitacionais pelo poder público, em áreas afastadas do espaço urbano consolidado. Ao longo das décadas de 1980 e 1990, houve a verticalização concentrada nos bairros com melhor infraestrutura, fenômeno que se tornou disperso pelo espaço urbano no século XXI, acompanhado, também pela forte proliferação de condomínios fechados.

De uma forma geral, evidencia-se uma expansão horizontal ostensiva, com densidade rarefeita em vários trechos da mancha urbana, mas cuja dinâmica já ocasiona inclusive a conurbação com municípios vizinhos, como Aparecida de Goiânia, Trindade e Senador Canedo.

3.1.1 Mapeamento do crescimento urbano de Goiânia-GO entre 1986 e 2010

Os produtos cartográficos obtidos com a classificação das imagens orbitais (Figura 25, 26, 27 e 28) ilustram o processo de crescimento da área urbana de Goiânia-GO nos anos de 1986, 1996, 2006 e 2010, com destaque para o sucessivo crescimento da área urbana em detrimento da redução da área revestida por cobertura vegetal nativa.

A grande mudança ocorrida entre as décadas de 80 a 90 foi a intensa supressão da cobertura vegetal para implantação de atividades agropecuárias (o que é facilmente visível na porção noroeste do município), havendo ainda o processo contínuo de crescimento da área urbana, especialmente nas porções sudoeste, constituindo áreas de reserva de terra urbana para a implantação de conjuntos habitacionais, e noroeste, caracterizada por loteamentos irregulares (RODRIGUES, 2010).

Nas décadas de 80 e 90 o crescimento do tecido urbano ocorreu de forma irregular e acelerada, resultando em uma malha urbana descontínua, sendo que a periferia cresce mais que o núcleo urbano central, que já se encontra consolidado, sobretudo pelo comércio e ocupação tradicional – conforme registrado na região de Campinas (RODRIGUES, 2010). Além da região central do município, a porção sul também já se encontra consolidada neste período, com forte processo de verticalização.

Ainda na década de 90, conforme representado pelo mapa de Cobertura do Solo de 1996, se vê o crescimento de setores habitacionais nas regiões periféricas do município, separados por vazios demográficos, os quais são ocupados nos anos seguintes (conforme representado pelos mapas de Cobertura do Solo de 2006 e 2010). Esse fenômeno é fruto de um “processo de ocupação residencial das áreas periféricas em detrimento das regiões mais centrais” – os condomínios fechados, conforme destacado na análise de Oliveira (2005).

Ressalta-se a aparição no mapa de Cobertura do Solo de 2010 de um corpo hídrico de extensão considerável na porção nordeste do município de Goiânia. Trata-se do reservatório da Barragem do Ribeirão João Leite, construído com vistas a assegurar o abastecimento de água tratada para Goiânia e seu entorno até o ano de 2040, e que teve seu enchimento iniciado no final do ano de 2009.

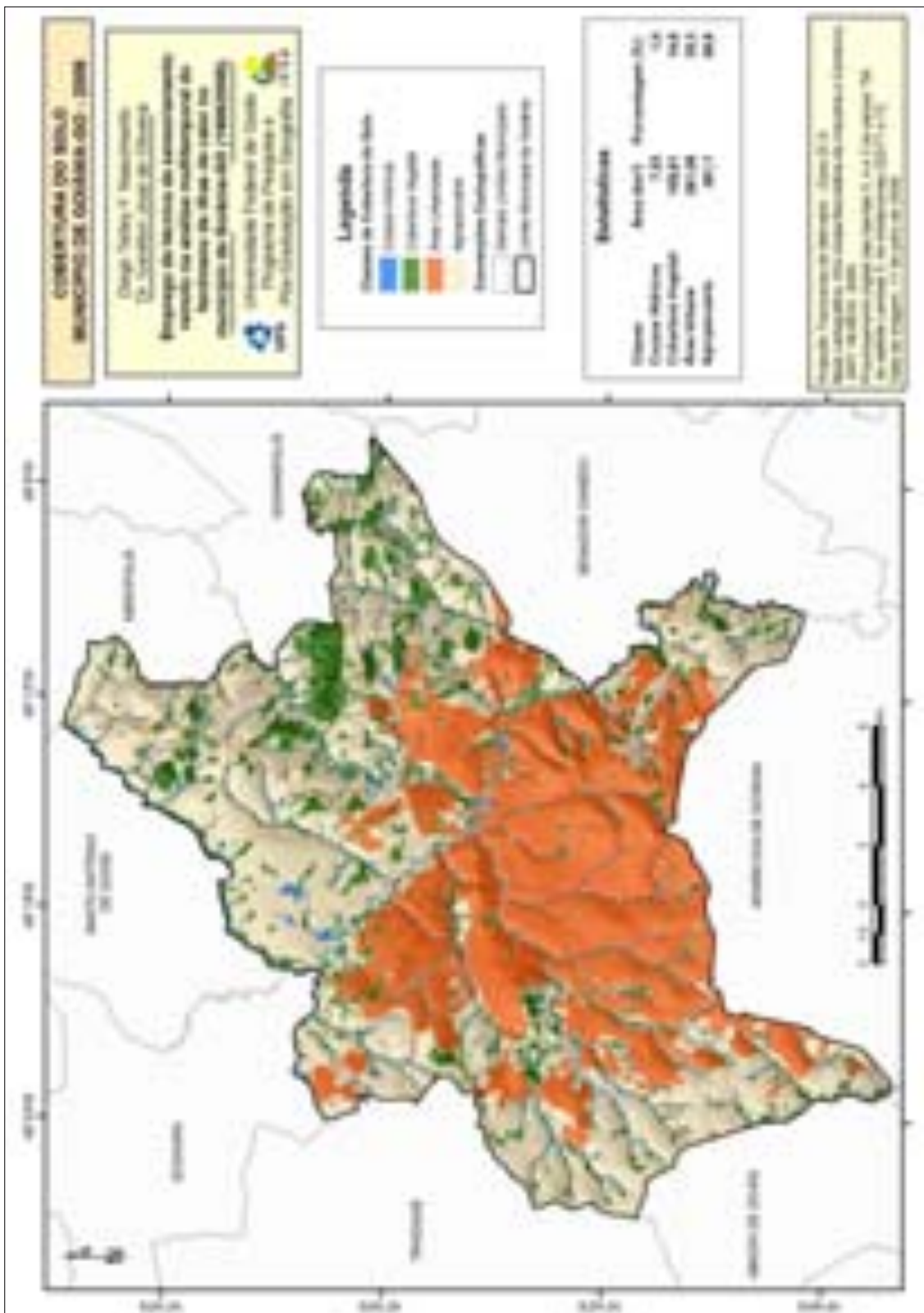


Figura 27: Mapa de Cobertura do Solo do município de Goiânia-GO em 2006

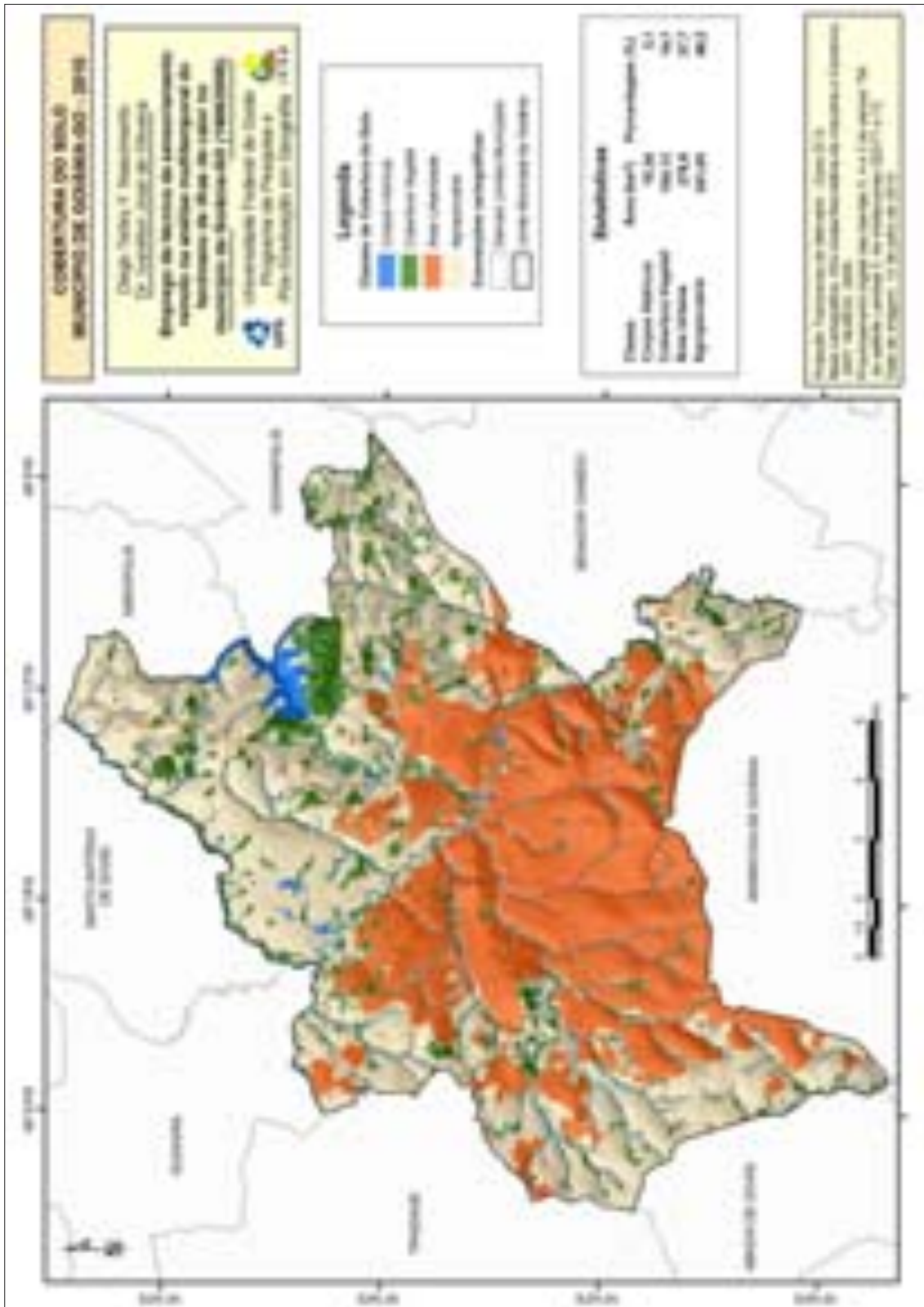


Figura 28: Mapa de Cobertura do Solo do município de Goiânia-GO em 2010

A quantificação das classes de cobertura do solo, de cada recorte temporal, foi mensurada em ambiente SIG, representada na Tabela 1 e ilustrada na Figura 29. Chama a atenção o fato de que a cobertura vegetal do município de Goiânia sofreu redução de 52,7% apenas no decorrer dos anos analisados. De uma área de 220,1 km² em 1986, passou a 104,1 km² no ano de 2010. Não obstante, a área urbanizada¹⁴, que era de 144,5 km², em 1986, alcançou uma área de 278,6 km², no ano de 2010 – um crescimento de 92,8%.

Tabela 1: Quantificação das classes de cobertura do solo de Goiânia-GO – 1986/2010

ANO	Corpos Hídricos		Vegetação		Área Urbanizada		Agropecuária	
	Área		Área		Área		Área	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%
1986	7,3	1,0	220,1	29,8	144,5	19,5	367,7	49,7
1996	7,5	1,0	153,0	20,7	192,9	26,1	386,1	52,2
2006	7,5	1,0	109,8	14,8	261,1	35,3	361,1	48,8
2010	15,3	2,1	104,1	14,1	278,6	37,7	341,5	46,2

Obs.: área total do município = 739,52km².

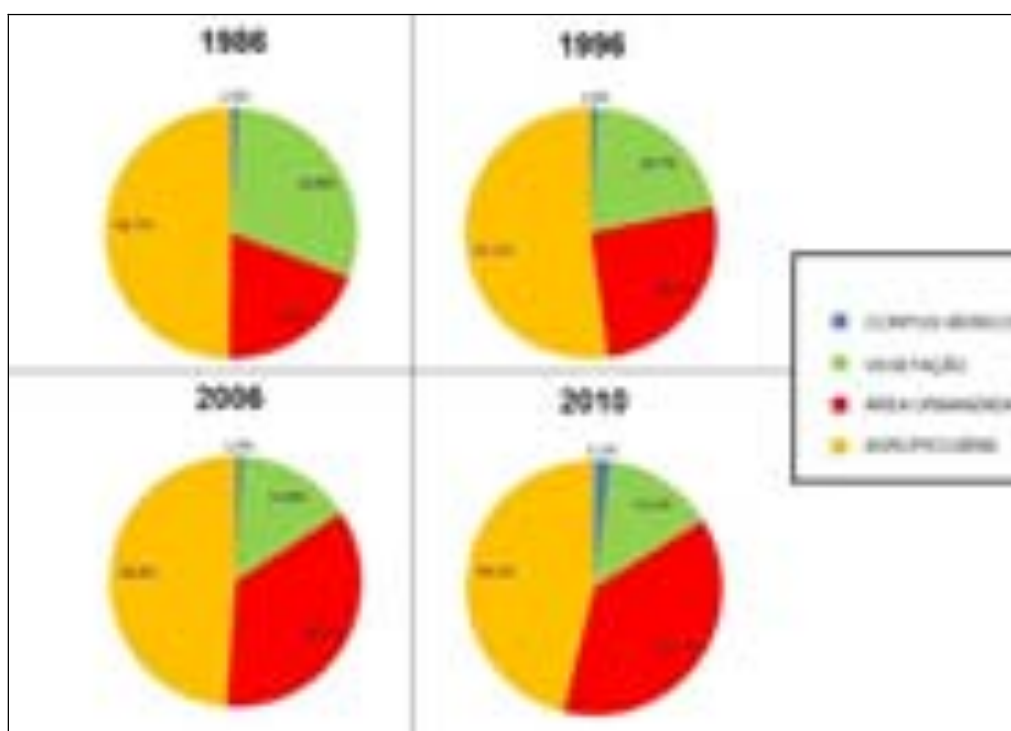


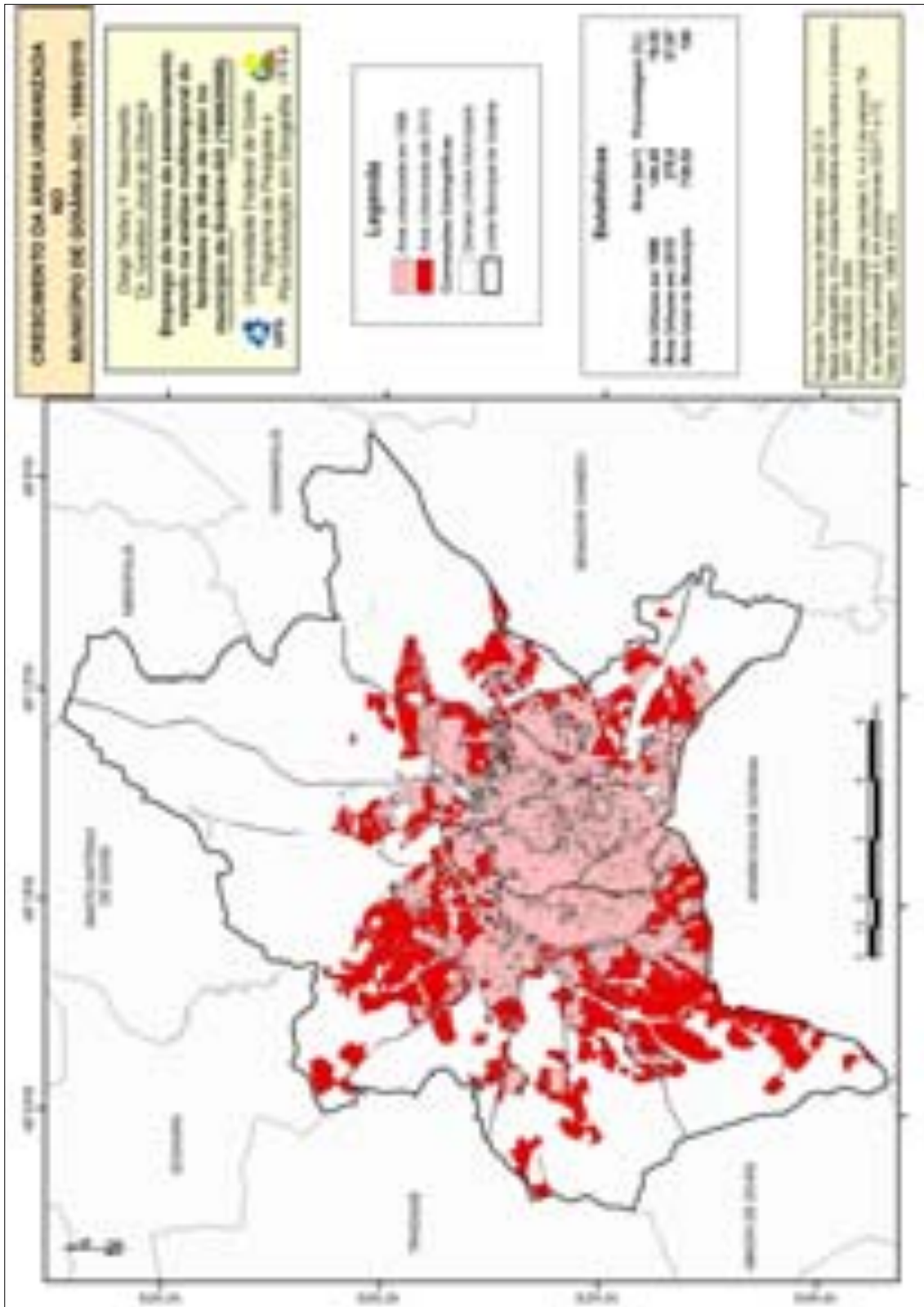
Figura 29: Gráficos de proporção da ocorrência de cada classe de Cobertura do Solo em Goiânia-GO – 1986/1996/2006/2010

¹⁴ O termo “urbanizado” é aqui utilizado no sentido de “área já ocupada por estruturas urbanas ou com registro de modificação para sua implantação, a exemplo de áreas já loteadas para implantação de futuros bairros”. Não corresponde, portanto, aos limites jurídicos do que venha a ser a área urbana do município.

Conforme destacado anteriormente, a construção da barragem do João Leite em 2010 propiciou a duplicação da área revestida por corpos hídricos dos anos anteriores. Já as áreas cobertas por atividades agropecuárias tiveram a maior elevação entre os anos de 1986 e 1996 (crescimento de 27,6 km²), apresentando pouco crescimento e até pequenos recuos nos anos seguintes, certamente por ter sua área destinada à ocupação urbana.

Para uma melhor visualização do crescimento urbano de Goiânia, a Figura ,30 destaca apenas o desenvolvimento da área urbanizada. No mapa são perceptíveis os vetores de crescimento para as regiões sudoeste e noroeste, sendo as regiões central e sul já bastante consolidadas – certamente por apresentarem um relevo mais plano (condicionado pelo Planalto Embutido de Goiânia).

Convém ressaltar as estruturas físicas que tiveram influência nesse processo de crescimento urbano, conforme as instalações da Rede Ferroviária que impediu, até a década de 60, o crescimento a partir do extremo norte do Setor Central, e o Rio Meia Ponte que, até a década de 90, restringiu o crescimento urbano, pela falta de pontes, o que não impediu descontrolada expansão de seus fundos de vale. E, ainda, a Avenida Anhanguera, que provocou o crescimento no sentido leste/oeste, e a Rodovia BR-153, que até meados da década de 80 representou obstáculo à expansão urbana para o leste/sudeste (CORRÊA, 1981).



Além disso, ressaltam-se as restrições históricas existentes na legislação urbana quanto à ocupação antrópica da região norte-noroeste, dada a sua função de preservação dos mananciais – já que lá se encontrava a principal área de captação de água para abastecimento público, estabelecida no curso do rio Meia Ponte. Por isso mesmo, essa região ainda se encontrava bastante preservada até o final da década de 90. O mesmo pode ser dito em relação à região nordeste, mas por conta do relevo mais acentuado.

A mancha urbana, que parece estancar diante dos limites meridionais do município, na verdade ultrapassou essa barreira e se estendeu pelo território do município de Aparecida de Goiânia. Nesse sentido, não houve, inicialmente, uma verdadeira conurbação da mancha urbana das duas cidades e sim um extravasamento do limite sul de Goiânia sobre a parte norte do município vizinho. Esse fato é ainda hoje corroborado pelos imensos vazios urbanos que existem em Aparecida de Goiânia, entre seu núcleo urbano original (a região central da cidade) e seus bairros da porção norte, conectados à Goiânia.

O mesmo vem ocorrendo com outros município limítrofes de Goiânia, como Senador Canedo (à leste) e Trindade (à oeste), mais recentemente, assim como Goianira (à noroeste), em processo. Esse fato pode ser explicado pela consideração de Rodrigues (2010, p.1). Ao analisar a dinâmica populacional de Goiânia, o autor afirma que “nas últimas décadas, Goiânia vê cair o volume e o ritmo de crescimento populacional em favor do crescimento dos municípios do seu entorno imediato”.

A Figura 31, por sua vez, ressalta a supressão da cobertura vegetal, com destaque para a grande devastação ocorrida na porção norte do município de Goiânia, onde a agropecuária foi a primeira a incorporar os espaços e, paulatinamente, vem sendo substituída por ocupação urbana.

A figura chama a atenção, também, para os desmatamentos das áreas de preservação permanente, no entorno dos corpos hídricos inseridos na área urbana do município, desencadeados essencialmente pela ocupação indevida dessas áreas, principal reflexo do crescimento urbano sem o devido planejamento. Convém destacar que, na maior parte dos casos, não se tratam de ocupações promovidas por pessoas de baixa renda, pois apresentam padrão de residências de classe média. E o próprio Estado é um dos agentes transformadores desses espaços, com a instalação de redes viárias.

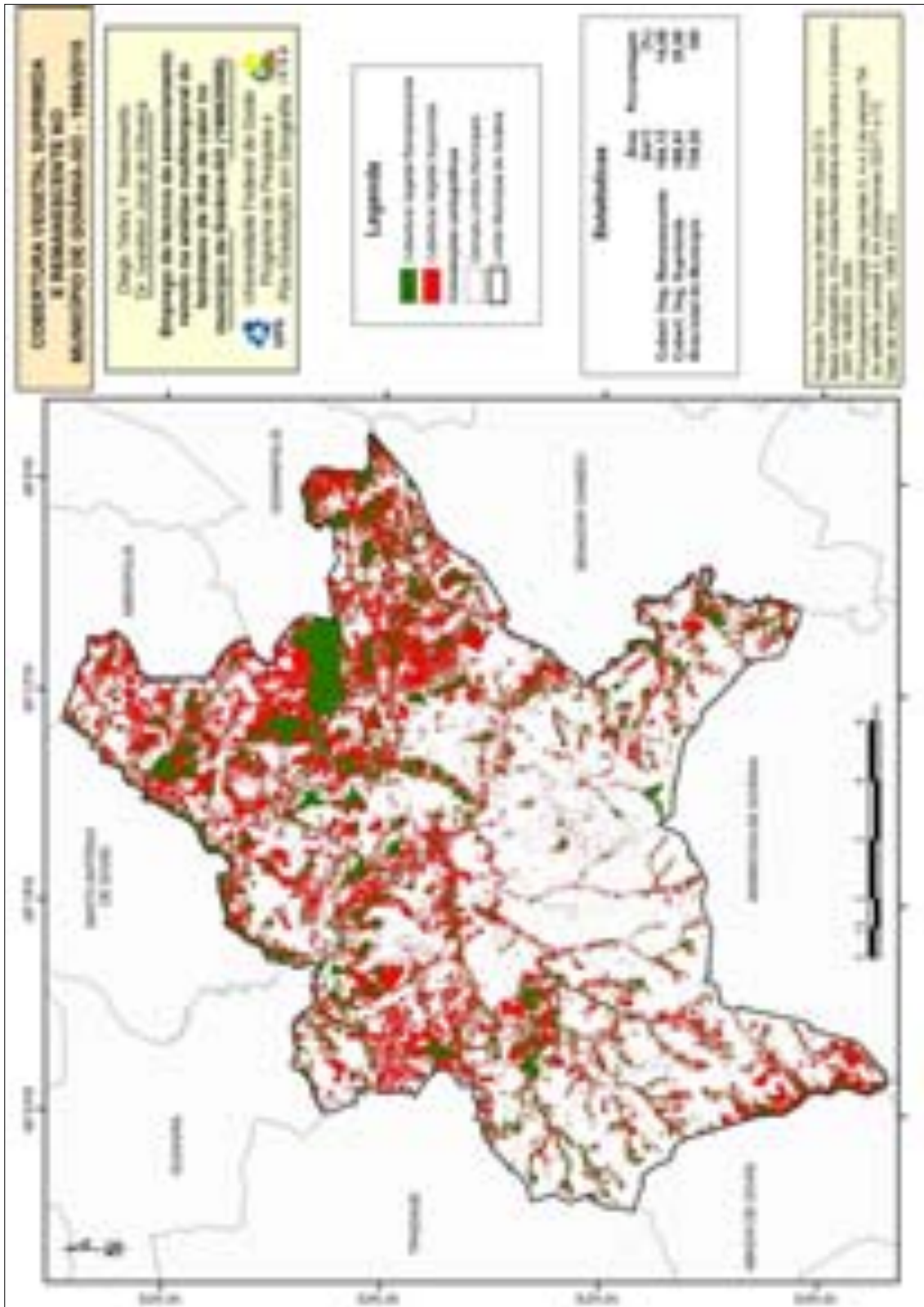


Figura 31: Supressão da Cobertura Vegetal no município de Goiânia-GO entre 1986 e 2010

3.2 O fenômeno de ilhas de calor em Goiânia-GO

Conforme destacado por Jensen (2007), o analista de imagens do infravermelho termal deve ter em mente as diferenças entre esse tipo de imagem e as demais provenientes do sensoriamento remoto, essencialmente no tocante às características térmicas do produto. Para tanto, é preciso atentar-se a: 1) como a energia radiada pelo sol interage com a atmosfera; 2) como ela interage com os materiais da superfície; 3) como a energia emitida pelo terreno interage com a atmosfera novamente; e 4) como um sensor orbital registra a radiação infravermelha termal.

Assim, com vistas a possibilitar uma análise multitemporal e, ao mesmo tempo, considerando os preceitos indicados por Jensen (2007), a seleção das imagens respeitou a necessidade de condições homogêneas no estado atmosférico (Quadro 5), respeitando níveis similares de ganho de energia solar para possibilitar uma interação semelhante com a superfície e a atmosfera e de irradiação superficial. E, dessa forma, garantir a possibilidade de análise comparativa das situações encontradas ao longo dos anos analisados.

Os Mapas de Temperatura Superficial Terrestre de Goiânia-GO de 1986, 1996, 2006 e 2010 são representados pelas Figuras 32, 33, 34 e 35 (respectivamente). Neles é possível vislumbrar as maiores temperaturas da superfície terrestre ocorrendo nas áreas centrais do município (alcançando os 29°C, para o ano de 1986, chegando a alcançar os 36°C, conforme constatado em 2010), enquanto as menores temperaturas são verificadas nas áreas periféricas – situação já esperada, dadas as constatações semelhantes já retratadas para outros ambientes urbanos (Capítulo 1) –, com valores partindo de 19°C. Contudo, o fenômeno de ilhas de calor em Goiânia permite constatar algumas variações nesse modelo, que são detalhadas e analisadas a seguir.

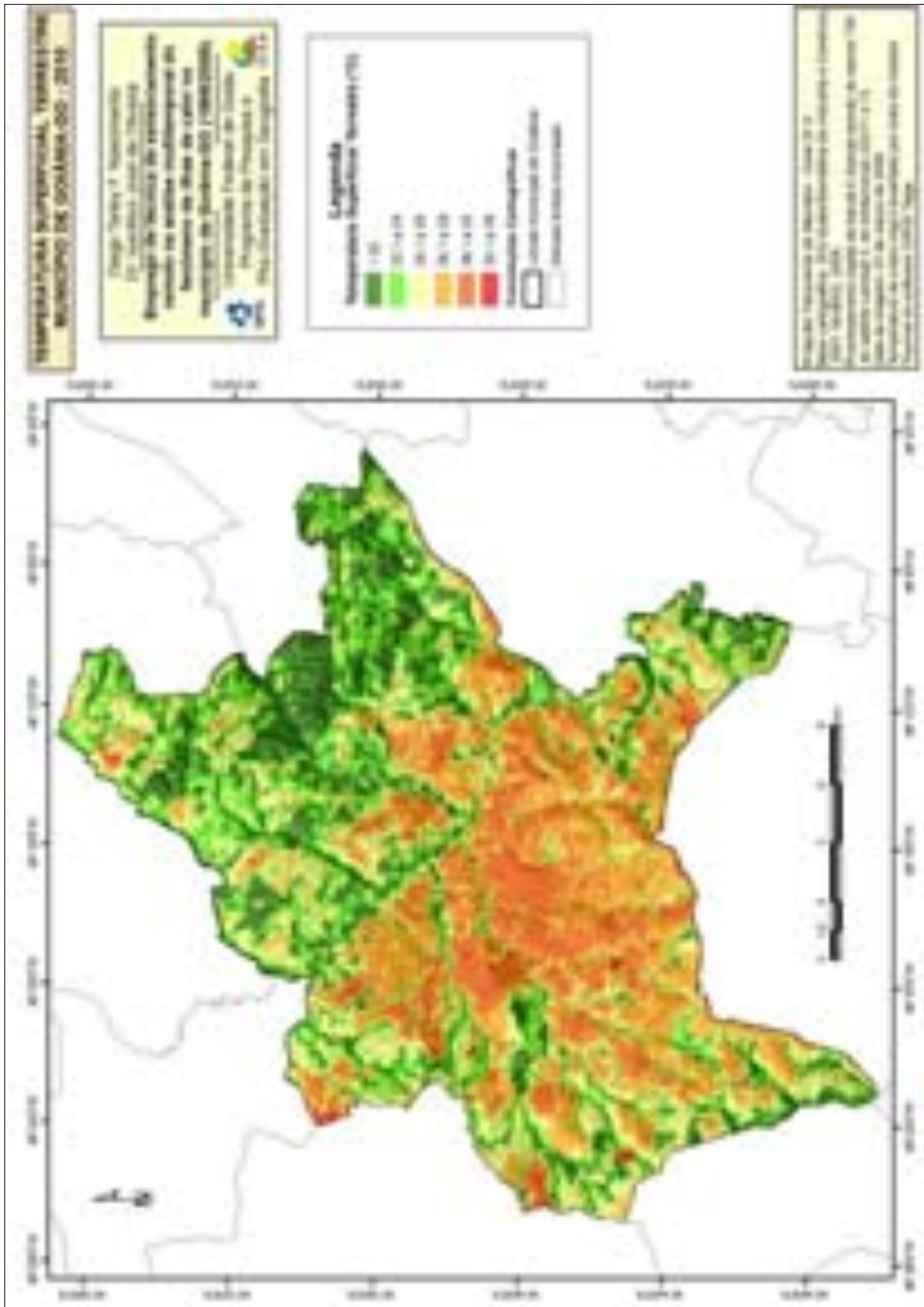


Figura 35: Mapa de Temperatura Superficial Terrestre do município de Goiânia-GO – 2010

Para o ano de 1986, os menores valores de TST ocorrem nas regiões nordeste, nas imediações do Ribeirão João Leite, e norte-noroeste, nas proximidades do Ribeirão Caveiras, destacadas com círculos azuis na Figura 36, onde se verificam valores partindo dos 19°C. Já os maiores valores de TST são registrados nas regiões nordeste, sudeste e sudoeste, em espaços destacados com os retângulos vermelhos na figura, onde as temperaturas superficiais alcançam os 29°C. Portanto, a maior amplitude de temperatura superficial, ou seja, a diferença entre o maior e o menor valor verificados no ano de 1986, é da ordem de 10°C.

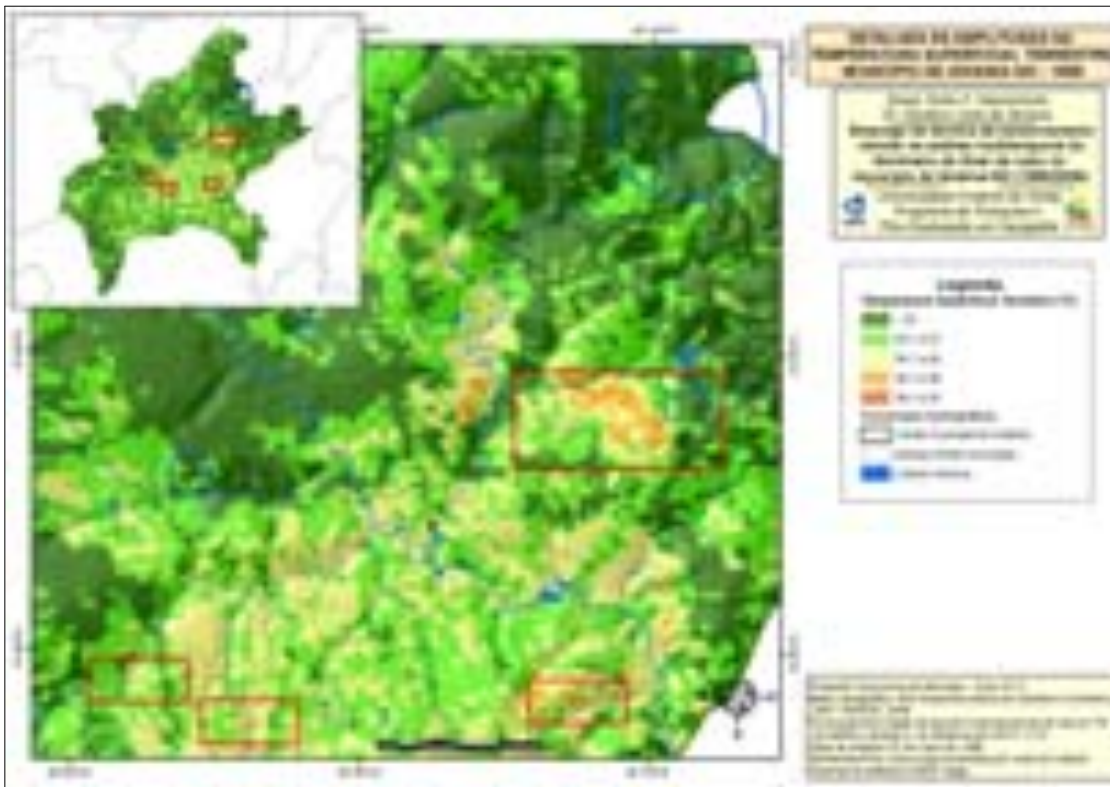


Figura 36: Detalhes de amplitude na Temperatura Superficial Terrestre de Goiânia-GO em 1986

Conforme representado na figura 37, em 1996 a amplitude de temperatura superficial aumenta para 13°C. Enquanto os menores valores de TST ocorrem nas regiões nordeste e oeste da Capital, com registros de temperaturas variando entre 19 e 20°C, a porção central do município (áreas destacadas pelos retângulos vermelhos) apresenta valores oscilando entre 30 e 32°C.

No ano de 2006, a variação térmica espacial verificada foi de 14°C, com os menores valores registrados (Figura 38) variando entre 19 e 20°C, nas regiões nordeste e oeste, e os maiores valores de temperatura superficial constatados em dois pontos na porção central e outro no extremo sudoeste, com valores variando entre 32 e 33°C.

O ano de 2010 (Figura 39) já apresenta uma variação espacial simultânea da temperatura superficial terrestre alcançando os 17°C. Os menores valores de TST são verificados, novamente, nas regiões nordeste e oeste, com registros entre 19 e 20°C. Os maiores valores, por sua vez, também mantém a similaridade na ocorrência geográfica com o ano de 1996 (salvo por uma das áreas). Os valores, contudo, oscilam para mais, variando entre 33° e 36°C, constatados em alguns pontos da porção central e na região sudoeste do município.

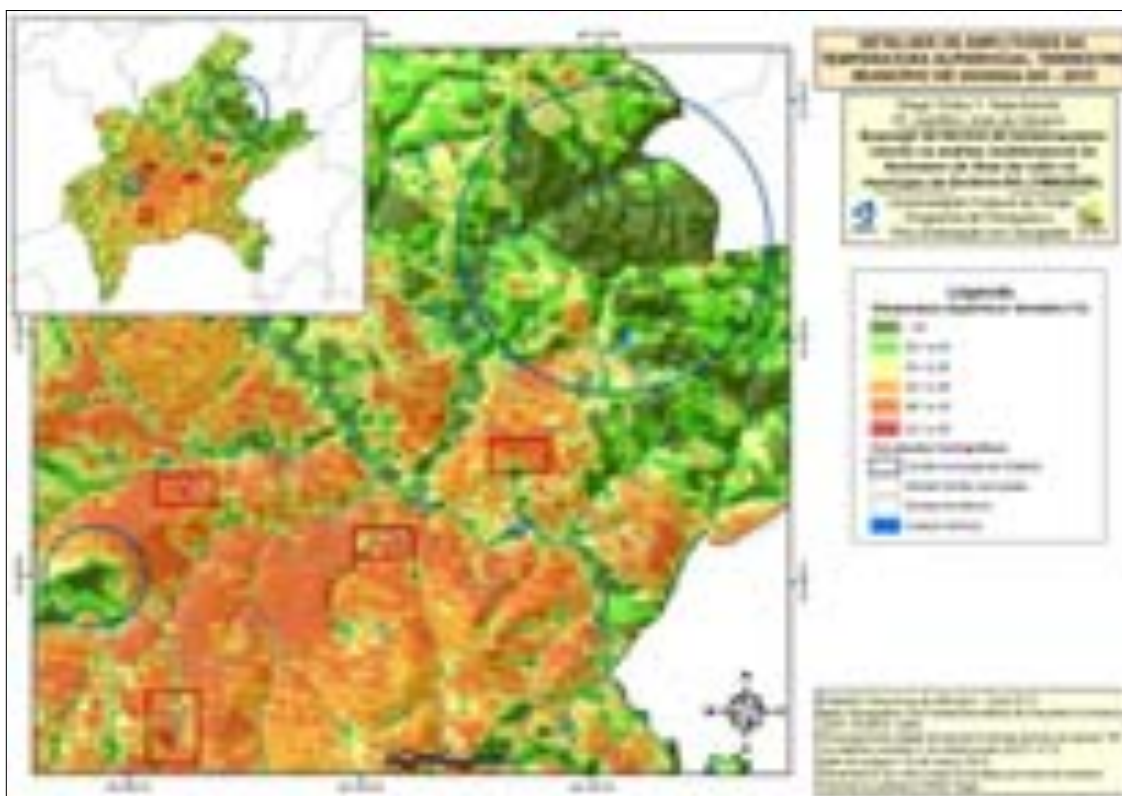


Figura 39: Detalhes de amplitude na Temperatura Superficial Terrestre de Goiânia-GO em 2010

As representações da distribuição espacial da TST ao longo dos anos pesquisados demonstram que os menores valores de temperatura superficial são predominantemente encontrados nas regiões nordeste, oeste e extremo sudoeste do município. No caso da região nordeste, tal ocorrência pode ser explicada pela presença

de uma grande área com cobertura vegetal arbórea densa, classificada como Floresta Estacional Semi-Decídua e Decídua, instalada em região dominada por morros, que alcançam cotas acima dos 1.000m de altitude. Além disso, essa região é cortada por um importante manancial do município, o Ribeirão João Leite.

A altitude, por sua vez, é o principal fator relacionado à ocorrência de temperaturas amenas também na região oeste de Goiânia, onde se encontra um dos pontos mais elevados do município, o Morro do Mendanha, com cota altimétrica de 914m, e no extremo sudoeste do município, cujas cotas altimétricas também ultrapassam os 900m.

No outro oposto, as temperaturas mais elevadas ocorrem essencialmente nas áreas central, sudoeste e sul do município, regiões já consolidadas, em termos de ocupação urbana, com intensa ocorrência de construções e atividades antrópicas – condições essas favoráveis para a formação das ilhas de calor. Convém ainda destacar outra região onde há ocorrência de temperaturas elevadas: na porção nordeste do município, nas imediações da área do aeroporto de Goiânia, a qual, desde o ano de 1986, já apresenta temperaturas consideráveis certamente por apresentar uma extensa área sem revestimento vegetal, o que propicia em uma elevação da temperatura superficial terrestre.

A Figura 40 apresenta os gráficos com a proporção de ocorrência de cada classe de TST durante os anos analisados, sendo possível, por meio de uma análise comparativa, conferir uma verdadeira inversão na representatividade das classes de temperatura superficial no decorrer dos anos de 1986 a 2010, que oscilaram do predomínio absoluto das temperaturas abaixo de 24° C, para o domínio amplo das temperaturas acima desse patamar.



Figura 40: Gráficos de proporção da ocorrência de cada classe de Temperatura Superficial Terrestre em Goiânia-GO – 1986/1996/2006/2010

3.2.1 A evolução do fenômeno de ilhas de calor em Goiânia-GO entre 1986 e 2010

É notório que o fenômeno de ilhas de calor apresenta um desenvolvimento contínuo no decorrer dos anos, haja vista ser considerado um processo adaptativo e intensificador.

Pautado nesse pressuposto, é oportuno destacar a variação dos menores e maiores valores de TST verificados no decorrer dos anos, apresentados na Tabela 2. Percebe-se, pelos dados, que o menor valor se manteve estável, em 19°C. Contudo, os maiores valores registrados apresentaram uma gradual elevação no decorrer dos anos, com oscilação da ordem de 7° C entre os anos de 1986 e 2010. Ainda é possível destacar uma elevação nas temperaturas médias, de 24°C em 1986 para 27,5°C em 2010, assim como na moda dos valores registrados, de 23°C em 1986 e 1996, para 24°C em 2006 e 2010.

Tabela 2: Valores de Temperatura Superficial Terrestre registrados em Goiânia

	1986	1996	2006	2010
Menor valor de TST verificado (°C)	19	19	19	19
Maior valor de TST verificado (°C)	29	32	33	36
Média dos valores de TST verificados (°C)	24	25,5	26	27,5
Moda dos valores de TST verificados (°C)	23	23	24	24
Intensidade (ΔT) da I.C. (°C)	10	13	14	17

Ainda representado na Tabela 2, tem-se a medida da intensidade das ilhas de calor, que pode ser representada pela equação $\Delta T: Tu-Tr$, que representa a diferença entre a maior temperatura verificada na área urbana (T_u) em relação a menor temperatura registrada nas áreas de seu entorno e na região rural (T_r) (OKE, 1987, p. 289). O menor valor de intensidade ocorreu em 1986, com 10°C, apresentando considerável elevação no decorrer dos anos, até alcançar, em 2010, o maior valor registrado, de 17°C de variação de TST entre a área urbana e entorno/rural do município de Goiânia-GO.

Mais interessante que a elevação do maior valor verificado é a evolução da proporção (em porcentagem de ocorrência) de cada classe de temperatura superficial terrestre no decorrer dos anos analisados. Conforme representado na Figura 41, a proporção de ocorrência das temperaturas mais amenas, isto é, até 24°C, representadas pelas linhas de cor verde escuro (menores que 22°C) e verde claro (22,1 a 24°C), apresentou um recuo entre 1986 e 2010. Situação oposta à verificada na proporção das temperaturas mais elevadas (24,1 a 38°C), representadas pelas linhas amarela, laranja, vermelho claro e vermelho escuro, que apresentou um aumento no decorrer dos anos – quer seja esse aumento significativo, conforme verificado na classe de temperaturas superficiais de 26,1 a 28°C, ou bem discreto, como ocorrido na classe de temperaturas compreendidas entre 32,1 a 38°C.

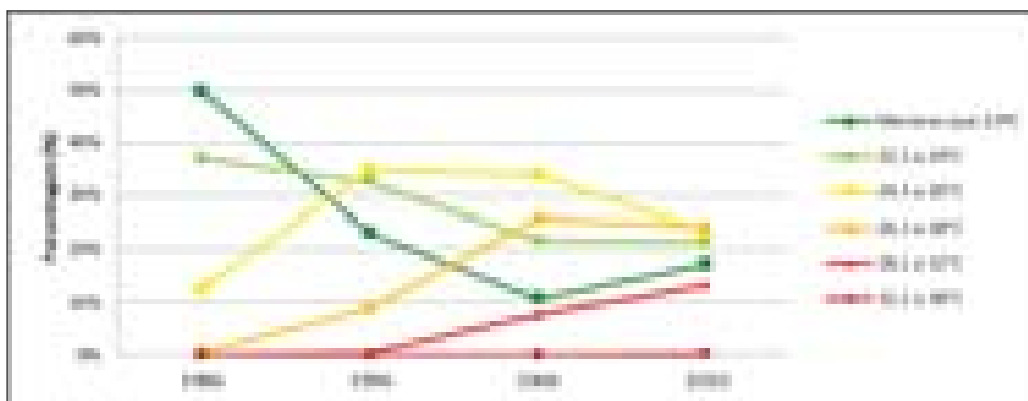


Figura 41: Gráfico da evolução da proporção (%) de cada classe de TST

A quantificação da proporção em porcentagem e área de cada classe de TST no decorrer dos anos analisados é apresentada na Tabela 3. Nela é possível observar que a classe de TST inferior a 22°C apresentou expressivo declínio de ocorrência, passando de 49,8%, em 1986, para 17,3%, em 2010 (cerca de 1/3 de sua área original). O mesmo ocorreu também na classe de TST seguinte, 22,1 a 24°C, diminuindo de 37%, em 1986, para 21,6%, em 2010, o que indica uma redução de quase metade da área.

Tabela 3: Área e proporção (%) de cada classe de TST por ano.

Temperatura Superficial Terrestre/ Ano	Menores que 22°C		22,1 a 24°C		24,1 a 26°C		26,1 a 28°C		28,1 a 32°C		32,1 a 38°C	
	Área		Área		Área		Área		Área		Área	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%
1986	368,1	49,8	273,4	37	93,8	12,7	4	0,6	0,2	0	0	0
1996	171,7	23,2	241,4	32,6	257,1	34,8	66,1	8,9	3,1	0,4	0,1	0
2006	79,8	10,8	160,9	21,8	250,5	33,9	190,9	25,8	57,1	7,7	0,3	0
2010	128	17,3	159	21,6	172	23,3	179	24,2	99,2	13,4	1,6	0,2

Obs.: área total do município = 739,52km².

Contrariamente, as classes de temperatura mais elevadas apresentaram oscilação positiva em termos de proporção, no decorrer dos anos. A faixa compreendida entre 24,1 e 26°C dobrou de área, passando de 12,7%, em 1986, para 23,3%, em 2010. A classe de 26,1 a 28°C, com 0,6% de ocorrência em 1986, passou a ocupar 24,2% da área total em 2010 (uma elevação de quase 40 vezes!). E, por fim, as classes entre 28,1 e 38°C, que eram inexistentes em 1986, passaram a ocupar 13,6% da área total do município em 2010.

Comparando visualmente os mapas de temperatura superficial terrestre de 1986, 1996, 2006 e 2010 (Figuras 32, 33, 34 e 35, respectivamente), é possível destacar que a porção central do município foi a que apresentou maior dinamicidade dos valores de TST no decorrer dos anos. Tal fato pode ser justificado pela intensificação das atividades e construções antrópicas nessa porção do município, modificando o revestimento e a cobertura do solo, com a substituição ou redução de coberturas vegetais naturais e de corpos hídricos.

Essa conversão de coberturas naturais em antrópicas eleva a absorção e a emissão de temperatura pela superfície, aumentando a temperatura local. Além disso, convém destacar que: 1) uma menor proporção de cobertura vegetal natural e de corpos hídricos resulta em uma maior quantidade de calor sensível (responsável pelo aquecimento da superfície e do ar), haja vista a radiação solar não ser gasta na evapotranspiração (calor latente); e 2) por conta desse aumento de temperatura nas áreas centrais, há a formação de uma zona de baixa pressão, que direciona os ventos das regiões periféricas para a região central, acrescentando mais poluentes àqueles originados pelas atividades antrópicas ali realizadas, o que favorece ainda mais a absorção e emissão de calor.

3.3 O papel do Crescimento Urbano na evolução do fenômeno de ilhas de calor

É notório o papel da organização do espaço geográfico no clima e, sobremaneira, na variação espacial dos elementos climáticos verificada no espaço intraurbano, especialmente no que se refere às temperaturas superficiais e na origem do fenômeno “ilhas de calor”.

O crescimento da cidade reflete na intensificação do fenômeno de ilhas de calor, daí a importância em se analisar conjuntamente o crescimento urbano e a evolução dos valores de temperatura nesse ambiente, com a possibilidade de cotejamento. Por isso, depois de realizados os mapeamentos do campo térmico superficial, pelos valores de TST, e do crescimento urbano, no que diz respeito às alterações no revestimento e na cobertura no município de Goiânia, foram mensuradas as proporções dos valores de temperatura superficial em cada classe de cobertura do solo, para cada ano analisado.

Os gráficos representados na Figura 42 ilustram esse cotejamento. Neles é possível observar quais temperaturas são mais expressivas conforme determinada cobertura do solo.

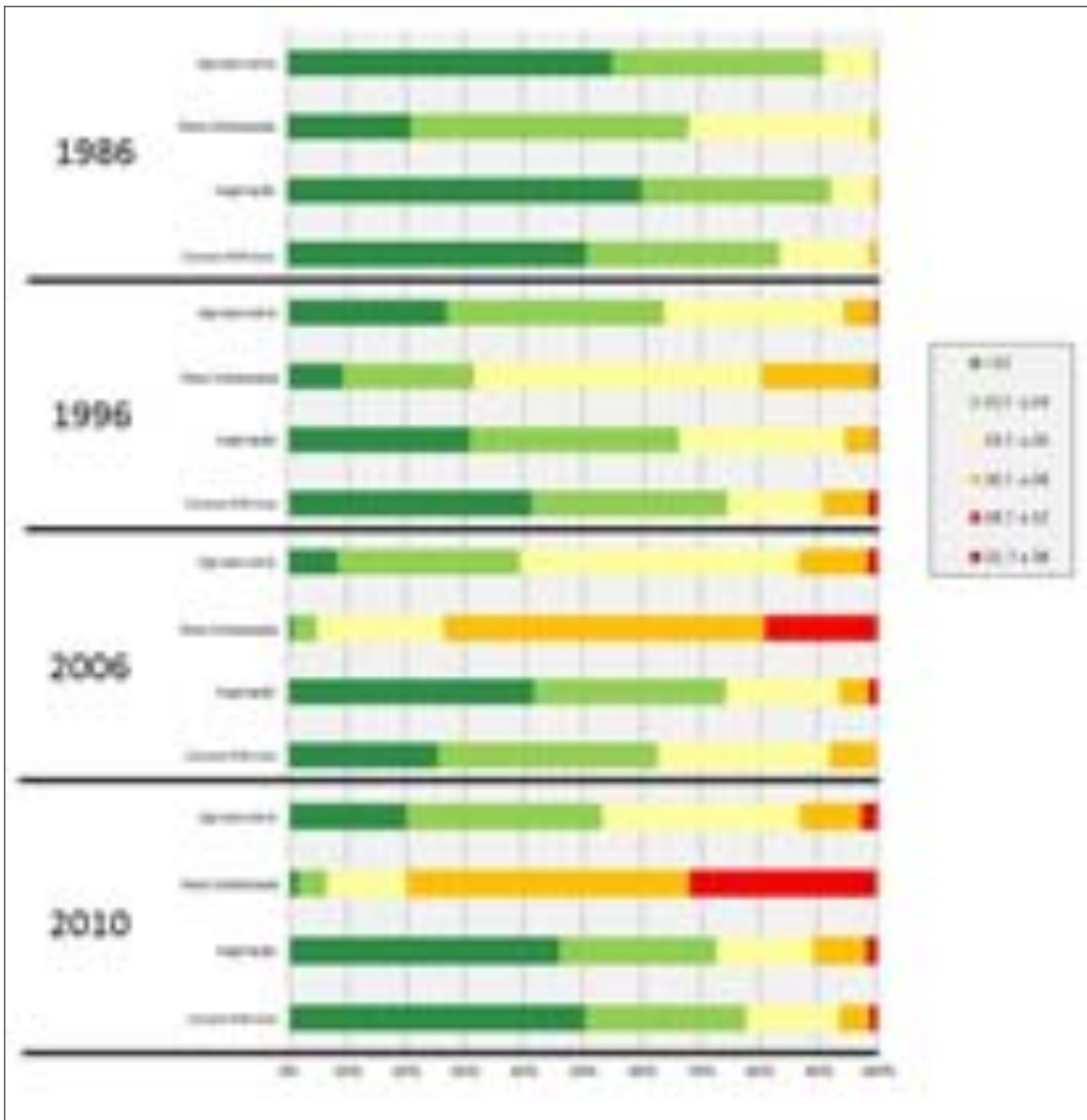


Figura 42: Gráficos da proporção de cada classe de TST por classe de cobertura do solo, por ano.

Comparando visualmente os gráficos dos anos de 1986, 1996, 2006 e 2010, percebe-se que, geralmente, a maior proporção de temperaturas amenas (menores que 24°C) ocorre sobre áreas revestidas por vegetação e corpos hídricos, mas também são significativas sobre as áreas revestidas por cobertura agropecuária, onde podia-se esperar maiores valores de temperatura superficial, por se tratar de um uso antrópico.

Contudo, as áreas ocupadas por lavouras e pastagens (entre outras formas) apresentam temperaturas amenas, o que está relacionado, presume-se, ao fato de se encontrarem na região periférica do município, mais aberta a atuação de ventos (que repercutem em quedas de temperatura), além de apresentarem maior presença de vegetação, como as gramíneas ou culturas rotativas, associadas às atividades antrópicas, entremeadas pelos remanescentes de matas preservadas na forma de mata ciliar, de galeria, de encosta ou de topo.

Por sua vez, as maiores temperaturas superficiais (entre 24°C e 38°C) são constatadas na área urbanizada, onde a proporção de ocorrência de temperaturas mais amenas só é significativa no ano de 1986 e, posteriormente, sofre redução drástica

Os gráficos auxiliam, sobretudo, em uma melhor representação da evolução da proporção das classes de TST sobre cada cobertura do solo no decorrer dos anos, sendo possível destacar que, geralmente, a proporção de temperaturas mais amenas diminui em todos os tipos de cobertura do solo, sobremaneira nas classes Área Urbanizada (de 20,9% de ocorrência de temperaturas menores que 22°C, em 1986, para 1,7%, em 2010) e Agropecuária (com recuo, da mesma classe de temperaturas, de 55% em 1986, para 20%, em 2010). Nessas duas coberturas do solo ainda se destacam os acréscimos mais consideráveis na proporção de temperaturas mais elevadas (entre 24,1 e 38°C).

A Tabela 4 retrata a mensuração, realizada em ambiente SIG, da tabulação cruzada entre o mapeamento da cobertura do solo e o levantamento do campo térmico do município de Goiânia-GO.

Tabela 4: Tabulação Cruzada das Classes de Cobertura do Solo e de Temperatura Superficial Terrestre, para cada ano

Classes de Cobertura do Solo		Corpos Hídricos		Vegetação		Área Urbanizada		Agropecuária	
Ano	TST (°C)	Área		Área		Área		Área	
		km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%
1986	< 22	3,7	50,7	131,9	59,9	30,2	20,9	202,3	55,0
	22,1 a 24	2,4	32,9	70,9	32,2	68,1	47,1	132	35,9
	24,1 a 26	1,1	15,1	15,9	7,2	44,9	31,1	31,9	8,7
	26,1 a 28	0,1	1,4	1,2	0,5	1,3	0,9	1,4	0,4
	28,1 a 32	0,0	0,0	0,2	0,1	0	0,0	0	0,0
	32,1 a 38	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0	0,0
1996	< 22	3,1	41,3	47,2	30,8	17,3	9,0	104,1	27,0
	22,1 a 24	2,5	33,3	53,9	35,2	43,6	22,6	141,4	36,6
	24,1 a 26	1,2	16,0	43,4	28,4	93,9	48,7	118,6	30,7
	26,1 a 28	0,6	8,0	8,0	5,2	37,2	19,3	20,3	5,3
	28,1 a 32	0,1	1,3	0,5	0,3	0,9	0,5	1,6	0,4
	32,1 a 38	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
2006	< 22	1,9	25,3	45,6	41,5	2,1	0,8	30,2	8,4
	22,1 a 24	2,8	37,3	36	32,8	11,1	4,3	111	30,7
	24,1 a 26	2,2	29,3	21,1	19,2	56	21,4	171,2	47,4
	26,1 a 28	0,6	8,0	5,5	5,0	142,1	54,4	42,7	11,8
	28,1 a 32	0	0,0	1,6	1,5	49,5	19,0	6	1,7
	32,1 a 38	0	0,0	0	0,0	0,3	0,1	0	0,0
2010	< 22	7,7	50,3	47,5	45,8	4,6	1,7	68,2	20,0
	22,1 a 24	4,2	27,5	27,6	26,6	13,2	4,7	114	33,4
	24,1 a 26	2,4	15,7	17,2	16,6	38,1	13,7	114,3	33,5
	26,1 a 28	0,8	5,2	9,4	9,1	133,5	48,0	35,3	10,3
	28,1 a 32	0,2	1,3	1,7	1,6	88	31,6	9,3	2,7
	32,1 a 38	0	0,0	0,2	0,2	1	0,4	0,4	0,1

Em **1986**, as temperaturas menores que 22°C são constatadas em pouco mais da metade das classes de cobertura do solo revestidas por corpos hídricos (50,7%), vegetação (59,9%) e agropecuária (55%). A exceção é classe Área Urbanizada, em que tal classe de temperatura perfaz apenas 20,9% de sua área – sendo mais expressiva a ocorrência de temperaturas compreendidas entre 22,1 e 24°C (47,1%) e entre 24,1 e 26°C (31,1%).

Já a ocorrência de valores acima dos 26,1°C é pouco expressiva no ano de 1986, correspondendo a apenas 1,4% das áreas revestidas por corpos hídricos, 0,6% das áreas com vegetação, 0,9% em áreas urbanizadas e 0,4 nas áreas com agropecuária.

No ano seguinte, **1996**, percebe-se um aumento na ocorrência das temperaturas acima de 26°C, ao mesmo tempo em que há um grande incremento na classe de temperaturas variando de 24,1 a 26°C, que praticamente quadruplica sua participação em área. Nas coberturas revestidas por vegetação, aumenta de 7,2%, em 1986, para 28,4%, em 1996, e nas áreas com agropecuária passa de 8,7% para 30,7%.

Por sua vez, constata-se um declínio na ocorrência das temperaturas inferiores a 22°C em todas as classes de cobertura do solo, principalmente nas áreas urbanizadas, apresentando um declínio de 20,9%, em 1986, para 9%, em 1996. Nesse tipo de cobertura ocorre, sobretudo, um aumento da participação relativa das temperaturas intermediárias, entre 24,1 e 28°C, o que já configurava um indicador da intensificação do fenômeno de ilhas de calor.

Em **2006** ressalta-se, novamente, uma queda na proporção de temperaturas inferiores a 22°C nas superfícies recobertas por corpos hídricos, área urbanizada e agropecuária, especialmente nestas duas últimas, que passam de 9% e 27%, respectivamente, em 1996, para 0,8% e 8,4%, no ano de 2006. O maior acréscimo ocorre entre as temperaturas intermediárias (26,1 a 28°C) nas áreas urbanizadas, que passam de 19,3%, na situação anterior, para 54,4% em 2006.

O ano de **2010** se destaca dentre os demais por apresentar um acréscimo considerável na proporção de ocorrência das temperaturas mais elevadas em todas as classes de cobertura do solo. Mas esse fenômeno é ainda mais marcante nas áreas urbanizadas, que passam a apresentar 31,6% de sua área total de ocorrência com valores de TST entre 28,1 e 38°C.

Convém ressaltar, para o ano de 2010, certo incremento também nas temperaturas menores que 22°C em todas as classes de temperatura, o que poderia indicar uma possível retração do fenômeno de aquecimento. Mas isso pode ser justificado pelo fato da data selecionada como representativa do ano de 2006 ter registrado uma temperatura do ar mais elevada em comparação aos outros anos analisados, e ainda com valores inferiores de umidade relativa do ar (ver Quadro 5 do

Capítulo 2). Tais condições podem ter induzido uma maior intensificação das ilhas de calor em 2006, o que repercutiu em menor participação relativa das temperaturas abaixo de 22°C, quando comparada ao ano de 2010.

Esse incremento na proporção de temperaturas mais amenas, de 2006 para 2010, foi mais tímido nas áreas urbanizadas – o que se explica em função das próprias características da cobertura, sujeitas a elevadas temperaturas mesmo em condições desfavoráveis à intensificação do fenômeno de ilhas de calor – e nas áreas revestidas por vegetação – destacando o papel de tais áreas na amenização dos valores de temperaturas, possuindo uma importante atuação no alívio e no conforto térmico. Por sua vez, essa variação foi mais intensa nas coberturas revestidas por agropecuária, possivelmente pela ocorrência de ventos em 2006 (não registrados nas outras datas), que podem ter levado o ar aquecido das áreas centrais para as áreas periféricas/rurais – daí os registros, naquele ano, de maior participação de temperaturas elevadas que em 2010.

Também houve aumento significativo da participação de temperaturas abaixo de 22° C, em 2010, nas superfícies com corpos hídricos, o que seria algo anômalo, haja vista, de uma forma geral, superfícies aquáticas serem maus condutores térmicos se comparadas às superfícies secas. Além de a água limpa ser capaz de absorver a maior parte da radiação que nela incide, o que explica os baixos valores sempre registrados pelos sensores do Landsat em sua banda termal. Contudo, é preciso considerar que houve ampliação da área de ocorrência dessas superfícies, em 2010, devido à construção e enchimento do reservatório da Barragem do Ribeirão João Leite.

Os mapas representados nas Figuras 43, 46, 49 e 51, a seguir, representam a variação espacial das TST recortadas para cada tipo de cobertura do solo, no ano de 2010 – ou seja, na situação mais próxima da atual.

A Figura 43 diz respeito aos valores de TST registrados sobre os corpos hídricos. Inicialmente, convém lembrar que o pixel da imagem termal diz respeito à média dos valores registrados na área “imageada” pelo sensor orbital. Logo, a temperatura registrada pode não dizer respeito diretamente à temperatura do corpo hídrico, mas também aos valores de temperatura existente nas suas imediações – principalmente quando o corpo hídrico apresentar pequena largura em seu leito.

Como seria esperado para esse revestimento do solo, há um predomínio absoluto dos menores valores de TST (abaixo de 24°C). Isso é bem perceptível nos trechos que cortam ou estão inseridos em grandes extensões de cobertura vegetal, seja em parques urbanos ou na zona rural, ou ainda em locais onde o corpo hídrico possui largura considerável, como é o caso do Rio Meia Ponte, que corta o município em sentido noroeste/sudeste, ou extensa área, como ocorre na represa do Ribeirão João Leite – (Figura 44).

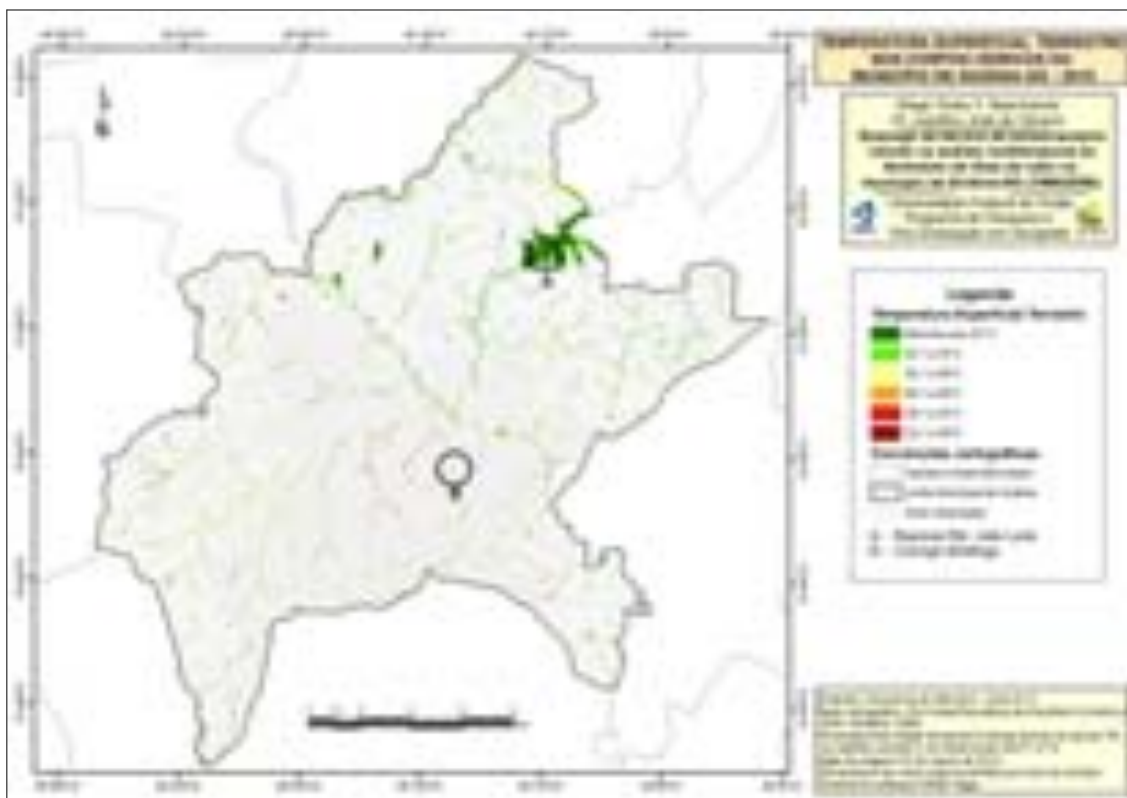


Figura 43: Mapa da Temperatura Superficial Terrestre na classe de cobertura do solo Corpos Hídricos - Goiânia-GO/2010.

Convém ressaltar, no entanto, que esse predomínio praticamente desaparece nas superfícies hídricas localizadas no interior da área urbanizada do município de Goiânia, que registram valores de TST até mesmo acima de 28° C, como pode ser constatado em parte do Córrego Botafogo, cujo leito foi quase totalmente canalizado (Figura 45). Tal ocorrência pode estar associada à ausência de vegetação lindeira ou mesmo à influência das atividades e construções antrópicas, associadas ao lançamento de poluentes, partículas em suspensão e assoreamento dos cursos d'água.



Figura 44: Barragem do Ribeirão João Leite
Fonte: <http://goianiabr.blogspot.com/2010/>



Figura 45: Córrego Botafogo.
Fonte: foto do autor, 2011.

A Figura 46 representa os valores de temperaturas superficiais registrados nas áreas recobertas por vegetação. Nela o padrão espacial das TST é semelhante àquele verificado nas superfícies com corpos hídricos, com domínio da ocorrência de temperaturas abaixo de 22°C nas áreas fora do espaço urbanizado do município, e essencialmente, em consideráveis extensões de vegetação, como é possível destacar na porção norte do município. No interior da área urbanizada, entretanto, tais valores ocorrem somente em alguns trechos, com presença mais expressiva de áreas verdes, a exemplo do Jardim Botânico (Figura 47) e do Bosque dos Buritis (Figura 48).

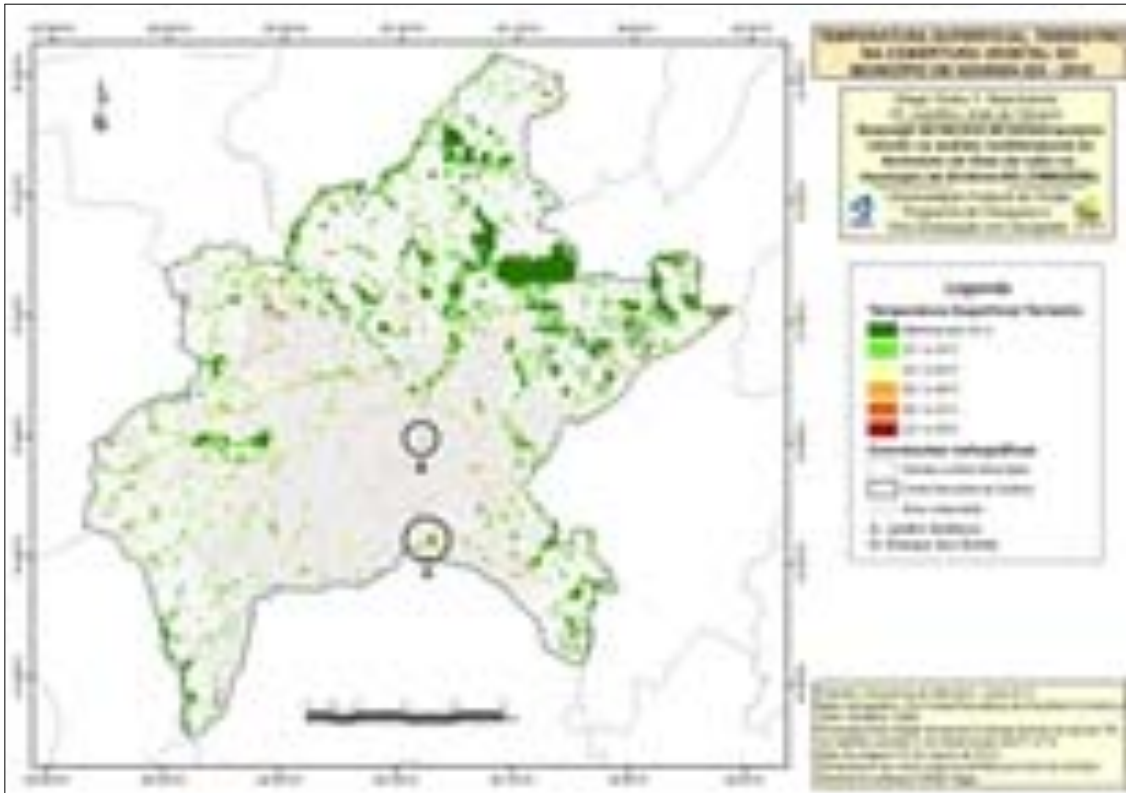


Figura 46: Mapa da Temperatura Superficial Terrestre na classe de cobertura do solo Cobertura Vegetal - Goiânia-GO/2010.



Figura 47: Jardim Botânico.
 Fonte: <http://geocities.ws/turismo/goiania3>



Figura 48: Bosque dos Buritis.
Fonte: foto do autor, 2010.

A Figura 49 retrata a variação espacial da TST nas áreas urbanizadas de Goiânia, sendo possível perceber a ocorrência das menores temperaturas (abaixo de 24°C) nas imediações dos corpos hídricos e áreas verdes – principalmente junto aos parques ambientais urbanos, sendo bem visível o contorno do Jardim Botânico (ao Sul do município), o do Parque Cascavel (a sudoeste), do Lago das Rosas, do Bosque dos Buritis (ambos na porção central) e do Parque Botafogo (também na região central, porém mais ao norte). Isso confirma o papel das áreas verdes na amenização das temperaturas e na geração de conforto térmico, o que sem dúvida proporciona a melhoria da qualidade de vida da população.

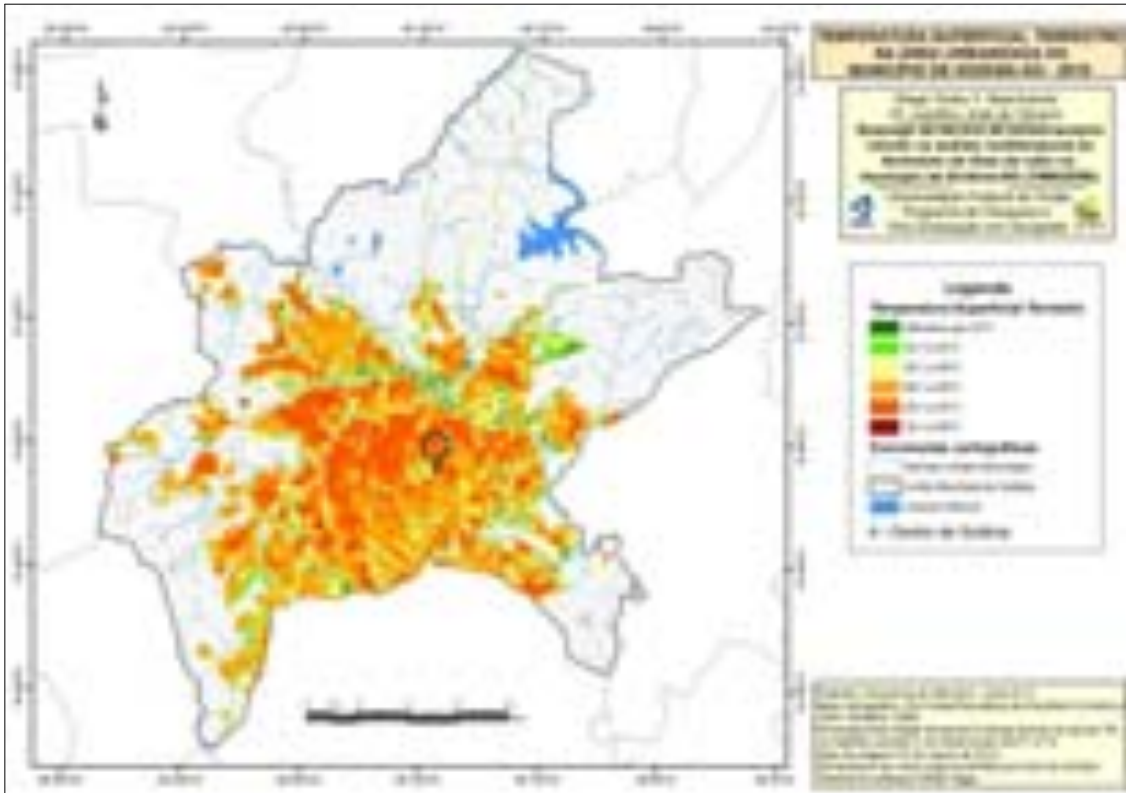


Figura 49: Mapa da Temperatura Superficial Terrestre na classe de cobertura do solo Área Urbanizada - Goiânia-GO/2010.



Figura 50: Vista do Centro de Goiânia. Foto do autor, 2011.

Por outro lado, a área urbanizada de Goiânia apresenta-se claramente dominada por valores altos de TST. Os registros mais expressivos são constatados nas regiões central (Figura 50), sudoeste e noroeste. As duas primeiras se caracterizam pela

presença de uma densa proporção de construções e intensa atividades e antrópicas, como verificado, por exemplo, nos Setores Central e Campinas – os quais apresentam uma forte atividade comercial, grande quantidade de construções antrópicas e intenso fluxo de automóveis.

Por fim, as áreas recobertas por atividades agropecuárias (Figura 51) são as que apresentam o padrão mais heterodoxo, sem demonstrar um claro domínio de algum dos valores de TST registrados. Em parte, isso pode ser explicado pelo fato de essa classe de cobertura comportar variações muito grandes em termos de características dos elementos que a constituem. Entram, aqui, tanto pastagens naturais quanto aquelas cultivadas, degradadas ou saudáveis, com ou sem a presença esparsa de árvores ou arvoredos; áreas abertas para cultivo, com solo exposto, e também áreas com cultivos em diferentes estágios de desenvolvimento; entre muitas outras possibilidades.

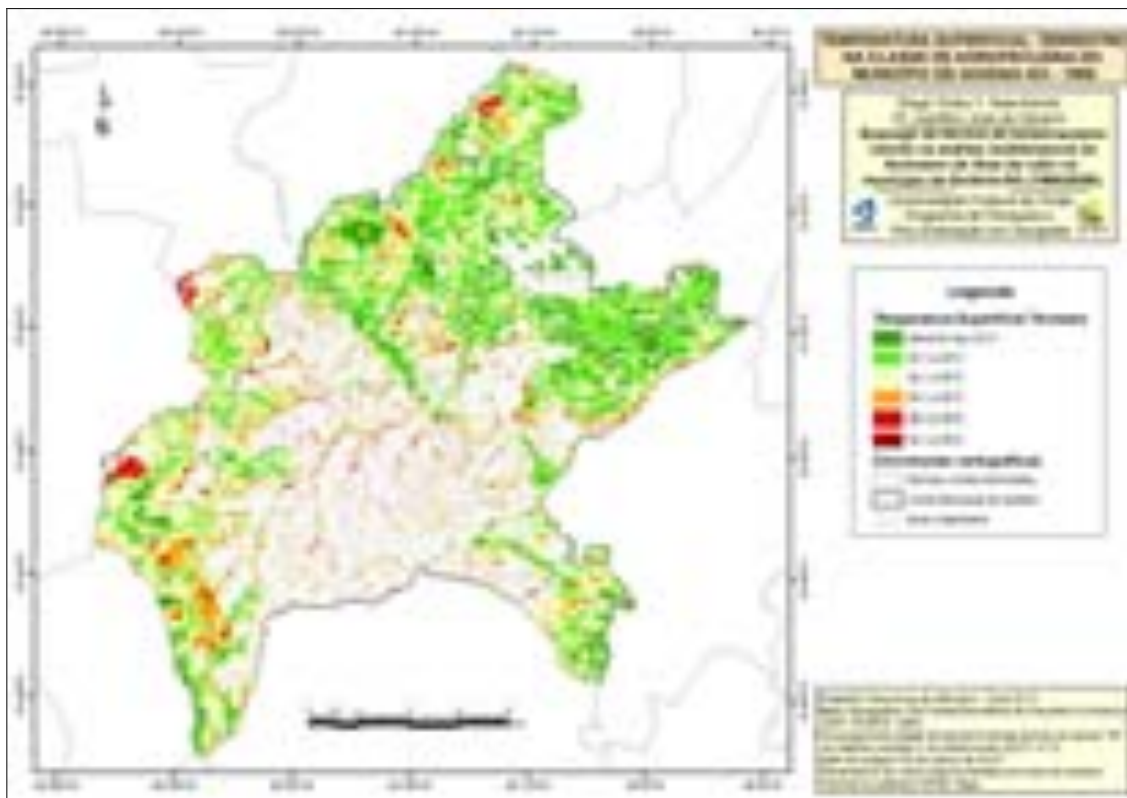


Figura 51: Mapa da Temperatura Superficial Terrestre na classe de cobertura do solo Agropecuária - Goiânia-GO/2010.

Na classe de cobertura agropecuária também ocorrem certas anomalias, como a presença de valores elevados de TST em áreas desvinculadas dos espaços urbanizados e

tampouco associadas a depressões altimétricas (especialmente ao norte, oeste e sudoeste do município). E há também registros dos valores mais baixos de TST ocorrendo em meio à área urbanizada, mas sem grande expressão espacial – o que, nesses casos, pode estar associado à presença de pequenas propriedades com atividades agropecuárias instaladas nas franjas do sítio urbano, mas na proximidade de áreas verdes ou corpos d'água expressivos.

No entanto, o predomínio de ocorrência de valores baixos de TST sobre a cobertura agropecuária é constatado nas regiões mais periféricas do município, fora da área urbanizada.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

À geografia compete uma análise integrada da sociedade e da natureza, tendo a paisagem enquanto totalidade, mediadora e produto dessa relação (sociedade/natureza). Esse foi o escopo do presente trabalho, que buscou compreender o ambiente climático urbano como espaço integrado, entre o homem, no tocante à suas construções e atividades, e a natureza, sobretudo procurando compreender sua história, seu processo, sua dinamicidade, e não apenas a sua realidade atual.

Com base nos dados e nas análises aqui realizadas, pôde-se constatar que as temperaturas superficiais terrestres apresentam certo padrão de variação espacial e, sobretudo, temporal, conforme as diferentes coberturas do solo. Enquanto as temperaturas mais elevadas ocorrem em maior proporção sobre as áreas urbanizadas, as temperaturas mais brandas são mais registradas nas áreas revestidas por cobertura vegetal e corpos hídricos.

Na variação temporal, as áreas urbanizadas apresentam maior variação positiva da participação de valores elevados de TST, concomitante à diminuição da presença de valores baixos. Isso demonstra o quanto essas áreas são as mais afetadas pela intensificação do fenômeno de ilhas de calor. Ao mesmo tempo em que se constata o papel significativo das áreas verdes e corpos d'água como elementos eficazes na atenuação desse problema.

Em relação ao crescimento da mancha urbana de Goiânia, constatou-se, claramente, não só as influências do sítio (o meio fisiográfico), que define tanto barreiras geográficas quanto áreas preferenciais para a expansão urbana (como os terrenos planos), mas também o papel das políticas públicas e privadas, que atuam no sentido de direcionar o processo de ocupação, muitas vezes contrariando a própria lógica estabelecida pelo sítio.

E, contrariamente ao discurso oficial – e, porque não, mercadológico – que é propagandeado a respeito de Goiânia, a cidade está longe de ser um exemplo de espaço “ecológico”. Os dados retratados demonstram, de forma inequívoca, como a cobertura vegetal do município vem se retraindo ano após ano. E não há registro, na atualidade, de que essa tendência vá se reverter.

Os desmatamentos ocorrem não apenas na zona rural, mas, o que é mais grave, também nas áreas urbanizadas, onde comerciantes tendem a enxergar as árvores como empecilhos à visão de suas fachadas (que, em boa parte dos casos, mereciam realmente ficar escondidas). E mesmo moradores de áreas residenciais muitas vezes optam por extirpar árvores frondosas de seus terrenos ou calçadas pelo simples fato de que elas deixam cair suas folhas em certas épocas do ano (ou seja, para evitar o “trabalho” de realizar a limpeza desses espaços).

E o que dizer, então, da ação de agentes públicos, como as concessionárias de energia elétrica e telefonia, que veem as árvores como elementos estranhos à paisagem que lhes interessa: o emaranhado de fios expostos, pelos quais as copas das árvores são sacrificadas, em podas realizadas sem a menor preocupação com a manutenção das espécies – o que redundava, muitas vezes, em meros galhos expostos, totalmente extirpados da cobertura de folhas, cujas poucas sombras que restam são freneticamente disputadas pelos transeuntes.

Com relação aos cursos d’água que drenam a cidade, a situação não é, de fato, melhor. Quase a totalidade deles está poluída, pelo lançamento de esgotos domésticos e industriais, e ainda desprovida da vegetação lindeira, que poderia protegê-los da erosão e do assoreamento.

É preciso reconhecer que a Prefeitura Municipal de Goiânia vem, ao longo das décadas mais recentes, assumindo a instalação de parques urbanos como política oficial – ainda que boa parte deles não disponha, de fato, de um planejamento adequado para sua implantação ou manutenção posterior, e também estejam associados a relações duvidosas com os interesses de agentes imobiliários. Contudo, sua existência já é louvável, na medida em que associam os dois fatores que foram aqui elencados como os principais atenuadores da formação ou intensificação das ilhas de calor: vegetação e corpos d’água.

Diante do exposto, destaca-se a necessidade de uma atuação sistemática e planejada dos órgãos públicos, no sentido de garantir a arborização, a expansão e manutenção das áreas verdes, a preservação dos corpos hídricos e um eficiente emprego das políticas públicas voltadas ao planejamento urbano, inclusive no tocante a propostas arquitetônicas, urbanísticas e de engenharia que possam proporcionar a mitigação de problemas ambientais urbanos, tais como o fenômeno de ilhas de calor.

Nos últimos anos, ampliou-se a compreensão e conscientização de que o estado de desequilíbrio ambiental é resultado das formas inadequadas como a sociedade relaciona-se com o meio ambiente. Isso permitiu o apoio à realização de trabalhos na busca de soluções para os impactos ambientais provocados pela sociedade sobre os espaços ocupados.

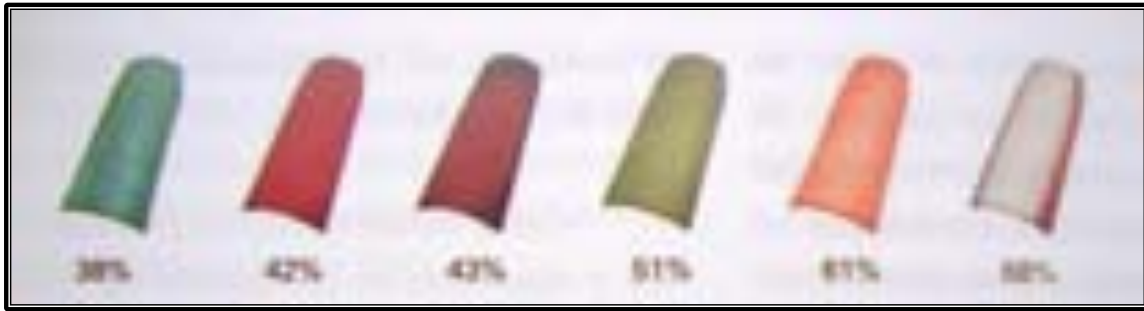
Nesse sentido, convém destacar que, além da identificação, do mapeamento, da análise e da compreensão do espaço geográfico, a Geografia (assim como outras áreas afins, como a Arquitetura, o Urbanismo e diversos ramos da Engenharia Civil) busca também a solução para os problemas derivados da ocupação e da transformação do meio natural pelas sociedades, inclusive na resolução dos problemas e dos impactos derivados de fenômenos como as ilhas de calor.

Por meio de pesquisas científicas e técnicas são elaboradas propostas e estratégias, cabendo ao poder público, no tocante ao planejamento urbano, a responsabilidade pelas decisões e ações a serem implementadas.

No caso específico das ilhas de calor, fenômeno este constatado em Goiânia-GO, neste trabalho, e ainda presente nos demais centros urbanos do Brasil, a engenheira mecânica Lisa Gartland, *PhD* pela *University of Washington*, em sua obra *Ilhas de Calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas* (2009), apresenta algumas estratégias de engenharia e de planejamento urbano com vistas a reverter as tendências de aquecimento nas áreas urbanizadas, a saber: a utilização de coberturas frescas, o emprego de pavimentos frescos e a implantação de áreas verdes.

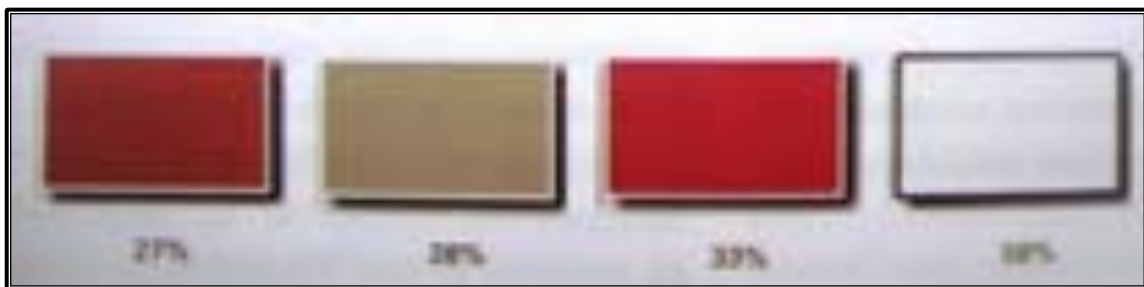
A primeira proposta se traduz na substituição dos materiais tipicamente empregados nas coberturas das construções antrópicas por materiais mais frescos¹⁵, os quais tendem a apresentar temperaturas bem inferiores àquelas verificadas nos materiais mais comuns (ver Figura 52, telhas de cerâmica, e Figura 53, revestimentos metálicos). Os materiais mais frescos têm a característica de possuir alta refletância solar, que implica num desvio mais eficiente da radiação solar, e alta emissividade térmica, que auxilia na irradiação de maior proporção do calor armazenado (GARTLAND, 2009).

¹⁵ A autora lista uma série de exemplo de revestimentos para coberturas mais frescas.



Fonte: Gartland, 2009, p.86.

Figura 52: Telhas de cerâmica frescas e seus valores de refletância solar.



Fonte: Gartland, 2009, p.86.

Figura 53: Revestimentos metálicos frescos e seus valores de refletância solar.

A segunda estratégia diz respeito ao resfriamento dos pavimentos tradicionalmente existentes no ambiente urbano (seja o concreto de cimento asfáltico, comumente chamado de asfalto, ou o concreto de cimento *Portland*, chamado de concreto), os quais tendem a ser mais quentes por serem impermeáveis e possuírem cor escura (e, por isso, apresentar refletância solar abaixo de 25%).

Segundo a autora, são duas as alternativas para resfriar tais pavimentos: a) mudar sua cor para mais clara, aumentando assim sua refletância; e/ou b) torná-los permeáveis, permitindo a drenagem da água através deles, o que, por conta de sua posterior evaporação, faz com que o calor dos pavimentos seja retirado pela água, em um processo similar à evaporação das plantas.

Considerando essas duas alternativas para o resfriamento dos pavimentos, a autora lista uma série de possibilidades de engenharia que podem ser empregadas no planejamento urbano, a saber:

- 1) Adição de pigmentos claros ou agregados (pedras na mistura do pavimento) de cores claras na mistura de asfalto; 2) Pavimento asfálticos com acabamento em diversas texturas – imitando tijolos ou pedras –, com a utilização de camadas coloridas para simular a aparência de outros materiais; 3) Preferência no revestimento por concreto (por ser mais claro e ter maiores valores de refletância),

considerando seu baixo custo mesmo em detrimento de seu menor ciclo de vida; 4) Aplicação de concreto sobre pavimento asfáltico – processo chamado *White-topping*, que diz respeito ao revestimento de piso asfáltico com concreto de cimento Portland; 5) Emprego de asfalto e concreto poroso [exemplificado na Figura 54], nos quais as menores partículas de areia e rocha não são incluídas nas misturas de concreto, criando espaço para a infiltração da água – tais tipos de pavimentos são bem utilizados em estradas e estacionamentos (SMITH, 1999; MAES, YOUNGS, 2002); 6) Pavimento revestido com blocos, podendo ser feitos de plástico, metal ou concreto, sendo fixados sobre uma armação aberta que é então preenchida com pedras ou terras, podendo-se, inclusive, plantar grama ou flores nessa terra.



Fonte: <http://www.imagens.usp.br/?attachment_id=776>

Figura 54: Asfalto poroso desenvolvido pela pesquisa da Escola Politécnica (Poli) da USP.
Foto: Marcos Santos.

Por último, Gartland (2009) destaca o papel das áreas verdes no arrefecimento da temperatura, seja por meio da produção de sombras, mantendo as superfícies mais frescas, seja devido ao gasto da energia solar na evapotranspiração, evitando que essa energia seja usada para aquecer a cidade.

Ressalte-se que as áreas verdes podem ser ainda mais eficazes quando localizadas em posições estratégicas, como áreas de elevada urbanização ou em locais considerados como corredores de ventos, nos quais podem atuar em seu resfriamento.

Tais possibilidades devem ser consideradas pelos gestores das políticas e do planejamento urbano. Pois mitigar os efeitos das ilhas de calor significa, também, propiciar outros benefícios, como a economia de energia (por menor uso de aparelhos de refrigeração de ar), melhoria na qualidade do ar, na saúde e no conforto humano, além, obviamente, da melhoria estética da paisagem urbana.

Ao final deste trabalho, convém destacar que sua maior relevância talvez seja a de servir como apoio – teórico e, sobretudo, metodológico – a novos trabalhos que venham a trilhar esse caminho, de investigação do fenômeno de ilhas de calor e, principalmente, que optem pelo trabalho com dados obtidos por sensoriamento remoto no mapeamento do campo térmico superficial e pelo emprego de técnicas de geoprocessamento em sua análise. Com a ressalva de que, certamente, essa temática – sobretudo essa proposta metodológica – não está esgotada. São inúmeras as possibilidades futuras de complementação a esta pesquisa.

Como exemplo de proposição de trabalhos futuros complementares a este, cabe destacar a necessidade em se validar os dados oriundos de sensores remotos, seja pela comparação com registros de estações meteorológicas espalhadas por diversos pontos no momento do registro da imagem orbital; seja pelo emprego de outros dados orbitais, de maior confiabilidade, pelo fato de já apresentarem correção atmosférica, de emissividade e topográfica, ou ainda por apresentarem melhor resolução espacial.

Outra possibilidade de pesquisa futura remete à análise das melhores localizações para os parques ambientais urbanos na cidade. Considerando-se, para tanto, a direção e a dinâmica dos ventos atmosféricos frente a seu papel na melhoria da qualidade do ar e na mitigação do efeito das ilhas de calor.



Parte do caminho foi vencida.

Mas o horizonte ainda se abre pela frente. Resta, pois, caminhar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AYOADE, John O. **Introdução a climatologia para os trópicos**. 9. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. 332 p

BARROS, Juliana Ramalho. A chuva no Distrito Federal: o regime e as excepcionalidades do ritmo. 2003. 221 f. **Dissertação** (Mestrado)- Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2003.

_____; ZAVATTINI, João Afonso. Bases conceituais em climatologia geográfica. **Mercator** - Revista de Geografia da UFC, v. 08, n. 16, 2009. p. 255-261

BERTALANFFY, Ludwig Von. **Teoria geral dos sistemas**. Tradução Francisco M. Guimarães 3 ed. Petrópolis: Vozes, 1977. 351p.

BERTRAND, Georges Paul. Paisagem e Geografia Física Global: esboço metodológico. Tradução de Olga Cruz. **R. RA'E GA**, Curitiba, n. 3. 2003. p. 141-152

BIAS, Edilson de Souza; BAPTISTA, Gustavo Macedo de Mello.; LOMBARDO, Magda Adelaide. Análise do fenômeno de ilhas de calor urbanas, por meio da combinação de dados Landsat e Ikonos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais XI SBSR**, Belo Horizonte, 2003. p. 1741-1748.

CAMARGO, Flávio Fortes. et al. Análise multitemporal da evolução urbana e sua influência na modificação do campo térmico na Região Metropolitana de São Paulo para os anos de 1985, 1993 e 2003. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, Florianópolis. **Anais do XIII SBSR**, Florianópolis, 2007. p. 5127-5134.

CAMPOS, Alfredo Borges de. et. al.. Análise do comportamento espacial e temporal das temperaturas e pluviosidades no Estado de Goiás. In: ABORDAGENS GEOGRÁFICAS DE GOIÁS: O NATURAL E O SOCIAL NA CONTEMPORANEIDADE. ALMEIDA, Maria Geralda de (Org). Goiânia: IESA, 2002. 260 p.

CASSETI, Valter. **Ambiente e apropriação do relevo**. São Paulo: Contexto, 1991.

_____. Os ventos de Goiânia-GO. **Revista Brasileira de Geofísica**. v.11, 1999. p. 215-221.

CHAUL, Nasr N. Fayad. **A construção de Goiânia e a transferência da capital**. 2 ed. Goiania: Ed. da UFG, 1999. 170 p.

CHRISTOFOLETTI, Antonio. **Análise de sistemas em geografia**. São Paulo: HUCITEC, 1979.

COLTRI, Priscila Pereira. **Influência do uso e cobertura do solo no clima de Piracicaba, São Paulo: análise de séries históricas, ilhas de calor e técnicas de**

sensoriamento remoto. 2006. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz

_____ et al. Ilhas de Calor da estação de inverno da área urbana do município de Piracicaba, SP. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, Florianópolis. Anais do XIII SBSR, Florianópolis, 2007. p. 5151–5157.

_____. et al. Influência do uso e cobertura do solo nas ilhas de calor local e regional no município de Piracicaba, São Paulo. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, Natal. Anais do XIII SBSR, Natal, 2009. p. 639-646.

CORRÊA, Elza Maria Staciarini. A expansão de Goiânia: uma abordagem cartográfica - 1933-1980. 1981. **Dissertação**(Mestrado) - Universidade do Estado de São Paulo; Curso de Pós-Graduação em Geografia, 1981.

COX, Elisa Pagliarini. **Interação entre clima e superfície urbanizada: o caso da cidade de Várzea Grande/MT**. 2008. 157f. Dissertação(Mestrado em Física e Meio Ambiente)- Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2008.

EMBRAPA MONITORAMENTO POR SATÉLITE.
Sistemas Orbitais de Monitoramento e Gestão Territorial.
Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2009.
Disponível em: <<http://www.sat.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 4 fev. 2010.

Environmental Protection Agency. (EPA). Disponível em:
<www.epa.gov/heatisland/about/index.htm>. Acessado em: 12 de janeiro de 2009.

EVELYN, John. Fumifugium: or the inconvenience of the aer smoak of London. London: His Majfties Command, 1661.

FRITZ, SIGMUND. The diurnal variation of ground temperature as measured from TIROS II. **Journal of Applied Meteorolog**. 1963, v . 2, oct., p. 645-648.

GARCIA-CUETO, Rafael. et al. Detection of the urban heat island in Mexicali, B. C., Mexico and it relationship with land use. **Atmosfera**, abril, ano/v. 20. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México. 2007, p. 111 -131.

GARTLAND, Lisa. Ilhas de Calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. Tradução de Silvia Helena Gonçalves. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

GEIGER, Rudolf. **Manual de microclimatologia**: o clima da camada de ar junto ao solo. Tradução de Ivone Gouveia e Francisco Caldeira Cabral. 4º ed. 1961.

GOWARD, S. N. Thermal behavior or urban landscapes and the urban heat island. **Physical Geography**, v. 1, 1981. p. 19–33.

GUSSO, A.; FONTANA, D. C.; GONÇALVES, G. A. Mapeamento da temperatura da superfície terrestre com uso do sensor AVHRR/NOAA. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 42, n. 2, p. 231-237. fev. 2007.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Regiões de influência das cidades** 2007. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geografia/regic.shtm>>. Acesso em: 10 out. 2008.

IPEA/IBGE/NESUR-IE-UNICAMP. **Caracterização e Tendências da Rede Urbana do Brasil**. Campinas:IE-Unicamp (2 vol.), 1999.

HOWARD, Luke. **The climate of London deduced from meteorological observations made in the metropolis and at various places around it**. Londres: 1833.

JENSEN, John R. **Remote sensing of the environment an earth resource perspective**. 2 ed. Upper Saddle River (NJ): Prentice Hall, 2007. 592 p.

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

LANDSBERG, Helmut Erich. O Clima das cidades. Tradução: Prof. Dr. Tarik Rezende de Azevedo, DG, FFLCH, USP. Revisão Profa. Dra. Maria Elisa Siqueira Silva, DG, FFLCH, USP. **Revista do Departamento de Geografia**, 2006 n. 18, p. 95-111.

LATORRE, Marcelo Lopez; et al. A influência dos efeitos da geometria de iluminação na análise de alvos de superfície terrestre obtidos a partir de dados aviris. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10, Foz do Iguaçu, 2001. Anais do X SBSR. p. 1293-1300.

LO, C. P.; QUATTROCHI, D. A.; LUVALL, J. C. Application of High-resolution Thermal Infrared Remote Sensing and GIS to Assess the Urban Heat Island Effect. **International Journal of Remote Sensing**. v. 18, n. 2, 1997. p. 287-304.

LOMBARDO, Magda Adelaide. **A ilha de calor nas Metrôpoles: o exemplo de São Paulo**. São Paulo: Hucitec, 1985.

LOPES, L. M.; ROMÃO, P. de A. Geomorfologia urbana da região metropolitana de Goiânia. **Guia de Excursões Centro-Oeste**, SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA. Goiânia: 2006.

MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo. **Geossistemas: a história de uma procura**. 2. ed. São Paulo: Contexto, 2001. 127 p.

_____. Notas para o estudo do clima do centro-oeste brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia**. V. 13, n. 1. jan-mar 1951. p. 3-46.

_____. **Teoria e Clima urbano**. São Paulo: IGEOG/USP, 1976. 181 p. (Série Teses e Monografias, 25).

_____; MENDONÇA, Francisco. **Clima Urbano**. São Paulo: Contexto, 2003. 192 p.

NASCIMENTO, Diego Tarley Ferreira; BARROS, Juliana Ramalho. Identificação de ilhas de calor por meio de sensoriamento remoto: estudo de caso no município de Goiânia GO/2001. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 29, p. 119-134, 2009.

_____; et al. Levantamento do comportamento da temperatura e umidade relativa do ar: uma experiência didático-pedagógica no ensino da Climatologia Goiânia - GO /2005. In: VII Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, 2006, Rondonópolis. Anais do VII SBCG, 2006.

_____; LUIZ, Gislaine Cristina. Levantamento do comportamento da mínima e máxima temperatura do ar em Goiânia-GO – 2000/2006. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA. 12., Natal, jul. 2007. **Anais do XII SBGFA**. Natal, UFRN. 1 CD-ROM.

_____; SOUSA, Silvio Braz de ; OLIVEIRA, Ivanilton José de. A relação entre os valores de temperatura superficial terrestre (TST), o uso e cobertura do solo e a topografia no município de Minaçu (GO). **Ateliê geográfico** (UFG), v. 3, p. 93-107, 2009.

NASCIMENTO, Maria Amélia Leite. Geomorfologia do Estado de Goiás. **Boletim Goiano de Geografia**. Goiânia, UFG, v. 12, n. 1, jan/dez 1991.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1989. 422p. 2ed.

OLIVEIRA, M. das M. B. de. O padrão territorial de Goiânia: um olhar sobre o processo de formação de sua estrutura urbana. **Arquitextos**, 065.07, ano 6, out. 2005. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/06.065/419>>.

PAIVA, Célia Maria. Estimativa do Balanço de Energia e da Temperatura da Superfície Via Satélite NOAA-AVHRR. Rio de Janeiro, 2005. Tese(Engenharia Civil) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

PRICE, John C. Assessment of the urban heat island effect through the use of satellite data. **Monthly Weather Review**. 1979, v. 107, p. 1554-1557.

RAO, Pknambur D. Remote sensing of urban heat islands from an environmental satellite. **Bulletin of the American Meteorological Society**, 1972, 53, 647– 648.

RIBEIRO, Maria Eliana J. **Goiânia: os planos, a cidade e o sistema de áreas verdes**. Goiânia: Editora da UCG, 2004. 160 p.

RODRIGUES, Juciano Martins. **Dinâmica populacional de Goiânia: o crescimento das regiões na década de 199. 2010**. Disponível em: <http://www.seplan.go.gov.br/sep/05.htm>. Acessado em 2010.

ROSA, Roberto. Considerações acerca de uma metodologia de interpretação de dados TM/LANDSAT. **Sociedade e Natureza**, Uberlândia, n. 2 (4): p. 97-110, dez 1990.

_____. Influência das condições de iluminação solar nos dados TM/LandSat. 1987, 117 f. **Dissertação** (Mestrado em Sensoriamento Remoto)- INPE, São José dos Campos, 1987.

_____. **Introdução ao sensoriamento remoto**. 4° ed. Uberlândia: Ed. da Universidade Federal de Uberlândia, 2001. 210 p.

SANO, Edson Eijy ; FERREIRA JUNIOR, Laerte Guimarães. Monitoramento semidetalhado (escala de 1:250.000) de ocupação dos solos do Cerrado: Considerações e proposta metodológica. In: XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2004, Goiânia, 2005.

_____; _____; ASNER, Gregory; STEINKE, Ercilia. Spatial and Temporal Probabilities of Obtaining Cloud-Free Landsat Imagies over the Brazilian Tropical Savanna. **International Journal of Remote Sensing**, v. 28, p. 2739-2752, 2007.

_____; ROSA, Roberto; BRITO, J.L. ; FERREIRA JUNIOR, Laerte Guimarães. Mapeamento semidetalhado do uso da terra do Bioma Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, p. 153-156, 2008.

SANT' ANNA NETO, João Lima. Por uma geografia do clima: antecedentes históricos, paradigmas contemporâneos e uma nova razão para um novo conhecimento. **Terra Livre**. São Paulo, n. 17, 2° semestre/2001. p. 49-62

SARTORI, M.G.B. O clima de Santa Maria, RS: do regional ao urbano. 1979. 166f. **Dissertação** (Mestrado em Geografia) – Departamento de Geografia/FFCLH/USP, São Paulo, 1979.

SILINGOVSKI JUNIOR; E.; BARBOSA, M. J. Comparação entre os dados de temperatura radiante de superfície obtidos do satélite Landsat 7, dados de campo e de estações oficiais da região metropolitana da cidade de Londrina , Paraná. SIMPOSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRAFICA. 7. Rondonópolis, 2006. **Anais do SBCG**.

SILVA, Patrícia Guedes; et al. Avaliação da correção atmosférica e retificação radiométrica em estudos multitemporais. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11, Belo Horizonte, 2003. Anais do XI SBSR. p. 2135-2142.

SOBRINO, J. A.; KHARRAZ, J. el. Surface temperature and water vapour retrieval from MODIS data. **International Journal of Remote Sensing**. v. 24, n. 24, 2003. p. 5161-5182.

SORRE, Max. Objeto e método da climatologia. Tradução José Bueno Conti. **Revista do Departamento de Geografia**, n. 18, p. 89-94, 2006.

SOUCH, Catherine; GRIMMOND, Sue. Applied climatology: urban climate. **Progress in Physical Geography**. V. 30, n. 2. 2006. p. 270-279

STEINKE, Ercília Torres. Considerações sobre variabilidade e mudança climática no Distrito Federal, suas repercussões nos recursos hídricos e informação ao grande público. 2004. 201 f. Tese (Doutorado em Ecologia)- Instituto de Biologia, Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília. Brasília, 2004.

_____; STEINKE, Valdir Adilson; SAITO, Carlo Hiro. Avaliação da estimativa da temperatura de superfície a partir de imagens de satélite Landsat TM 5 voltada para a gestão de bacias hidrográficas. SAITO, C. H. (org.). **Desenvolvimento tecnológico e metodológico para mediação entre usuários e comitês de bacia hidrográfica. Brasília:** Departamento de Ecologia da Universidade de Brasília, 2004. p. 41-64.

STEUTKER, David R. Satellite-measured growth of the urban heat island of Houston, Texas. Preprint submitted to **Elsevier Science**, 2003.

TAVARES, Antonio Carlos. O clima local de Campinas: introdução ao estudo do clima urbano. 1975. 180f. **Dissertação** (Mestrado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1975.

TEZA, Clausio Tavares Viana; BAPTISTA, Gustavo Macedo de Mello. Identificação do fenômeno ilhas urbanas de calor por meio de dados ASTER on demand 08 – Kinetic Temperature (III): metrópoles brasileiras. SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12. Goiânia, 2005. Anais do XII SBSR. p. 3911-3918.

UMMUS, M. E.; NOVACK, T.; PRADO, B. R.; GONÇALVES, E. S. Sensoriamento remoto aplicado aos estudos de ilhas de calor urbanas. **Geografia. Ensino & Pesquisa**, v. 12, p. 4471-4486, 2008. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/07.04.17.46>>. Acesso em: 07 nov. 2008.

VOOGT, James A.; OKE, Tim R. Complete Urban Surface Temperatures. **Journal Of Applied Meteorology**. V. 36, sep 1997. p. 1117-1132

_____; _____. Thermal remote sensing of urban climates. **Remote Sensing of Environment** n. 86, 2003. p. 370-384.

XAVIER-DA-SILVA, Jorge. CARVALHO-FILHO, Luiz Mendez. Sistema de Informação geográfica: uma proposta metodológica. IV CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA SOBRE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA e II SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO. São Paulo: EDUSP, 1993. p.609-628.

ZAVATTINI, João Afonso. O paradigma da análise rítmica e a climatologia geográfica brasileira. **Geografia**. Rio Claro (SP), v. 25, n. 3, p. 25 – 44, 2000.