

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, LETRAS E ARTES  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**PAULO JOSÉ MORAES MONTEIRO E TEIXEIRA GERMANO**

**SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO À OCORRÊNCIA DE *HOT-SPOTS* EM ILHAS DE CALOR DE SUPERFÍCIE NA CIDADE DE MARINGÁ – PR – 1984 A 2016**

**MARINGÁ  
2018**

PAULO JOSÉ MORAES MONTEIRO E TEIXEIRA GERMANO

**SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO À OCORRÊNCIA DE *HOT-SPOTS* EM ILHAS DE CALOR DE SUPERFÍCIE NA CIDADE DE MARINGÁ – PR – 1984 A 2016**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geografia, como requisito para obtenção do título de Doutor em Geografia. Área de concentração: Análise Ambiental, da Universidade Estadual de Maringá.

Orientador: Prof. Dr. Bruno Luiz Domingos De Angelis.

MARINGÁ  
2018

PAULO JOSÉ MORAES MONTEIRO E TEIXEIRA GERMANO

**SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO À OCORRÊNCIA DE *HOT-SPOTS* EM ILHAS DE CALOR DE SUPERFÍCIE NA CIDADE DE MARINGÁ – PR – 1984 A 2016**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geografia, como requisito para obtenção do título de Doutor em Geografia. Área de concentração: Análise Ambiental, da Universidade Estadual de Maringá.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Bruno Luiz Domingos De Angelis  
Orientador – Universidade Estadual de Maringá

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Marta Luiza de Souza  
Membro convidado – Universidade Estadual de Maringá

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Cláudia Regina Grégio d'Arce Filetti  
Membro convidado – Universidade Estadual de Maringá

---

Prof. Dr. Ricardo Massulo Albertin  
Membro convidado – Faculdade FEITEP

---

Prof. Dr. Paulo Roberto Fitz  
Membro convidado – Centro Universitário Laureat International Universities  
UniRitter

## **AGRADECIMENTOS**

Meu sincero agradecimento a todos que tornaram possível a realização desse trabalho.

A Universidade Estadual de Maringá, o Programa de Pós-Graduação em Geografia, meu orientador e a Fundação CAPES que subsidiou essa pesquisa.

Em segundo lugar minha família, minha esposa Talita, meu cachorro Tony, meus pais José Paulo, Agnes Fátima, minha avó Nair, minha irmã Priscila e meu irmão Pedro e minha madrasta Eduvirges.

Em terceiro lugar meus amigos, Hermam, Valderlene, Ruan, Meg, Guilherme Orsi, Franco, Leo, Fábio e André.

Minha profunda gratidão a todos.

## RESUMO

A presente pesquisa avaliou as ilhas de calor na cidade de Maringá - PR, em um intervalo de tempo de 32 anos (1984 – 2016), utilizando imagens termais dos satélites Landsat 5 TM e Landsat 8 TIRS. Essas imagens foram adquiridas junto ao portal da *United States Geological Survey*. Na sequência as imagens foram submetidas a rotinas de avaliação de qualidade, no qual foram verificadas se as mesmas possuíam ruídos, presença de nuvens ou outros elementos que comprometessem os dados registrados. Analisou-se 249 imagens e em função do quantitativo das mesmas visando à economia de espaço virtual da máquina e agilidade no processamento dos dados, as imagens foram recortadas utilizando o perímetro urbano municipal e posteriormente os valores dos *pixels* foram transformados em temperatura aparente de superfície. O estudo permitiu verificar que as áreas estabelecidas no projeto inicial da cidade apresentaram valores discrepantes de temperatura, quando comparado com os bairros criados posteriormente. Essa situação permitiu concluir que as áreas que correspondem ao centro urbano não necessariamente são as que mais ocorrem a formação de ilhas de calor. O emprego das imagens termais além de promoverem a recuperação de dados de condições pretéritas também permitiu verificar as temperaturas aparentes de superfície recentes, demonstrando sua utilidade como ferramenta para o controle de formação de ilhas de calor. Foi possível verificar durante as análises que a partir do final da década de 2000 até as imagens mais recentes (2016), que a área correspondente a Zona 01, que faz parte das áreas criadas no projeto inicial da cidade, apresentou aumento na ocorrência de *hot spots*, evidenciando perda de qualidade quando comparado com os resultados das décadas de 1980 e 1990.

**Palavras-chave:** Imagens orbitais, temperatura aparente, infravermelho termal, processamento digital de imagens.

## ABSTRACT

The present study evaluated the heat islands in the city of Maringá - PR, in a time interval of 32 years (1984 - 2016), using thermal images of the satellites Landsat 5 TM and Landsat 8 TIRS. These images were purchased from the United States Geological Survey website. After the images were submitted to quality evaluation routines, in which they were verified if they had noises, presence of clouds or other elements that compromised the recorded data. A total of 249 images were analyzed, and in order to save the virtual space of the machine and agility in the data processing, the images were cut using the municipal urban perimeter and later the values of the pixels were transformed into apparent surface temperature. The study allowed to verify that the areas established in the initial project of the city presented discrepant values of temperature, when compared to the neighborhoods created later. This situation allowed to conclude that the areas corresponding to the urban center are not necessarily those that most occur the formation of heat islands. The use of thermal images in addition to promoting the retrieval of data from previous conditions also allowed to verify the recent apparent surface temperatures, demonstrating its usefulness as a tool to control the formation of heat islands. It was possible to verify during the analysis that, from the end of the 2000s until the most recent images (2016), that the area corresponding to Zone 01, which is part of the areas created in the initial project of the city, presented an increase in the occurrence of hot spots, evidencing loss of quality when compared with the results of the 1980s and 1990s.

**Keywords:** Orbital images, apparent temperature, thermal infrared, digital image processing.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Principais causas e efeitos da criação do hábitat urbano.....	20
Figura 2: Variação de temperatura de diferentes materiais que compõe o espaço urbano .....	21
Figura 3: Diferenças entre o balanço de energia em áreas urbanas e naturais (unidades em kW h m <sup>2</sup> dia <sup>-1</sup> ) .....	23
Figura 4: Condutividade térmica (w/m k).....	26
Figura 7: Processo de formação de ilhas de calor .....	29
Figura 8: Comportamento de diferentes tipos de telhados .....	32
Figura 9: Modelo de interação entre as ciências da informação geográfica com outras ciências. ....	36
Figura 10: Linha do tempo dos satélites Landsat .....	39
Figura 11: Transmitância (T) da REM através da atmosfera .....	48
Figura 12: Comprimento de onda do infravermelho termal e transmitância atmosférica.....	52
Figura 13: Diferenças entre a temperatura radiante estimada devido valores de emissividade díspares.....	57
Figura 16: Localização de Maringá - PR .....	59
Figura 17: Análise multitemporal da criação dos bairros em Maringá .....	64
Figura 18: Corredor arbóreo formado por tipuanas - Rua Saldanha Marinho, 65	
Figura 20: Fluxograma dos procedimentos metodológicos.....	69
Figura 21: <i>Hot Spots</i> – Década de 1980 .....	86
Figura 22: <i>Hot Spots</i> – Década de 1990 .....	87
Figura 23: <i>Hot Spots</i> – Década de 2000 .....	88
Figura 24: <i>Hot Spots</i> – 2010 - 2016 .....	89
Figura 25: Estruturas abandonadas Zona 10 .....	90
Figura 26: Avenida Horácio Racanello Filho.....	91
Figura 28: <i>Hot Spots</i> – 1984 - 2016 .....	93

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Censos demográficos de Maringá com divisão da população rural e urbana .....	63
Tabela 2: Valores das temperaturas aparente de superfície do primeiro intervalo da pesquisa (1984 – 1989) – Primavera/verão – Maringá – PR.....	73
Tabela 3: Valores das temperaturas aparente de superfície no período de 1984 – 1989 – Outono/inverno – Maringá.....	74
Tabela 4: Valores das temperaturas aparente de superfície no período de 1990 – 1999 – Primavera/verão – Maringá – PR. ....	75
Tabela 5: Valores Comparados no período de 1990 – 1999 – Outono/inverno – Maringá – PR. ....	76
Tabela 6: Valores das temperaturas aparente de superfície no período de 2000 – 2009 – Primavera/Verão – Maringá – PR.....	77
Tabela 7: Valores das temperaturas no período de 2000 – 2009 – Outono/inverno – Maringá – PR. ....	79
Tabela 8: Valores das temperaturas aparente de superfície no período de 2010 – 2016 – Primavera/Verão – Maringá – PR.....	81
Tabela 9: Valores das temperaturas aparente de superfície no período de 2010 – 2016 – Outono/Inverno – Maringá – PR.....	83
Tabela 10: Síntese dos valores médios de temperaturas do recorte temporal de 1984-2016 – Maringá – PR. ....	84



## LISTA DE QUADROS

Quadro 01: Características básicas entre ilhas de calor de superfície e atmosférica .....	18
Quadro 02: Relação de Unidades de Conservação (UC) e Áreas de Preservação Permanente (APP) do município de Maringá. ....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	14
1.1	A definição da Questão-problema e Hipóteses .....	11
1.1	Justificativas .....	12
1.2	Os objetivos .....	12
1.2.1	Objetivo Geral .....	12
1.3	Apresentação do trabalho .....	12
2	ILHAS DE CALOR URBANAS .....	14
2.1	Definições de ilhas de calor .....	16
2.2	Como se formam as IC .....	19
3	SENSORIAMENTO REMOTO .....	35
3.1	Conceitos físicos .....	40
3.2	Sensoriamento remoto no infravermelho termal .....	50
4	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	59
4.1	A cidade de Maringá - PR .....	59
4.2	Caracterização da vegetação de Maringá .....	65
5	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	68
6	RESULTADOS .....	72
7	CONCLUSÕES .....	95
	REFERENCIAS .....	95

## 1. INTRODUÇÃO

O presente estudo teve sua gênese na pesquisa desenvolvida, pelo mesmo autor, sobre as Ilhas de Calor (IC) na cidade de Maringá - PR, no mestrado desenvolvido junto ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana da Universidade Estadual de Maringá no ano de 2012. Essa dissertação permitiu um vislumbre do comportamento termal de cinco diferentes zonas<sup>1</sup>, que apresentaram elementos que contribuiriam para amenização ou elevação das temperaturas de cada local. Nesse primeiro estudo versou sob a égide da Ciência Geográfica, portanto, além da espacialização dos eventos, foi possível entender algumas das variáveis que permitiram os comportamentos singulares das temperaturas em cada área avaliada em um recorte temporal de 10 anos (2000 – 2010).

A necessidade de estudos referentes ao espaço urbano leva em consideração o contexto do crescimento populacional mundial, no qual observa-se desde 2007 a inversão entre a quantidade de pessoas nas áreas rurais e nas cidades. Há 100 anos atrás 10% da população mundial vivia nas cidades, e atualmente mais de 50%, e em 2050 espera-se mais de 75% (LEITE, 2012). Portanto, a cidade ainda se apresenta como um “imã” local permanente de trabalho e moradia, argutamente apresentado por Rolnik (1988).

Segundo Rogers (2001), nos anos de 1900 apenas um décimo da população mundial vivia em áreas urbanas, e atualmente metade das pessoas vivem nas cidades. Se considerarmos o crescimento populacional mundial de 250.000 pessoas por dia, de maneira expedita é possível criar uma nova cidade de Londres por mês.

O poder de crescimento das cidades segundo Leite (2012), apresenta-se em alguns momentos como paradoxal, pois, mesmo em situações econômicas pouco favoráveis não se observa um *feed-back* negativo, ou seja, um êxodo urbano. À vista disso, é possível supor um quadro no qual se verifica um planeta cada vez mais urbano, mas isso não significa automaticamente uma melhoria da qualidade de vida nas cidades.

As cidades de maneira geral representam a modificação do espaço natural, para um ambiente antropizado, ou seja, são realizadas ações, tais como a remoção da cobertura vegetal, intervenções no relevo, modificações de cursos d'água,

---

<sup>1</sup> Zonas 1, 2, 7, 10 e 45 da cidade de Maringá

inserção de novos elementos como concreto, asfalto entre outros, para que o ambiente se torne habitável para o homem, porém essas modificações geralmente causam impactos negativos não propositais como: enchentes e perda de diversidade biológica, que acabam comprometendo a qualidade de vida no espaço urbano.

Outro impacto negativo está relacionado a alteração do microclima local, que além da possibilidade de gerar ambientes insalubres, geralmente acarretam custos devido ao maior consumo de energia para arrefecimento de residências, comércios e indústrias, promovendo um uso pouco racional dos recursos naturais.

Diante do exposto, a presente tese possibilitará a diminuição do hiato presente no que concernem os estudos de ilhas de calor em Maringá - PR. Os dados, análises e resultados auferidos no desenvolvimento da pesquisa, permitiram executar o primeiro resgate de informações relativo ao comportamento termal na área urbana desde 1984 a 2016, que poderão subsidiar estudos e ações que visem à mitigação desses fenômenos, e dessa maneira, possibilitara melhoria das condições ambientais na cidade.

### **1.1 A definição da Questão-problema e Hipóteses**

A cidade de Maringá, apesar de apresentar estudos climatológicos, possui uma lacuna em relação a pesquisas sobre ilhas de calor; portanto, as questões problemas que se apresentam são: A área urbana de Maringá possui ilhas de calor de superfície? A área do projeto inicial da cidade possui menor ocorrência de *hot spots*? Existem variações nas localizações dos fenômenos de IC nesse recorte temporal?

Na busca de respostas aos questionamentos apresentados, foi possível o delineamento das seguintes hipóteses.

a) A cidade de Maringá no decorrer de seu crescimento, possibilitou a formação de ilhas de calor mais intensas, ou seja, valores de temperaturas máximas, mínimas e amplitudes que divergem da média nesse intervalo de tempo estudado.

b) As zonas que foram criadas obedecendo ao projeto inicial de Maringá apresentam melhor qualidade microclimática, pois são locais que possuem arborização viária composta por espécies de grande porte, que possibilitam a diminuição da formação de ilhas de calor.

## 1.1 Justificativas

O desenvolvimento da presente pesquisa pode ser justificado pelo fato da não existência de estudos sobre IC que apresente um recorte temporal extenso como o proposto.

A necessidade de compreender o comportamento das temperaturas aparente de superfície na cidade de Maringá, bem como a aplicabilidade de imagens termais para a observação desses fenômenos, com o objetivo de verificar a possibilidade de delimitação dos locais que mais sofrem os efeitos das ilhas de calor.

O entendimento das características das IC, como localização, temperaturas bem como suas dinâmicas, permitem subsidiar ações que visem sua atenuação, e dessa forma criar ambientes urbanos mais sustentáveis no que se refere ao clima urbano.

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo Geral

Estudar e analisar a existência de ilhas de calor na totalidade do perímetro urbano da cidade Maringá no período de 1984 a 2016

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Levantar e caracterizar as ilhas de calor de superfície na área urbana do município atual da cidade de Maringá.
- Definir os locais que apresentam os maiores valores de temperatura de superfície utilizando as imagens termais.
- Quantificar as variações de temperaturas estabelecendo os valores máximos, mínimos, médios, amplitudes, medianas e desvios padrão, obedecendo às estações do ano e o recorte temporal.
- Analisar comparativamente a ocorrência de *hot spots*<sup>2</sup>, da área do projeto inicial da cidade com as zonas criadas posteriormente.

## 1.3 Apresentação do trabalho

---

<sup>2</sup> Optou-se pela utilização da denominação *hot spots* na presente pesquisa no que se caracteriza como os locais que apresentaram os maiores valores de temperatura na imagem termal.

A presente tese esta formatada em sete seções que tiveram como objetivo inicial a explanação de conceitos que acercam o tema analisado e que, posteriormente, permite o entendimento dos resultados e análises desenvolvidas na pesquisa. A ordem estruturada levou em consideração uma apresentação do tema proposto, bem como a definição da questão-problema, hipóteses, justificativas e os objetivos pretendidos na pesquisa.

A primeira parte foi estruturada para contextualizar sobre a importância do tema abordado na presente pesquisa, enfocando elementos como a sustentabilidade no espaço urbano e a relevância dos estudos sobre ilhas de calor. Foram também definidas as questões problema, hipóteses e objetivos que permearam a presente pesquisa.

O desenvolvimento da segunda seção iniciou o aprofundamento do tema sobre as ilhas de calor, objetivo central da presente tese, no qual foram apresentados conceitos e os mecanismos que interagem para a formação desses eventos.

Dando sequência, a terceira parte enfocou a técnica que embasa os estudos sobre ilhas de calor utilizando imagens orbitais, bem como os fundamentos físicos inerentes as imagens termiais.

A parte que corresponde a área de estudo foi abordada na quarta seção, no qual foram levantados dados sobre o histórico da área bem como a caracterização da vegetação.

Os procedimentos metodológicos foram apresentados na quinta parte, no qual explanou-se detalhadamente sobre cada etapa relativa a obtenção dos dados, passando pela aquisição das imagens, tratamento e criação dos mapas termiais.

A sexta seção do trabalho teve como objetivo a apresentação dos resultados do trabalho, apresentando os valores tabulados das temperaturas encontrados.

A sétima e última contemplou a interpretação dos dados embasados nas hipóteses e objetivos apresentados.

## 2 ILHAS DE CALOR URBANAS

Os estudos sobre ilhas de calor são um dos componentes das pesquisas que envolve o clima urbano e a Geografia. No Brasil um dos expoentes nesse tema é o Geógrafo Carlos Augusto Figueiredo Monteiro, que o abordou em sua tese a “Teoria do Clima Urbano” defendida em 1975. Para o pesquisador, o clima urbano apresenta-se como um sistema complexo, adaptativo e aberto, apresentando características únicas para cada local, pois, existe uma miríade de elementos tais como: direção dos ventos, umidade relativa e temperatura, que proporcionam situações singulares. Diante disso, verifica-se a possibilidade de cada cidade pode apresentar um microclima específico, ou seja, partes dos resultados de algumas pesquisas não podem ser estendidas a outros ambientes urbanos (MONTEIRO 1975).

As publicações brasileiras sobre o clima urbano apresentam-se em crescimento desde a década de 1980 (ZAVATINI, 2002), o que demonstra a importância desse tipo de estudo, pois geralmente o clima urbano possui implicações relativas à sustentabilidade das cidades.

Com relação as ilhas de calor, constata-se que após 199 anos do primeiro estudo que abordou as diferenças térmicas entre as áreas urbanas e as rurais<sup>3</sup>, é possível verificar que o tema não se encontra exaurido, como pode ser observado em publicações científicas a exemplo de Yoshikado (1990), Akibari et al. (1993), Oke et al. (1999) e Konopacki e Akbari (2000) e Almutairi (2015).

Os ambientes urbanos geralmente apresentam uma significativa mudança da paisagem natural, pois, existe a redução ou mesmo uma completa substituição de áreas antes vegetadas, por elementos artificiais. Os impactos gerados por essas ações podem promover uma miríade de transformações microclimáticas, tais como o redirecionamento e alteração na velocidade dos ventos, variação no balanço energético das superfícies devido à inserção de materiais estanque e impermeabilização e redução de trocas térmicas como evaporação e evapotranspiração, possibilitando a formação de ilhas de calor.

A supressão da vegetação além de modificar a disponibilidade de água de um determinado local, permite que as superfícies fiquem expostas a radiação solar e

---

<sup>3</sup> HOWARD. L. *The Climate Of London*. 1818.

que segundo Ayoade (2003), o aquecimento intenso das superfícies urbanas possibilita uma evaporação acelerada, bem como a formação de nuvens mais carregadas e que podem gerar chuvas torrenciais, ou seja, aumentando a possibilidade de impactos negativos nas infraestruturas urbanas.

Geralmente as ilhas de calor urbanas apresentam dois elementos que agem para sua formação, o primeiro está relacionado à impermeabilidade e estanqueidade dos materiais, dessa maneira não existe umidade disponível no ambiente para dissipar o calor. A segunda razão contempla elementos como a morfologia urbana (uso do solo, pavimentação, disposição de edifícios etc.), além da inserção de materiais escuros, ou seja, que absorvem parte da energia provinda do sol, e que depois promovem o aquecimento do ar em e demais superfícies adjacentes, tanto no período diurno como noturno (GARTLAND, 2010).

Atualmente pesquisas sobre IC apresentam dois tipos de abordagens, o primeiro envolve análises sobre as diferenças das temperaturas do ar, possibilitando estudos de IC atmosféricas. O segundo envolve a utilização de técnicas recentes<sup>4</sup>, para a observação desse fenômeno, empregando equipamentos acoplados em aeronaves ou satélites, que coletam informações dos comprimentos de onda que contemplam o infravermelho termal, possibilitando estudos sobre as ilhas de calor de superfícies.

A complementaridade ou mesmo a relação dos dados auferidos pelos estudos de ilhas de calor atmosféricas com as de superfícies, apesar de promissores, apresentaram a necessidade de condições meteorológicas favoráveis, ou seja, sem nebulosidade e ventos, além se aplicarem a uma área urbana específica, não podendo ser estendida para outras cidades (GARTLAND, 2010). Portanto, os estudos que buscam estabelecer a correlação entre as duas abordagens de investigação de IC, encontram-se como um campo a ser explorado.

As imagens termais empregadas nos estudos de IC superficiais são resultantes da aplicação de procedimentos que envolvem técnicas oriundas do Sensoriamento Remoto (SR), que possui algumas limitações tais como, a periodicidade das imagens e a imprecisão dos valores das temperaturas das superfícies devido à existência de diferentes materiais com valores de emissividade distintos. Porém, mesmo com suas restrições, o SR apresenta-se como importante

---

<sup>4</sup> Primeiro estudo utilizando imagens termais para ilhas de calor foi realizado em 1978 (GARTLAND, 2010).



técnica e de extensa aplicação em estudos de IC, uma vez que além de possibilitar a medição das temperaturas aparentes de superfícies de grandes áreas. Esses dados coletados remotamente permitem a realização de análises em diferentes escalas, sejam elas: temporais (resgate de dados) ou espaciais (escalas métricas distintas), além de propiciarem estudos que podem relacionar a formação das IC, com índices de vegetação ou de áreas construídas.

Observa-se que os estudos sobre IC vão além da simples apresentação das diferenças térmicas entre áreas. Esses estudos permitem apresentar que a formação dessas anomalias impacta negativamente nas cidades, proporcionando aumento no consumo de energia para arrefecimento, elevação de emissões de poluentes (gases e particulados), comprometimento na qualidade da água, saúde e conforto térmico *United States Environmental Protection Agency – EPA (2008)*.

Em observância os impactos causados pelas cidades no meio natural e a necessidade de uma melhoria do ambiente urbano, surgiram e são criadas iniciativas que tem como objetivo, a promoção de um desenvolvimento sustentável das cidades. Entre essas iniciativa tem-se certificações AQUA – HQE (Alta Qualidade Ambiental e *Haute Qualité Environmentale*) e um dos mais conhecidos o *LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)*, que segundo Mostafavi (2014), estão se tornando normas em algumas profissões, mas apresentam limitações, pois se aplicam apenas o objeto arquitetônico e não a infraestrutura do território.

No Brasil o estudo realizado por Leite e Tello (2010), apresentou uma contribuição importante sobre os temas relevantes para sustentabilidade urbana. Esse estudo contempla construção de infraestruturas sustentáveis, governança, mobilidade, moradia, oportunidades, planejamento e ordenamento territorial, questões ambientais, segurança e inclusão social além de serviços e equipamentos. Dentro do item que envolve as questões ambientais, os pesquisadores trataram diversos elementos importantes, dentre eles o clima e a formação das ilhas de calor, indicando a necessidade de estudos para a compreensão desses fenômenos nas cidades, para posteriormente propor medidas que mitiguem seus efeitos negativos.

## **2.1 Definições de ilhas de calor**

Os estudos sobre ilhas de calor são um dos componentes das pesquisas que envolvem pesquisas referentes ao microclima urbano e a Geografia. O primeiro

estudo que evidenciou as diferenças entre as temperaturas de uma área urbana com a rural, ocorreu em 1818, realizado por Luke Howard. Essa pesquisa possibilitou verificar que a cidade de Londres levando em consideração uma série histórica de dados que se iniciou em 1797 até 1816 relativos à área urbana, e de 1807 a 1816 para a rural, no qual foram evidenciadas temperaturas do ar mais elevadas no interior do perímetro urbano, devido ao que o pesquisador definiu como “excesso de calor artificial”.

A pesquisa elaborada por Howard (1818), iniciou um processo de estudos que possibilitou a criação de um campo de pesquisa relativa ao microclima urbano e sobre as ilhas de calor urbanas, configurando-se como uma importante vertente relacionada a sustentabilidade ambiental das cidades (GARTLAND, 2010).

As ilhas de calor geralmente possuem relação com as mudanças que ocorrem na paisagem, inserção de edifícios, estradas entre outras infraestruturas que substituem a vegetação por superfícies impermeáveis e secas. Essa situação proporciona o desenvolvimento da formação do fenômeno denominado ilhas de calor, no qual as temperaturas da área urbana se tornam mais elevadas do que as rurais no entorno. Geralmente as áreas urbanas e suburbanas com mais de um milhão de habitantes apresentam temperatura média anual do ar que variam de 1 a 3°C, do que seus arredores, podendo chegar em alguns casos a 12 °C (EPA, 2008).

A definição de ilhas de calor proposta por Manley (1958), leva em consideração a diferença de temperatura encontrada nas áreas urbanas e não urbanas, no qual se verifica geralmente as temperaturas mais altas nas cidades e geralmente mais amenas em áreas menos urbanizadas.

Com a evolução nos estudos de ilhas de calor, constata-se uma série de novas tecnologias que permitem a extração de dados sobre as variações microclimáticas dentro do espaço urbano, utilizando para isso equipamentos distribuídos em diversos pontos da área de interesse, e que realizam aferições sobre temperatura, umidade relativa, direção dos ventos entre outros dados, registrando-os em intervalos regulares.

Os avanços nas técnicas utilizadas para o estudo sobre variações de temperaturas nas cidades permitem a aquisição de novas informações, tal como a temperatura das superfícies bem como suas dinâmicas através do tempo. Segundo EPA (2008), os estudos sobre IC podem ser divididos em Ilha de Calor Urbana Atmosférica (*Atmospheric UHI - Urban Heat Island*) e Ilha de Calor Urbana de

Superfície (*Surface UHI - Urban Heat Island*), cada qual apresentam características próprias, requerendo a aplicação de técnicas distintas para sua identificação e mensuração (Quadro 1).

Quadro 1: Características básicas entre ilhas de calor de superfície e atmosférica

Características	Ilha de calor urbana de Superfície	Ilha de calor urbana atmosférica
Desenvolvimento temporal.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presente em todos os momentos do dia e da noite.</li> <li>• Mais intensa durante o dia e no verão.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pode ser pequena ou inexistente durante o dia.</li> <li>• Mais intensa à noite ou antes do amanhecer e no inverno.</li> </ul>
Pico de intensidade (Mais intensos nas condições de ilhas de calor).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maior variação espacial e temporal.</li> <li>• Dia 18 a 27 °F (10 a 15 °C).</li> <li>• Noite 9 a 18 °F (5 a 10 °C).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menor variação.</li> <li>• Dia -1,8 a 5,4 °F (-1 a 3 °C).</li> <li>• Noite 12,6 a 21,6 °F (7 a 12 °C).</li> </ul>
Método típico de identificação.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medições indiretas.</li> <li>• Sensoriamento Remoto.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medições diretas.</li> <li>• Estações fixas</li> <li>• Transectos móveis.</li> </ul>
Descrição típica.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Imagens termais.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mapas isotérmicos</li> <li>• Gráficos de temperatura.</li> </ul>

Fonte: EPA (2008).

Com relação às ilhas de calor urbanas atmosféricas, essas geralmente são fracas durante o começo da manhã e ao passar do dia, porém apresenta-se pronunciada após o pôr do sol, pois as infraestruturas urbanas continuam a perder calor para a atmosfera. Já as ilhas de calor urbana de superfície apresentam seu

pico de temperatura durante o dia, provocado pelo aquecimento dos diferentes tipos de materiais que compõe a área urbana. Geralmente as ilhas de calor atmosféricas apresentam menos intensidade que as ilhas de calor de superfície, tratando-se, portanto de um dado que deve ser considerado quando se realizam propostas para a mitigação de ilhas de calor em uma cidade (EPA, 2008).

A maioria dos estudos sobre IC descrevem que os centros urbanos apresentam as temperaturas mais elevadas devido à baixa quantidade de cobertura vegetal, portanto são as áreas que mais são afetadas por esse fenômeno (WILSON et al, 2003). Portanto a cobertura vegetal pode influenciar na temperatura de um dado local, pois propicia a ocorrência de alguns fatores, tais como a evapotranspiração que consiste na perda de água para manter a temperatura da vegetação, e a redução da incidência de raios solares diretamente nas superfícies, evitando que estas se aqueçam (GARTLAND, 2010).

Estudos como os de Brazel et al. (2000) sobre os eventos de IC, convergem para o ponto em que existe uma relação entre o crescimento das cidades e a intensidade das IC, configurando-se como um evento intrínseco ao crescimento urbano.

Diante do exposto, verifica-se que os estudos de IC podem ajudar no desenvolvimento de técnicas de planejamento, podendo contribuir para mitigar esse problema e possibilitando um ambiente urbano mais sustentável.

## **2.2 Como se formam as IC**

Quando se pretende executar técnicas que permitam a resolução satisfatória de um problema, exige-se o conhecimento das variáveis e dos elementos que estejam atuando, para só depois propor medidas embasadas nesses resultados. Portanto, cabe nesse momento descrever alguns dos fatores que propiciam a formação desse fenômeno e suas características, bem como o entendimento que se trata de um dos elementos relativos ao clima urbano.

Para Adler e Tanner (2015), o clima urbano faz parte dos processos que envolvem o ecossistema urbano, conjuntamente com o ciclo da água e dinâmica urbana de nutrientes. As alterações realizadas pelo homem para a criação do hábitat urbano promovem a formação não intencional de formação de ilhas de calor urbanas, devido à supressão da vegetação e a inserção de materiais como o

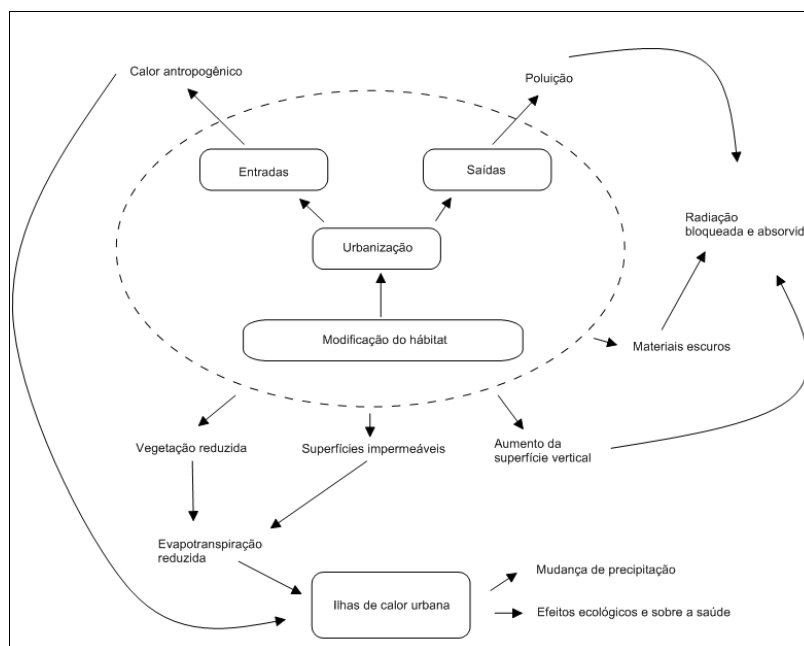
concreto e o asfalto, reduzindo a evapotranspiração. Outros elementos também contribuem para a ocorrência desses fenômenos:

- a) As estruturas verticais absorvem radiação solar por muito tempo liberando no período noturno, promovendo o aquecimento do ar;
- b) Materiais escuros como asfalto, são excelentes absorvedores da radiação incidente, podendo adquirir elevadas temperaturas, e emití-las por um longo período de tempo;
- c) Produção de calor antropogênico;
- d) A poluição atmosférica gerada nas cidades proporciona a absorção e reflexão de mais calor.

Para Howard (1818), a identificação das causas para as variações das temperaturas do ar entre áreas urbanas e não urbanas, possuem relação com o calor antropogênico, particularmente no período de inverno, uma vez que as características das superfícies urbanas tendem a aprisionar e obstruir a emissão do calor para a atmosfera.

As ilhas de calor são eventos que podem compor o clima urbano, sendo o resultado da interação entre os elementos de entrada e saídas em uma condição não natural e intrínseca ao processo de urbanização (Figura 1).

Figura 1: Principais causas e efeitos da criação do hábitat urbano



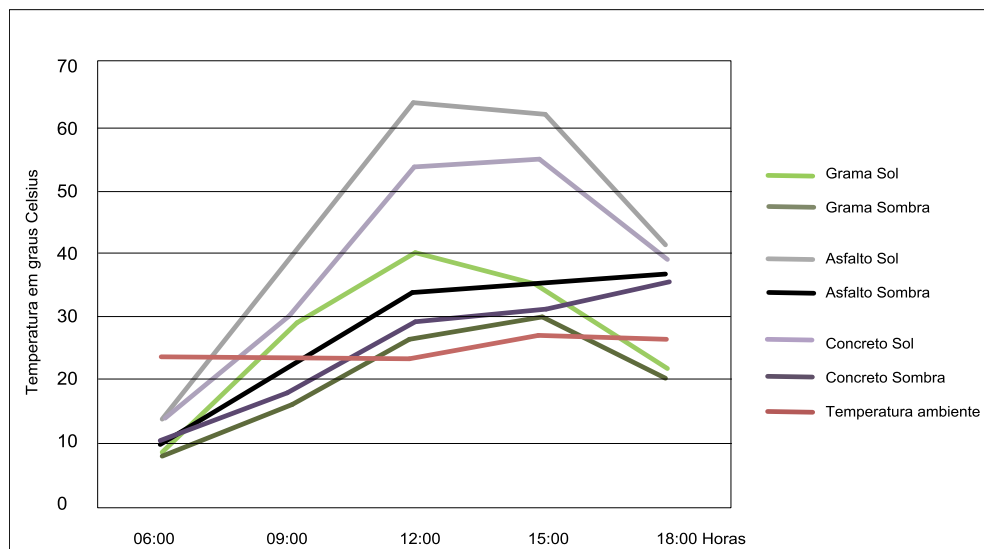
Fonte: Adler e Tanner (2015)

Para Adler e Tanner (2015), a paisagem física urbana é geralmente formada por uma pequena fração de vegetação e superfícies duras e impermeáveis à água. Além disso, a construção e a manutenção dessas estruturas necessitam de uma entrada substancial de energia, suprida principalmente por combustíveis fósseis, provocando uma alteração no modo como a energia entra, atravessa e sai de uma área urbana, podendo modificar o clima urbano.

Dentre os elementos relativos a formação das ilhas de calor urbanas, observa-se que as modificações causadas pela implantação ou mesmo o crescimento de uma cidade, geralmente está ligada a alteração do espaço natural. Essas modificações geralmente possuem poucos elementos sustentáveis, causando diversos impactos negativos, tais como a impermeabilização de superfícies, que afetam a disponibilidade de água no solo, a inserção de materiais construtivos que armazenam radiação de ondas longas ou mesmo promovem a conversão de ondas curtas em ondas longas promovendo o aquecimento das superfícies e consequentemente do ar em seu entorno.

Para Germano (2012), em sua análise sobre diferentes materiais que compõem a área urbana, esses podem apresentar significativas variações em suas temperaturas durante dia, e geralmente superam a temperatura ambiente, possibilitando a formação de ilhas de calor de superfície (Figura 2).

Figura 2: Variação de temperatura de diferentes materiais que compõe o espaço urbano



Fonte: Germano (2012)

As variações dos valores de temperaturas de diferentes materiais envolvem elementos tais como: a cor do material, composição química, rugosidade da superfície, teor de umidade, compactação, além das propriedades térmicas de cada objeto, ou seja, a capacidade térmica, condutividade térmica e inércia termal (JENSEN, 2009).

Segundo Adler e Tanner (2015), os materiais que compõem a paisagem urbana provocam modificações na entrada e saída de energia nesse sistema. As superfícies urbanas estão sujeitas a entrada de três fontes de energia:

- a) Energia solar (QI): radiação de alta energia (ondas curtas) provenientes do Sol;
- b) Radiação infravermelha incidente (QLin): radiação de baixa energia (ondas longas);
- c) Entrada de calor antropogênico (QF): energia resultante de processos realizados pelos habitantes, principalmente queima de combustíveis fósseis;

Essas três fontes de energia apresentadas anteriormente podem interagir com os diferentes materiais que compõem a área urbana de quatro maneiras distintas:

- a) Radiação refletida (QR): a radiação é refletida para a atmosfera e espaço exterior;
- b) Radiação infravermelha emitida (QLout): o calor é irradiado por objetos quentes na forma de radiação de ondas longas;
- c) Perda térmica latente (QE): calor perdido pela evaporação da água inclusive a transpiração (plantas);
- d) Transferência térmica sensível (QH) calor perdido por transferência direta (convecção) por movimento do ar ou água;
- e) Calor armazenado pela superfície (QS).

Levando em consideração as variáveis apresentadas anteriormente, é possível estruturar uma equação denominada equação de balanço energético superficial (1), que tem por objetivo explicitar como esses elementos, energia solar, radiação infravermelha incidente e calor antropogênico, podem interagir com as superfícies urbanas propiciando a formação de microclimas urbanos.

$$QI + QLin + QF = QR + QLout + QE + QH + QS \quad (1)$$

Onde:

$Q_I$  → Energia solar

$Q_{Lin}$  → Radiação infravermelha incidente

$Q_F$  → Entrada de calor antropogênico

$Q_R$  → Radiação refletida

$Q_{Lout}$  → Radiação infravermelha emitida

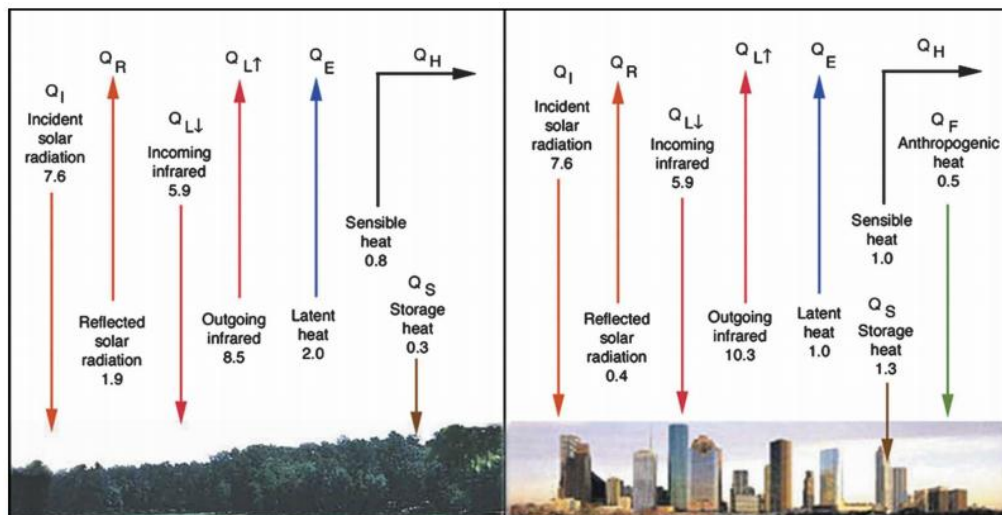
$Q_E$  → Perda térmica latente

$Q_H$  → Transferência térmica sensível

$Q_S$  → Calor armazenado

A compreensão do funcionamento do balanço energético superficial se apresenta como um elemento importante aos estudos de ilhas de calor, pois permite vislumbrar que a energia que entra em contato com a superfície, é igual a que sai do material, somado com o calor armazenado pelo objeto. As superfícies urbanas apresentam substanciais diferenças de áreas não naturais, e são geralmente compostas por materiais que geralmente promovem a retenção de calor, proporcionando a formação de IC (Figura 3).

Figura 3: Diferenças entre o balanço de energia em áreas urbanas e naturais (unidades em  $\text{kW h m}^2 \text{ dia}^{-1}$ )



Fonte: Shepherd (2005).

Quando comparadas às áreas urbanas, com locais que apresentam cobertura florestal, observa-se que o ambiente urbanizado apresenta as seguintes características com relação ao balanço energético superficial:



- a) produção de calor antropogênico (QF);
- b) menos calor é refletido (QR);
- c) menos calor latente (QE) se perde;
- d) mais radiação de ondas longas (QLout) se perde;
- e) perde-se um pouco mais de calor sensível (QH);
- f) armazena-se mais calor (QS).

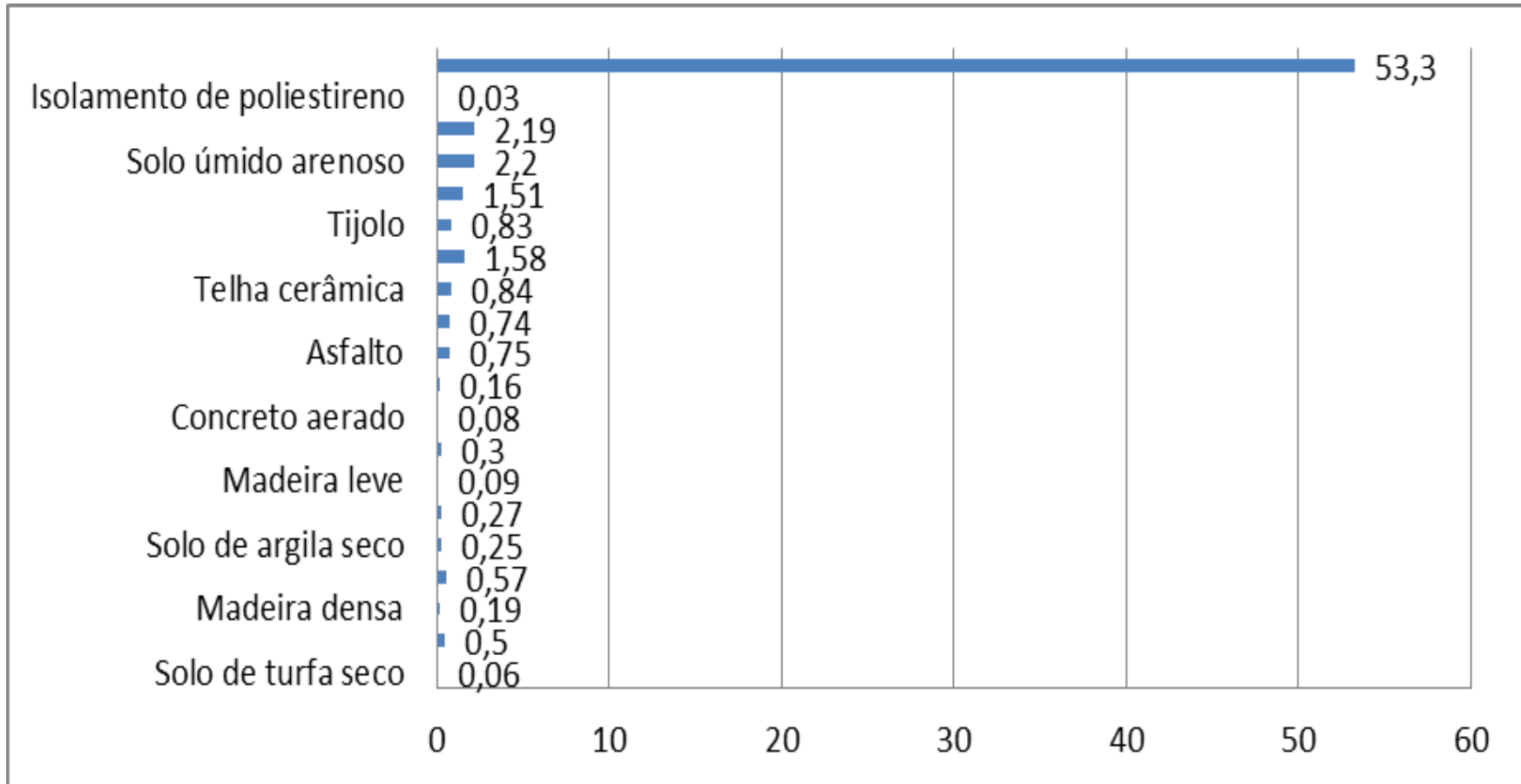
O entendimento da interação da energia solar e as superfícies urbanas permite observar que mesmo com a separação conceitual das ilhas de calor atmosféricas das superficiais, ambas apresentam relações, pois as temperaturas superficiais apresentam elementos que podem afetar a temperatura do ar, especialmente na camada de ar que se aquece próxima a essas superfícies. Já as áreas com vegetação apresentam situação tipicamente diferente, pois as temperaturas superficiais são mais amenas, podendo contribuir para o arrefecimento do ar (EPA, 2008).

Para Gartland (2010), os materiais que compõe os ambientes urbanos tais como o asfalto e concreto, refletem menores quantidades de radiação solar possuindo como características alta condutividade térmica (Figura 4), ou seja, tendem a conduzir o calor para o seu interior, alta capacidade calorífica (Figura 5), conseguindo armazenar esse calor por um tempo longo em seu volume, promovendo o aquecimento do ar e outras estruturas em seu entorno. Essas duas características combinadas, mais exatamente a divisão da condutividade térmica pela capacidade calorífica do material, possibilitam o entendimento de como o material está susceptível ou não a penetração do calor em sua estrutura, sendo chamada de difusividade térmica (Figura 6). Altos índices de difusividade térmica demonstram a facilidade de um determinado material conduzir calor para o seu interior, já os valores baixos informam que apenas as primeiras camadas do objeto são aquecidas, ou seja, apresentam oscilações de temperatura rapidamente, tal como o aço que pode aquecer e esfriar rapidamente.

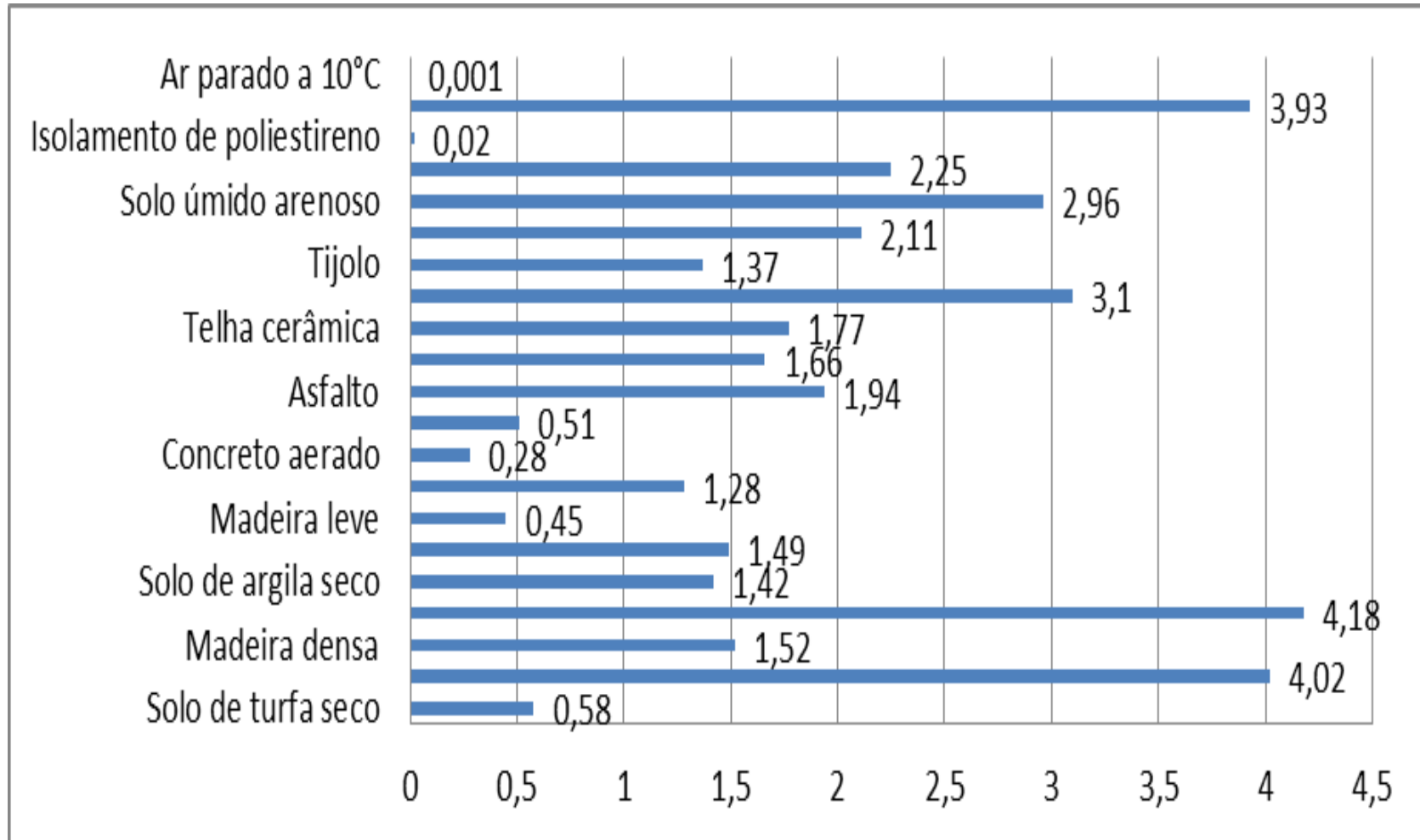
A compreensão das características térmicas dos materiais permite identificar a maneira como cada objeto interage com a radiação solar, portanto, é possível evidenciar quais são os elementos que mais contribuem para a formação de ilhas de calor em um ambiente urbano, bem como propor a utilização de elementos que apresentem características favoráveis ao clima urbano.

Observa-se que em áreas urbanas prepondera a utilização de materiais com baixa difusividade térmica, ou seja, existe o armazenamento de calor durante o dia e liberação durante a noite.

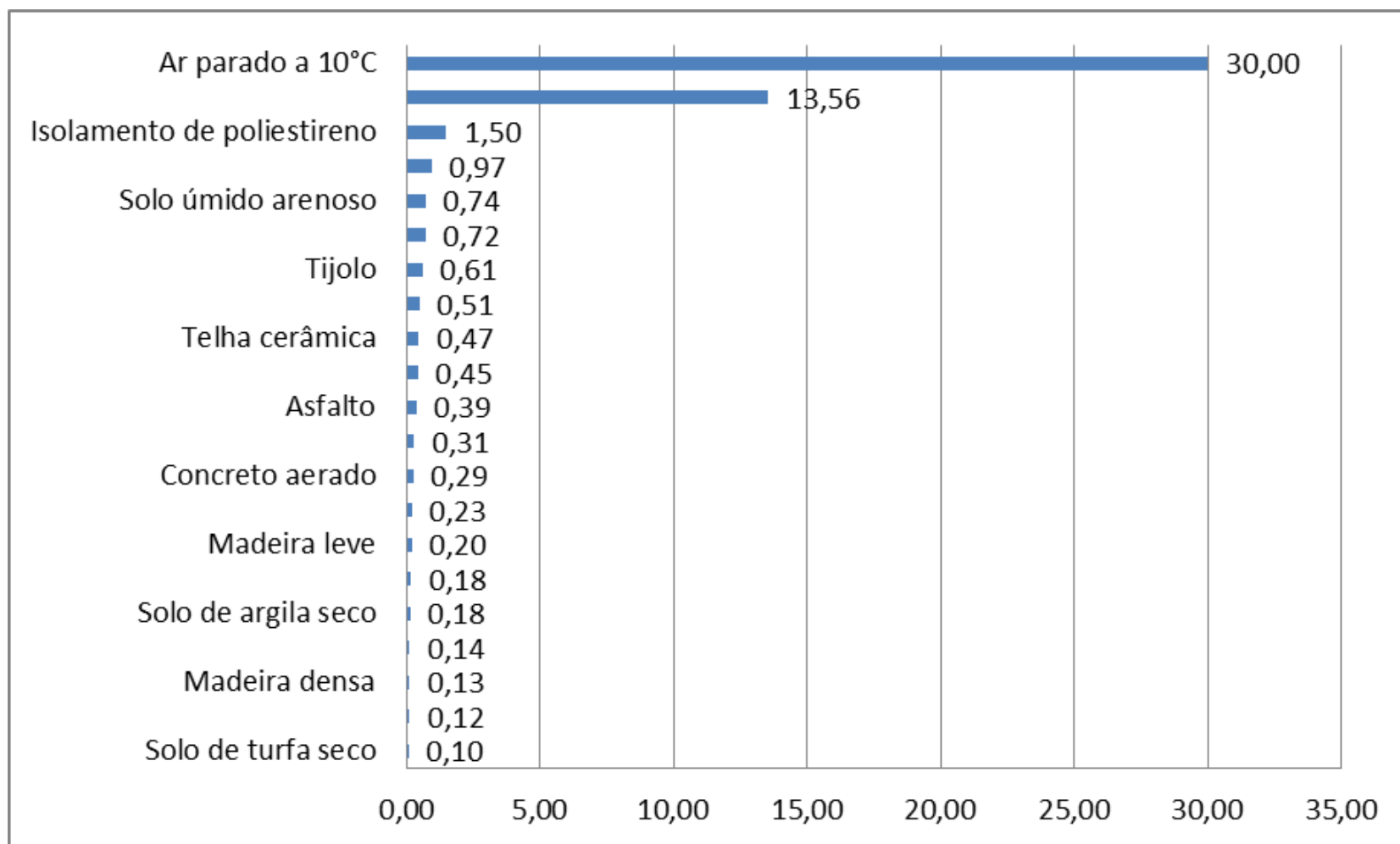
Figura 4: Condutividade térmica (w/m k)



Fonte: Gartland (2010)

Figura 5: Capacidade calórica ( $\text{J}/\text{m}^3/\text{K} \times 10^{-6}$ )

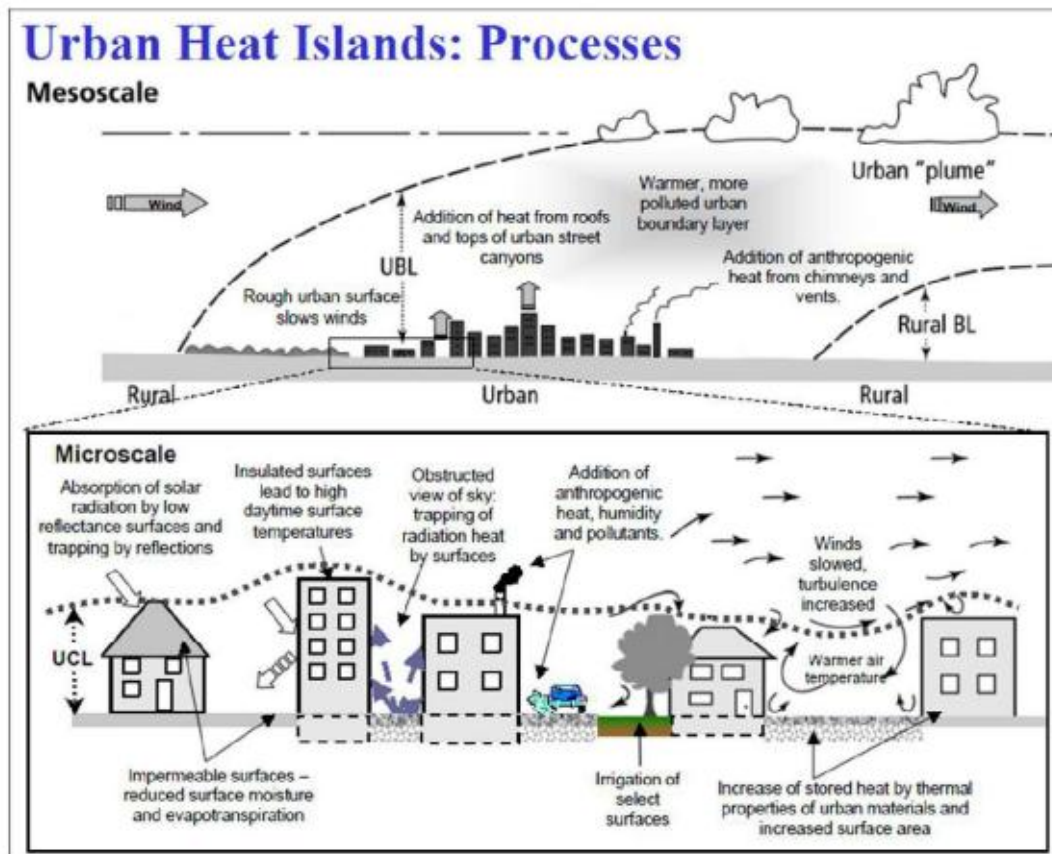
Fonte: Gartland (2010)

Figura 6: Difusividade térmica ( $\text{m}^2/\text{s} \times 10^{-6}$ )

Fonte: Gartland (2010)

As informações sobre a condutividade térmica, capacidade calórica e difusividade térmica apresentam-se como dados importantes, porém é possível verificar a existência de diversos fatores que podem interagir para a formação de ilhas de calor, tratando-se, portanto de um processo complexo e aberto, sujeito a variáveis em micro e mesa escala (Figura 7).

Figura 7: Processo de formação de ilhas de calor



Fonte: EPA (2008)

Com relação à mitigação das ilhas de calor segundo Roth (2007), nas cidades localizadas nas regiões tropicais, o clima é fortemente influenciado pelos períodos seco e úmido, mais do que pelas estações de inverno e verão. Geralmente os maiores efeitos das ilhas de calor ocorrem na estação seca, já na estação úmida, as coberturas vegetais de áreas não urbanas proporcionam baixo arrefecimento pela evaporação, pois a umidade relativa encontra-se alta.

Nos estudos realizados por Grey e Deneck (1978), os autores chegaram à conclusão de que uma árvore de porte grande, hidratada, pode perder

aproximadamente 380 litros de água por dia para manter sua temperatura, funcionando como o equivalente a 5 aparelhos de ar condicionado de potência média (10.000 BTUs), ligado 20 horas dia, além de umedecer o ar, capturar CO<sub>2</sub> e promover sombra, tratando-se, portanto, de uma importante ferramenta para a mitigação de ilhas de calor, promovendo benefícios econômicos relacionados ao consumo de energia.

Corroborando com a importância da vegetação na área urbana, segundo Adler e Tanner (2015), em um dia quente e seco, uma árvore de grande porte pode utilizar até 1000 litros de água, e para a evaporação dessa, são utilizados 625 kWh, que provem da atmosfera circundante da árvore, reduzindo a temperatura por meio do resfriamento evaporativo.

Conforme a EPA (2008) as formações de ilhas de calor urbanas envolvem uma série de fatores que contribuem para a sua formação, tais como:

- a) Redução da vegetação nas áreas urbanas. A vegetação promove sombreamento e diminuem o aquecimento das superfícies, além disso, processos como a evapotranspiração possibilitam o arrefecimento do ar do entorno. Em áreas urbanas 55% das águas da chuva escoam superficialmente, e 30% é evaporada, porém em áreas com vegetação apenas 10% escoam superficialmente e 40% é evapotranspirada;
- b) Propriedades dos materiais. Os materiais que compõem as cidades em particular suas características relativas à reflectância solar, emissividade termal e capacidade calorífica, influenciam na formação de ilhas de calor, pois geralmente apresentam baixo albedo e absorvem grande parte de energia incidente, elevando a temperatura dos materiais e contribuindo para a formação das ilhas de calor atmosféricas;
- c) Geometria urbana. A geometria urbana envolve as dimensões e a altura e o espaçamento dos edifícios, pois esses elementos interferem no caminho dos ventos, absorção de energia além de proporcionar a emissão de ondas longas;
- d) Calor antropogênico. As atividades realizadas pelos seres humanos nas cidades podem gerar um calor adicional ao sistema, sendo geralmente ligada a queima de combustíveis (transporte) e processos industriais;

e) Fatores adicionais. O tempo e a localização geográfica são elementos importantes na formação de ilhas de calor, pois fenômenos relacionados ao tempo como ventos fortes podem suprimir a formação de ilhas de calor. Já a localização geográfica envolve elementos como o clima e a topografia do local.

A energia solar diária média incidente é geralmente de  $160 \text{ W/m}^2$ , podendo chegar a  $1.000 \text{ W/m}^2$  ao meio dia, esse valor máximo de energia incidindo uma hora em uma superfície de concreto com área de  $1 \text{ m}^2$ , albedo de 0,88 e espessura de 15 centímetros é capaz de aquecer esse material em  $2,3 \text{ }^\circ\text{C}$  por hora (ADLER e TANNER, 2015).

Ainda com relação aos materiais que compõem as cidades, Ayoade (2003) elucida que o aquecimento mais intenso das superfícies pode provocar uma maior evaporação formando nuvens mais carregadas que podem precipitar de forma torrencial. Além disso, o aumento de temperatura provocado pelas ilhas de calor também pode influenciar diretamente no conforto térmico de ambientes, sendo necessária a instalação de equipamentos de resfriamento do ar, o qual acarreta em um maior consumo de energia elétrica.

A *Environmental Protection Agency* (EPA), em seu estudo “Refrigeração de temperaturas no verão: estratégias para reduzir as ilhas de calor urbanas” de 2008, conclui que essas anomalias climáticas podem afetar a saúde, o meio ambiente e na quantidade de energia que os consumidores utilizam para o resfriamento de ambientes internos durante o verão. Observa-se que as estratégias e tecnologias que envolvem a diminuição das ilhas de calor contemplam a implantação de diversas ações conforme segue:

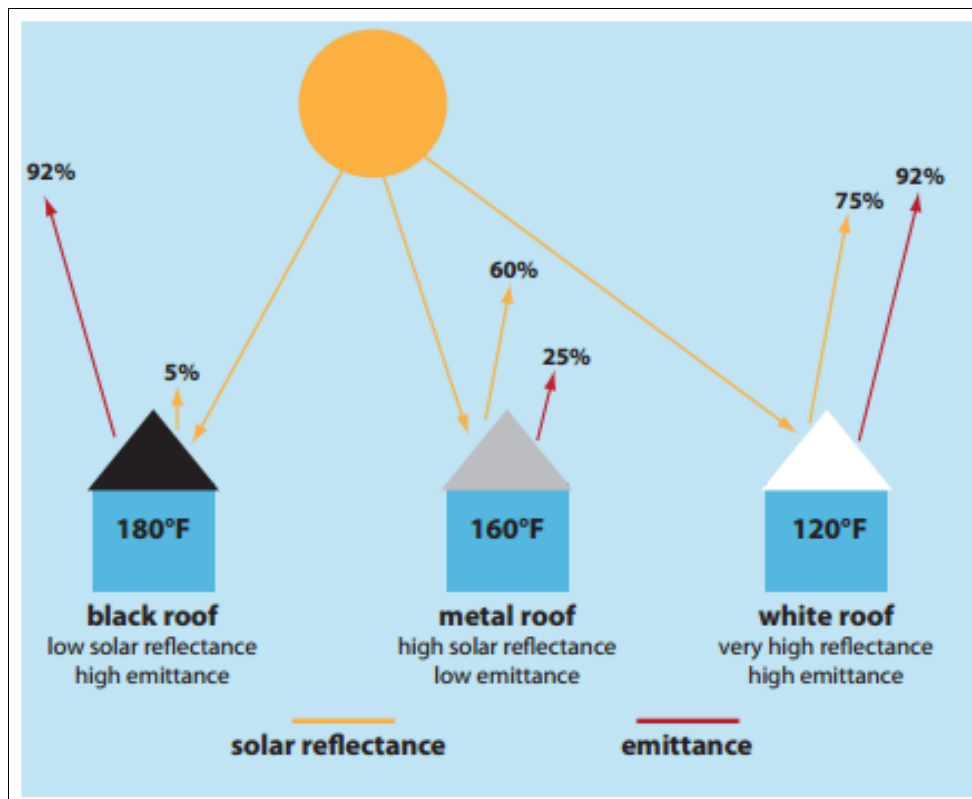
- a) Plantio de árvores e vegetação - As árvores e vegetação proporcionam a diminuição das temperaturas das superfícies e do ar, devido ao sombreamento e evapotranspiração. Geralmente materiais sob a sombra são de  $11$  a  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  mais frescos que os expostos aos raios solares, e a evapotranspiração pode reduzir o pico de temperatura de  $1$  a  $5^\circ \text{C}$ . Os benefícios que envolvem a implantação dessas estratégias incluem a redução do uso de energia para o arrefecimento das residências, melhoria na qualidade do ar (sequestro de dióxido de carbono), diminuição do escoamento superficial, diminuição da manutenção do pavimento asfáltico devido ao sombreamento e melhoria na qualidade de vida (valor estético,



habitat de diferentes espécies e diminuição de ruídos).

- b) Telhados verdes. Os telhados verdes ou telhados jardins podem promover sombreamento além de realizar evapotranspiração, os telhados verdes em um dia quente podem apresentar temperaturas 50 °C mais baixas que os telhados convencionais. Os benefícios da instalação de telhados verdes envolvem a diminuição do consumo de energia para o arrefecimento da residência, além dos já apresentados anteriormente em relação ao plantio de árvores e implantação de vegetação.
- c) Telhados frescos. Os telhados frescos são compostos por materiais que apresentam alta reflectância e emissividade, podendo apresentar temperaturas mais baixas que os telhados convencionais (28-33 °C), (Figura 8). Os telhados frescos apresentam como benefícios a redução de energia para arrefecimento, além de diminuir a formação de ilhas de calor, pois os telhados das residências ocupam uma significativa área no ambiente urbano.

Figura 8: Comportamento de diferentes tipos de telhados



Fonte: Gartland (2010)

Um telhado composto com materiais escuros, tal como manta asfáltica reflete aproximadamente 5% da energia solar incidente e emite 92% da energia absorvida, podendo atingir temperaturas de 82 °C. Diferentemente de uma cobertura com baixa reflectância, um telhado de metal apresenta um reflectância de aproximadamente 60% e uma emissão de 25%, promovendo um aquecimento de 71 °C desse tipo de superfície. Porém, um telhado composto por materiais que apresentam uma reflectância de 75% e uma emitância de 92%, podem apresentar picos de temperatura de 49 °C;

- d) Pavimentos frescos. Os pavimentos frescos incluem uma série de tecnologias já estabelecidas e emergentes, estando ligadas a materiais que refletem grande parte da energia solar incidente, proporcionam uma melhor evaporação da água ou são compostos por materiais que os tornem mais frios que os pavimentos convencionais. A implantação de pavimentos frescos pode proporcionar a redução do escoamento superficial devido sua permeabilidade, diminuição de ruídos, melhoria da drenagem das rodovias, além de uma melhoria na visibilidade no período noturno.
- e) Crescimento inteligente. O crescimento inteligente das cidades envolve uma série de princípios compostos pelo o uso múltiplo de áreas (comercial, residencial e recreativo, aproveitamento das vantagens de prédios compactos, criação de um série de oportunidades e escolha de moradias, promover espaços caminháveis nos bairros, fomentar comunidades atraentes e com forte sentido de lugar, preservação de espaços livres, terras agrícolas, de beleza natural e áreas ambientalmente críticas, fortalecimento e dirigir o desenvolvimento para comunidades já existentes, fornecer múltiplas opções de transporte, tornar decisões de desenvolvimento previsíveis, justas e rentáveis, incentivar a colaboração da comunidade e das partes interessadas nas decisões de desenvolvimento.

Observa-se a existência de diversos elementos que devem ser levados em consideração quando se estuda o clima urbano, tais como as alterações relativas ao conforto térmico, impactos nas estruturas e qualidade do ar, além do aumento do consumo de energia para o arrefecimento.

Porém, antes da utilização dos recursos das imagens termais coletadas por sensores remotos, se faz necessário a compreensão do que é o Sensoriamento Remoto, suas potencialidades e limitações, englobando em um primeiro momento seus conceitos básicos e posteriormente a utilização da faixa espectral do infravermelho termal, e o comportamento dos alvos.

### 3 SENSORIAMENTO REMOTO

A partir de 1957 com o lançamento do primeiro satélite, surgiu a chance de analisar o planeta Terra e as ações dos seres humanos, iniciando uma espécie de consciência global. As imagens coletadas por esses equipamentos permitiram o vislumbre do esplendor de nossa biosfera bem como sua fragilidade, demarcadas por manchas de contaminações, desflorestamentos bem como a expansão desordenada de algumas cidades (ROGERS, 2001).

Segundo Christofolletti e Teixeira (1997), o Sensoriamento Remoto (SR) é uma técnica que faz uso de sensores para a captação e registro da energia refletida ou emitida por objetos na superfície da terra ou por outros astros.

Outra definição semelhante a anterior foi realizada por Florenzano (2007), no qual o sensoriamento remoto é visto como a tecnologia que permite obter imagens e outros tipos de dados, da superfície terrestre, utilizando-se sensores capazes de captar a energia refletida ou emitida de objetos, sem o contato físico entre o sensor e o objeto.

O termo sensoriamento remoto, remonta a um artigo não publicado do começo da década de 1960<sup>5</sup> realizado pelo grupo de Geografia do *Office of Naval Research* (ONR), que iniciou a instalação de equipamentos como, por exemplo, escâneres, radiômetros que abrangiam regiões do espectro eletromagnético que iam além dos comprimentos do visível, portanto a utilização da palavra fotografia escrever com luz (visível), estava se tornando forçada. A definição do termo sensoriamento remoto, só ocorreu após uma série de simpósios realizados pela ONR nos laboratórios da *Willow Run* da Universidade de Michigan juntamente com o *National Research Concuncil*, entre o final de 1960 inícios de 1970 (JENSEN, 2009).

Além do termo sensoriamento remoto, a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), sugere o termo *medição remota*, devido ao nível de sofisticação dos equipamentos de sensores remotos hiperespectrais e a precisão dos mesmos (ROBBINS, 1999).

Para Jensen (2009), o sensoriamento remoto não pode ser considerado uma ciência, pois, o conceito de ciência se define como um campo do conhecimento

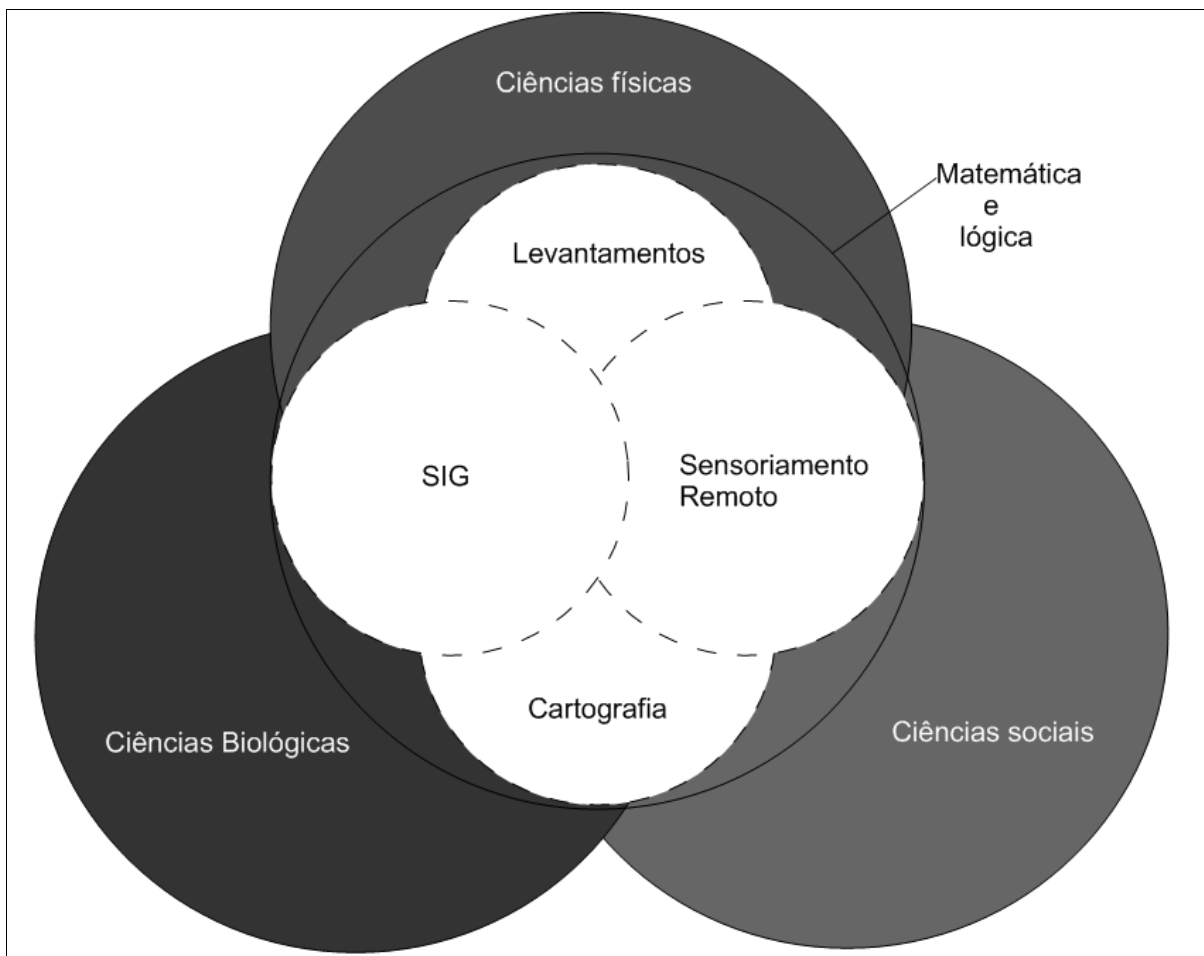
---

<sup>5</sup> 1957 Lançamento do satélite Sputnik (U.R.S.S) e 1958 Lançamento do satélite Explorer 1 (E.U.A). 1960 Projeto Secreto CORONA (E.U.A). (JENSEN, 2009).

humano tendo como interesse em fatos enfeixados por regras, nos quais os cientistas atestam os fatos e princípios utilizando-se do método científico. O SR trata-se de uma ferramenta ou mesmo técnica, que funciona em harmonia com outras ciências da informação geográfica, tratando-se de uma disciplina que não se sobrepõem ou é sobreposta por outras matérias (Figura 9), como Cartografia e o Sistema de Informações Geográficas (SIG).

Para Fitz (2010), o SR utiliza-se de dispositivos, denominados sensores, capazes de coletar a energia refletida ou emitida por uma superfície e registrar essas informações em diferentes tipos de dados digitais, que posteriormente podem ser manipulados utilizando-se programas específicos.

Figura 9: Modelo de interação entre as ciências da informação geográfica com outras ciências.



Fonte: Jensen (2009)

Os principais marcos que caracterizam o sensoriamento remoto englobam os estudos de Isaac Newton<sup>6</sup>, seguido pelas descobertas de Joseph Nicephore Niepce<sup>7</sup>, e melhoradas posteriormente por Louis Jacques Mande Daguerre<sup>8</sup>, bem como os estudos desenvolvidos por James Cleck Maxwell sobre a teoria aditiva de cores, que se tornou possível apenas em 1861 (JENSEN, 2009).

Com a evolução dos equipamentos fotográficos bem como a importância de seus produtos, observa-se um andamento para coleta de imagens em níveis suborbitais, em um primeiro momento realizado em um balão, por Gaspard Felix Tournachon<sup>9</sup>, sobre o Val de Bievre nos arredores de Paris (1858), estabelecendo como os primeiros momentos da fotogrametria, termo esse criado em 1867 (JENSEN, 2009).

As fotos retiradas por balões abriram um campo para o uso militar, realizadas em 1862 na guerra civil americana, no qual foi criada uma brigada de balonistas responsáveis pelo reconhecimento das tropas confederadas (FLORENZANO, 2007).

Nos anos seguintes pesquisadas novas formas de adquirir imagens suborbitais utilizando-se pipas<sup>10</sup> ou mesmo acoplada em foguetes<sup>11</sup> e pássaros<sup>12</sup>.

As fotografias aéreas ganharam seu maior impulso com a invenção do avião por Santos Dumont em 1906, porém a primeira fotografia utilizando-se esse novo invento foi realizada em 1908 sobre o *Camp d'Auvours* na França, por um fotógrafo que acompanhou Wilbur Wright (JENSEN, 2009).

Durante a Primeira e Segunda Guerras Mundiais, o reconhecimento fotográfico utilizando-se aviões se tornou imprescindíveis, e visava à obtenção de dados como o deslocamento de tropas, localização de alvos estratégicos, análise de relevo, possibilitando a criação de estratégias de ataques mais efetiva e de defesas mais consistentes. Durante os anos de 1954 na Guerra Fria, os EUA criaram um programa de reconhecimento por aviões denominados U-2, que realizavam voos de

---

<sup>6</sup> Livro intitulado *Principia* (1687), que descreveu as leis básicas da mecânica (Inércia, a força e o princípio da ação e reação).

<sup>7</sup> Inventor de emulsões sensíveis à luz e desenvolvimento de métodos para fixar a imagem, denominada por Niepce como Heliografia.

<sup>8</sup> Sócio de Niepce e após a morte de Niepce o mesmo continuou realizando experiências com emulsões e fixadores, possibilitando criar em 1839 o daguerreóptico.

<sup>9</sup> Gaspar Felix Tournachon criou em 1863 um balão batizado de *Le Geant* (O gigante), que tinha por objetivo a realização de levantamentos planialtimétricos, cadastrais e estratégicos.

<sup>10</sup> Arthur Batut - Livro Fotografia aérea por pipas 1890.

<sup>11</sup> Amadee Denisse Publicado na revista La Nature 1888.

<sup>12</sup> Julius Neubronner 1903 Primeiras fotografias aéreas obtidas utilizando câmeras acopladas em pombos.

reconhecimento a altitudes de 21.000 metros capturando imagens com resoluções espaciais de 60 a 90 centímetros (JENSEN, 2009; RICH e JANOS, 1994).

As imagens no nível orbital só foram possíveis pelos avanços das tecnologias auferidas durante a Guerra Fria (1947 - 1991), tendo como marco o lançamento do SPUTNIK pela U.R.S.S em 24 de outubro de 1957. Posteriormente o sucesso do projeto Corona do EUA em 1960 na Missão 9009 foi responsável pela primeira captura de um objeto que estava em órbita e que tinha um filme de reconhecimento, no qual destacava uma base aérea militar russa (Mys Shmidta) na Chukotka (RUFFNER, 1995).

O projeto Corona além de seu uso militar permitiu avanços e estudos envolvendo exploração recursos naturais, envolvendo técnicas de fotogeologia, porém todos os documentos eram de uso estritamente militar (RUFFNER, 1995).

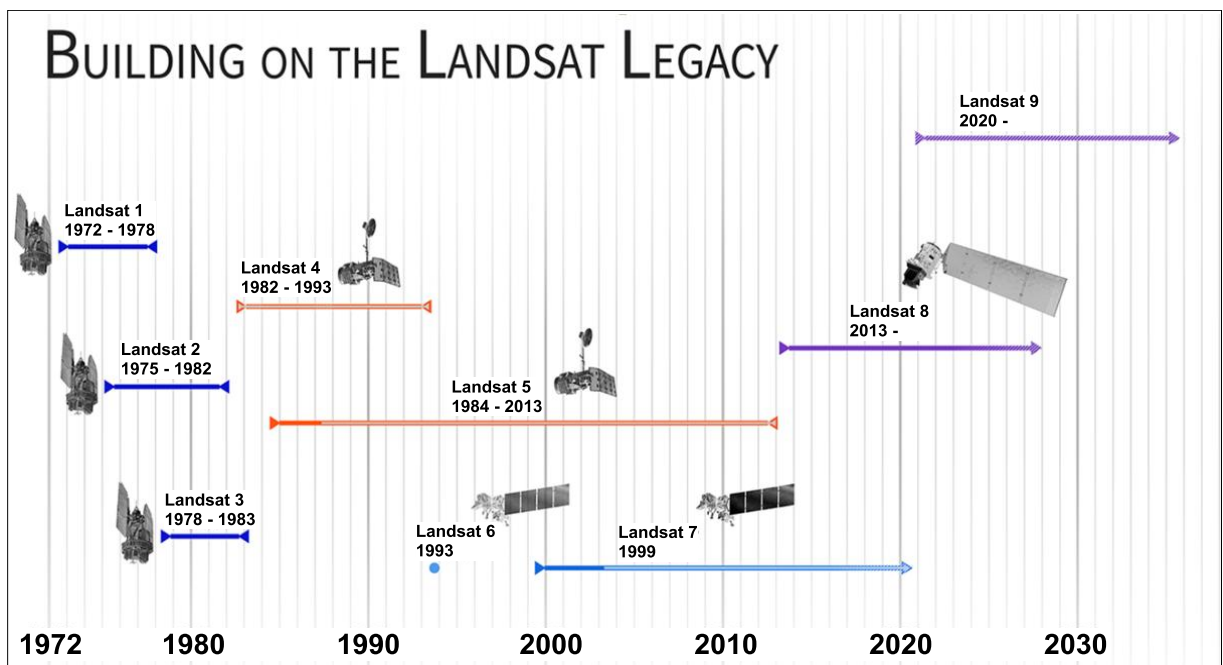
O histórico apresentado mostra que o sensoriamento remoto em seu nível orbital obteve seu desenvolvimento durante a década da corrida espacial, envolvendo o projeto Corona em 1959 (EUA) e do satélite Zenit 2 em 1961 pela URSS, que apesar de grande valor e importância esses satélites de reconhecimento utilizavam-se de filmes fotográficos que deveriam ser coletados após a reentrada de uma cápsula na qual ficavam os filmes. Esse invólucro possuía um paraquedas que ao entrar na atmosfera e em uma dada altura abria-se e o equipamento era interceptado por um avião (JENSEN, 2009).

No início dos anos de 1960 ocorreu a desclassificação (militar – civil) de sensores de radar e infravermelho termal, e nessa mesma década foi lançado o primeiro satélite meteorológico do programa *Television Infrared Observation Satellite*, denominado TIROS 1, que ficou ativo por 78 dias. Posteriormente nos anos de 1972, ocorreu um fato histórico relacionado ao Sensoriamento Remoto e sua utilização para avaliar os recursos terrestres, pois foi lançado o satélite denominado ERTS-1 (*Earth Resource Technology Satellite*), renomeado para LANDSAT 1, que permitiu um monitoramento sistemático da superfície da Terra. O LANDSAT 1 foi colocado em órbita aproximadamente a 919 km da superfície da terra, e utilizava um sensor responsável por obter imagens em quatro faixas espectrais do comprimento do visível, uma no infravermelho próximo e uma no termal, de maneira simultânea, apresentando uma resolução temporal de 18 dias e espacial de 76 metros (MENESES, 2012).

O programa LANDSAT após o sucesso de seu primeiro satélite, realizou o lançamento de mais sete equipamentos (Figura 10), tendo a previsão para o lançamento do Landsat 9 para o ano de 2020 (NASA, 2016).

Devido ao grande número de imagens disponíveis por esses satélites é possível estudar a ocorrência desses eventos correlacionando em uma série histórica, ou seja, uma análise multitemporal, conceito esse desenvolvido por Colwell na década de 1960, conjuntamente com os métodos multiespectral, multidisciplinar e multiescala e que permite a realização de interpretação de imagens de satélites de forma precisa (JENSEN, 2009).

Figura 10: Linha do tempo dos satélites Landsat



Fonte: NASA (2016)

É possível observar que algumas características dos equipamentos tais como as resoluções espaciais, temporais, espectrais e radiométricas, não apresentam mudanças bruscas a partir do Landsat 5, permitindo realizar correlações entre imagens coletadas por diferentes satélites da mesma família, em diferentes intervalos de tempo.

Os modelos multitemporais configuram-se como uma técnica extremamente útil, pois permitem apresentar como alguns fenômenos variam em razão do tempo



em uma determinada área, possibilitando uma análise comparativa entre informações estáticas.

### 3.1 Conceitos físicos

Para o entendimento dos dados coletados por sensores remotos se faz necessário compreender que a energia coletada pelos sensores sofre diversas interações durante seu percurso até ser coletada e transformada em informação. Portanto, para ter dados confiáveis e que possam ser interpretados corretamente, deve-se ter conhecimento ou mesmo a rastreabilidade de todo percurso realizado pela luz até a sua chegada ao sensor.

Tomando-se como exemplo um equipamento passivo, ou seja, que realiza a coleta de dados utilizando-se a energia refletida pelos alvos dispostos sobre a superfície da terra, e se formos rastrear a origem dessa energia coletada pelos sensores, segundo Jensen (2009), teremos a seguinte sequência:

- a) a energia é radiada pelas partículas atômicas na fonte (Sol);
- b) viaja no vácuo espacial à velocidade da luz;
- c) interage com a atmosfera da Terra;
- d) interage com a superfície da Terra;
- e) interage novamente com a atmosfera terrestre;
- f) atinge o sensor e interagem com vários componentes presentes no satélite.

Antes de adentrar nos tópicos que envolvem a interações da energia durante seu percurso, se faz necessária a explanação do termo energia. Energia é definida como a capacidade de realizar trabalho, e nesse processo de trabalho a energia é transferida de um corpo para outro, podendo ser por condução, convecção ou mesmo radiação (JENSEN, 2009).

Tomando como ponto de partida o Sol, vemos que o mesmo trata-se de uma estrela de quinta grandeza, composto por uma massa gasosa com 71% de hidrogênio e 26% de hélio, apresentando um diâmetro aproximado de  $1.3914 \times 10^6$  km. A temperatura da superfície do Sol (fotosfera) tem uma média de 5.770 K, porém em seu centro a temperatura é estimada em  $4 \times 10^7$  K, responsável por provocar reações nucleares transformando hidrogênio em hélio pela fusão dos

núcleos de hidrogênio em núcleos de hélio, esse fenômeno permite a compensação da perda de massa por emissão de energia<sup>13</sup> (MOREIRA, 2001).

O Sol é a principal fonte de Radiação Eletromagnética (REM) utilizada em estudos de recursos naturais. Essa energia emitida pelo Sol percorre o espaço em diferentes “qualidades” de REM, podendo ser empregado o modelo ondulatório para descrever essas qualidades como comprimentos de onda ( $\lambda$ ) (PONZONI. JUNIOR. LAMPARELLI, 2007).

Os diferentes comprimentos de ondas emitidos pelo sol podem ser observados quando se fragmenta a luz utilizando um prisma no qual é possível observar que a luz solar é composta por diferentes comprimentos de ondas interpretadas como cores. O nosso sistema visual é sensível a um intervalo de ondas dentro do espectro eletromagnético denominado região do visível, que engloba comprimentos de onda de 0,4 até 0,72  $\mu\text{m}$  (violeta ao vermelho).

Algumas das regiões mais exploradas por sensores remotos envolvem os comprimentos do visível (0,4  $\mu\text{m}$  – 0,7  $\mu\text{m}$ ), infravermelho próximo (0,7  $\mu\text{m}$  – 1,3  $\mu\text{m}$ ), infravermelho de ondas curtas (1,5  $\mu\text{m}$  – 2,5  $\mu\text{m}$ ), infravermelho médio (3  $\mu\text{m}$  – 5  $\mu\text{m}$ ), infravermelho termal (8  $\mu\text{m}$  – 14  $\mu\text{m}$ ) e micro-ondas 1 cm – 20 cm), podendo em alguns casos a utilização de sensores responsáveis por coletar informações de raios gama e ultravioleta (BIRD, 1991).

A energia radiada pelo Sol (REM) pode ser explicada utilizando-se o modelo ondulatório ou pelo modelo de partículas. O conceito do modelo ondulatório proposto por James Clerk Maxwell descreve que a luz é composta por dois campos flutuantes, um elétrico e outro magnético seguindo um vetor ortogonal entre si e perpendiculares à direção da onda (JENSEN, 2009).

A energia total resultante da integração de todos os comprimentos de onda é chamada constante solar, que apresenta um total de 1369  $\text{W}/\text{m}^2$  e uma incerteza de aproximadamente 0.25% (HARTMANN et al. 1999).

O entendimento do conceito de modelo ondulatório dentro do Sensoriamento Remoto é geralmente empregado principalmente para grandes comprimentos de onda (micro-ondas e imagens de radar), ou seja,  $\lambda$  maiores que 3,0 centímetros, que permite a observação das interações macroscópicas da (REM), com os objetos.

---

13 A cada segundo 657 milhões de toneladas de hidrogênio transforma-se em 653 toneladas de hélio e a diferença de 4 milhões de toneladas são transformadas em radiação do tipo  $\beta$  (Fonte MOREIRA, 2001).

Essas interações macroscópicas são resultantes da intensidade no qual um objeto reflete a REM em razão do tamanho de onda (incidente) e a textura do alvo, podendo criar imagens com texturas<sup>14</sup> especulares (lisas) ou difusoras (rugosas) (MENESES, 2012).

Outra característica que deve ser salientada sobre as ondas eletromagnéticas são, que essas se propagam no vácuo a uma velocidade constante (c) a 299.292,46 Km/s, a distância entre os dois picos consecutivos das ondas é denominado comprimento de onda expresso pela letra ( $\lambda$ ), já o número de picos de ondas que passa por um ponto fixo em uma unidade de tempo caracteriza sua frequência ( $\nu$ ). Porém como a velocidade da luz é constante, as ondas com comprimentos menores possuem maior frequência do que as ondas com comprimentos maiores (MENESES, 2012). Dentro desse contexto podemos expressar a relação entre o comprimento de onda com frequência (equação 2):

$$\lambda = c / \nu \quad (2)$$

Onde:

$\lambda$  → comprimento de onda

c → velocidade da luz

$\nu$  → frequência

A fórmula anterior permite compreender que a frequência de uma determinada onda é inversamente proporcional ao comprimento de onda, portanto, quanto maior o comprimento de onda, menor será a sua frequência, e o oposto também é verdadeiro.

Todos os corpos acima de 0 Kelvin emitem algum comprimento de onda e o sol atua como fonte principal de REM. O Sol pode ser considerado como um ente teórico denominado corpo negro, o qual consegue absorver e radiar energia à maior taxa possível por uma unidade de área, em um comprimento de onda ( $\lambda$ ) e em uma temperatura (equação 3), dada pela Lei de Planck (BIRD, 1991).

---

<sup>14</sup> O critério de Rayleigh permite determinar se a superfície possui uma textura lisa ou difusora, envolvendo a altura média da superfície, o ângulo de incidência e o comprimento de onda incidente. Quando a altura média mínima da superfície for menor ou igual ao comprimento de onda incidente, a imagem é classificada como especular (lisa), porém quando a altura média da superfície for maior ou igual ao comprimento de onda incidente, a superfície é classificada como rugosa (MENSES, 2012).

$$[M \lambda = c1 / \lambda^5 [\exp(c2 / \lambda T) - 1]] \quad (3)$$

Onde:

$M \lambda \rightarrow$  Emitância espectral radiante  $Wm^{-2}\mu m^{-1}$

$c1 \rightarrow$  Constante  $3.74 \times 10^8 Wm^{-2}\mu m^{-4}$

$c2 \rightarrow$  Constante  $1.44 \times 10^4 \mu mK$

$T \rightarrow$  Temperatura absoluta

Essa equação a seguir representa, portanto, o quanto de energia é emitida por uma unidade de área de um objeto, para uma dada temperatura e para um comprimento de onda particular.

A radiação total de energia emitida por um corpo negro ( $M\lambda$ ) é proporcional à quarta potência de sua temperatura absoluta ( $T$ ) em Kelvin, podendo ser expressa pela equação (4) derivada da Lei de Stefan-Boltzmann (JENSEN, 2009):

$$M\lambda = \sigma T^4 \quad (4)$$

Onde:

$M\lambda \rightarrow$  radiação total emitida por um corpo negro

$\sigma \rightarrow$  constante de Stefan-Boltzmann  $5,6697 \times 10^8 W m^{-2}$

$T \rightarrow$  temperatura em Kelvin

Diante da equação de Stefan-Boltzmann, percebemos que quanto mais elevada a temperatura de um corpo negro, maior será a faixa do espectro eletromagnético emanada do objeto. Essa equação permite, portanto, estabelecer os comprimentos de ondas máximos e mínimos emitidos por um corpo negro.

Além do computo de energia gerada por esse ente teórico, a informação sobre sua temperatura permite informar qual o comprimento de onda predominante emitido pelo corpo negro utilizando-se a Lei de deslocamento de Wien (equação 5) (MOREIRA, 2012).

$$\lambda_{max} = k/T \quad (5)$$

Onde:

$\lambda_{\max}$  → Comprimento de onda dominante ( $\mu\text{m}$ )

K → Constante de Wien  $2.898 \cdot 10^3 \text{K}$  (comprimentos de onda em  $\mu\text{m}$ )

T → Temperatura absoluta em Kelvin

O entendimento da Lei de deslocamento de Wien permite extrair informações valiosas sobre a resposta espectral de alvos, como por exemplo, se aplicarmos a Lei de deslocamento de Wien para o planeta Terra (300 K), terá o comprimento de onda dominante da Terra que compreende o valor de 9,66  $\mu\text{m}$ , ou seja, o infravermelho termal. Dessa forma, é possível projetar sensores, ou mesmo, identificar um determinado objeto pelo entendimento que sua temperatura influenciará no comprimento de onda emitido pelo alvo.

O modelo ondulatório apesar de ser importante em análises macroscópicas, não permite explicar fenômenos importantes da interação da REM, com a matéria, mais evidentes em pequenos comprimentos de ondas, portanto, nesses casos aplica-se o modelo corpuscular. A caracterização da luz como partículas já se encontrava presente no livro *Opticks* (1704) de Issac Newton, porém Albert Einstein (1879 – 1955) descreveu que quando a luz interage com a matéria ela se comporta como um conjunto de corpúsculos individuais, denominados fótons (JENSEN, 2009).

A interação da REM com a matéria pode ser observada no nível atômico, tomando como exemplo uma situação no qual um elétron (partícula carregada negativamente) que se move ao redor de um núcleo carregado positivamente (próton) de um átomo. Esse primeiro momento a órbita realizada pelo elétron está relacionado com a interação entre as energias do próton e do elétron, porém se o elétron for excitado ele poderá mudar para uma órbita mais alta, e após cerca de  $10^{-8}$  segundos ele retorna ao nível de energia (órbita), liberando radiação (fóton). Em altas temperaturas a excitação do elétron pode ser tão elevadas que o mesmo pode ser emitido e se tornar livre de sua órbita, nesse momento o próton fica com uma carga positiva igual a do elétron que se desprende e é chamado de íon, e se outro elétron livre completar o espaço deixado, então é produzida radiação eletromagnética em todos os comprimentos de onda em um espectro contínuo, tal qual como ocorre na superfície solar (JENSEN, 2009).

O modelo corpuscular apresentado por Bird (1991) postula que a relação entre a frequência da radiação apresentada pela teoria ondulatória é o quantum, podendo ser representada pela seguinte equação (6):

$$Q = hv \quad (6)$$

Onde:

Q → Energia de um quantum medida em joules

h → Constante de Planck  $6,626 \times 10^{-34}$  J s

v → Frequência da radiação

As compreensões dos modelos ondulatório e corpuscular se apresentam imprescindíveis quando se executa trabalhos que envolvem informações adquiridas por sensores remotos. Pois em determinados momentos, existe a necessidade da utilização de um modelo específico a fim de buscar o entendimento de um evento, tal como o emprego do modelo ondulatório para análises macroscópicas, que indicam rugosidade de uma determinada área devido a superfícies difusoras, ou o modelo corpuscular para descrever como o sensor eletro-óptico, registra o número de fótons que atingem os sensores em um satélite, ou quando interagem com diferentes materiais (água, solo, cloroplastos etc).

Os entendimentos da REM emitida pelo Sol bem como os conceitos apresentados sobre o modelo ondulatório em corpuscular tiveram como objetivo a apresentação das principais bases físicas que envolvem o conceito de luz dentro do SR, portanto, diante dessa breve contextualização, podemos nesse momento entender como essa REM, interage com a atmosfera, posteriormente com o terreno, novamente com atmosfera (retorno), e com o sensor. A compreensão desses fenômenos é necessária para o correto uso e manipulação dos produtos gerados por sensoriamento remoto.

A REM emitida pelo Sol, após percorrer o vácuo e adentrar na atmosfera terrestre pode sofrer uma alteração em sua velocidade, comprimento de onda, intensidade, distribuição espectral, ou mesmo, desviada de sua direção pretérita. Os principais fenômenos que envolvem a interação da REM com a atmosfera terrestre são a refração, espalhamento, absorção e reflectância (JENSEN, 2009).

A atmosfera terrestre é um dos elementos que permitem a vida na terra, pois atua como um filtro de radiações solares nocivas aos seres vivos, tais como radiação ultravioleta e raios x. A composição da atmosfera terrestre se dá pela mistura de gases, vapor de água e aerossóis, podendo apresentar uma espessura de 1000 km e densidade que corresponde a 0,001% do total do planeta. A atmosfera terrestre

pode ser dividida em diferentes zonas, a troposfera, estratosfera, mesosfera, ionosfera e exosfera, cada qual com suas diferentes características (MOREIRA, 2012).

A interação da constante solar<sup>15</sup> ao adentrar na nossa atmosfera pode sofrer o efeito conhecido como refração, ou seja, a REM que se deslocava no vácuo ao adentrar em outro meio com diferente densidade tal como a atmosfera terrestre, provocará uma diminuição na velocidade da luz nesse meio, podendo ser calculado pelo Índice de Refração.

Outro fenômeno que ocorre com a REM na atmosfera é o espalhamento, podendo ocorrer tanto com a energia incidente quanto com a refletida pela superfície terrestre. As partículas presentes na nossa atmosfera possuem diferentes tamanhos, e a intensidade e as direções do espalhamento da REM estão ligadas com os comprimentos de ondas (incidentes e refletidos) interagem com elas (MENESES, 2012).

Segundo Tempfli et al. (2009), o espalhamento da REM na atmosfera ocorre devido a presença de partículas e gases, os principais fatores que influenciam no espalhamento são o comprimento de onda, a quantidade de partículas e gases, e a distância percorrida pela luz através da atmosfera. Existem três tipos distintos de espalhamento, sendo esses relacionados com o tamanho da partícula. O primeiro deles o Rayleigh, também conhecido como espalhamento molecular, trata-se de um fenômeno no qual o diâmetro das partículas presentes na atmosfera (geralmente poeira, NO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub>) são menores que os comprimentos de onda incidentes, na maioria das vezes ocorrem de 2 a 8 km acima da superfície terrestre. Na faixa espectral do visível, a luz azul é cerca de 5 vezes mais espalhada que a luz vermelha, responsável pelo aspecto azul do céu.

O espalhamento Mie, também denominado como não molecular ou por partículas de aerossóis, ocorrem quando o comprimento de onda e o diâmetro da partícula são aproximadamente do mesmo tamanho, esse fenômeno ocorre geralmente a 4,5 km do solo. Os principais elementos que causam esse tipo de espalhamento para luz visível são constituídos por uma mistura de gases, vapor de água e partículas de poeira (aerossol). Geralmente quando maior a quantidade

---

<sup>15</sup> Constante solar varia de 1.365 a 1.369 Wm<sup>-2</sup>, devido ao ciclo solar, ou seja, a cada 11 anos, podendo variar também em função da latitude, períodos do ano e duração dos dias (MOREIRA, 2012).

desses tipos de partículas, mais a luz violeta e azul serão removidas, sobrando apenas os comprimentos de onda do laranja e vermelho. Esse fenômeno é o responsável pela tonalidade avermelhada durante o nascer e o pôr do sol (JENSEN, 2009).

O último espalhamento, conhecido como não seletivo, geralmente ocorre quando o tamanho da partícula supera em 10 vezes o comprimento de onda incidente. Devido o tamanho da partícula esse fenômeno ocorre nas porções mais baixas da atmosfera, o exemplo mais proeminente desse fenômeno ocorre nas nuvens, no qual todos os comprimentos de onda (visível) são espalhados com mesma intensidade, fazendo com que a nuvem tenha aparência branca (MOREIRA, 2012). Esse espalhamento pode reduzir drasticamente as informações coletadas por sensores remotos, além de ser um fenômeno imprevisível em determinados momentos.

Os diferentes tipos de espalhamento permitem a compreensão de como a REM, interage com a atmosfera terrestre, porém além do fenômeno do espalhamento a nossa atmosfera pode absorver determinados comprimentos de onda. A absorção ocorre devido a dois processos, dissociação e fotoionização na alta atmosfera, e vibração e transição rotacional das moléculas. A dissociação e fotoionização são responsáveis pela absorção da radiação dos comprimentos de onda dos raios X e ultravioleta, causados por ozônio ( $O_3$ ) e oxigênio ( $O_2$ ). Já os efeitos de vibração e transição rotacional são causados por vapor de água, dióxido de carbono  $CO_2$  e óxido nitroso  $N_2O$ , responsáveis pela absorção dos comprimentos de onda do infravermelho e micro-ondas (MOREIRA, 2012).

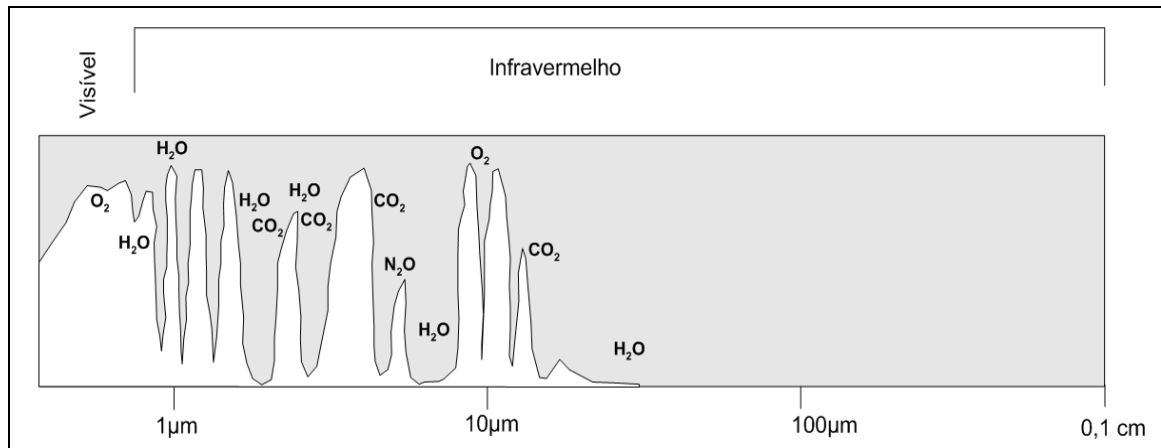
O efeito acumulativo provocado por elementos como  $O_2$ ,  $H_2O$  entre outros, podem fazer com que a atmosfera se “feche” para determinados comprimentos de onda, tornando-se impossível de ser coletadas por sensores remotos, porém alguns comprimentos de onda não são afetados por esse fenômeno (Figura 11), tais como os comprimentos de luz do visível que são transmitidos pela atmosfera terrestre de forma eficiente (JENSEN, 2009).

Além da transmissão ou absorção da REM, pode ocorrer no percurso da REM o fenômeno de reflectância, ou seja, a REM pode atingir uma determinada superfície e essa refletirá parte da energia incidente, podendo ocorrer a reflexão do tipo especular (superfícies lisas) o reflexão difusa (superfícies rugosas) (JENSEN, 2009). Essa energia refletida pelo alvo poderá ser captada pelos sensores do satélite,



porém antes a REM estará novamente sujeita a todas as interações com atmosfera conforme explanado anteriormente.

Figura 11: Transmitância (T) da REM através da atmosfera



Fonte: Adaptado de Meneses (2012).

Findando as explicações das interações da REM com a atmosfera observase, portanto, que parte da REM emitida pelo Sol sofre diversos efeitos de atenuações durante o seu percurso até atingir a superfície terrestre e seu retorno até ser captada pelo sensor. Os conhecimentos desses fenômenos permitem a compreensão da descontinuidade dos intervalos espectrais coletados pelos sensores (diferentes bandas), bem como o entendimento que existem alguns comprimentos de onda que estão mais ou menos sujeitos a interações com a atmosfera.

Parte do fluxo de energia radiante<sup>16</sup> ( $\Phi$ ) pode vir interagir com cada alvo na superfície da Terra de maneira diferente, devido a suas características físico-químicas, sendo essa a base dos principais estudos em SR, pois segundo Moreira (2012) o fluxo de energia incidente em um determinado comprimento de onda ( $\Phi_{i\lambda}$ ) pode ser refletido ( $\Phi_{refletido\lambda}$ ), absorvido ( $\Phi_{absorvido\lambda}$ ) ou transmitido ( $\Phi_{transmitido\lambda}$ ), proporcionando a estruturar uma equação do balanço de radiação (Equação 7), também conhecido como princípio da conservação de energia.

$$\Phi_{i\lambda} = \Phi_{refletido\lambda} + \Phi_{absorvido\lambda} + \Phi_{transmitido\lambda} \quad (7)$$

<sup>16</sup> Fluxo radiante é dado pela taxa temporal de energia que chega a, para fora de, ou através de uma superfície, medida em watts (JENSEN, 2009).

Onde:

$\Phi_{i\lambda}$  → Fluxo de energia radiante incidente

$\Phi_{\text{refletido}\lambda}$  → Fluxo de energia refletido

$\Phi_{\text{absorvido}\lambda}$  → Fluxo de energia absorvido

$\Phi_{\text{transmitido}\lambda}$  → Fluxo de energia transmitido

Os conceitos de reflectância hemisférica ( $\rho$ ), transmitância hemisférica ( $t$ ) e absorptância hemisférica ( $\alpha$ ), são conhecimentos úteis para entender as características de reflectância de alvos, pois, apesar dos sensores não conseguirem medir a transmissão ou absorção da energia, os mesmos registram a energia refletida pelo objeto, possibilitando sua identificação. Segundo Jensen (2009) esses conceitos são dados em unidades adimensionais, que levam em consideração a energia incidente dividida pela energia refletida (reflectância) dado por  $\rho_{\lambda} = \Phi_{\text{refletido}\lambda} / \Phi_{i\lambda}$ , ou fluxo radiante incidente dividido pelo fluxo transmitido (transmitância) ( $t_{\lambda} = \Phi_{\text{transmitido}\lambda} / \Phi_{i\lambda}$ ), ou fluxo incidente dividido pelo absorvido (absortância) ( $\alpha_{\lambda} = \Phi_{\text{absorvido}\lambda} / \Phi_{i\lambda}$ ). Alguns estudos em SR realizam uma ligeira alteração na fórmula (8) da reflectância visando trabalhar com porcentagem de energia refletida em determinados comprimentos de onda.

$$\rho_{\lambda\%} = (\Phi_{\text{refletido}\lambda} / \Phi_{i\lambda}) \times 100 \quad (8)$$

Onde:

$\rho_{\lambda\%}$  → Reflectância hemisférica

$\Phi_{\text{refletido}\lambda}$  → Fluxo de energia refletido

$\Phi_{i\lambda}$  → Fluxo de energia incidente

Para Meneses (2012), os sensores a bordo de satélites não realizam a medição da irradiância<sup>17</sup> solar, esse fato permite concluir que os dados registrados

---

<sup>17</sup> Irradiância solar ( $E_{\lambda}$ ) Quantidade de fluxo radiante sobre uma superfície por unidade de área. Dado por watts por metro quadrado  $W m^{-2}$  (JENSEN, 2009).

tratam-se de valores de radiância<sup>18</sup> e não reflectância. Porém é possível estimar a reflectância de um determinado alvo utilizando-se dados sobre a irradiância solar no topo da atmosfera, transmitância atmosférica, ângulo zenital solar e a contribuição da irradiância solar difusa.

Após essa energia interagir com as diferentes superfícies dispostas na superfície terrestre, a energia refletida terá que passar novamente por toda a atmosfera terrestre, sujeita novamente aos fenômenos descritos anteriormente, porém a energia que consegue atravessar a atmosfera poderá ser coletada por um sensor remoto. Os sensores a bordo dos satélites são semicondutores responsáveis por coletar os fótons, gerando uma pequena corrente elétrica que será registrada, dessa maneira, os sensores a bordo de um satélite trabalham como contadores de fótons, e quanto mais fótons atingem o sensor, maior será a voltagem gerada (MOOTZ; MATHEWS, 2010).

Portanto, quanto maior for a quantidade de energia radiada de uma superfície, maior será o valor do *pixel* na imagem, relacionado diretamente com a resolução radiométrica do equipamento.

As apresentações dos conceitos físicos explanados anteriormente permitem a compreensão de como a REM está sujeita a diversas interações durante o seu percurso até serem registrados por sensores, esses conhecimentos se configuram como a base do sensoriamento remoto e dessa maneira permite a manipulação e correta interpretação de produtos gerados por sensores remotos, além de possibilitarem a compreensão dos elementos básicos que propiciam o entendimento dos dados no infravermelho termal.

### **3.2 Sensoriamento remoto no infravermelho termal**

Os primeiros estudos relacionados ao infravermelho termal remontam ao século 18 tendo como expoente o astrônomo Sir Frederick William Herschel, responsável por descobrir e descrever a radiação correspondente ao infravermelho termal em seu artigo intitulado *Investigations of the Powers of the Prismatic Colours to Heat and Illuminate Objects: with Remarks*. O trabalho de Herschel constituía em criar um espectro eletromagnético utilizando um prisma e medir a temperatura de

---

<sup>18</sup> Radiância ( $L_\lambda$ ) trata-se da intensidade radiante por uma unidade de área-fonte projetada em uma direção específica, medida em watts metro quadrado esterradiano,  $W m^{-2} sr^{-1}$  (MENESES, 2012).

cada cor no qual ele percebeu que havia um acréscimo de temperatura quando se aproximava do comprimento de luz do vermelho, porém ao final no espectro do visível esperava-se que a temperatura iria diminuir, contudo, a temperatura continuou a subir, levando ao pesquisador nomear essa parte do espectro como infravermelho, ou seja, abaixo do vermelho (JENSEN, 2009).

Tradicionalmente os estudos sobre ilhas de calor eram realizados utilizando-se medições terrestres com termômetros como a técnica de transecto móvel (VOOGT e OKE, 2003). Porém, o desenvolvimento de sensores, tais como o infravermelho termal, bem como plataformas suborbitárias e orbitais, foram possíveis avanços de novas técnicas para coleta de dados (TANG e LI, 2014).

Para Gartland (2010), primeiro estudo que proporcionou a visualização das temperaturas das superfícies em um ambiente urbano, foi realizada em 1978 na cidade de Buffalo, Nova York. A imagem fruto do satélite *Explorer Mission 1* demonstrou que as temperaturas mais elevadas estavam localizadas em quarteirões das cidades e em contraponto os parques e áreas suburbanas, apresentavam temperaturas mais amenas.

De maneira geral os estudos de temperatura superfície terrestre em sua perspectiva ampla, apresentam um potencial de aplicação maior do que apenas identificação de ilhas de calor em cidades (KUENZER e DECH, 2013).

Weng e Quattrochi (2003) demonstraram que o Sensoriamento Remoto é uma das ferramentas importantes e conhecidas atualmente para o estudo do fenômeno das ilhas de calor, pois além de oferecer visões em diferentes escalas, permite a extração de temperatura aparente da superfície, que podem possibilitar a execução de medidas pontuais para a minimização desse fenômeno e que, por conseguinte podem amenizar a ocorrências das ilhas de calor atmosféricas.

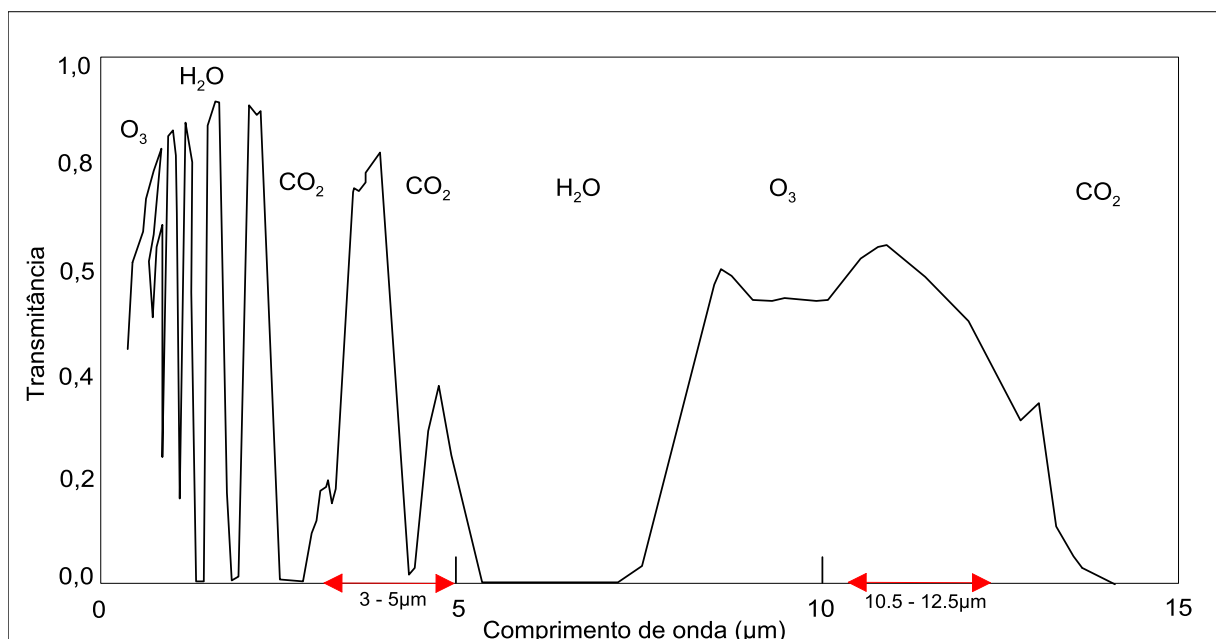
Estudos como os de Quattrochi e Ridd (1994), Weng e Quattrochi (2003), Voogt e Oke (2003), Weng (2009) sobre clima urbano utilizaram técnicas de sensoriamento remoto. Essas técnicas possibilitam a extração e identificação de informações contidas nas imagens de satélites – que podem ser adquiridas por meio de sensores orbitais, ou por equipamentos aerotransportados e quando tratadas por meio de programas especializados em análise e manipulação de imagens.

O monitoramento das temperaturas das superfícies é de importância substancial nos estudos de ilhas de calor urbana, porém o comportamento da temperatura de um objeto não pode ser caracterizado apenas dentro do ciclo de 24

horas, pois diferentes estações do ano também podem influenciar nas variações de temperaturas. Existe uma abundância de estudos utilizando imagens termais para investigação de ilhas de calor urbana (SCWHARZ e MANCEUR, 2015; STREUTKER, 2003; TIANGCO et al, 2008), porém algumas dessas pesquisas utilizam um número pequeno de imagens, não sendo possível uma identificação das variações de temperatura na cidade no decorrer dos anos, para tanto se faz necessário o emprego de séries temporais de grande prazo (KUENZER e DECH, 2013).

Segundo Sabins (1996), o infravermelho termal compreende um alcance que parte dos 3 até 14  $\mu\text{m}$ , porém dentro desse intervalo espectral, o mapeamento das temperaturas da superfície terrestre é geralmente realizado nas janelas atmosférica que envolve os valores de 3 a 4  $\mu\text{m}$  ou de 8 a 14  $\mu\text{m}$ , sendo esse submetido interferências por Ozônio (Figura 12).

Figura 12: Comprimento de onda do infravermelho termal e transmitância atmosférica



Fonte: Kuenzer e Dech (2013)

A REM pode ser entendida como uma onda que carrega partículas de energia denominada fótons, essas partículas como são absorvidas por um material aumentam a sua condição energética, excitando seus elétrons, porém objeto pode não ficar em estado de excitação permanente, dessa forma é necessário que o

mesmo emita os fótons absorvidos (BAPTISTA, 2012). Esse fato explica parte do funcionamento o mecanismo que envolve o comprimento de onda no infravermelho termal.

As Leis físicas que envolvem a radiação termal podem ser observadas nas descrições feitas anteriormente que envolveram as seguintes:

- a) Lei de Planck: que demonstra o quanto de energia será emitida por uma unidade de área de um objeto para uma temperatura e para um comprimento de onda.
- b) Lei de Stefan-Boltzmann: responsável por descrever que a radiação emitida por um corpo negro é proporcional à quarta potência de sua temperatura.
- c) Lei do descolamento de Wien<sup>19</sup>: responsável por demonstrar qual o comprimento de onda predominante emitido pelo corpo negro utilizando-se a informação de sua temperatura.

Porém a Lei de Kirchoff permite a compreensão de parte dos mecanismos inerentes ao comprimento de onda do infravermelho termal, demonstrando que materiais que apresentam uma boa absorção são bons refletores, porém os elementos que apresentam uma boa reflexão são maus emissores de energia, tal como a água que absorve quase que toda energia e reflete em pouco, portanto tem uma alta emissividade (aproximadamente 1). Diferentemente da água os materiais metálicos que refletem grande parte da energia incidente, apresentando baixa emissividade<sup>20</sup> (valores menores que 1) (JENSEN, 2009). Dessa forma a Lei de Kirchoff prevê que a emitância ( $\epsilon$ ) de um comprimento de onda é igual a absortância ( $\alpha$ ) do mesmo comprimento de onda (Fórmula 9):

$$\epsilon_{(\lambda)} = \alpha_{(\lambda)} \quad (9)$$

Onde:

$\epsilon_{(\lambda)}$  → Emissividade para um determinado comprimento de onda

<sup>19</sup> A compreensão da Lei do Deslocamento de Wien permite a escolha de um comprimento de onda para a observação de um fenômeno, tal como queimadas a 800 K deve-se utilizar sensores que colem comprimentos de onda de 3,2  $\mu\text{m}$ , porém para coletar informações sobre alvos como solo e água a temperatura ambiente do planeta Terra teremos que usar sensores que colem informações nos intervalos de 8 - 14  $\mu\text{m}$  (JENSEN, 2009).

<sup>20</sup> Essa característica dos metais explica os baixos valores de temperatura encontrados em telhados metálicos.

$\alpha_{(\lambda)}$  → Absortância para um determinado comprimento de onda

Diferentemente do modelo conceitual do corpo negro os alvos no mundo real radiam seletivamente energia, portanto sua emissividade ( $\epsilon$ ) pode ser descrita utilizando-se a razão entre a radiância real emitida pelo alvo no mundo real ( $M_r$ ) pela radiância de um corpo negro de mesma temperatura termodinâmica (cinética) ( $M_b$ ) (JACOB et al., 2004), sendo expressa pela Fórmula 10:

$$\epsilon = M_r / M_b \quad (10)$$

Onde:

$\epsilon$  → Emissividade

$M_r$  → Radiância real emitida pelo um material no mundo real

$M_b$  → Radiância de um corpo negro de mesma temperatura cinética

Diante disso (fórmula 4) tem-se que todos os corpos que radiam de maneira seletiva possuem emissividade variando de 0 a 1, já o corpo cinza possui emissividade constante menor que um para todos os comprimentos de onda (BIRD, 1991).

Seguindo o princípio da conservação da energia apresentado anteriormente ( $\Phi_{i\lambda} = \Phi_{\rho\lambda} + \Phi_{\alpha\lambda} + \Phi_{t\lambda}$ ) e dividindo cada uma de suas variáveis pelo fluxo radiante incidente ( $\Phi_{i\lambda}$ ) teremos a Fórmula 11:

$$\frac{(\Phi_{i\lambda})}{(\Phi_{i\lambda})} = \frac{\Phi_{\rho\lambda}}{(\Phi_{i\lambda})} + \frac{\Phi_{\alpha\lambda}}{(\Phi_{i\lambda})} + \frac{\Phi_{t\lambda}}{(\Phi_{i\lambda})} \quad (11)$$

Onde:

$\Phi_{i\lambda}$  → Fluxo de energia radiante incidente

$\Phi_{\rho\lambda}$  → Fluxo de energia refletido

$\Phi_{\alpha\lambda}$  → Fluxo de energia absorvido

$\Phi_{t\lambda}$  → Fluxo de energia transmitido

Essa fórmula pode ser reescrita como (Fórmula 12):

$$1 = \rho_{\lambda} + \alpha_{\lambda} + t_{\lambda} \quad (12)$$

Onde:

$\rho_{\lambda}$  → Reflectância de um dado comprimento de onda

$\alpha_{\lambda}$  → Absotância de um dado comprimento de onda

$t_{\lambda}$  → Transmitância de um dado comprimento de onda

Porém, como a maioria dos materiais dispostos sobre a superfície da terra são opacos a radiação infravermelha distante (termal), isso significa que apenas uma pequena parte do fluxo radiante emerge do outro lado do objeto no terreno, portanto, é possível assumir que o valor de transmitância ( $t_{\lambda}$ ) é zero. Diante dessa informação e levando em consideração que existe a correlação entre a energia absorvida e emitida por um alvo, podemos reescrever essa equação (13) eliminando os valores de transmitância e substituir o valor de absorção pela emissividade (Fórmula 13) (VAUGHN et al., 2002).

$$1 = \rho_{\lambda} + \varepsilon_{\lambda} \quad (13)$$

Onde:

$\rho_{\lambda}$  → Reflectância de um dado comprimento de onda

$\varepsilon_{\lambda}$  → Absotância de um dado comprimento de onda

A fórmula 13 permite expressar que em teoria a energia emanada de um alvo só pode ser explicada pela relação de sua reflectância e emissividade, portanto quanto maior a reflectância do objeto, menor será sua emissividade, sendo o inverso também verdadeiro.

Os sensores dispostos nos satélites tem a capacidade de obter informações sobre a temperatura aparente dos objetos, conhecido também como temperatura radiante ( $T_{rad}$ ), ou seja, o fluxo radiante de energia ( $\Phi$ ) emitida por uma área. Porém



a temperatura verdadeira também conhecida como temperatura cinética verdadeira<sup>21</sup> ( $T_{Kin}$ ), pode apresentar valores mais elevados que a temperatura radiante ( $T_{rad}$ ), devido a emissividade do material (SCHMUGGE et al, 2002).

Segundo Sabins (1996) a temperatura aparente de um alvo registrada por um sensor remoto possui relação com a temperatura cinética e emissividade do objeto analisado, podendo ser descrita como (Fórmula 14):

$$T_{Rad} = \varepsilon^{1/4} T_{Kin} \quad (14)$$

Onde:

$T_{Rad}$  → Temperatura radiante

$\varepsilon$  → Emissividade

$T_{Kin}$  → Temperatura cinética

Diante dessa informação é possível verificar que a temperatura radiante de um alvo pode ser subestimada se não for levada em consideração a emissividade do material.

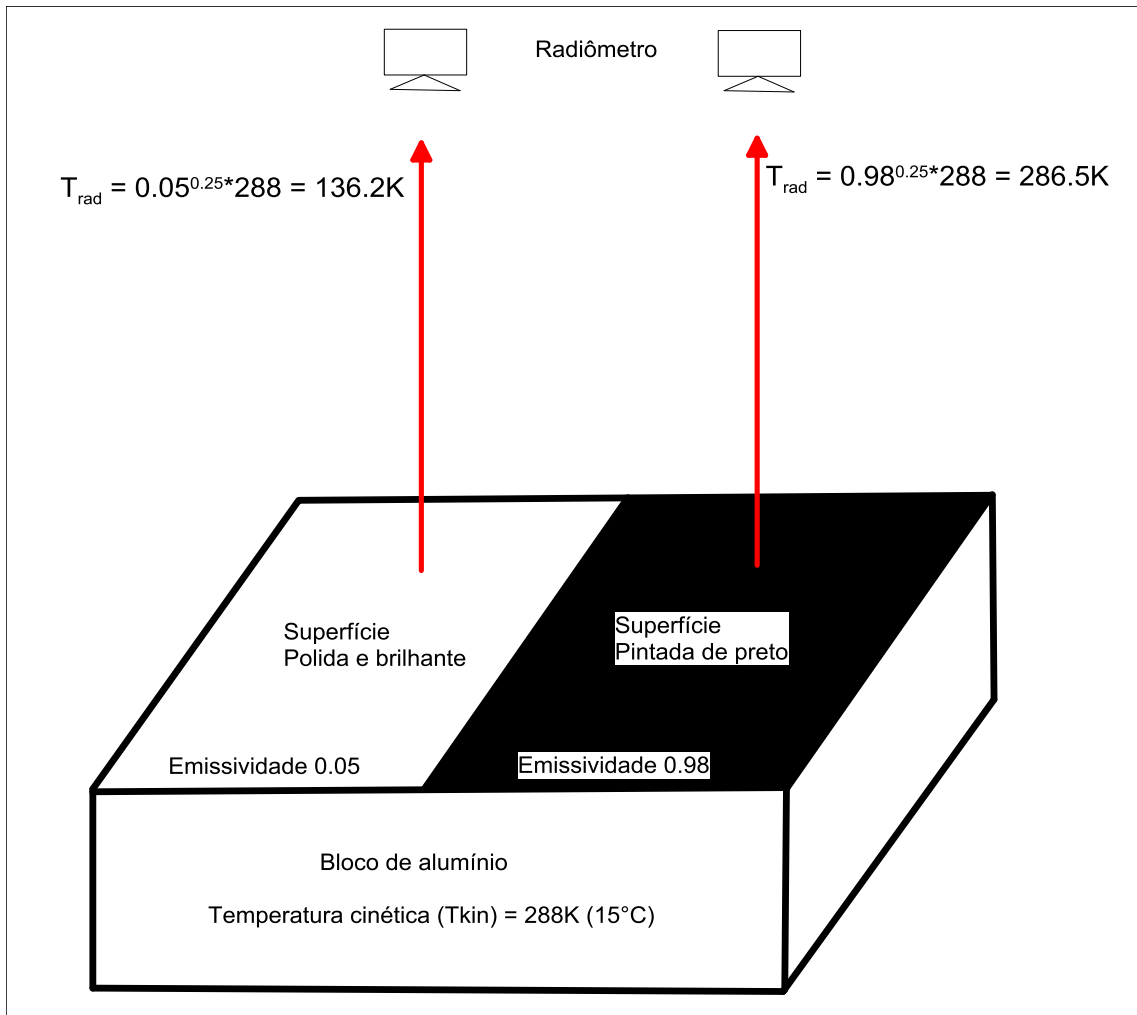
Os objetos que apresentam emissividade abaixo do valor 1 a temperatura radiante ( $T_{rad}$ ) será sempre menor que a temperatura real ( $T_{kin}$ ), esse fato é de fundamental importância em estudos de imagens termais, pois objetos com a mesma temperatura cinética podem apresentar temperaturas radiantes diferentes, tais como materiais como cobre, alumínio e estanho que apresentam emissividade extremamente baixas, vão aparecer na imagem termal com temperaturas baixas, mesmo estando quentes. Por outro lado, materiais com emissividades próximas a 1 permitem uma avaliação mais exata de sua temperatura cinética.

Segundo Kuenzer e Dech (2013), a emissividade de um material pode influenciar significativamente nas estimativas dos valores de suas temperaturas radiantes. Tomando como exemplo, um bloco de alumínio com temperatura real de 288 K, e que apresenta uma face polida e outra pintada de preto, apesar da temperatura cinética do material ser a mesma nas duas faces, os valores das temperaturas radiantes estimadas, serão diferentes, sendo que a área escura apresentará uma menor emissividade, e uma melhor correlação com a temperatura real do objeto (Figura 13).

---

<sup>21</sup> Temperatura cinética é conhecida também como calor verdadeiro é resultante da movimentação de partículas da matéria que apresentam movimentos aleatórios. Todos os objetos que possuem temperatura acima de 0 K possuem calor cinético, podendo ser aferido por um termômetro.

Figura 13: Diferenças entre a temperatura radiante estimada devido valores de emissividade díspares



Fonte: Kuenzer e Dech (2013) – (Traduzido)

O entendimento dos fundamentos inerentes à radiação no infravermelho termal permite compreender a base científica dos dados coletados pelos sensores remotos, bem como, a limitação dessa técnica, principalmente no que se diz respeito a temperatura real e temperatura aparente. Portanto deve-se ter ciência que os valores obtidos utilizando-se dados de sensores remotos podem ser subestimados quando não levada em consideração a emissividade dos materiais que compõe a área estudada.

Diversos estudos sobre microclima urbano utilizam-se de imagens termais para realizar análises de como se dão temperaturas em diferentes locais das cidades, principalmente em diferentes anos.

Os estudos realizados tanto no Brasil e no exterior, como os de Vgoot e Oke (2003) e Weng (2009), indicam que as imagens de satélite são uma importante ferramenta para estudos microclimáticos, mesmo utilizando produtos com resoluções espaciais médias, como é o caso das imagens Landsat.

Observa-se que a aplicabilidade das imagens termais para a observação das variações de temperaturas das superfícies que compõe o espaço urbano, permite o levantamento de informações precisas de quais elementos que estão relacionados com a formação das IC.

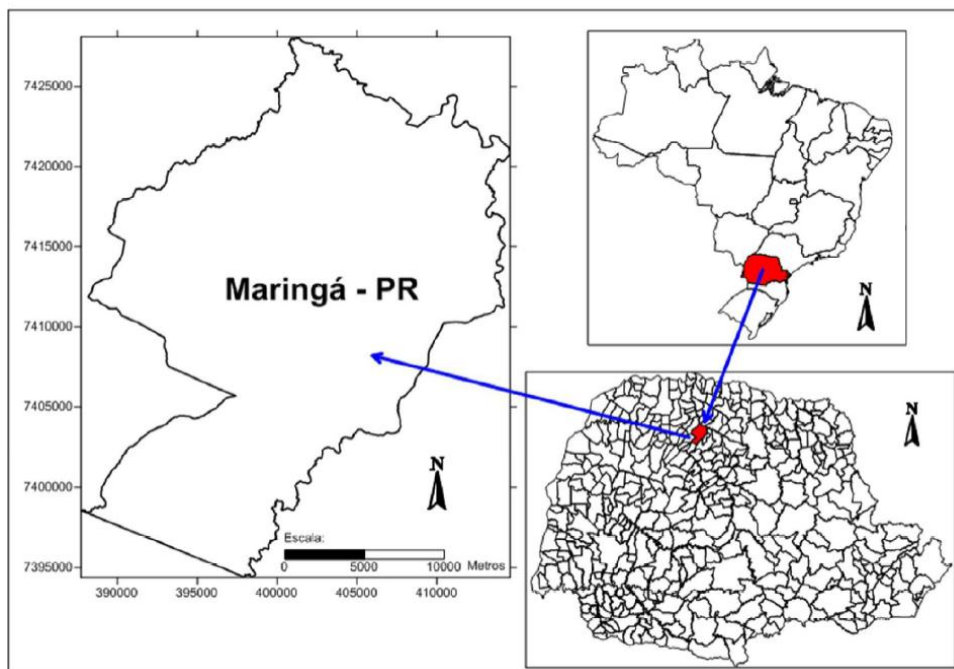
## 4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

### 4.1 A cidade de Maringá - PR

O município de Maringá está localizado na Região Sul do Brasil, na região denominada Norte Central Paranaense (Figura 16), e situa-se aproximadamente 430 Km da capital do Estado, Curitiba. A área total municipal é de 487,0,52 Km<sup>2</sup>, apresentando uma população estimada em 403.063 habitantes IBGE (2016).

O município é o polo de uma região metropolitana que engloba 25 municípios e faz fronteira com as cidades de Sarandi, Marialva, Floresta, Mandaguaçu Ângulo, Astorga e Paiçandu.

Figura 16: Localização de Maringá - PR



Fonte: Paulo J. M. M. e T. Germano (2016)

No que se refere a contextualização histórica tomou-se como ponto de partida a colonização do norte do Estado Paraná, realizada por uma companhia privada e que propiciou a formação da cidade de Maringá. Dessa forma será tomado como ponto de partida o período do início da colonização e posteriormente a escala de análise será direcionada para a cidade de Maringá, que englobara elementos que

envolvem parte de sua história, desenho urbano, além da base biológica e física e da área.

Mesmo tendo estabelecido como ponto de partida a colonização recente da região norte do Paraná, ou seja, a realizada pela Companhia Terras Norte do Paraná, deve-se ter ciência quanto a evidências arqueológicas que demonstram a existência de diferentes grupos populacionais que remontam 7 mil anos (NOELLI e MOTA, 1999).

No entanto, como a presente parte da pesquisa versa sobre a estruturação da cidade de Maringá, que necessita de uma contextualização de seu processo de urbanização. No Estado do Paraná, mais exatamente em sua região norte entre os anos de 1930 até 1960 ocorreu uma urbanização resultante de uma ação comercial privada, utilizando um plano urbanístico e econômico estratégico, que possibilitou a criação de mais de 70 cidades (MENEGUETTI, 2009).

As cidades projetadas pela *Paraná Plantations Company* apresentavam uma lógica que levavam em consideração a criação de núcleos econômicos com um distanciamento de cem em cem quilômetros, e entre esses, foram fundados em espaçamentos de 10 a 15 quilômetros alguns patrimônios, centros comerciais e abastecedores intermediários. As cidades e os patrimônios foram concebidos utilizando-se de um projeto que previa uma separação dos lotes residenciais e comerciais, nos quais ao redor da área urbana fora pensado um cinturão verde que teria como função a implantação de chácaras para produção de alimentos para o consumo local (CMNP, 2013).

A maioria dos projetos dessas cidades foi concebida pela empresa *Paraná Plantations Company* e sua subsidiária Companhia de Terras Norte do Paraná, que comprara do governo do Estado do Paraná 515.000 alqueires de terra, que permitiu a formação do Norte Novo e expansão do plantio de café. Porém, em 1939 quando deflagrada a Segunda Guerra Mundial, a Companhia de Terras realizou a venda de seus investimentos para um grupo de brasileiros, a Companhia Melhoramentos do Norte do Paraná (CMNP) (GARCIA, 2006).

A forma de ocupação organizada do Norte do Estado do Paraná, mais exatamente o Norte Novo, utilizou-se de estratégias que visaram à ocupação da área tais como: o loteamento de pequenas propriedades visando um menor custo das terras, estudos de elementos naturais para balizamento das atividades, implantação de redes de cidades estruturadas por núcleos urbanos, conectados por

rodovias e ferrovias, além da venda de lotes rurais e urbanos visando o desenvolvimento das cidades<sup>22</sup> (ENDLICH, 1999).

Mesmo a colonização ter sido realizada por uma companhia inglesa, observa-se uma influência cultural discreta, no qual a empresa *Parana Plantation* era pouco conhecida para os colonos, sendo a Companhia de Terras Norte Paraná a responsável pela realização de todas as atividades (REGO, 2009).

Segundo Rego (2009), do zelo com seus territórios, a companhia inglesa apenas se manifestava no Paraná através das suas filiais, que agiam sem símbolos ou alegorias que remetiam aos seus proprietários britânicos.

Para Endlich (1999), o papel hegemônico da CMNP o mesmo não pode ser considerado único elemento responsável pela construção histórica e geográfica do local, pois se trata de uma produção sociocultural, a qual foi necessária a adesão dos pequenos proprietários de terras e trabalhadores rurais.

Para Le Corbusier (1993) uma parte da história pode ser vista nos traçados e nos edifícios presentes na cidade, tornando-os um elemento de ligação entre os textos e documentos gráficos, possuindo a capacidade de representar imagens de um tempo passado. Portanto optou-se por realizar uma análise balizada na história e no projeto urbano da cidade de Maringá.

Segundo Rego (2001), é possível notar a influência profissional de Patrick Unwin nos projetos de Vieira, pois quando se analisa a cidade Maringá é possível visualizar no desenho urbano soluções do tipo *Garden City*, que envolvem aspectos formais como:

- a) O meio natural suporte (relevo, cursos d'água e a ferrovia).
- b) O traçado da malha urbana, variando entre o regular e irregular, no qual é possível criar individualidades no desenho urbano "irregularidades artisticamente organizadas".
- c) Eixos estruturadores: Organização das vias principais e seu funcionamento.
- d) Hierarquização e qualificação dos espaços públicos urbanos (praças e edifícios circundantes dando a sensação de fechamento).
- e) Ocupação urbana (Bairros e centros secundários).
- f) Arborização e ajardinamento.

---

<sup>22</sup> No caso do município de Sertãoópolis parte da transação da compra do imóvel rural o comprador adquiria um imóvel urbano (Endlich, 1999).

Os principais elementos que propiciaram o desenvolvimento de Maringá foram: a localização e a disponibilidade de uma rede rodoviária articulada, a capacidade dinâmica relacionada a agricultura e agroindústria e, pôr fim, a estrutura planejada da rede urbana que a classificava como capital regional na hierarquia estruturada na época dos planos de colonização. Dessa maneira, a concepção da cidade de Maringá já contemplava sua consolidação como capital regional, crescimento urbano e demográfico, além da ampliação do papel urbano (ENDLICH, 1999).

Para Cordovil (2012), o projeto de Vieira apresentava uma segregação sócio espacial, ou seja, foram predefinidos diferentes espaços segundo as características econômicas dos consumidores, nos quais foram denominadas zonas residenciais principais, populares e operárias.

Assim, a produção do espaço urbano de Maringá e região legou intensa segregação sócio espacial, pois predominou desde os primeiros momentos de seu desenvolvimento o atendimento aos interesses do capital imobiliário que, ao segmentar as áreas a serem comercializadas segundo as especificidades socioeconômicas dos adquirentes, fomentou uma ocupação residencial claramente segregada e segregadora (CORDOVIL, 2012).

Os frutos desse planejamento no qual vislumbrava Maringá como uma capital regional pode ser comprovados quando se observa as taxas de urbanização em um recorte histórico que envolve os períodos de 1950 a 2000. O município de Maringá em sua situação pretérita (1950), ou seja, após sua emancipação de Mandaguari, apresentava uma população predominantemente rural (81,2%) de um total de 38.588 habitantes, porém nos anos seguintes é possível observar uma queda abrupta da população rural e um aumento vertiginoso da taxa de urbanização (Tabela 1).

Com base nesses valores verifica-se que Maringá apresentou uma inversão nos quantitativos da população rural e urbana nos anos de 1970, acompanhando a tendência brasileira. Outro aspecto importante é que a população da cidade em 1950 era de 38.588 pessoas e em 2016 estima-se 403.063, ou seja, em 66 anos a cidade teve um acréscimo de 364.475 habitantes e uma taxa de urbanização de 98,2% (IPARDES, 2010). Diante disso, verifica-se que a cidade de Maringá apresenta um fluxo crescente de sua população urbana, que gera a necessidade de estudos que visem um uso racional do espaço urbano.

Tabela 1: Censos demográficos de Maringá com divisão da população rural e urbana

<b>Ano</b>	<b>População rural</b>	<b>%</b>	<b>População urbana</b>	<b>%</b>	<b>População total</b>
1950	31.318	81,2	7.270	18,8	38.588
1960	56.539	54,3	47.592	45,7	104.131
1970	21.476	17,7	99.898	82,3	121.374
1980	7.580	4,5	160.652	95,5	168.232
1990	6.213	2,6	234.079	97,4	240.292
2000	4.675	1,6	283.978	98,4	288.653
2010	6.424	1,8	350.653	98,2	357.077

Fonte: IBGE, (2010)

Com relação a implantação do projeto da cidade de Maringá observa-se que nos anos de 1950 a cidade não apresentava o projeto de Vieira completamente implantado, porém já surgiam 12 loteamentos periféricos contando com 7.270 habitantes na área urbana e 31.318 na área rural (MARINGÁ, 1997).

Para Meneguetti (2009), a profusão de modelos sem o cuidado com a interação com a cidade necessitou em situações futuras a intervenção do poder público visando o alargamento de vias e desapropriações, além disso, cabe enfatizar que estas situações aumentaram a segregação social e provocaram a falta de instalações de infraestruturas.

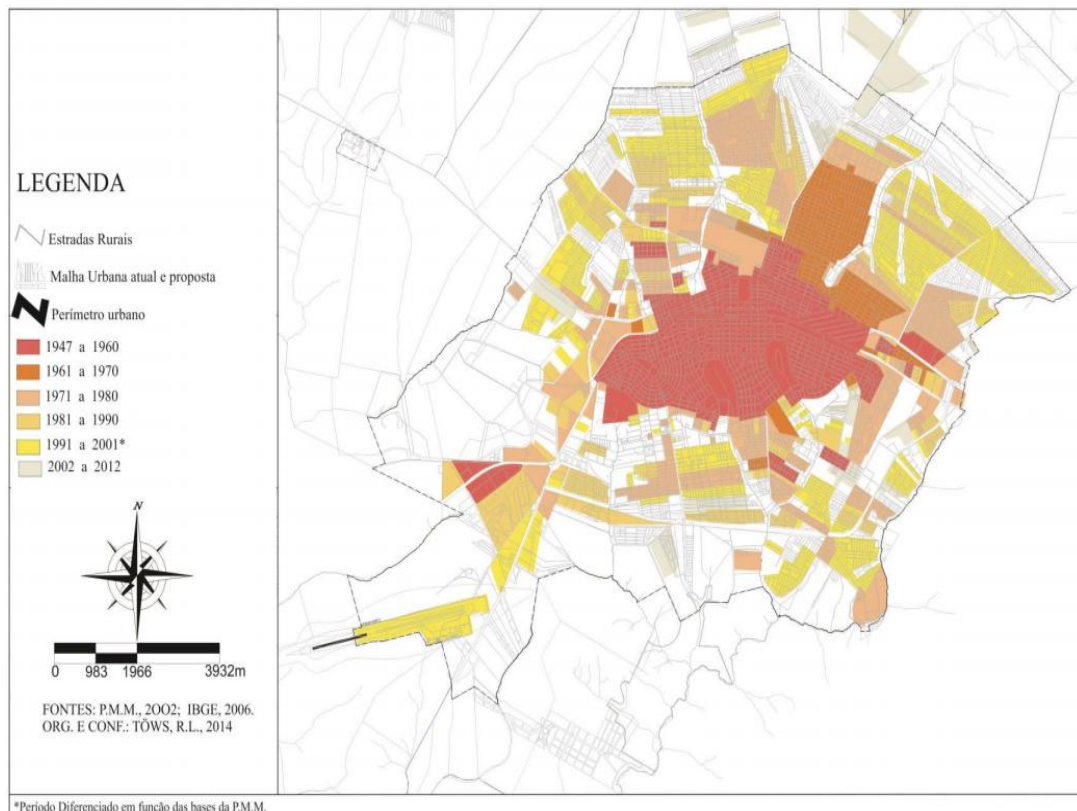
Devido ao crescimento populacional a área urbana do município foi expandida, propiciando a formação de novos bairros e que não faziam parte do projeto de Vieira (Figura 17), como já observado por Töws (2015).

Esses bairros que surgiram nas adjacências do projeto inicial da cidade não apresentam o mesmo rigor em sua concepção quando comparado com projeto de Vieira. Segundo Meneguetti (2009), desde a década de 1950, devido às divergências e os conflitos de interesses da companhia e o Poder Público local surgiram inúmeros conflitos que possibilitaram o desprestígio do projeto elaborado por Vieira, no qual foi criado as vilas Bosque e Marumby, o Jardim Alamar e Nilza (industrial), além do Distrito de Iguatemi. Dessa maneira a mancha do perímetro urbano perde sua característica concentrada, criando, portanto, espaços urbanos descontínuos.



A criação de bairros que não apresentaram continuidade com o tecido urbano possibilitou a formação de porções de terras não edificadas dentro do espaço urbano, denominadas “vazios urbanos”. Esses locais geralmente se caracterizam como uma estratégia de imobilização de capital, ou mesmo tendo em vista sua valorização futura, após a passagem de infraestruturas urbanas necessárias para atender os bairros distantes.

Figura 17: Análise multitemporal da criação dos bairros em Maringá



Fonte: Töws (2015)

Atualmente Maringá faz parte dos maiores arranjos populacionais<sup>23</sup> do Estado, conjuntamente com Curitiba e Londrina, além disso, as perspectivas futuras estimam uma população do município para os anos de 2030 de 501.252 habitantes (IPARDES, 2016).

As perspectivas futuras indicam um crescimento tanto populacional além de um aumento no número da população urbana para os próximos 14 anos, passando

<sup>23</sup> “Arranjo populacional é um agrupamento de dois ou mais municípios onde há uma forte integração populacional devido a movimentos pendulares de trabalho ou estudo, ou devido à contiguidade entre manchas urbanizadas principais” (IBGE, 2014).

de meio milhão de habitantes, exigindo dessa maneira estudos relativos à sustentabilidade urbana.

#### **4.2 Caracterização da vegetação de Maringá**

O Estado do Paraná é contemplado em 80% de sua área pelo bioma Mata Atlântica, apresentando ecossistemas florestais como a Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Mista e Floresta Estacional Semidecidual e formações não florestais como Estepes e Savanas (RODERJAN, et al., 2002).

A Floresta Estacional Semidecidual (FES), foi um ecossistema florestal rapidamente devastada no Estado do Paraná, devido à expansão da fronteira agrícola estabelecida em meados de 1920, devido a características de fertilidade do solo.

Do ponto de vista biológico e relativo a flora do município de Maringá está em uma área do Bioma Mata Atlântica, este bioma abriga um alto índice de biodiversidade e endemismo, porém encontra-se em uma situação alarmante de alteração de seu ambiente, devido ao fato de possuir aproximadamente 70% da população brasileira em sua área. Atualmente estima-se que este bioma apresenta apenas 7,26% da sua condição original (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2013).

O município de Maringá situa-se na região fitogeográfica classificada como Floresta Estacional Semidecidual (VELOSO et al,1991), e devido sua condição topográfica é denominada Submontana. A fitofisionomia da FES apresenta características que envolvem a dupla estacionalidade climática, no qual uma estação (tropical) possui chuvas intensas de verão seguidas por estiagens. A outra estação (subtropical) apresenta um período seco moderado, apresentando seca fisiológica devido às temperaturas baixas (IBGE, 1992).

A FES é geralmente composta por espécies que apresentam características perenifólias a decíduos (20 a 50%), com indivíduos com 30 metros de altura que não estruturam recobrimento superior contínuo, ou seja, dossel irregular com indivíduos emergentes. Além disso, a FES apresentando espécies arbustivas, lianas e epífitas em menor quantidade quando comparada a florestas ombrófilas (LEITE e KLEIN, 1990). As espécies emergentes que se destacam, podendo alcançar 35 metros de altura (MAACK, 1968; LEITE e KLEIN, 1990; RODERJAN et al., 2002).

Com o objetivo de diminuir os efeitos causados pela retirada da vegetação nativa e atrair moradores para a cidade a CMNP contratou o Engenheiro Agrônomo Luiz Teixeira Mendes que foi responsável pela arborização da cidade, além de criar o Horto Florestal, composto por um fragmento de vegetação nativa e que serviu para como viveiro de mudas.

A preocupação com o verde urbano proporcionou a Maringá uma situação privilegiada em termos de qualidade ambiental e paisagístico (MENEGETTI, 2009).

Segundo Milano (1988), a arborização de Maringá em contava na década de 80 com 62.818 árvores, das quais 95% eram representadas por apenas 15 espécies. Essa pesquisa também permitiu identificar que mais de 85% das árvores da cidade encontrava-se em condições boas ou satisfatórias, principalmente as que compunham os canteiros centrais.

No que tange os estudos de Sampaio (2006), a arborização urbana da área referente ao projeto inicial de Maringá possui uma taxa de ocupação (por vegetação) de 17,57% e, quando somadas as áreas referentes ao Parque do Ingá, Parque Florestal dos Pioneiros e Horto Florestal, esses valores sobem para 22,54%. As espécies mais frequentemente encontradas neste estudo foram: *Caesalpinia pluviosa* (sibipiruna), *Tipuana tipu* (tipuana) e *Tabebuia impetiginosa* (ipê roxo). Observou-se também que a cidade possui uma boa variabilidade de espécies, mas algumas com frequência baixa.

Essas árvores possuem como característica, porte arbóreo superior a 10 metros de altura e uma copa frondosa (aproximadamente 11 metros), que dependendo da distância entre elas, podem criar verdadeiros “corredores sombreados” (GERMANO, 2012), tanto nas ruas como nas calçadas (Figura 18).

A arborização viária tem como principais efeitos benéficos a promoção do sombreamento, que ajuda redução das temperaturas, melhoria na qualidade do ar devido a captação de CO<sub>2</sub> da atmosfera, podendo variar de 16 Kg/ano a 360 Kg/ano, liberação de O<sub>2</sub>, redução de enchentes, devido a necessidade de espaços sem pavimentação, diminuição de ruídos, proteção contra raios ultravioletas, aumento da vida útil dos pavimentos asfálticos, barreira contra ventos e valorização imobiliária (GARTLAND, 2010).

De acordo com dados da Prefeitura do Município de Maringá e da Secretaria de Meio Ambiente (MARINGÁ, 2012), o município apresenta 19,36 km<sup>2</sup> (3,95%) de mata nativa, sendo que 5,31 km<sup>2</sup> está na área urbana e, 2,34 km<sup>2</sup> estão ocupados

por reservas e parques. Algumas reservas são remanescentes dessa vegetação, sendo que as três principais são o Bosque II, Parque do Ingá e Horto Florestal.

Figura 18: Corredor arbóreo formado por tipuanas - Rua Saldanha Marinho, Maringá.



Fonte: Germano (2018).

Nos estudos realizados por Sampaio et al (2012) empregando imagens Landsat, foi possível verificar que Maringá apresentou um total de 43,91 Km<sup>2</sup> de área verde, dos quais 11,15 Km<sup>2</sup> estão localizados na área urbana.

Segundo Maringá (2012) Maringá possui 19 áreas verdes, sendo 12 parques públicos, um particular e seis áreas que não possuem lei própria, totalizando 1.869,247,65 m<sup>2</sup>. Atualmente, oito áreas estão registradas no ICMS Ecológico e a cidade apresenta 26 m<sup>2</sup> de área verde por habitante.

Nos estudos de Germano (2012), foi possível verificar que a vegetação viária da cidade de Maringá, bem como áreas de que apresentavam adensamento de vegetação, apresentaram valores de temperatura mais amenos quando comparados com os locais que possuíam pouca área verde. Dessa forma, verificou-se a importância da implantação de árvores de grande porte na área urbana, visando a mitigação de IC (GERMANO, 2012).

## 5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

No intuito de dar atendimento aos questionamentos levantados pela hipótese e os objetivos elencados, optou-se por realizar uma análise espaço-temporal e quantitativa, utilizando imagens orbitais dos anos de 1984 a 2016, correspondente aos satélites Landsat 5 (resolução espacial de 120 metros – Banda 6) e Landsat 8 (Resolução espacial de 100 metros – Banda 10), sendo utilizado um total de 249 imagens, disponibilizadas no apêndice I.

A utilização desse recorte temporal levou em consideração todas as imagens disponíveis do satélite Landsat 5 e as adquiridas pelo satélite Landsat 8, ou seja, as duas orbitas ponto. O equipamento Landsat 5 lançado em 1984 coletou imagens até os anos de 2011, já o satélite Landsat 8, iniciou suas atividades em 2013, e ainda se encontra em funcionamento.

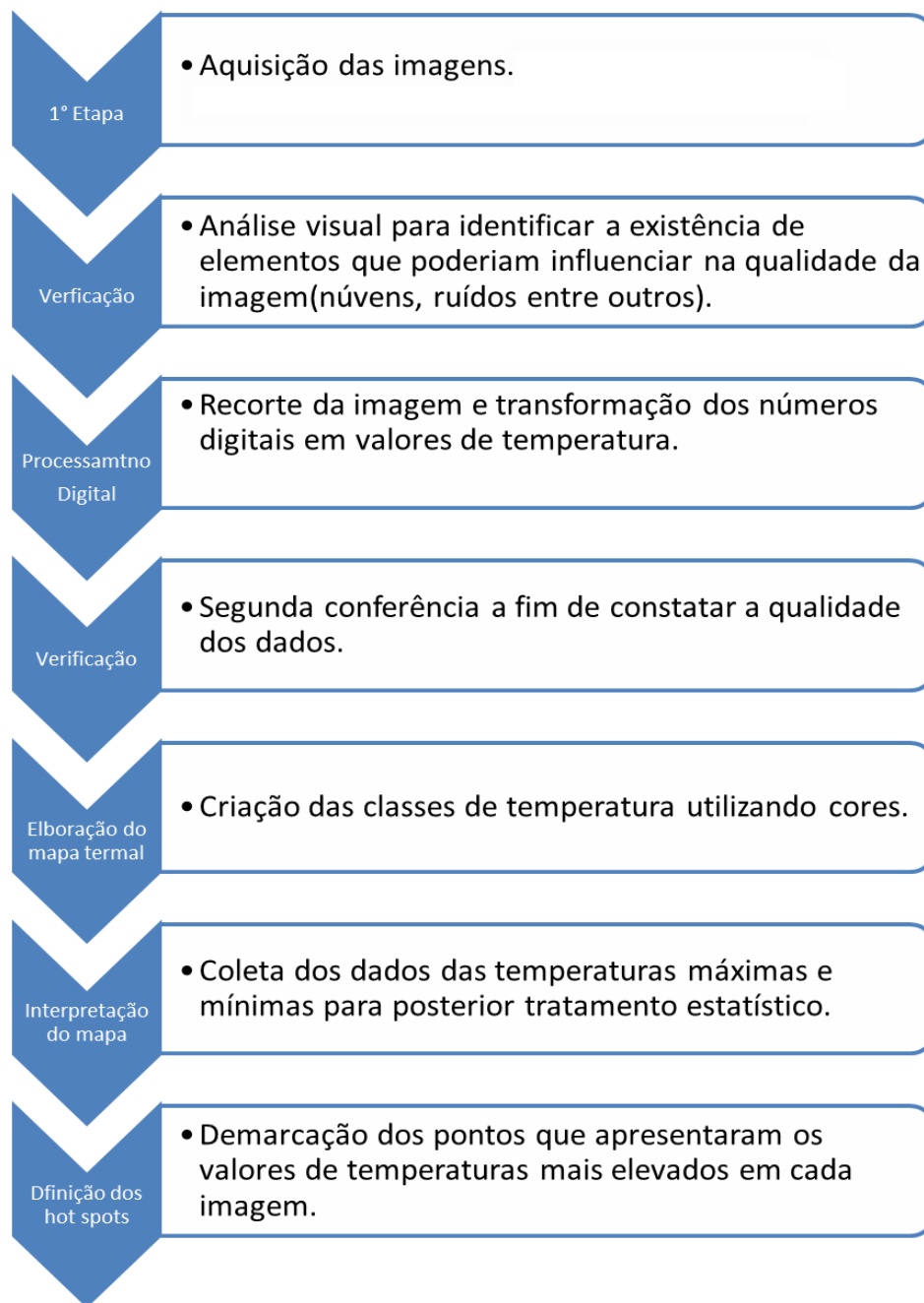
Segundo Tang e Li (2014), para se realizar uma caracterização adequada da distribuição e evolução temporal de temperaturas de superfície é necessária uma amostragem espacial e temporal detalhada, e que geralmente não são possíveis de serem adquiridas utilizando sistemas terrestres, podendo ser realizadas por técnicas de teledetecção.

As imagens foram adquiridas junto ao site <http://earthexplorer.usgs.gov/> e posteriormente foram aplicadas as técnicas de processamento digital nas imagens para a obtenção da temperatura aparente de superfície, para essa atividade foram realizadas 7 etapas (Figura 20).

Todos os procedimentos foram realizados no programa Qgis versão 2.12.13, que envolveram a transformação dos Números Digitais (ND), para valores físicos. Segundo Ponzoni e Shimabukuro (2007), a conversão de ND para valores físicos como radiância e reflectância possibilitam uma caracterização espectral dos alvos, bem como permite a execução de operações matemáticas de imagens em diferentes bandas espectrais, pois cada sensor disposto no satélite apresenta critérios próprios para discretizar os valores de radiâncias e não necessariamente possui a mesma escala em ND de outra banda em diferente comprimento de onda.

As imagens em ND foram transformadas em valores de radiância e posteriormente em reflectância utilizando o complemento *Semiautomatic Classification Plugin – SCP*.

Figura 20: Fluxograma dos procedimentos metodológicos



Fonte: Paulo J. M. M. e T. Germano (2017)

Após a aplicação das rotinas apresentadas anteriormente, deu-se início à técnica para transformar os valores dos *pixels* em temperatura aparente de superfície, para isso foram utilizadas as bandas 6 do satélite Landsat 5 (resolução espacial de 120 metros) e 10 (resolução espacial de 100 metros) do satélite Landsat 8. A equação (15) utilizada para a obtenção dos valores de temperatura de superfícies seguiu as orientações do *Landsat handbook*, 2015.

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{CV_{R1}} + 1\right)} \quad (15)$$

Onde:

T → temperatura em Kelvin

CV<sub>R1</sub> → é o valor da célula como radiância.

K<sub>1</sub> → Constante termal Landsat 5 TM 607.76 – Landsat 8 Valor disponibilizado no metadado.

K<sub>2</sub> → Constante termal Landsat 5 TM 1260.56 – Landsat 8 Valor disponibilizado no metadado.

A equação (15), objetiva a conversão dos dados adquiridos pelos satélites na escala de Kelvin, porém com o objetivo de adquirir as temperaturas em graus Celsius, optou-se por uma adequação da equação, subtraindo o valor de 273,15 de cada *pixel*. Após a aplicação da fórmula, foram atribuídas cores para os valores numéricos, as temperaturas mais elevadas foram caracterizadas pela cor vermelha e as mais baixas em verde.

Posteriormente as imagens foram divididas levando em consideração as suas datas de aquisição, possibilitando a criação de quatro grupos de análises, o primeiro que correspondeu a década de 1980, o segundo a década de 1990, o terceiro a década de 2000, já o último período, correspondeu aos anos de 2010 a 2016. As imagens de cada década foram segregadas levando em consideração os meses mais quentes (primavera/verão) e o mais frio (outono/inverno).

Os valores de temperatura aparente das superfícies, possibilitaram a extração de informações como:

- a) Maior temperatura encontrada no período analisado.
- b) Menor temperatura encontrada no período analisado.
- c) Temperaturas máximas dos *hot spots*.
- d) Temperatura mínima dos *hot spots*.
- e) Média das temperaturas máximas.
- f) Média das temperaturas mínimas.
- g) Média das amplitudes.
- h) Mediana das temperaturas máximas.
- i) Mediana das temperaturas mínimas.

- j) Mediana das amplitudes.
- k) Desvio padrão das temperaturas máximas.
- l) Desvio padrão das temperaturas mínimas.
- m) Desvio padrão das amplitudes.

O uso das médias e medidas de dispersão foram utilizadas visando a compreensão dos valores encontrados em cada década, sendo possível a estruturação de uma análise comparativa.

A aplicação de métodos quantitativos em Geografia segundo Chisholm (1975), não residem na estatística moderna, mas cartografia. Portanto, além do tratamento estatístico, o geógrafo pode também utilizar-se da espacialização de um fenômeno.

Para Hagget e Chorley (1975) os mapas são um produto de representação da realidade, podendo ser avaliado por suas qualidades artísticas, bem como por sua utilidade. Porém, independentemente da abordagem de julgamento, o mapa permite uma nova visão da realidade, que não é possível de ser observada pelo homem na superfície da Terra, ou mesmo por imagens de satélites. Os mapas permitem de certa forma comprimir e codificar a realidade, podendo ser empregado como uma ferramenta que possibilita transmitir uma informação ao leitor.

Como um dos objetivos específicos delineados no início da pesquisa foi de comparar as ocorrências de *hot spots* na área que abrange o projeto inicial da cidade, com as demais localizadas dentro do perímetro urbano, optou-se por confeccionar um mapa que permitisse essa avaliação. Para essa atividade, utilizou-se de uma base municipal que contém as zonas localizadas dentro da área urbana, bem como o projeto de Jorge Macedo de Vieira, porém as análises do presente trabalho se ativeram em realizar uma comparação entre a zona do projeto inicial e as demais, não discreteando as análises por zonas, pois o volume dado gerado pelo recorte temporal, somado com uma análise por zonas possibilitaria resultados que fugiriam ao escopo da presente pesquisa.

A utilização do mapa de zoneamento urbano do município teve como objetivo facilitar a leitura dos mapas e também pelo motivo de ser a primeira caracterização das temperaturas aparente de superfície na cidade, que poderá servir para futuras pesquisas. .



## 6 RESULTADOS

O presente trabalho possibilitou um resgate de informações relativas a distribuição das temperaturas aparentes de superfície de Maringá, sendo que os resultados obtidos foram fruto do processamento de 249 imagens de satélite, o qual envolveu um intervalo temporal de 32 anos (1984 – 2016), contemplando um total de 698 dados de temperatura (máxima e mínima), e que permitiu estruturar outras análises tais como: média, mediada, desvio padrão e amplitude.

A elaboração dos mapas além de permitirem a extração dos valores máximos e mínimos de temperatura aparente de superfície da área urbana de Maringá, proporcionaram a visualização da distribuição espacial desses valores, possibilitando a confecção de 4 mapas síntese, um para cada década e um final que englobou todos os *hot-spots* encontrados em cada década.

Os resultados correspondentes ao intervalo definido na presente pesquisa permitem verificar que existe uma predominância das temperaturas mais elevadas (*hot spots*) nas áreas fora do projeto inicial de Vieira, indicando que as áreas criadas adjacentes ao projeto da Companhia Melhoramentos, apresentam elementos para formação de ilhas de calor de superfície.

Os valores mais elevados de temperatura se deram em locais com solo exposto e em bairros que apresentam uma condição de arborização menos frondosa quando comparada com as zonas centrais. Portanto os elementos como a vegetação viária, praças e parques permitiram a existência de valores de temperaturas menores.

A apresentação dos resultados estatísticos dos valores de temperatura para cada década levou em consideração a apresentação primeiramente do número total de imagens disponíveis para cada período, ou seja, a década analisada. Posteriormente foram apresentados os dados que englobaram os meses de primavera e verão (mais quentes) e posteriormente (outono e inverno (mais frios).

O primeiro intervalo de tempo analisado englobou a década de 1980, mais especificamente os anos de 1984 a 1989, sendo possível a recuperação de 6 imagens do período de primavera e verão (Tabela 2) e 23 para o outono e inverno.

As imagens do período das estações do ano mais quentes indicaram que as temperaturas mínimas nesse período apresentaram uma média de 24,68 °C e a média das máximas 35,54 °C. A temperatura máxima encontrada foi de 47,03 °C no

dia 02/11/1987, e mínima no dia 11/12/1984 (21,41 °C). A amplitude demonstrou uma informação importante desse período, indicando que em média existe uma diferença de 10,86 °C quando comparamos as temperaturas mais quentes com as mais frias

Tabela 2: Valores das temperaturas aparente de superfície do primeiro intervalo da pesquisa (1984 – 1989) – Primavera/verão – Maringá – PR.

Data	Mínima °C	Máxima °C	Amplitude °C	Média °C
08/10/1984	21,50	28,35	6,85	24,93
11/12/1984	21,49	32,85	11,36	27,17
30/09/1986	24,53	34,53	1,47	29,29
02/11/1987	29,57	47,03	17,46	38,30
18/11/1987	28,33	44,82	16,49	36,58
22/12/1987	24,10	35,65	11,55	29,88
Média geral °C	24,68	35,54	10,86	31,02
Mediana °C	23,06	32,85	8,96	29,58
Desvio padrão °C	3,48	8,93	6,00	4,83

Fonte: Paulo J. M. M. e T. Germano (2016).

As medidas de dispersão demonstraram que as temperaturas nesse período apresentaram valores acompanham os valores médios, ou seja, não apresentaram oscilações abruptas.

Para as estações mais frias, foi possível a utilização de 23 imagens (Tabela 3), que indicam que a média das temperaturas mínimas foi de 19,24 °C e das máximas de 26,13 °C. A temperatura máxima encontrada foi de 34,85 °C (14/08/1986) e mínima de 11,38 °C (26/05/1987). A amplitude média encontrada foi de 6,89 °C, ou seja, inferior quando comparada com os valores de primavera e verão. De maneira geral os comportamentos das temperaturas da década de 1980 indicam que nas estações do ano mais quentes além dos maiores valores de temperatura, apresentam também maior amplitude, indicando que algumas superfícies conseguiram se manter mais frias, porém outras são aquecidas significativamente, configurando-se como *hot-spots*.

Tabela 3: Valores das temperaturas aparente de superfície no período de 1984 – 1989 – Outono/inverno – Maringá.

Data	Mínima °C	Máxima °C	Amplitude °C	Média °C
02/06/1984	19,27	23,68	4,41	21,48
18/06/1984	19,72	24,11	4,39	21,92
08/08/1985	20,16	28,35	8,19	24,26
09/09/1985	22,37	29,18	6,81	25,78
23/05/1986	17,46	21,94	4,48	19,70
10/07/1986	15,16	21,50	6,34	18,33
26/07/1986	16,55	25,82	9,27	21,19
11/08/1986	20,61	27,51	6,90	24,06
14/08/1986	23,24	34,85	11,61	29,05
27/08/1986	21,05	26,25	5,20	23,65
08/04/1987	21,93	30,82	8,89	26,38
24/04/1987	21,05	27,93	6,88	24,49
26/05/1987	11,38	17,02	5,64	14,20
11/06/1987	17,47	23,24	5,77	20,36
13/07/1987	19,71	23,68	3,97	21,70
27/07/1987	13,30	20,17	6,87	16,74
15/09/1987	24,11	31,23	7,12	27,67
25/03/1988	24,54	34,06	9,52	29,30
31/07/1988	17,46	24,54	7,08	21,00
31/05/1989	16,10	24,11	8,01	20,11
19/08/1989	21,05	27,51	6,46	24,28
03/09/1989	17,00	21,50	4,50	19,25
20/09/1989	21,92	32,05	10,13	26,99
Média geral °C	19,24	26,13	6,89	22,69
Mediana °C	19,72	25,83	6,46	22,77
Desvio padrão °C	3,30	4,44	1,99	3,78

Fonte: Paulo J. M. M. e T. Germano (2016).

A década de 1990 apresentou 17 imagens para o período das estações mais quentes (Tabela 4). A média das temperaturas mínimas foi de 23,33 °C, e das

máximas de 35,15 °C. A amplitude média foi de 11,82 °C, e os valores de temperaturas mínimas e máximas encontrados foram de 20,61 °C (25/10/1990) e 43,33 °C (02/01/1991) respectivamente.

Tabela 4: Valores das temperaturas aparente de superfície no período de 1990 – 1999 – Primavera/verão – Maringá – PR.

Data	Mínima °C	Máxima °C	Amplitude °C	Média °C
25/10/1990	20,61	32,05	11,44	26,33
26/11/1990	23,25	33,66	10,41	28,46
12/10/1991	23,66	35,25	11,59	29,46
13/11/1991	21,05	27,51	6,46	24,28
31/12/1991	22,37	31,23	8,86	26,80
02/01/1991	27,08	43,33	16,25	35,21
02/11/1993	24,11	39,16	15,05	31,64
04/12/1993	24,54	33,66	9,12	29,10
05/01/1994	22,37	34,46	12,09	28,42
21/11/1994	21,93	33,26	11,33	27,60
23/10/1995	21,06	30,82	9,76	25,94
10/12/1995	22,37	35,25	12,88	28,81
26/11/1996	23,67	39,16	15,49	31,42
31/10/1998	21,93	34,46	12,53	28,20
19/11/1999	25,83	42,96	17,13	34,40
05/12/1999	27,08	36,43	9,35	31,76
21/12/1999	23,67	34,85	11,18	29,26
Média geral °C	23,33	35,15	11,82	29,24
Mediana °C	23,33	34,85	11,44	28,81
Desvio padrão °C	1,90	4,01	2,78	2,81

Fonte: Paulo J. M. M. e T. Germano (2016).

Para as estações correspondentes ao outono/inverno da década de 1990 estruturou-se uma base de dados com 23 imagens (Tabela 5), no qual constatou-se que a temperatura média das temperaturas mínimas foi de 18,12 °C, e das máximas

de 25,48 °C. A temperatura máxima e mínima para esse período foi de 34,48 °C (25/04/1999) e 11,88 °C (11/07/1998), e a amplitude média 7,36 °C.

Quando comparado os valores encontrados dos meses de primavera/verão com as de outono/inverno, as médias das temperaturas mínimas, máximas e da amplitude são maiores no período mais quente.

Tabela 5: Valores Comparados no período de 1990 – 1999 – Outono/inverno – Maringá – PR.

Data	Mínima °C	Máxima °C	Amplitude °C	Média °C
21/05/1991	18,36	24	5,64	21,18
20/03/1992	21,05	26,67	5,62	23,86
27/08/1992	17,45	26,25	8,8	21,85
30/08/1993	21,93	29,18	7,25	25,555
27/04/1994	21,49	28,35	6,86	24,92
30/06/1994	15,17	20,17	5	17,67
16/07/1994	17,47	24,97	7,5	21,22
18/09/1994	21,93	27,93	6	24,93
14/04/1995	17,92	24,97	7,05	21,445
30/04/1995	21,93	28,76	6,83	25,345
02/05/1996	16,56	23,68	7,12	20,12
21/07/1996	21,93	33,26	11,33	27,595
18/03/1997	15,64	24,97	9,33	20,305
22/06/1997	18,83	22,37	3,54	20,6
24/07/1997	15,17	20,61	5,44	17,89
09/08/1997	13,3	21,94	8,64	17,62
25/08/1997	18,37	25,4	7,03	21,885
09/06/1998	15,63	22,81	7,18	19,22
11/07/1998	11,88	18,38	6,5	15,13
27/07/1998	17,47	26,25	8,78	21,86
09/04/1999	19,28	28,35	9,07	23,815

(Continua)

(Continuação)

Data	Mínima °C	Máxima °C	Amplitude °C	Média °C
25/04/1999	20,17	34,46	14,29	27,315
28/06/1999	17,92	22,37	4,45	20,145
Média geral °C	18,12	25,48	7,36	21,80
Mediana °C	17,92	24,97	7,05	21,45
Desvio padrão °C	2,80	3,83	2,27	3,16

Fonte: Paulo J. M. M. e T. Germano (2016).

O intervalo de tempo entre os anos 2000 a 2009, apresentou o maior número de imagens do presente estudo, contemplando um total de 97 imagens, sendo 35 para o período das estações mais quentes (Tabela 6). Com relação aos valores encontrados nas imagens correspondentes ao período mais quente, observa-se que a média das temperaturas mínimas foi de 23,62 °C, e das máximas de 34,77 °C, já amplitude média foi de 11,15 °C. A temperatura mais alta encontrada ocorreu no dia 23/11/2004, 40,69 °C e a temperatura mais baixa ocorreu no dia 08/01/2001 18,83 °C.

As medianas das temperaturas mínimas (23,67 °C) e máxima (34,77°C) apresentaram valores próximos ao encontrado nas médias gerais da mesma classe (temperaturas mínimas e máximas). Os desvios padrões variaram de 3,46 °C a 2,05 °C indicando uma boa representação das médias.

Tabela 6: Valores das temperaturas aparente de superfície no período de 2000 – 2009 – Primavera/Verão – Maringá – PR.

Data	Mínima °C	Máxima °C	Amplitude °C	Média °C
07/12/2000	25,82	38,38	12,56	32,10
08/01/2001	18,83	30,41	11,58	24,62
17/12/2001	23,67	36,04	12,37	29,86
01/02/2002	22,37	36,83	14,46	29,60
05/11/2002	23,25	36,83	13,58	30,04
13/10/2003	22,81	31,64	8,83	27,23
14/12/2003	27,07	37,61	10,54	32,34

(Continua)

(Continuação)

Data	Mínima °C	Máxima °C	Amplitude °C	Média °C
17/01/2004	23,24	36,43	13,19	29,84
09/02/2004	21,05	31,23	10,18	26,14
18/02/2004	21,05	30	8,95	25,53
06/10/2004	23,67	39,16	15,49	31,42
23/11/2004	26,66	40,69	14,03	33,68
02/12/2004	24,1	34,46	10,36	29,28
25/12/2004	25,39	38	12,61	31,70
20/02/2005	23,68	36,04	12,36	29,86
03/11/2005	24,54	36,83	12,29	30,69
10/11/2005	21,93	32,05	10,12	26,99
11/03/2006	22,81	29,59	6,78	26,20
26/09/2006	23,23	33,66	10,43	28,45
21/10/2006	24,11	38	13,89	31,06
28/10/2006	25,39	37,61	12,22	31,50
13/11/2006	24,95	37,61	12,66	31,28
22/11/2006	24,97	36,04	11,07	30,51
30/03/2007	23,23	32,05	8,82	27,64
29/09/2007	20,61	27,93	7,32	24,27
07/03/2008	22,81	33,26	10,45	28,04
08/09/2008	19,28	28,76	9,48	24,02
24/09/2008	21,05	31,23	10,18	26,14
27/11/2008	25,39	38,77	13,38	32,08
29/12/2008	27,09	38,38	11,29	32,74
29/12/2008	27,09	37,61	10,52	32,35
22/02/2009	22,37	31,64	9,27	27,01
27/09/2009	23,67	30,41	6,74	27,04
04/10/2009	24,11	33,26	9,15	28,69
29/10/2009	25,4	38,38	12,98	31,89
Média geral °C	23,62	34,77	11,15	29,19
Mediana °C	23,67	36,04	11,07	29,84
Desvio padrão °C	2,05	3,46	2,14	2,63

Fonte: Paulo J. M. M. e T. Germano (2017).

O período correspondente a outono e inverno dos anos de 2000 a 2009 (Tabela 7), apresentaram média de temperatura mínima de 20 °C, e da máxima de 28°C. A média das amplitudes foi de 8,23 °C, ou seja, menor que no período mais quente do mesmo intervalo de tempo. Já a mediana e o desvio padrão também indicaram valores próximos aos valores médios. A temperatura mais baixa encontrada nas imagens ocorreu no dia 11/07/2004, 10,43°C, e a mais quente 38,77°C 11/04/2000.

Tabela 7: Valores das temperaturas no período de 2000 – 2009 – Outono/inverno – Maringá – PR.

Data	Mínima °C	Máxima °C	Amplitude °C	Média °C
26/03/2000	20,61	27,09	6,48	23,85
11/04/2000	21,06	38,77	17,71	29,92
27/04/2000	20,17	27,09	6,92	23,63
29/05/2000	14,7	24,54	9,84	19,62
14/06/2000	20,17	26,67	6,5	23,42
18/09/2000	19,72	25,4	5,68	22,56
01/06/2001	20,62	27,93	7,31	24,28
03/07/2001	17,92	22,81	4,89	20,37
04/08/2001	20,61	30,82	10,21	25,715
27/06/2002	18,37	25,4	7,03	21,89
07/08/2002	23,67	28,35	4,68	26,01
01/08/2003	20,17	27,93	7,76	24,05
17/08/2003	13,77	24,54	10,77	19,155
02/09/2003	20,61	28,76	8,15	24,69
19/09/2003	22,8	32,05	9,25	27,43
28/03/2004	23,23	35,65	12,42	29,44
09/04/2004	23,24	32,45	9,21	27,85
16/05/2004	17,46	21,49	4,03	19,48
11/07/2004	10,43	16,56	6,13	13,50
27/07/2004	16,08	21,06	4,98	18,57
09/04/2005	23,67	32,05	8,38	27,86
02/05/2005	19,27	26,25	6,98	22,76

(Continua)



(Continuação)

Data	Mínima °C	Máxima °C	Amplitude °C	Média °C
11/05/2005	21,49	29,59	8,1	25,54
27/05/2005	17,47	22,81	5,34	20,14
03/06/2005	20,17	25,83	5,66	23
14/07/2005	18,82	24,97	6,15	21,90
30/07/2005	21,49	27,93	6,44	24,71
15/08/2005	22,36	35,25	12,89	28,81
22/08/2005	23,67	31,64	7,97	27,66
07/09/2005	20,17	27,93	7,76	24,05
03/04/2006	21,49	29,18	7,69	25,34
12/04/2006	21,93	30	8,07	25,97
19/04/2006	19,72	26,67	6,95	23,20
28/04/2006	21,05	30	8,95	25,53
05/05/2006	19,27	30,82	11,55	25,05
14/05/2006	18,37	29,59	11,22	23,98
30/05/2006	19,28	30	10,72	24,64
15/06/2006	20,16	29,18	9,02	24,67
11/07/2006	19,27	28,35	9,08	23,81
09/08/2006	22,8	30,82	8,02	26,81
25/08/2006	25,39	35,65	10,26	30,52
03/09/2006	13,77	21,06	7,29	17,415
09/06/2007	20,61	27,09	6,48	23,85
04/07/2007	20,16	28,76	8,6	24,46
20/07/2007	16,09	22,37	6,28	19,23
27/07/2007	13,31	22,37	9,06	17,84
21/08/2007	18,37	29,18	10,81	23,78
06/09/2007	25,39	34,46	9,07	29,93
08/04/2008	24,1	34,46	10,36	29,28

(Continua)

(Continuação)

Data	Mínima °C	Máxima °C	Amplitude °C	Média °C
24/04/2008	20,62	28,76	8,14	24,69
07/07/2008	17,92	24,97	7,05	21,45
13/07/2008	18,82	24,97	6,15	21,90
29/07/2008	20,16	26,67	6,51	23,42
30/08/2008	18,83	30,41	11,58	24,62
19/03/2009	20,61	27,51	6,9	24,06
04/04/2009	21,49	27,93	6,44	24,71
11/04/2009	22,8	33,26	10,46	28,03
20/04/2009	21,49	31,23	9,74	26,36
27/04/2009	21,5	33,26	11,76	27,38
22/05/2009	20,17	26,25	6,08	23,21
26/08/2009	18,83	25,4	6,57	22,12
02/09/2009	24,11	31,64	7,53	27,88
Média geral °C	20,03	28,26	8,23	24,14
Mediana °C	20,17	28,14	7,87	24,17
Desvio padrão °C	2,88	4,10	2,37	3,34

Fonte: Fonte: Paulo J. M. M. e T. Germano (2017).

O último intervalo levantando no presente estudo levou em consideração os anos de 2010 a 2016, observa-se que no período de primavera e verão (Tabela 8), a média das temperaturas mínimas foram de 24,70 °C e das máximas de 35,43 °C. A amplitude média apresentou uma média de 10,73 °C, e tanto a mediana quando o desvio padrão também indicaram valores próximos aos encontrados nas médias.

Tabela 8: Valores das temperaturas aparente de superfície no período de 2010 – 2016 – Primavera/Verão – Maringá – PR.

Data	Mínima °C	Máxima °C	Amplitude °C	Média °C
08/11/2010	27,93	39,92	11,99	33,93
24/11/2010	22,37	30,82	8,45	26,60
16/03/2011	21,49	31,23	9,74	26,36

(Continua)

(Continuação)

Data	Mínima °C	Máxima °C	Amplitude °C	Média °C
04/11/2011	25,79	40,31	14,52	33,05
17/11/2011	22,78	31,23	8,45	27,01
31/10/2013	26,33	40,03	13,70	33,18
09/11/2013	27,78	38,4	10,62	33,09
19/01/2014	24,52	36,51	11,99	30,52
28/01/2014	24,02	33,96	9,94	28,99
01/03/2014	25,61	37,73	12,12	31,67
15/01/2015	23,76	37,7	13,94	30,73
31/01/2015	20,82	28,48	7,66	24,65
23/02/2015	22,17	33,86	11,69	28,02
21/10/2015	27,29	36,22	8,93	31,76
17/12/2015	23,64	33,25	9,61	28,45
18/01/2016	25,27	37,49	12,22	31,38
13/03/2016	24,91	35,11	10,20	30,01
21/09/2016	22,16	31,27	9,11	26,72
23/10/2016	25,11	34,98	9,87	30,05
01/11/2016	26,55	35,89	9,34	31,22
24/11/2016	28,19	40,94	12,75	34,57
26/12/2016	24,86	34,18	9,32	29,52
Média geral °C	24,70	35,43	10,73	30,07
Mediana °C	24,89	35,50	10,07	30,28
Desvio padrão °C	2,10	3,40	1,90	2,66

Fonte: Paulo J. M. M. e T. Germano (2017).

O período mais frio correspondente a esse último intervalo da presente pesquisa, que englobou as estações outono e inverno (Tabela 9) e apresentou como valor médio das temperaturas mínimas de 21,03 °C e das máximas de 29,25 °C, além de uma amplitude média de 8,21 °C. As medidas de mediana e desvio padrão também apresentaram valores próximos às médias.

Tabela 9: Valores das temperaturas aparente de superfície no período de 2010 – 2016 – Outono/Inverno – Maringá – PR.

Data	Mínima °C	Máximo °C	Amplitude °C	Média °C
07/04/2010	18,38	28,76	10,38	23,57
14/04/2010	21,94	30,41	8,47	26,18
01/06/2010	14,71	20,61	5,90	17,66
26/06/2010	22,37	30,82	8,45	26,60
03/07/2010	18,82	26,25	7,43	22,54
20/08/2010	20,16	28,35	8,19	24,26
29/08/2010	26,66	35,65	8,99	31,16
05/09/2010	18,81	32,45	13,64	25,63
01/04/2011	20,61	27,51	6,90	24,06
10/04/2011	20,17	30,00	9,83	25,09
03/05/2011	14,24	22,37	8,13	18,31
19/05/2011	16,55	25,40	8,85	20,98
04/06/2011	16,09	23,68	7,59	19,89
15/07/2011	19,71	25,00	5,29	22,36
01/09/2011	18,81	30,00	11,19	24,41
22/04/2013	21,57	30,54	8,97	26,06
01/05/2013	24,91	33,92	9,01	29,42
09/06/2013	19,11	24,51	5,40	21,81
18/06/2013	18,02	22,36	4,34	20,19
11/07/2013	19,07	26,47	7,40	22,77
27/07/2013	16,62	23,57	6,95	20,10
05/08/2013	21,97	28,13	6,16	25,05
12/08/2013	18,07	27,53	9,46	22,80
21/08/2013	23,82	32,15	8,33	27,99
28/08/2013	15,45	28,14	12,69	21,80
06/09/2013	24,13	32,79	8,66	28,46
13/09/2013	28,30	40,44	12,14	34,37
24/03/2014	23,42	32,57	9,15	28,00
11/05/2014	19,36	26,60	7,24	22,98
20/05/2014	20,98	27,84	6,86	24,41
14/07/2014	18,53	24,11	5,58	21,32
30/07/2014	18,29	24,29	6,00	21,29
08/08/2014	22,56	29,86	7,30	26,21
24/08/2014	25,69	33,64	7,95	29,67
09/09/2014	25,97	34,58	8,61	30,28
16/09/2014	22,30	33,28	10,98	27,79
07/05/2015	21,37	28,89	7,52	25,13
08/06/2015	22,25	28,48	6,23	25,37
26/07/2015	18,03	25,87	7,84	21,95
02/08/2015	22,43	29,75	7,32	26,09
11/08/2015	24,58	30,90	6,32	27,74

03/09/2015	23,45	32,32	8,87	27,89
19/09/2015	28,78	37,59	8,81	33,19
29/03/2016	23,35	33,26	9,91	28,31
07/04/2016	26,77	37,17	10,40	31,97
23/04/2016	25,77	33,05	7,28	29,41
30/04/2016	16,50	26,10	9,60	21,30
03/07/2016	20,02	26,88	6,86	23,45
04/08/2016	21,17	28,18	7,01	24,68
Média geral °C	21,03	29,25	8,21	25,14
Mediana °C	20,98	28,76	8,13	25,05
Desvio padrão °C	3,49	4,24	1,91	3,76

Fonte: Paulo José M. M. e T. Germano (2017).

De forma sintética podemos observar pouca variação nos valores de temperaturas, quando comparamos as estações mais quentes ou mais frias de cada década (Tabela 10).

Tabela 10: Síntese dos valores médios de temperaturas do recorte temporal de 1984-2016 – Maringá – PR.

Datas	Médias das temperaturas mínimas	Médias das temperaturas máximas	Amplitude
Primavera/Verão (1984 - 1989)	24,68	35,54	10,98
Primavera/Verão (1990 - 1999)	23,33	35,15	11,82
Primavera/Verão (2000 - 2009)	23,62	34,77	11,15
Primavera/Verão (2010- 2016)	24,70	35,43	10,73
Média (Primavera/Verão)	24,08	35,22	11,17
Outono/inverno (1984 - 1989)	19,24	26,13	6,89
Outono/inverno (1990 - 1999)	18,12	25,48	7,36
Outono/inverno (2000 -	20,03	28,26	8,23

2009)			
Outono/inverno (2010 - 2016)	21,03	29,25	8,21
Média (Outono/Inverno)	19,61	27,28	7,67

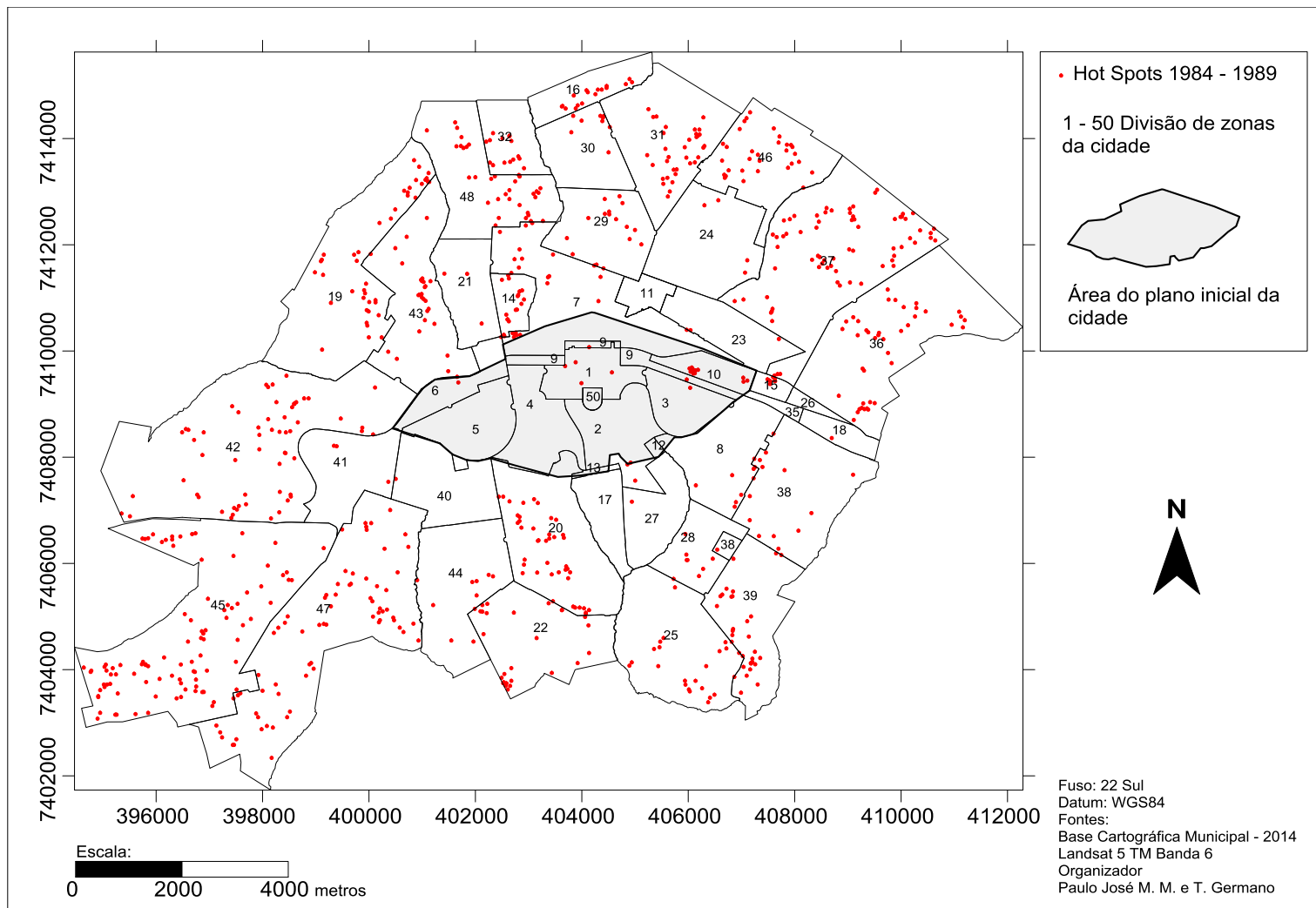
Fonte: Fonte: Paulo J. M. M. e T. Germano (2017).

Porém, se compararmos os valores de temperatura entre as diferentes estações do ano, observa-se que a temperatura média mínima (primavera/verão) é em média 4,47 °C mais elevada que a do período de outono/inverno. Já a média das temperaturas máximas indicam que as superfícies ficam em média 7,94 °C mais quentes quando comparamos os valores encontrados nos meses mais quentes.

O tratamento estatístico aplicado nos valores encontrados nas imagens termais propiciaram entender o comportamento das temperaturas aparente de superfície na cidade de Maringá, porém outro elemento importante a ser considerado está relacionado a localização desses fenômenos.

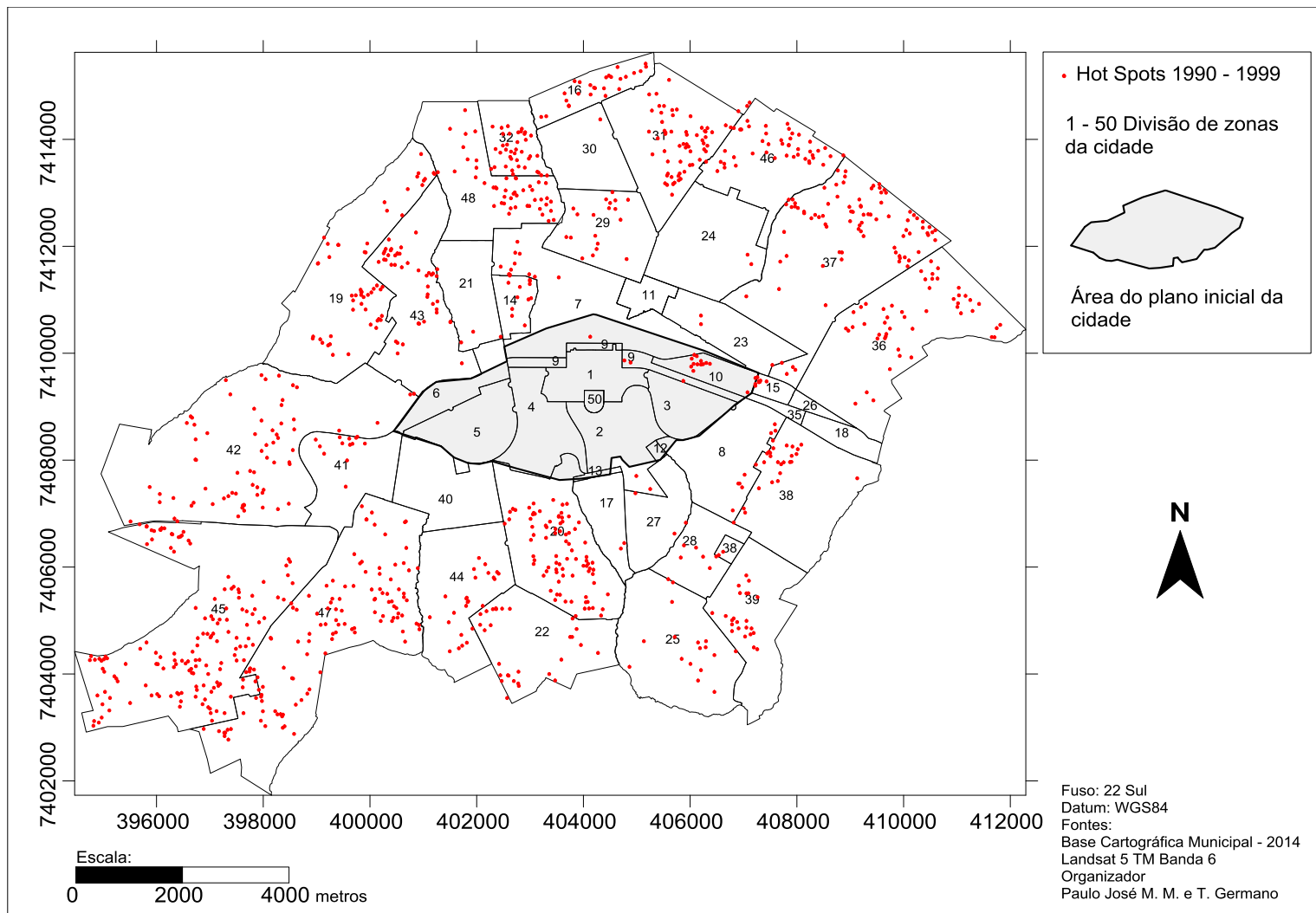
Os mapas de *hot spots* não tiveram como objetivo delimitar as áreas de abrangência das ilhas de calor, mas os pontos centrais das mesmas, a fim de facilitar a interpretação dos 249 mapas termais elaborados nesse recorte temporal que englobou 32 anos. Esses mapas (Figuras 21, 22, 23 e 24) demonstraram a existência de uma predominância de altos valores de temperatura nas áreas adjacentes ao projeto de Vieira, indicando que apesar de ser uma área urbana consolidada, apresenta ilhas de calor de superfícies menos intensas, corroborando com hipótese que o conceito de cidade jardim inglesa, bem como a implantação de uma arborização de grande porte, possibilitou uma amenização das temperaturas aparentes das superfícies.

As imagens relativas aos anos de 2000 a 2016 indicaram o aparecimento de mais *hot spots* na área central da cidade (Figuras 23 e 24), quando comparados com os resultados encontrados no intervalo de tempo de 1984 a 1999. Essa informação sinaliza uma importante informação relativa a formação de novas ilhas de calor na cidade, ou seja, uma possível diminuição de elementos que promoviam a atenuação das temperaturas nessa área.

Figura 21: *Hot Spots* – Década de 1980

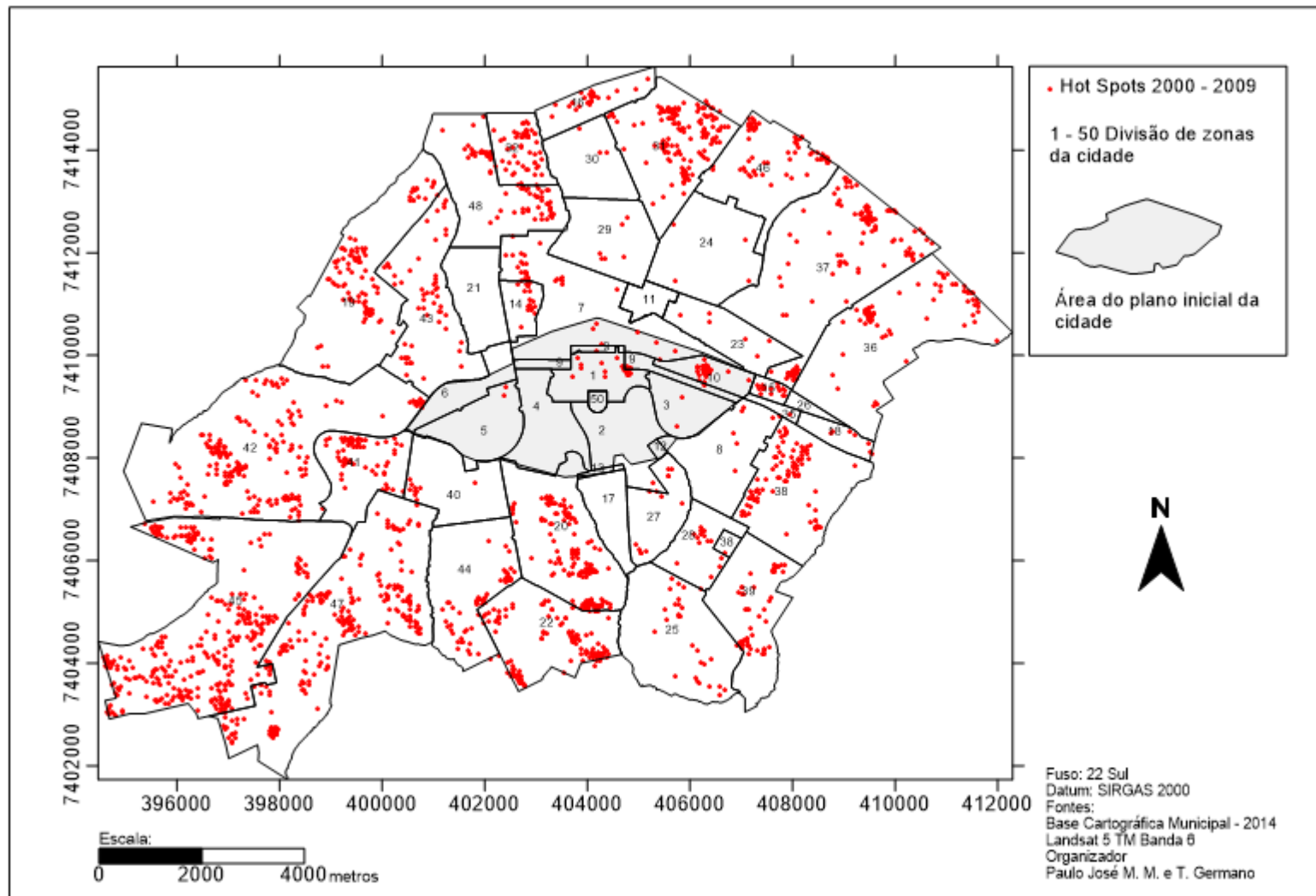
Fonte: Fonte: Paulo J. M. M. e T. Germano (2016).

Figura 22: Hot Spots – Década de 1990

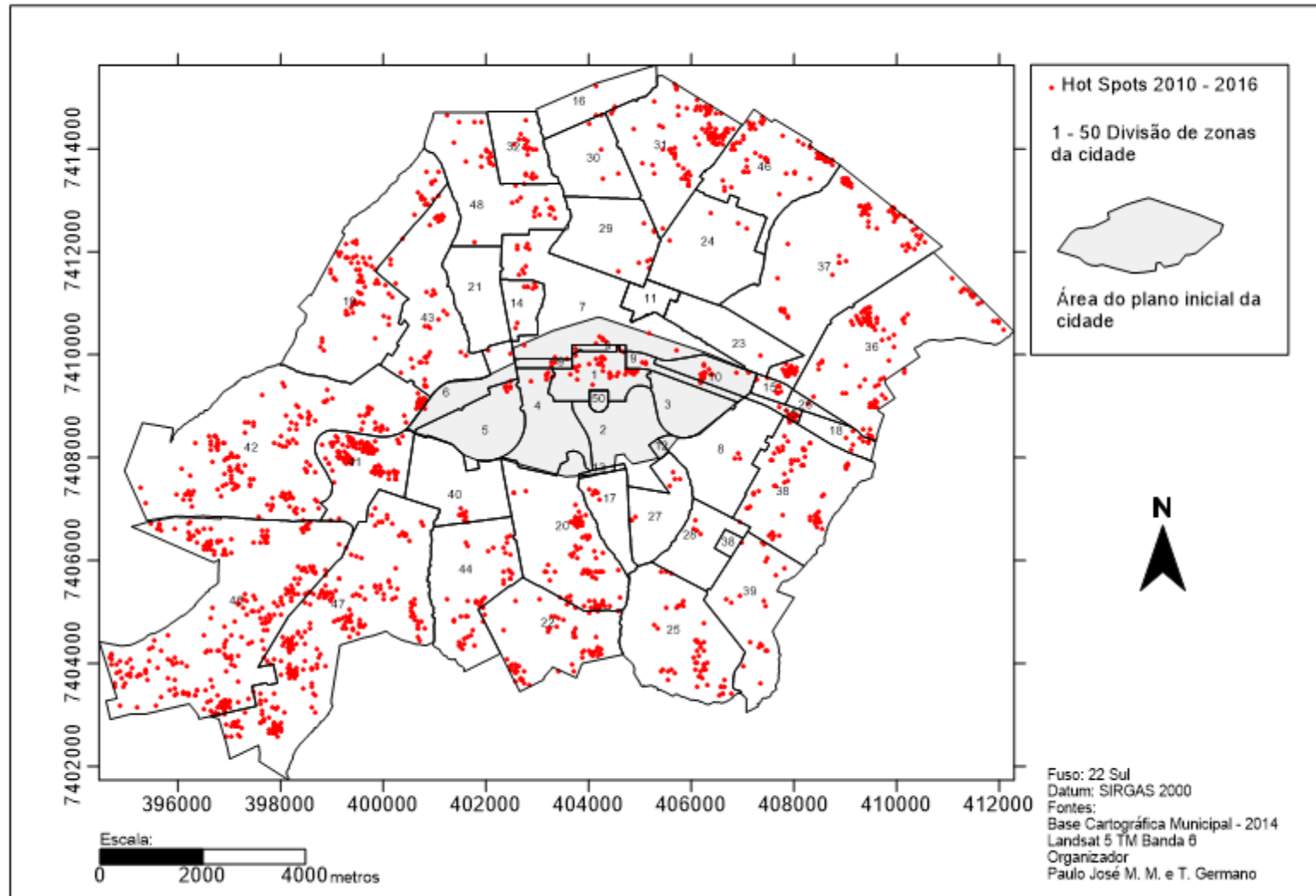


Fonte: Fonte: Paulo J. M. M. e T. Germano (2016).



Figura 23: *Hot Spots* – Década de 2000

Fonte: Fonte: Paulo J. M. M. e T. Germano (2016)

Figura 24: *Hot Spots* – 2010 - 2016

Fonte: Fonte: Paulo J. M. M. e T. Germano (2017).

A Zona 10, mesmo fazendo parte do projeto inicial da cidade, não se comportou como o restante das áreas localizadas no projeto inicial, apresentando a ocorrência de *hot spots* em todas as décadas analisadas (Figura 25). Esse local possui um elemento peculiar em comparação com as demais zonas, pois foi concebida como uma área industrial e que, atualmente, apresenta algumas edificações abandonadas.

Figura 25: Estruturas abandonadas Zona 10 – Maringá – PR.



Fonte: Paulo J. M. M. e T. Germano (2017).

A aglutinação de pontos de altas temperaturas observados na década de 1990 no setor nordeste da Zona 1 limite com a Zona 09 pode ser explicada possivelmente pela construção do Shopping Avenida Center.

O mapa de *hot spots* correspondente ao último período analisado, mesmo não englobando a década de 2010 completamente, demonstrou a ocorrência de vários *hot spots* na Zona 01, próximo a uma área verticalizada, que abriga edifícios residenciais e comércios. Esse local, além de contar com edifícios construídos ou

em construção na máxima cota permitida pela legislação da cidade, fez parte de um projeto de revitalização da Zona 01, no qual foi rebaixada a linha férrea e construída a Avenida Horácio Racanello Filho em 2006. Essas ações permitiram a edificação desse local, porém observa-se que essa avenida não possui canteiros centrais nem árvores frondosas (Figura 26), como outras que compõe a área central, tal como a Avenida Juscelino Kubitschek de Oliveira (Figura 27), o que possivelmente possibilitou a formação das IC nesse local.

Figura 26: Avenida Horácio Racanello Filho – Maringá - PR.



Fonte: Fonte: Paulo J. M. M. e T. Germano (2017).

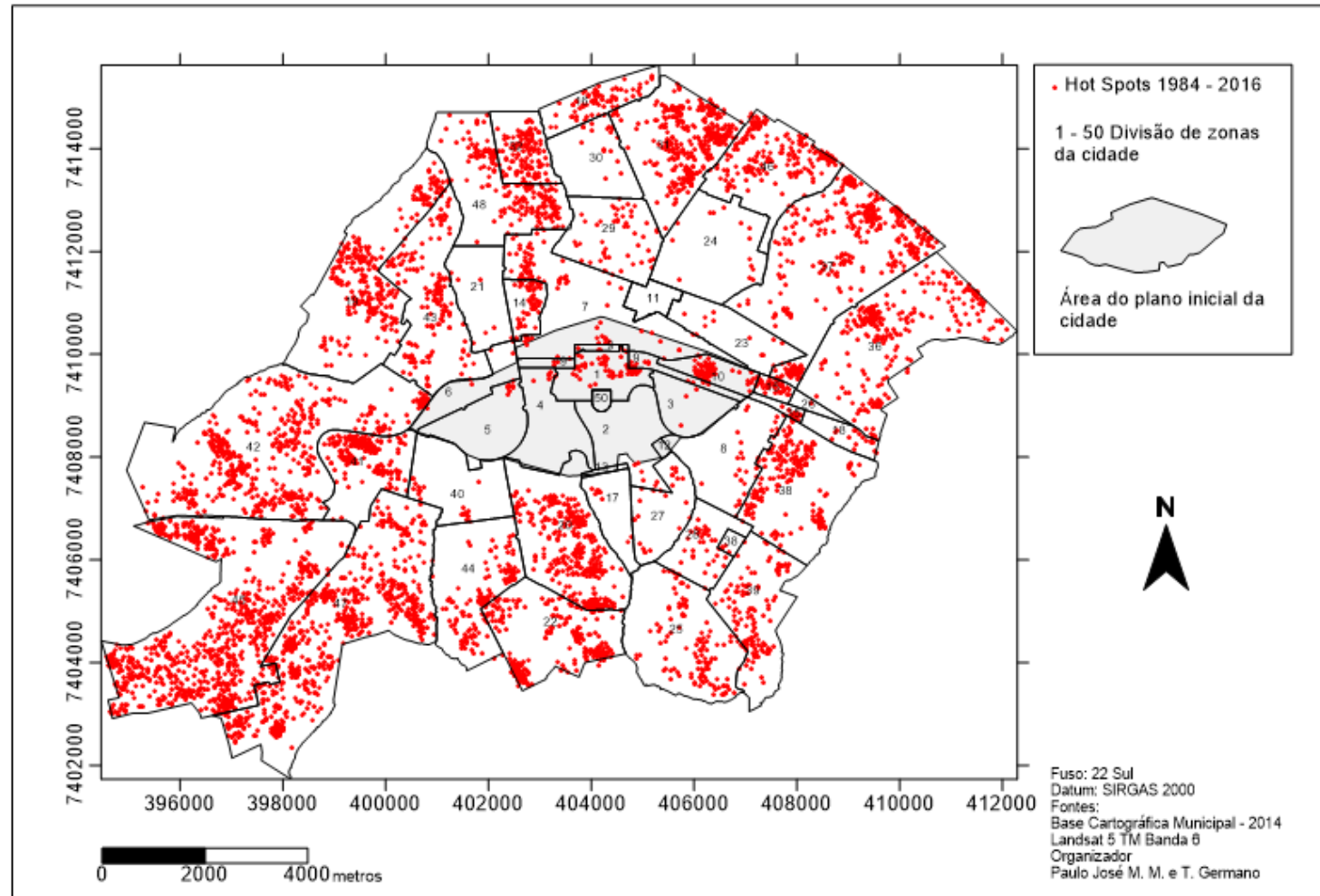
Figura 27: Avenida Juscelino Kubitschek de Oliveira – Maringá – PR.



Fonte: Fonte: Paulo J. M. M. e T. Germano (2017).

Além da análise por década, foi possível verificar que os mapas de *hot spots* em uma composição contemplando todo o período avaliado na presente pesquisa (Figura 28), no qual é possível verificar a predominância de IC fora da área do projeto inicial da cidade, com exceção das Zonas 01 e 10, devido aos motivos informados anteriormente.

Figura 28: *Hot Spots* – 1984 - 2016



Fonte: Fonte: Paulo J. M. M. e T. Germano (2017).

A composição dos mapas de *hot spot* envolvendo o período analisado (1984 - 2016), além de demonstrar a predominância da ocorrência fora da área do projeto inicial da cidade, também permite identificar alguns locais de aglutinações, ou seja, tratam-se de pontos nos quais observam-se anomalias térmicas recorrentes. Essa informação permite a aplicação de ações de mitigação de IC de forma pontual, e posteriormente se faz possível a verificação da efetividade das medidas.

## 7 CONCLUSÕES

As imagens termais referentes ao intervalo de anos de 1984 a 2016 propiciaram o resgate de informações das temperaturas aparentes das superfícies da cidade de Maringá, permitindo estruturar a primeira base referência para estudos de ilhas de calor urbana do município.

Os resultados correspondentes ao intervalo do presente estudo 1984 a 2016 permitem verificar que existe uma predominância das temperaturas mais elevadas nas áreas fora do projeto inicial, indicando que as áreas criadas adjacentes ao projeto da Companhia Melhoramentos, apresentam elementos para formação de ilhas de calor de superfície, principalmente por não apresentar vegetação frondosa como a observada na área do projeto inicial.

Tomando como parâmetro os resultados auferidos nessa pesquisa, os meses mais quentes (primavera/verão) apresentam médias de temperaturas máximas, mínimas e amplitudes, superiores ao período de outono/inverno, indicando que a menor insolação solar durante esse período influencia nos valores de temperatura das superfícies.

Com relação as temperaturas dos *hot spots*, verifica-se que nos períodos de primavera/verão, eles são 7,49 °C mais quentes do que nas estações mais frias (4,47 °C). Portanto, nos períodos mais quentes, as IC apresentam mais intensas indicando a necessidade de aplicação de medidas que minimizem esses efeitos.

Nas décadas de 1980 até 1990, nota-se a preponderância de *hot spots* fora da área central da cidade, indicando que as condições estabelecidas no projeto inicial da cidade favorecem a não ocorrência de ilhas de calor de superfície, mesmo em uma área consolidada, possuindo relação com a vegetação implantada.

Os dois últimos intervalos analisados (2000-2009 e 2010–2016), apresentaram informações preocupantes em relação aos *hot spots*, pois demonstraram aumento desse fenômeno na Zona 1 da cidade, indicando uma perda das condições térmicas encontradas nas análises anteriores.

Outro dado em relação aos valores encontrados, é que não foi possível traçar uma linha de tendência que indicaria se as temperaturas aumentaram ou diminuíram



nesse período analisado. As comparações entre os valores médios encontrados apresentaram pouca variação, não sendo possível constatar que as IC foram mais ou menos intensas.

Além da Zona 1, verifica-se a necessidade de se aplicar medidas de mitigação na formação de IC na Zona 10 (antiga área industrial), pois a mesma demonstrou em todo período analisado a formação de *hot spots*.

As zonas criadas posteriormente ao projeto da cidade, também necessitam de medidas que visem diminuição de ilhas de calor, pois são as áreas mais atingidas por esses fenômenos, porém as condições de temperaturas encontradas nas zonas centrais demonstram que é possível a atenuação dessas anomalias, utilizando para isso árvores de grande porte que promovem o sombreamento de elementos artificiais. Cabendo nesse caso, um especial cuidado na definição das árvores a serem implantadas na arborização urbana, definida pelo plano de arborização municipal.

As imagens termais demonstram um importante recurso para aplicação de medidas que visam a mitigação de ilhas de calor, pois além de fornecerem informações de condições pretéritas, foi possível localizar as áreas que mais necessitam de intervenções.

A periodicidade da coleta de imagens termais por satélites, possibilitam o monitoramento do comportamento das temperaturas da área urbana, portanto, além da verificação das IC é presumível a aplicação de medidas pontuais que visem sua mitigação, e posteriormente analisar se essas ações realmente surtiram o efeito esperado, podendo ser empregadas imagens com resoluções espaciais melhores.

Os resultados da presente pesquisa mesmo utilizando-se de comparações entre o projeto inicial da cidade com as zonas adjacentes, não teve um objetivo pejorativo, mas sim demonstrar que mesmo em uma área urbana consolidada, é possível ocorrer menos formações de IC de superfícies, demonstrando a possibilidade de aplicação de ações também nos bairros novos, a fim de promover a sustentabilidade urbana no quesito ilhas de calor.

## REFERÊNCIAS

ADLER, F. R.; TANNER, J. C. *Ecosistemas urbanos: princípios ecológicos para o ambiente construído*. Tradução Maria Beatriz de Medina. São Paulo: Oficina de textos, 2015.

M. K. Almutairi. Derivation of urban heat island. for Landsat-8 TIRS Riyadh City (KSA). Disponível em: [https://file.scirp.org/pdf/GEP\\_2015111314285678.pdf](https://file.scirp.org/pdf/GEP_2015111314285678.pdf). Acessado dia 01/12/2017.

AKBARI, H. BRETZ, S. HANFORD, J. KURN D., FISHMAN, B. TAHA H., BOS, W. *Monitoring Peak Power and Cooling Energy Savings of Shade Trees and White Surfaces in the Sacramento Municipal Utility District (SMUD) Service Area: Data Analysis, Simulations, and Results*. 1993.

AYOADE, J. O. *Introdução à climatologia para os trópicos*. 14ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand, 2003.

BAPTISTA, G. M. de M. *Sensores imageadores na faixa do termal (8 – 14 µm)*. In: MENESES, P.R.; ELENA, T. (Org.). *Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto*. Brasília: Universidade de Brasília, 2012.

BRAZEL A. J., N. SELOVER, R. VOSE AND G. HEISLER. *The tale of two climates—Baltimore and Phoenix urban LTER sites*. *Clim. Res.* 15, 123–135. 2000. Disponível em: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_nlinks&ref=1009763&pid=S0187-6236200900040000200007&lng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=1009763&pid=S0187-6236200900040000200007&lng=es). Data de acesso: 20/12/2017.

BIRD, A. C. *Principles of remote sensing: Eletromagnetic radiation reflectance and emissivity*. In: BELWARD. A. S.; VALENZUELA. C. R. (Org.). *Remote Sensing and geographical information systems for resource management in developing countries*. Londres: Kluwe Academic Publishers, 1991.

CHORLEY. R. J.; HOGGET. P. *Modelos físicos e de informações em geografia*. Rio de Janeiro. Livros técnicos e científicos. São Paulo. EDUSP, 1975.

CHRISTOFOLETTI. A; TEIXEIRA. A. L. de A. *Sistemas de informação geográfica*. Dicionário ilustrado. São Paulo: Editora Hucitec. 1997.

CMNP. Companhia Melhoramentos Norte do Paraná. *Colonização e desenvolvimento do norte do Paraná*. Publicação comemorativa do cinquentenário da Companhia Melhoramentos do Norte do Paraná. 3º ed. 2013.

CORDOVI. F. C. de S.; RODRIGUES. A. L. *Segregação socioespacial e a negligência ao patrimônio construído: legado dos projetos e práticas do poder público municipal em Maringá – PR (Brasil)*. Universidad de Barcelona: Scripta Nova Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales. Depósito Legal: B. 21.741-98. Vol. XVI, núm. 418 (41),

2012. Disponível em: <http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-418/sn-418-41.htm>. Data de acesso: 06/02/2015

ENDLICH. A. M. *Maringá e a rede urbana regional: resgate histórico-geográfico*. Boletim de Geografia. Maringá. DGE Universidade Estadual de Maringá. V.17 1-21.1999.

ENDLICH. A. M. *Maringá e a rede urbana regional: conteúdo urbano e concentração demográfica*. ACTA SCIENTIARUM, Universidade Estadual de Maringá. v. 21. (1999), p. 897 a 907.

EPA. Environmental Protection Agency. *Urban heat islands: Compendium Strategies*. 2008. Disponível em: <https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium>. Data de acesso: 14/10/2016.

FITZ. P. R. *Geoprocessamento sem complicação*. São Paulo: Editora Oficina de Textos. 2010.

FLORENZANO. T. G. *Iniciação em sensoriamento remoto*. São Paulo: Editora Oficina de Textos. 2007.

GARCIA, J. C. *Maringá Cidade Verde? O desafio ambiental da gestão das cidades*. Maringá: Eduem, 2006.

GARTLAND, L. *Ilhas de Calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas*; tradução Silvia Helena Gonçalves. São Paulo: Oficina de Textos 2010. 75

GERMANO, P. J. M. M. e T. *Investigação Multitemporal de Ilhas de Calor e de Frescor em Maringá, Paraná, Utilizando Imagens do Satélite LANDSAT 5 - 2000 A 2010*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Departamento de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Maringá. Maringá: 2012.

GREY, G. W.; DENEKE, F. J. *Urban forestry*. New York: JhonWiley, 1978.

HARTMANN, D. L.; BRETHERTON, C. S.; CHARLOCK, T. P.; CHOU, M. D.; DEL GENIO, A.; DICKISON, R. E.; FU, R.; HOUSE, R. A.; KING, M. D.; LAU, K. M.; LEVOY, C. B.; SOROOSCHIAN, S.; WASHBURNE, J. WIWLICKI, B.; WILLSSON, R. C. *Radiation clouds, water vapor, precipitation, and atmospheric circulation*, in EOS Science Plan, NASA GSFC, 29-114. 1999.

HOWARD. L. *The Climate Of London*. 1818. Disponível em: [https://www.urban-climate.org/documents/LukeHoward\\_Climate-of-London-V1.pdf](https://www.urban-climate.org/documents/LukeHoward_Climate-of-London-V1.pdf). Data de acesso: 18/06/2016

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Arranjos populacionais e concentrações urbanas do Brasil*. Rio de Janeiro. 2014 Disponível em: [http://www.ibge.gov.br/apps/arranjos\\_populacionais/2015/pdf/publicacao.pdf](http://www.ibge.gov.br/apps/arranjos_populacionais/2015/pdf/publicacao.pdf). Data de acesso: 10/05/2016

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Manual Técnico da Vegetação Brasileira. Série Manuais Técnicos em Geociências nº 1.* Rio de Janeiro, 1992.

IPARDES PARANÁ – Projeção das populações municipais (2016 – 2030). [http://www.ipardes.gov.br/pdf/indices/projecao\\_populacao\\_Parana\\_2016\\_2030\\_set.pdf](http://www.ipardes.gov.br/pdf/indices/projecao_populacao_Parana_2016_2030_set.pdf). Data de acesso: 02/08/2016

IPARDES PARANÁ. População e grau de urbanização segundo os municípios do Paraná 2010. Consultado em: [http://www.ipardes.gov.br/pdf/indices/Grau\\_Urbanizacao\\_2010\\_atualizada24\\_05\\_2011.pdf](http://www.ipardes.gov.br/pdf/indices/Grau_Urbanizacao_2010_atualizada24_05_2011.pdf). Data de acesso: 03/08/2016

JACOB, F.; FRANCOIS, P.; SCHUMUGGE, T. VERMONT, E.; FRENCH, A.; OGAWA, K. *Comparison of land surface emissivity and radiometric temperature derived from MODIS and ASTER.* Remote Sensing of Environment. Vol. 90. 2004. Disponível em: <https://pubag.nal.usda.gov/pubag/downloadPDF.xhtml?id=38203&content=PDF>. Data de acesso: 10/10/2016.

JENSEN. J. R. *Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres.* Tradução José Carlos Neves Epiphanyo (coord.). São José dos Campos: Editora Parêntese, 2009.

KUENZER, C. DECH, S. *Thermal Infrared Remote Sensing; sensors, methods, applications.* Springer Dordrecht Heidelberg New York: London, 2013.

KONOPACKI, S. H. AKBARI. *Energy Savings Calculations for Heat Island Reduction Strategies in Baton Rouge, Sacramento and Salt Lake City.* Berkeley. 2000. Disponível em: [https://aceee.org/files/proceedings/2000/data/papers/SS00\\_Panel9\\_Paper19.pdf](https://aceee.org/files/proceedings/2000/data/papers/SS00_Panel9_Paper19.pdf). Data de acesso: 20/05/2016

LE CORBUSIER. *A Carta de Atenas.* Tradução de Rebeca Scherer. São Paulo: Editora EDUSP, 1993.

LEITE, P.; KLEIN, R. M. 1990. *Vegetação.* In: IBGE. Geografia do Brasil: região Sul. v. 2. Rio de Janeiro. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1990. p. 113- 150.

LEITE. C. AWAD, J. di C. M. *Cidades Sustentáveis, cidades inteligentes: desenvolvimento sustentável em um planeta urbano.* Porto Alegre: Bookman, 2012.

LEITE, C.; TELLO, R. Indicadores de sustentabilidade no desenvolvimento imobiliário urbano: relatório de pesquisa. São Paulo, Fundação Dom Cabral/Secovi, 2010.

MAACK, R. *Geografia física do Estado do Paraná.* Curitiba, M. Roesner, 1968. p. 350.

MANLEY, G., *On the frequency of snowfall in metropolitan England*, Quart. Journal Royal Meteorological Society, vol. 84, pp.70–72. 1958.

MARINGÁ. Prefeitura Municipal. Secretaria de Planejamento. Divisão de modernização. Administrativa e Controle de Qualidade. *Perfil da Cidade de Maringá*. Maringá, 1997.

MARINGÁ, Prefeitura Municipal. Secretaria de Meio Ambiente – SEMA. Plano municipal de conservação e recuperação da Mata Atlântica – Maringá – Paraná. Maringá, 2012.

MENEGUETTI, K. S. *Cidade Jardim, cidade sustentável*. A estrutura ecológica e a cidade de Maringá. Maringá.: EDUEM, 2009.

MENESES, P. R. *Princípios do sensoriamento remoto*. In: MENESES, P.R.; ELENA, T. (Org.). Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. Brasília: Universidade de Brasília, 2012.

MILANO, M. S. *Avaliação quali-quantitativa e manejo da arborização urbana: exemplo de Maringá – PR*. 120f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1988. 77

MINEROPAR. *Atlas comentado da geologia e dos recursos minerais do Estado do Paraná*. 2001. Disponível em: <http://www.mineropar.pr.gov.br/arquivos/File/MapasPDF/atlasgeo.pdf>. Data de acesso: 11/03/2016.

MINEROPAR. *Atlas geomorfológico do Estado do Paraná*. Disponível em: [http://www.mineropar.pr.gov.br/arquivos/File/2\\_Geral/Geomorfologia/Atlas\\_Geomorfologico\\_Parana\\_2006.pdf](http://www.mineropar.pr.gov.br/arquivos/File/2_Geral/Geomorfologia/Atlas_Geomorfologico_Parana_2006.pdf). Data de acesso: 11/03/2016.

MOOTZ, J.; MATHEWS, L. *Displaying and stretching 16-bit per band digital imagery*. Salt Lake City, Utah, 2010. Disponível em: [https://www.fsa.usda.gov/Assets/USDA-FSA-Public/usdfiles/APFO/support-documents/pdfs/film\\_vs\\_digital\\_linear\\_non-linear\\_stretches.pdf](https://www.fsa.usda.gov/Assets/USDA-FSA-Public/usdfiles/APFO/support-documents/pdfs/film_vs_digital_linear_non-linear_stretches.pdf). Data de acesso: 15/09/2016.

MOREIRA, M. A. *Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos: INPE, 2001.

MOREIRA, M. A. *Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação*. Viçosa: Universidade Estadual de Viçosa, 2012.

MOSTAFAVI, M. *Urbanismo Ecológico*. Tradução. Joana Canedo. São Paulo: GG. 2014

MONTEIRO, C. A. F. *Clima Urbano*. São Paulo: Editora Contexto, 1975.

NASA. National Aeronautics and Space Administration. Landsat 9 Continuing the legacy – 2020 and beyond. Disponível em: [www.landsat.ggsfc.nasa.gov/?page\\_id13150](http://www.landsat.ggsfc.nasa.gov/?page_id13150). Data de acesso: 21/10/2016.

NOELLI, F. S.; MOTA, L. T. *A pré-história da região onde se encontra Maringá, Paraná*. In: DIAS, Reginaldo Benedito; GONÇALVES, José Henrique Rollo (Orgs.). *Maringá e o Norte do Paraná: estudos de história regional*. Maringá: Eduem, 1999. p.5-19.

OKE, T. R.; SPRONKEN-SMITH, R. A.; JAHUREGUI, E.; GRIMMOND, C. S. B. The energy balance of central Mexico City during the dry season. *Atmospheric Environment*, v. 33, p. 3919-3930, 1999. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/S1352-2310\(99\)00134-X](http://dx.doi.org/10.1016/S1352-2310(99)00134-X). Data de acesso 06/01/2017.

PONZONI, F. J.; JUNIOR, J. Z.; LAMPARELLI, R. A. C. *Calibração Absoluta de Sensores Orbitais*. Conceitos, principais procedimentos e aplicações. São José dos Campos: Editora Parêntese, 2007.

PONZONI, J. F. *Calibração Absoluta de Sensores Orbitais; conceituação, principais procedimentos e aplicação*. São José dos Campos - SP: Ed. Parêntese, 2007.

QUATTROCHI, D. A.; RIDD, M. K.. *Measurement and analysis of thermal energy responses from discrete urban surfaces using remote sensing data*. *International Journal of Remote Sensing*, 15, 1991 – 2022. 1994.

RICH, B. R. JANOS L, Skunk Works. *A Personal Memoir of My Years at Lockheed*. Nova York: Little Brown, 1994.

RECCO, R. *Á sombra dos ipês da minha terra*. Midiograf, Londrina, 2005.

REGO, R. L. *As cidades plantadas: os britânicos e a construção da paisagem do norte do Paraná*. Londrina, Humanidades, 2009.

REGO, R. L. *O desenho urbano de Maringá e a idéia de cidade-jardim*. *Revista Acta Scientiarum*. 2001. Disponível em: <http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/view/2801>. Data de acesso: 20/10/2016.

ROBBINS, J., *High-tech câmera sees what eyes can not*. *New York Times: Science Section*. 1999. Apud JENSEN, J. R. *Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres*. Tradução José Carlos Neves Epiphânio (coord.). São José dos Campos: Editora Parêntese, 2009.

RODERJAN, C. V.; GALVÃO, F.; KUNIYOSHI, Y. S.; HATSCHBACH, G. G. *As Unidades Fitogeográficas do Estado do Paraná*. In: *Ciência e Meio Ambiente – Fitogeografia do Sul da América*. vol. 24. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2002. p.75-92.

ROGERS, Richard. *Ciudades Para um Pequeño Planeta*. Barcelona: GGili. 2001.

ROLNIK, R. *O que é cidade*. São Paulo: Editora Brasiliense, 1988.

ROTH, M. *Review of urban climate research in (sub)tropical regions. International Journal of Climatology.* 2007. Disponível em: <http://profile.nus.edu.sg/fass/geomr/roth%20ijc07.pdf>. Data de acesso: 10/02/2015.

SABINS, F.F. *Remote sensing, 3rd edn.* New York: Wiley, p. 450. 1996.

SAMPAIO, A. C. F. *Análise da arborização de vias públicas da principais zonas do plano piloto de Maringá – PR, 2006.* Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Maringá.

SAMPAIO, A. C. F. *Processo de degradação e o estado de conservação da flora nos fragmentos florestais da área rural do município de Maringá, Paraná.* Tese (Doutorado em Geografia) – Departamento de Geografia da Universidade Estadual de Maringá. Maringá: 2013.

SCHMUGGE, T., FRENCH, A., RITCHIE, J. C., RANGO, A., PELGRUM, H. *Temperature and emissivity separation from multispectral thermal infrared operations. Remote Sensing of environmental.* Vol 79. 2002. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425701002723>. Data de acesso: 10/01/2014.

SCHWARZ, N. MANCEUR, A. M. *Analyzing the Influence of Urban Forms on Surface Urban Heat Islands in Europe. Journal of Urban Planning and Development.* 2015. Disponível em: <http://ascelibrary.org/doi/full/10.1061/%28ASCE%29UP.1943-5444.0000263>. Data de acesso: 25/11/2016.

SHEPHERD, J. M. *A review of current investigations of urban-induced rainfall and recomendations of the future.* Earth Interactions Vol 9. 2005. Disponível em: <http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/EI156.1>. Data de acesso: 10/03/2015.

STREUTKER, D.R., *Satellite-measured growth of the urban heat island of Houston, Texas, Remote Sensing of Environment,* vol. 85, pp.282–289. 2003. Disponível em: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.458.227&rep=rep1&type=pdf>. Data de acesso em 12/10/2016.

TANG, H.; Li, Z. L. *Quantitative remote sensing in thermal infrared; Theory and applicacions.* Springer Heidelberg New York Dordrecht: London, 2014.

TEMPFLI, K.; KERLE, N.; HUURNEMAN, G. C.; JANSSEN, L F. *Principles of remote sensing.* Publicado por: The Internacional Institute for Geo-information Science and Earth Observation (ITC). Holanda, 2009.

TIANGCO. M. LAGMAY, A. M. F. ARGETE, J. ASTER-based study of the night-time urban heat island effect in Metro Manila. *Int. J. Remote Sensing.* 2008. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Alfredo\\_Mahar\\_Lagmay/publication/248977604\\_ASTER-based\\_study\\_of\\_the\\_night-](https://www.researchgate.net/profile/Alfredo_Mahar_Lagmay/publication/248977604_ASTER-based_study_of_the_night-)

time\_urban\_heat\_island\_effect\_in\_Metro\_Manila/links/5421f3560cf238c6ea678298.pdf.  
Data de acesso: 15/02/2017.

TOWS, R. L. *Grandes Projetos Urbanos como Reprodução da Lógica do Capital em Maringá (PR)*. Tese (Doutorado em Geografia) – Departamento de Geografia da Universidade Estadual de Maringá. Maringá: 2015.

VAUGHN, R. G.; CALVIN, W. M.; TARANIK, J. V. *SEBASS hyperspectral thermal infrared data: Surface emissivity measurement and mineral mapping*. Remote Sensing Environmental, Vol 85. 2002. Disponível em: <https://astrogeology.usgs.gov/people/greg-vaughan>. Data de acesso: 20/05/2016.

80

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A.L.R.; LIMA, J.C.A. *Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal*. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1991.

VOOGT, J. A.; OKE, T. R. *Thermal remote sensing of urban climates*. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 86, p. 370-384, 2003. Disponível em <<http://www.mendeley.com/research/thermal-remote-sensing-of-urban-climates/>>. Acesso em 15/10/2016.

WENG, Q. *Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 64(4), p. 335–344. 2009.

WENG, Q.; QUATTROCHI, D.A. *Thermal remote sensing of urban areas: Na introduction to the special issue*. *Remote Sensing of Environment*. v.p.104, 119–122. 2003.

WILSON, J. S.; CLAY, M.; MARTIN, E.; STUCKEY, D.; VEDDER-RISCHD, K. *Evaluating environmental influences of zoning in urban ecosystems with remote sensing*. *Remote Sensing of Environment*, v. 86, n. 3, p. 303-321, 2003. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/222173175\\_Evaluating\\_Environmental\\_Influences\\_of\\_Zoning\\_in\\_Urban\\_Ecosystems\\_with\\_Remote\\_Sensing](https://www.researchgate.net/publication/222173175_Evaluating_Environmental_Influences_of_Zoning_in_Urban_Ecosystems_with_Remote_Sensing). Data de acesso: 12/06/2016

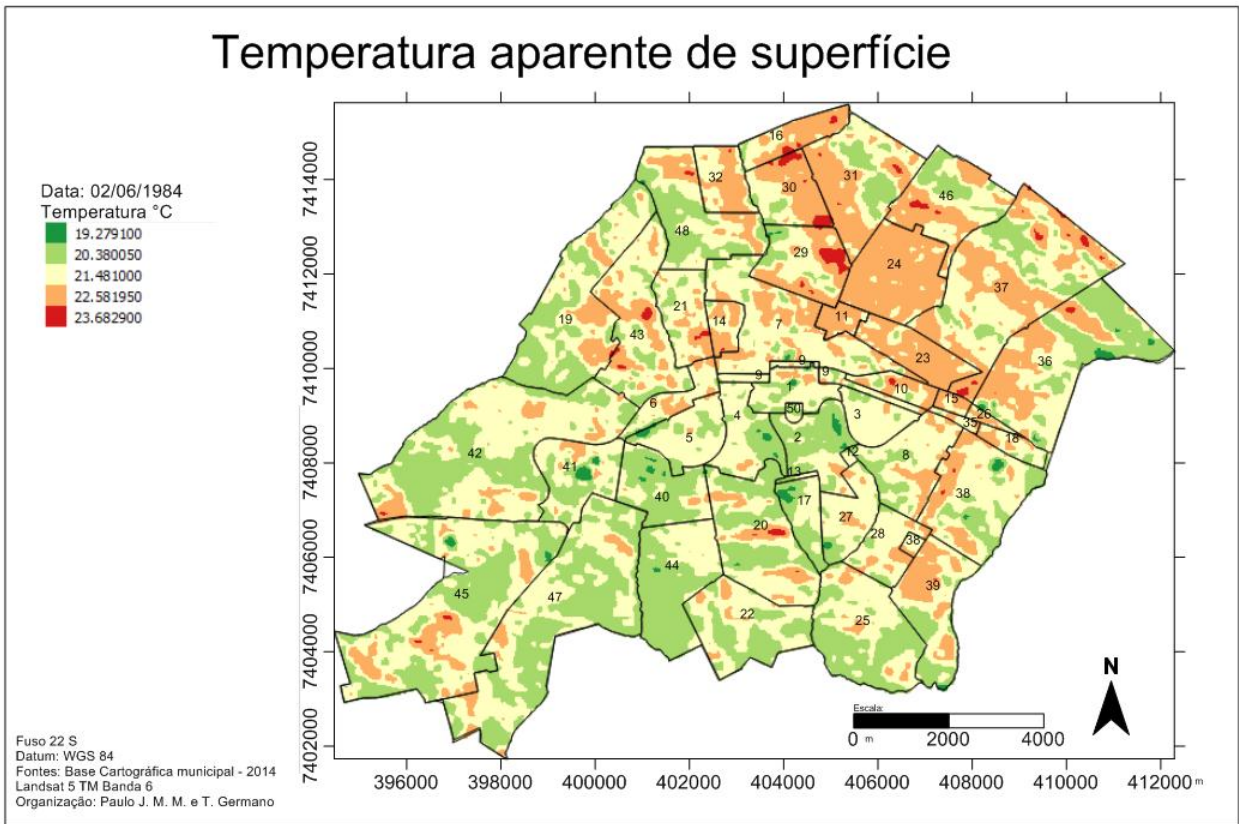
YOSHIKADO, H. *Vertical structure of the sea breeze penetrating through a large urban complex*. *J. Appl. Meteor.*, Vol. 29, pp. 878–891. 1990.

ZAVATINI, J. A. *O Tempo e o Espaço nos Estudos do Ritmo do Clima no Brasil*. Geografia, Rio Claro, Vol. 27, p. 101-131, ago. 2002.

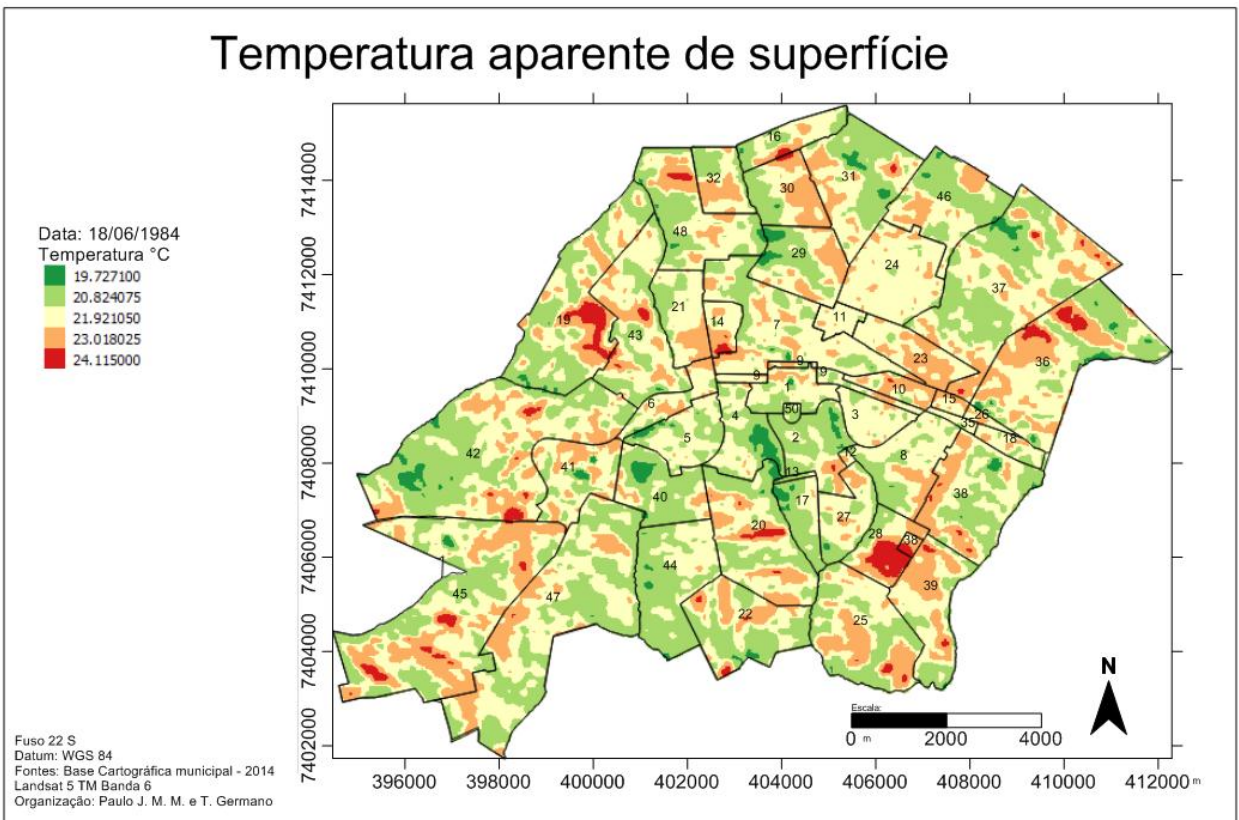


**APÊNDICE A – Mapas de temperaturas de superfície dos anos de 19984 a 2016.**

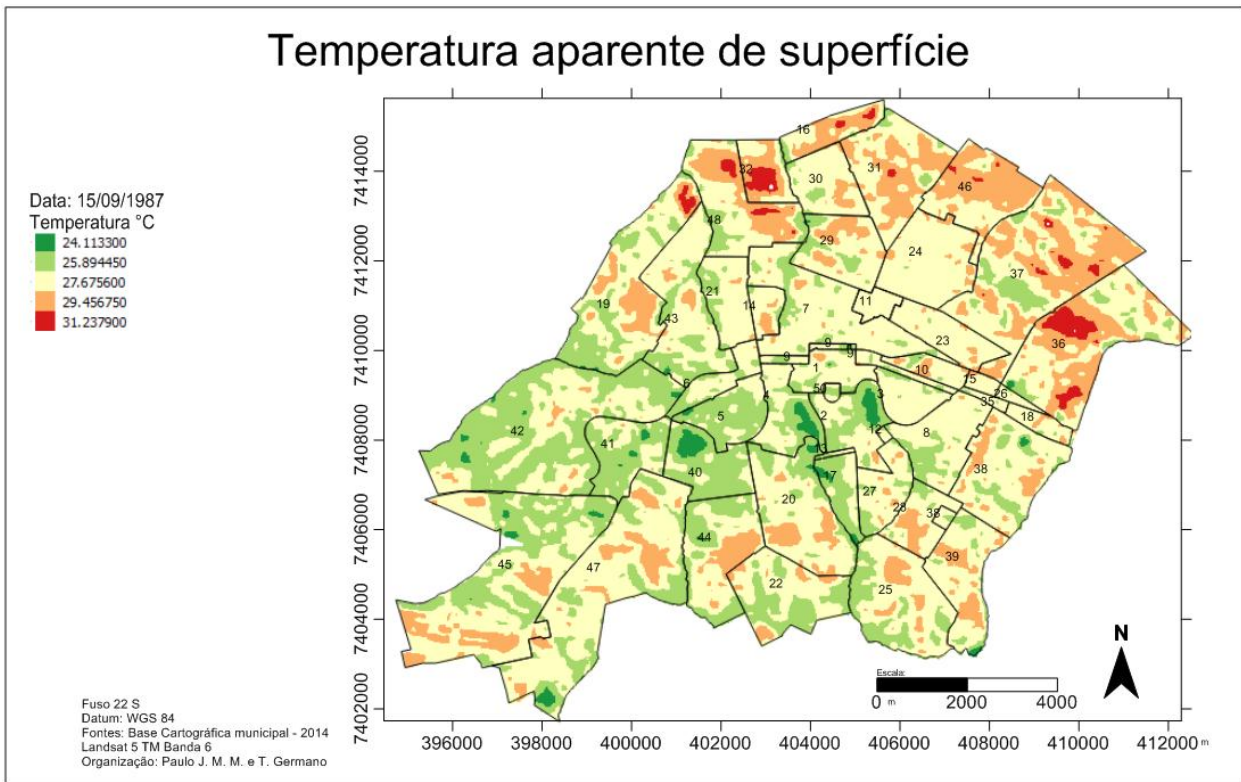
### Temperatura aparente de superfície



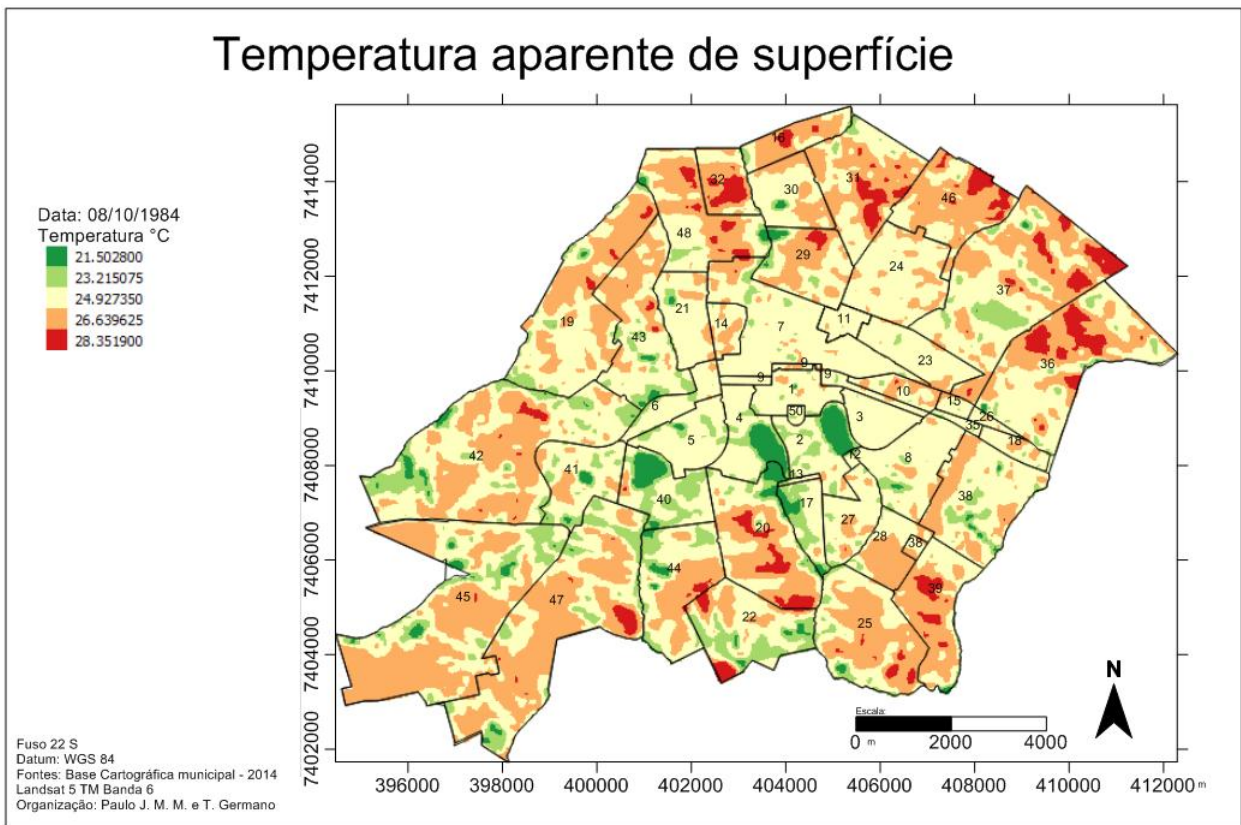
### Temperatura aparente de superfície



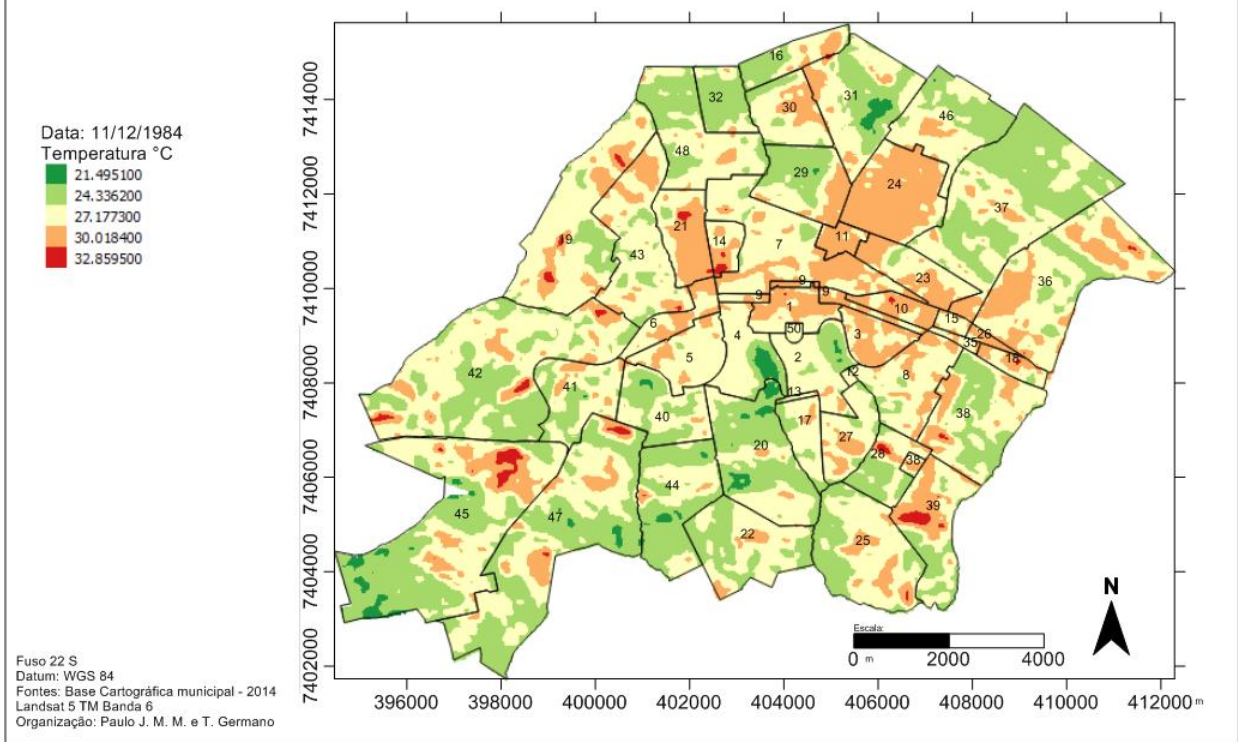
### Temperatura aparente de superfície



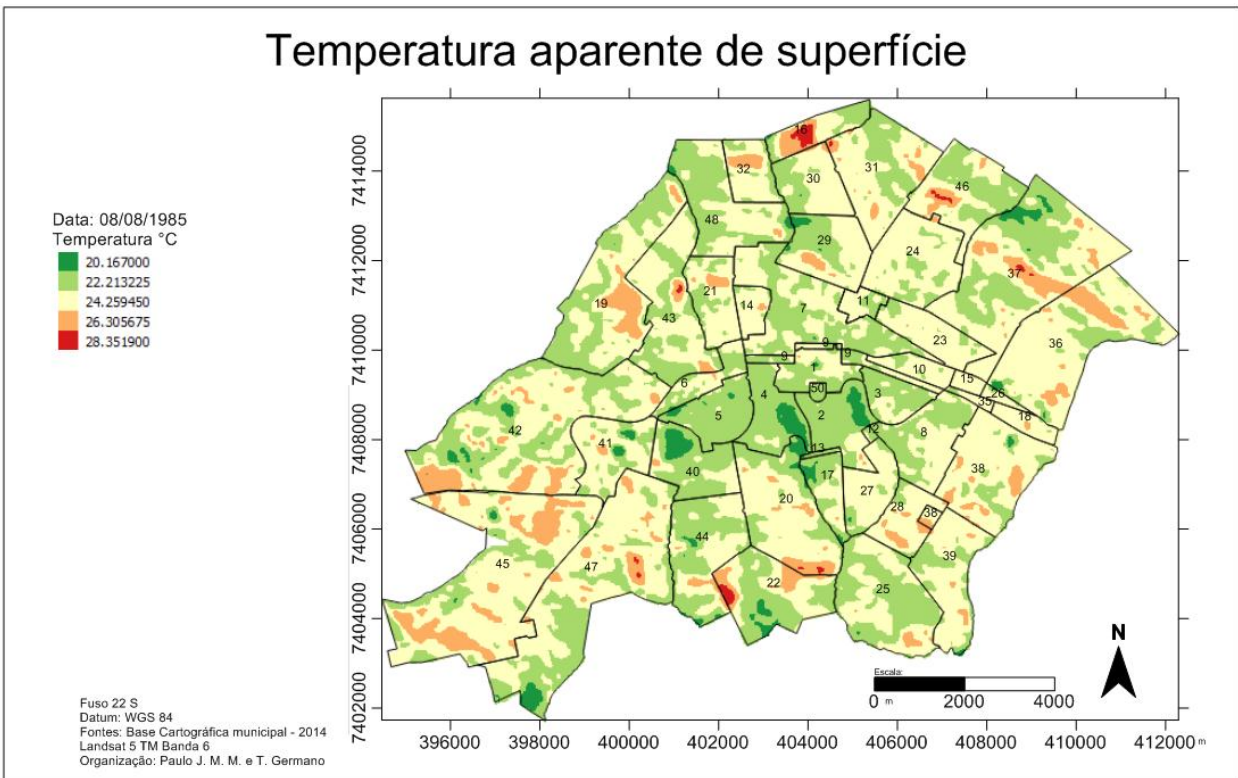
### Temperatura aparente de superfície

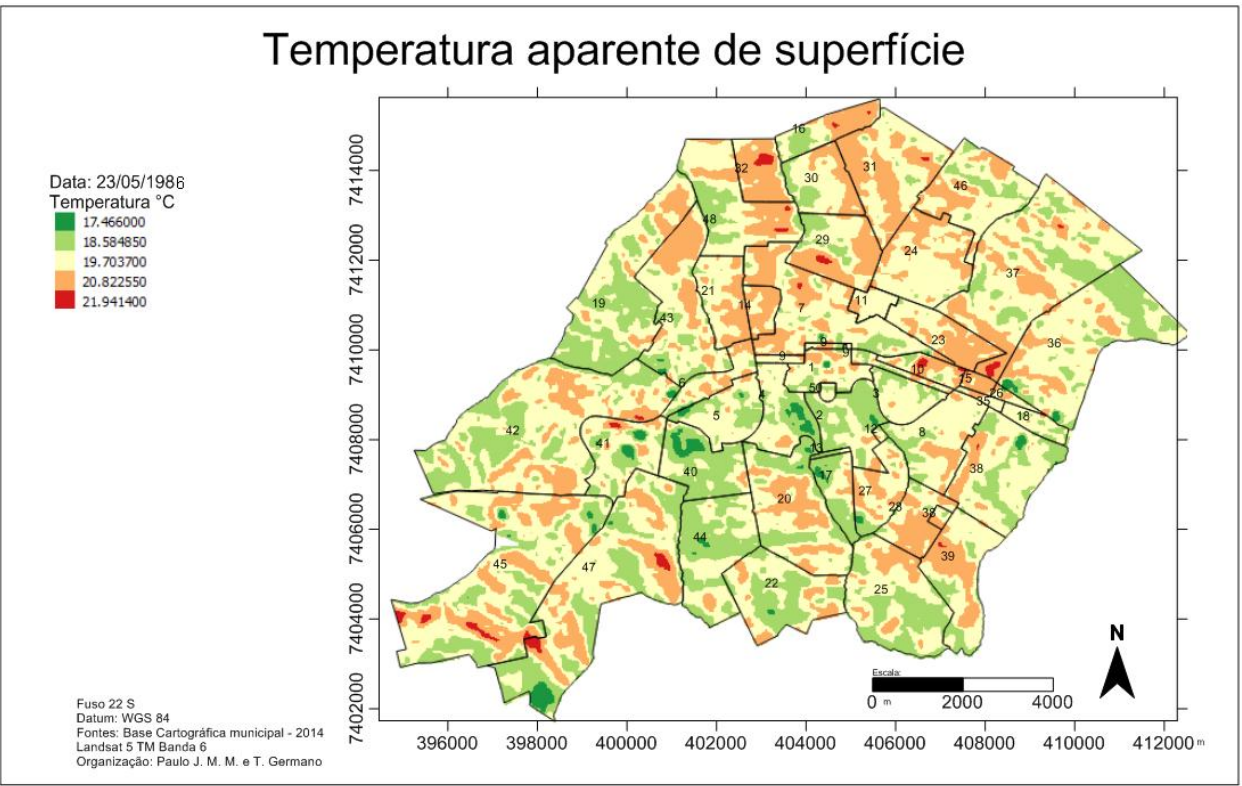
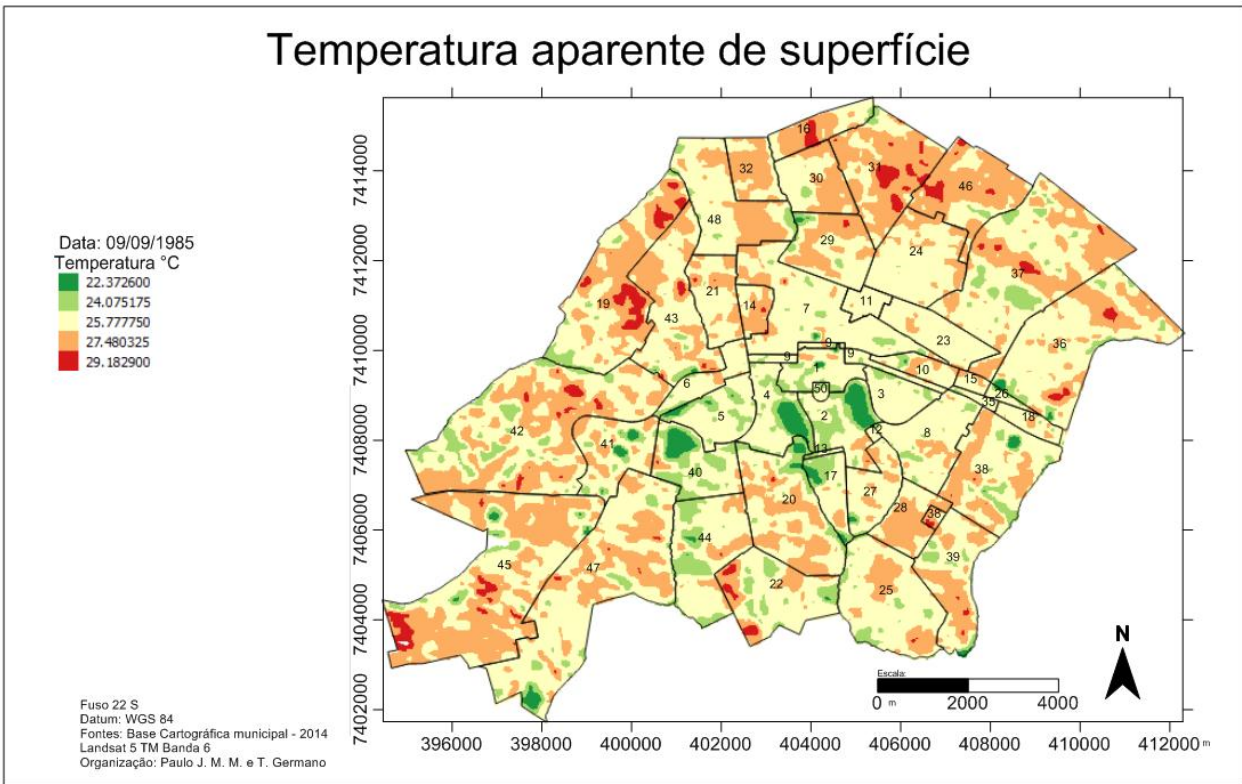


### Temperatura aparente de superfície

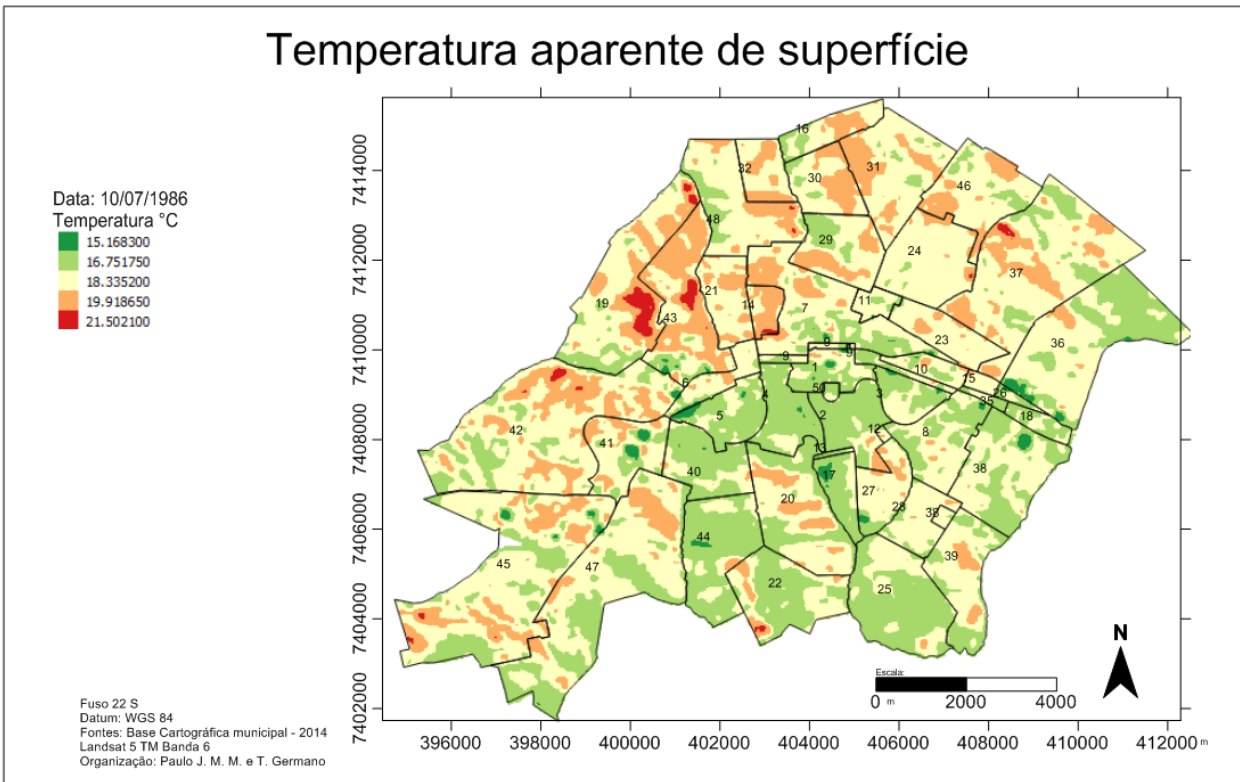


### Temperatura aparente de superfície

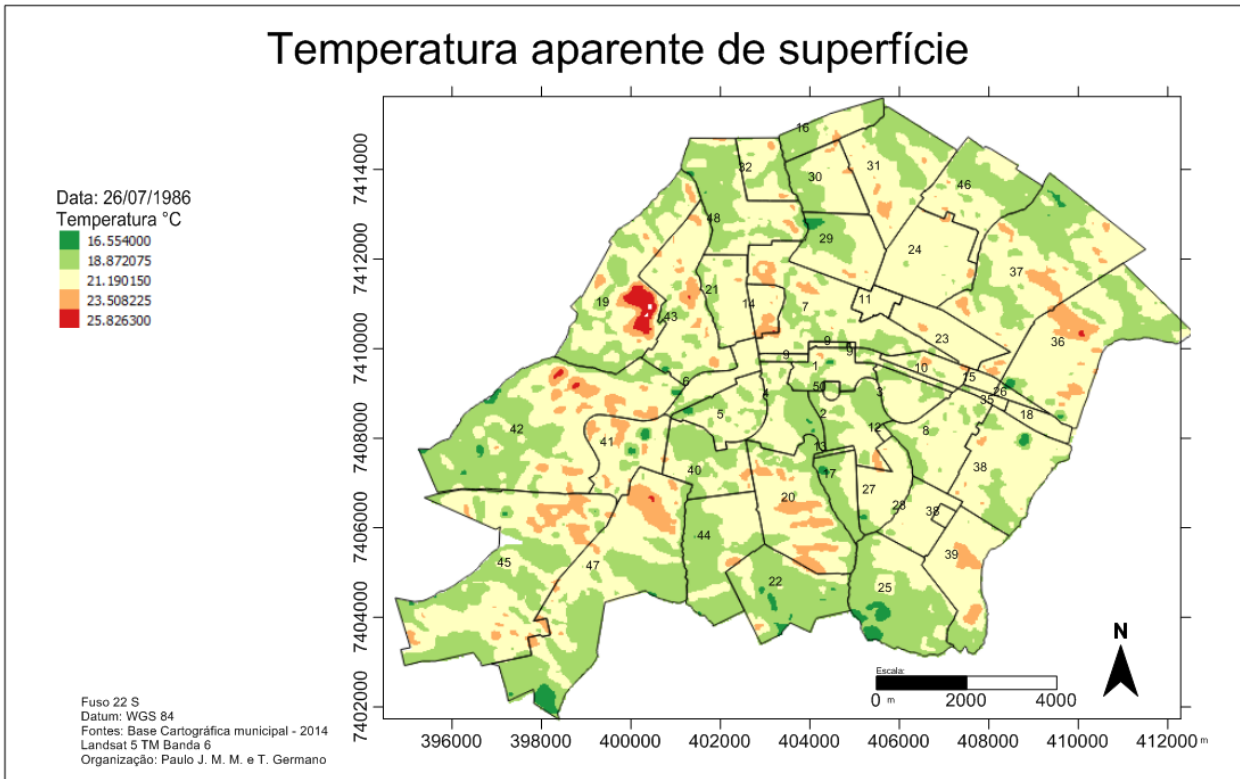




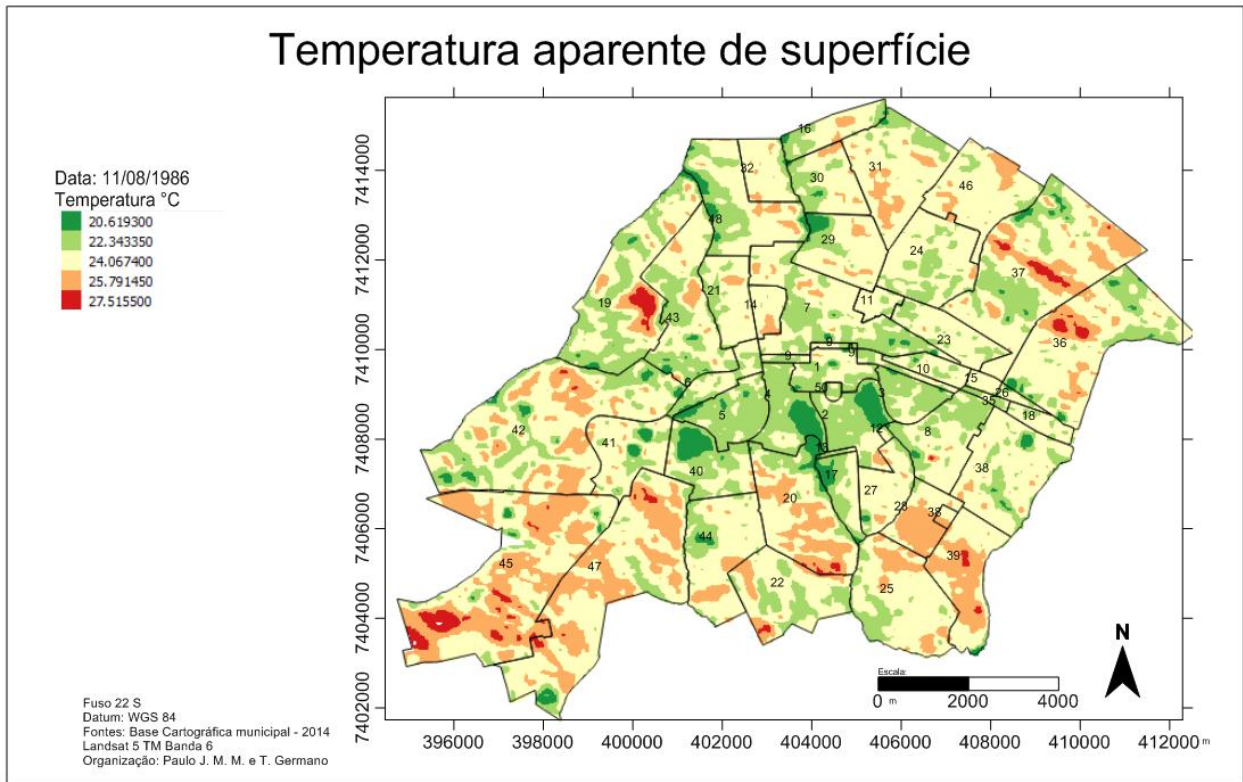
### Temperatura aparente de superfície



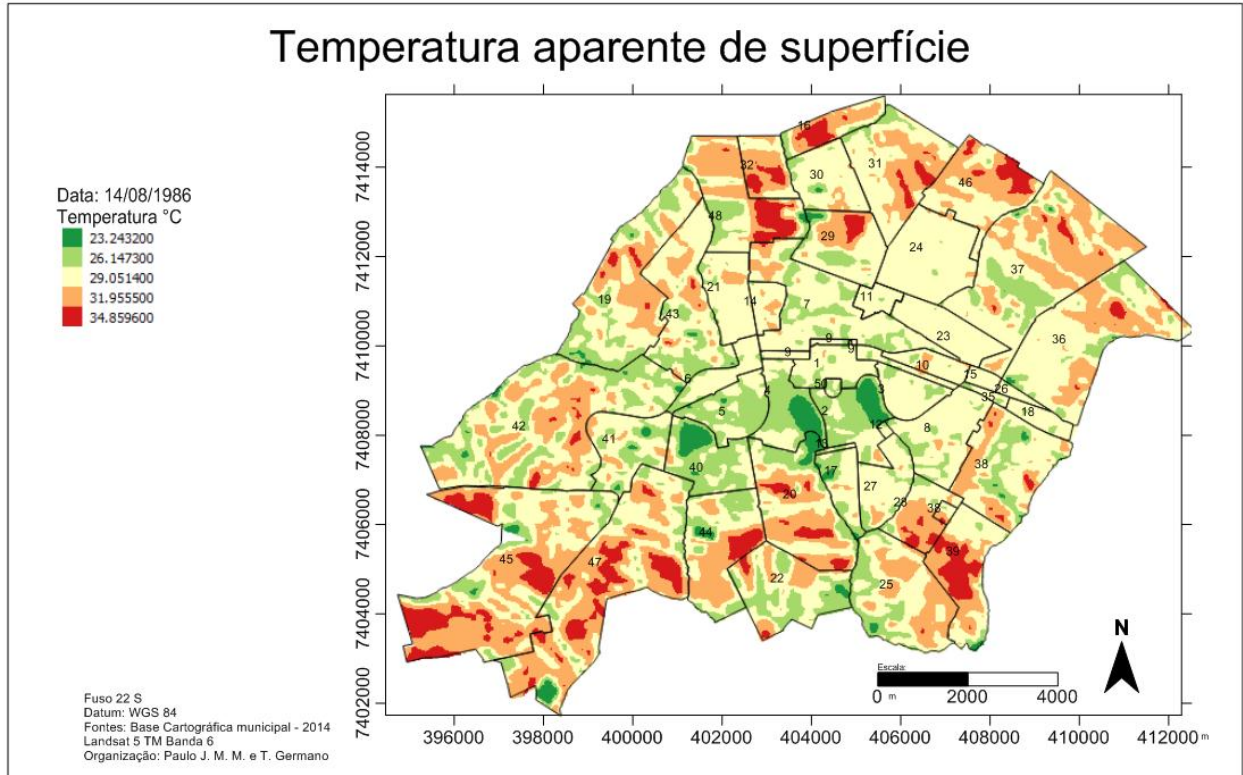
### Temperatura aparente de superfície

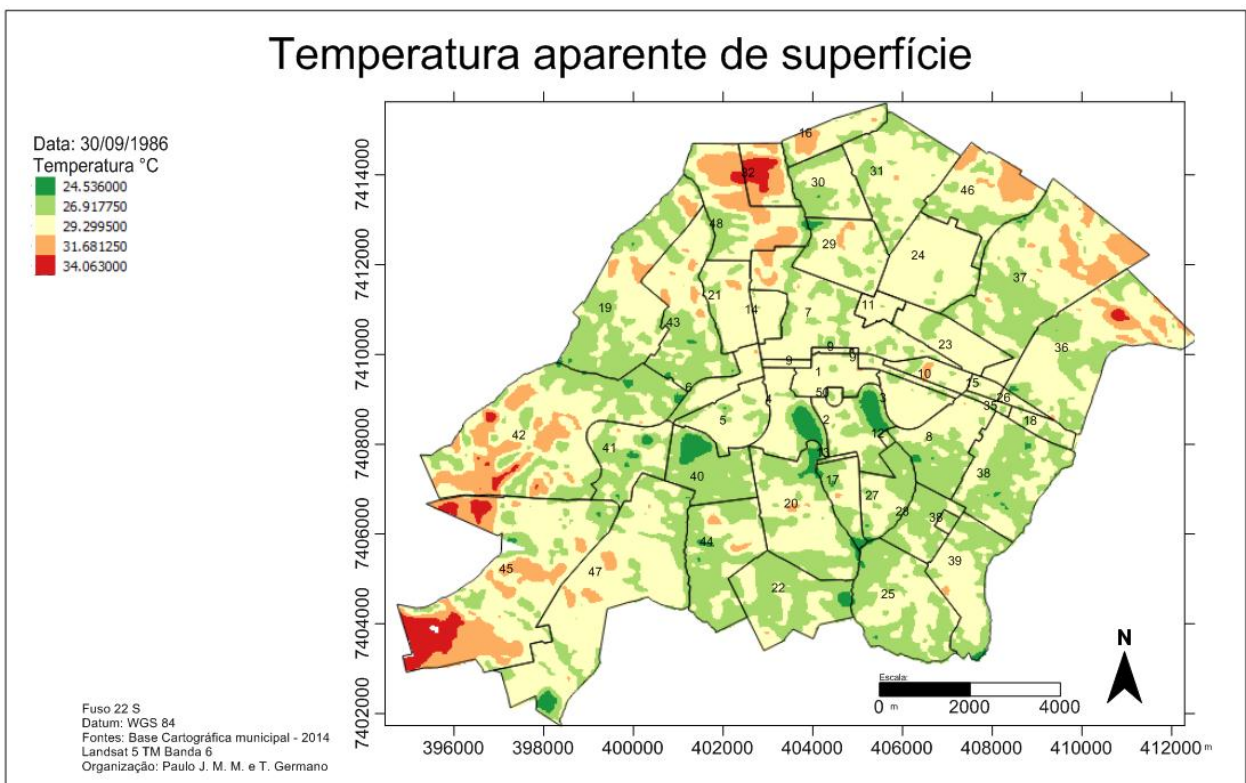
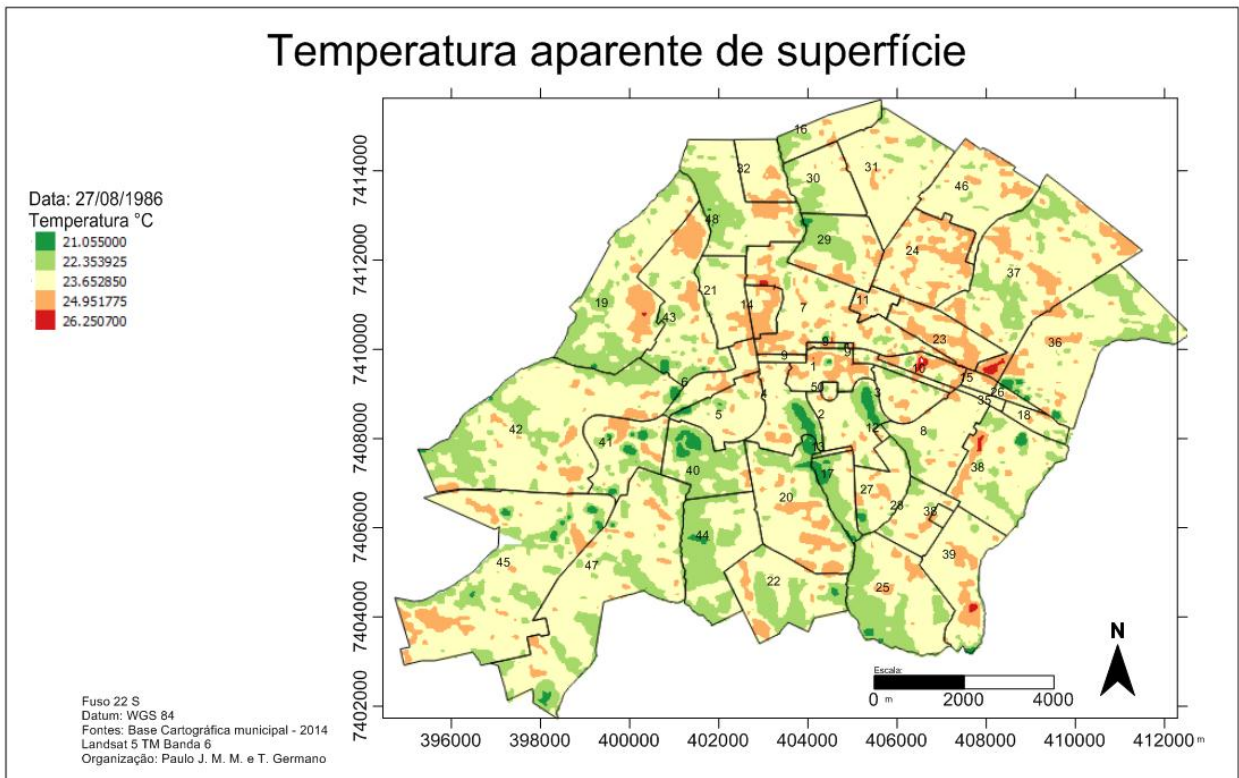


### Temperatura aparente de superfície



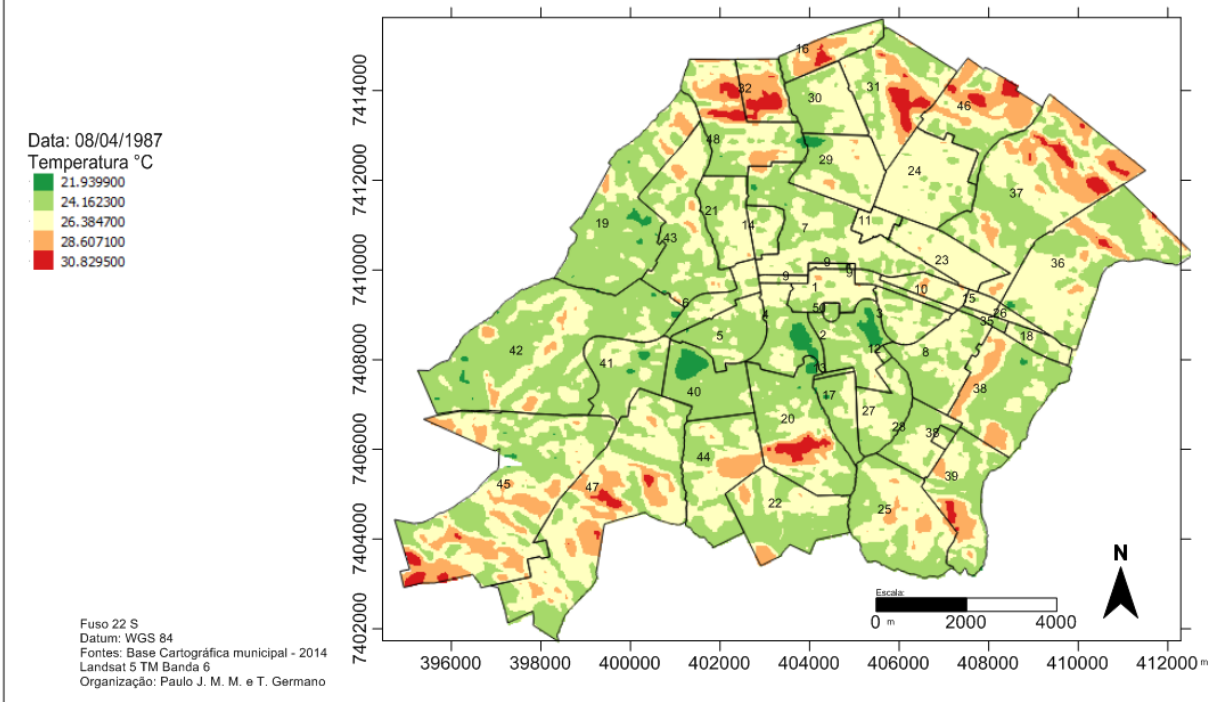
### Temperatura aparente de superfície



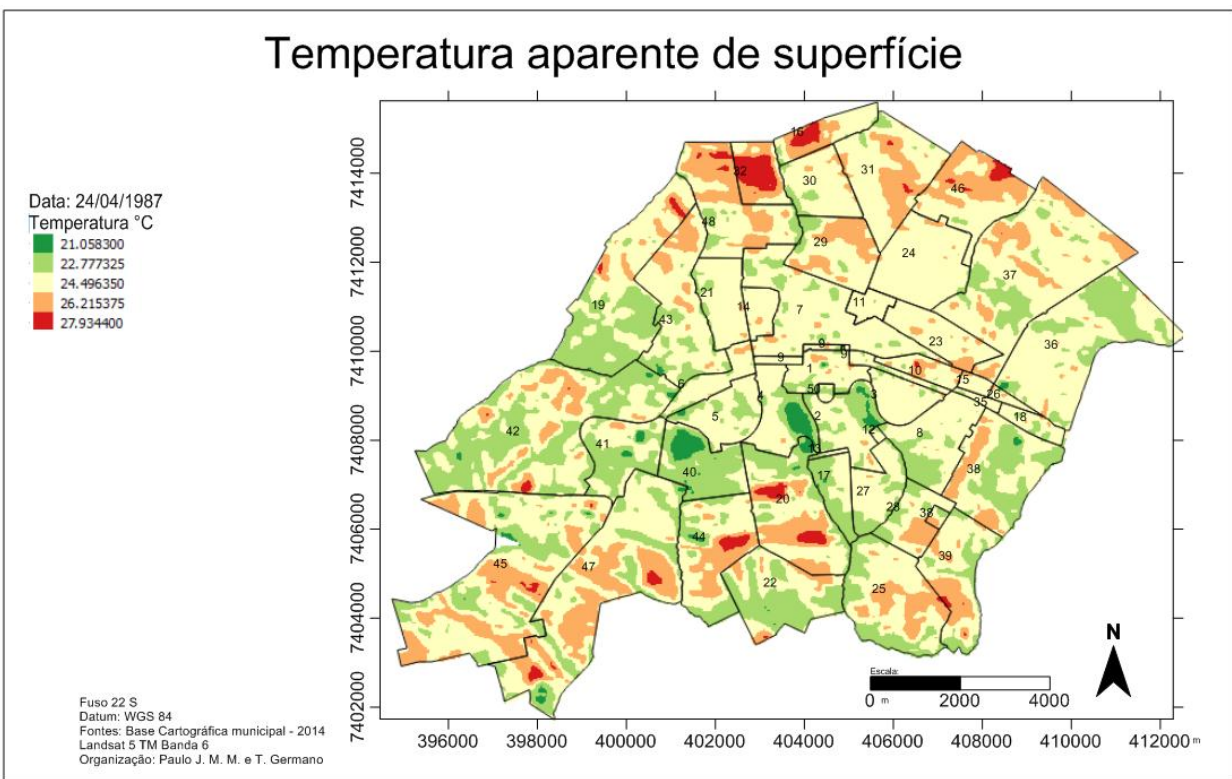


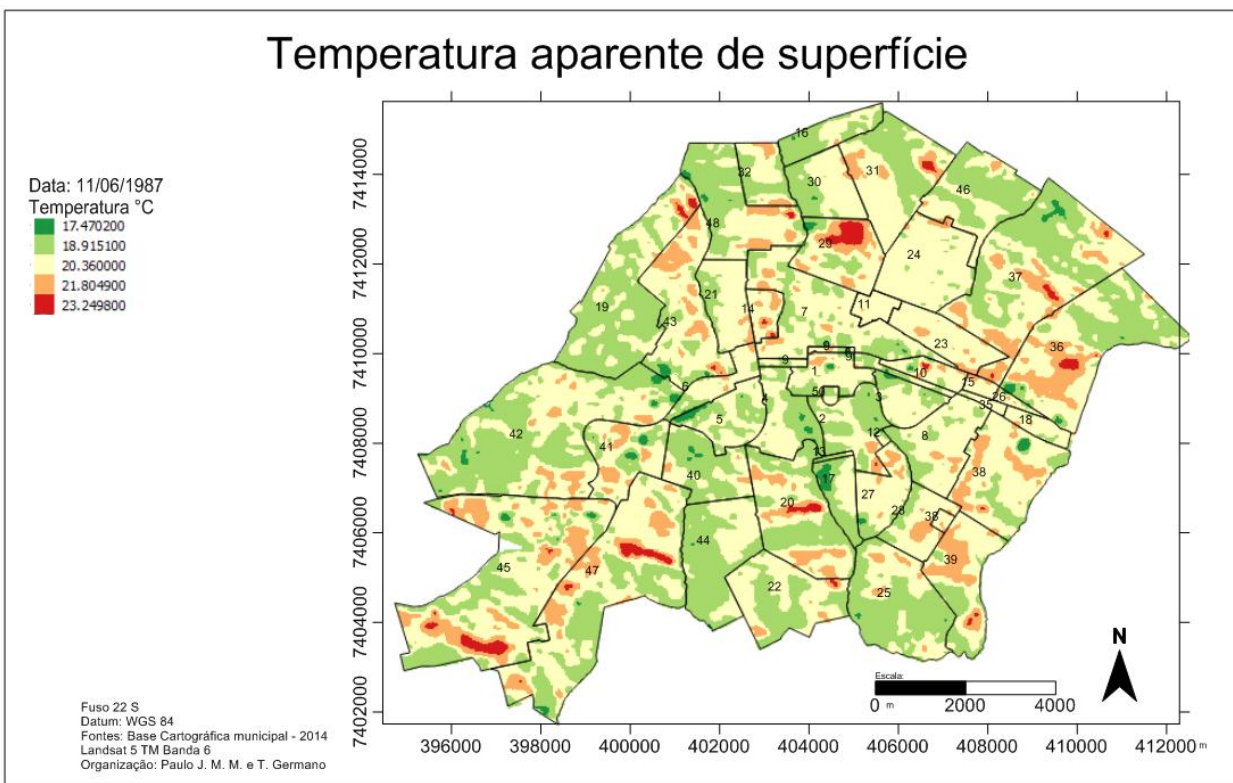
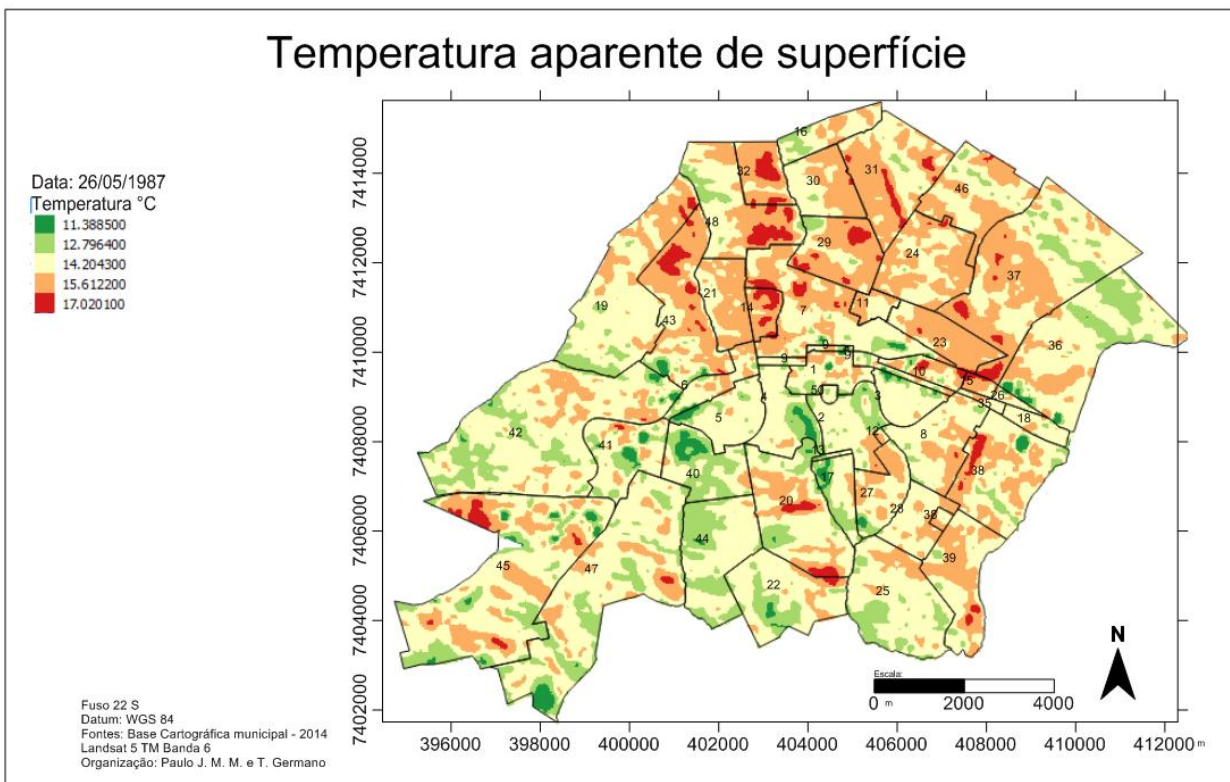


### Temperatura aparente de superfície



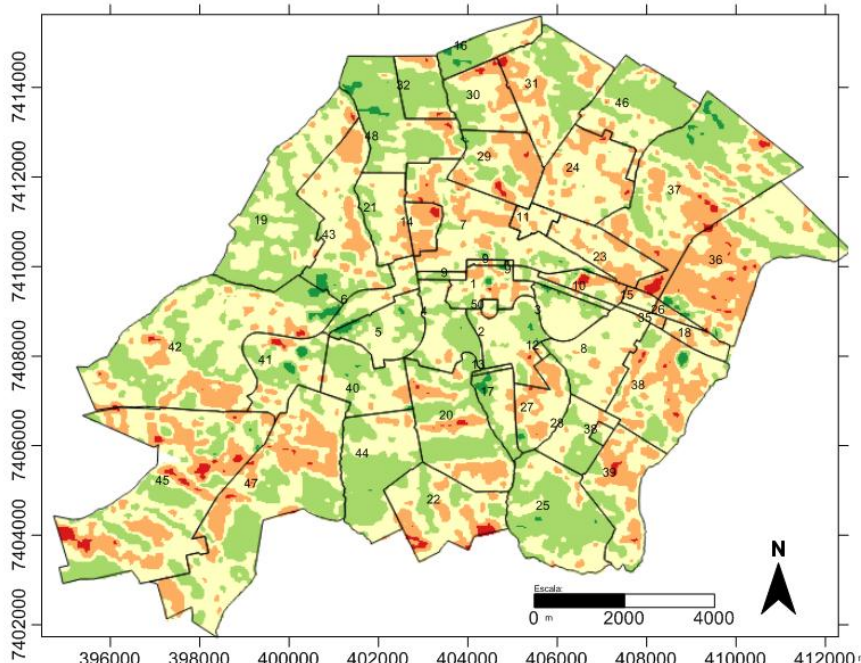
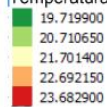
### Temperatura aparente de superfície





### Temperatura aparente de superfície

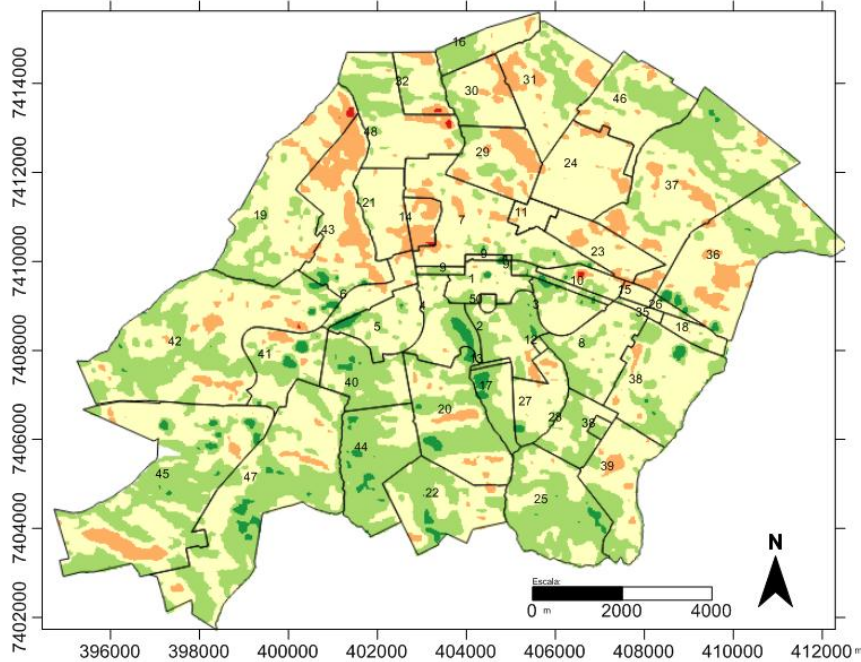
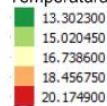
Data: 13/07/1987  
 Temperatura °C



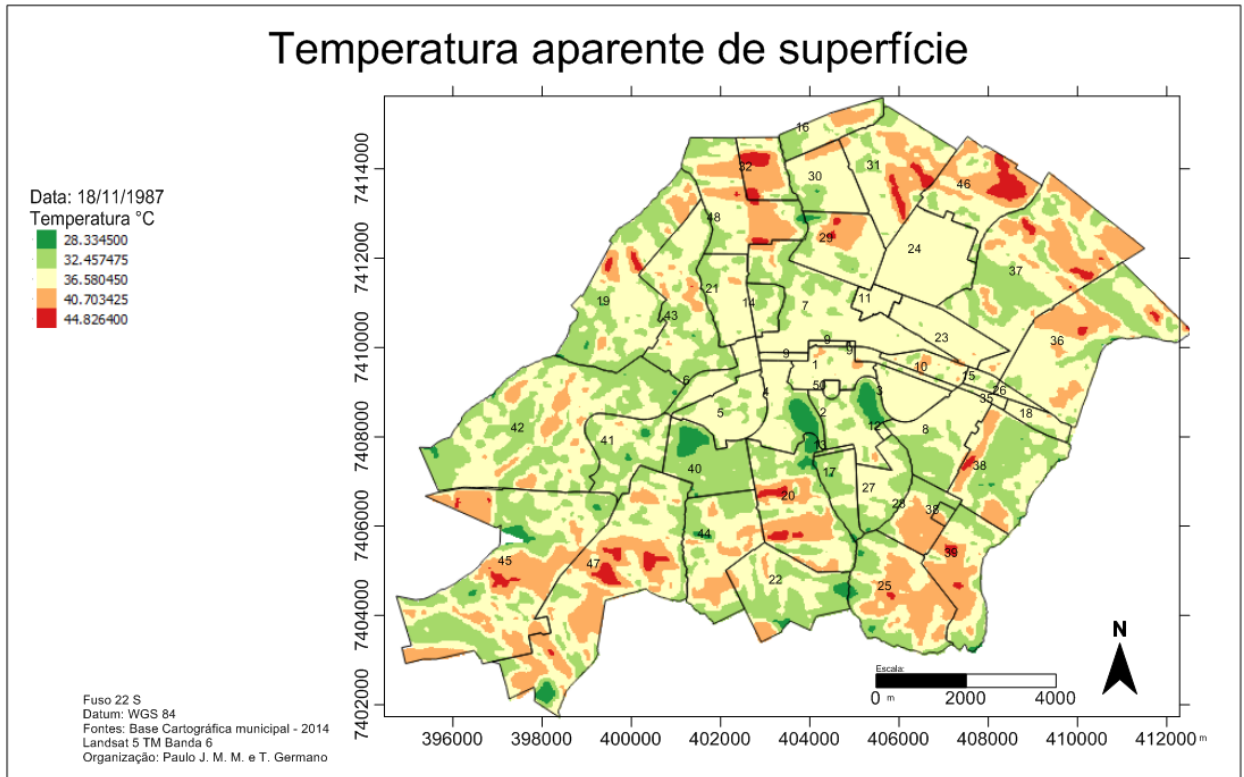
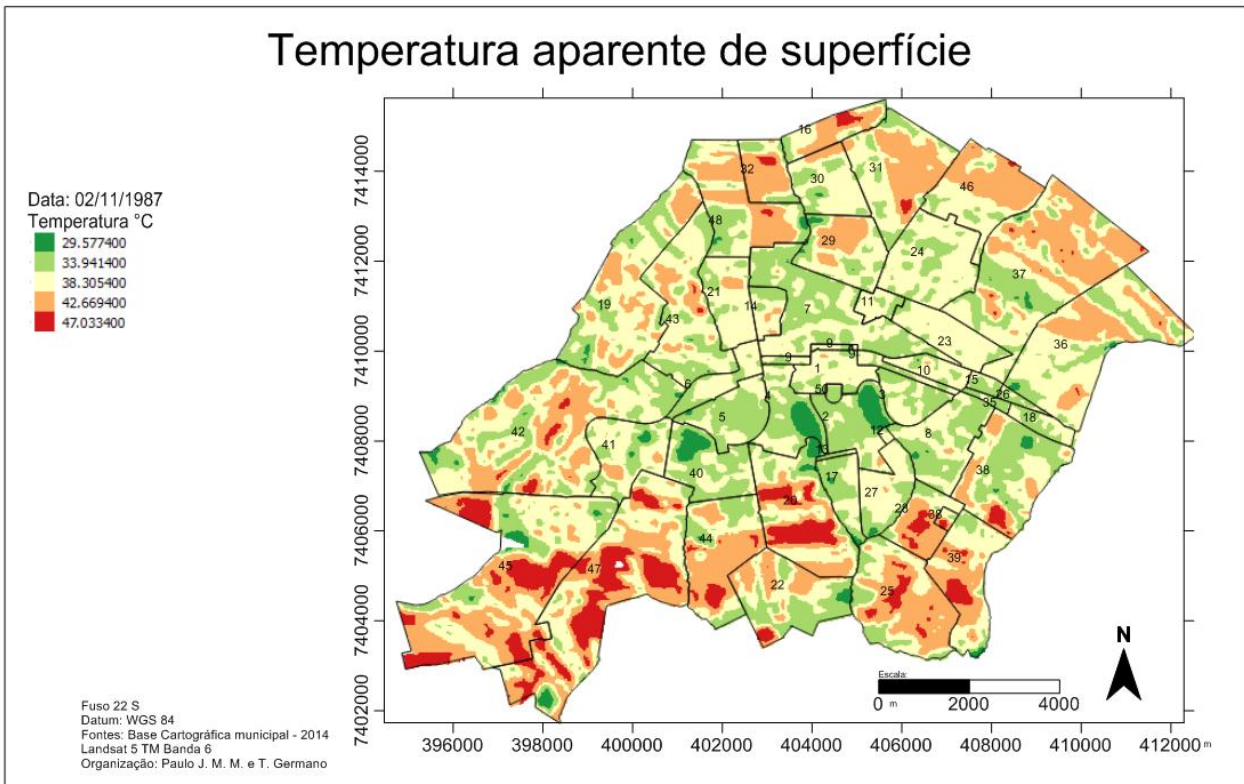
Fuso 22 S  
 Datum: WGS 84  
 Fontes: Base Cartográfica municipal - 2014  
 Landsat 5 TM Banda 6  
 Organização: Paulo J. M. M. e T. Germano

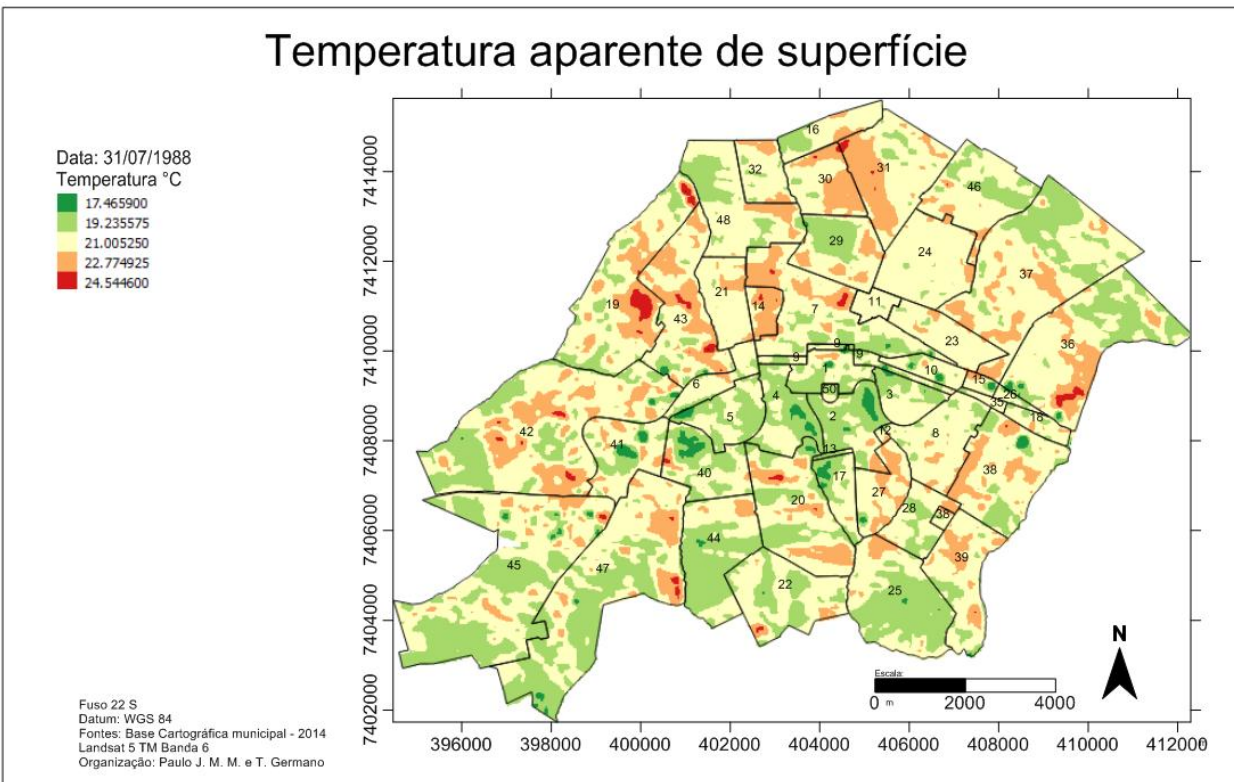
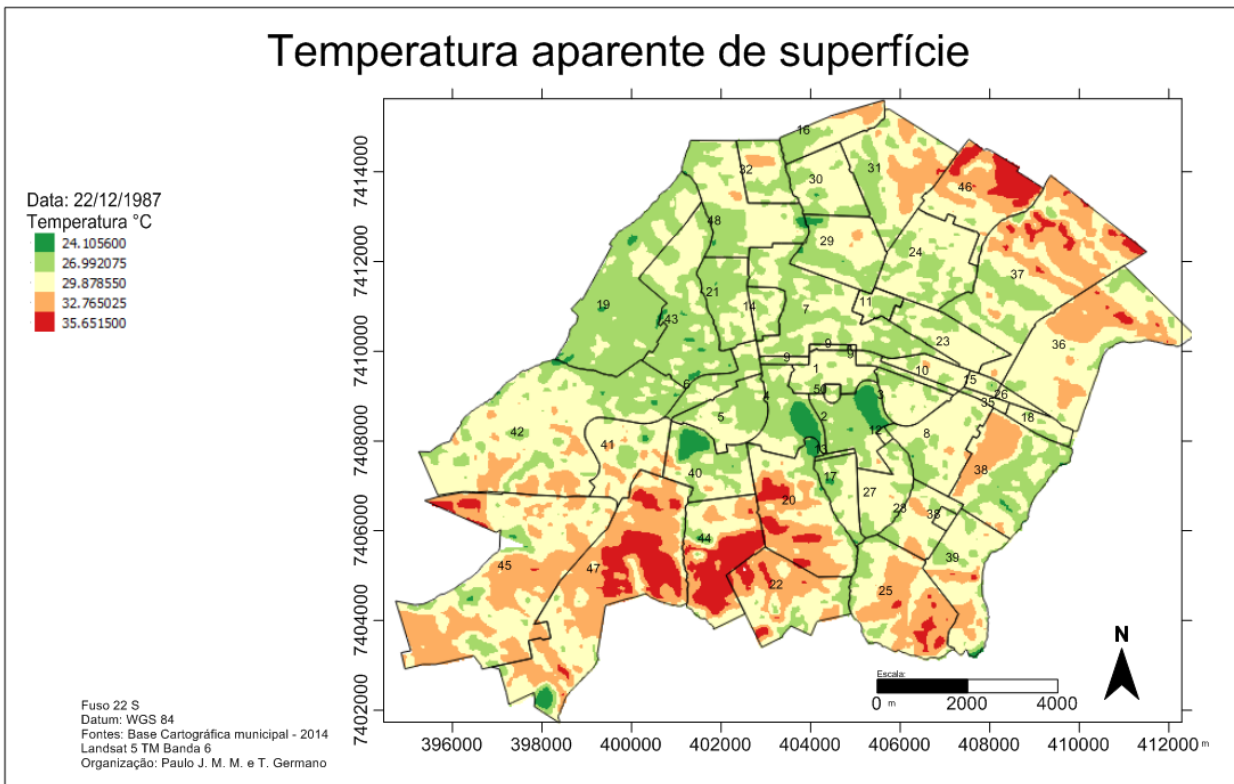
### Temperatura aparente de superfície

Data: 27/07/1987  
 Temperatura °C

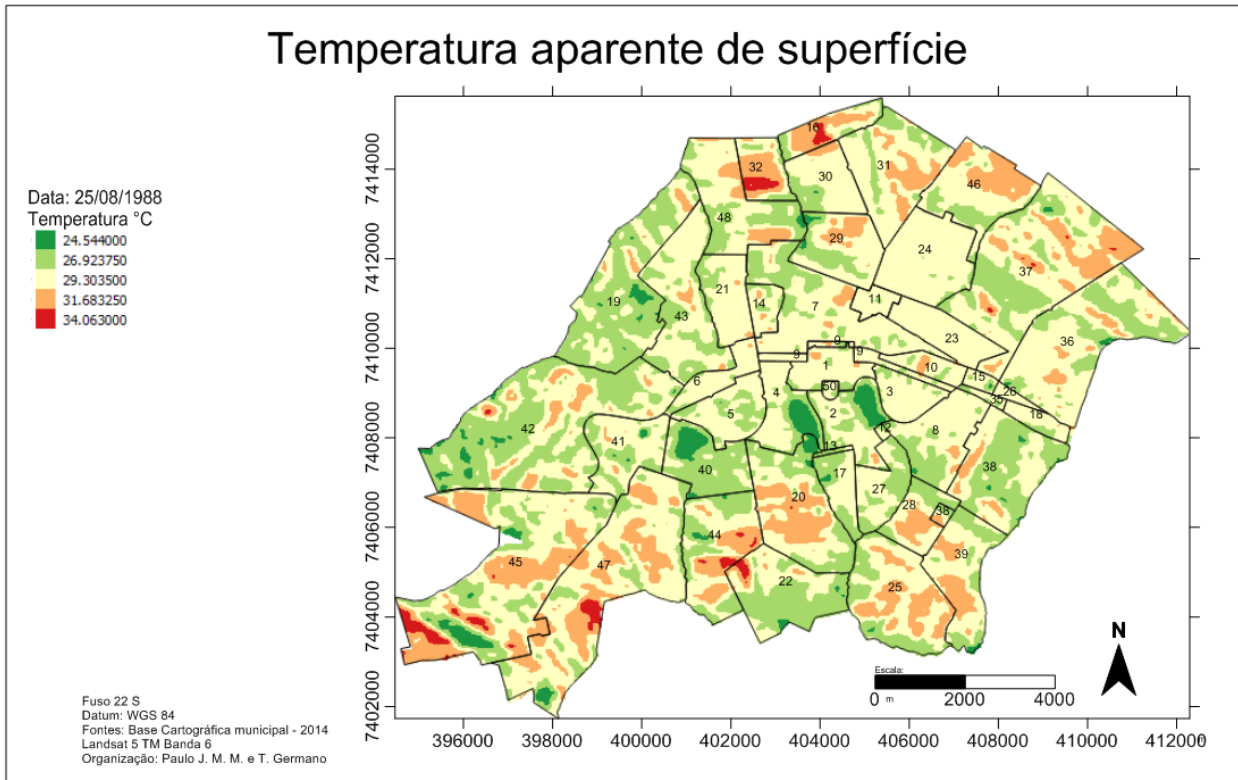


Fuso 22 S  
 Datum: WGS 84  
 Fontes: Base Cartográfica municipal - 2014  
 Landsat 5 TM Banda 6  
 Organização: Paulo J. M. M. e T. Germano

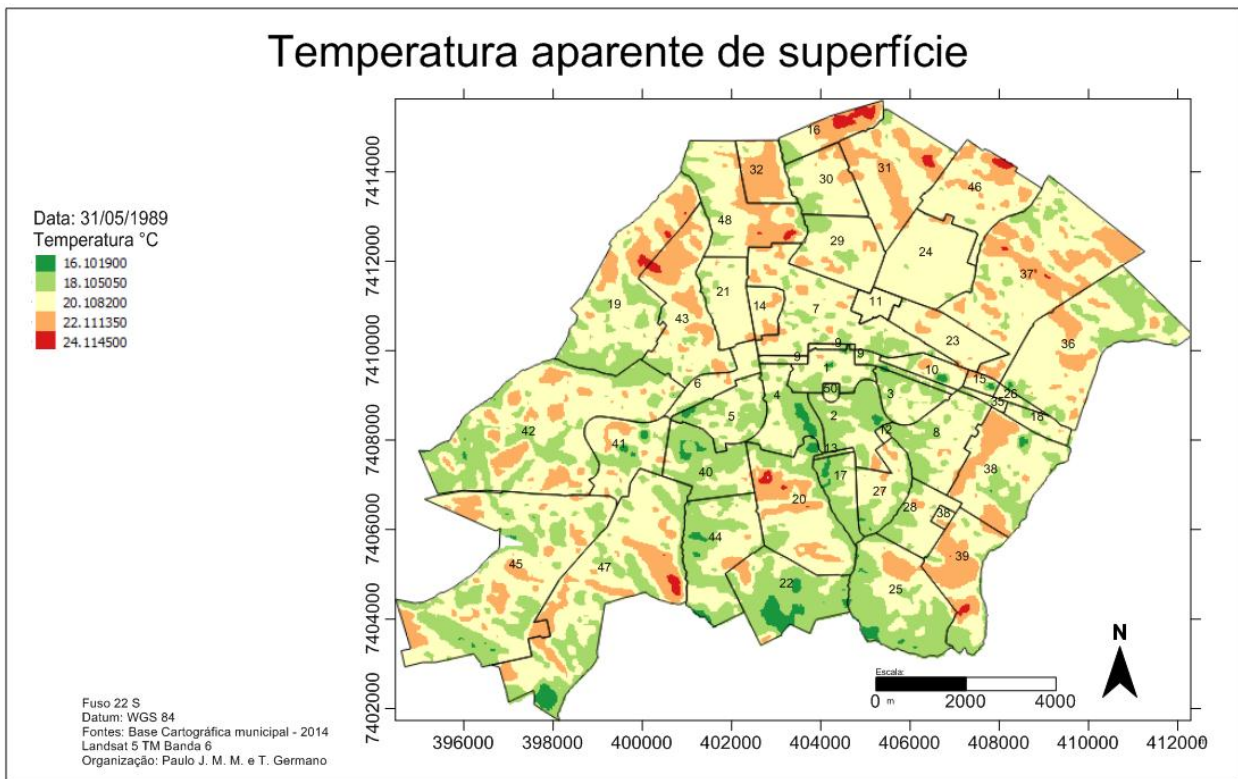




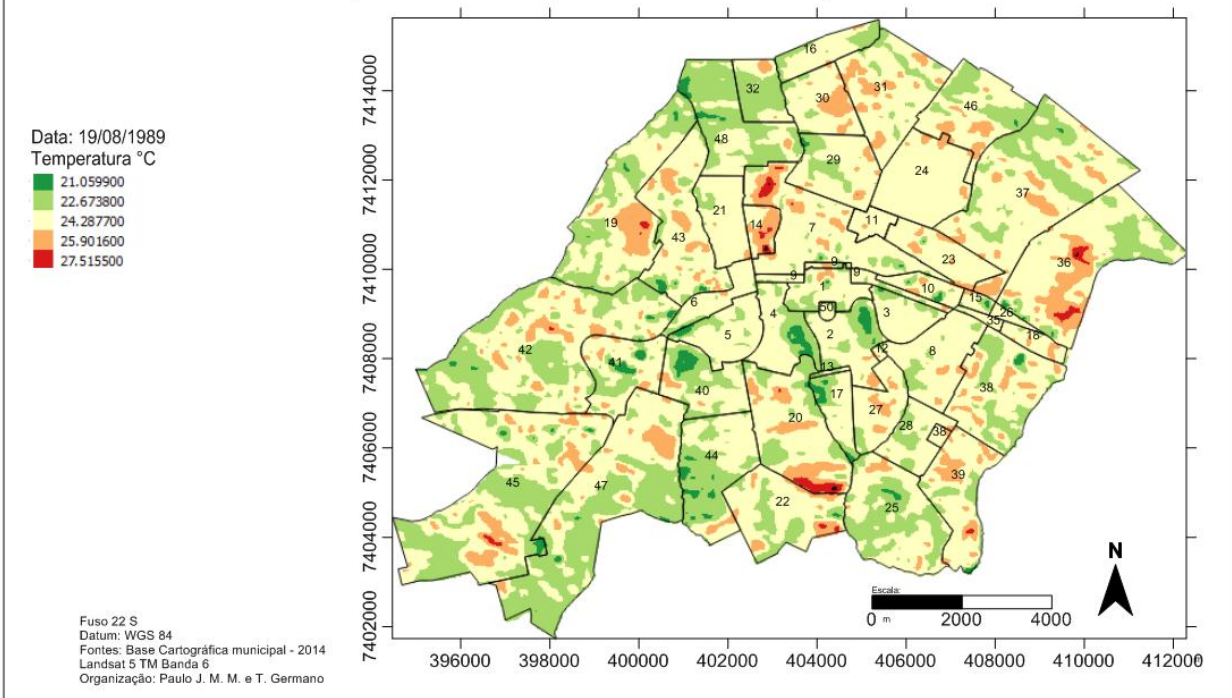
### Temperatura aparente de superfície



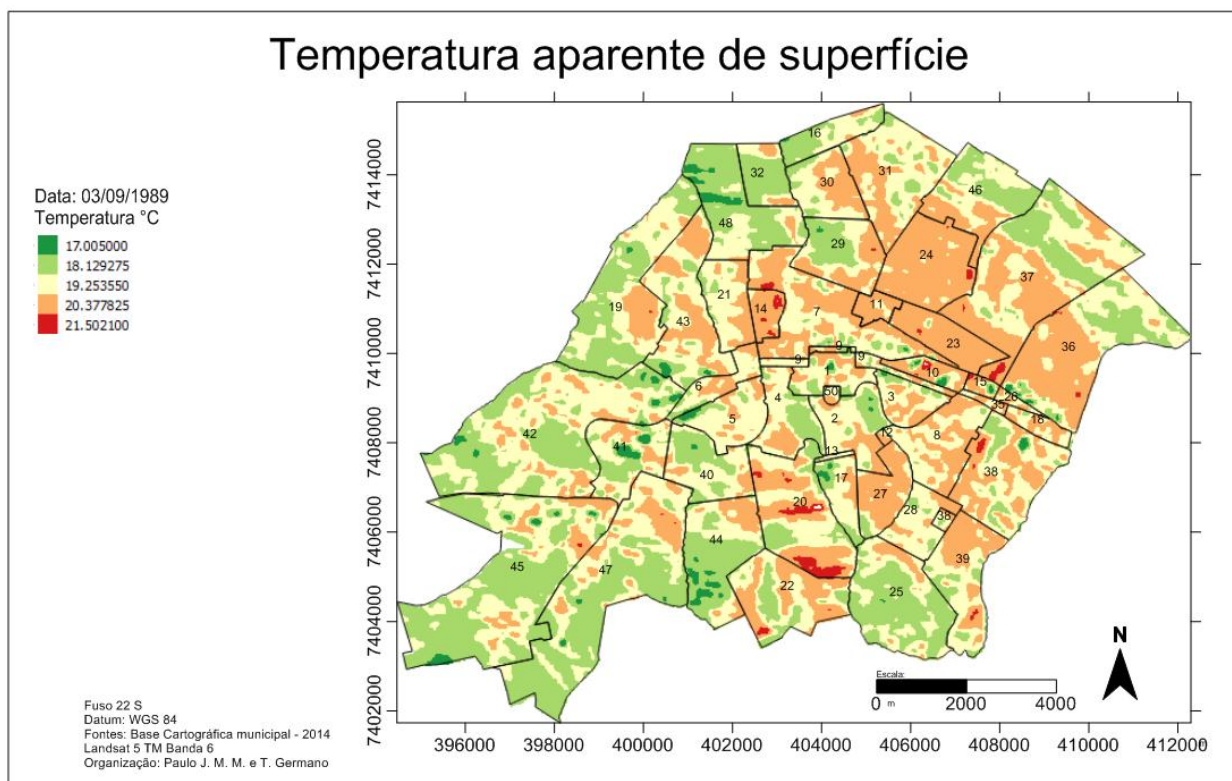
### Temperatura aparente de superfície

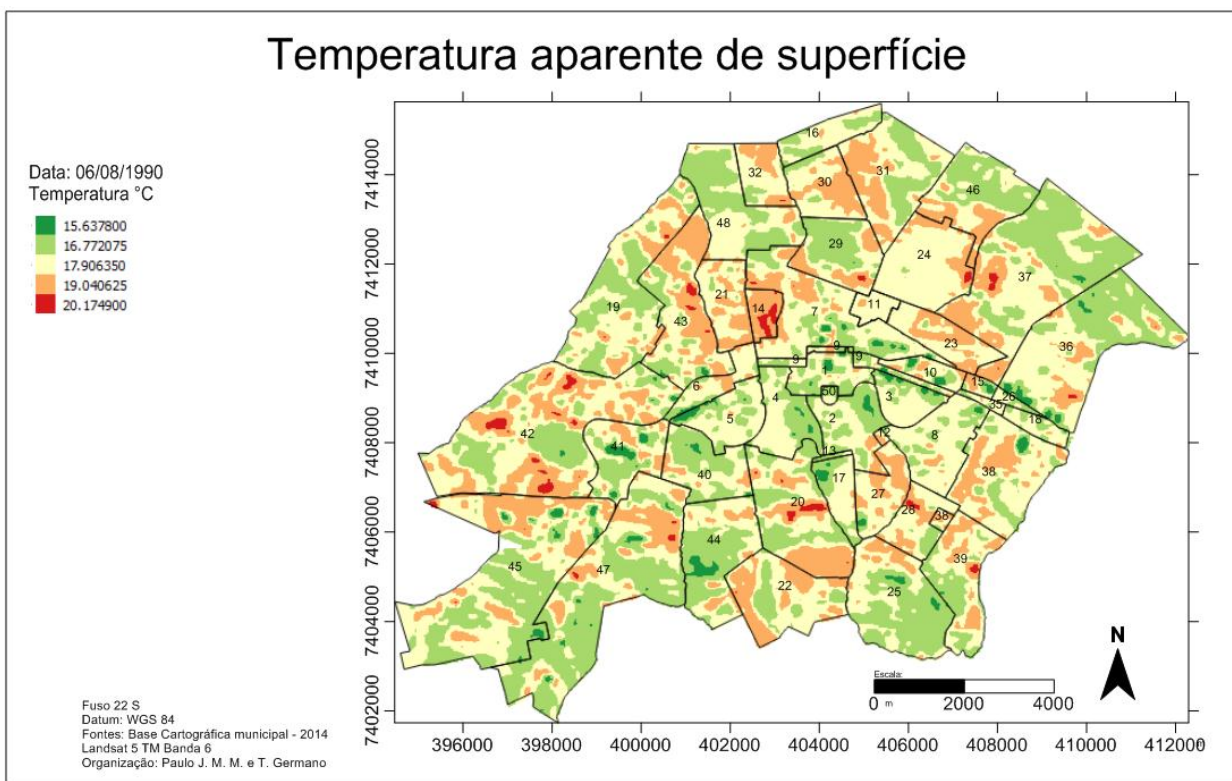
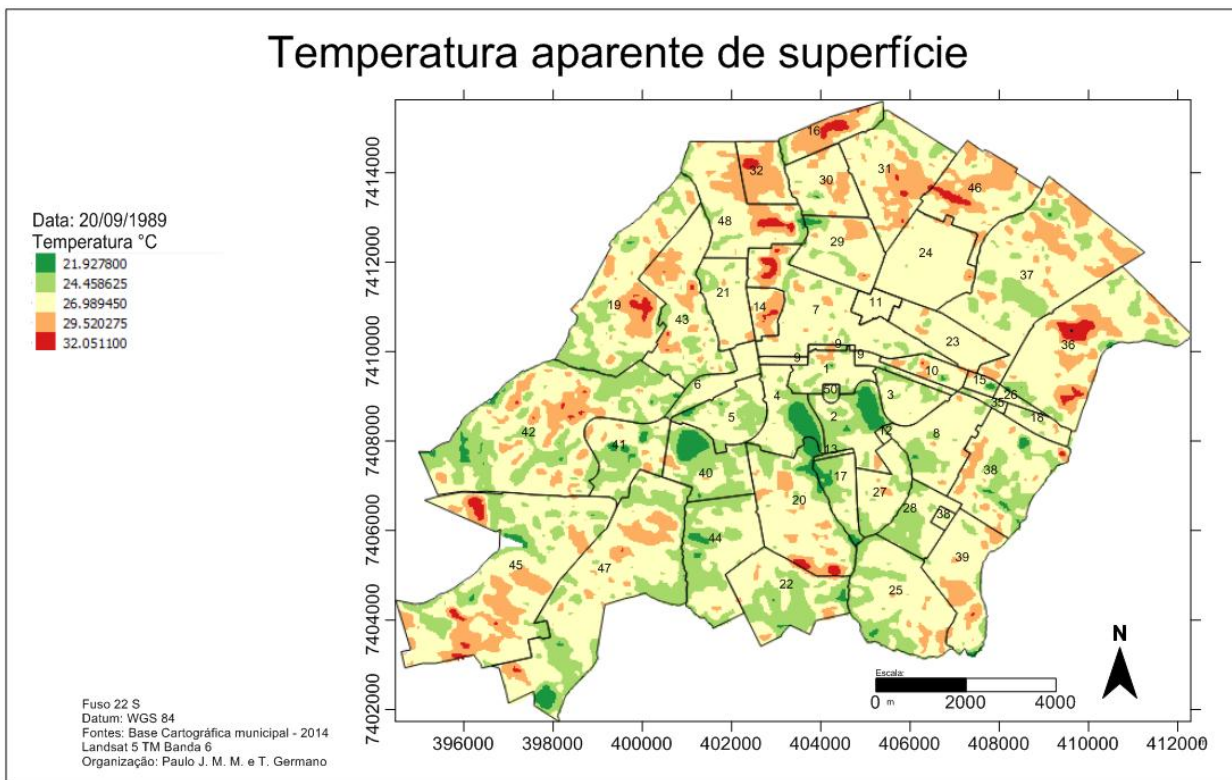


### Temperatura aparente de superfície



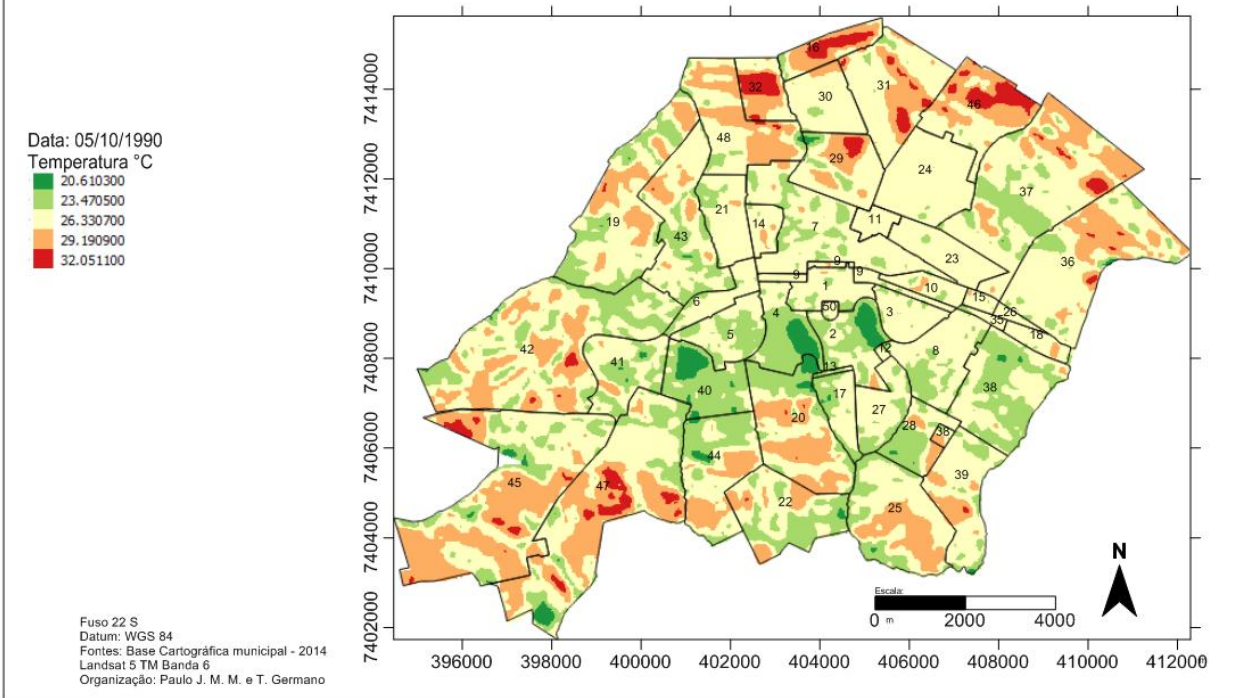
### Temperatura aparente de superfície



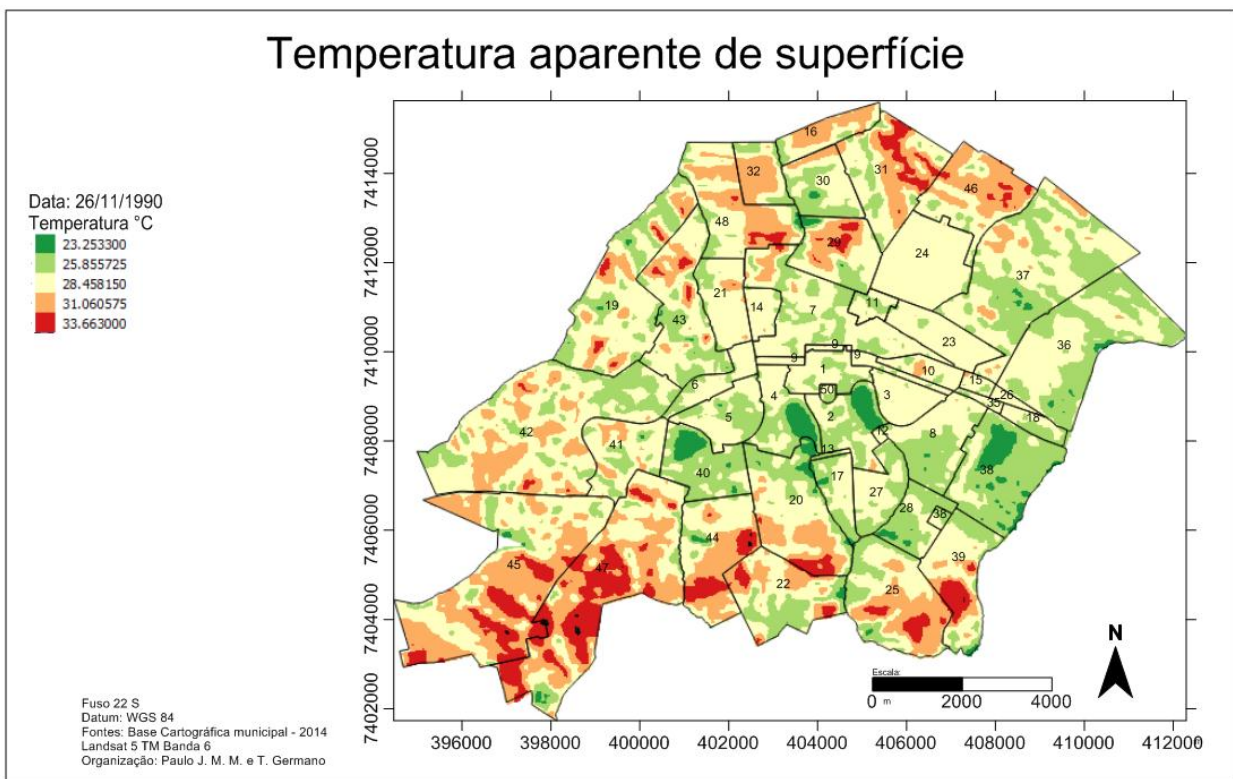




### Temperatura aparente de superfície



### Temperatura aparente de superfície

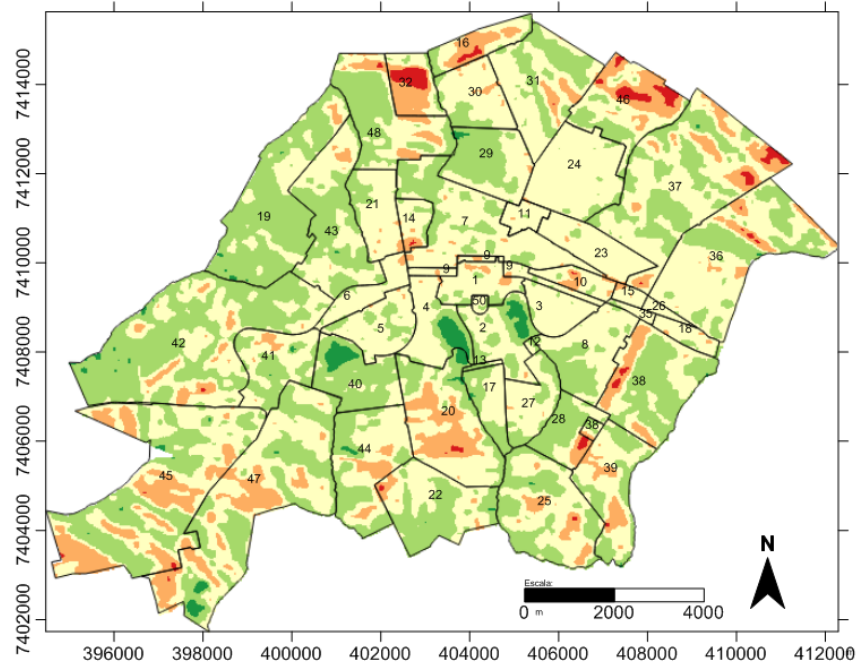


### Temperatura aparente de superfície

Data: 18/03/1991  
 Temperatura °C

21.495700
23.313800
25.131900
26.950000
28.768100

Fuso 22 S  
 Datum: WGS 84  
 Fontes: Base Cartográfica municipal - 2014  
 Landsat 5 TM Banda 6  
 Organização: Paulo J. M. M. e T. Germano

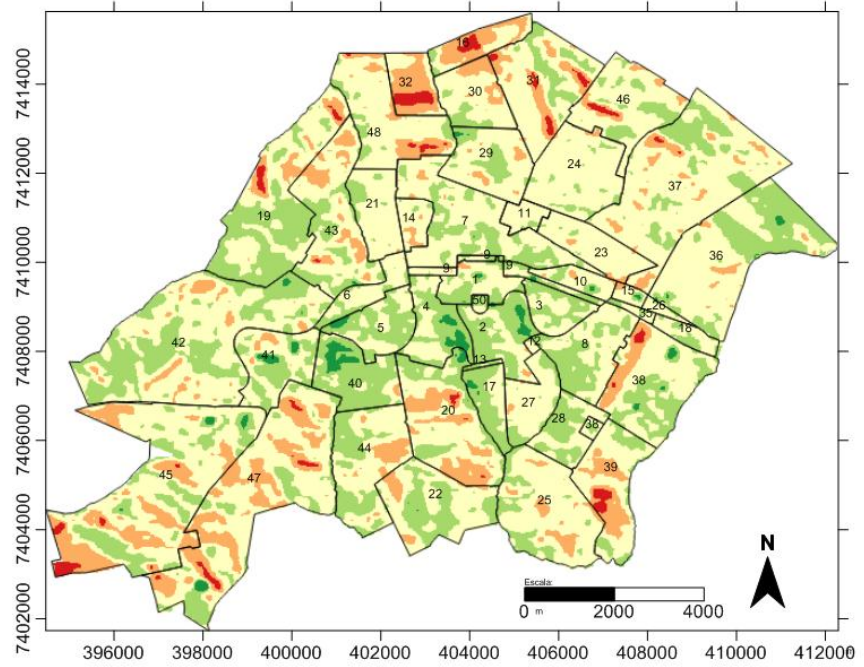


### Temperatura aparente de superfície

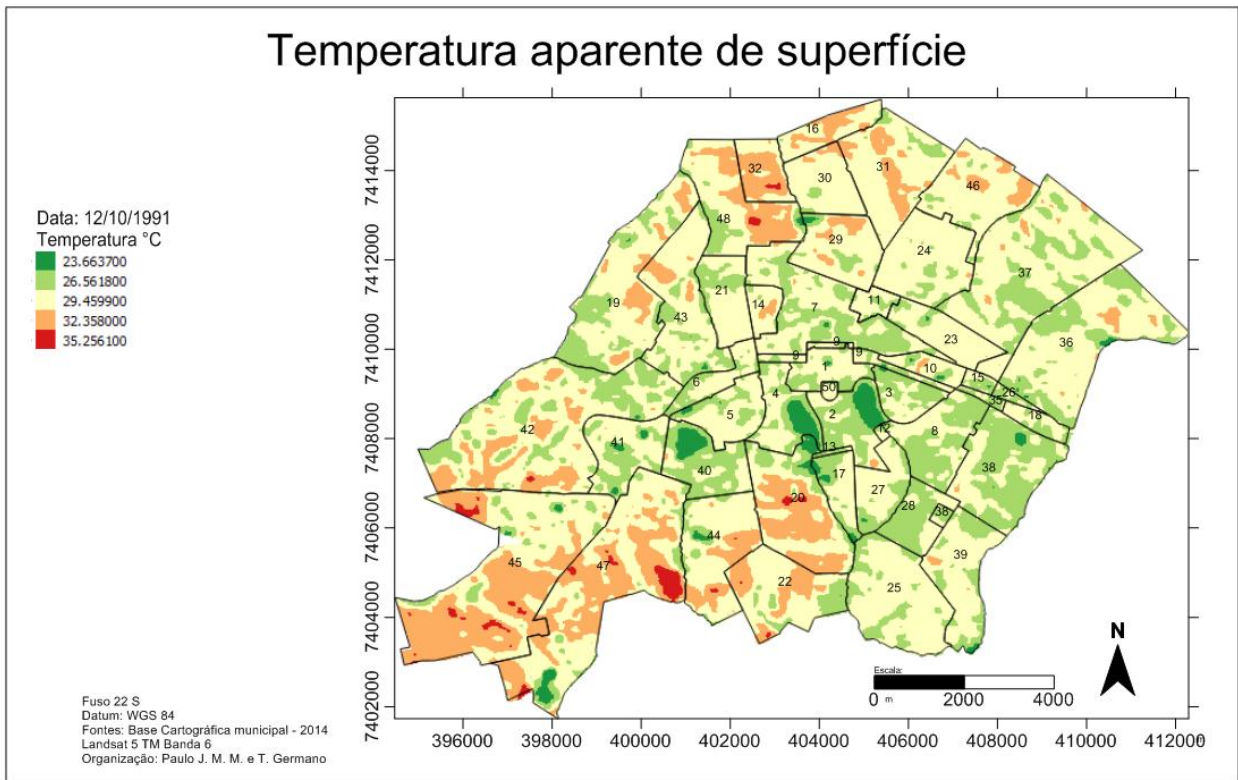
Data: 21/05/1991  
 Temperatura °C

18.367700
19.696500

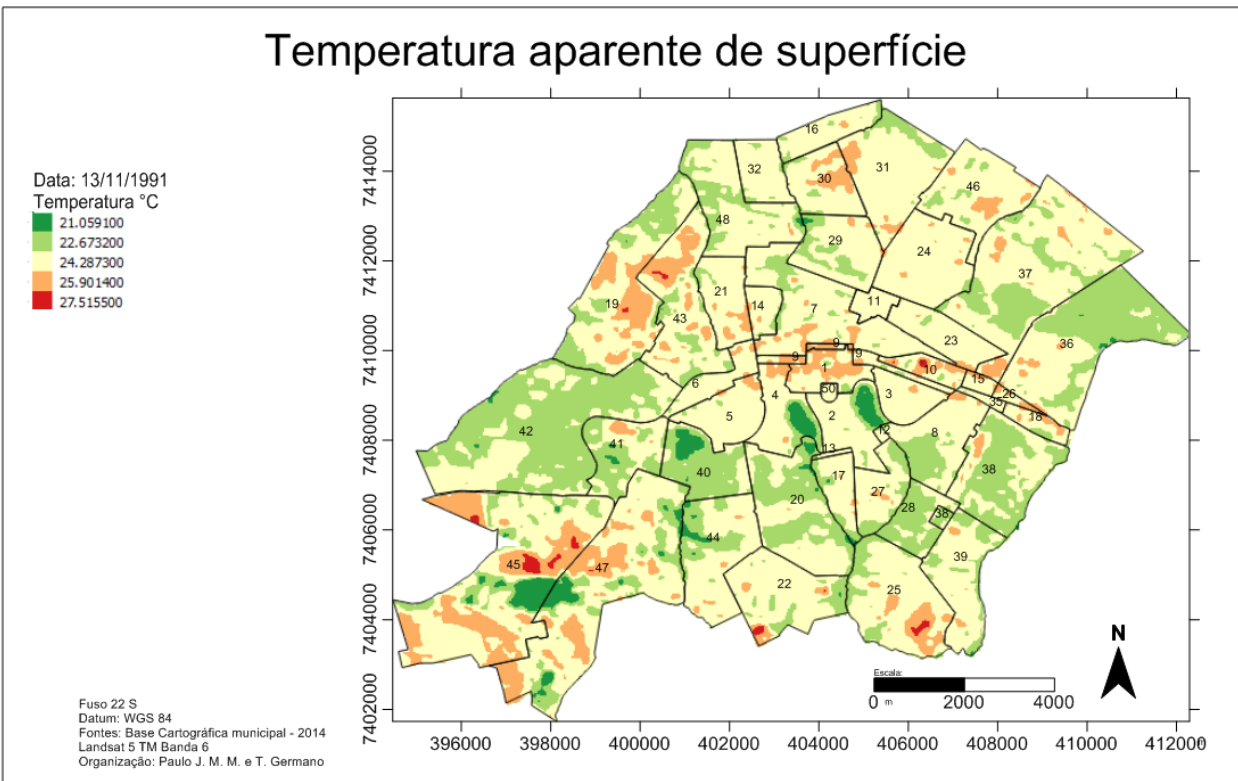
Fuso 22 S  
 Datum: WGS 84  
 Fontes: Base Cartográfica municipal - 2014  
 Landsat 5 TM Banda 6  
 Organização: Paulo J. M. M. e T. Germano



### Temperatura aparente de superfície



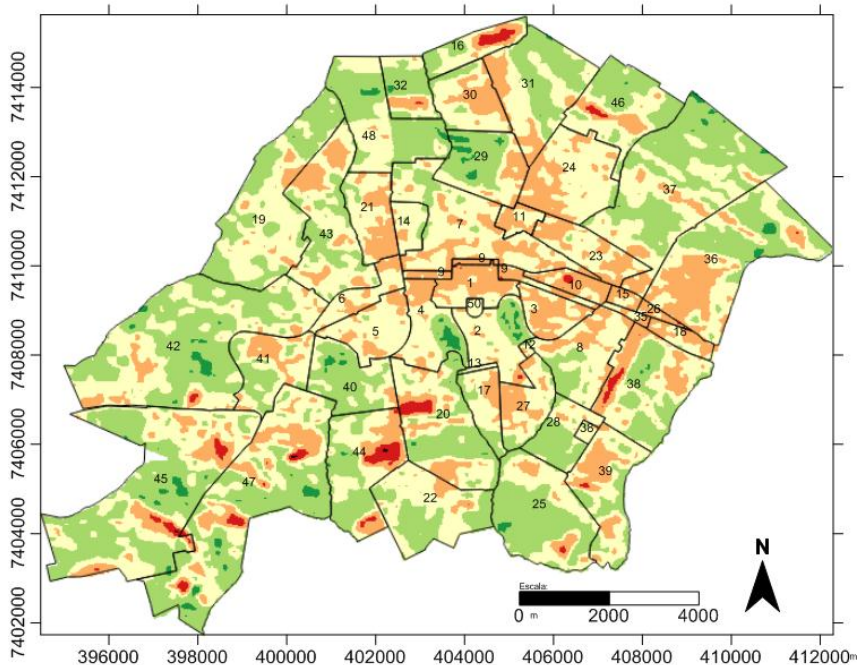
### Temperatura aparente de superfície



### Temperatura aparente de superfície

Data: 31/12/1991  
 Temperatura °C

- 22.374800
- 24.590575
- 26.806350
- 29.022125
- 31.237900

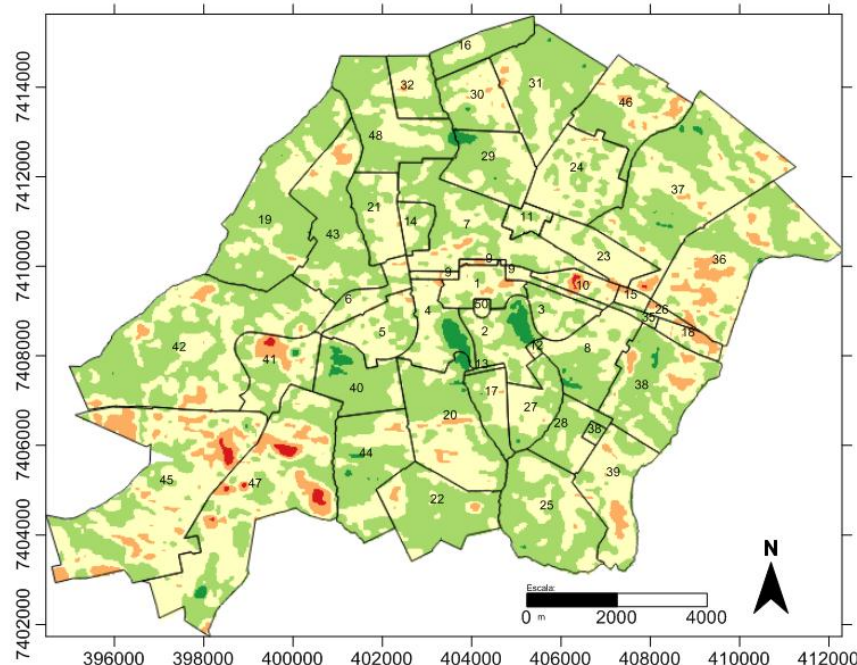


Fuso 22 S  
 Datum: WGS 84  
 Fontes: Base Cartográfica municipal - 2014  
 Landsat 5 TM Banda 6  
 Organização: Paulo J. M. M. e T. Germano

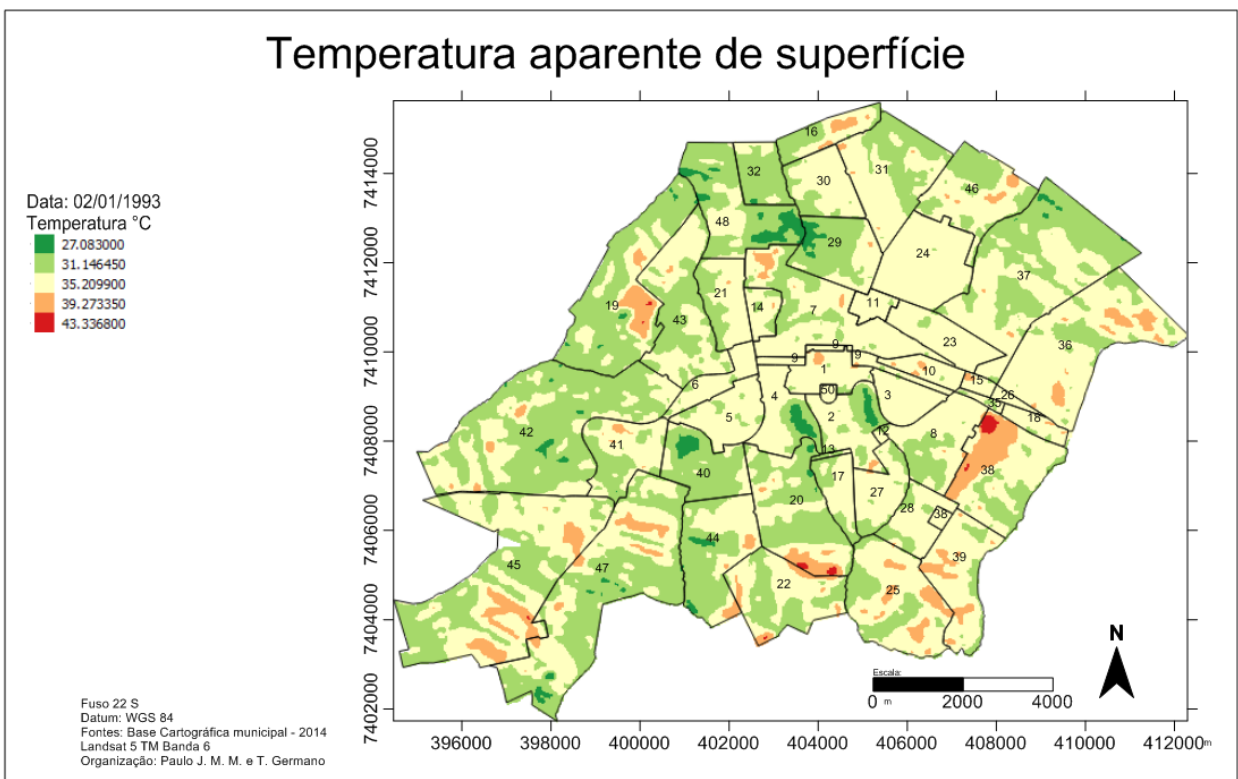
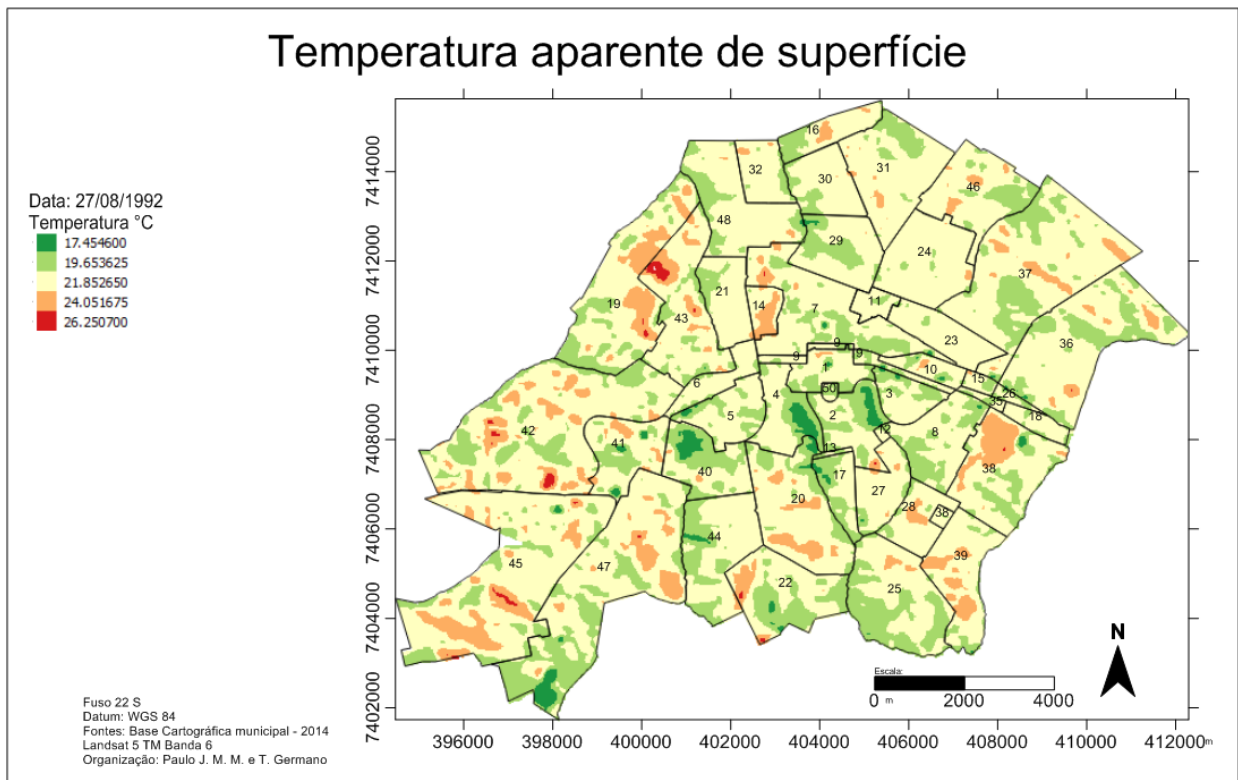
### Temperatura aparente de superfície

Data: 20/03/1992  
 Temperatura °C

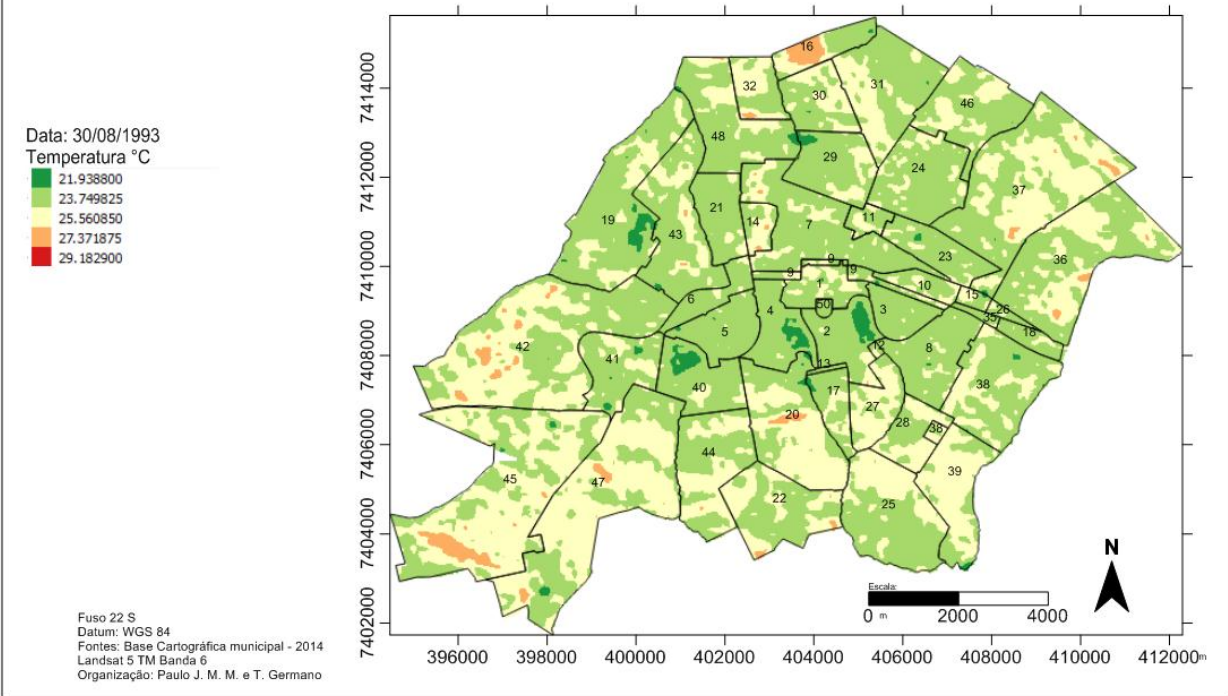
- 21.053800
- 22.458775
- 23.863750
- 25.268725
- 26.673700



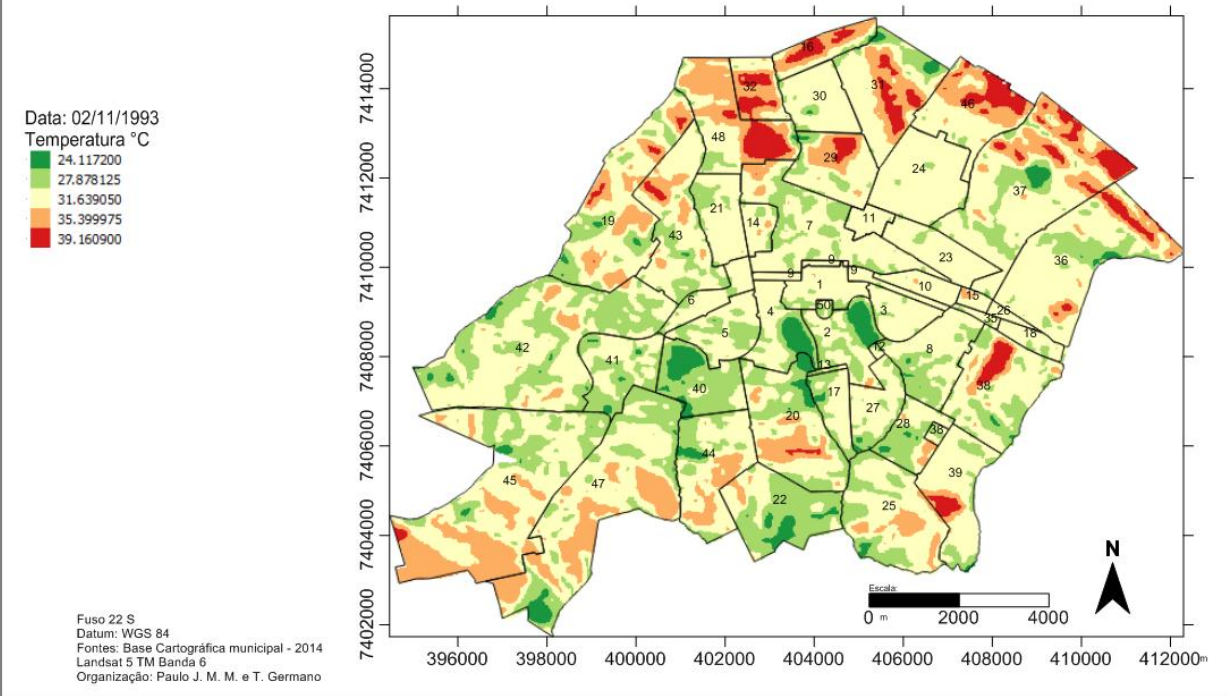
Fuso 22 S  
 Datum: WGS 84  
 Fontes: Base Cartográfica municipal - 2014  
 Landsat 5 TM Banda 6  
 Organização: Paulo J. M. M. e T. Germano



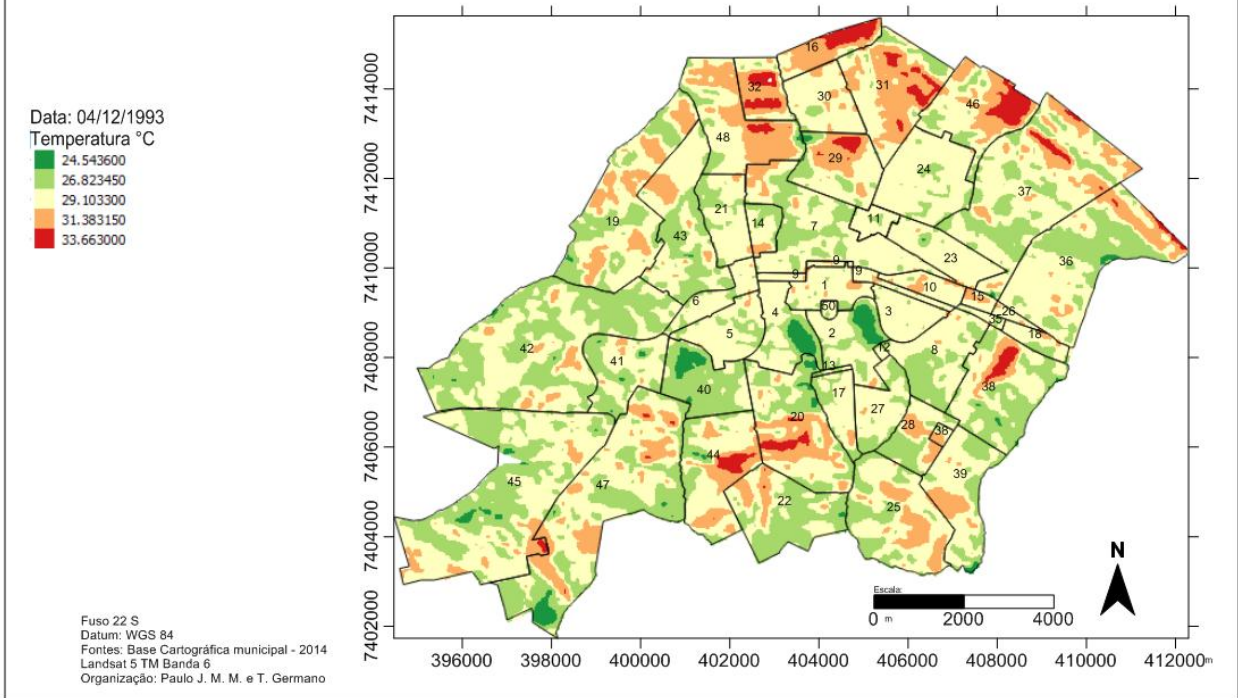
### Temperatura aparente de superfície



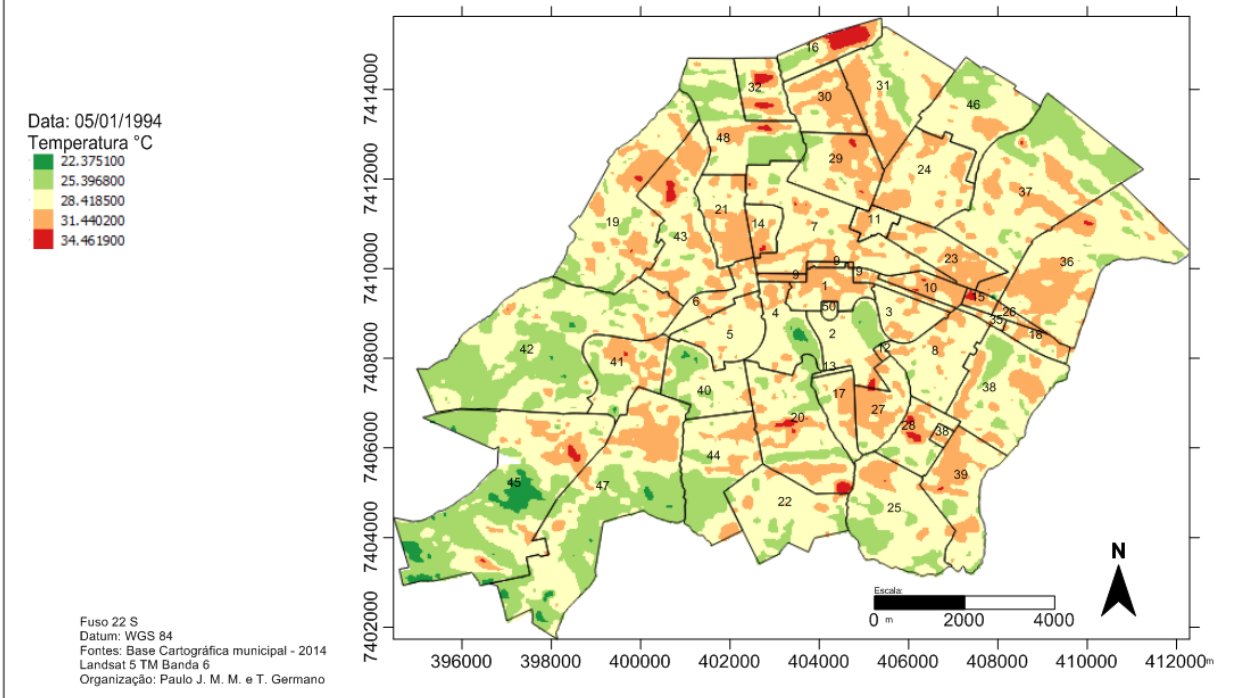
### Temperatura aparente de superfície



### Temperatura aparente de superfície



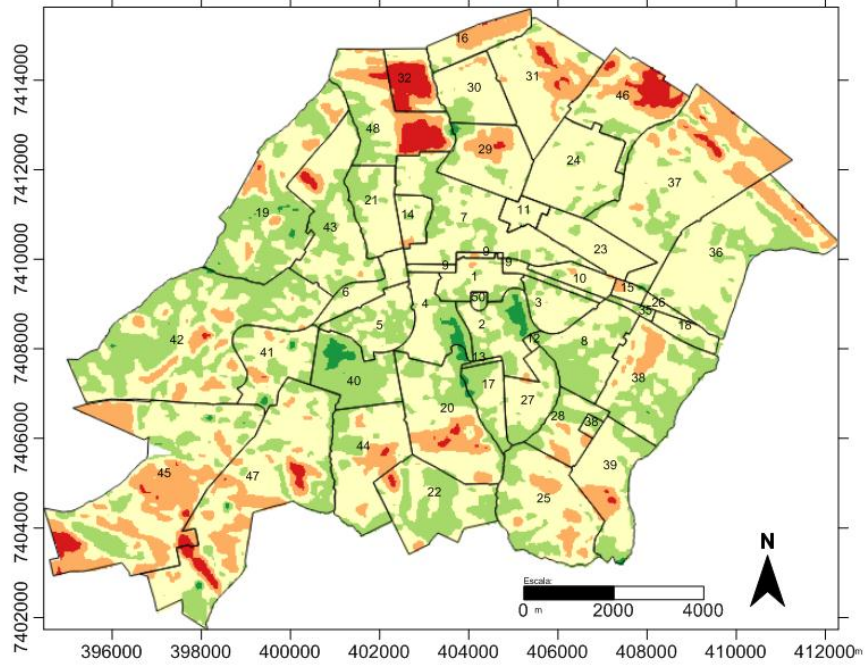
### Temperatura aparente de superfície



### Temperatura aparente de superfície

Data: 27/05/1994  
 Temperatura °C

- 21.499600
- 23.212675
- 24.925750
- 26.638825
- 28.351900

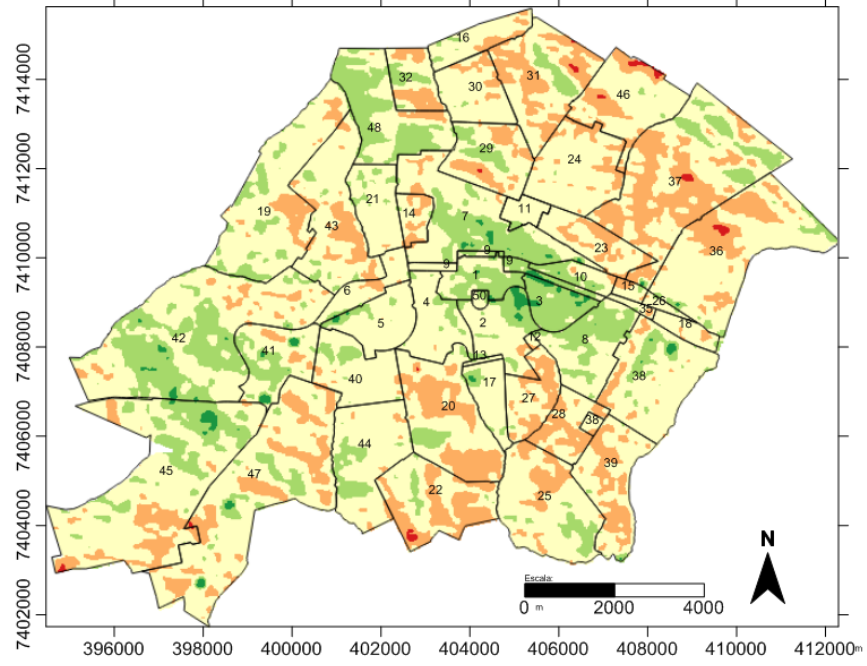


Fuso 22 S  
 Datum: WGS 84  
 Fontes: Base Cartográfica municipal - 2014  
 Landsat 5 TM Banda 6  
 Organização: Paulo J. M. M. e T. Germano

### Temperatura aparente de superfície

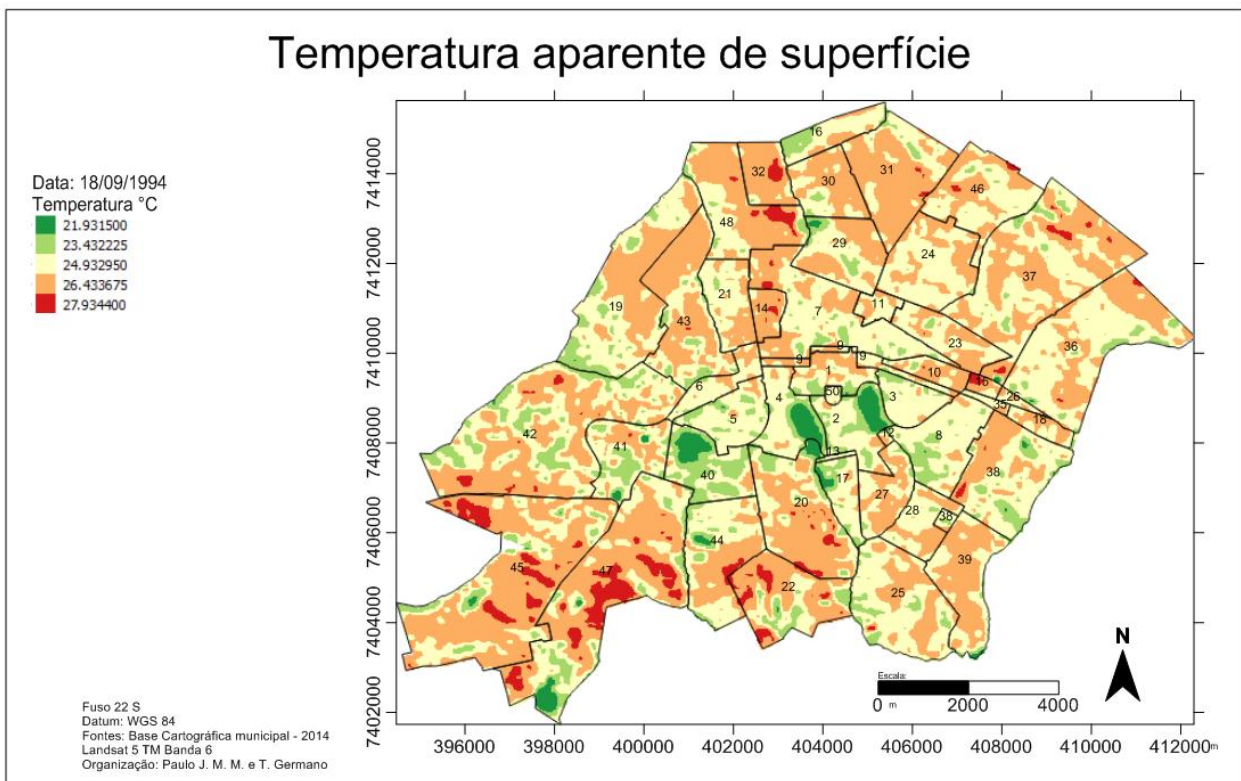
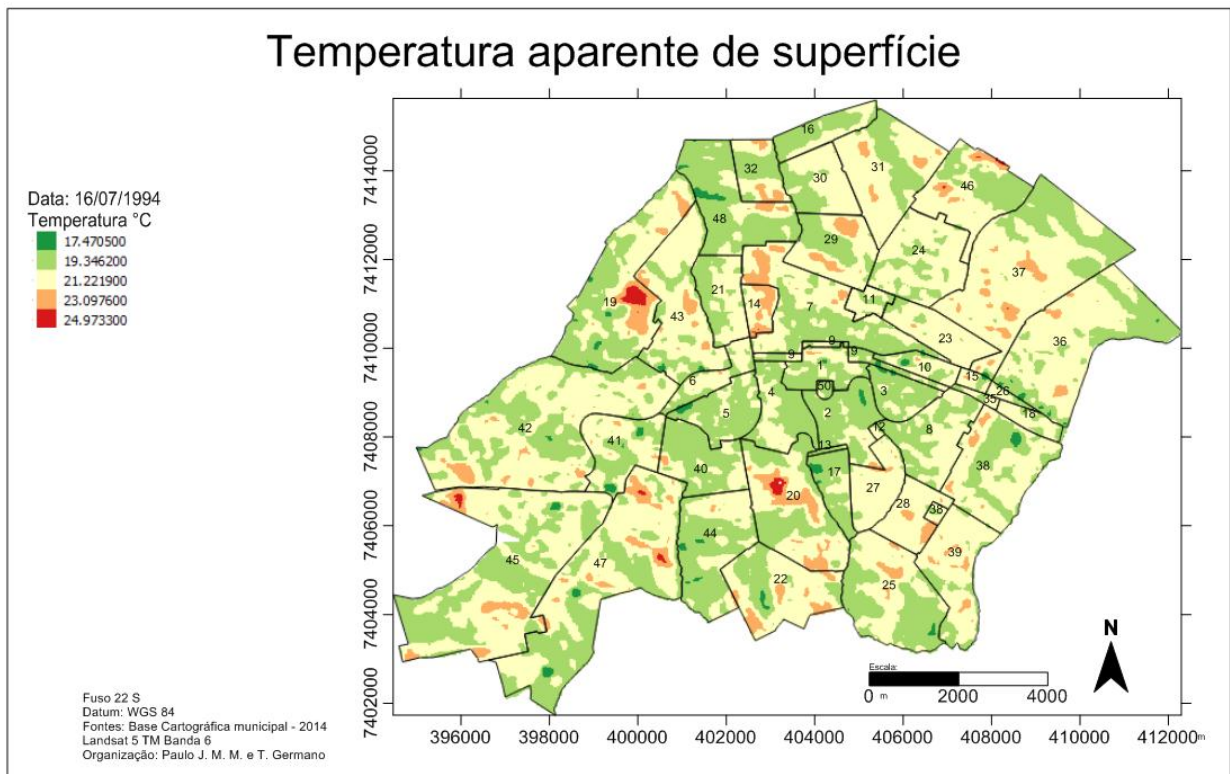
Data: 30/06/1994  
 Temperatura °C

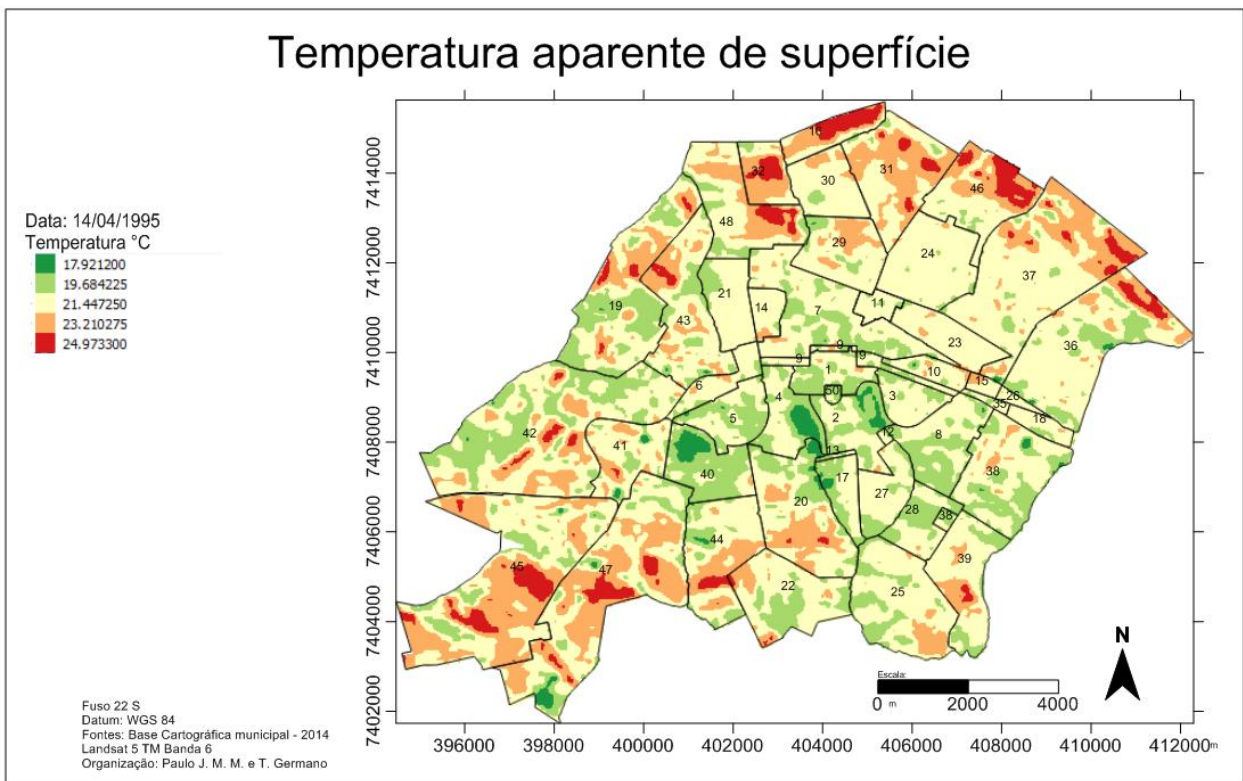
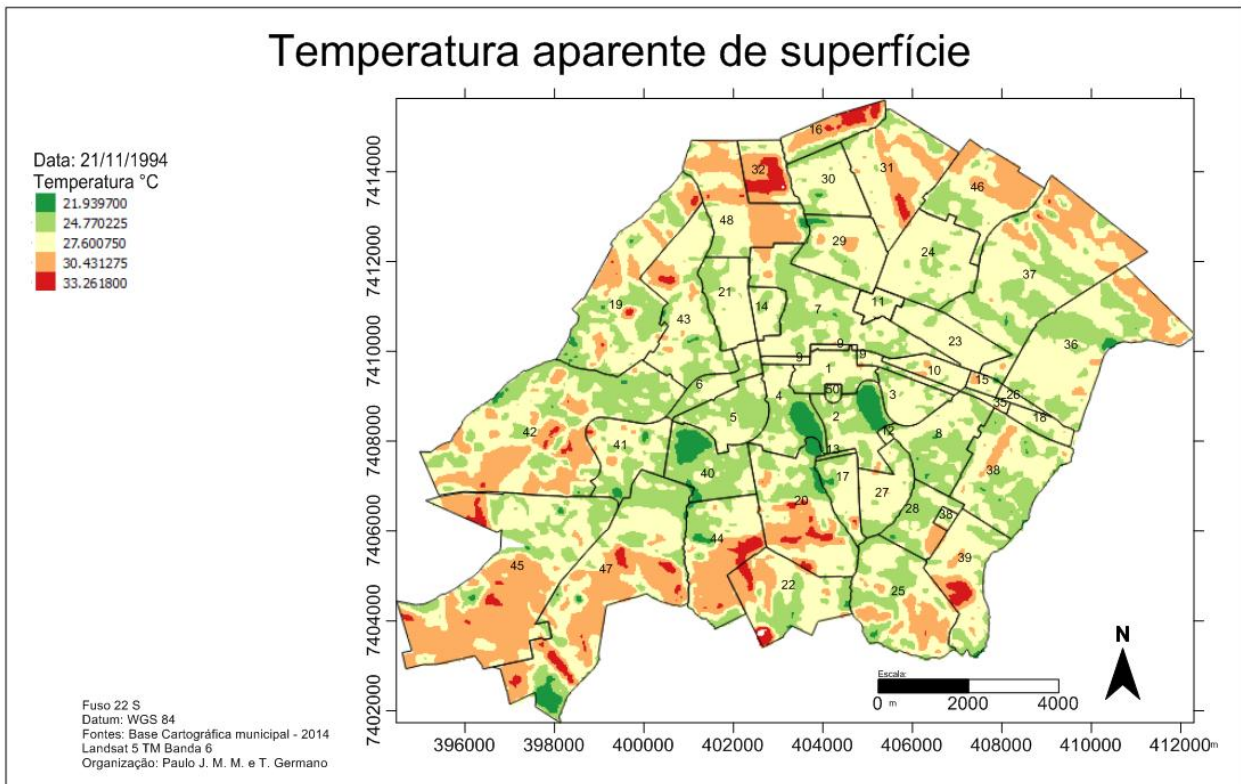
- 15.176600
- 16.426175
- 17.675750
- 18.925325
- 20.174900

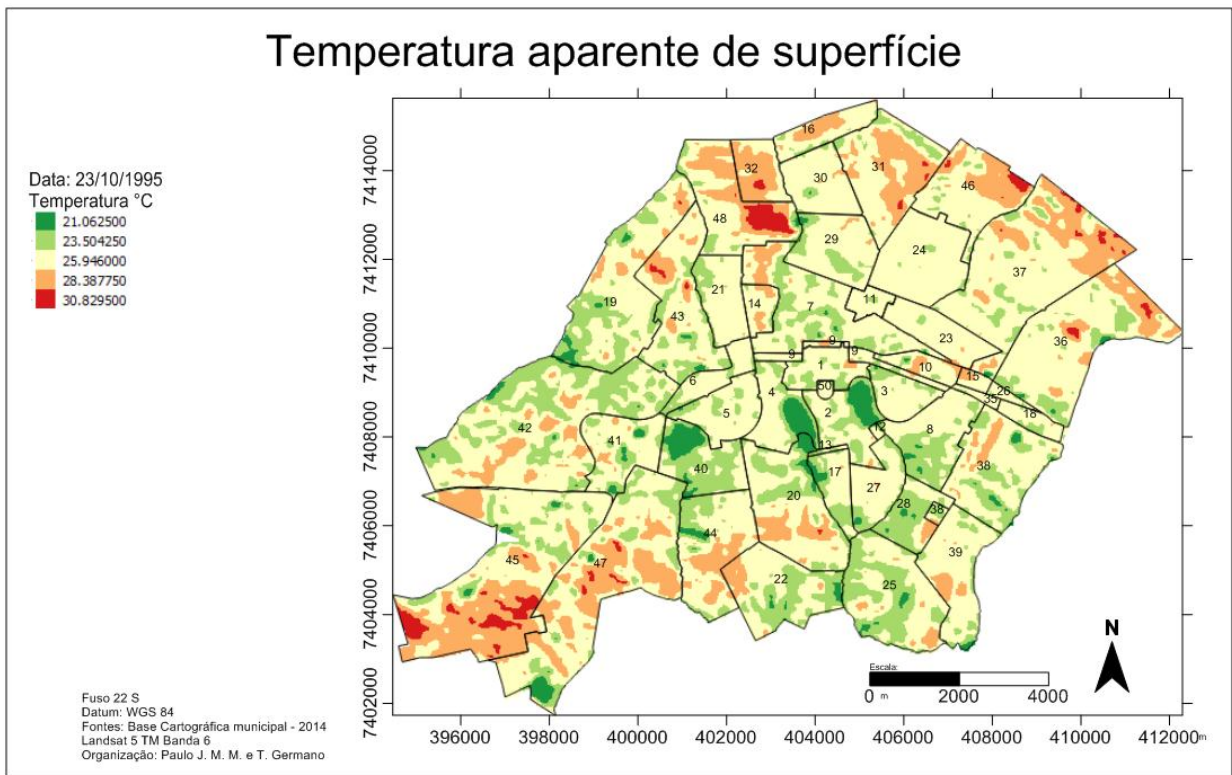
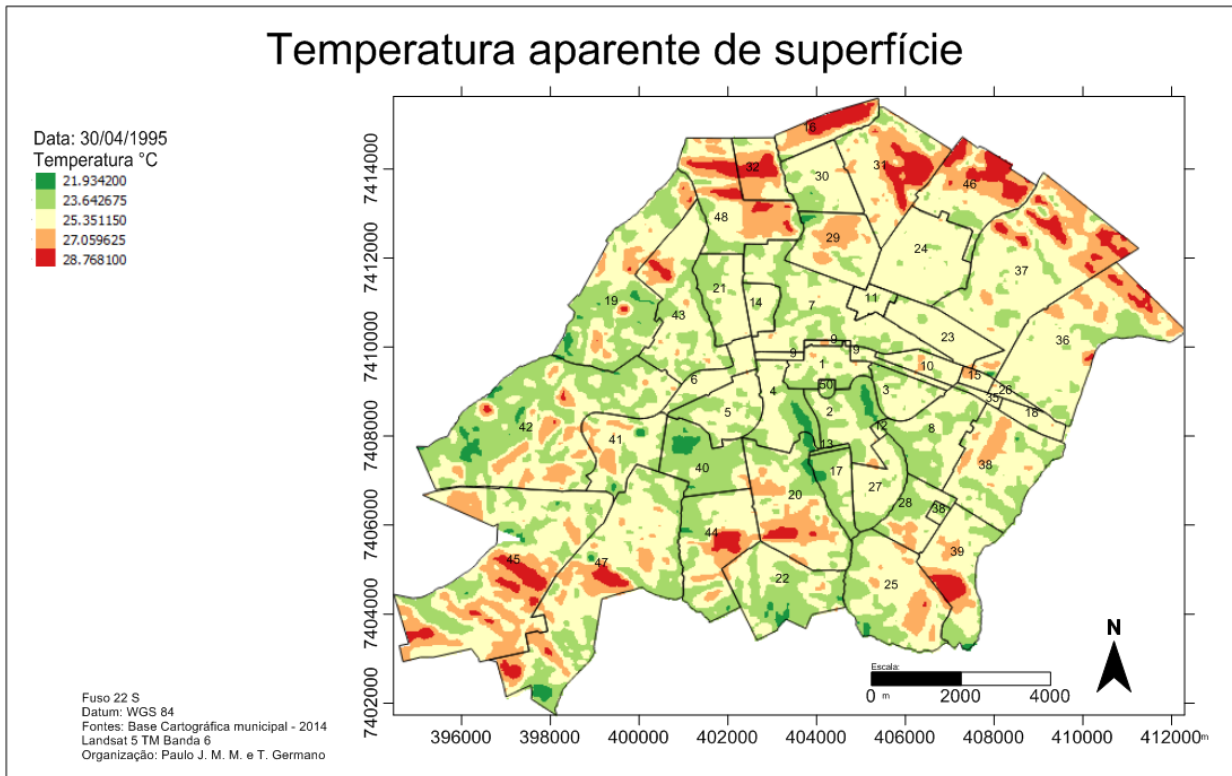


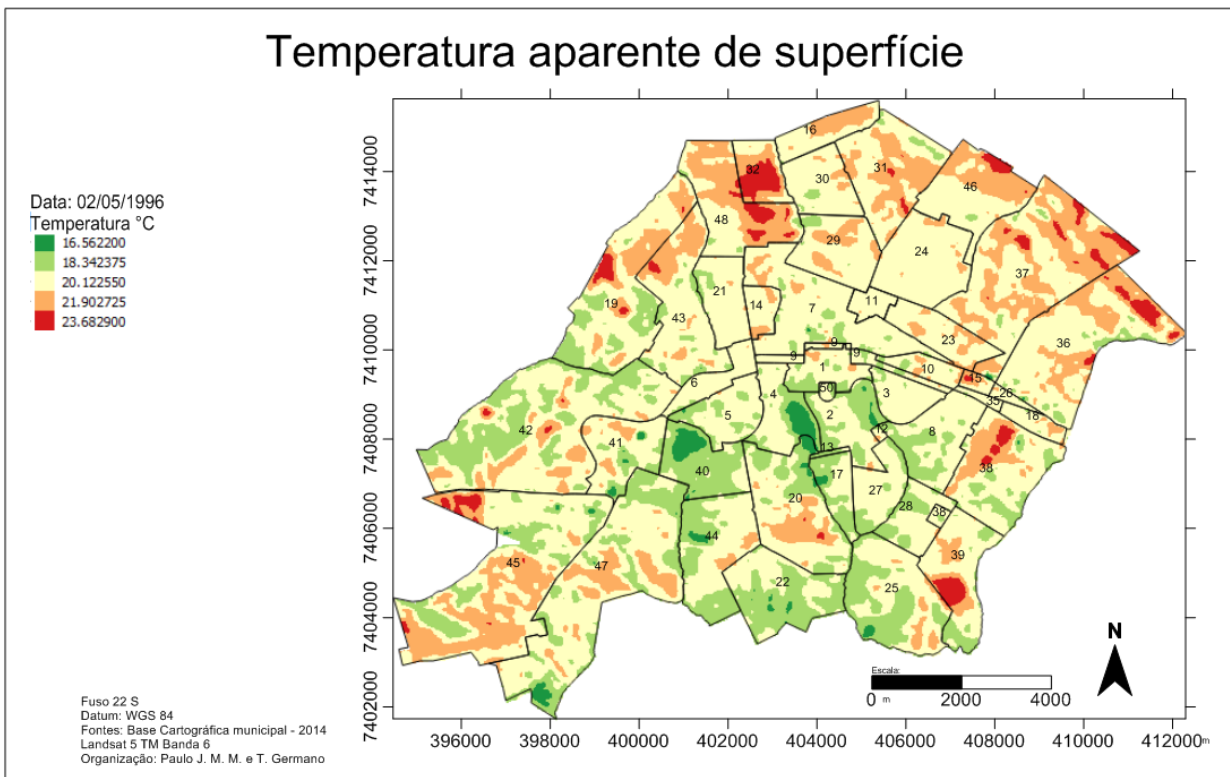
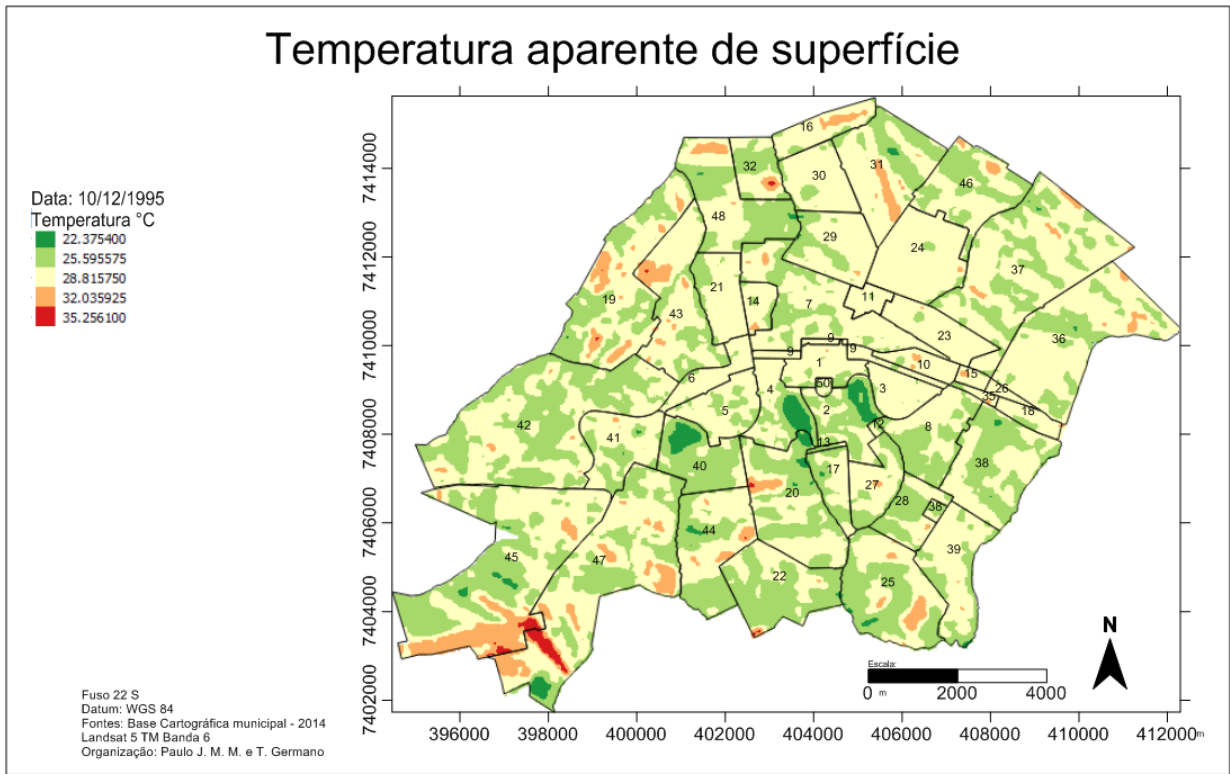
Fuso 22 S  
 Datum: WGS 84  
 Fontes: Base Cartográfica municipal - 2014  
 Landsat 5 TM Banda 6  
 Organização: Paulo J. M. M. e T. Germano

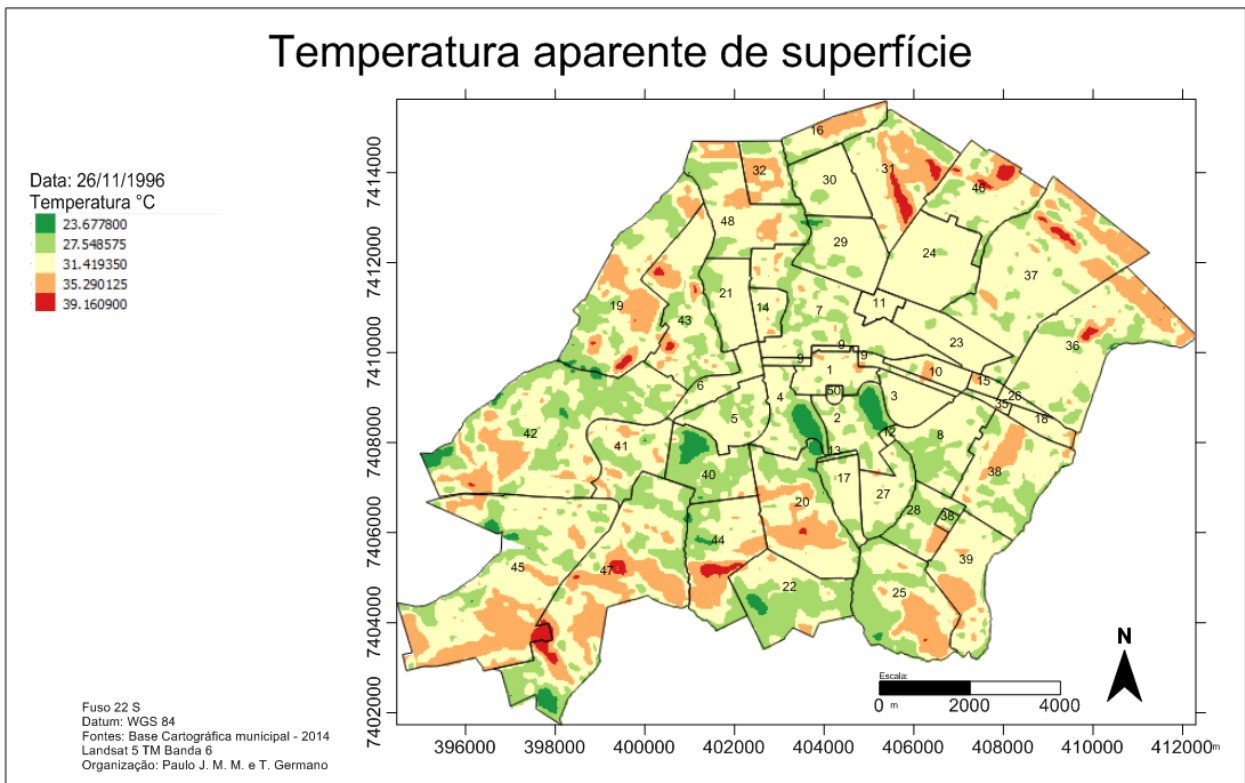
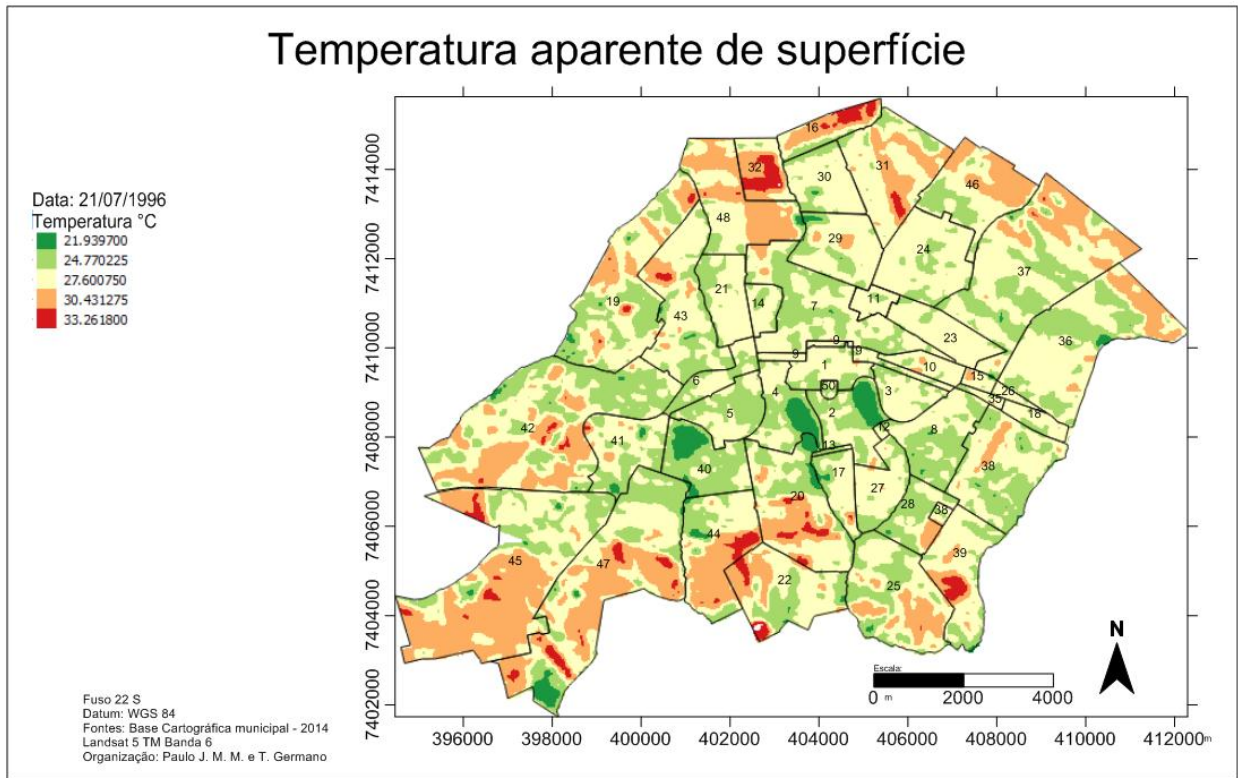








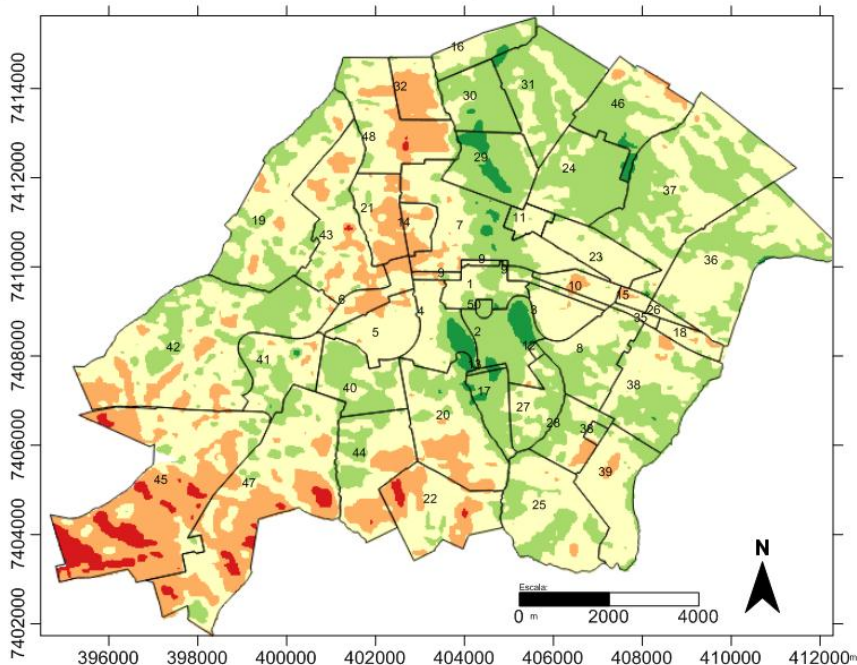




### Temperatura aparente de superfície

Data: 18/03/1997  
 Temperatura °C

15.641000
17.974075
20.307150
22.640225
24.973300

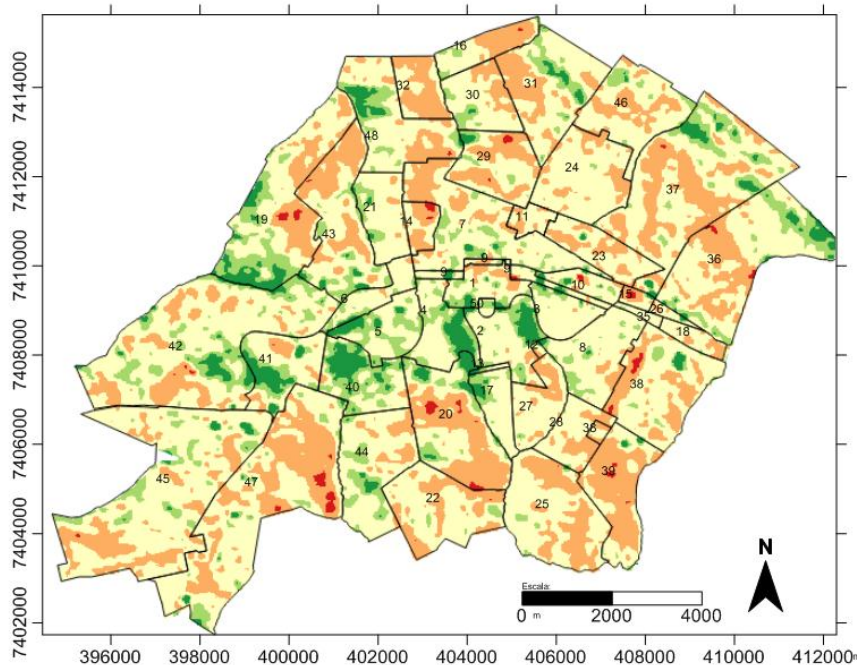


Fuso 22 S  
 Datum: WGS 84  
 Fontes: Base Cartográfica municipal - 2014  
 Landsat 5 TM Banda 6  
 Organização: Paulo J. M. M. e T. Germano

### Temperatura aparente de superfície

Data: 22/06/1997  
 Temperatura °C

18.833100
19.719600
20.606100
21.492600
22.379100

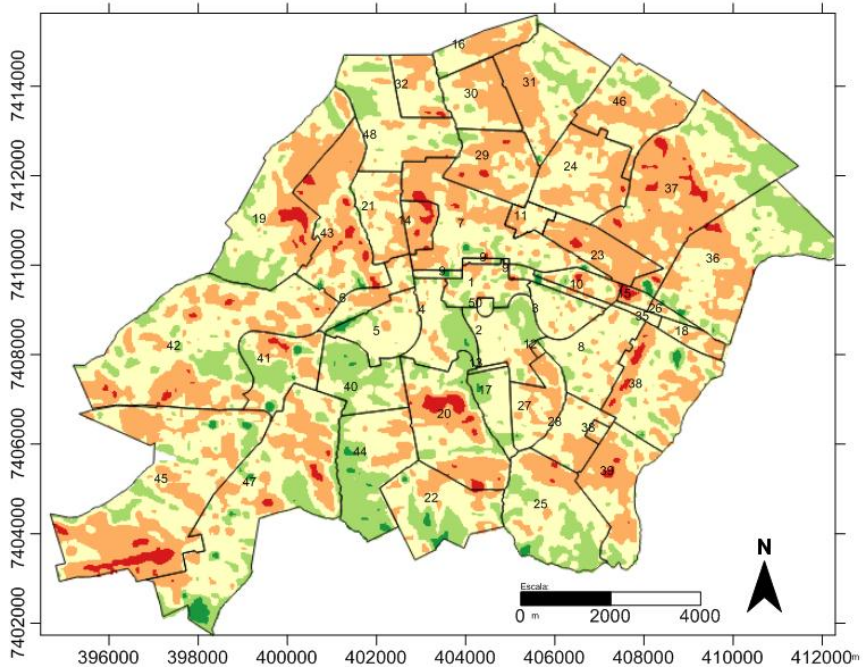


Fuso 22 S  
 Datum: WGS 84  
 Fontes: Base Cartográfica municipal - 2014  
 Landsat 5 TM Banda 6  
 Organização: Paulo J. M. M. e T. Germano

### Temperatura aparente de superfície

Data: 24/07/1997  
 Temperatura °C

- 15.172800
- 16.534325
- 17.895850
- 19.257375
- 20.618900

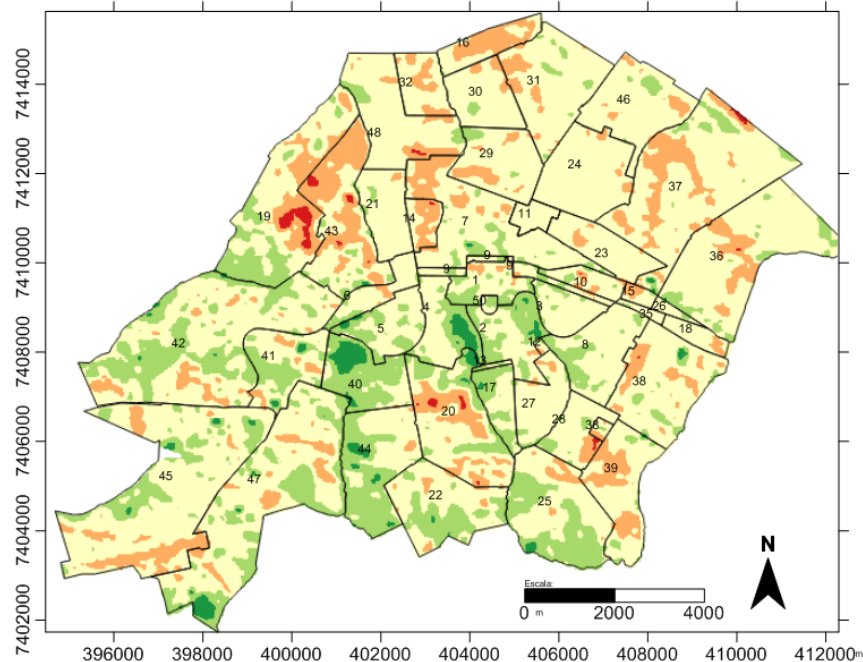


Fuso 22 S  
 Datum: WGS 84  
 Fontes: Base Cartográfica municipal - 2014  
 Landsat 5 TM Banda 6  
 Organização: Paulo J. M. M. e T. Germano

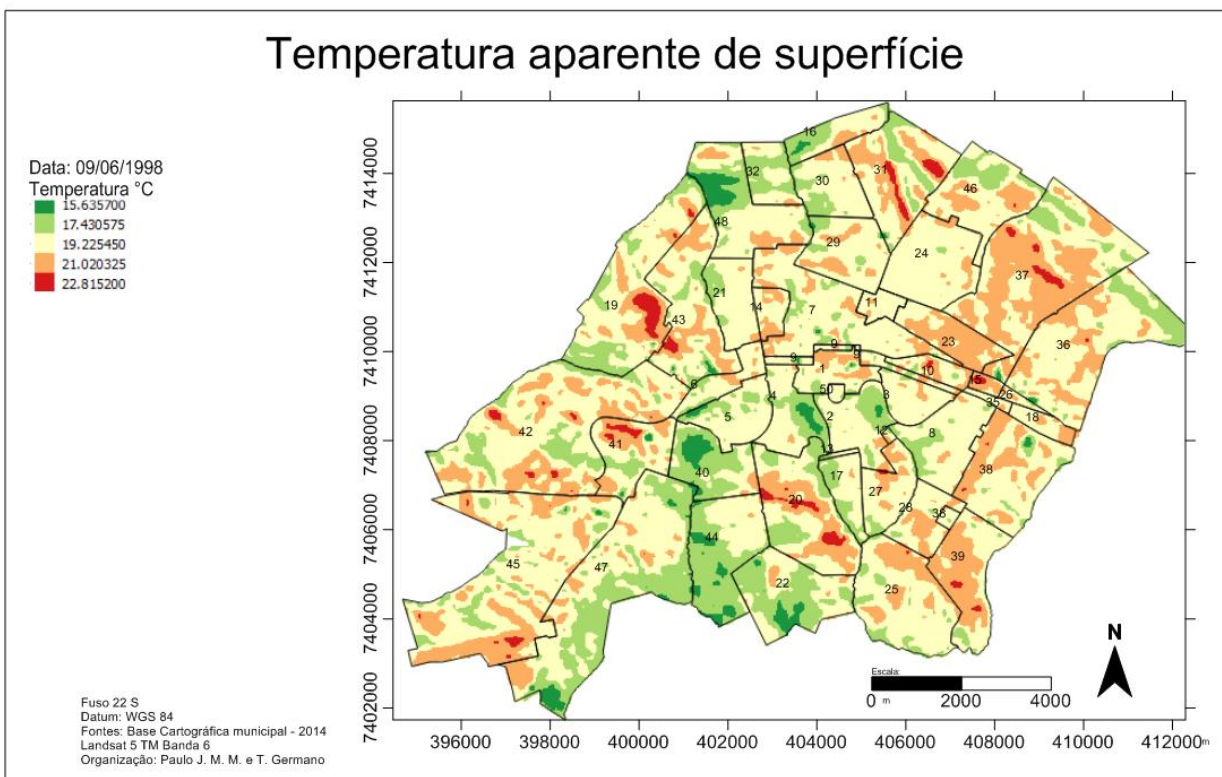
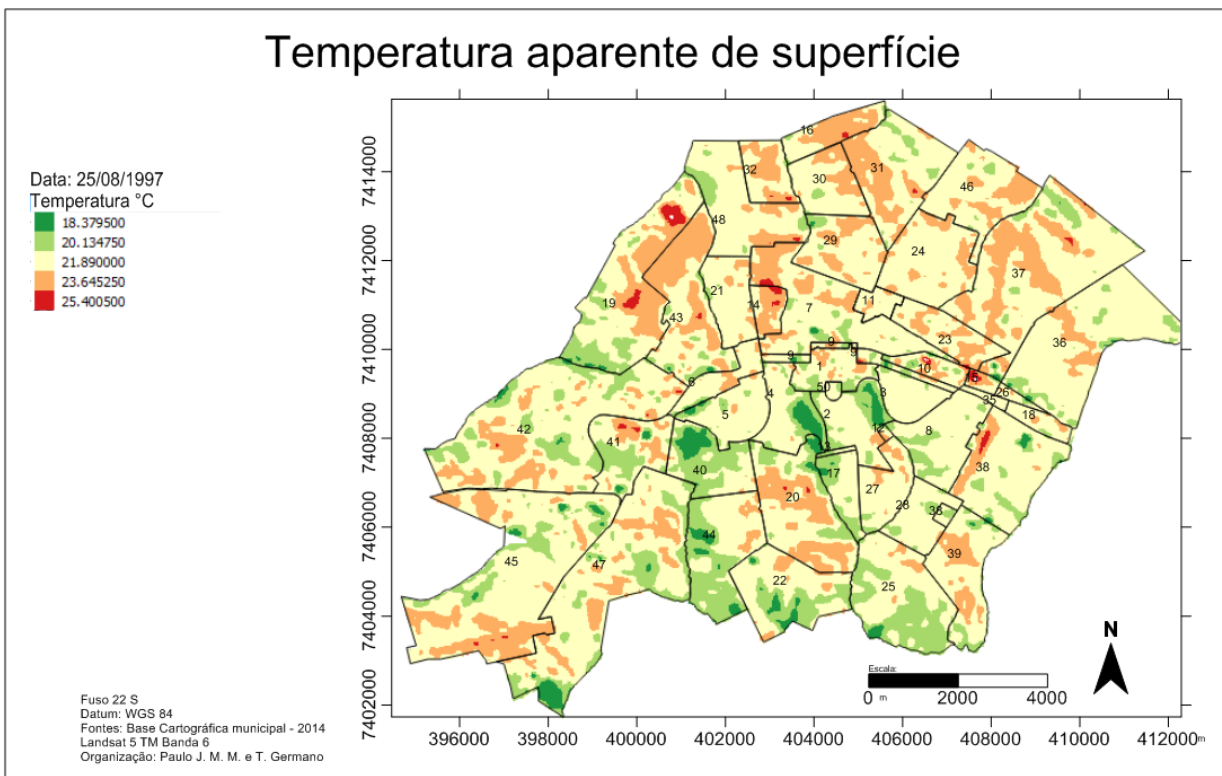
### Temperatura aparente de superfície

Data: 09/08/1997  
 Temperatura °C

- 13.301300
- 15.461325
- 17.621350
- 19.781375
- 21.941400

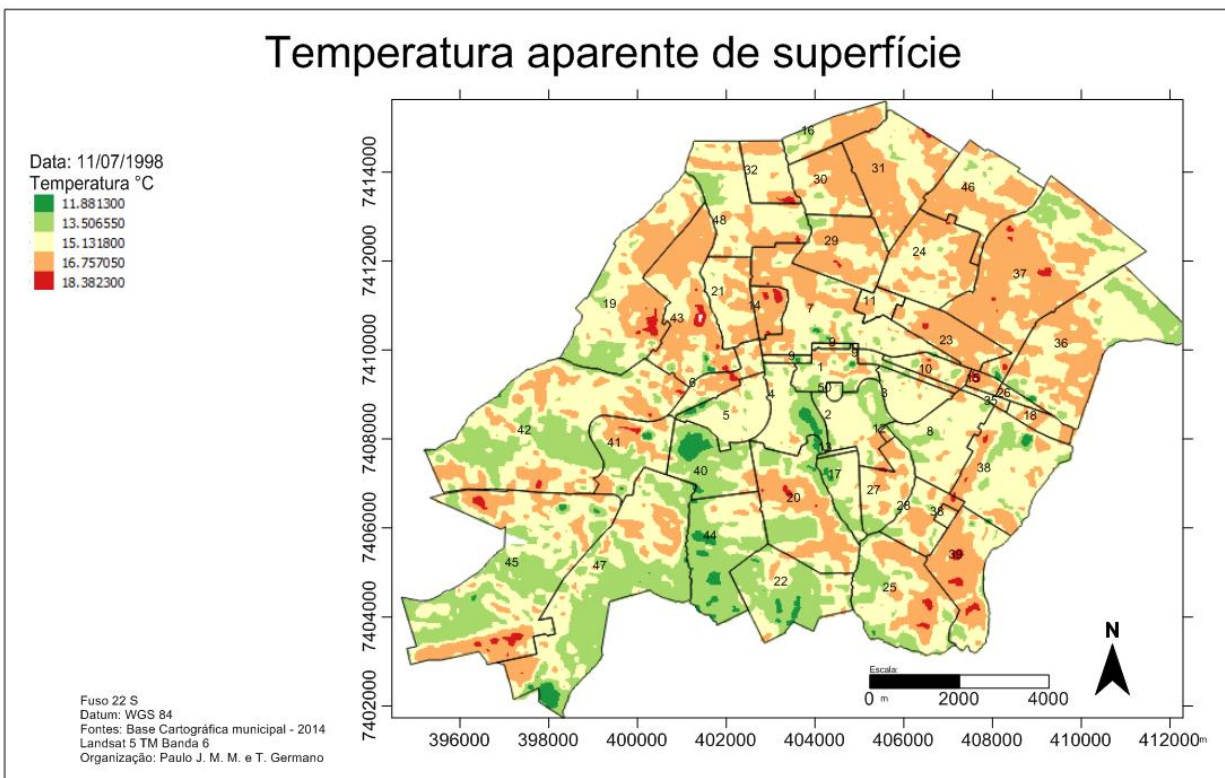


Fuso 22 S  
 Datum: WGS 84  
 Fontes: Base Cartográfica municipal - 2014  
 Landsat 5 TM Banda 6  
 Organização: Paulo J. M. M. e T. Germano

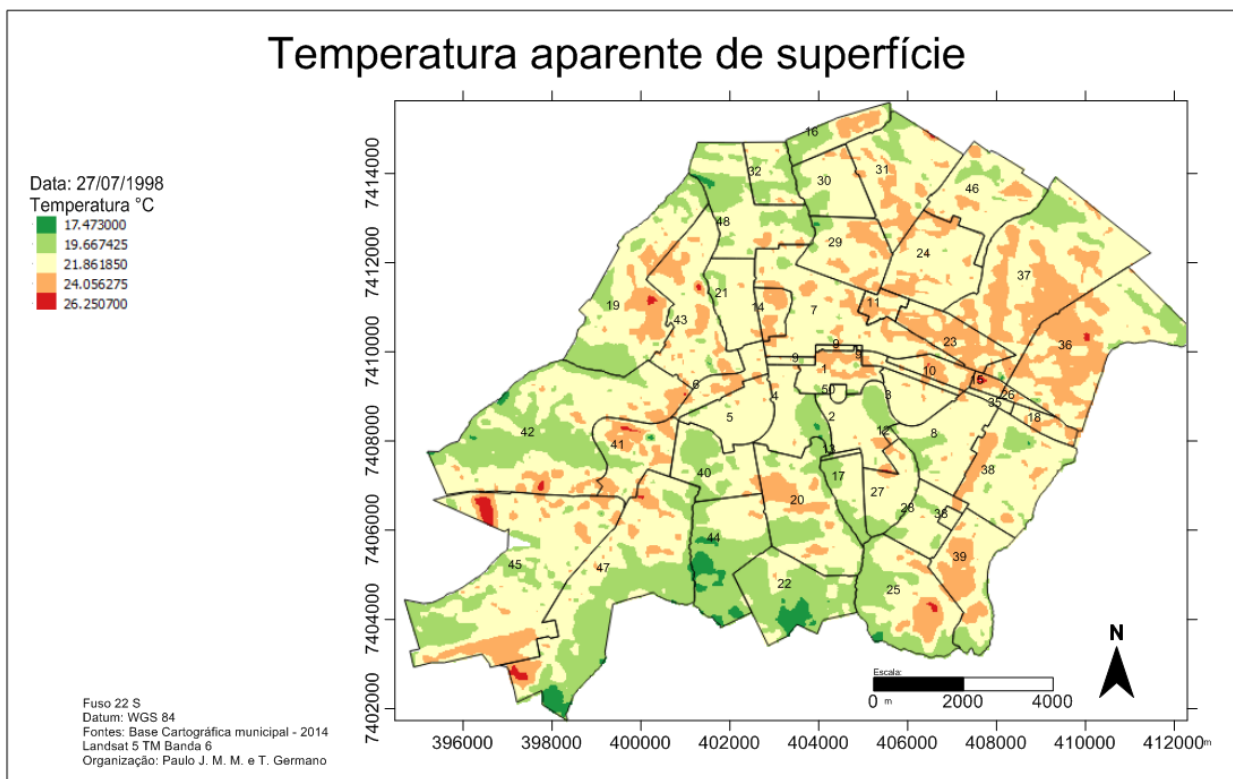


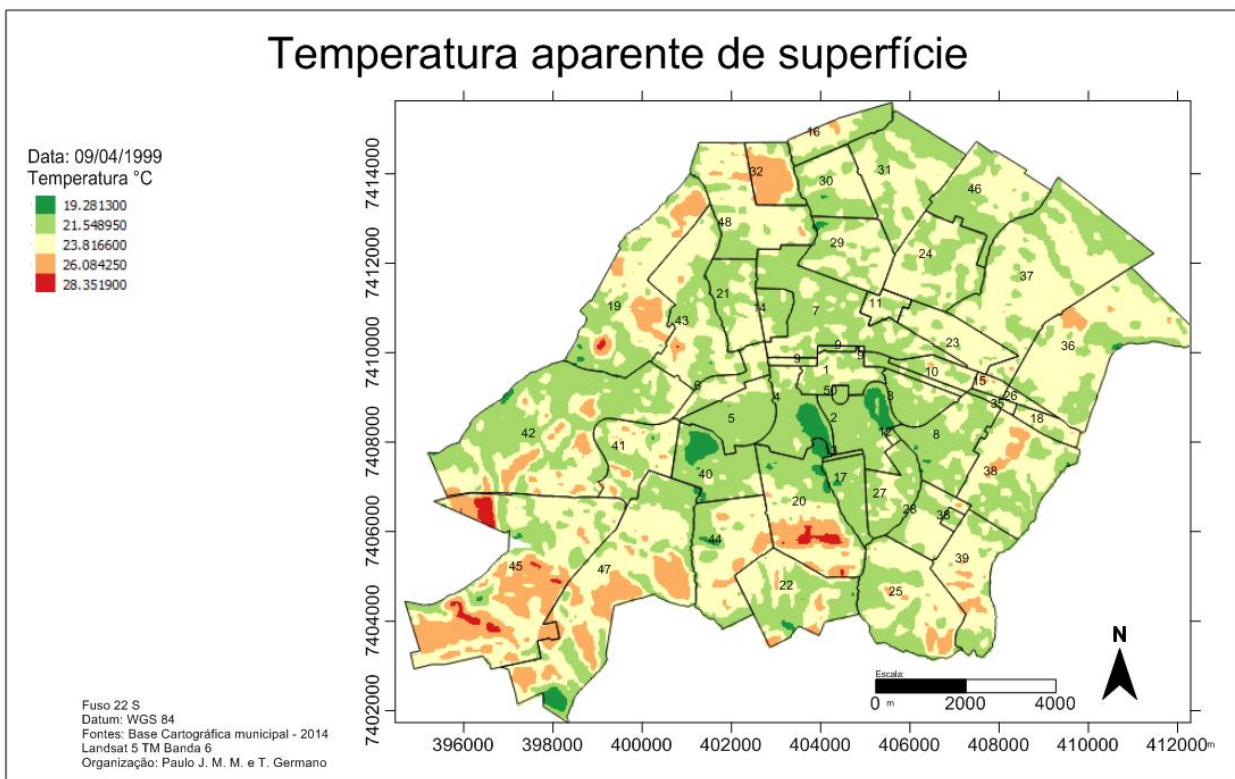
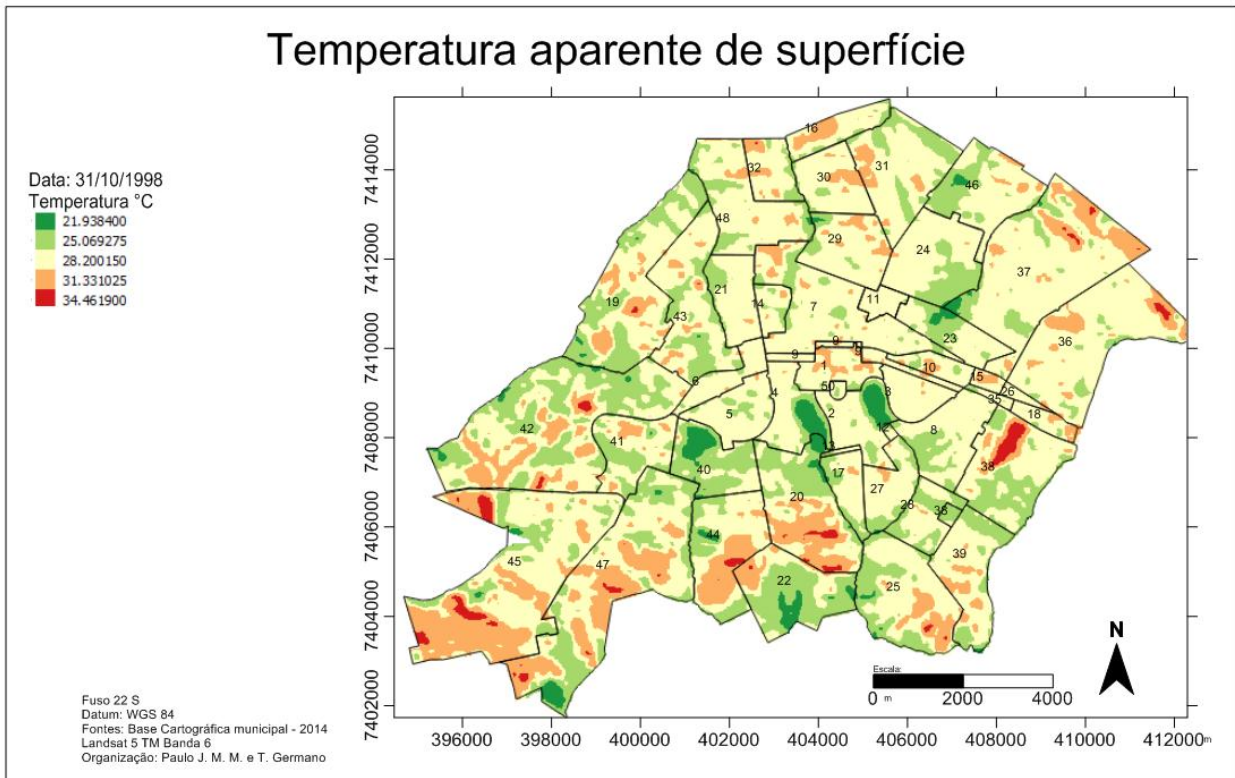


### Temperatura aparente de superfície



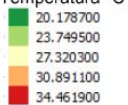
### Temperatura aparente de superfície



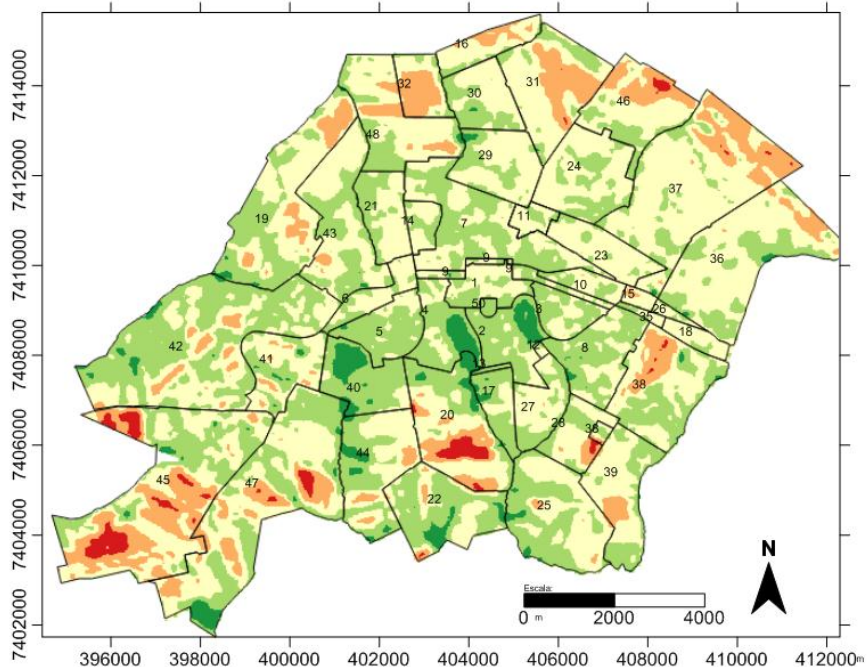


### Temperatura aparente de superfície

Data: 25/04/1999  
 Temperatura °C

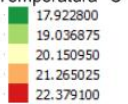


Fuso 22 S  
 Datum: WGS 84  
 Fontes: Base Cartográfica municipal - 2014  
 Landsat 5 TM Banda 6  
 Organização: Paulo J. M. M. e T. Germano

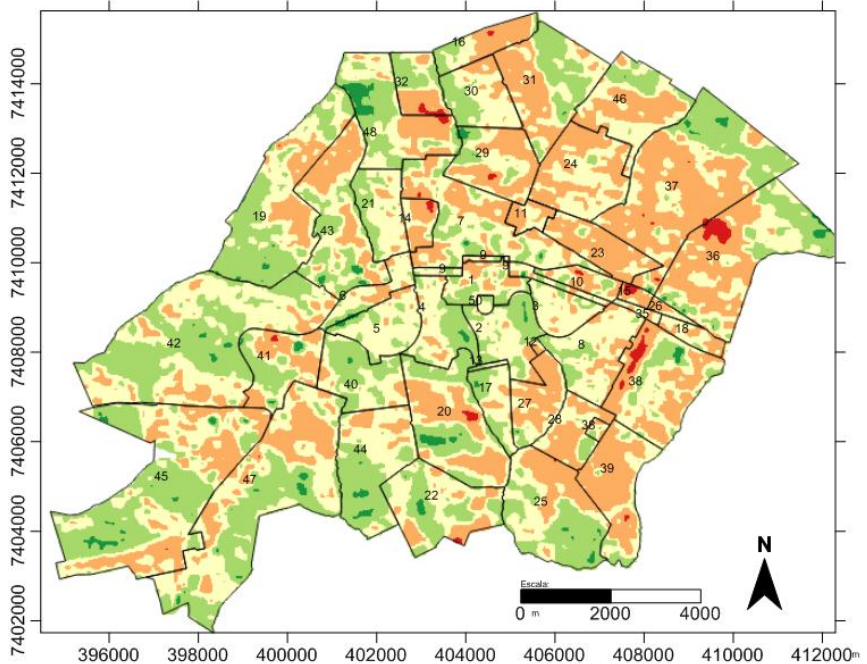


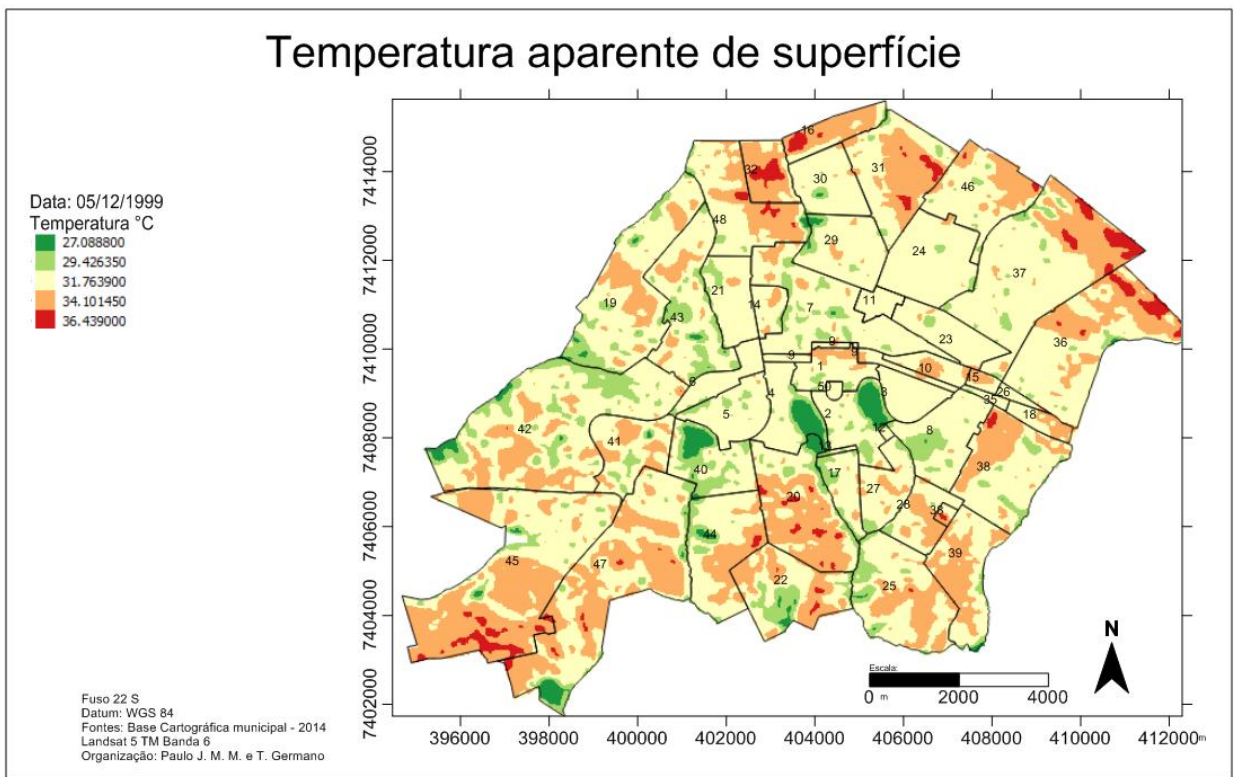
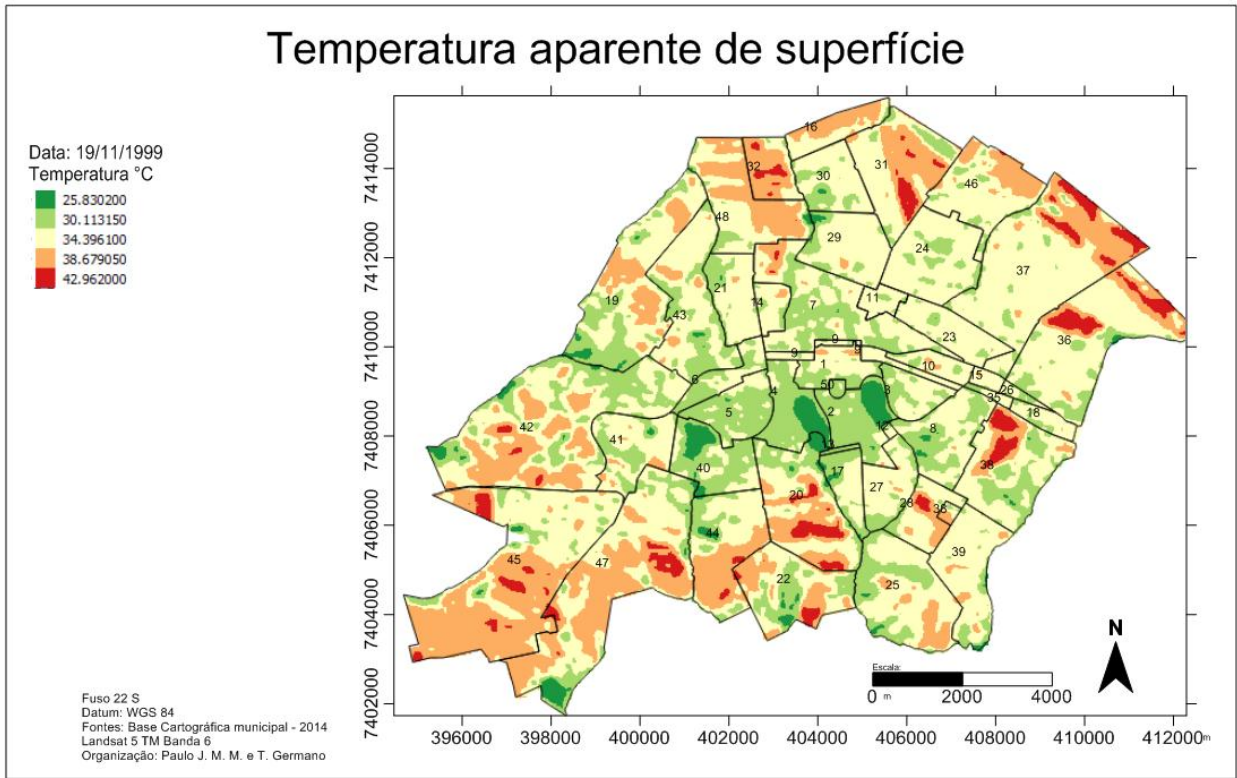
### Temperatura aparente de superfície

Data: 28/06/1999  
 Temperatura °C

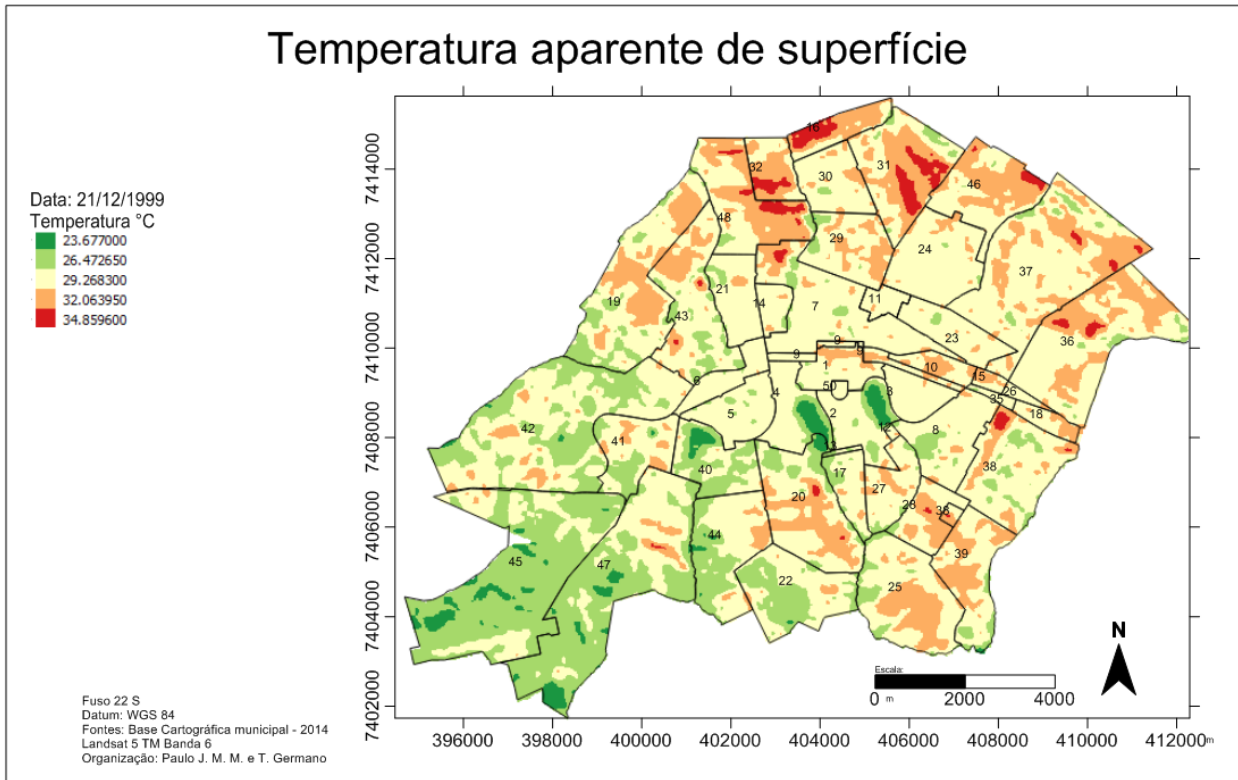


Fuso 22 S  
 Datum: WGS 84  
 Fontes: Base Cartográfica municipal - 2014  
 Landsat 5 TM Banda 6  
 Organização: Paulo J. M. M. e T. Germano

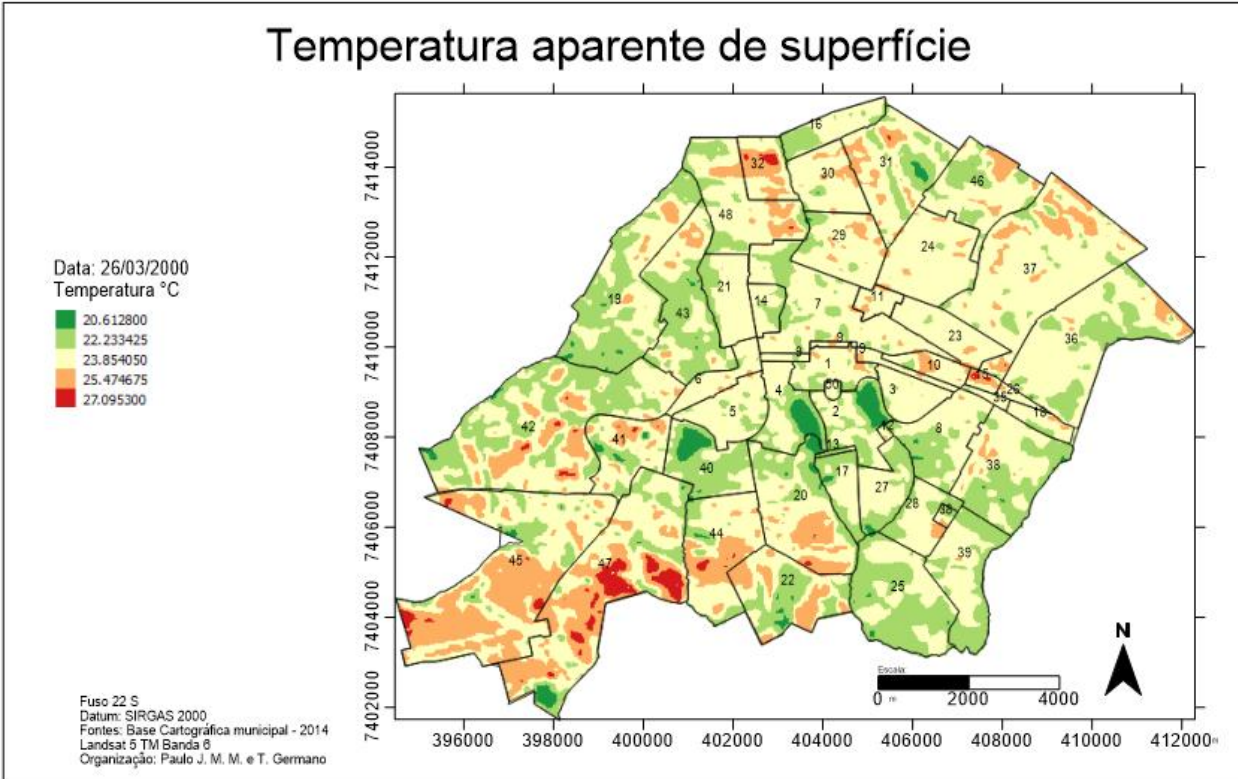


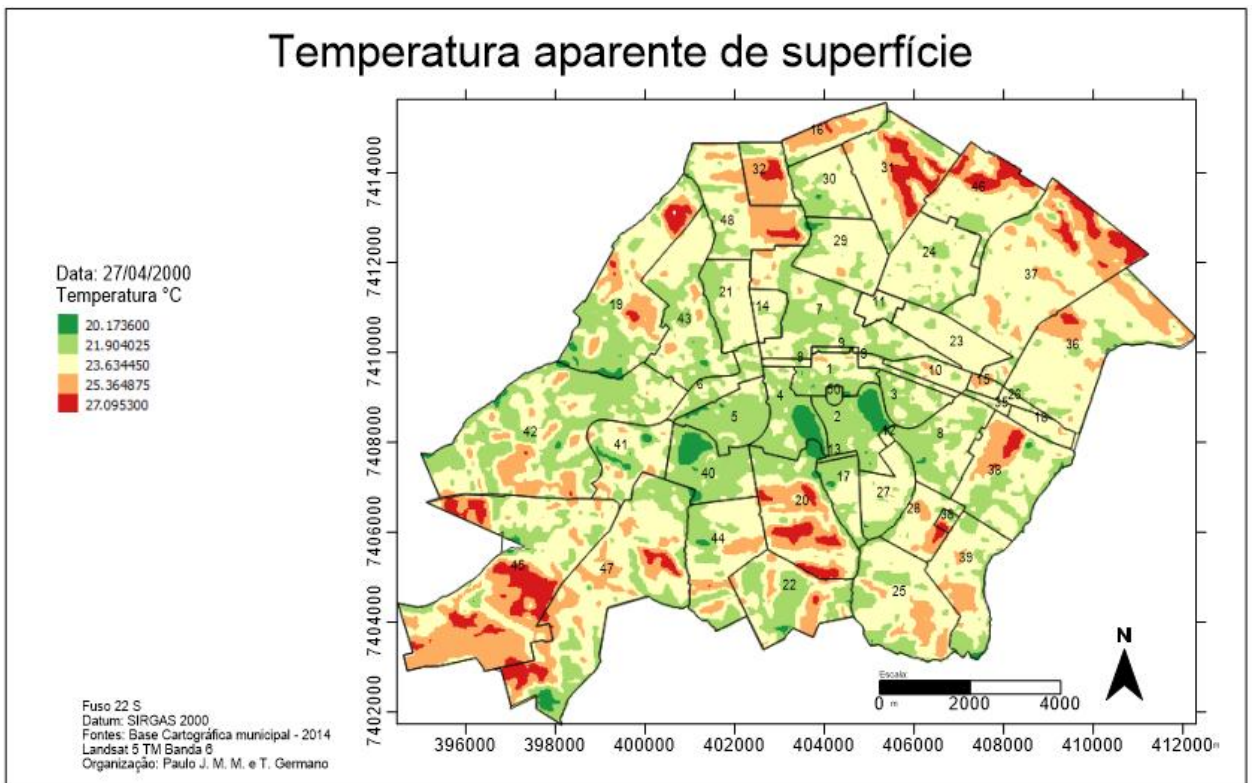
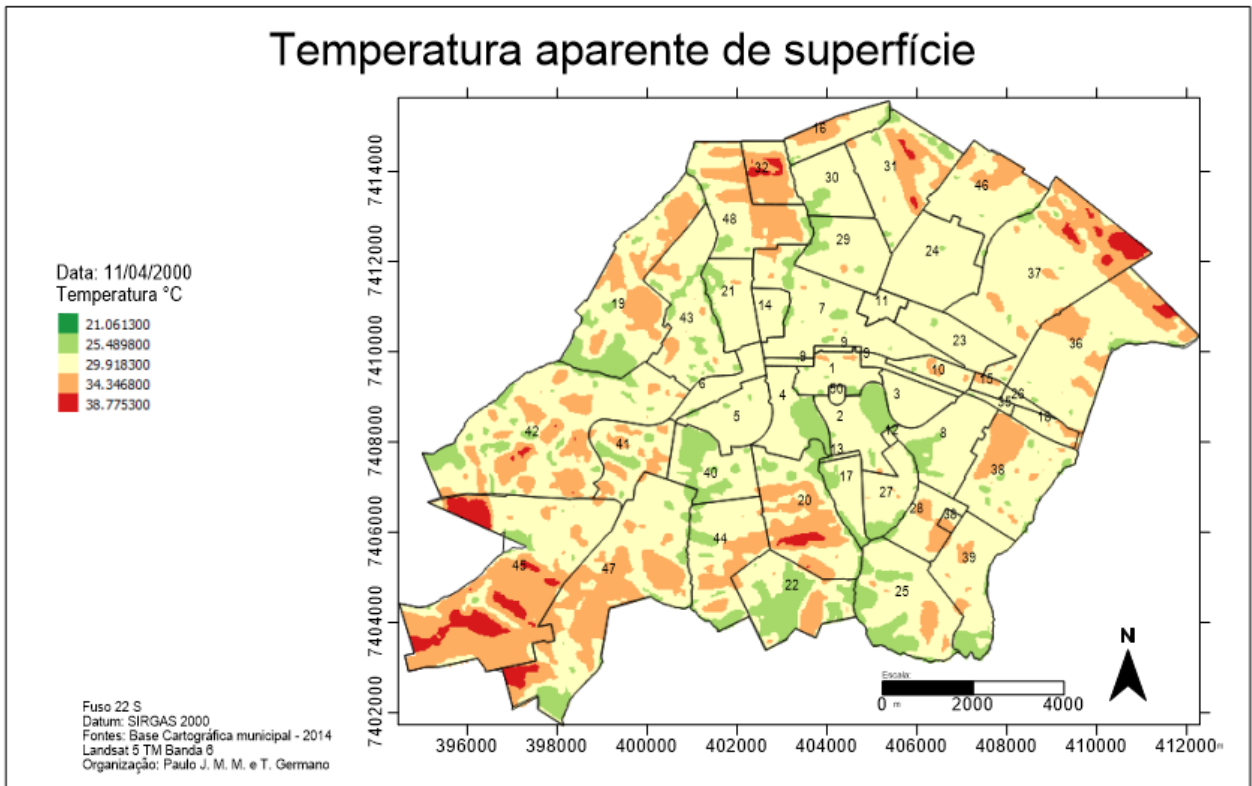


### Temperatura aparente de superfície

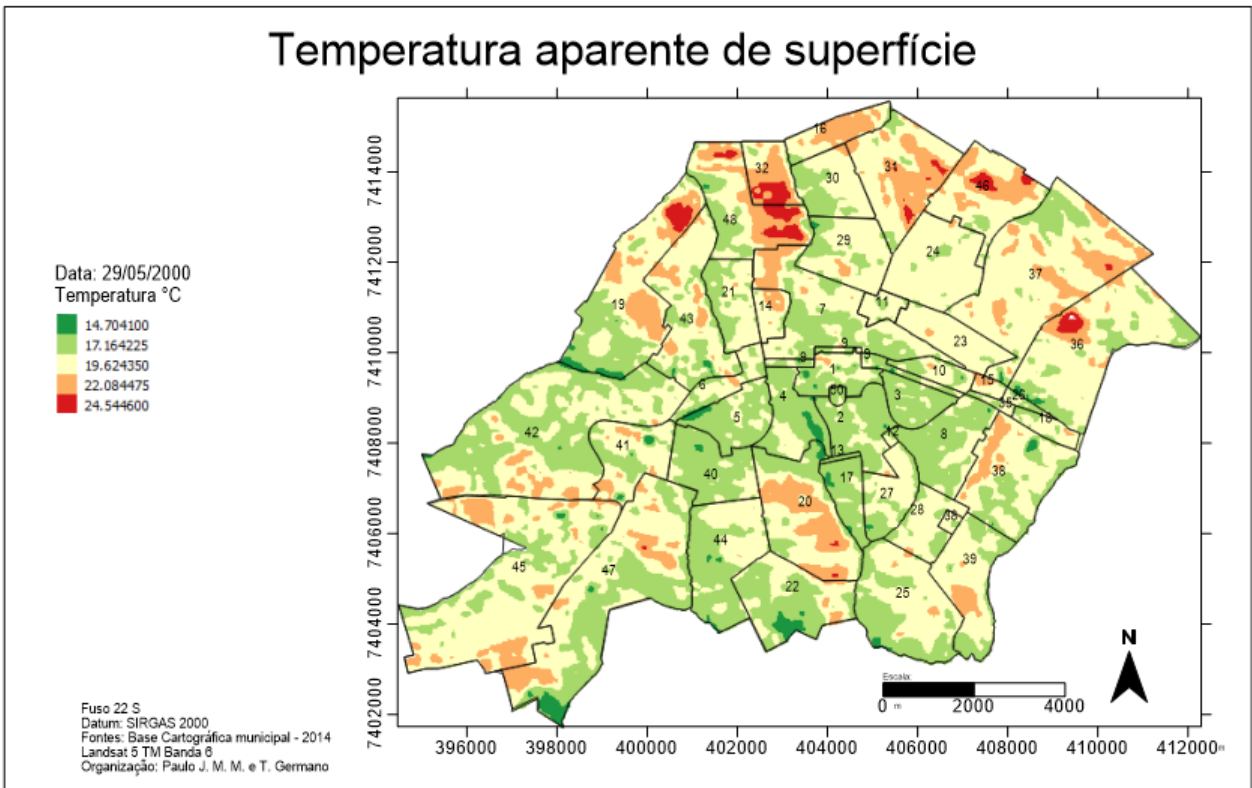


### Temperatura aparente de superfície

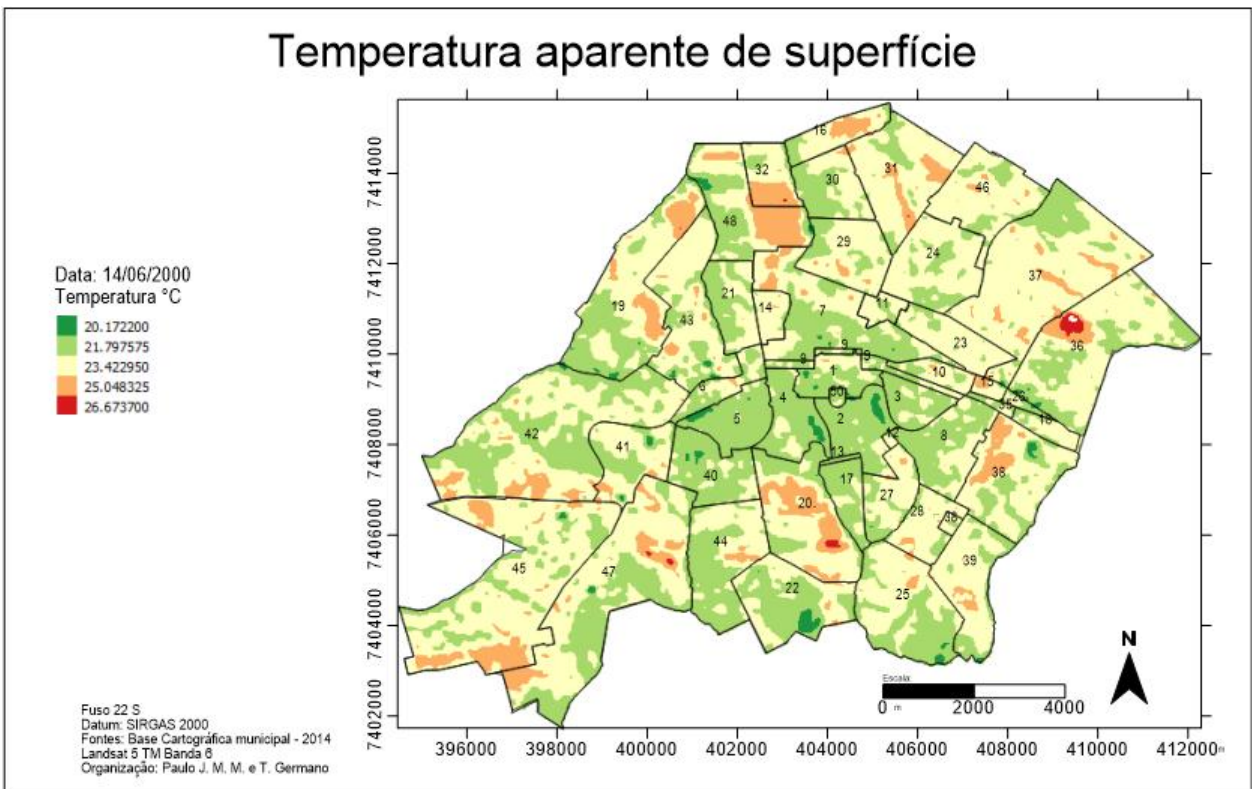




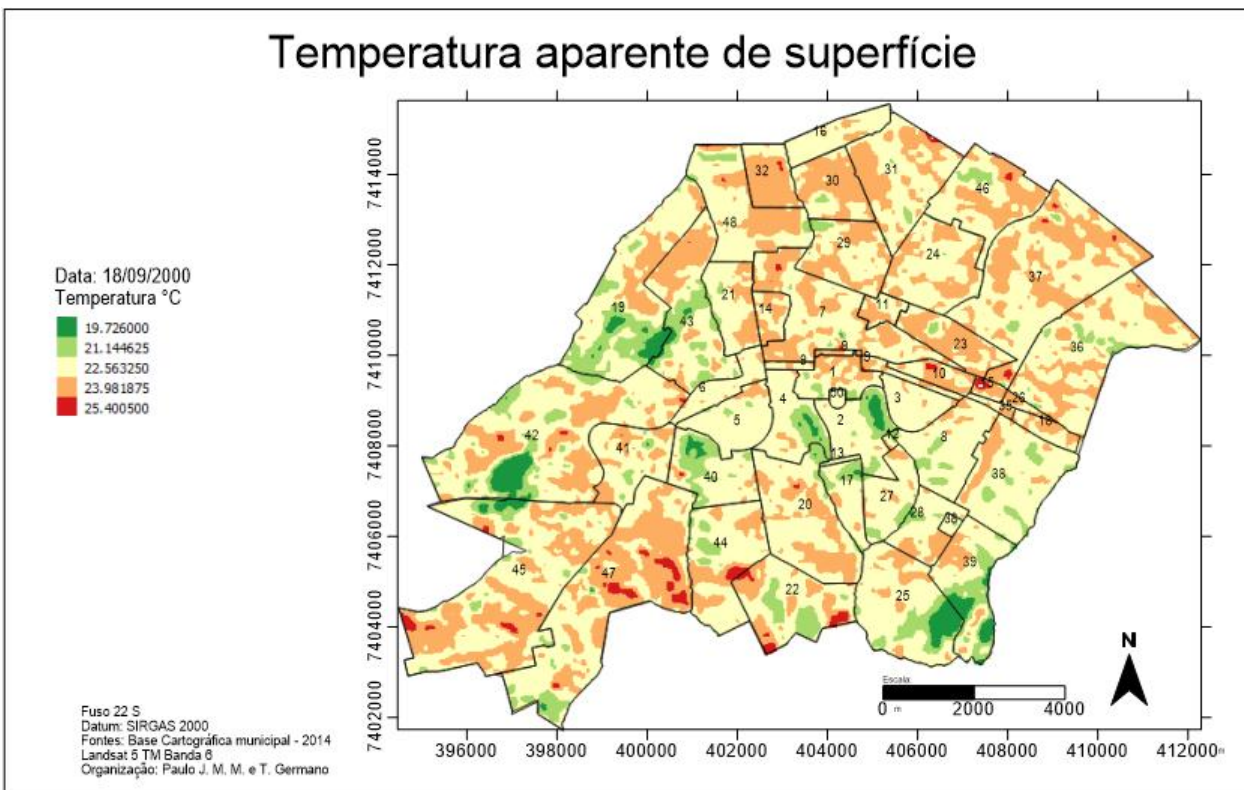
### Temperatura aparente de superfície



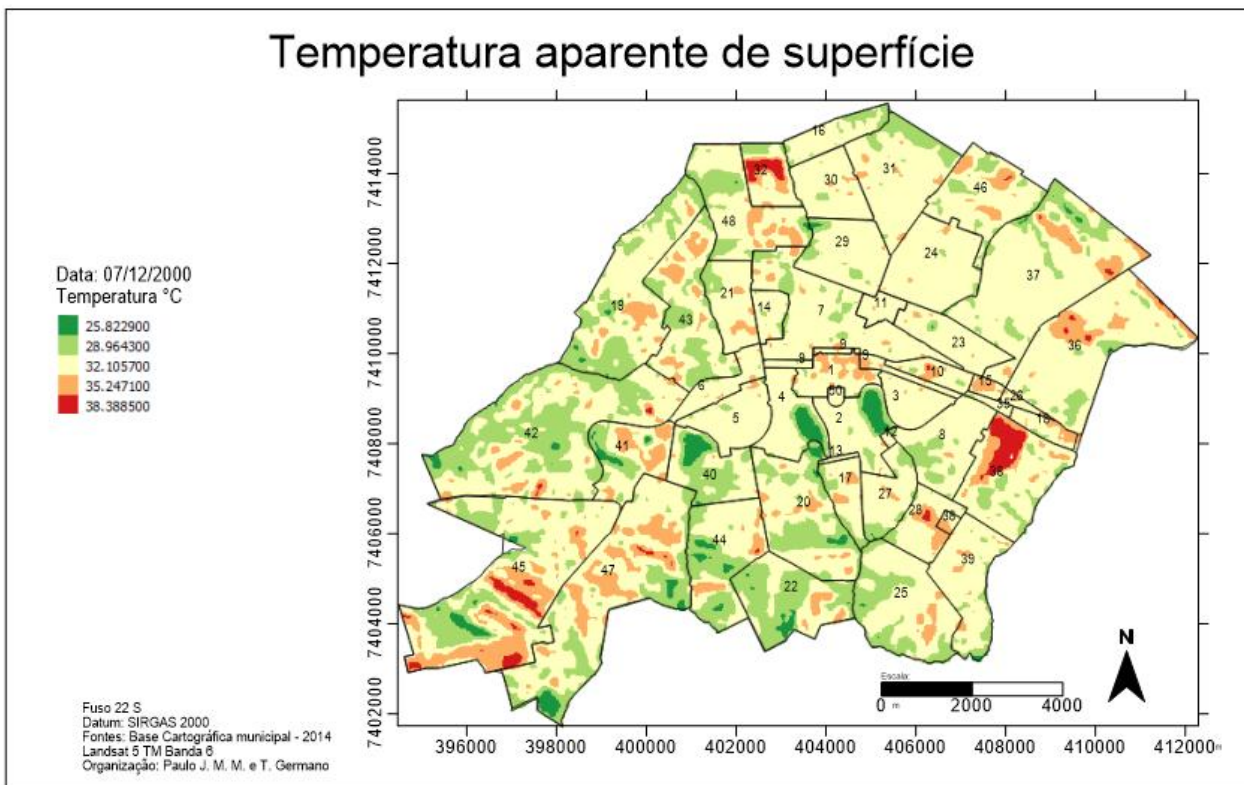
### Temperatura aparente de superfície



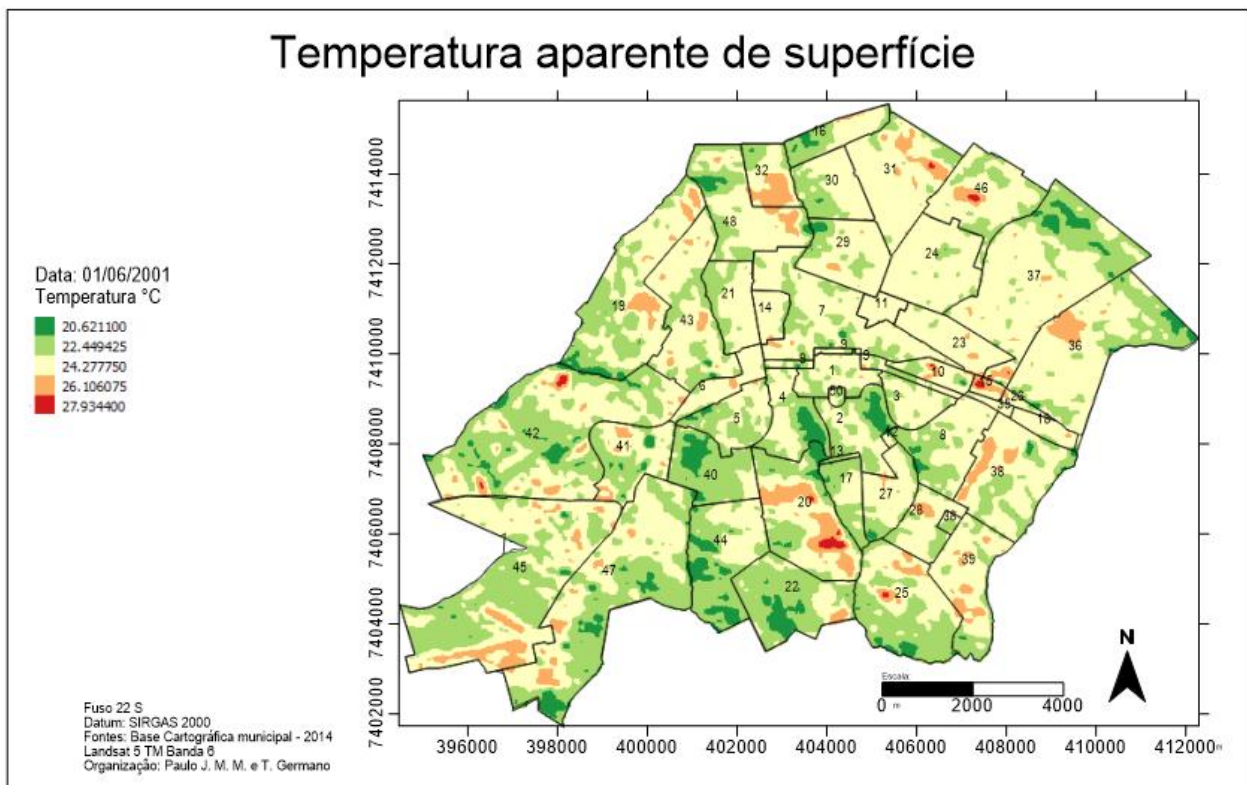
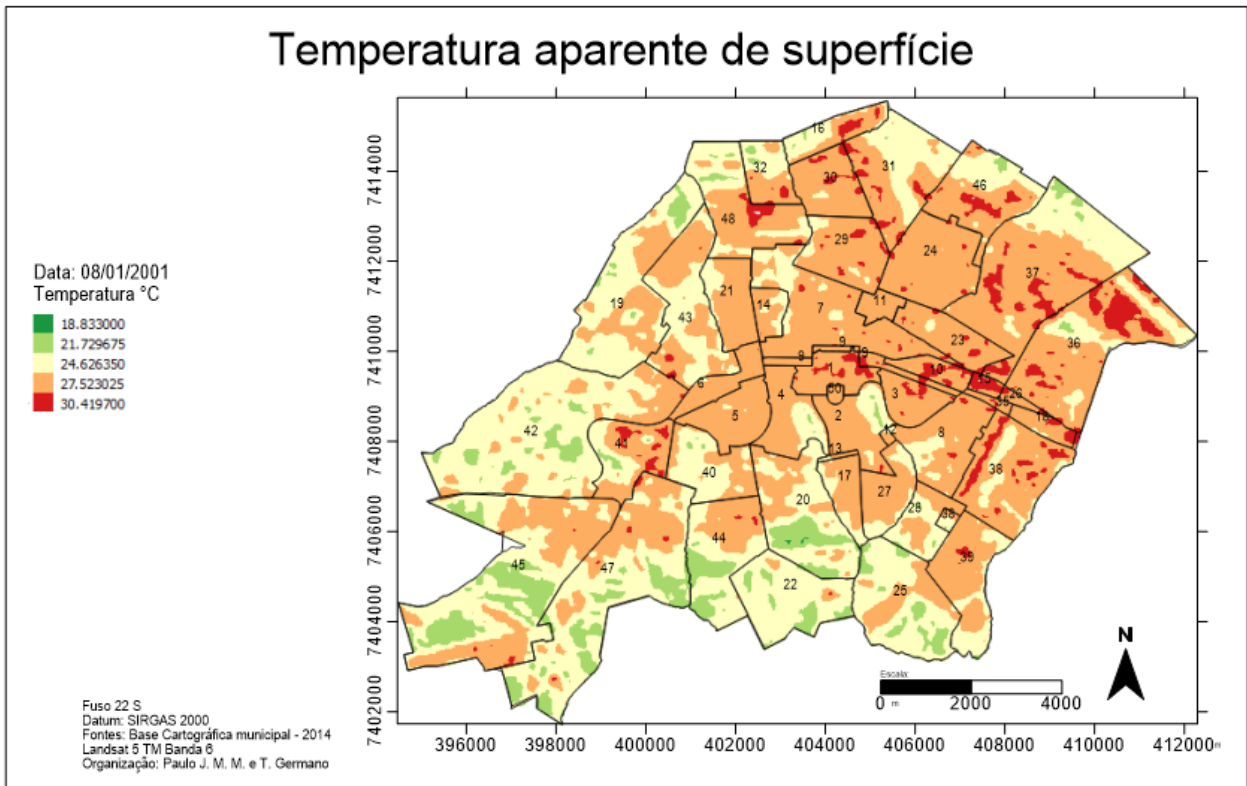
### Temperatura aparente de superfície



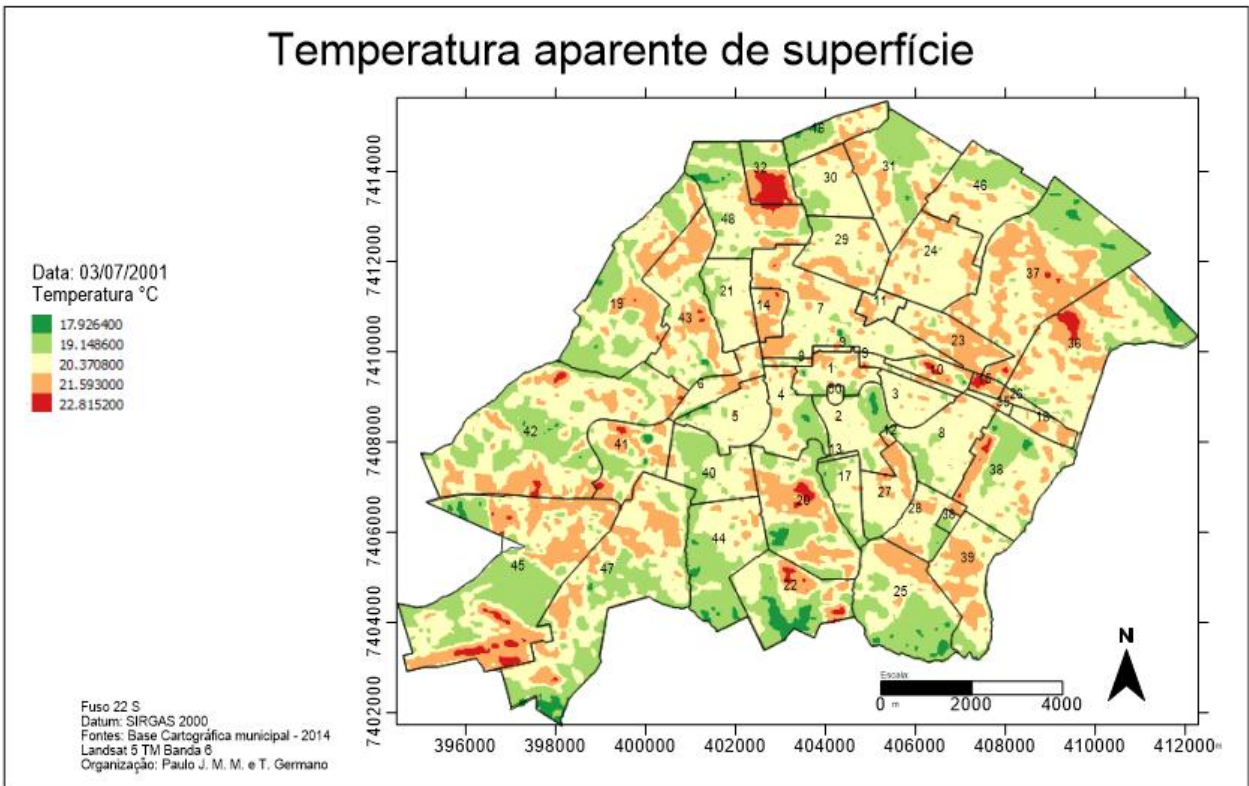
### Temperatura aparente de superfície



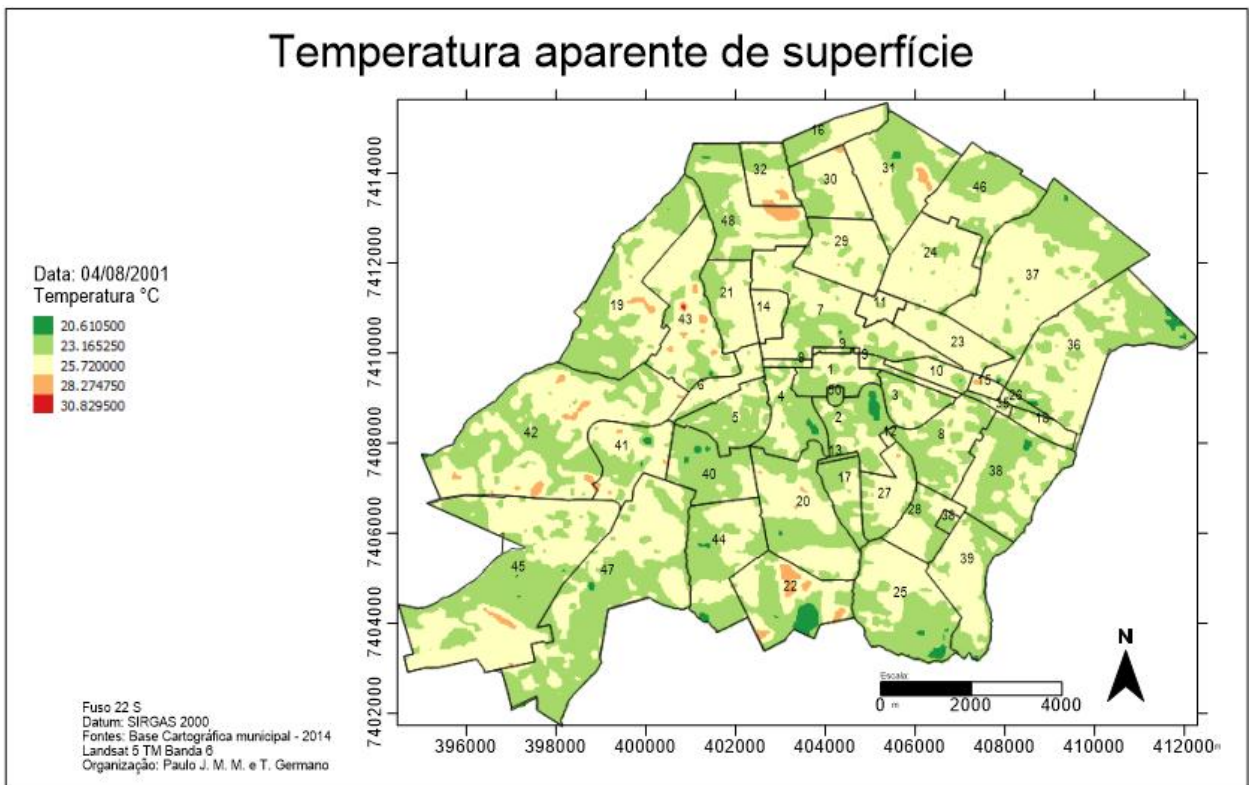


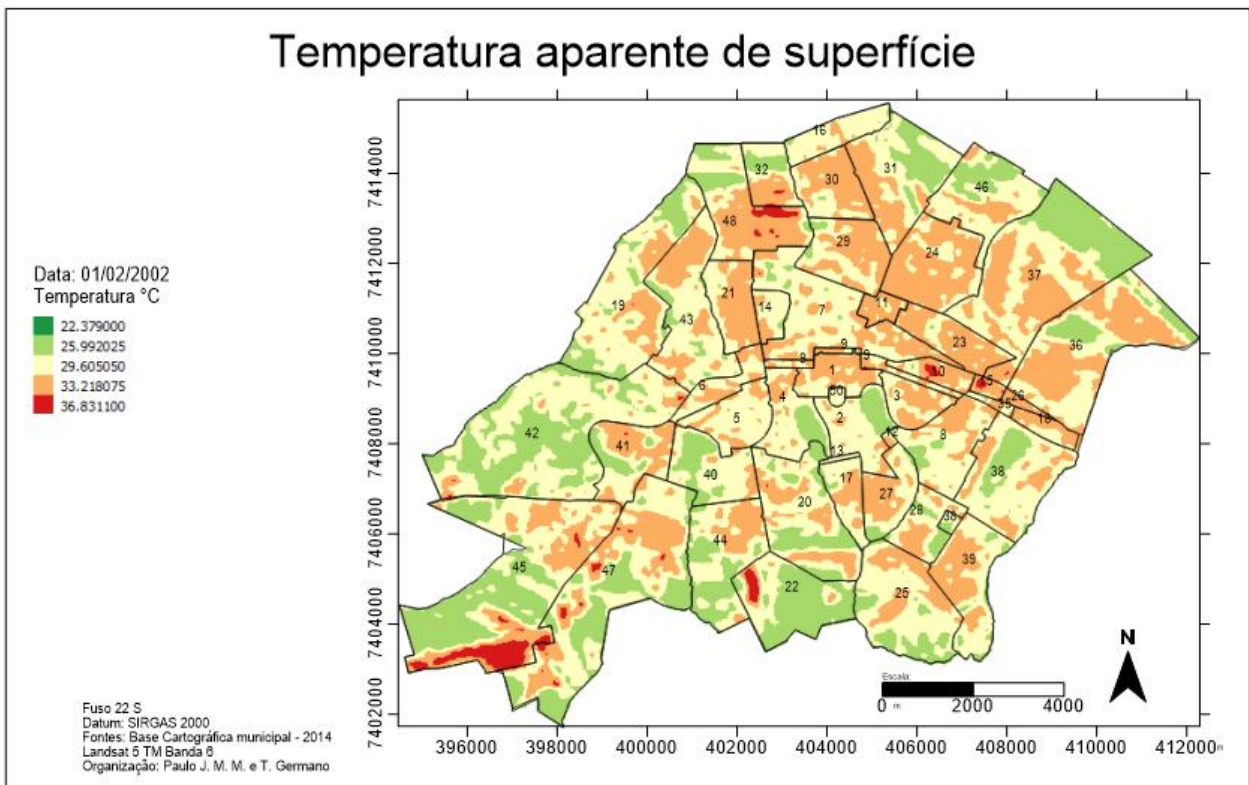
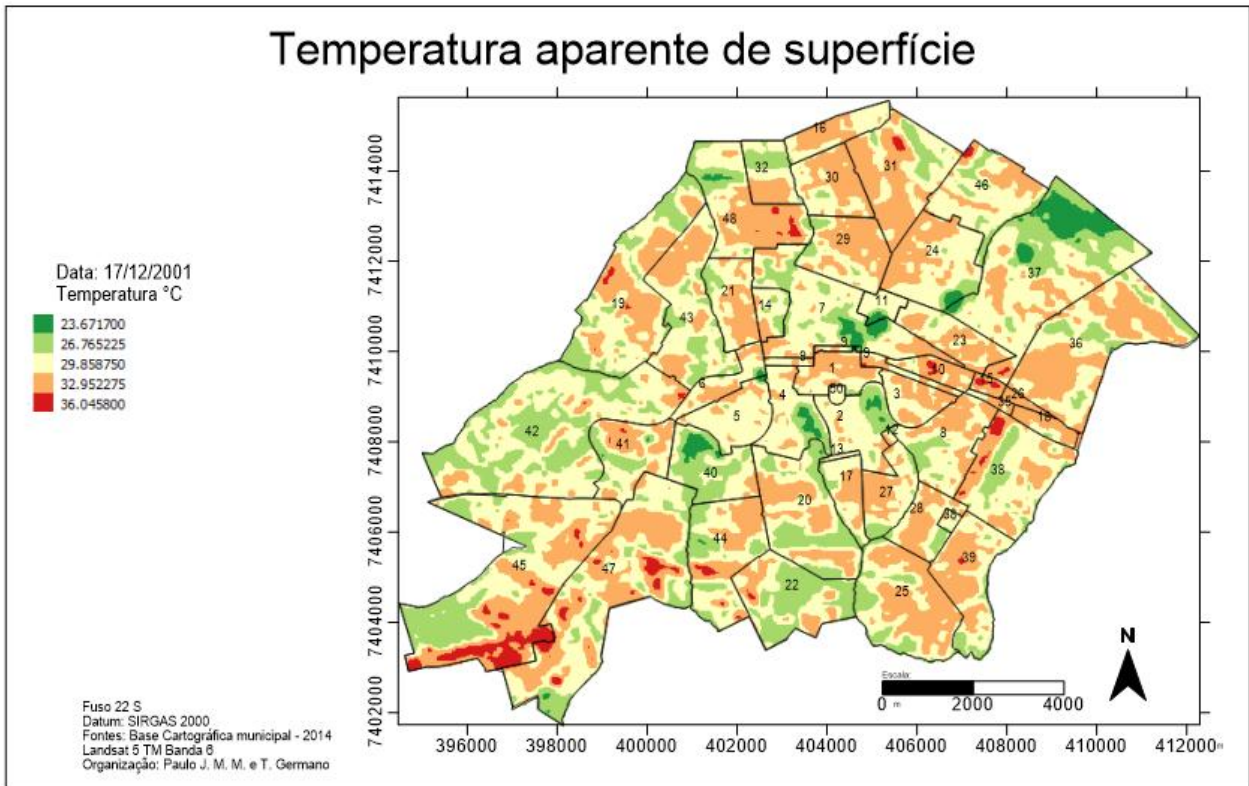


### Temperatura aparente de superfície

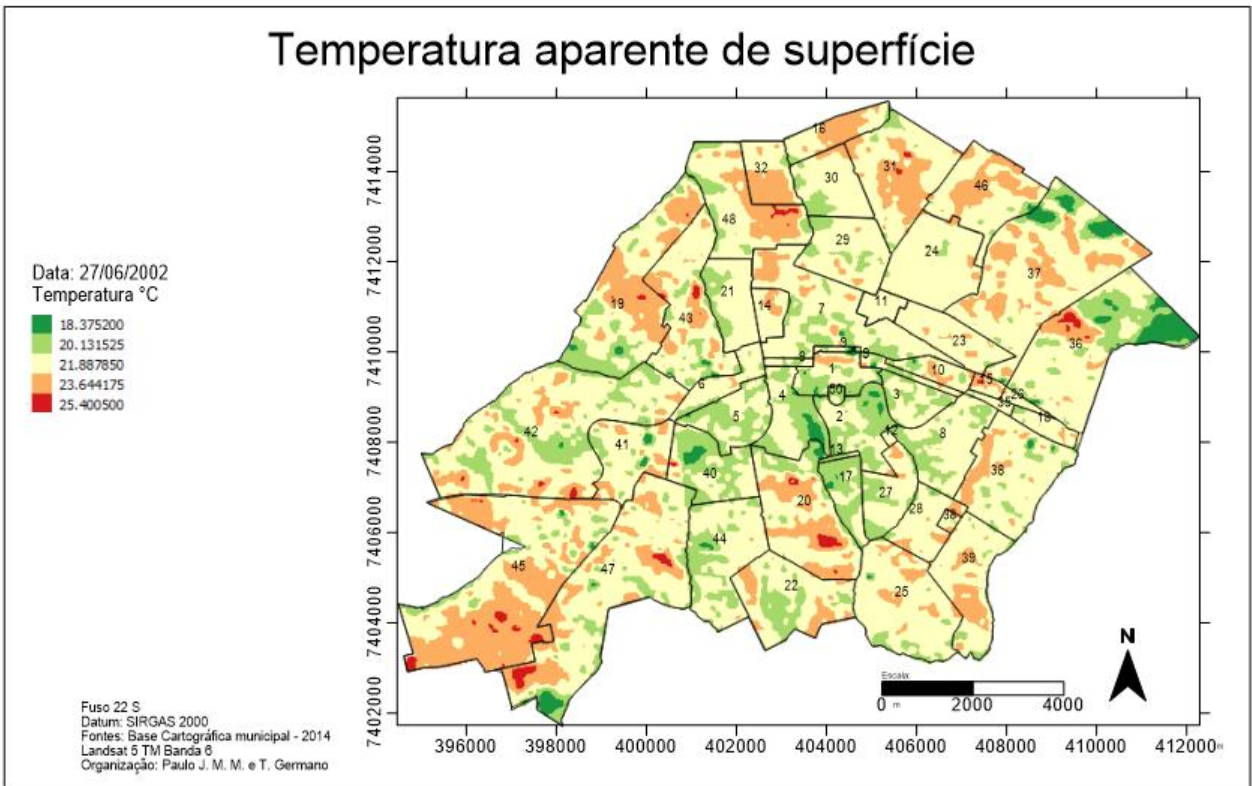


### Temperatura aparente de superfície

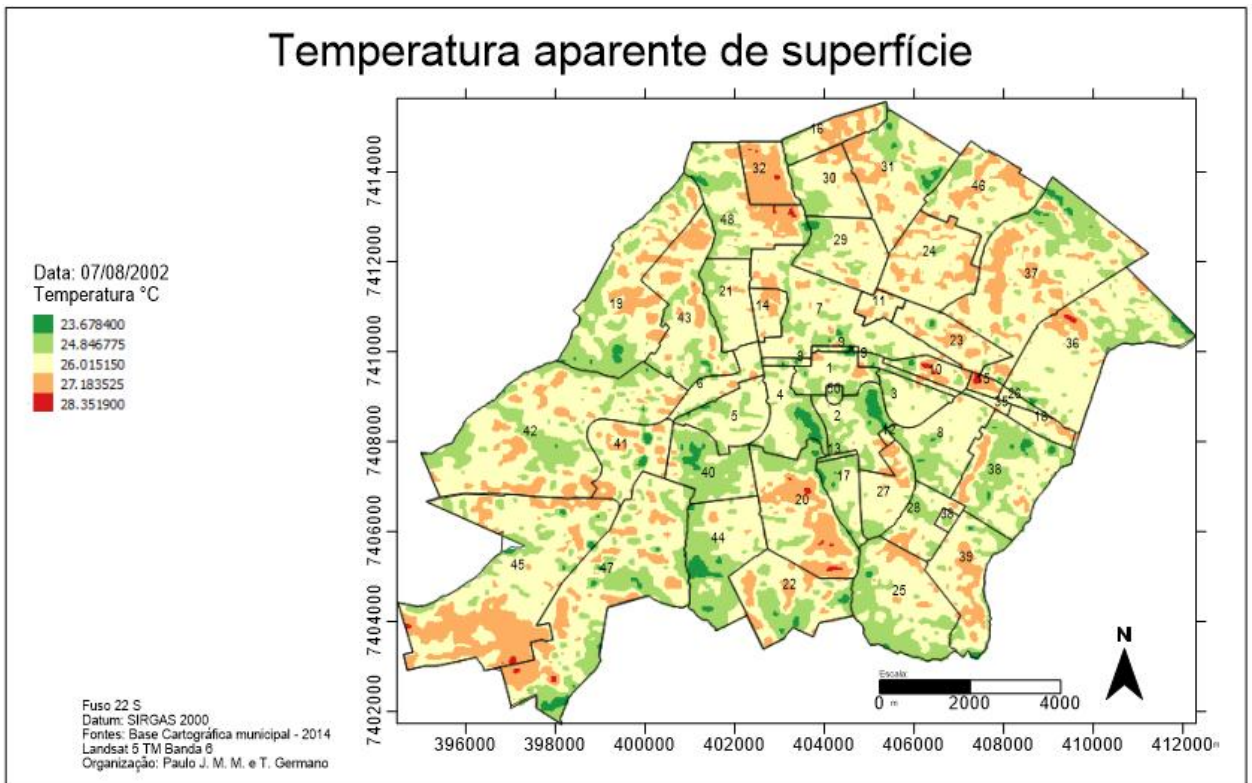




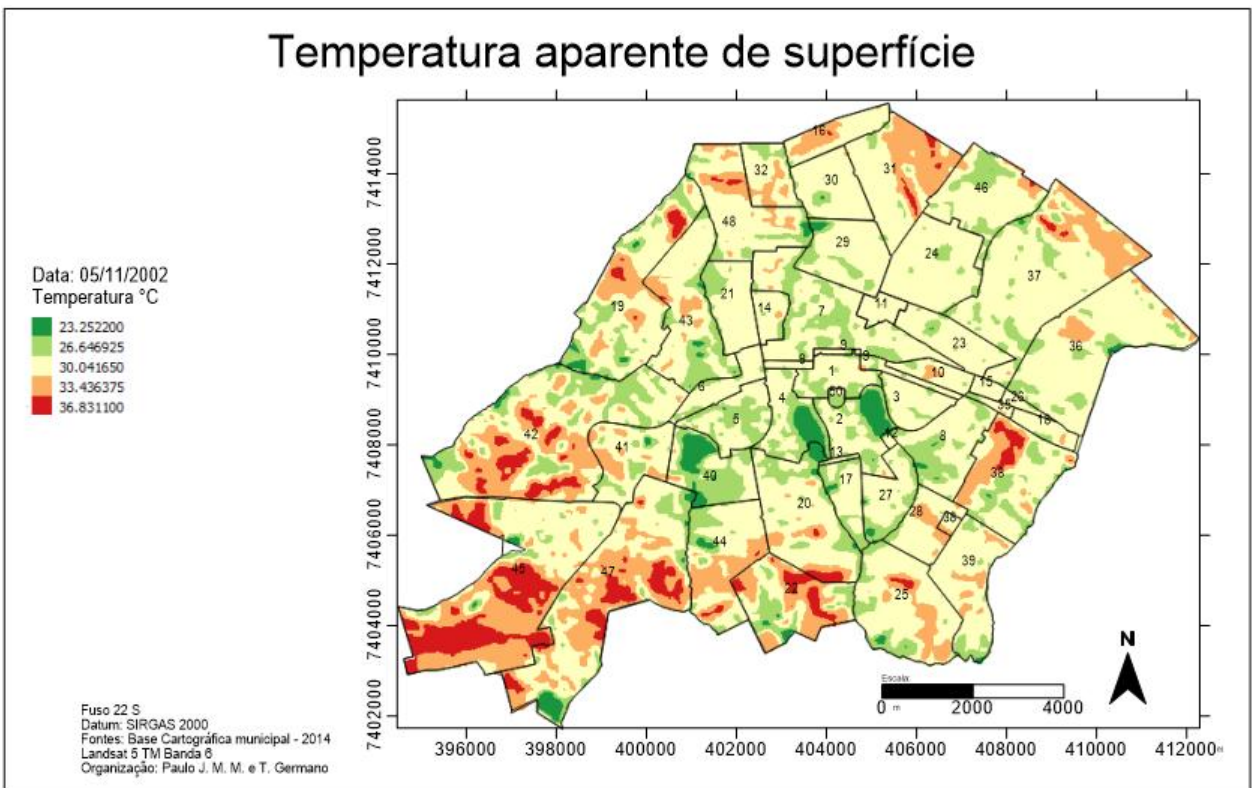
### Temperatura aparente de superfície



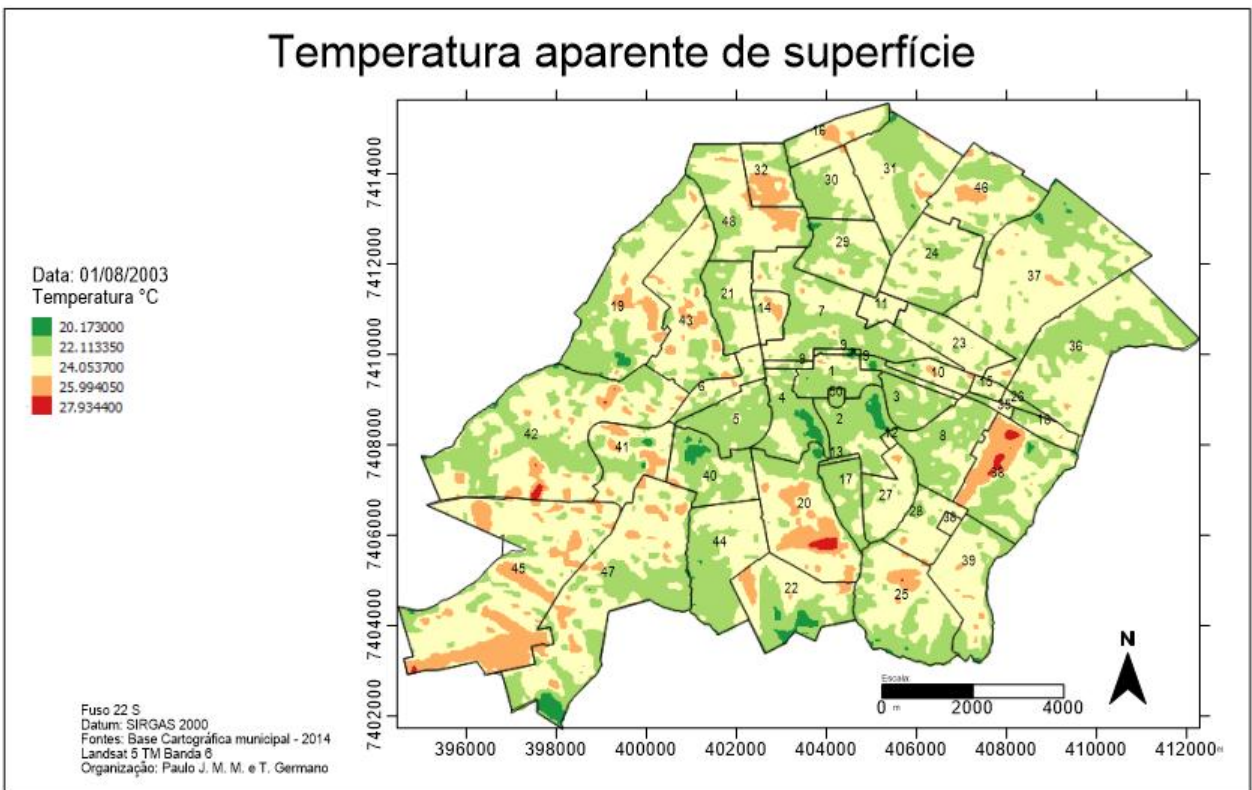
### Temperatura aparente de superfície

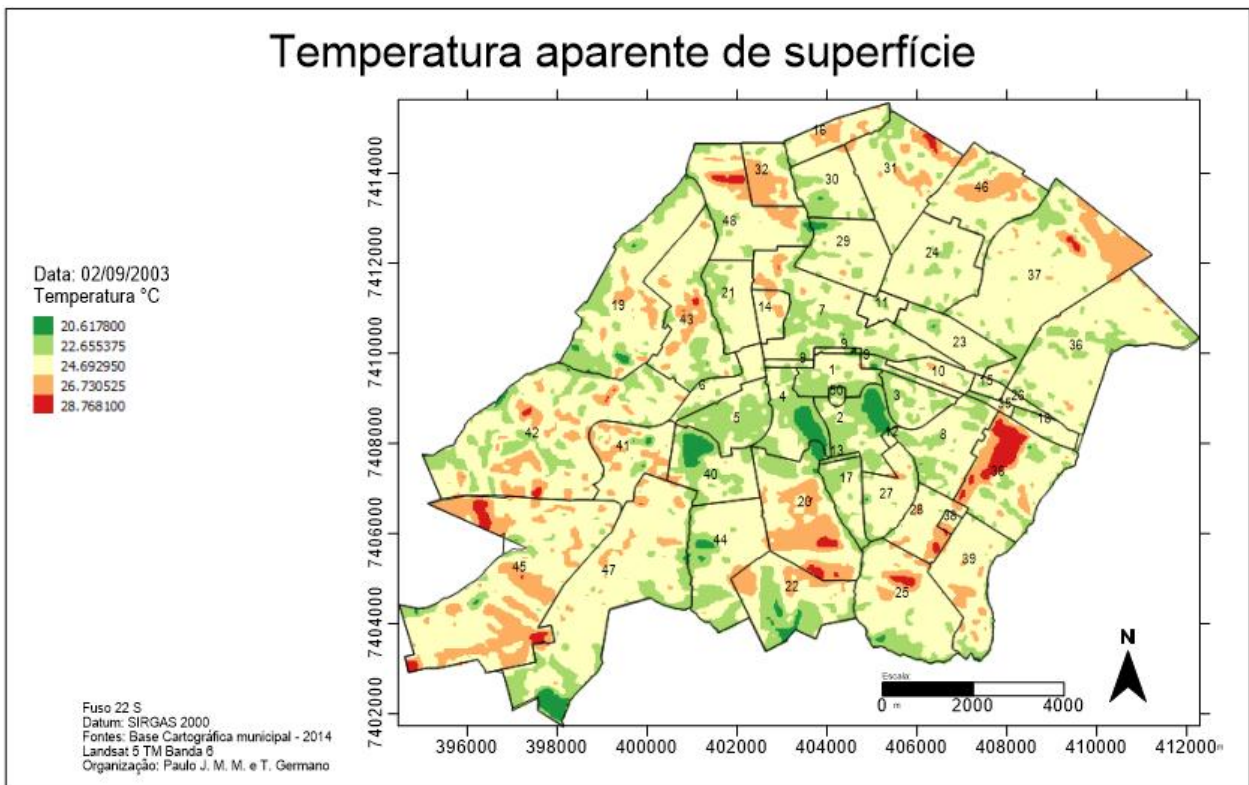
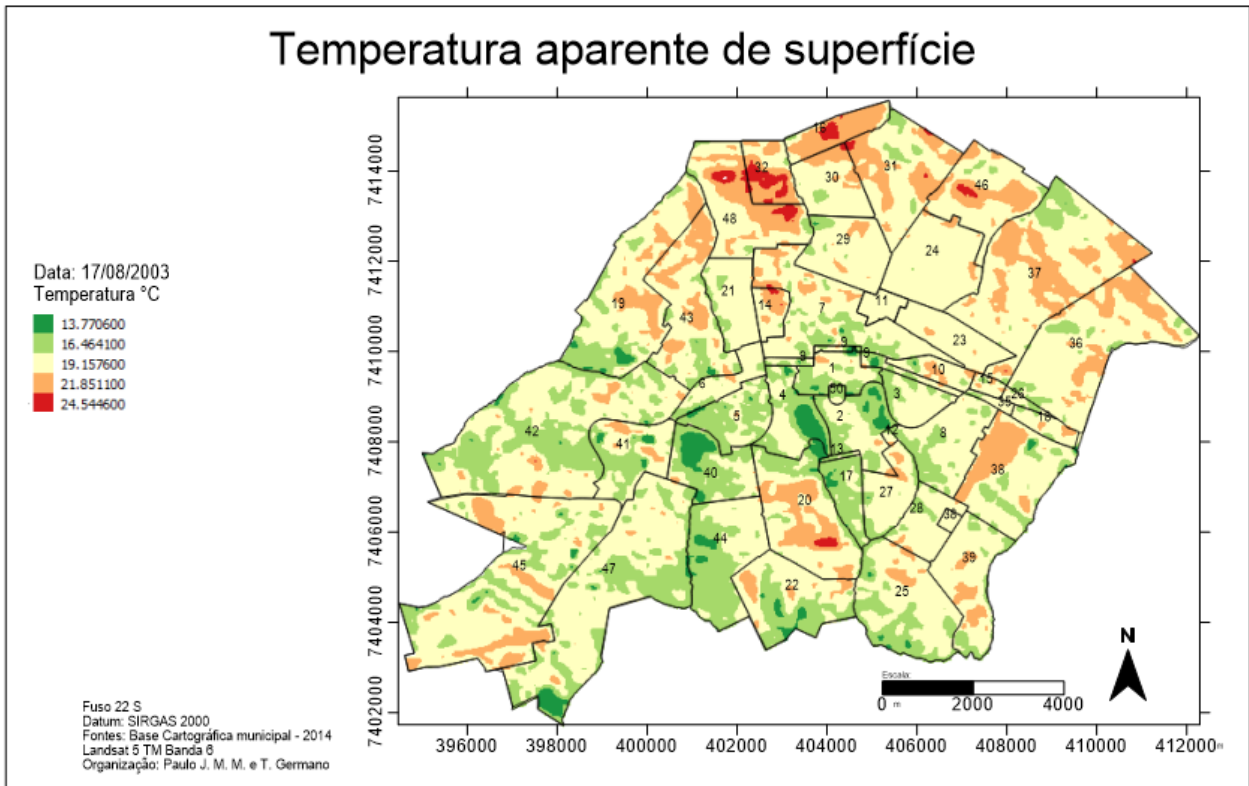


### Temperatura aparente de superfície

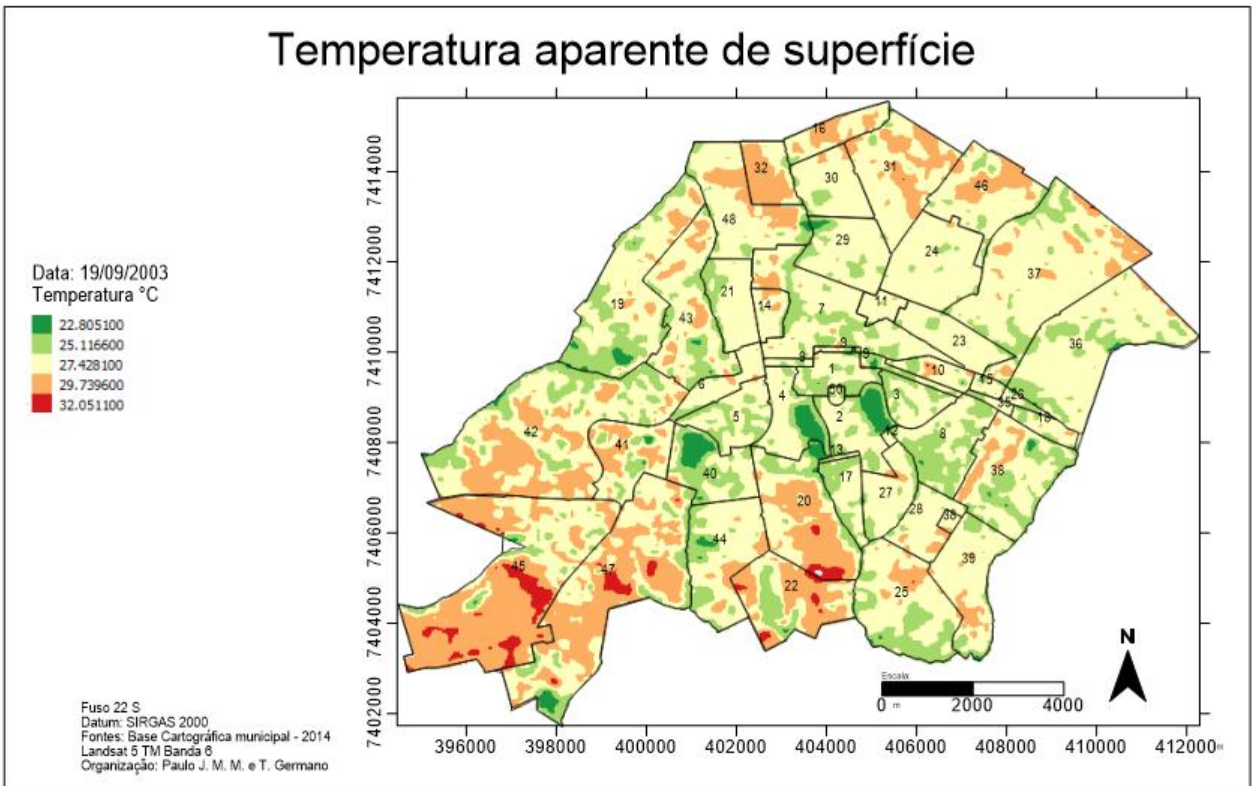


### Temperatura aparente de superfície

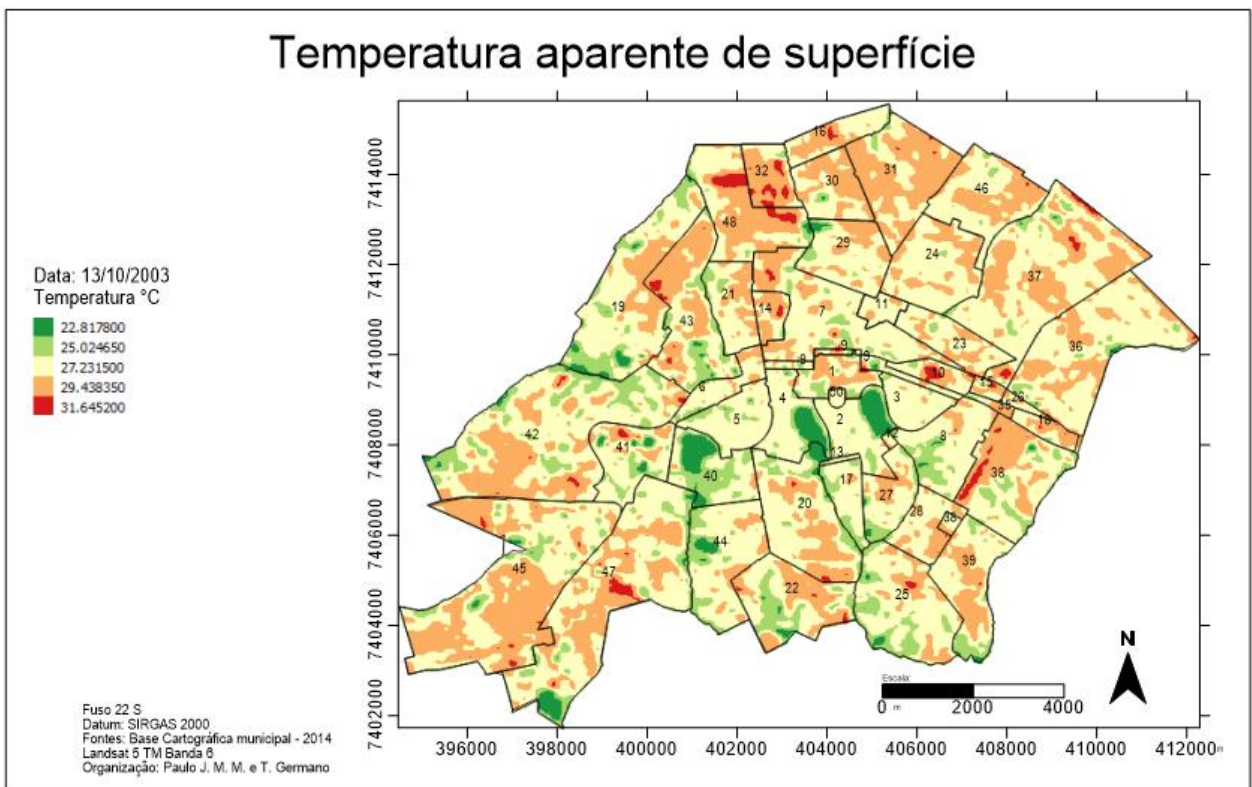


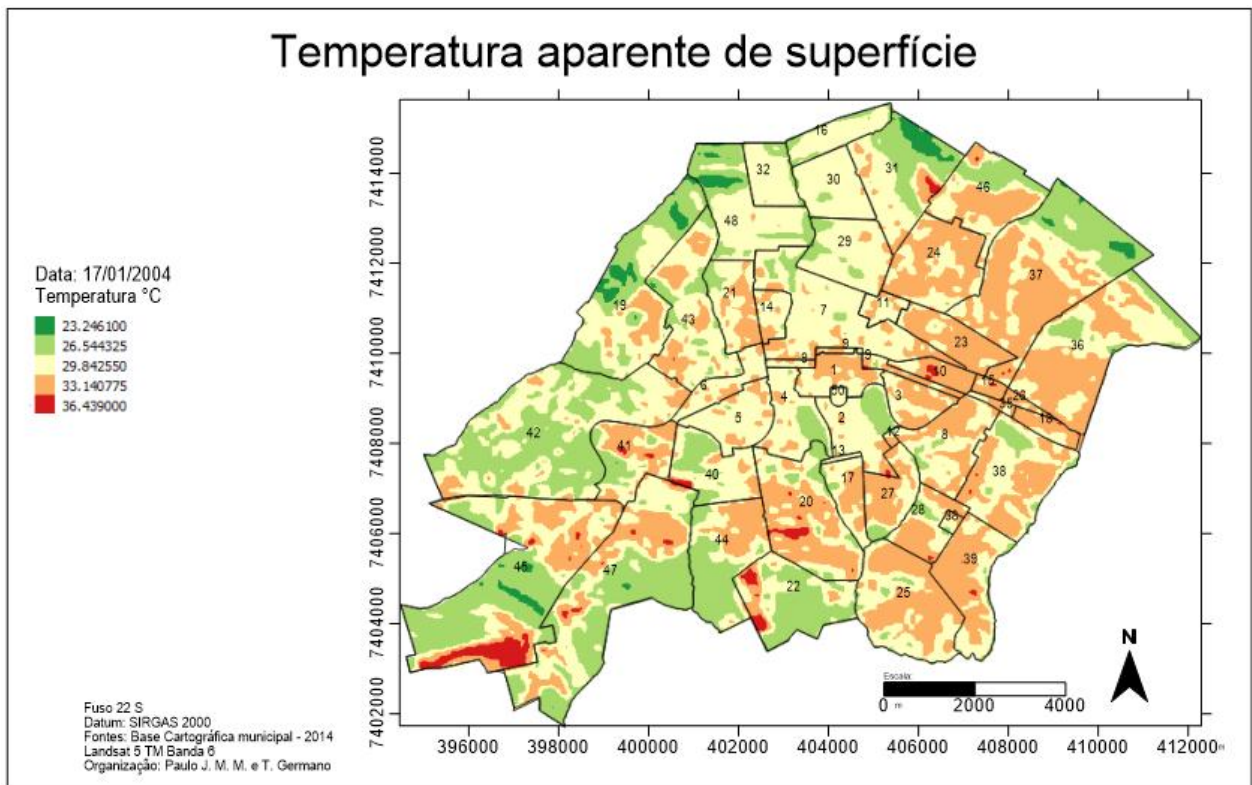
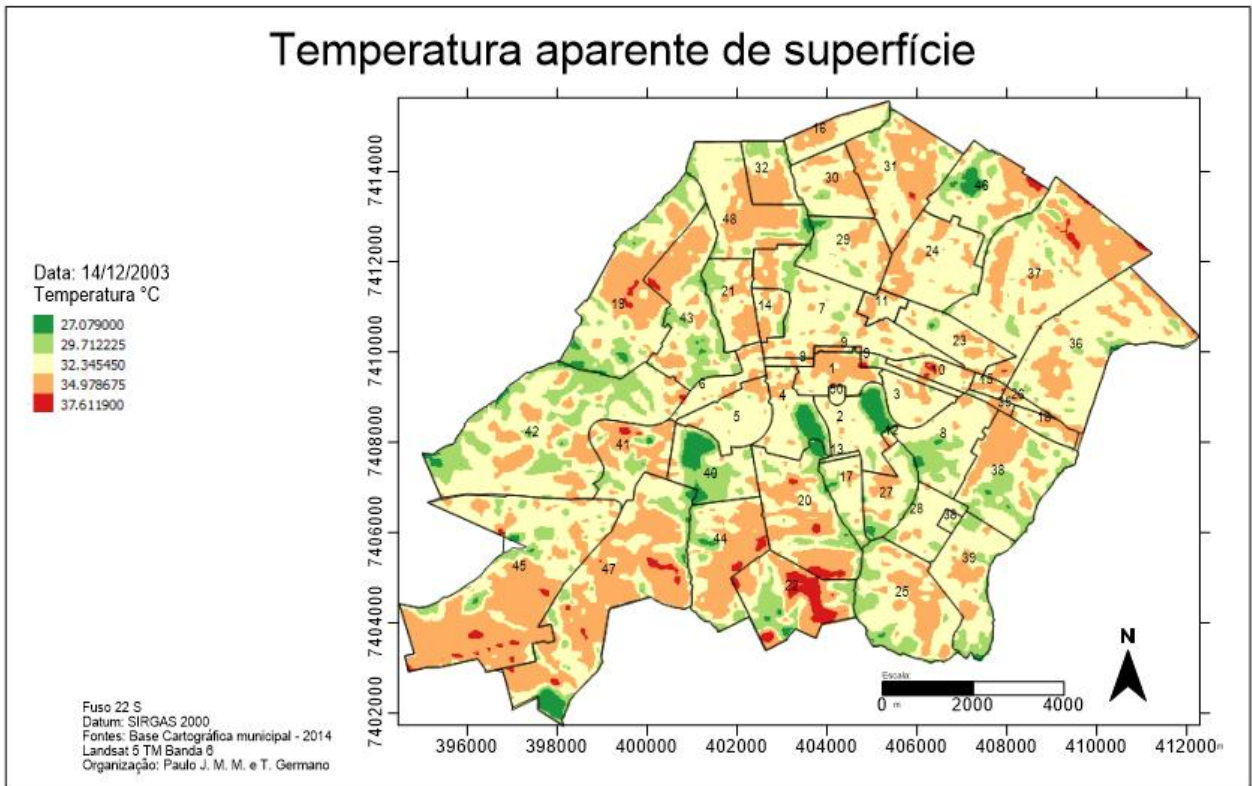


### Temperatura aparente de superfície



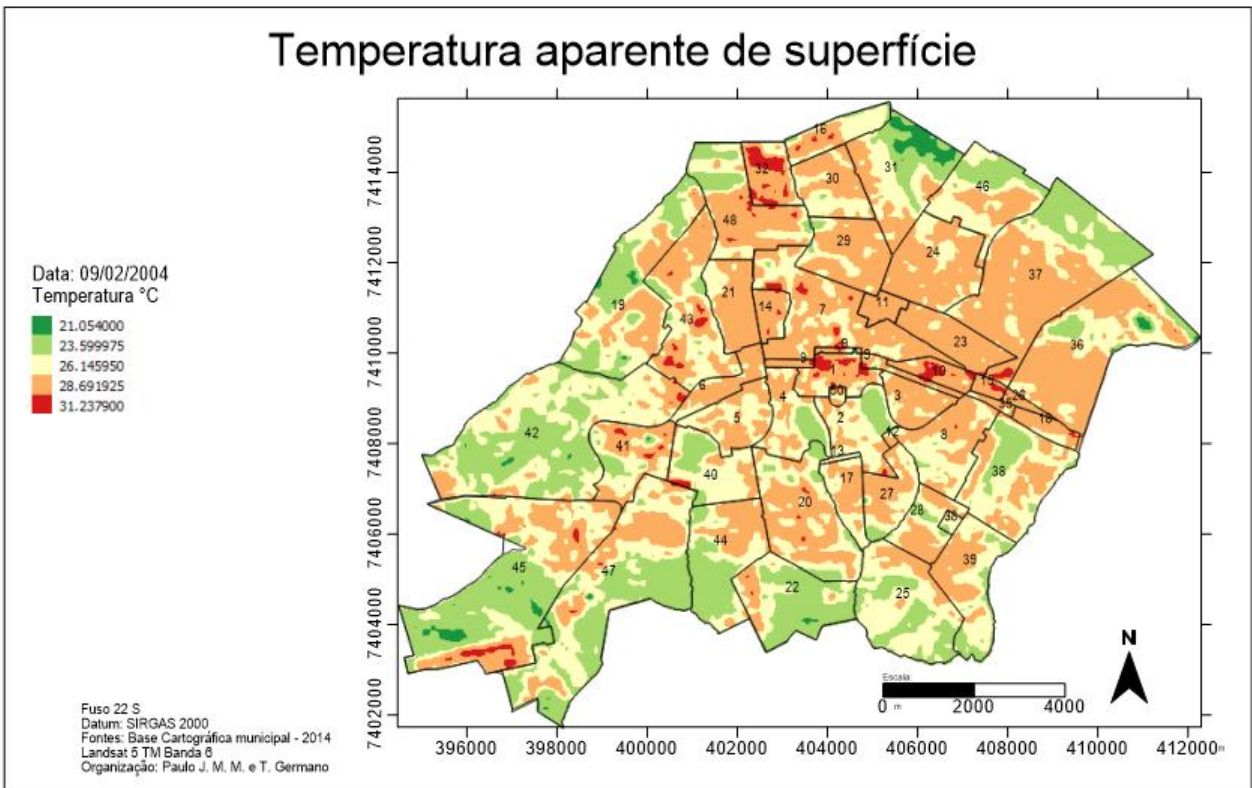
### Temperatura aparente de superfície



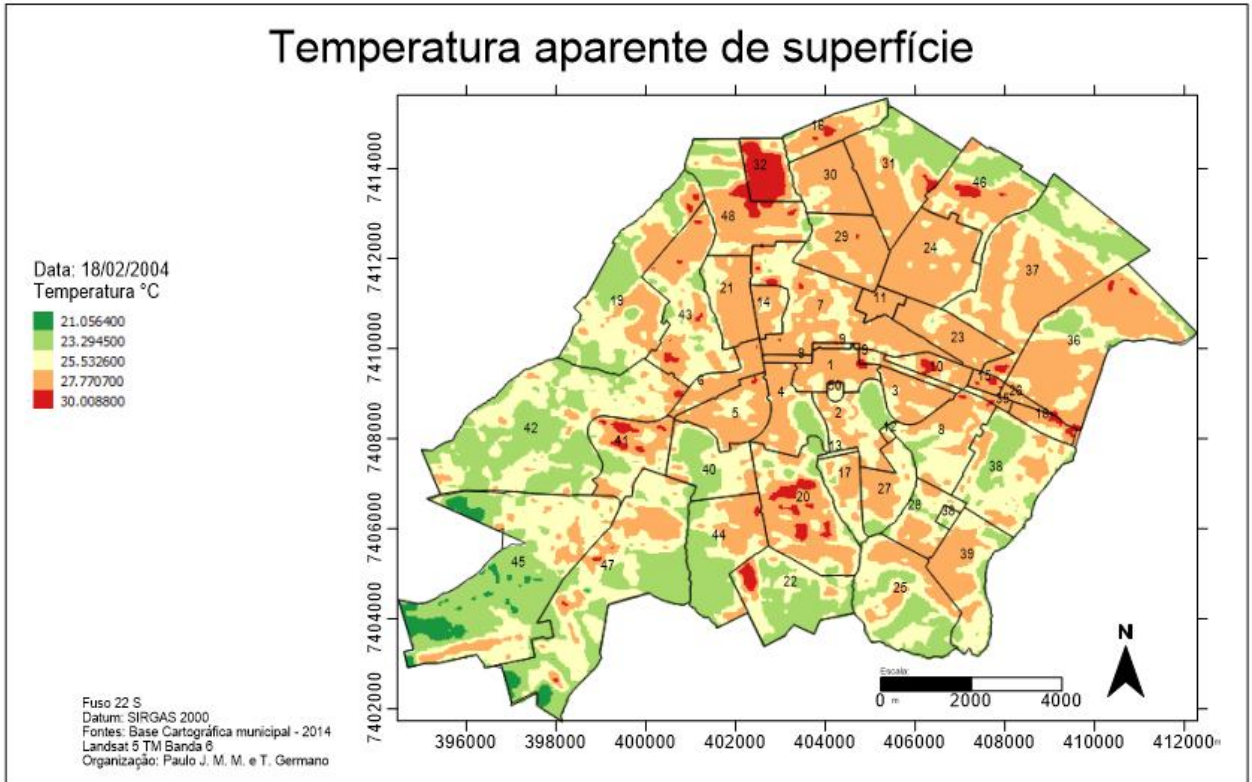




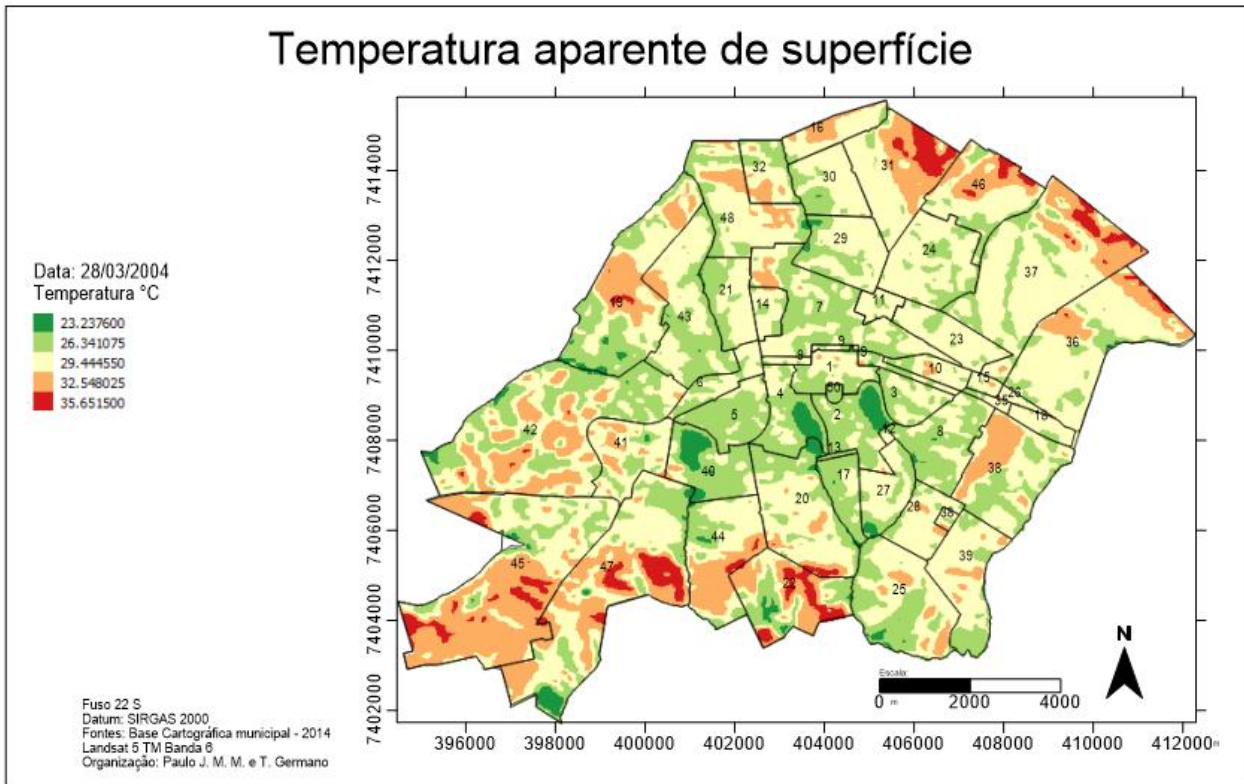
### Temperatura aparente de superfície



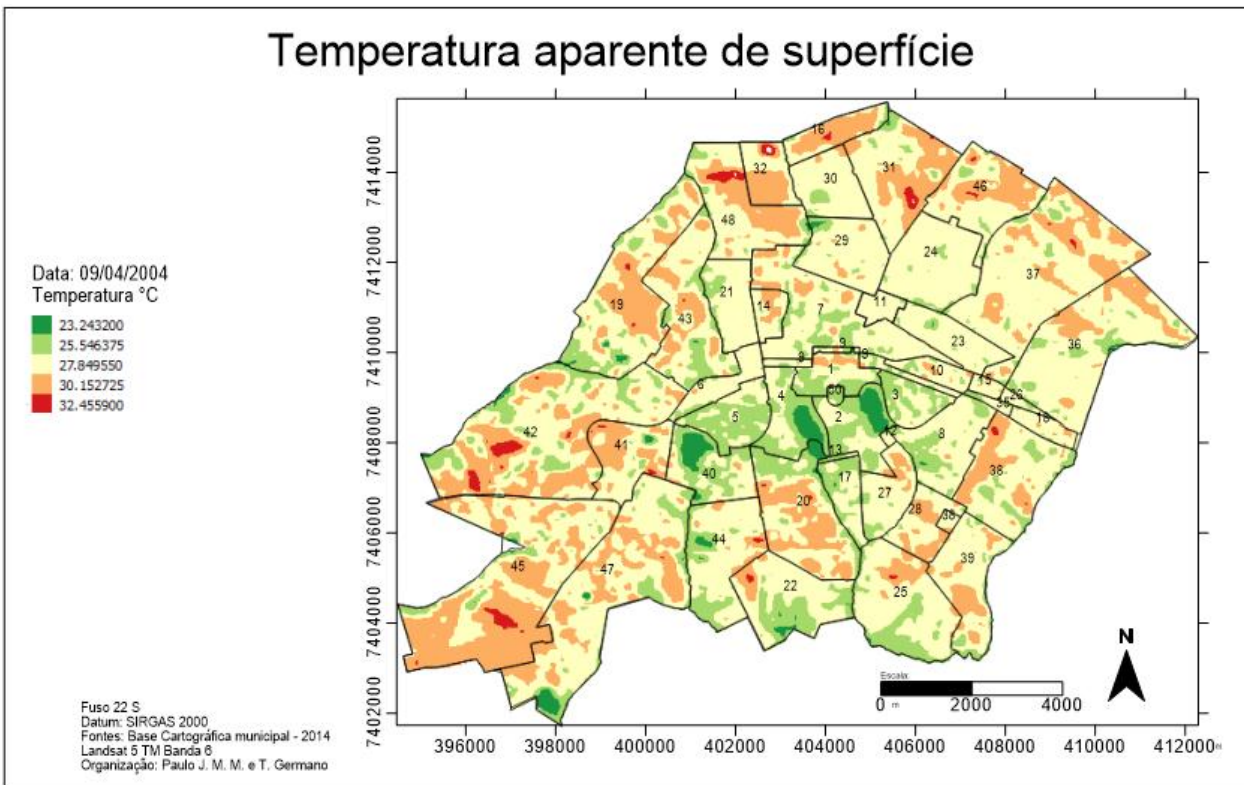
### Temperatura aparente de superfície



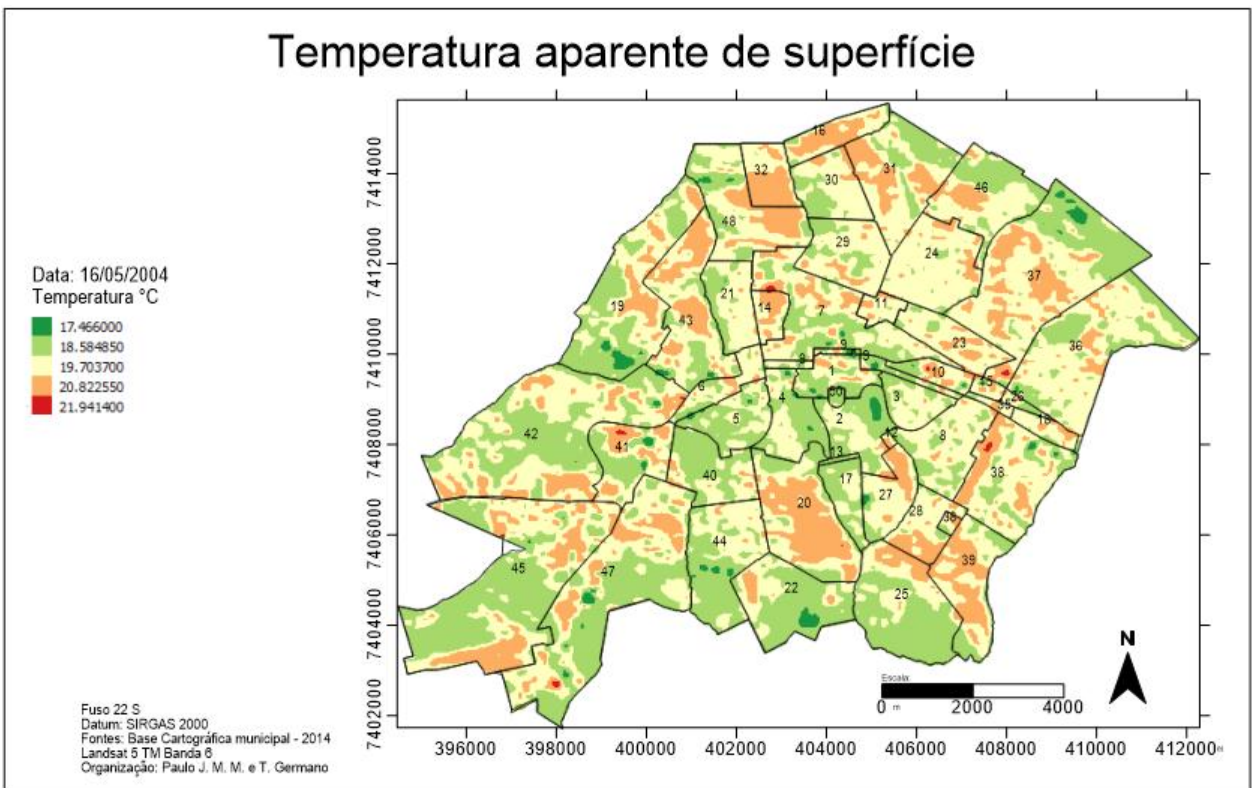
### Temperatura aparente de superfície



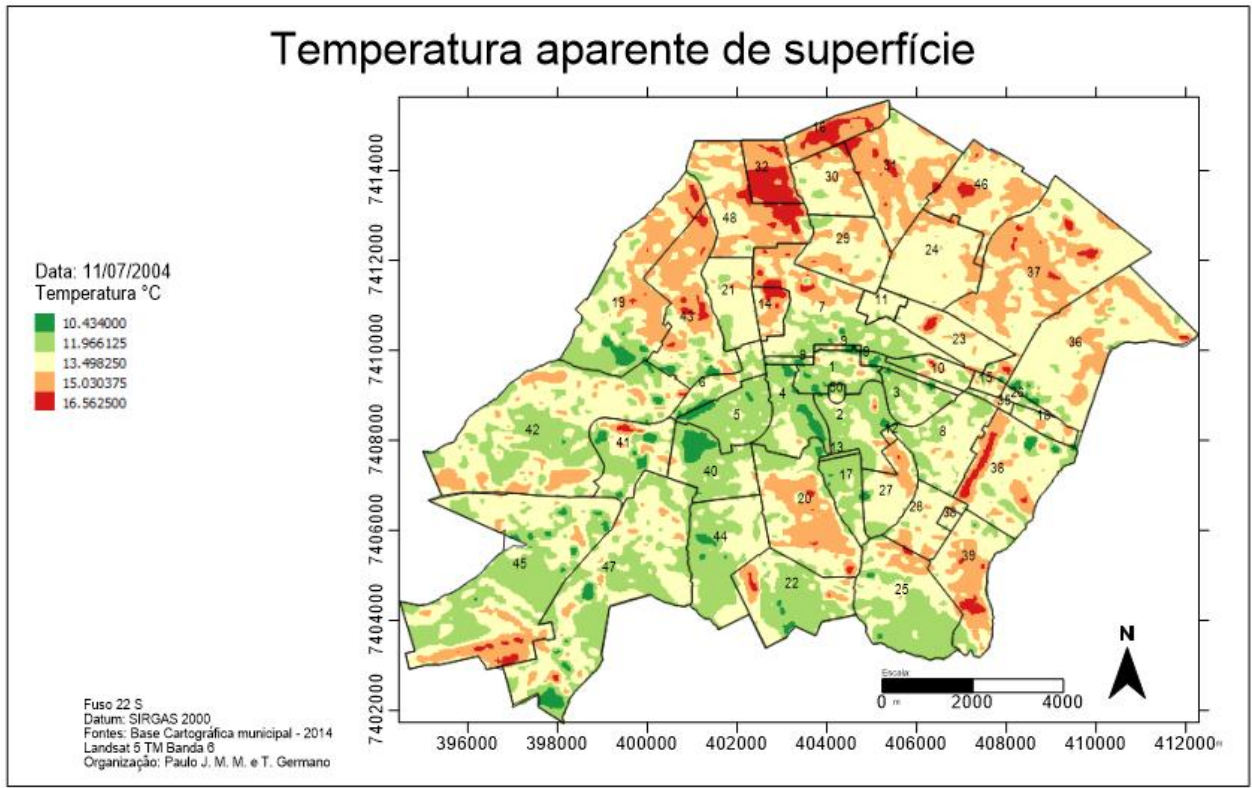
### Temperatura aparente de superfície

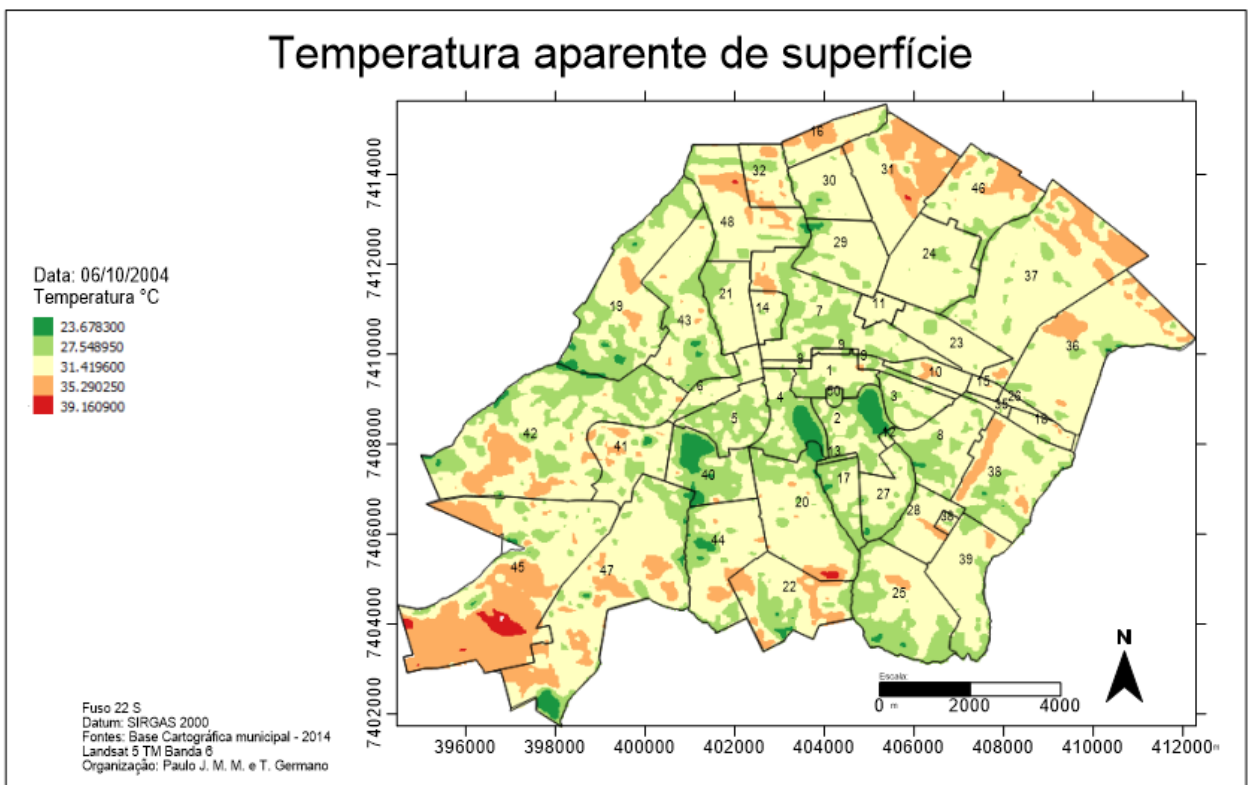
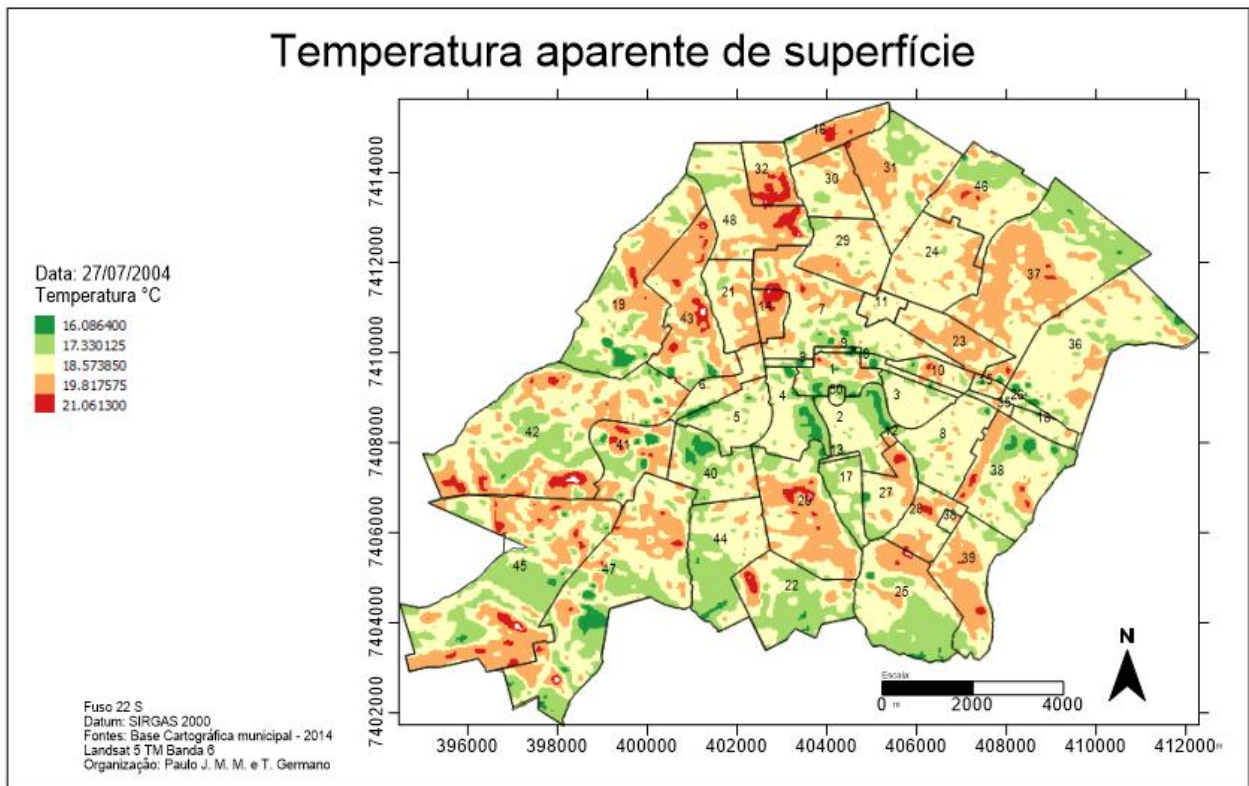


### Temperatura aparente de superfície

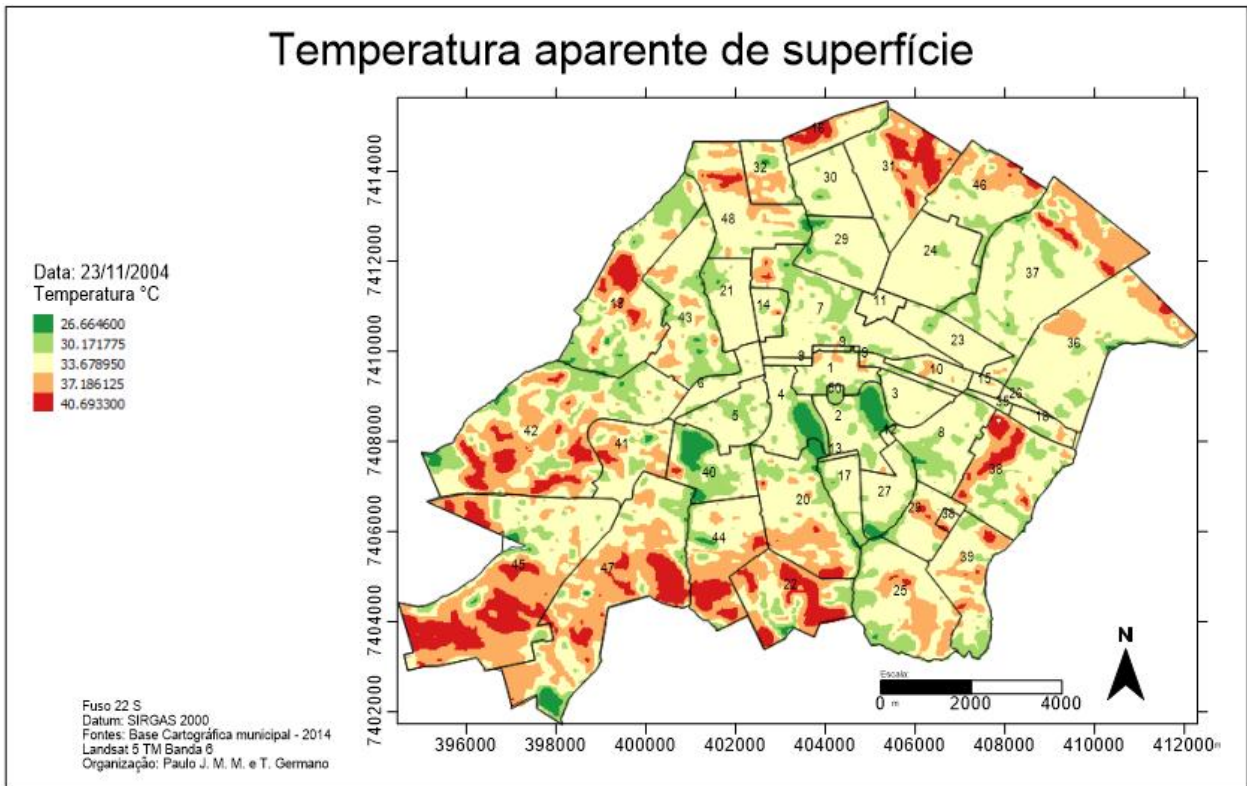


### Temperatura aparente de superfície

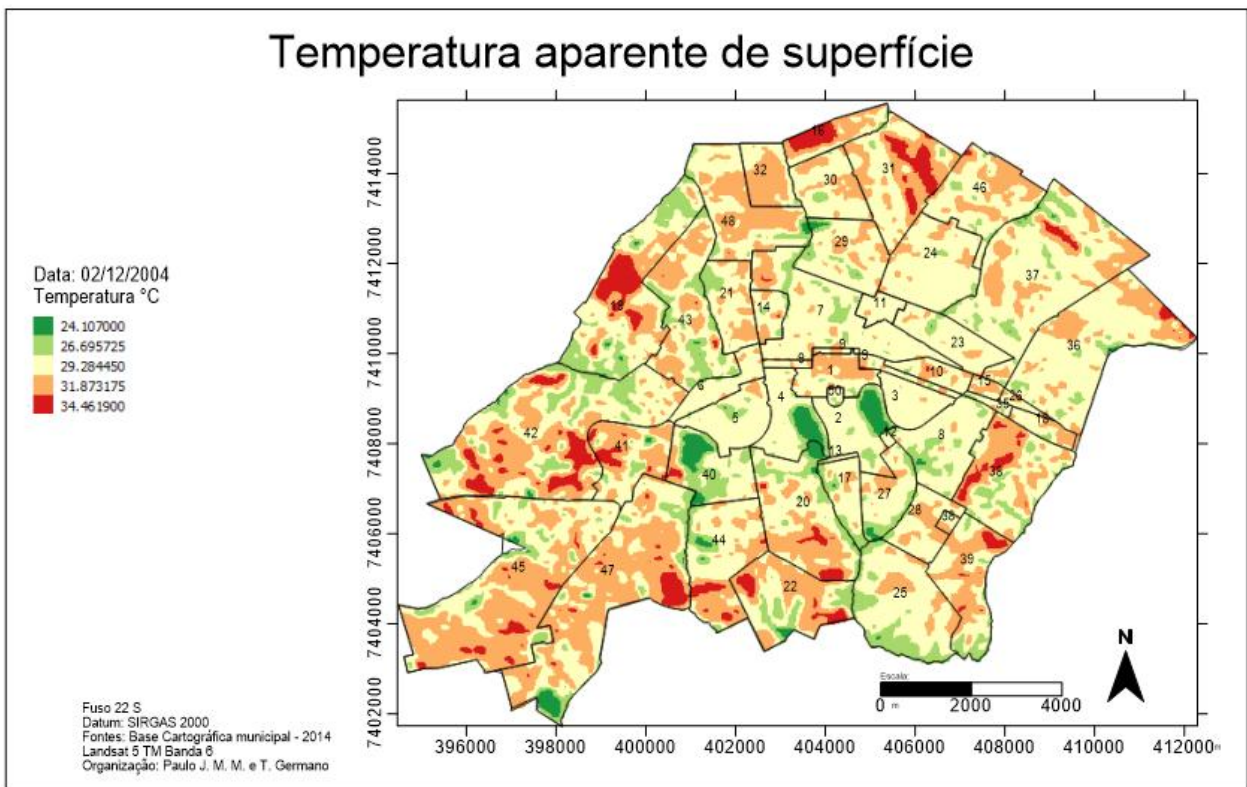


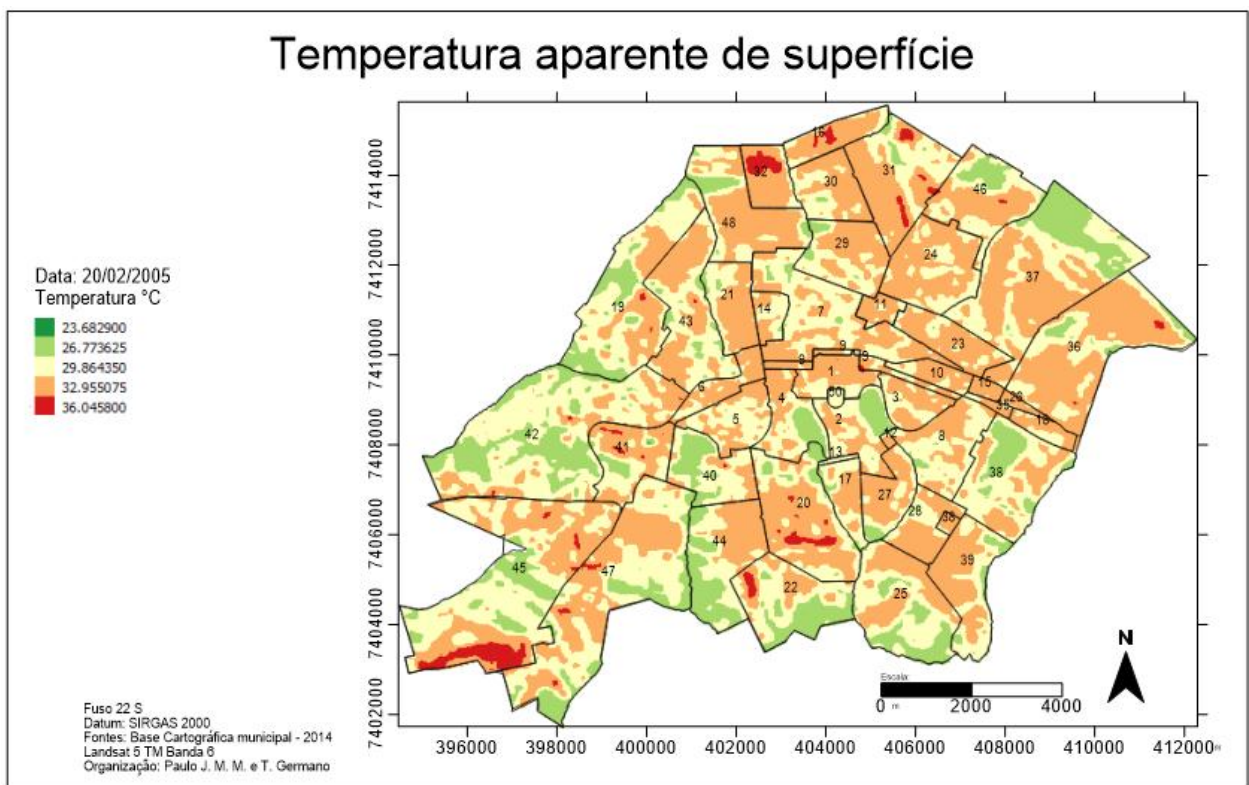
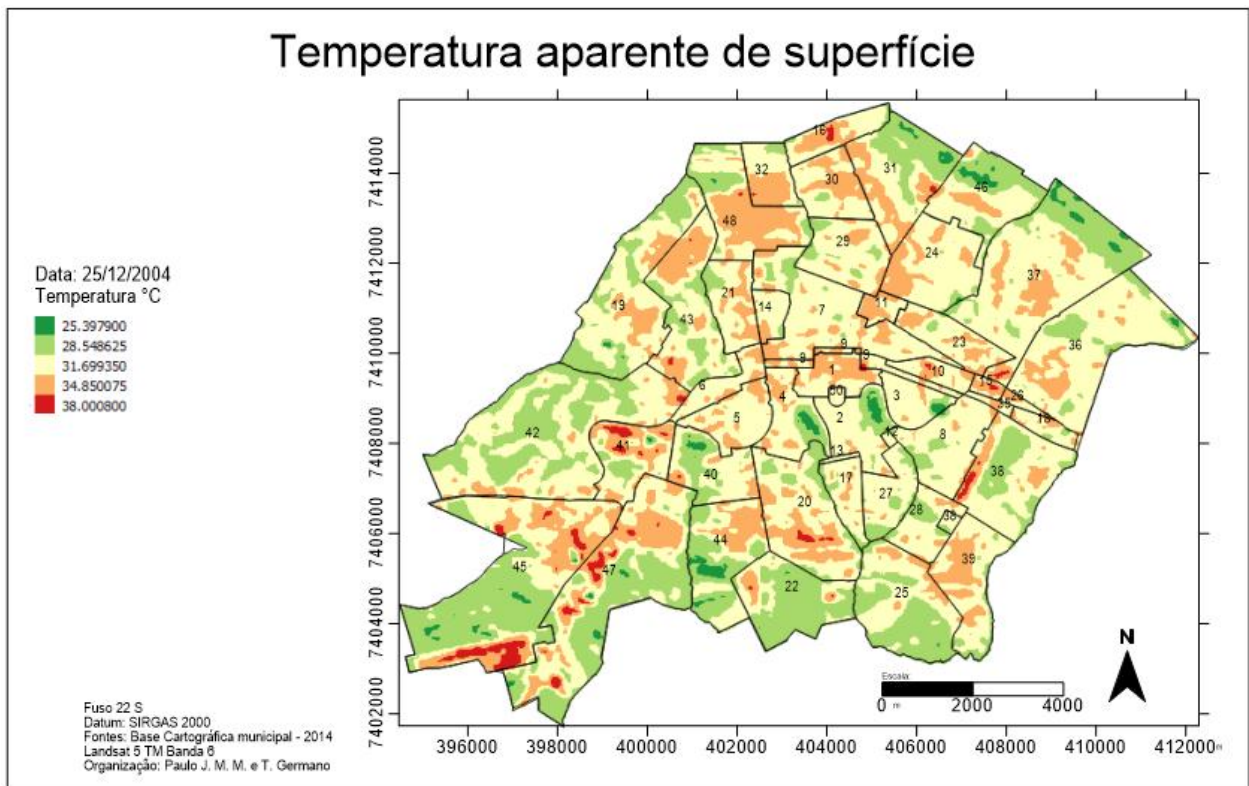


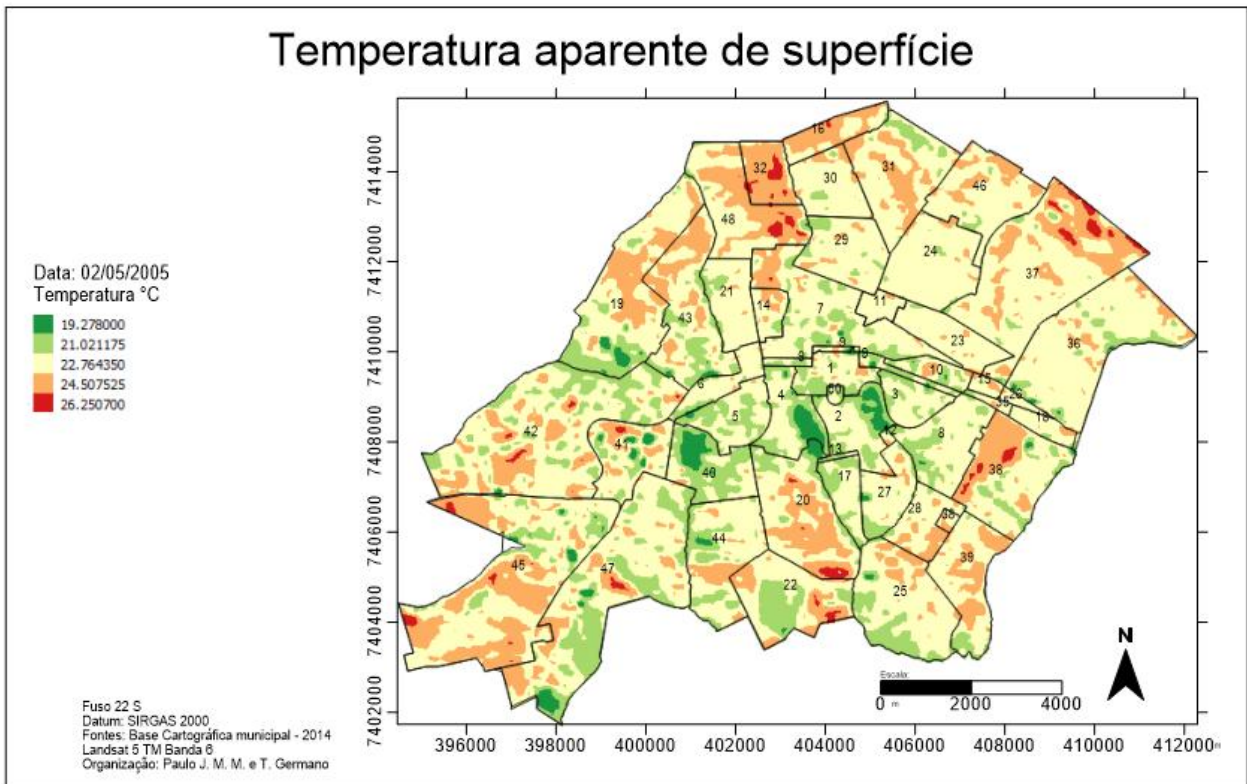
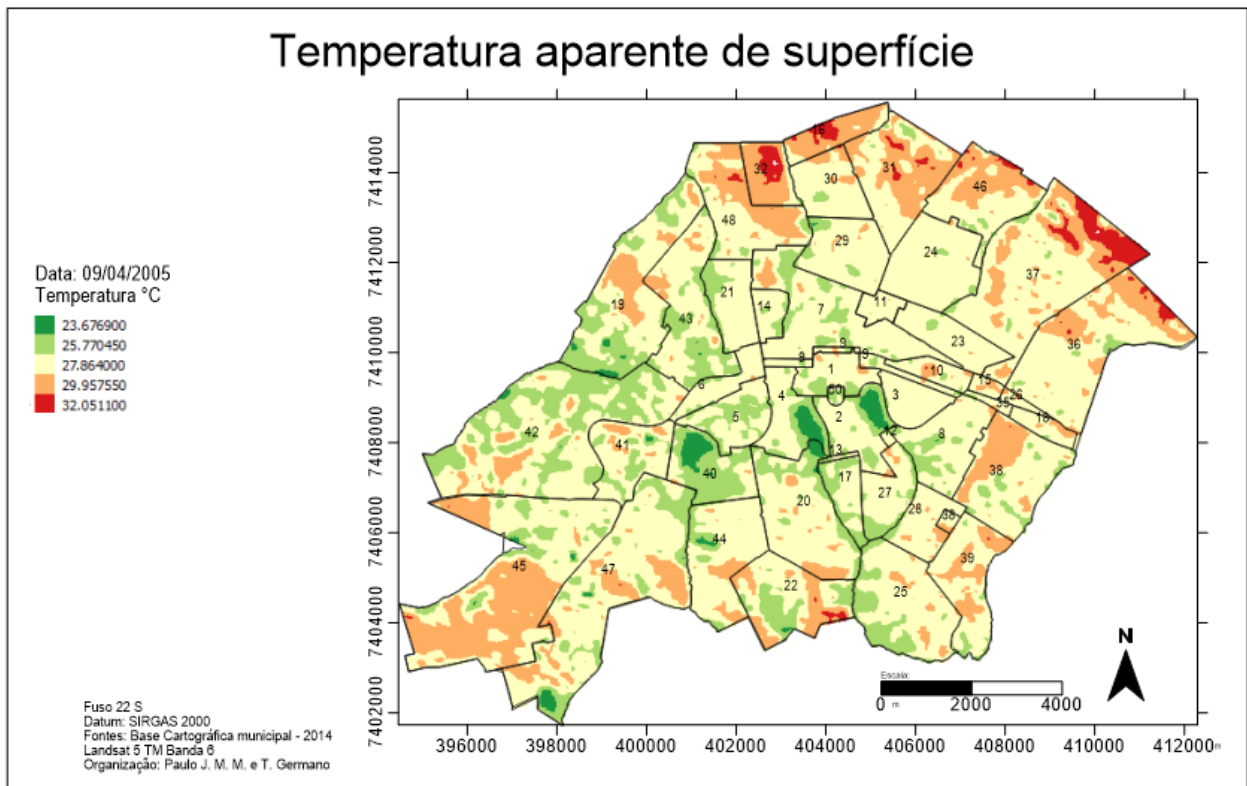
### Temperatura aparente de superfície

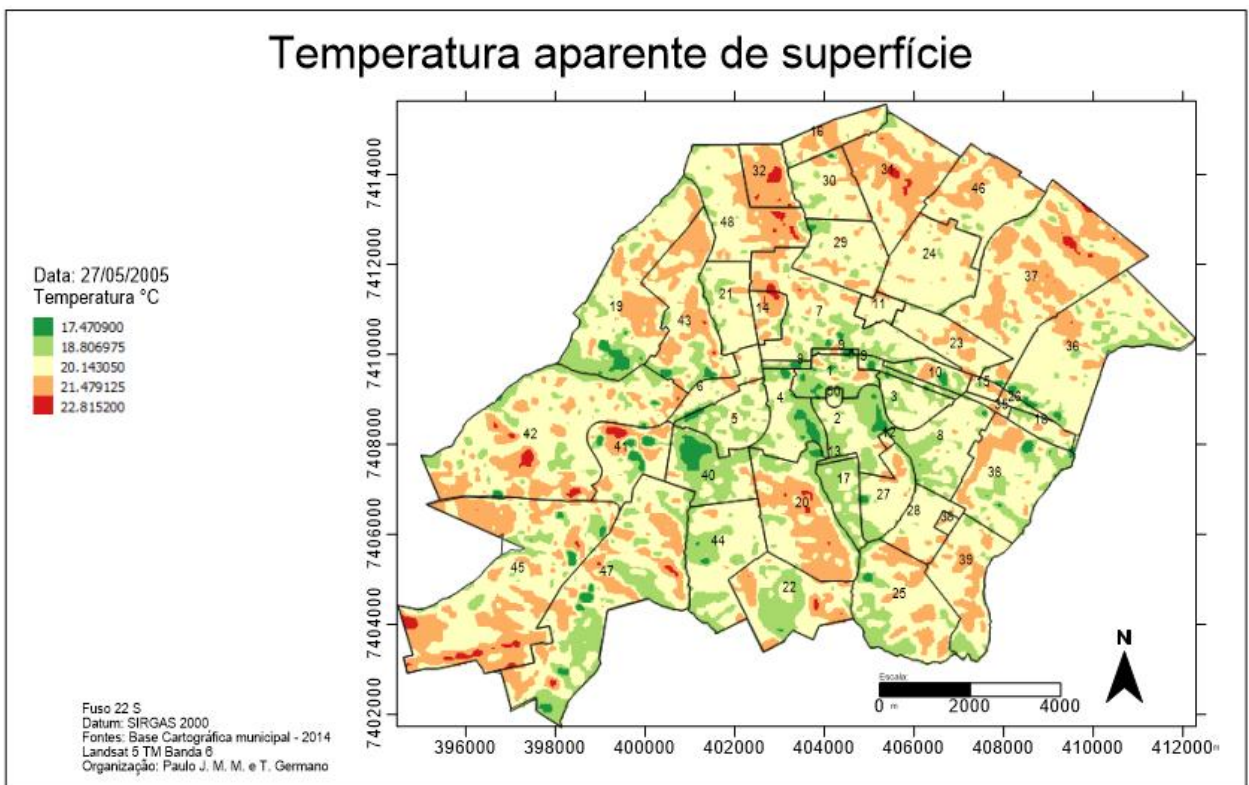
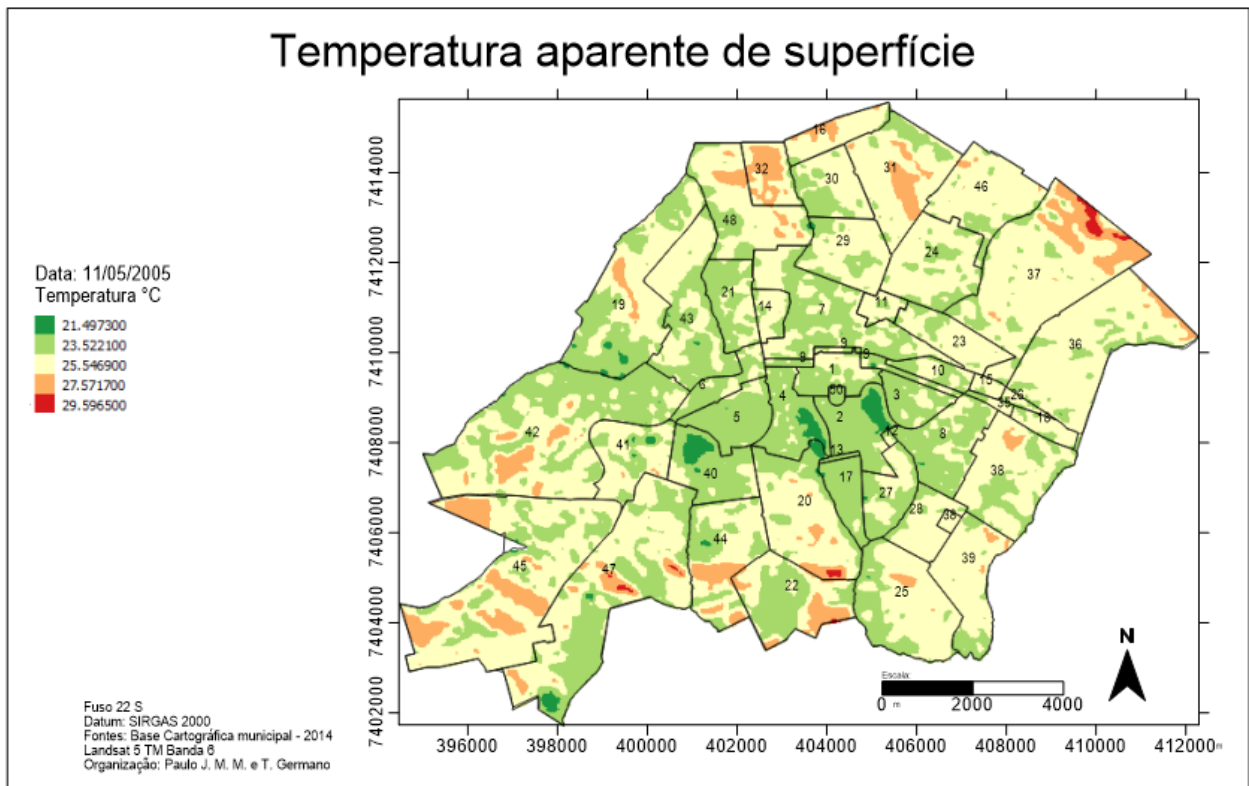


### Temperatura aparente de superfície





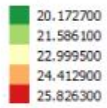




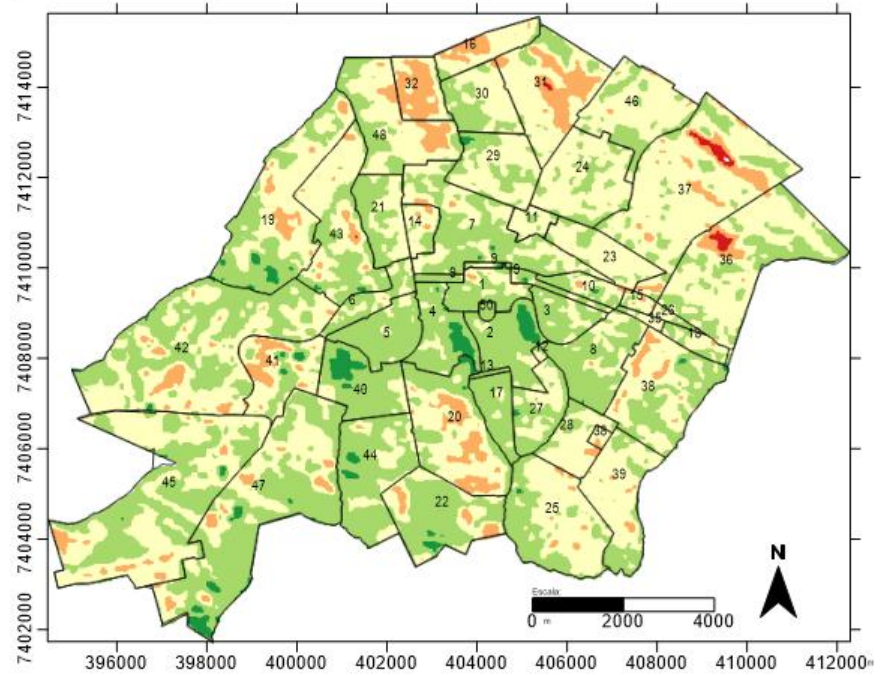


### Temperatura aparente de superfície

Data: 03/06/2005  
Temperatura °C

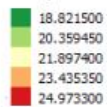


Fuso 22 S  
Datum: SIRGAS 2000  
Fontes: Base Cartográfica municipal - 2014  
Landsat 5 TM Banda 6  
Organização: Paulo J. M. M. e T. Germano

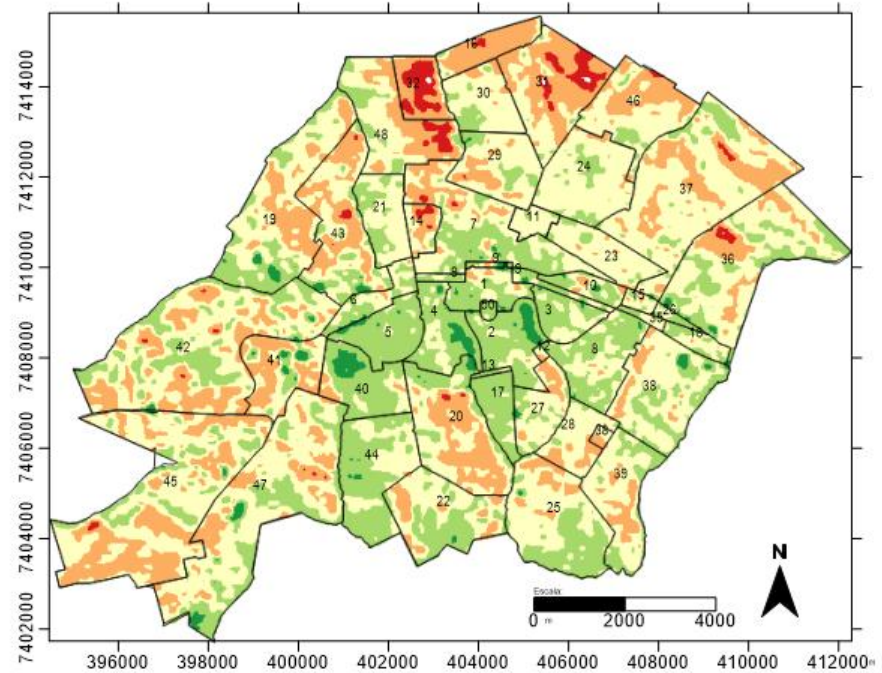


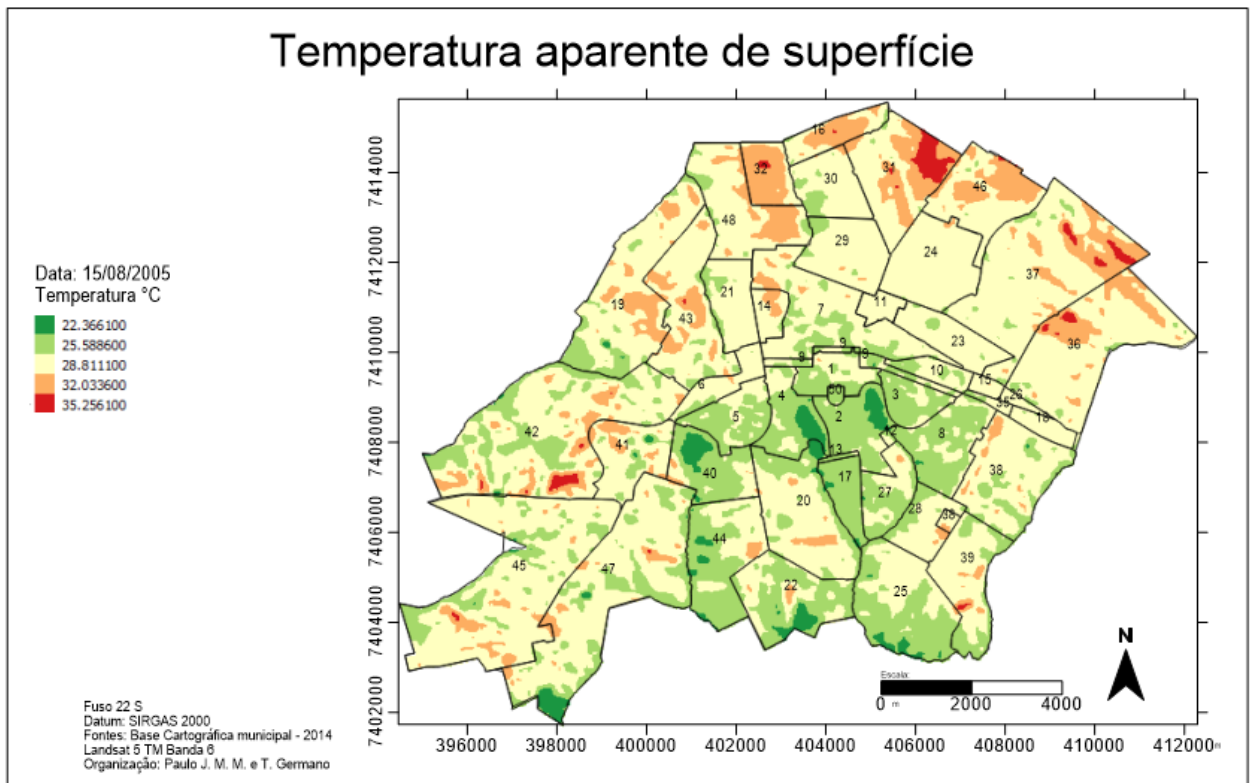
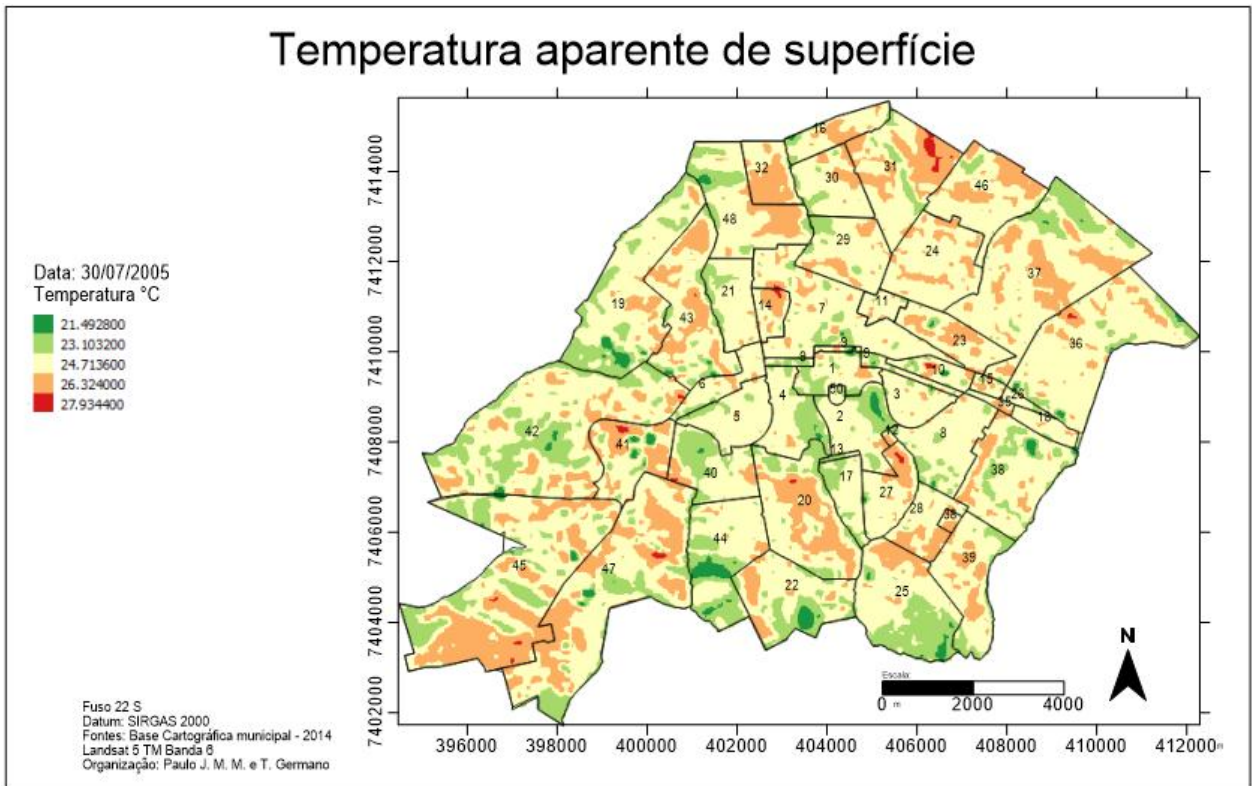
### Temperatura aparente de superfície

Data: 14/07/2005  
Temperatura °C



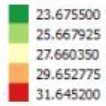
Fuso 22 S  
Datum: SIRGAS 2000  
Fontes: Base Cartográfica municipal - 2014  
Landsat 5 TM Banda 6  
Organização: Paulo J. M. M. e T. Germano



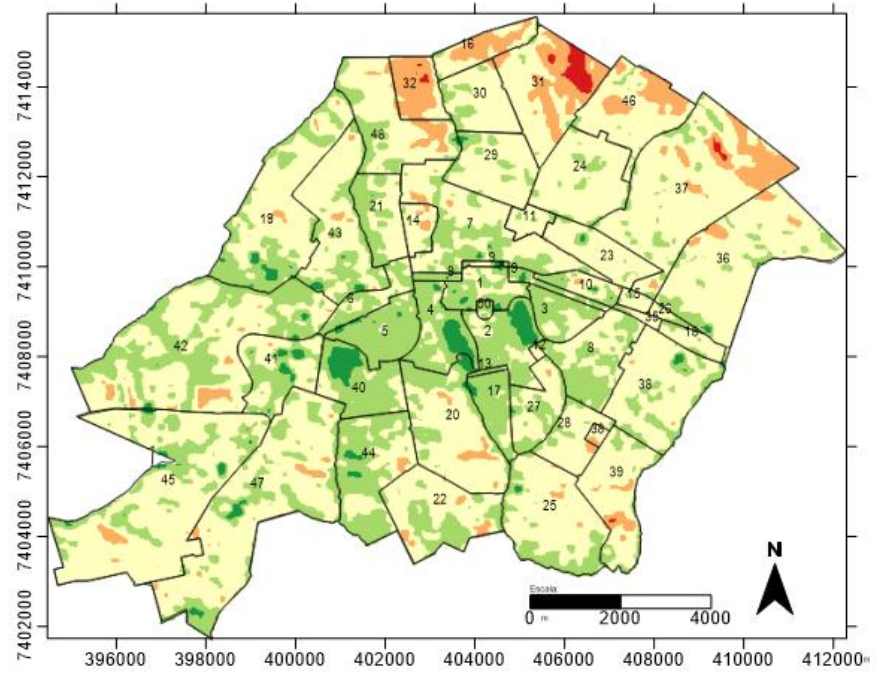


### Temperatura aparente de superfície

Data: 22/08/2005  
Temperatura °C

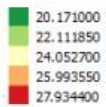


Fuso 22 S  
Datum: SIRGAS 2000  
Fontes: Base Cartográfica municipal - 2014  
Landsat 5 TM Banda 8  
Organização: Paulo J. M. M. e T. Germano

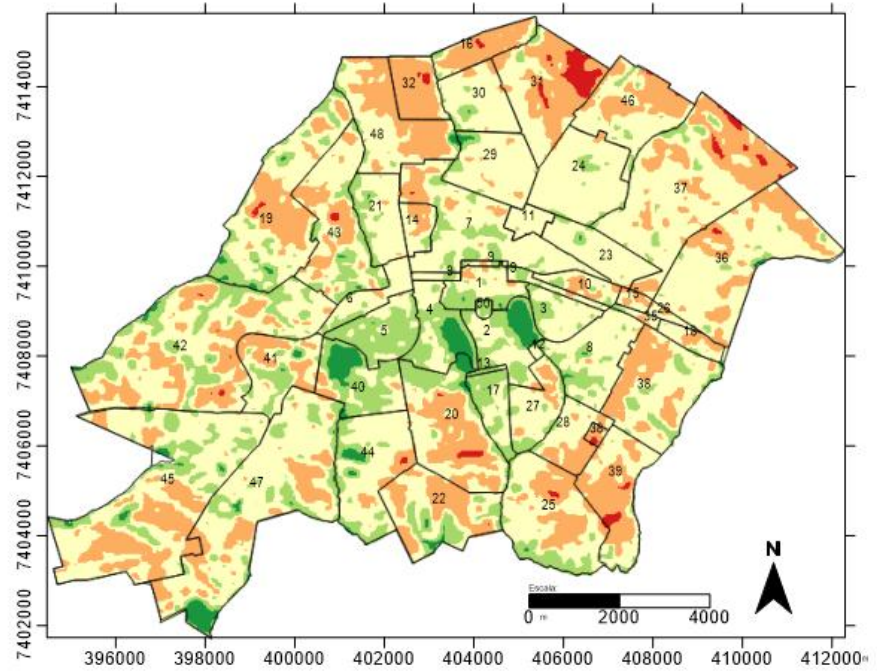


### Temperatura aparente de superfície

Data: 07/09/2005  
Temperatura °C



Fuso 22 S  
Datum: SIRGAS 2000  
Fontes: Base Cartográfica municipal - 2014  
Landsat 5 TM Banda 8  
Organização: Paulo J. M. M. e T. Germano

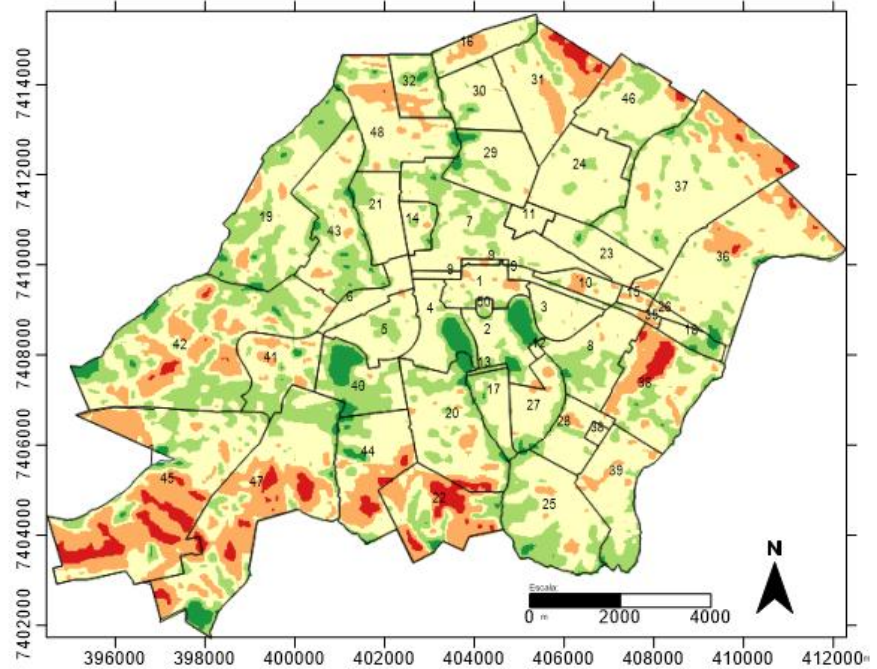


### Temperatura aparente de superfície

Data: 03/11/2005  
Temperatura °C

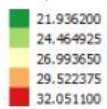


Fuso 22 S  
Datum: SIRGAS 2000  
Fontes: Base Cartográfica municipal - 2014  
Landsat 5 TM Banda 6  
Organização: Paulo J. M. M. e T. Germano

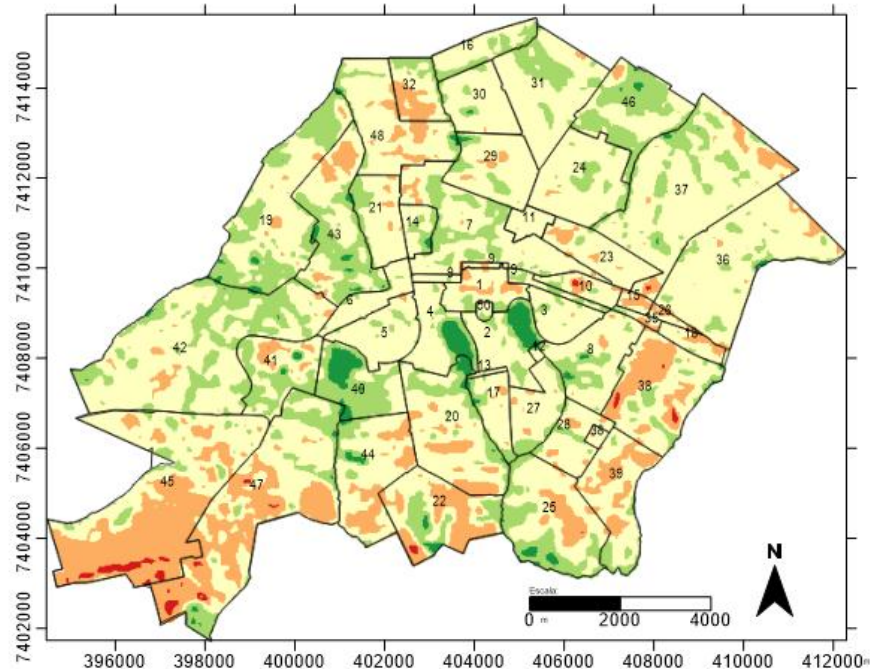


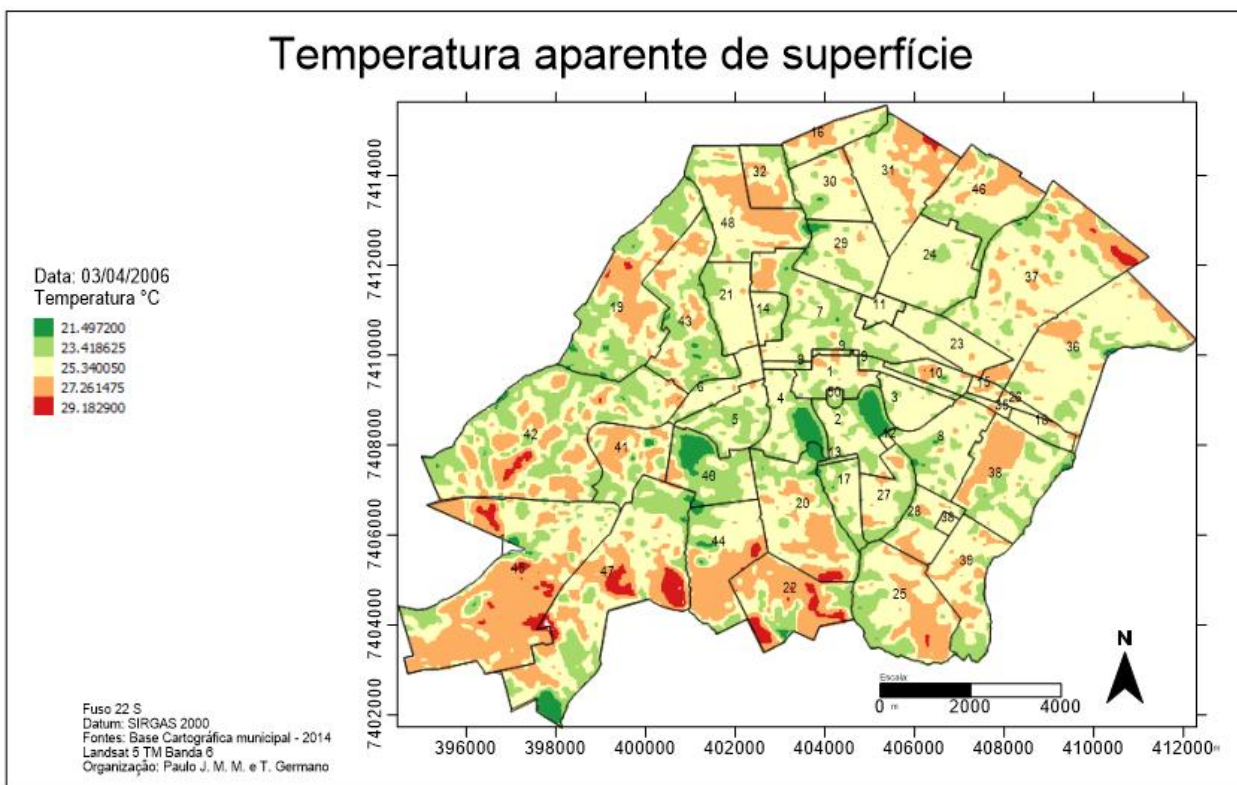
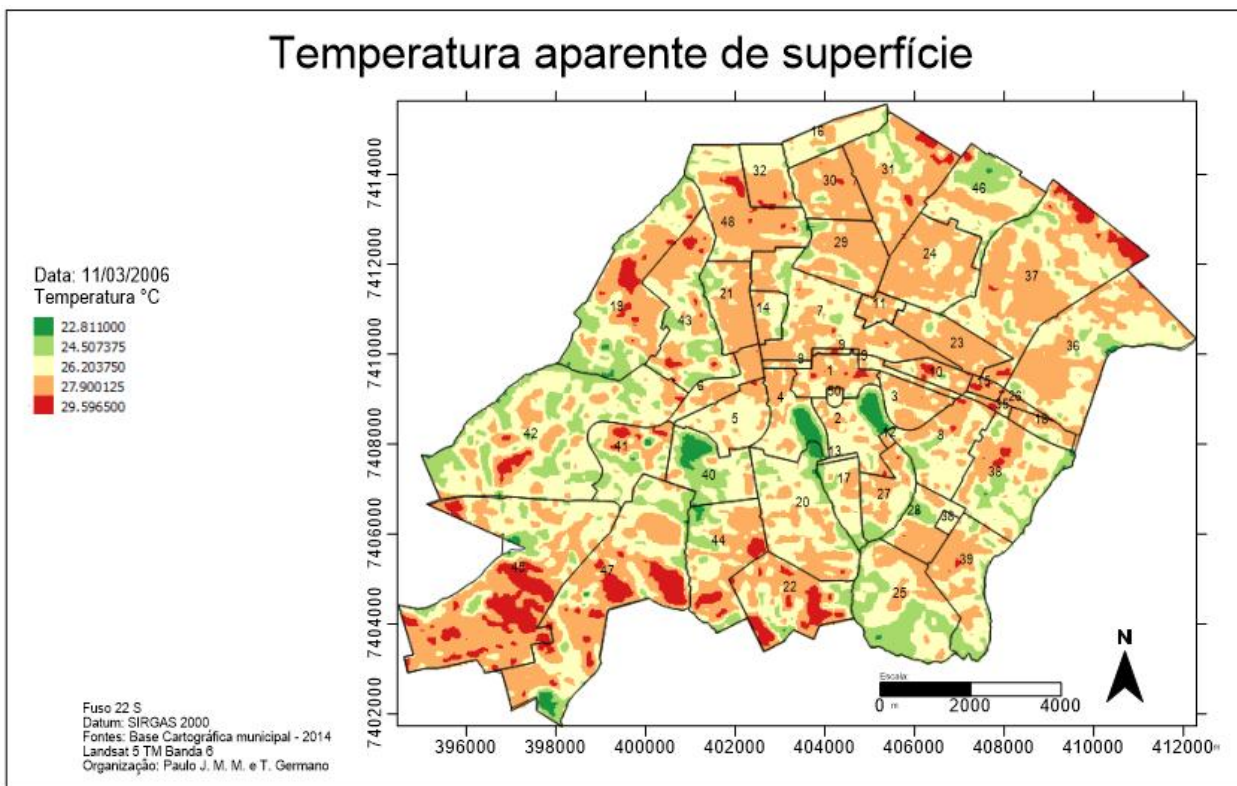
### Temperatura aparente de superfície

Data: 10/11/2005  
Temperatura °C

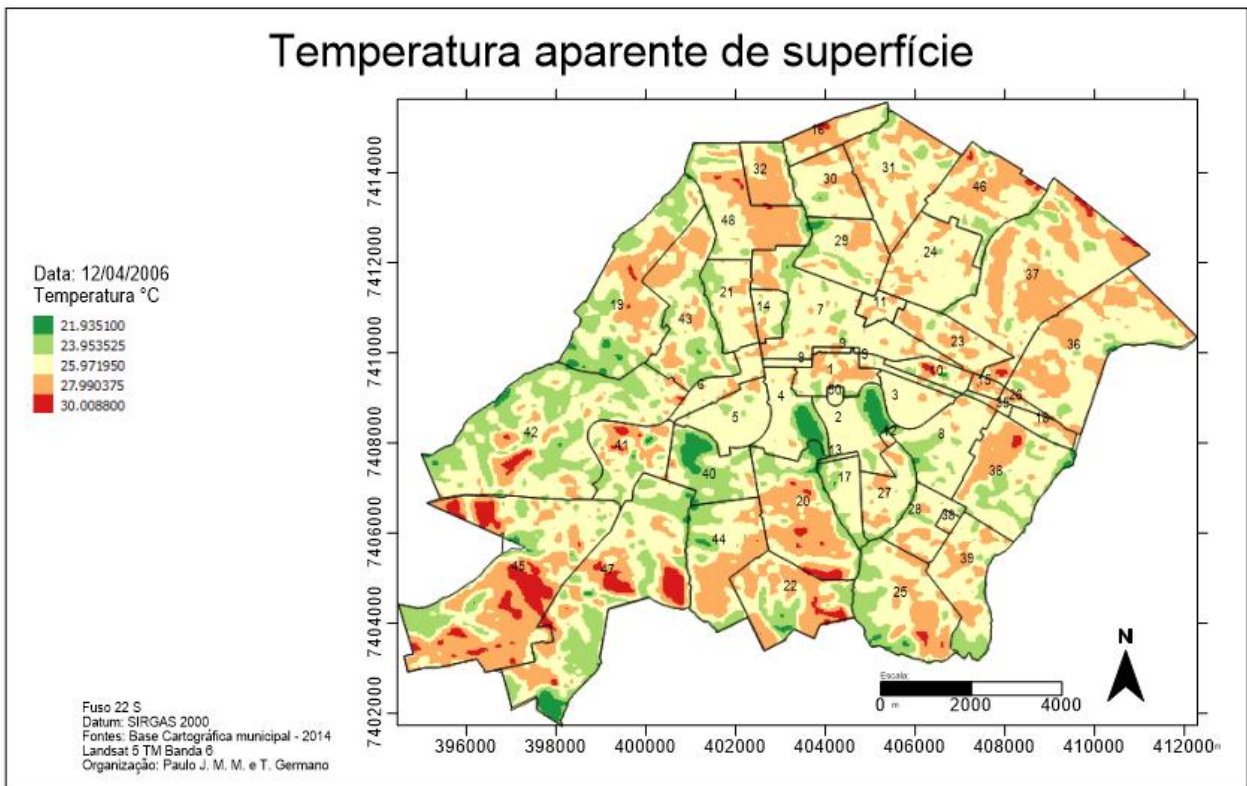


Fuso 22 S  
Datum: SIRGAS 2000  
Fontes: Base Cartográfica municipal - 2014  
Landsat 5 TM Banda 6  
Organização: Paulo J. M. M. e T. Germano

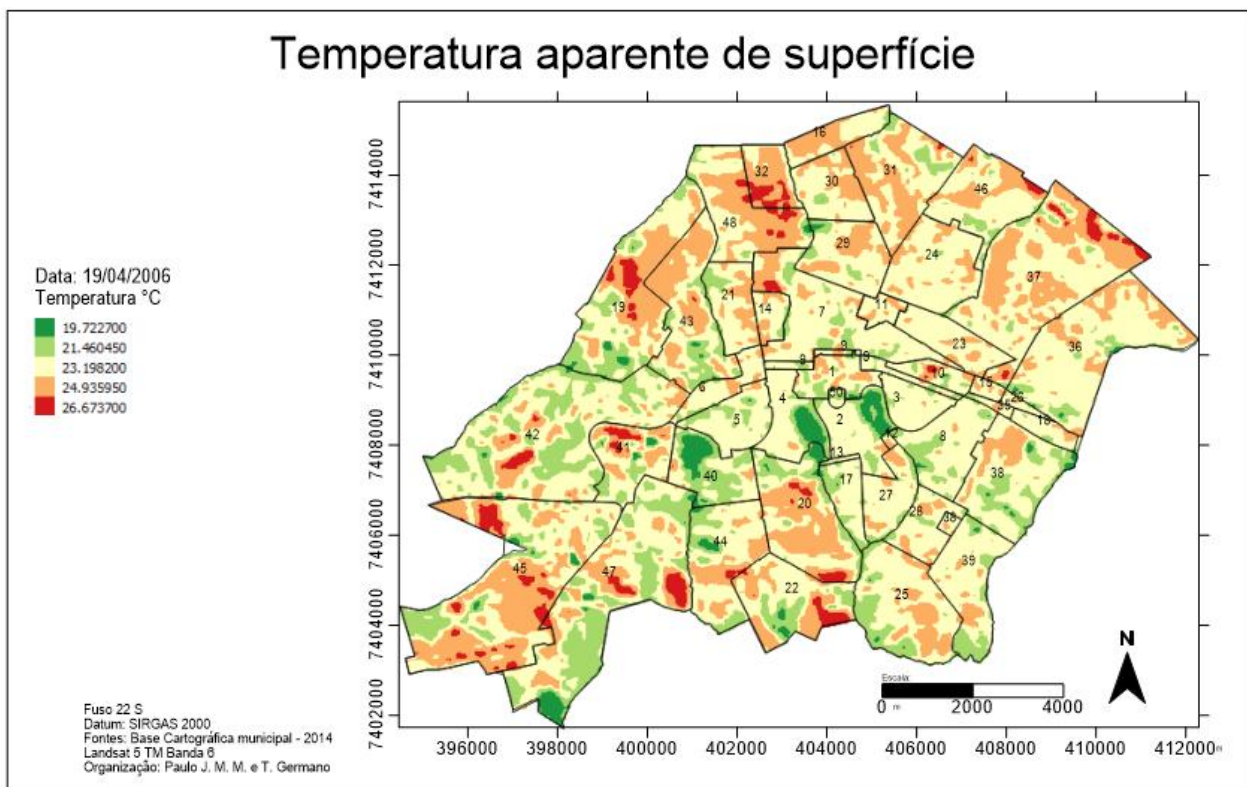


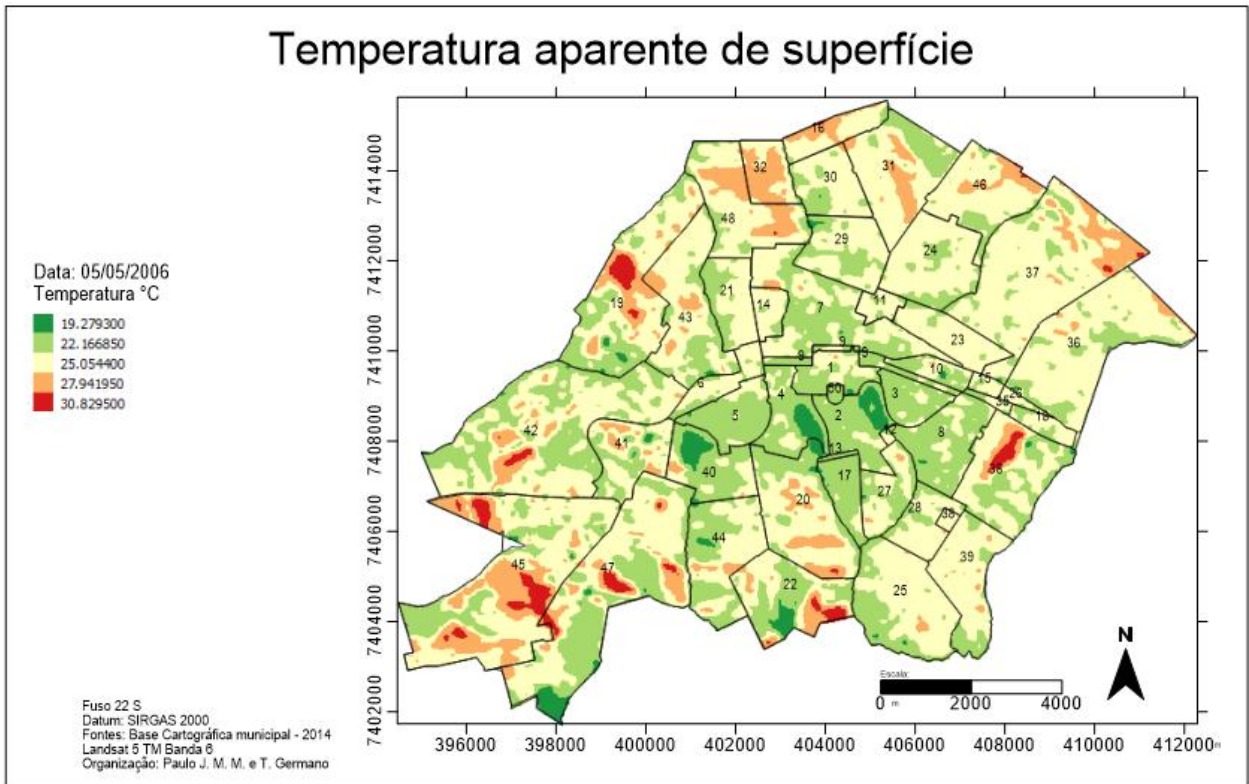
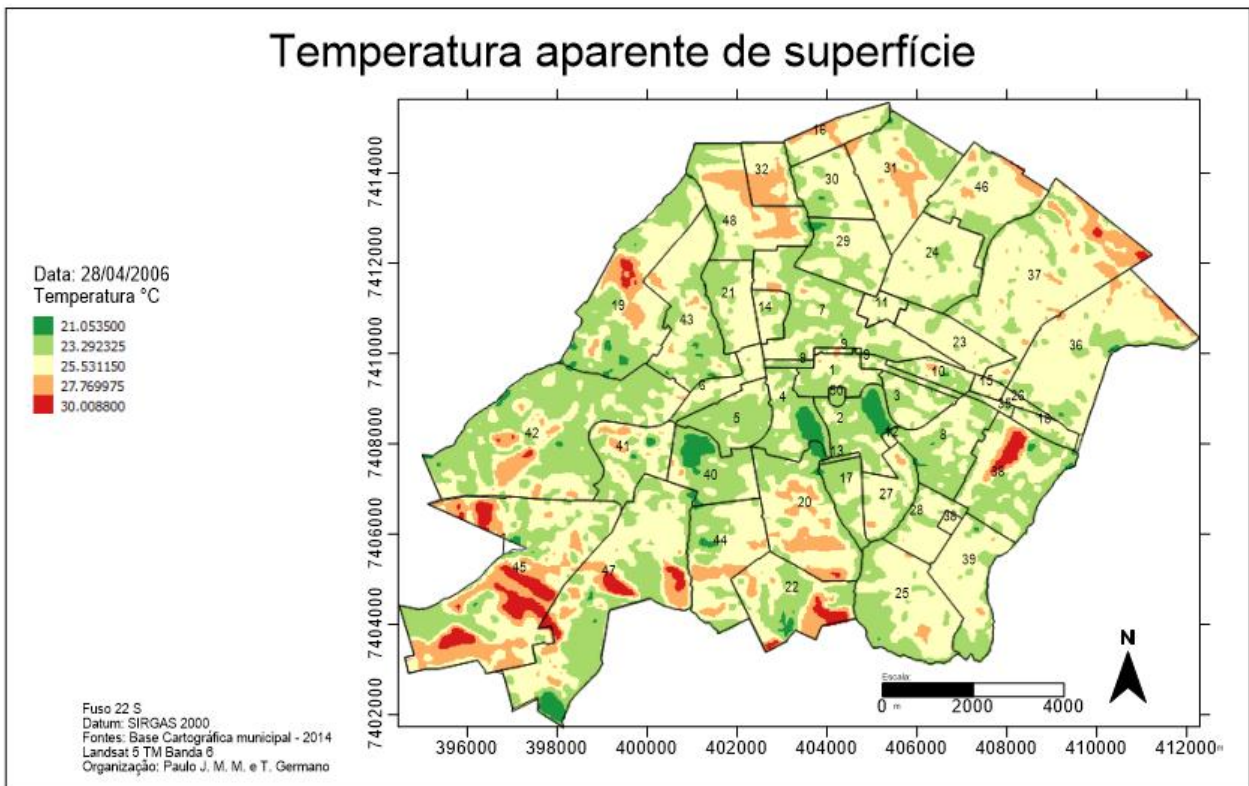


### Temperatura aparente de superfície

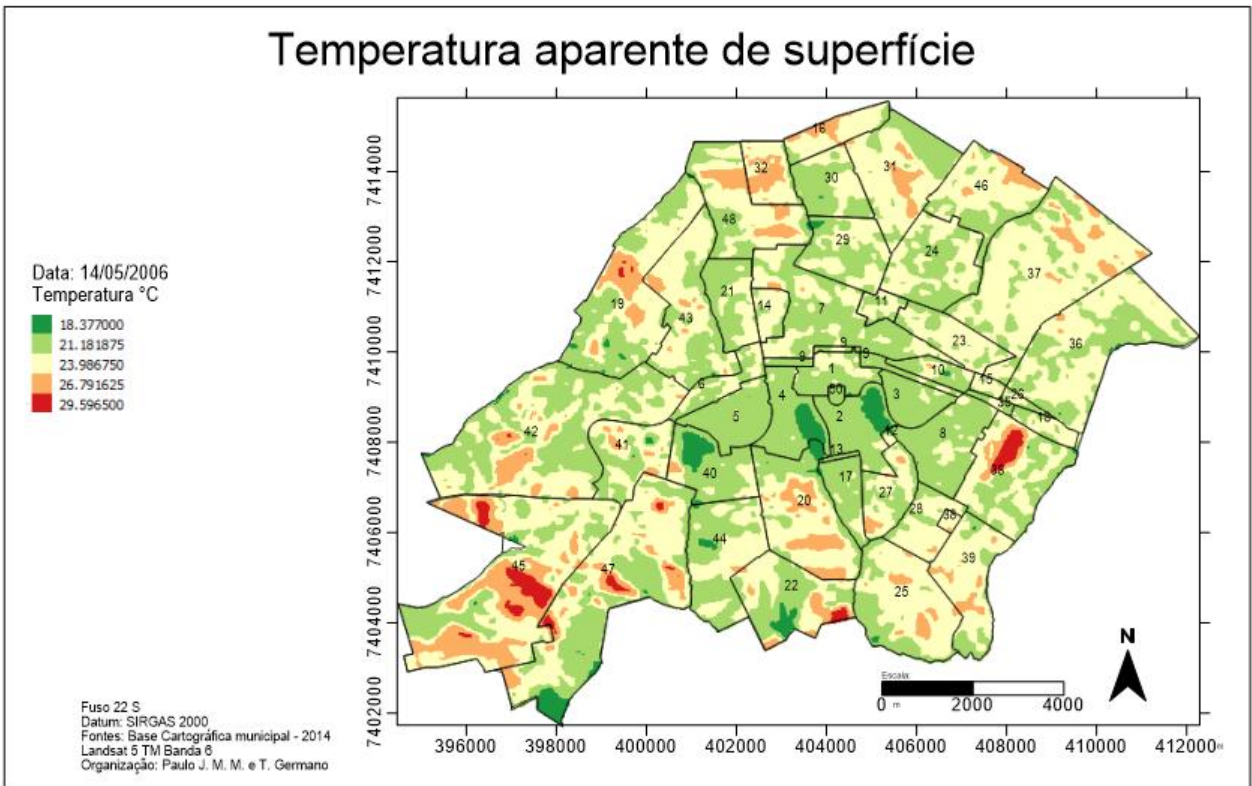


### Temperatura aparente de superfície

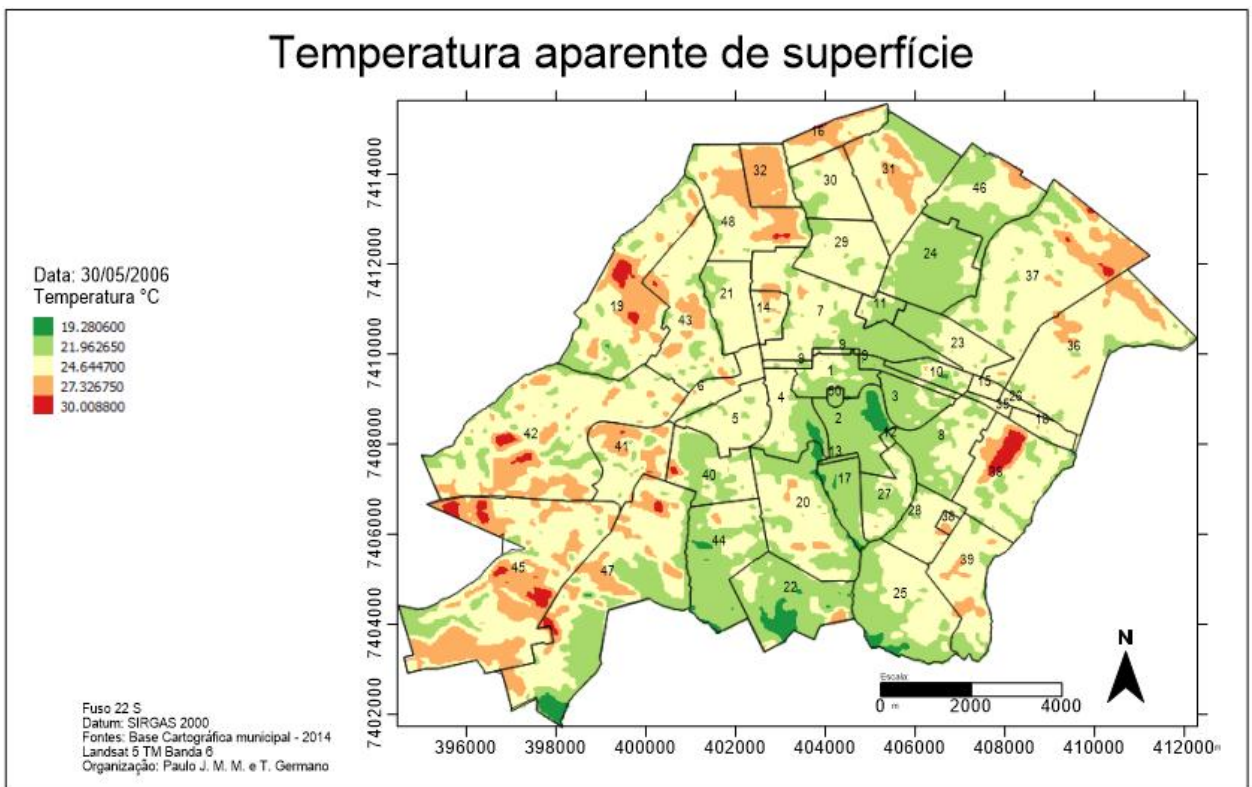




### Temperatura aparente de superfície

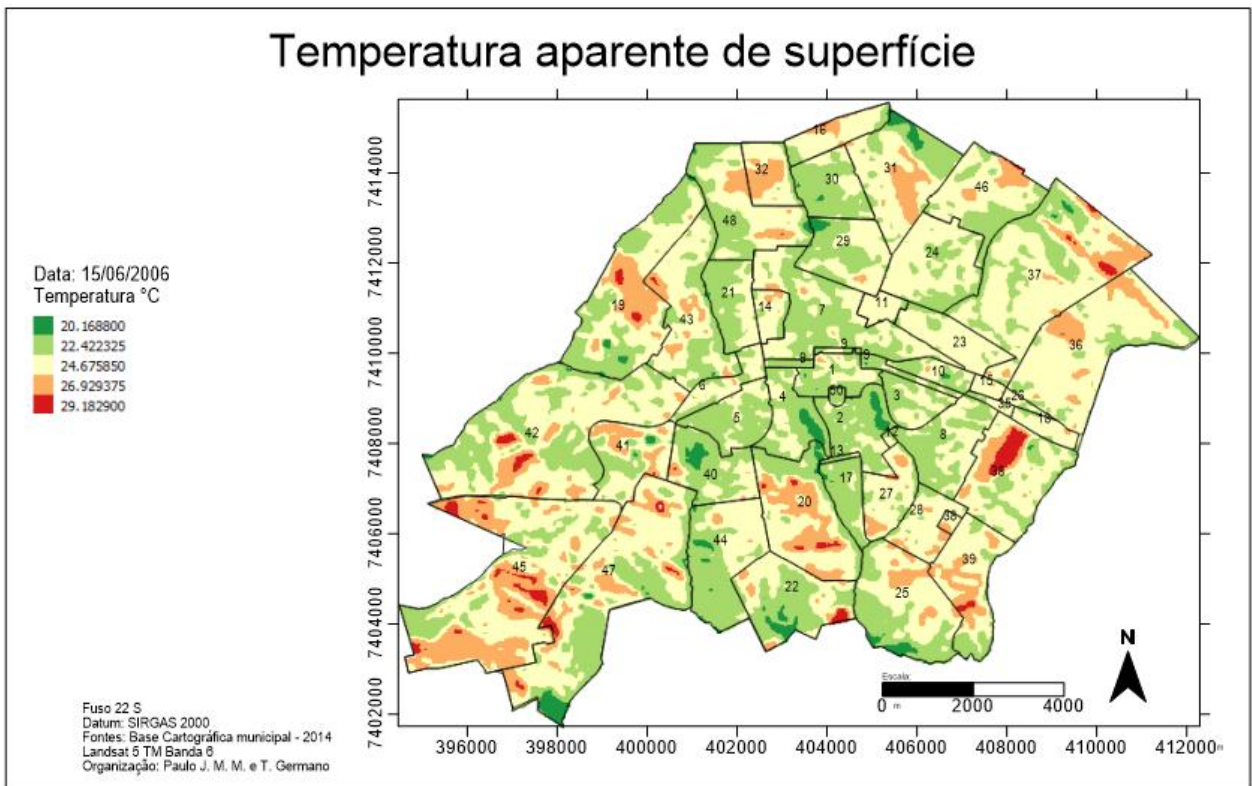


### Temperatura aparente de superfície

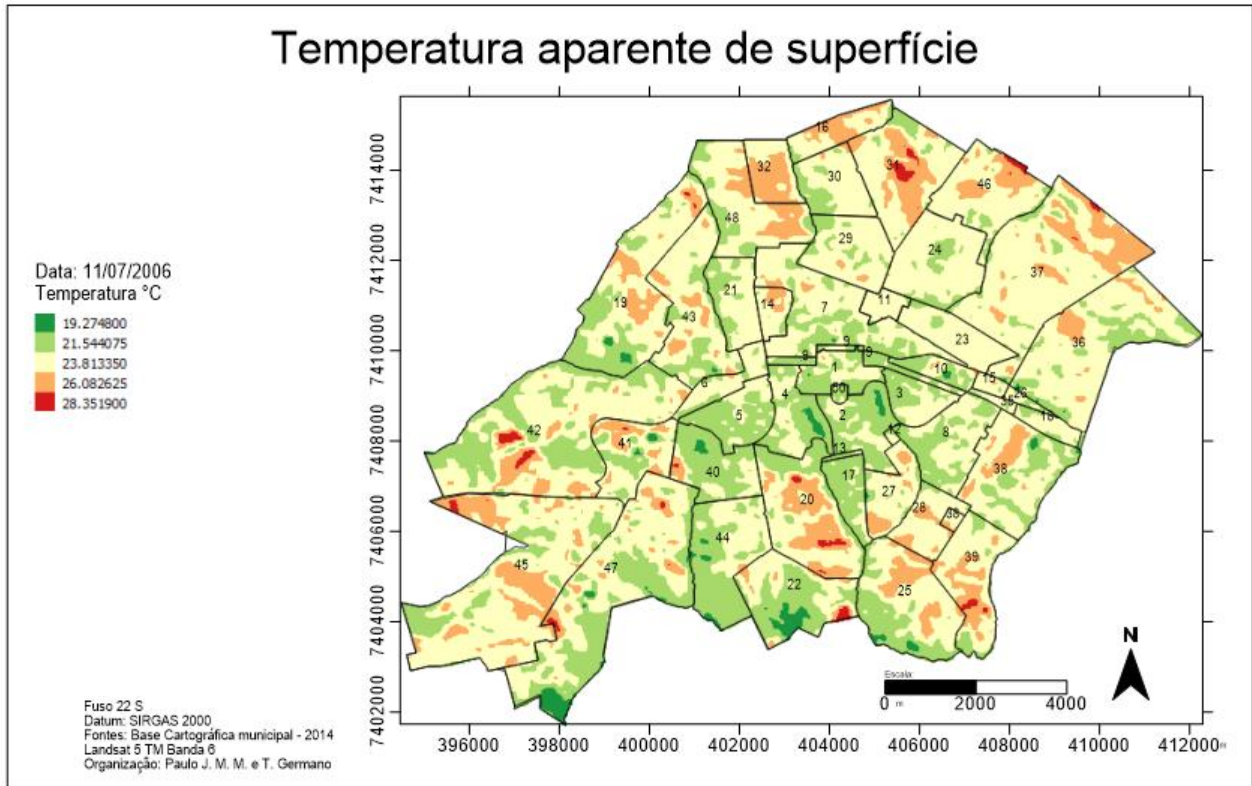


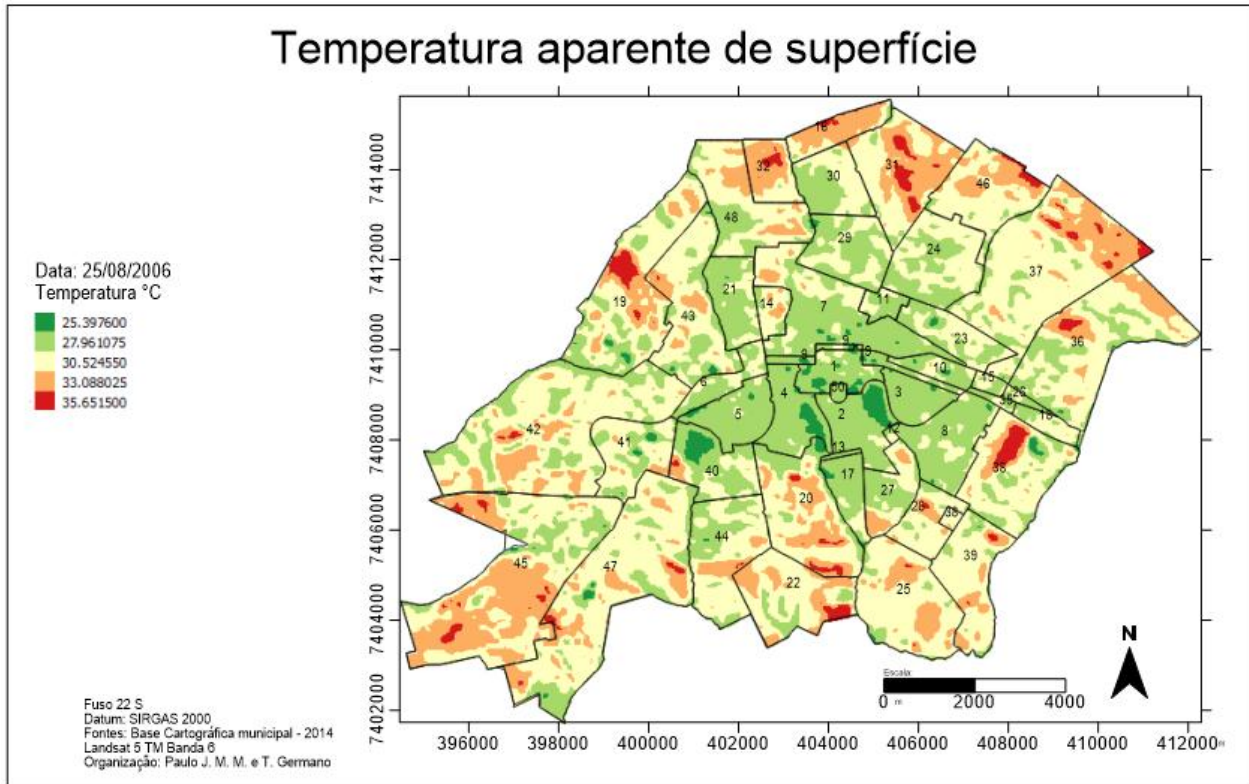
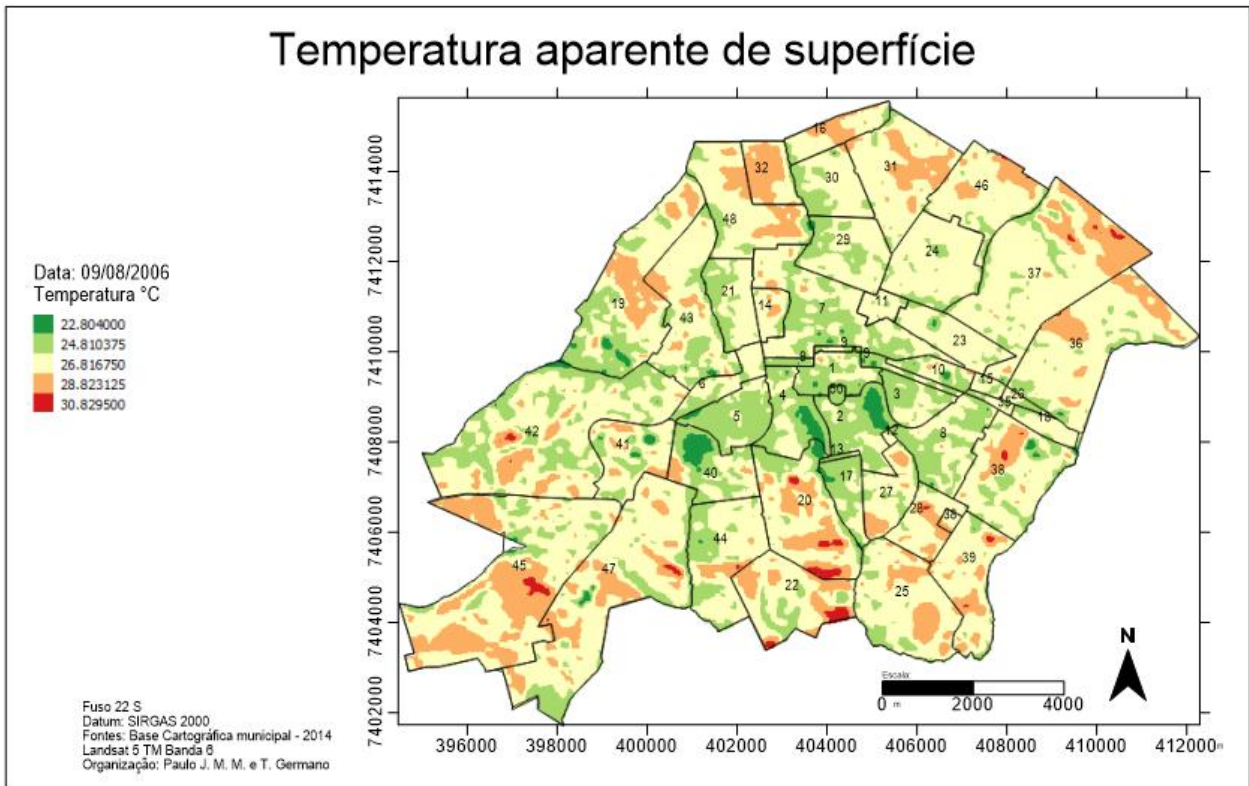


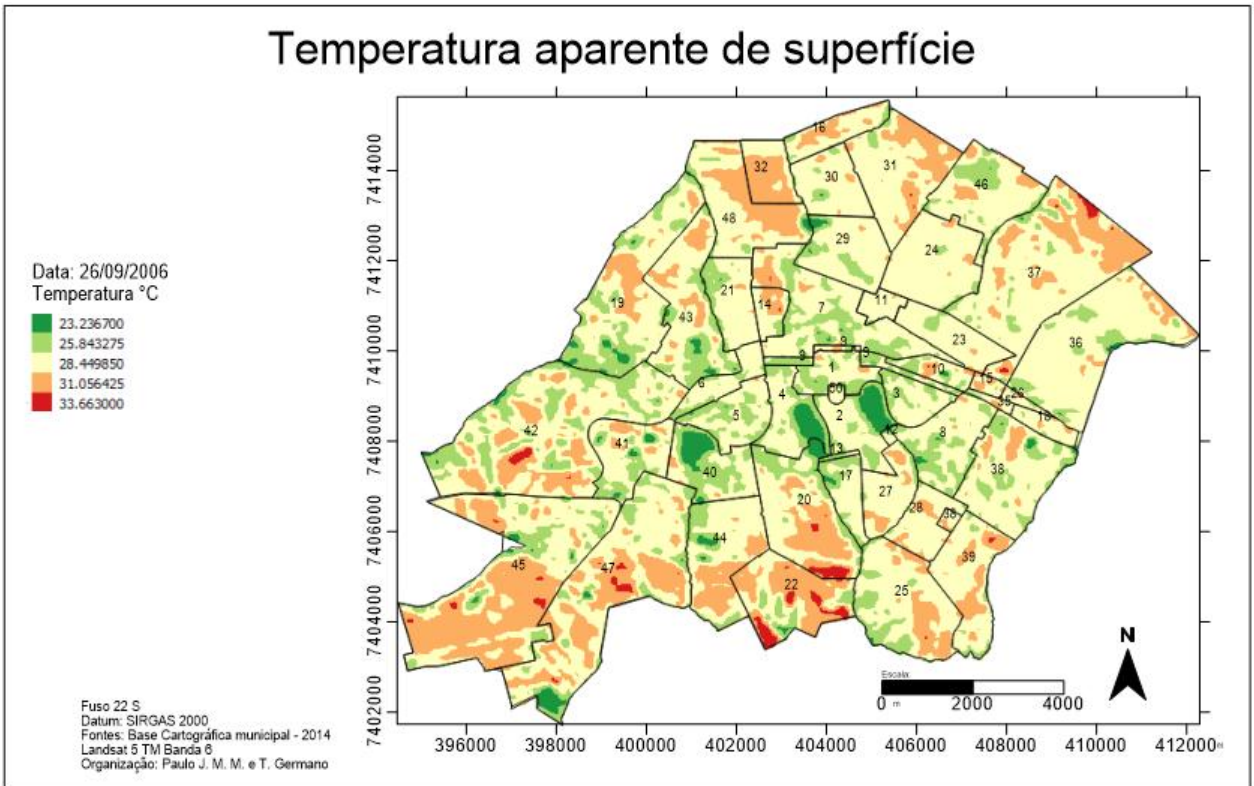
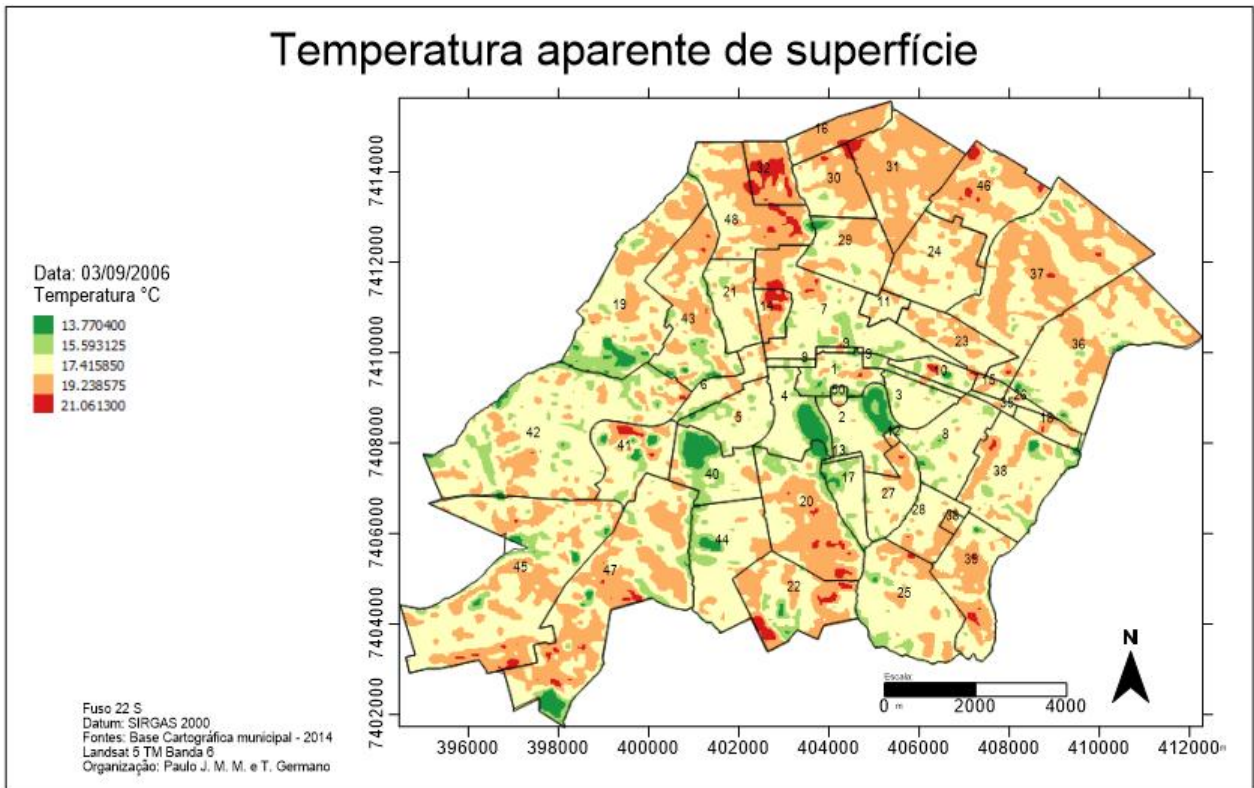
### Temperatura aparente de superfície



### Temperatura aparente de superfície

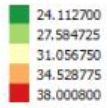




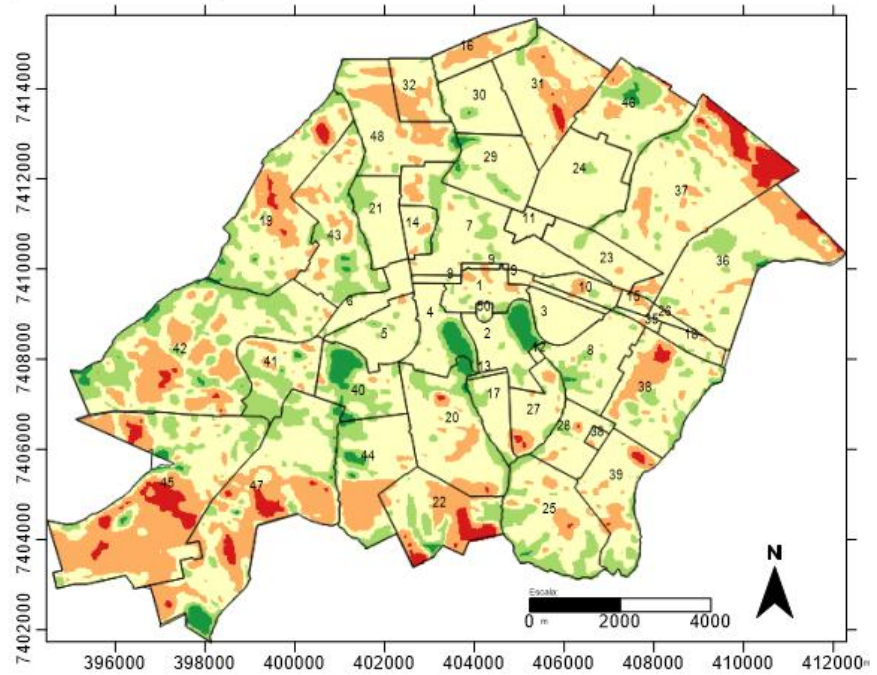


### Temperatura aparente de superfície

Data: 21/10/2006  
Temperatura °C

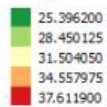


Fuso 22 S  
Datum: SIRGAS 2000  
Fontes: Base Cartográfica municipal - 2014  
Landsat 5 TM Banda 8  
Organização: Paulo J. M. M. e T. Germano

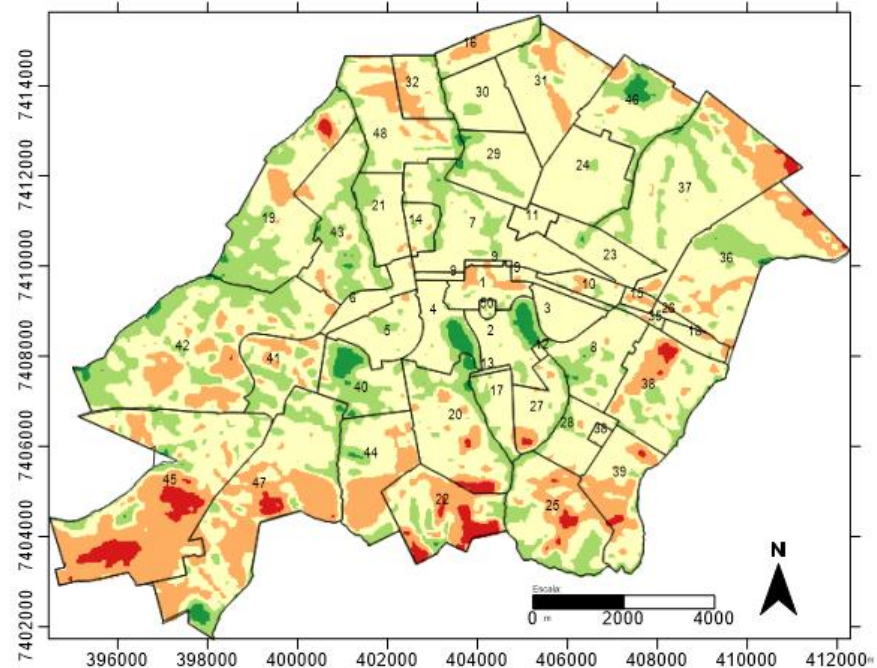


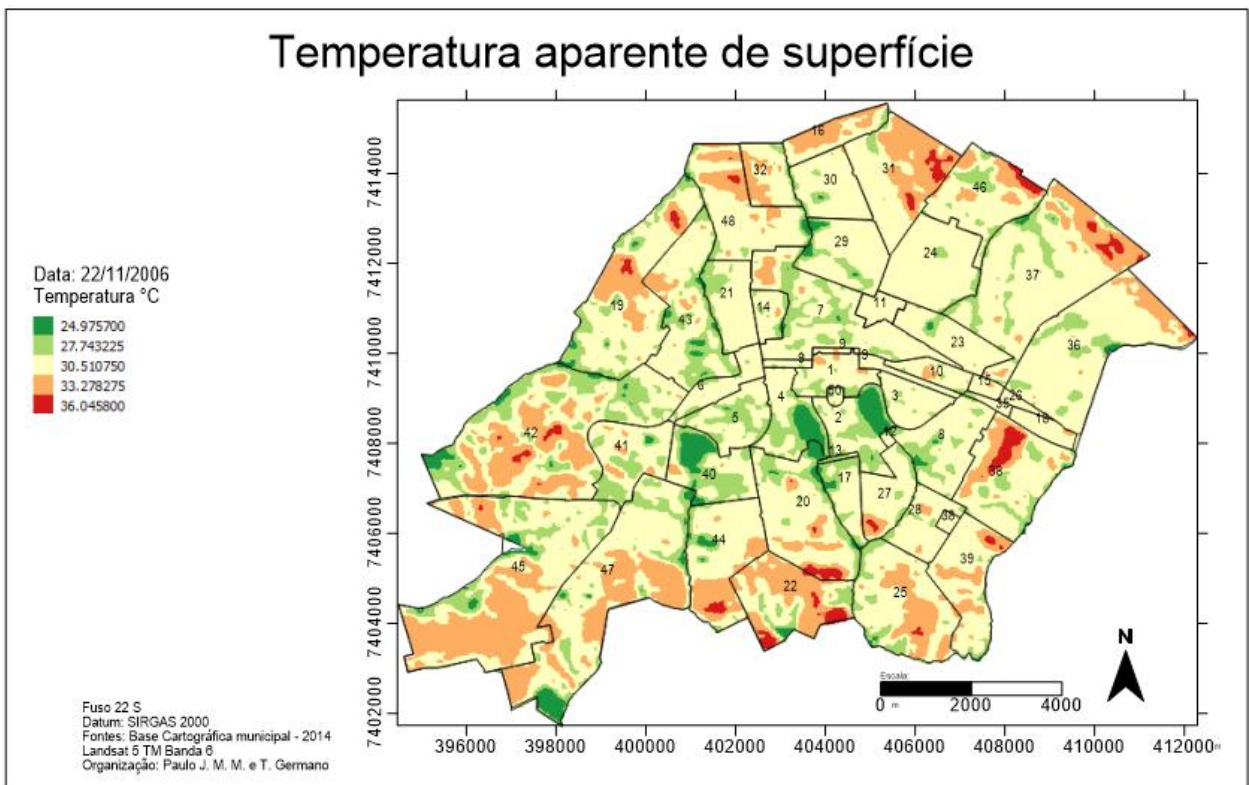
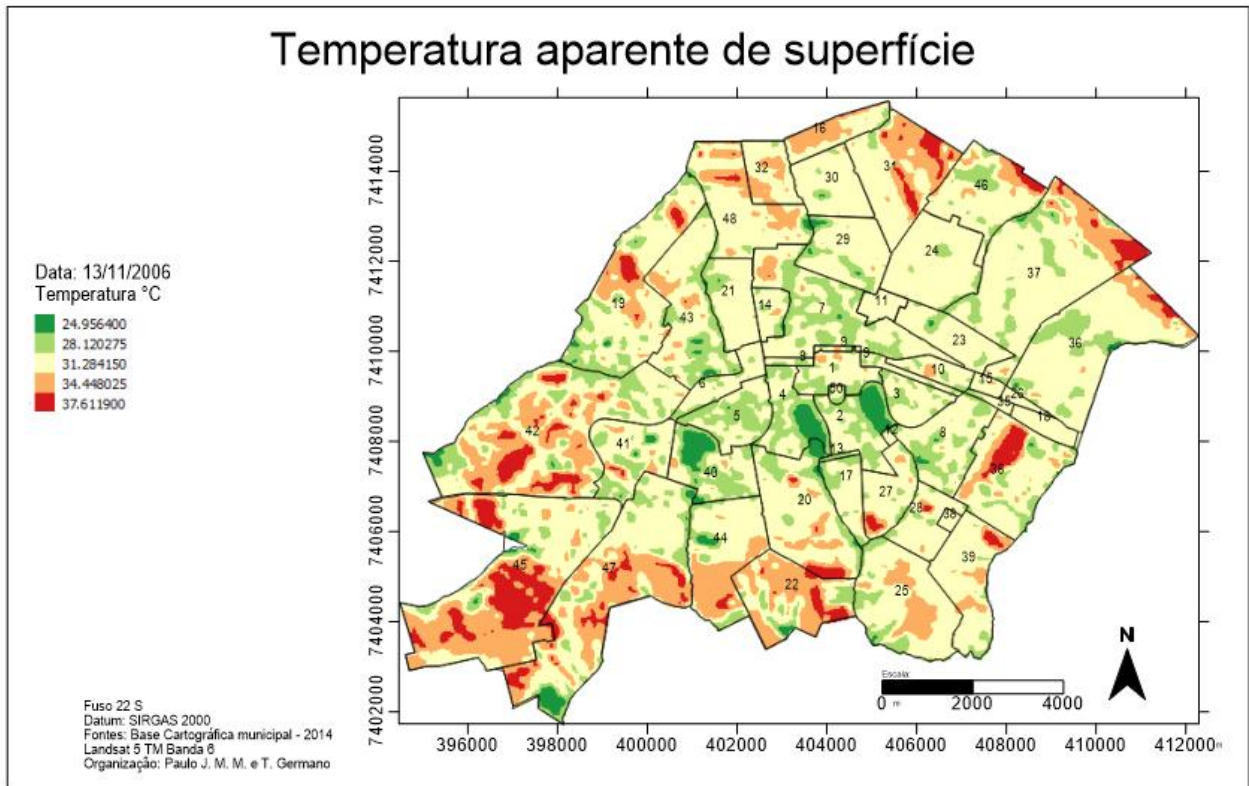
### Temperatura aparente de superfície

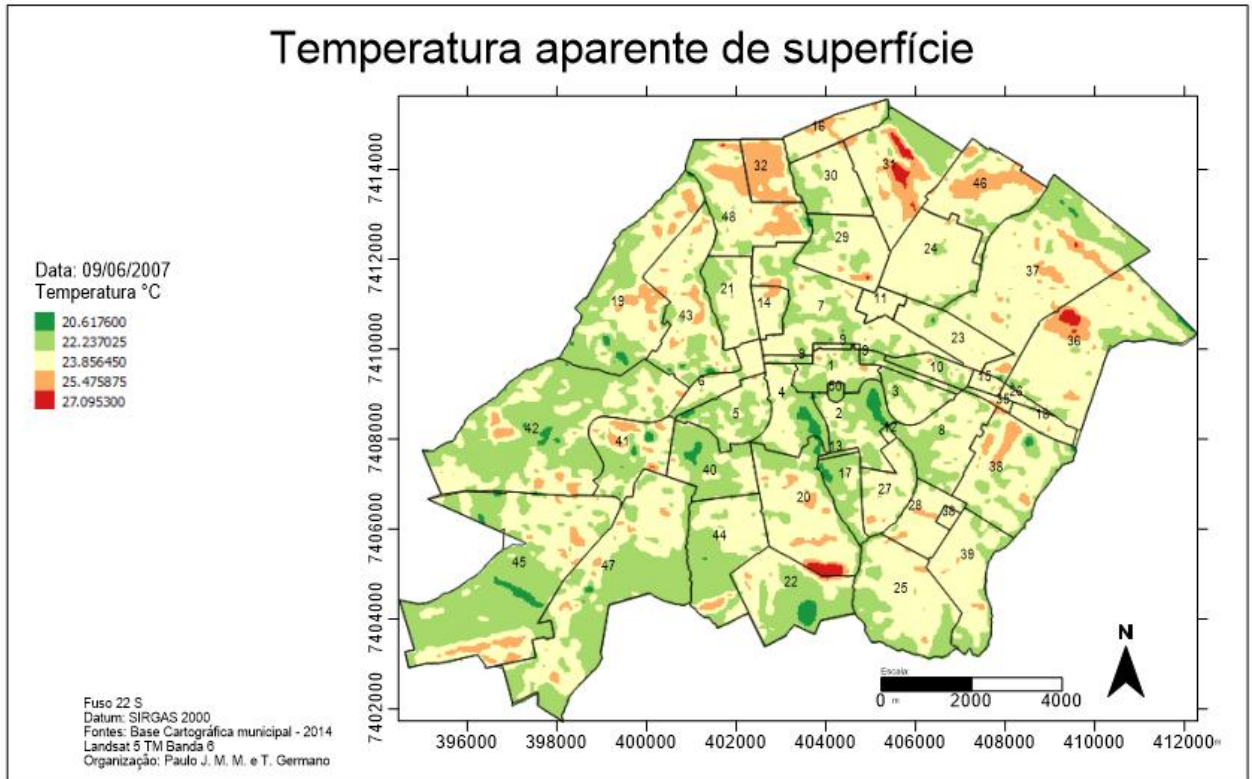
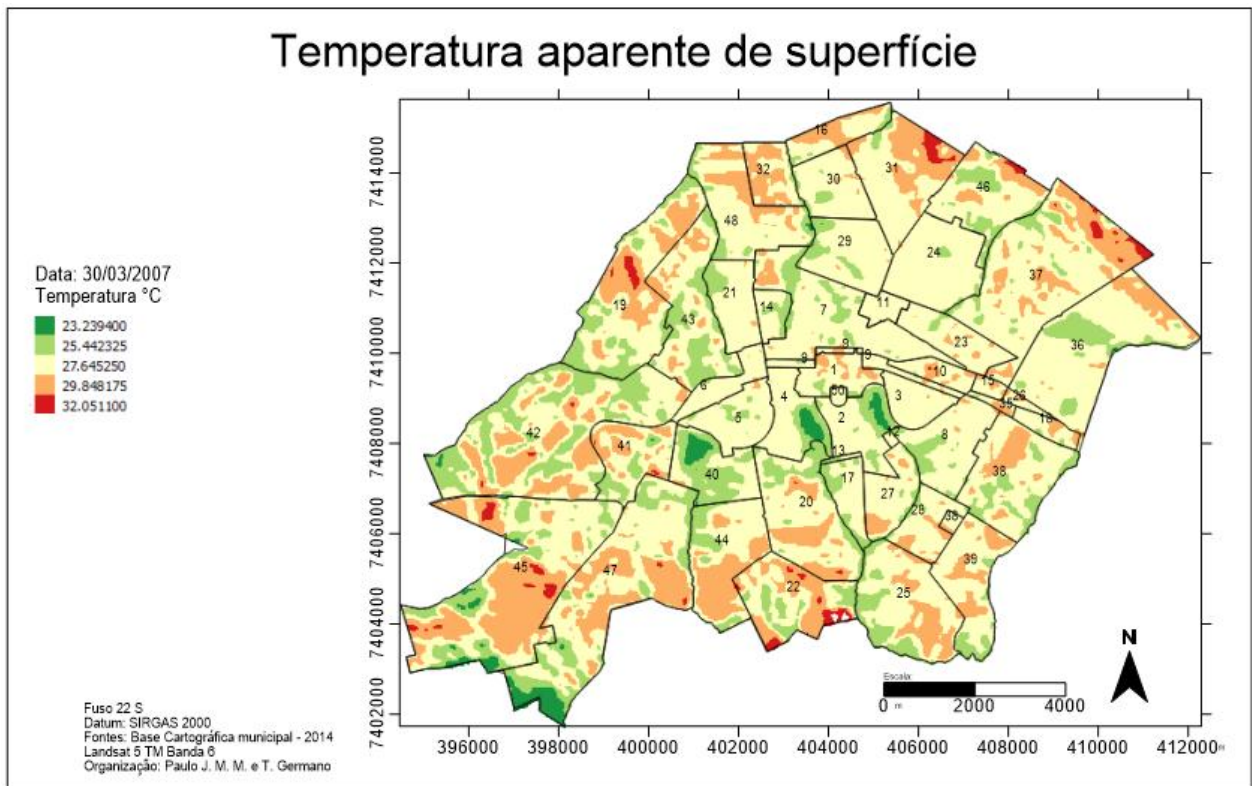
Data: 28/10/2006  
Temperatura °C

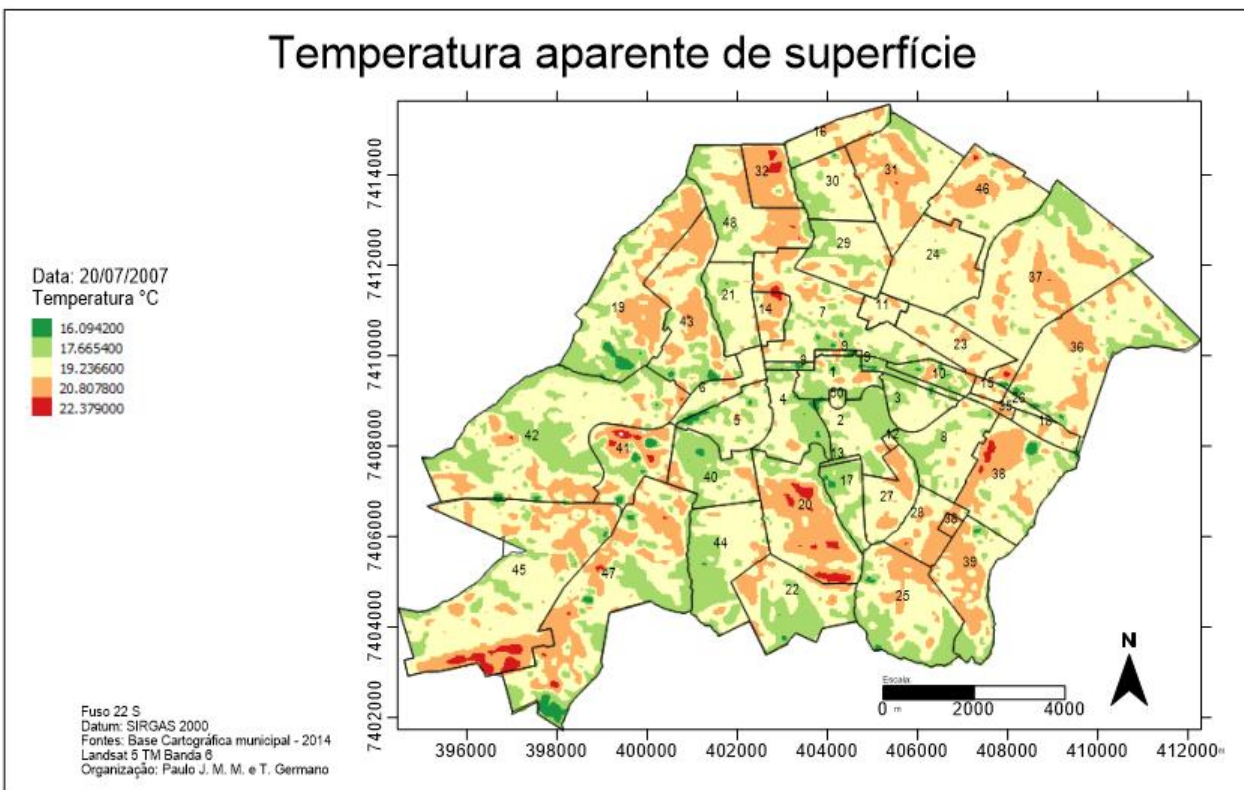
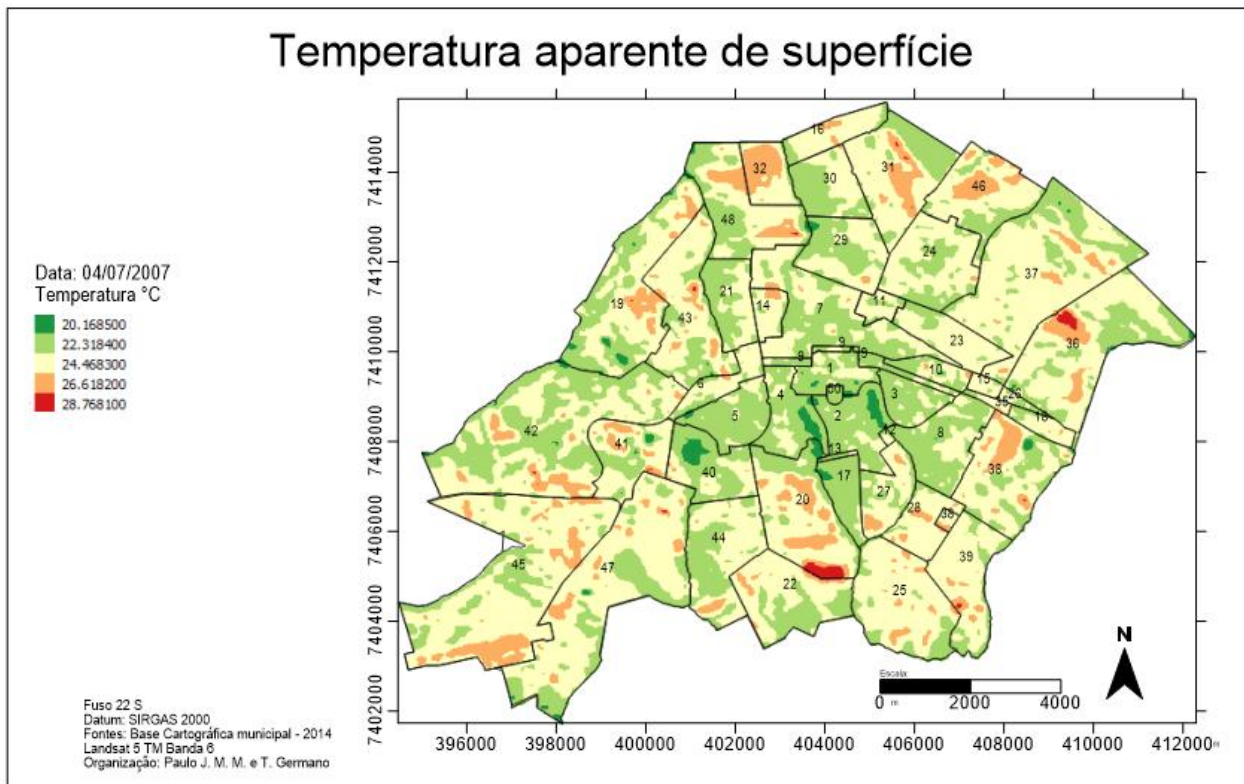


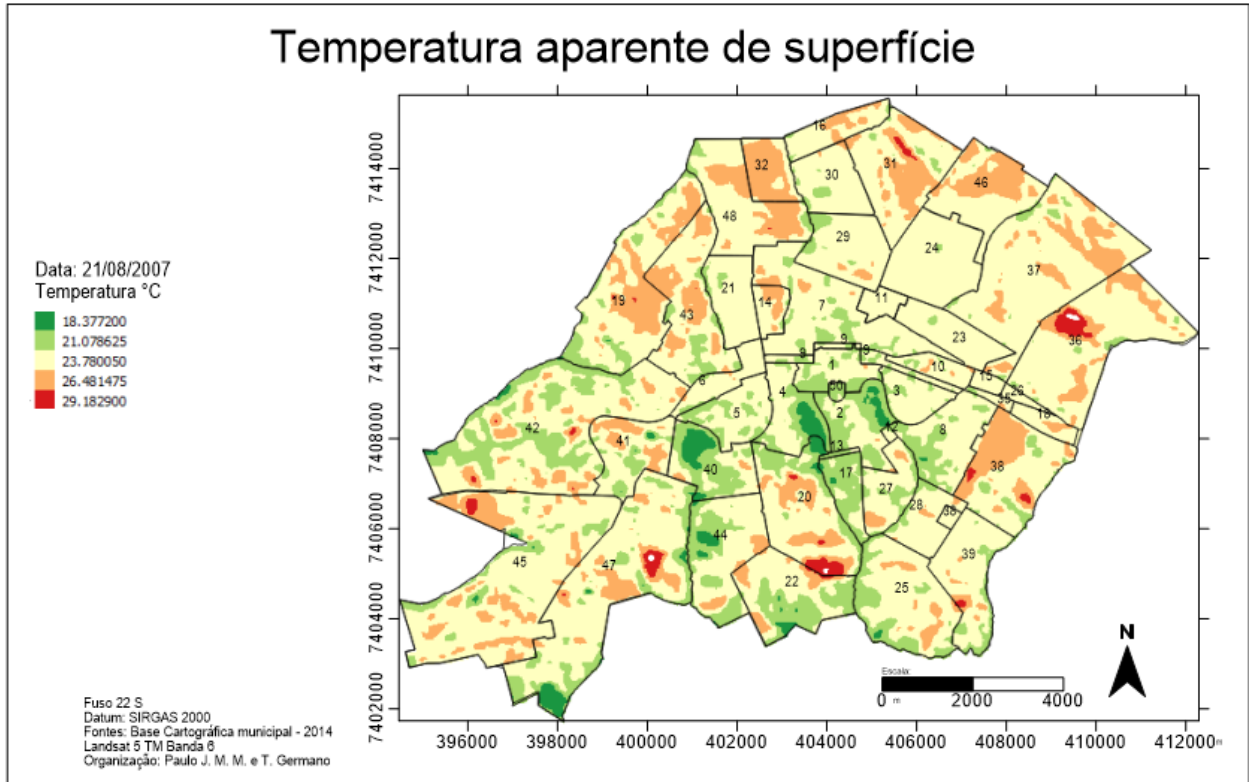
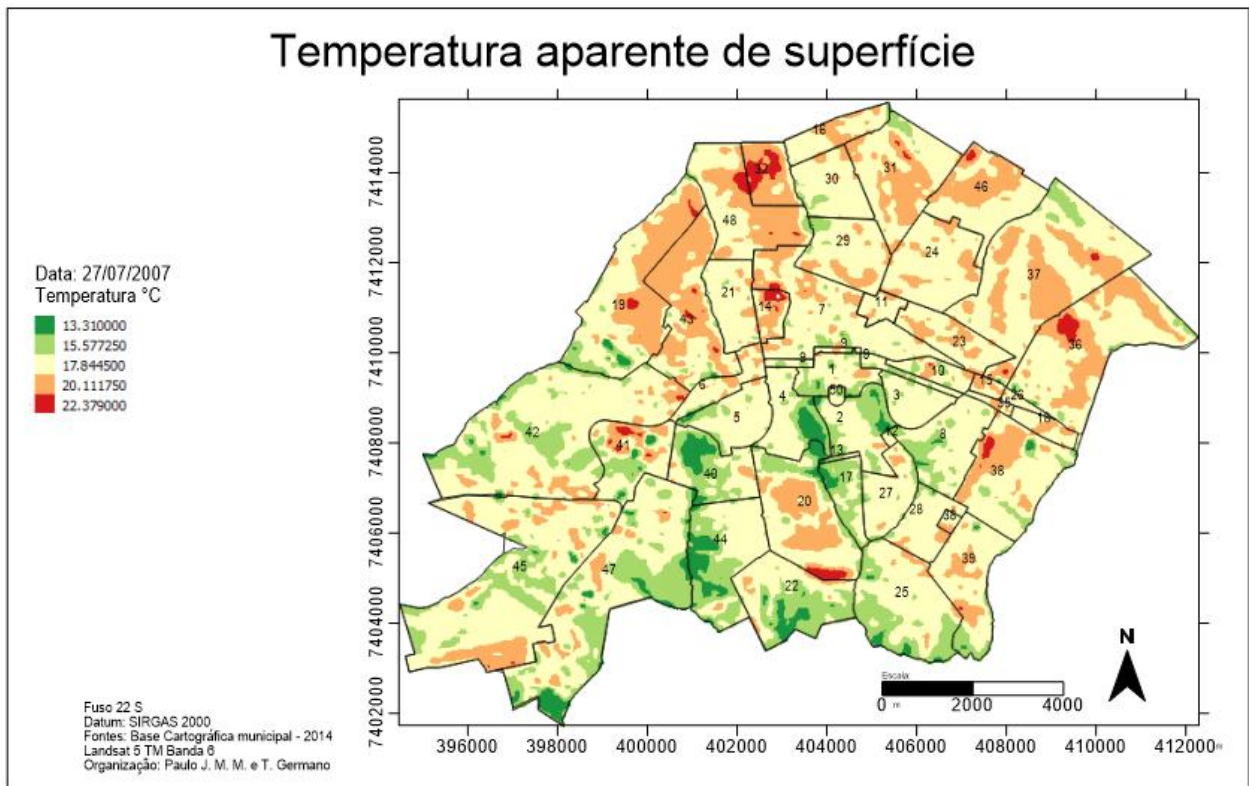
Fuso 22 S  
Datum: SIRGAS 2000  
Fontes: Base Cartográfica municipal - 2014  
Landsat 5 TM Banda 8  
Organização: Paulo J. M. M. e T. Germano



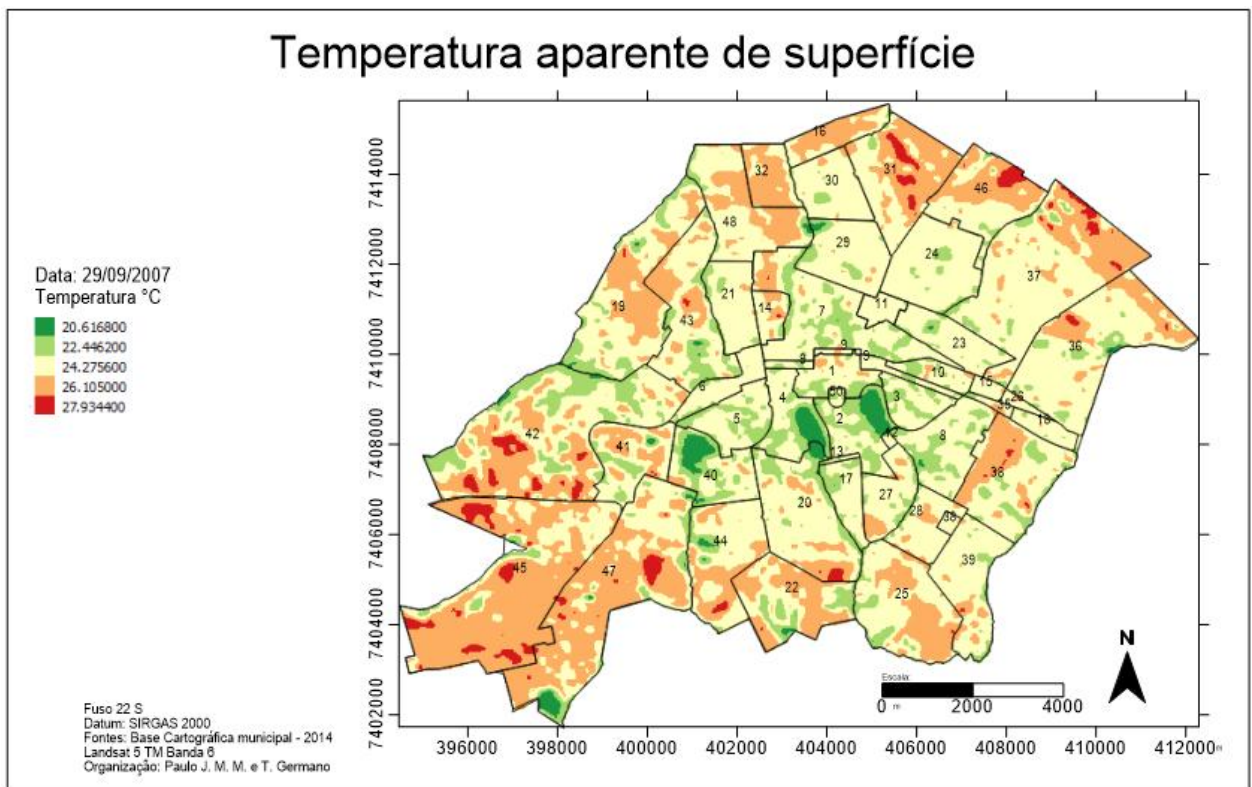
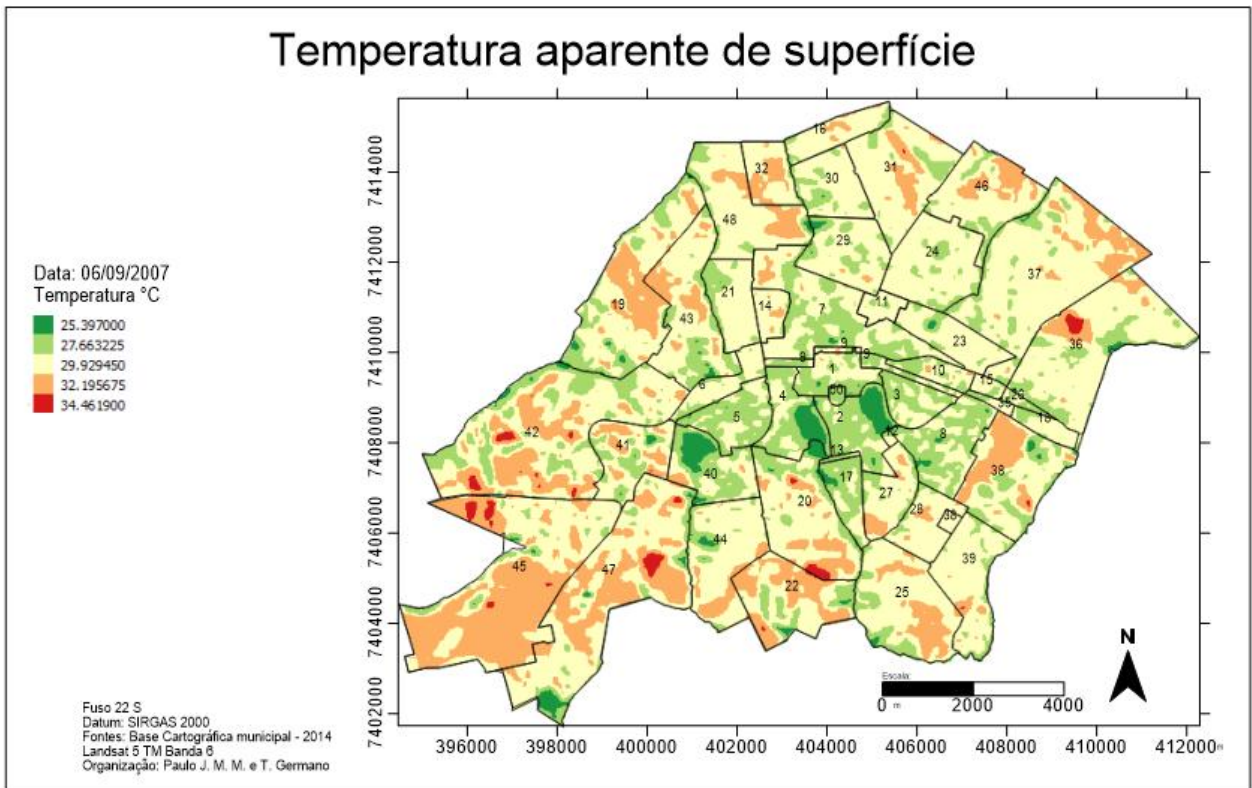


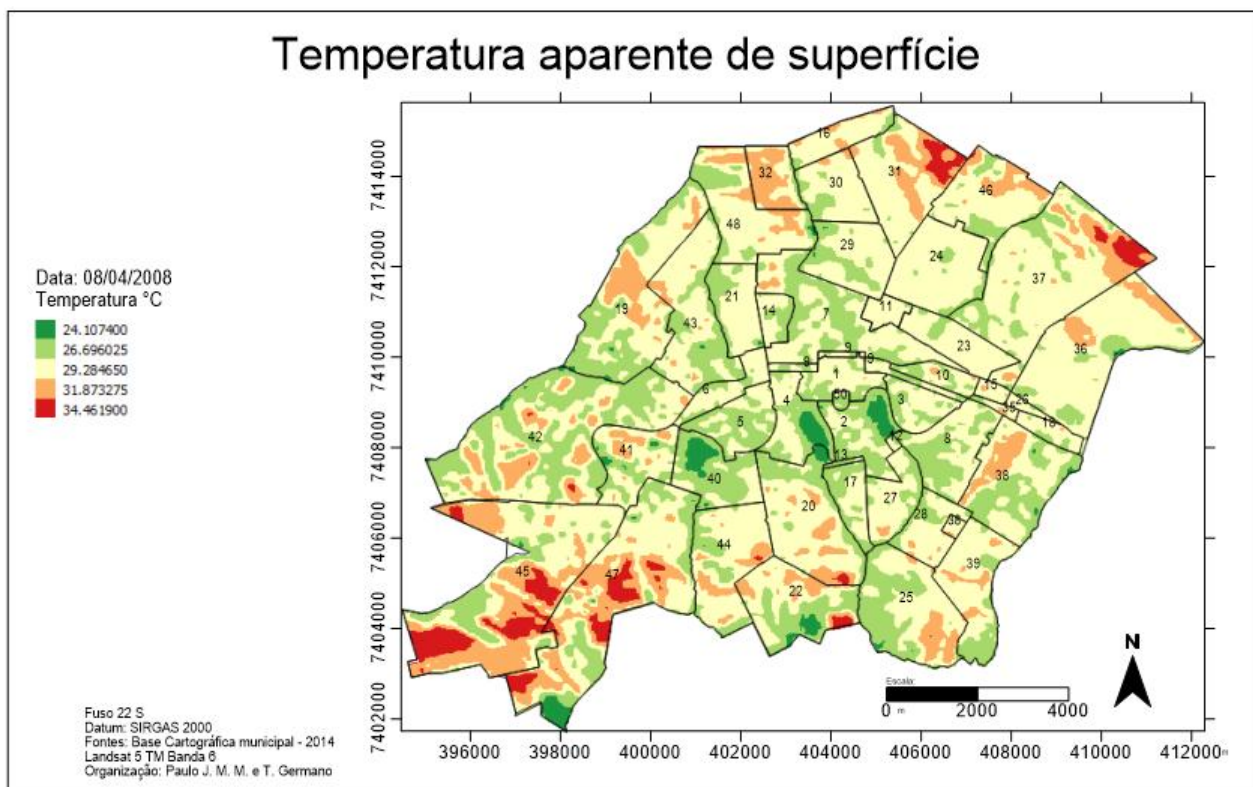
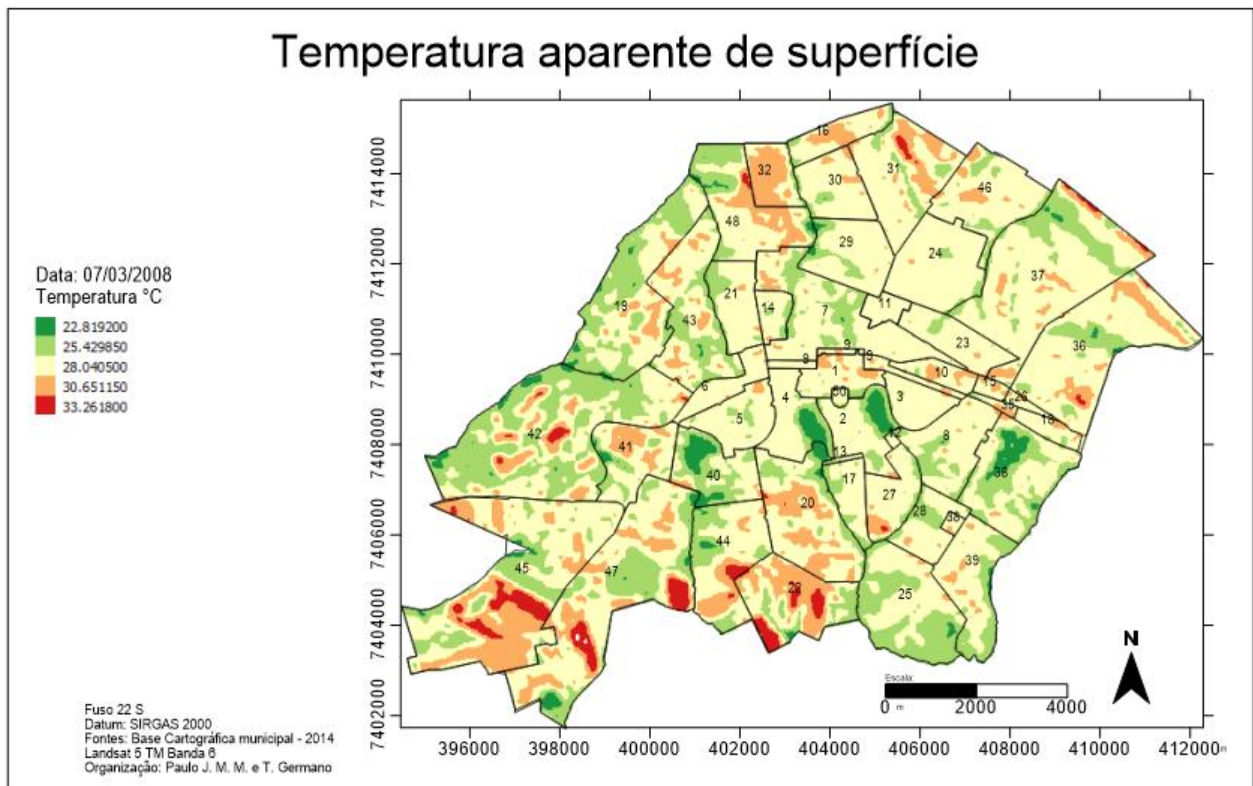




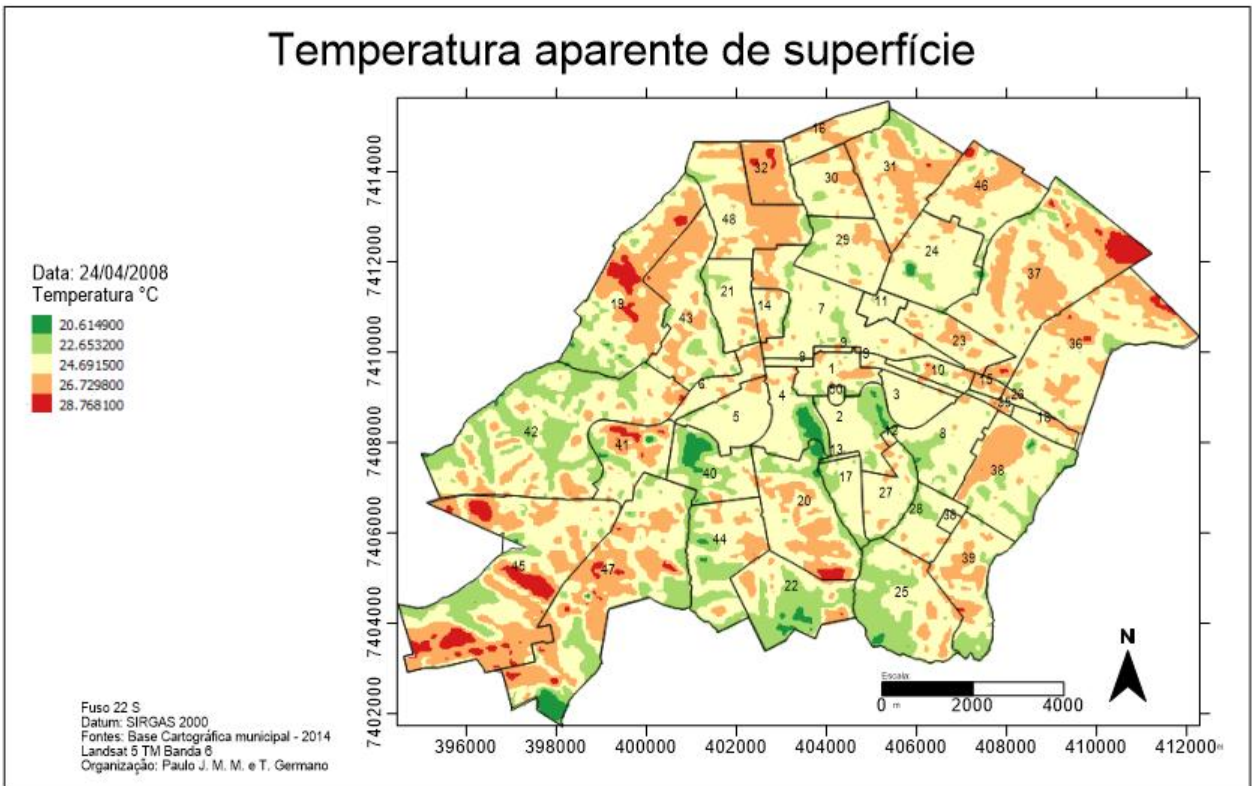




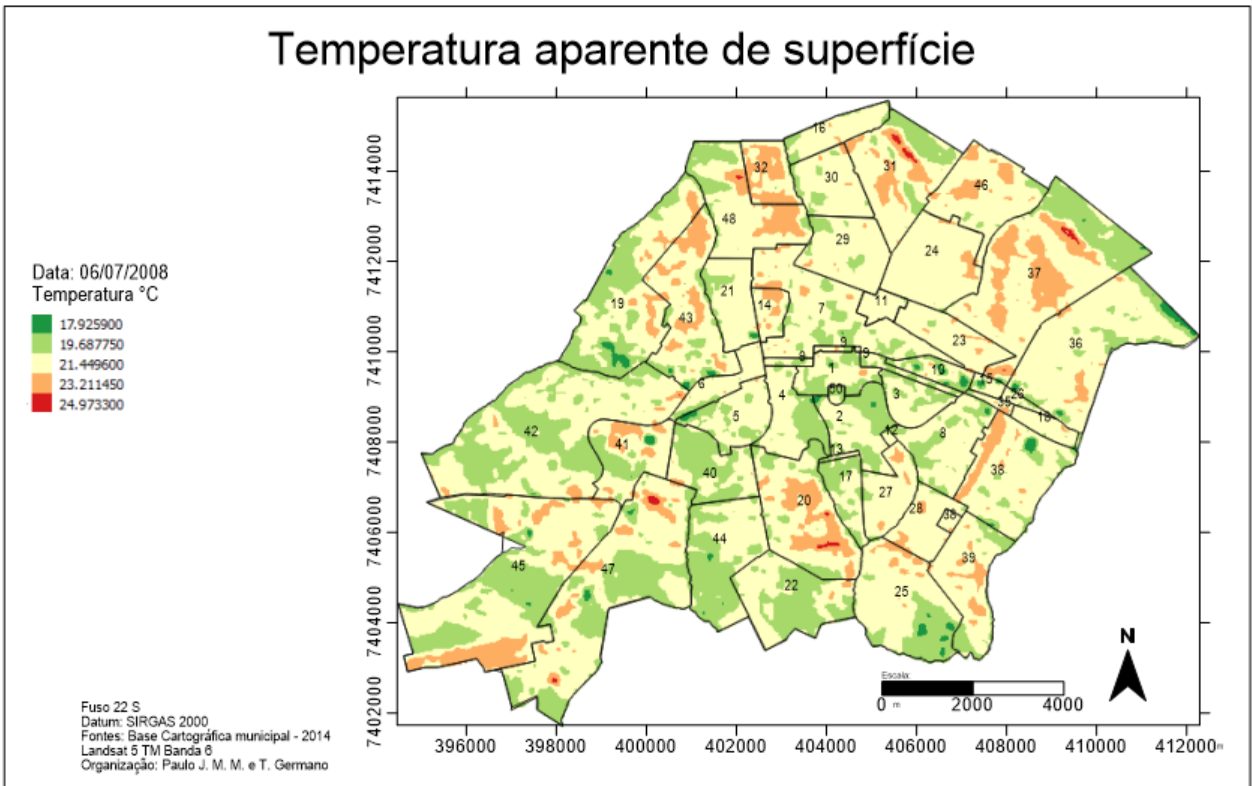


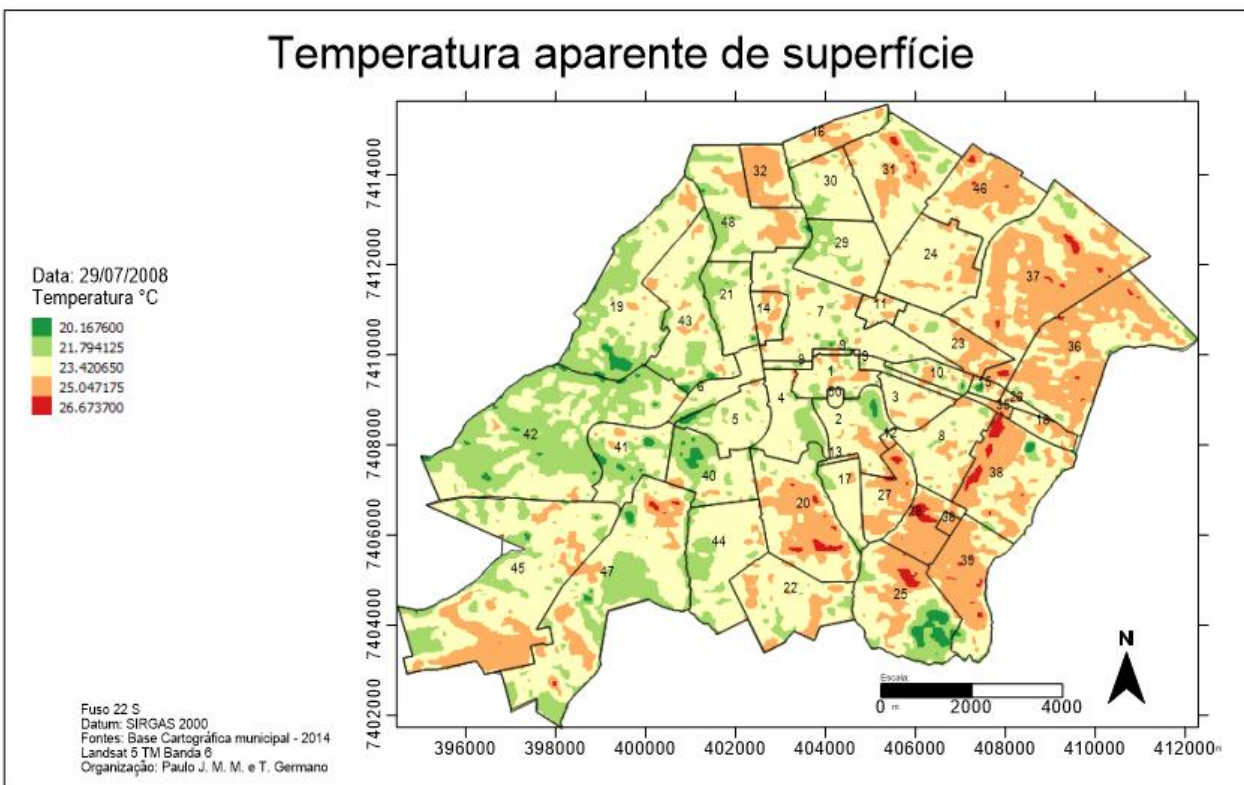
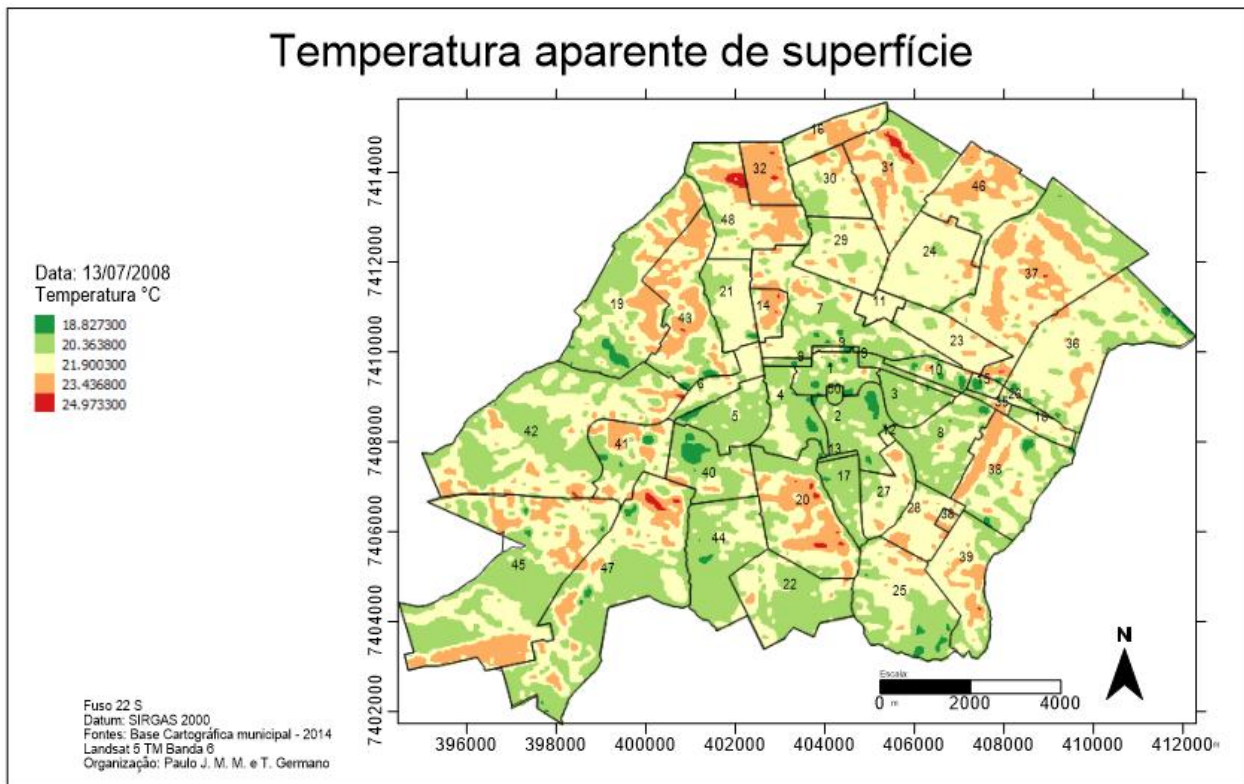


### Temperatura aparente de superfície

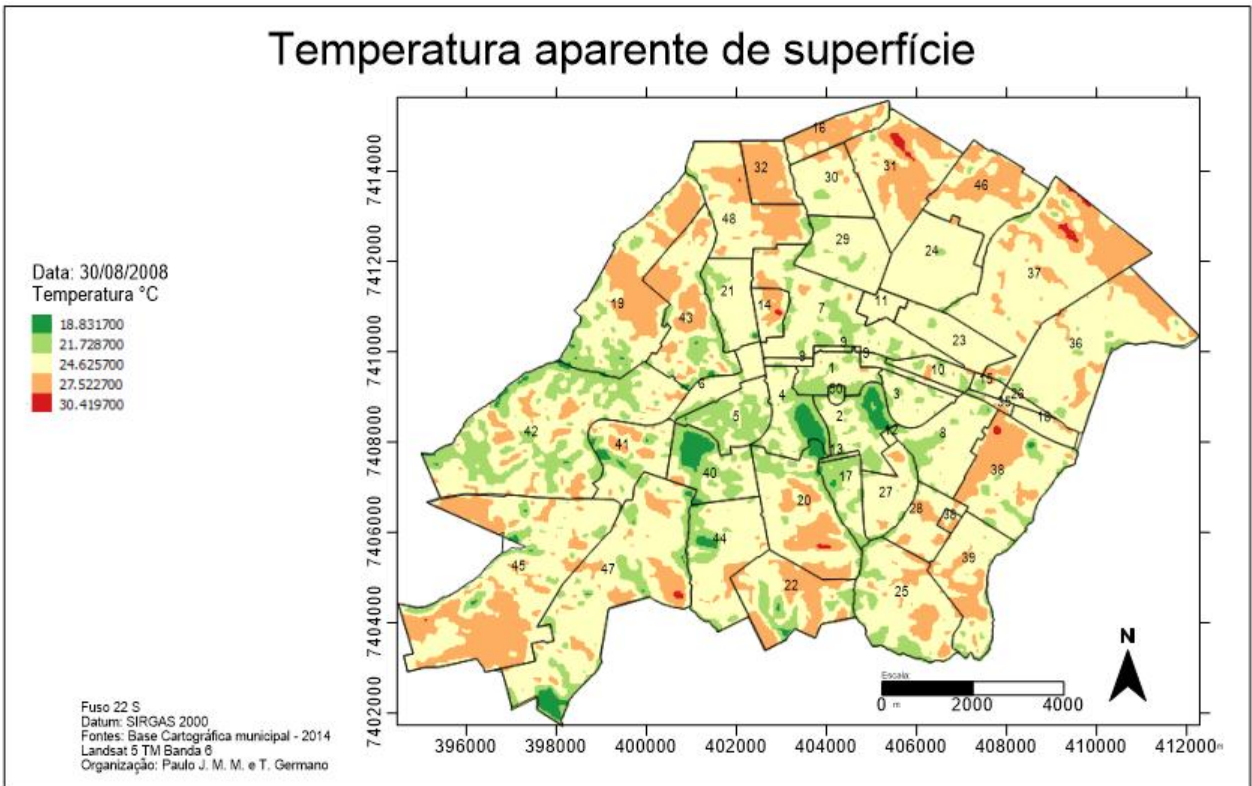


### Temperatura aparente de superfície

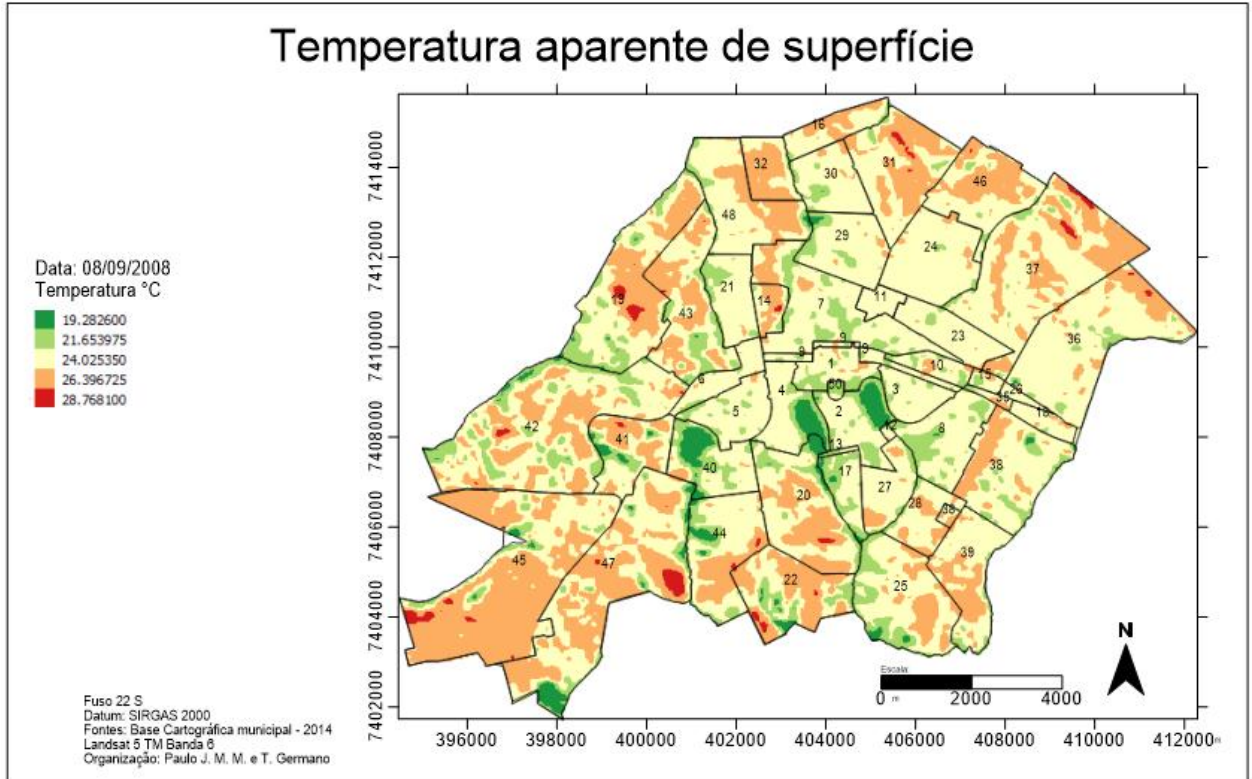


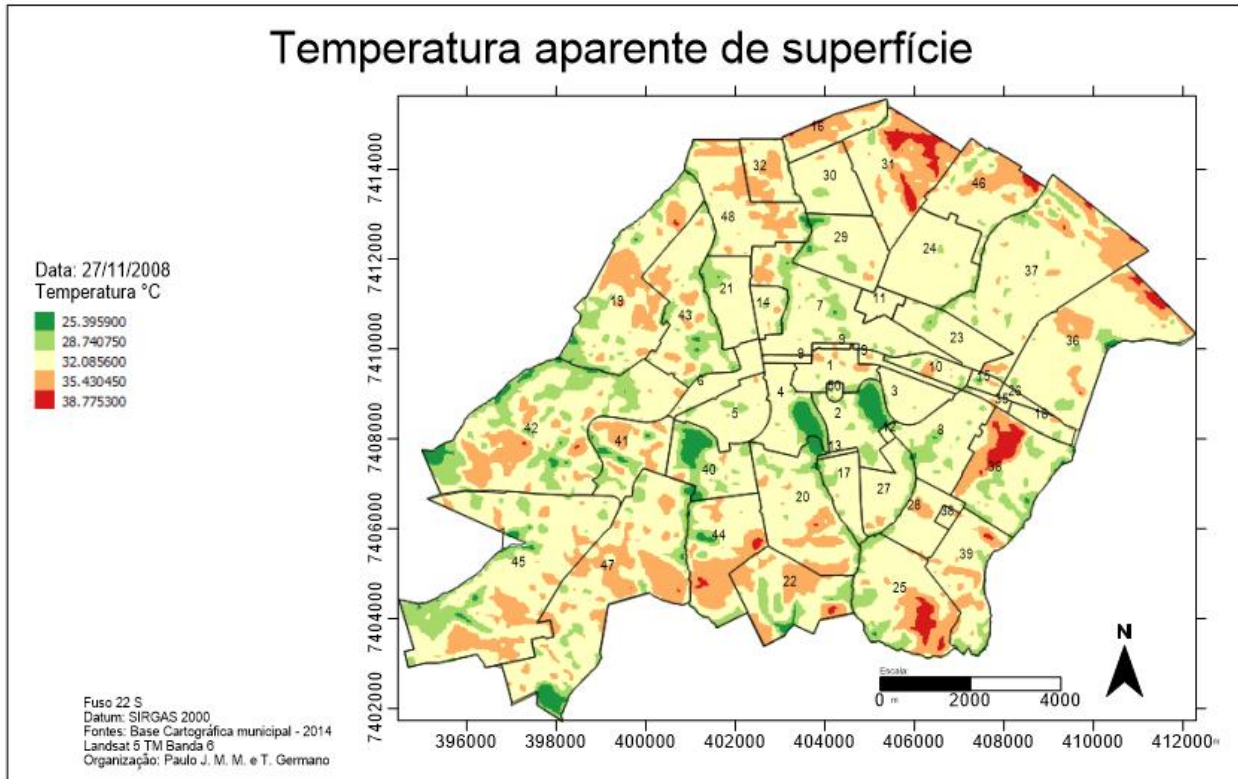
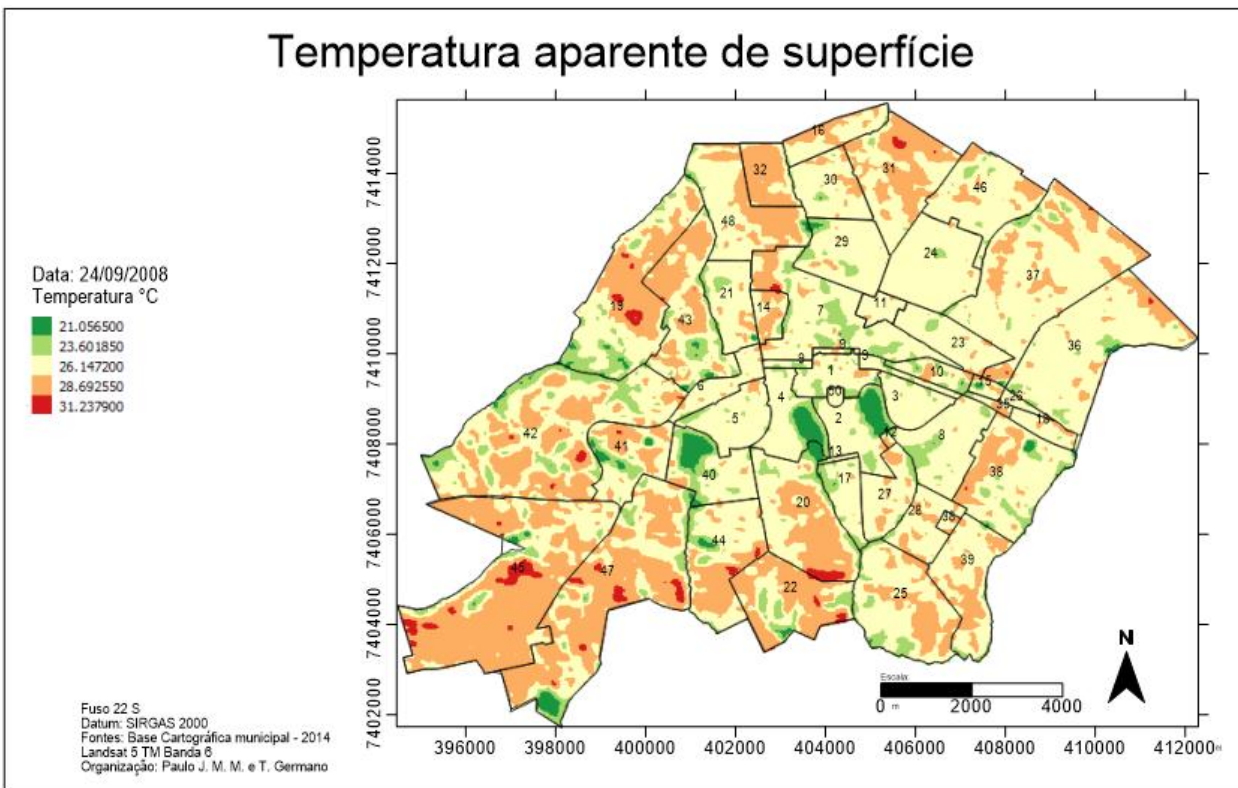


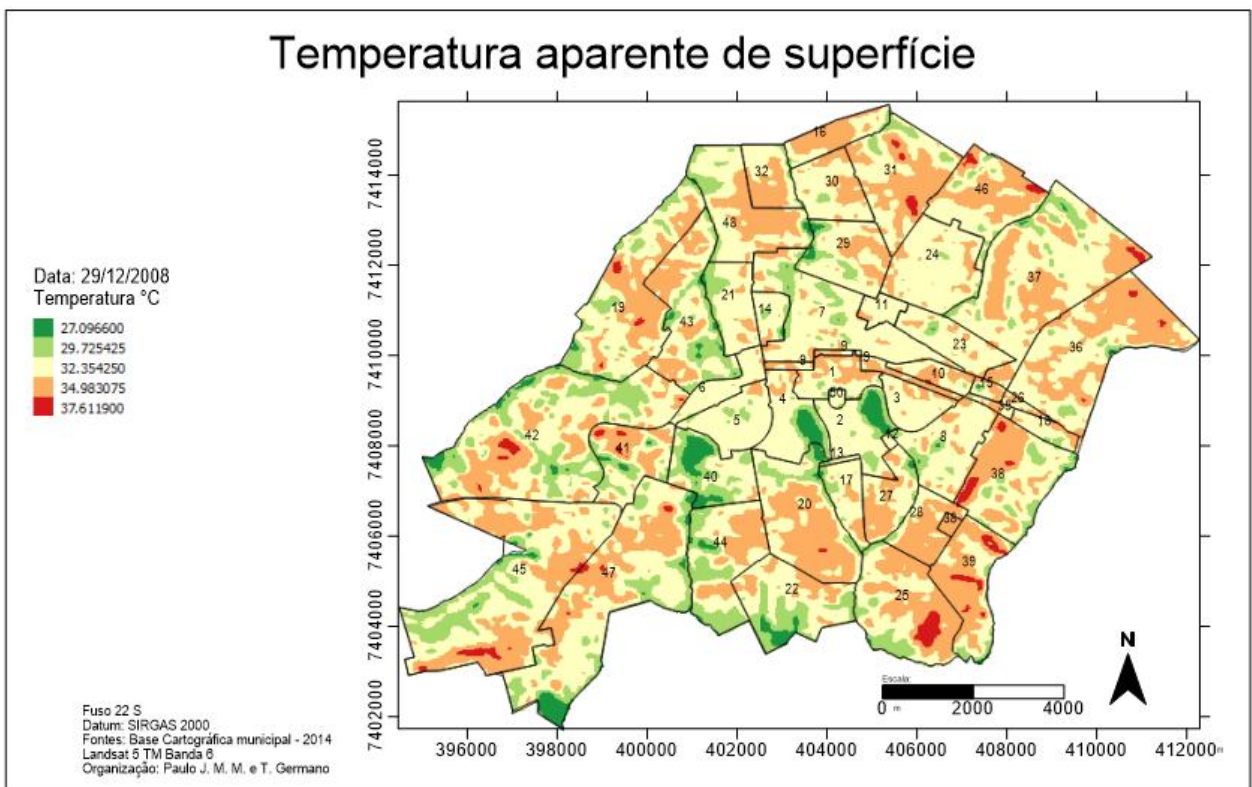
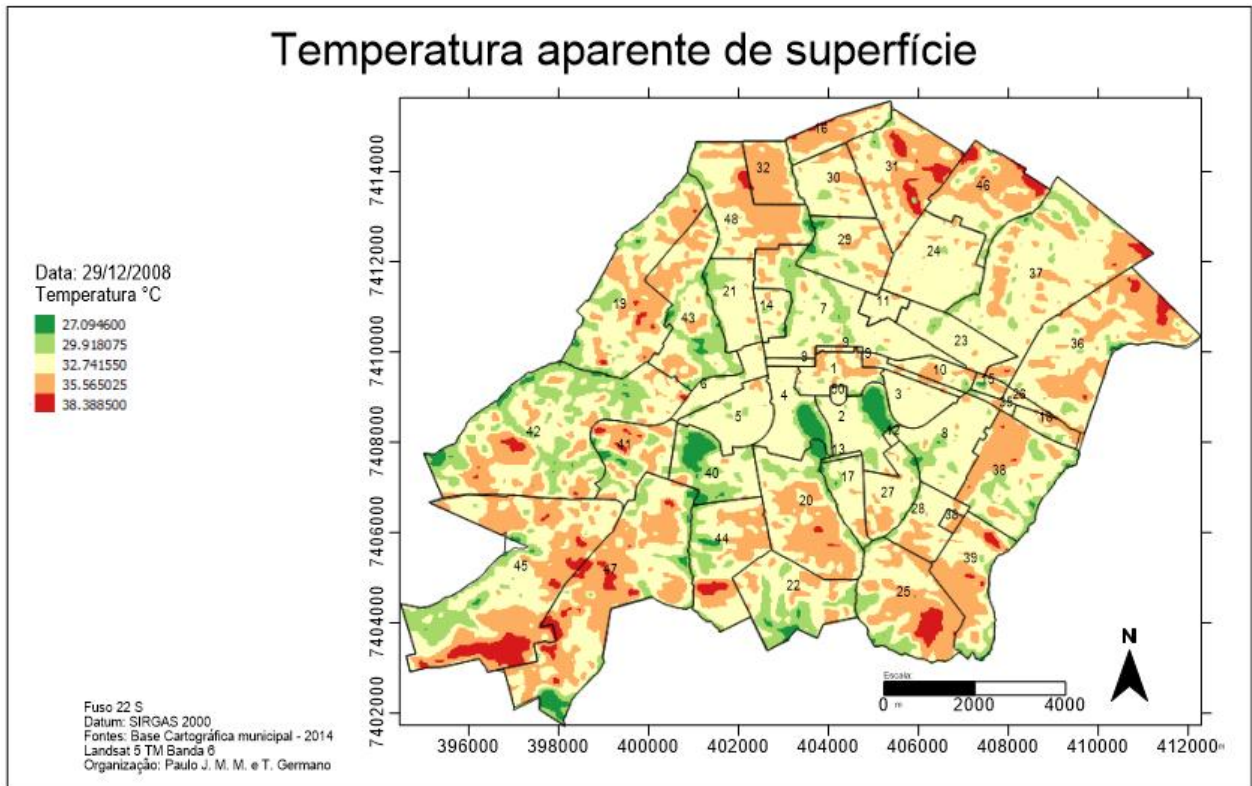
### Temperatura aparente de superfície

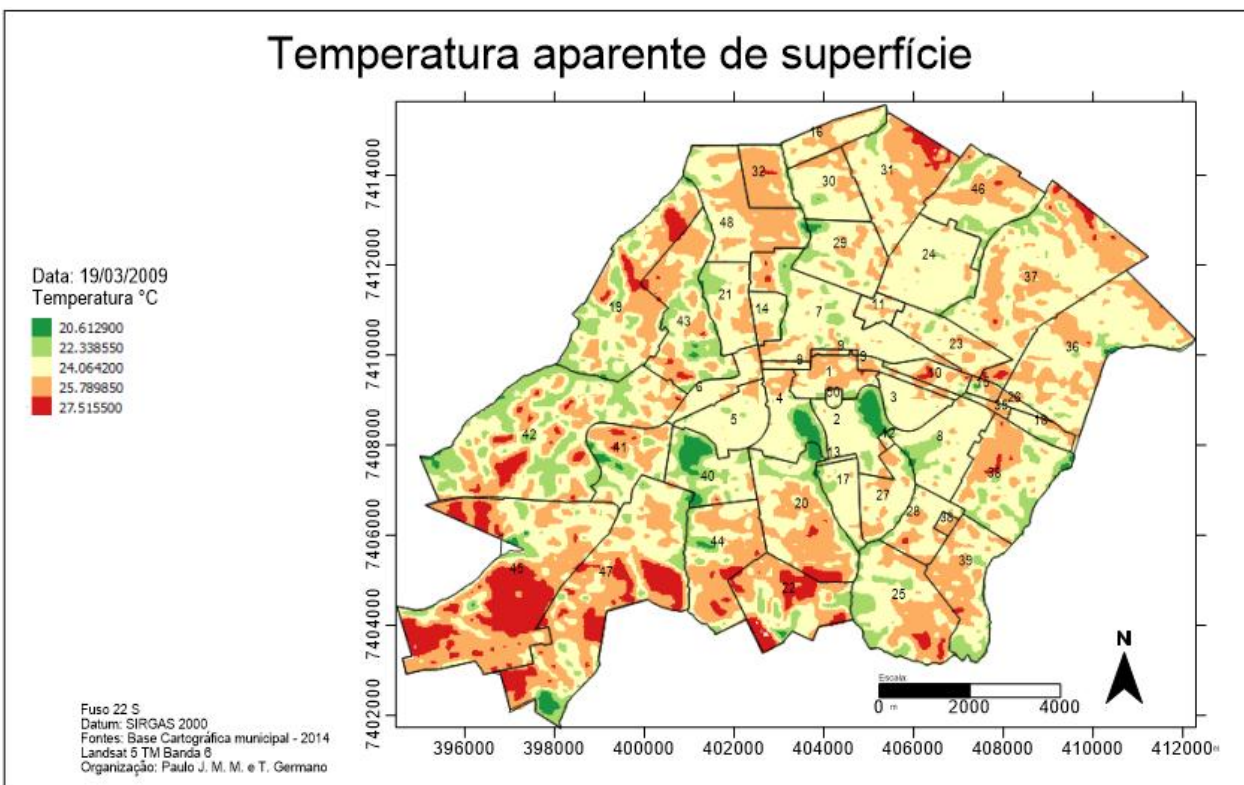
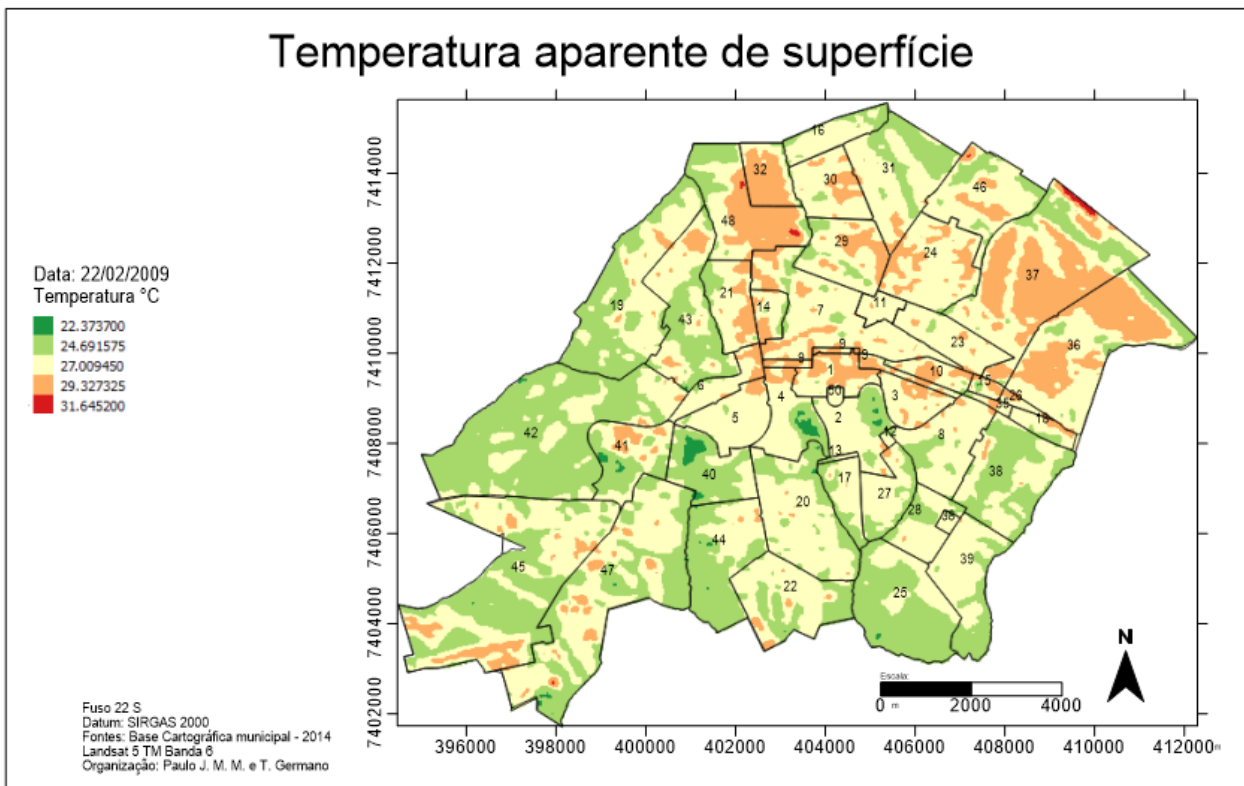


### Temperatura aparente de superfície

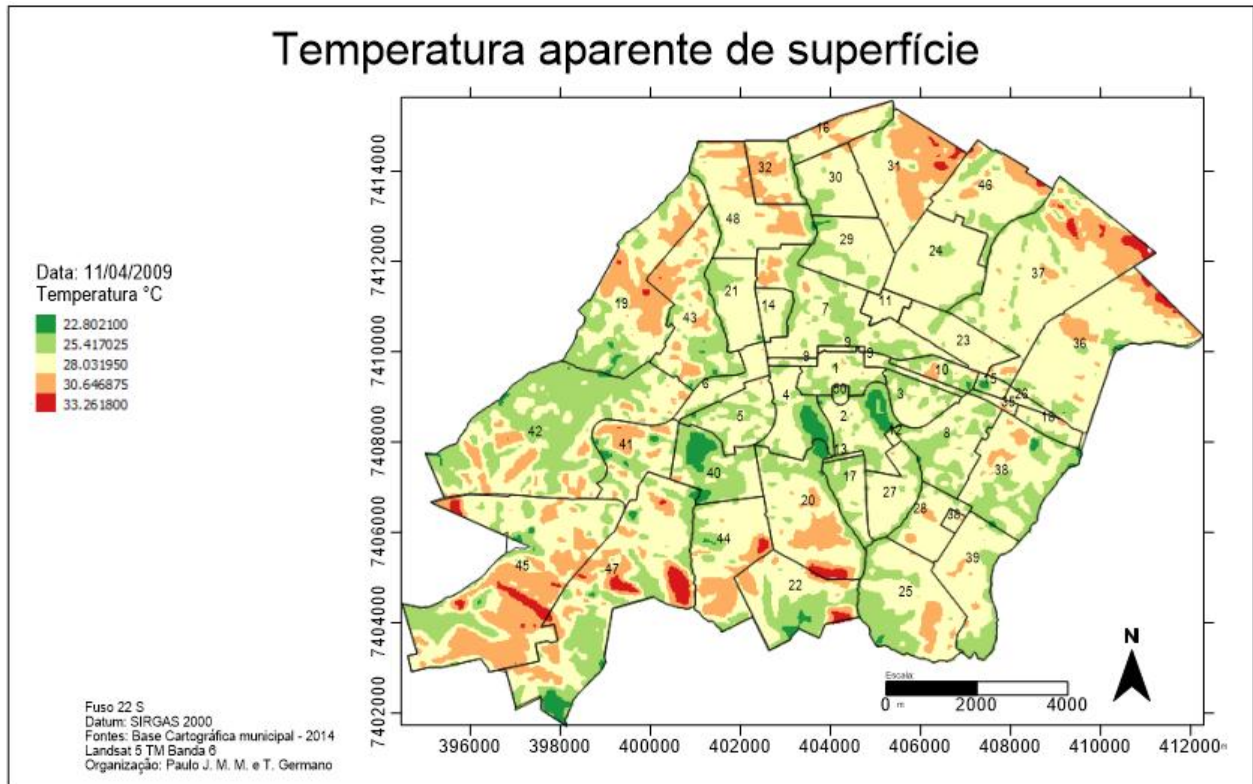
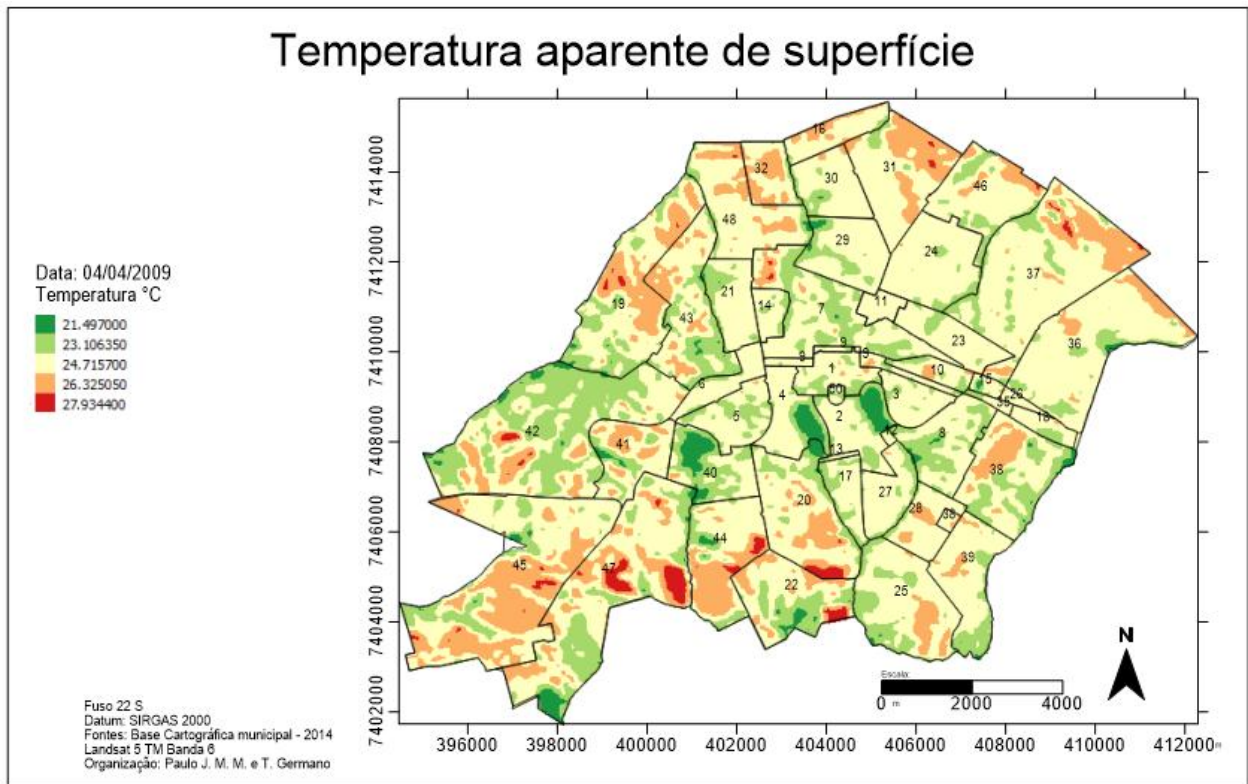




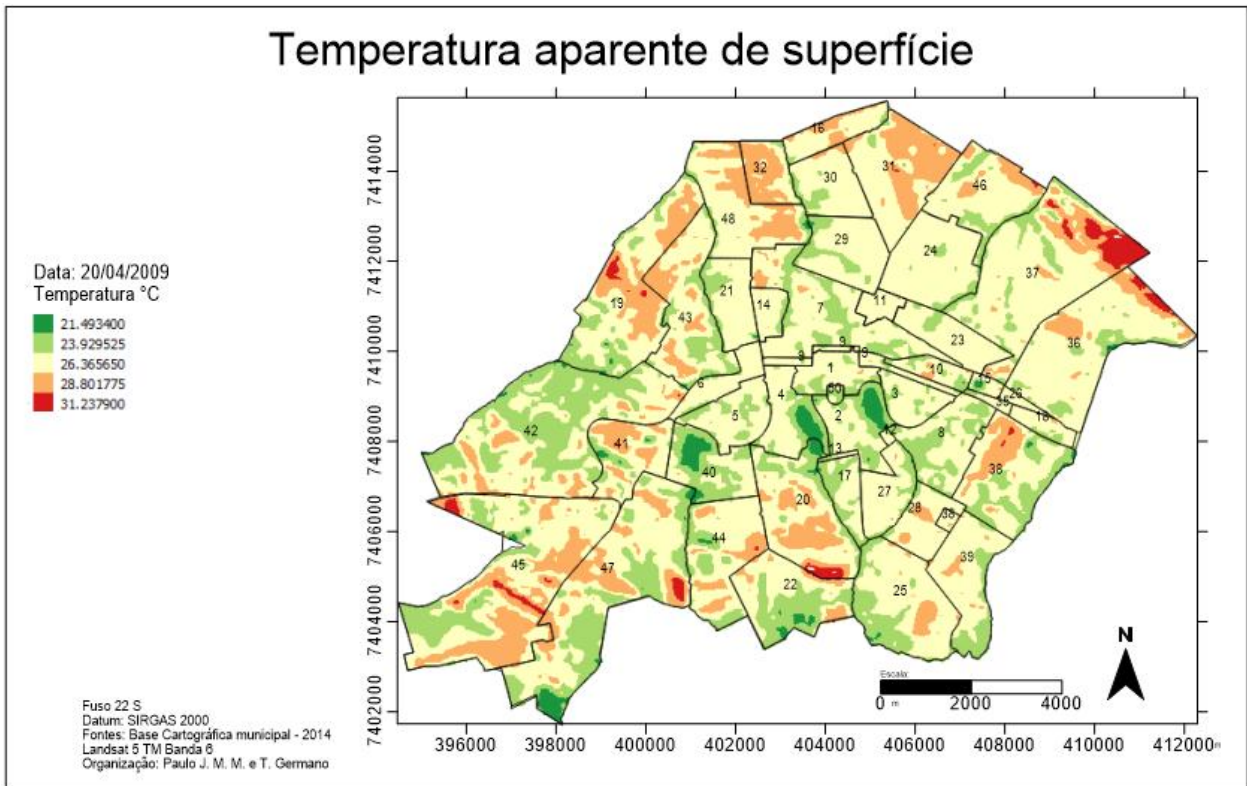




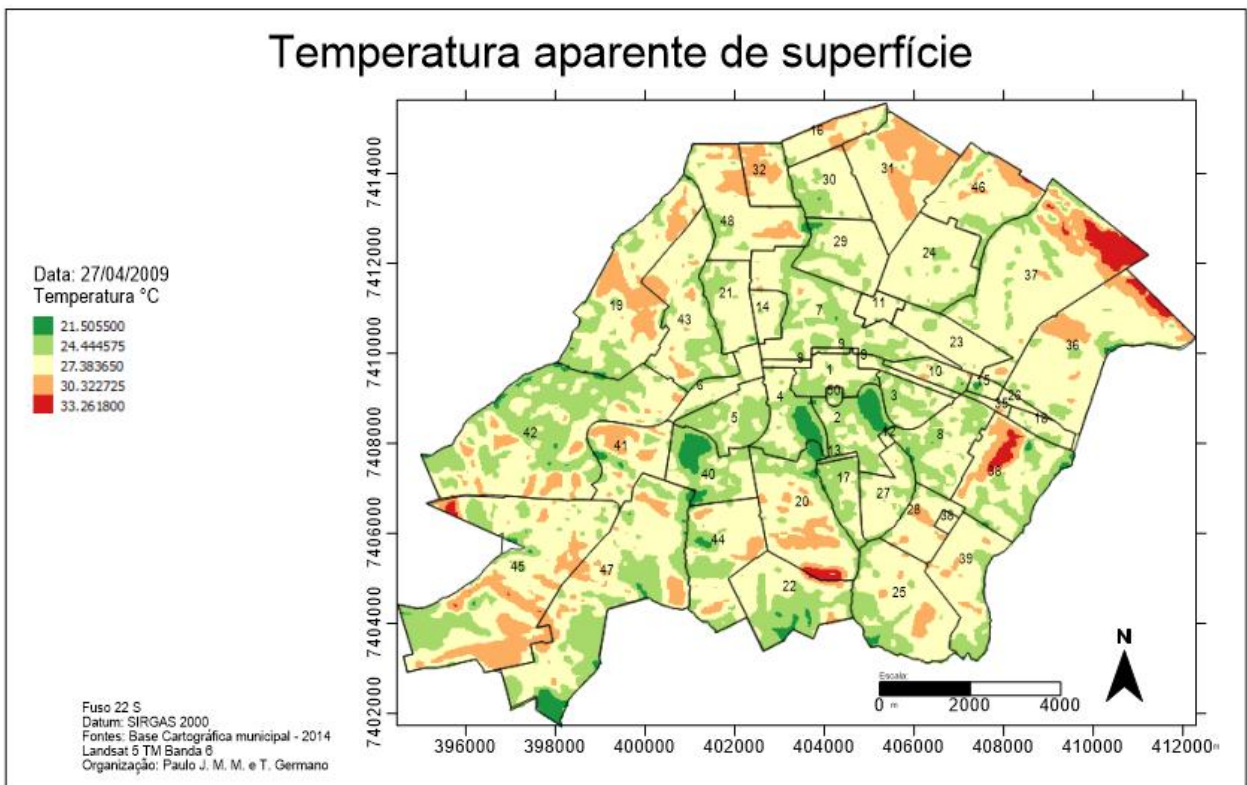




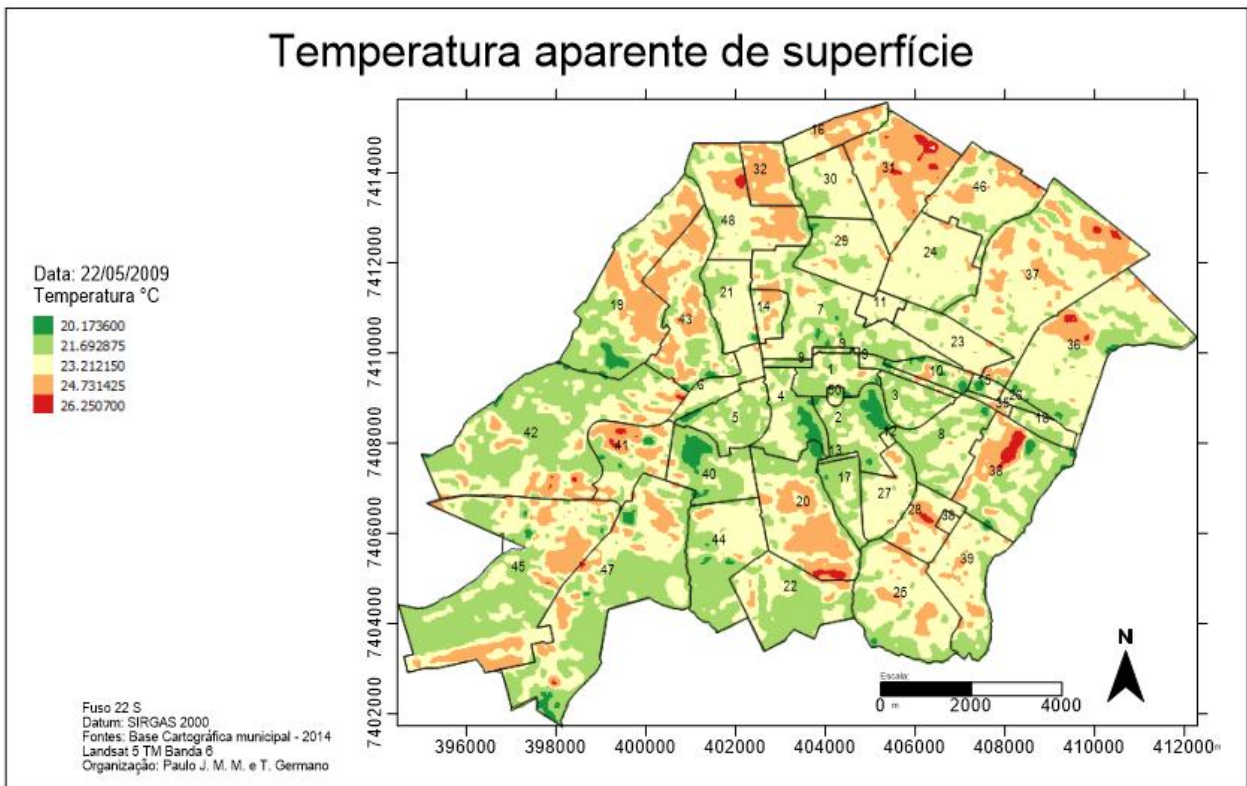
### Temperatura aparente de superfície



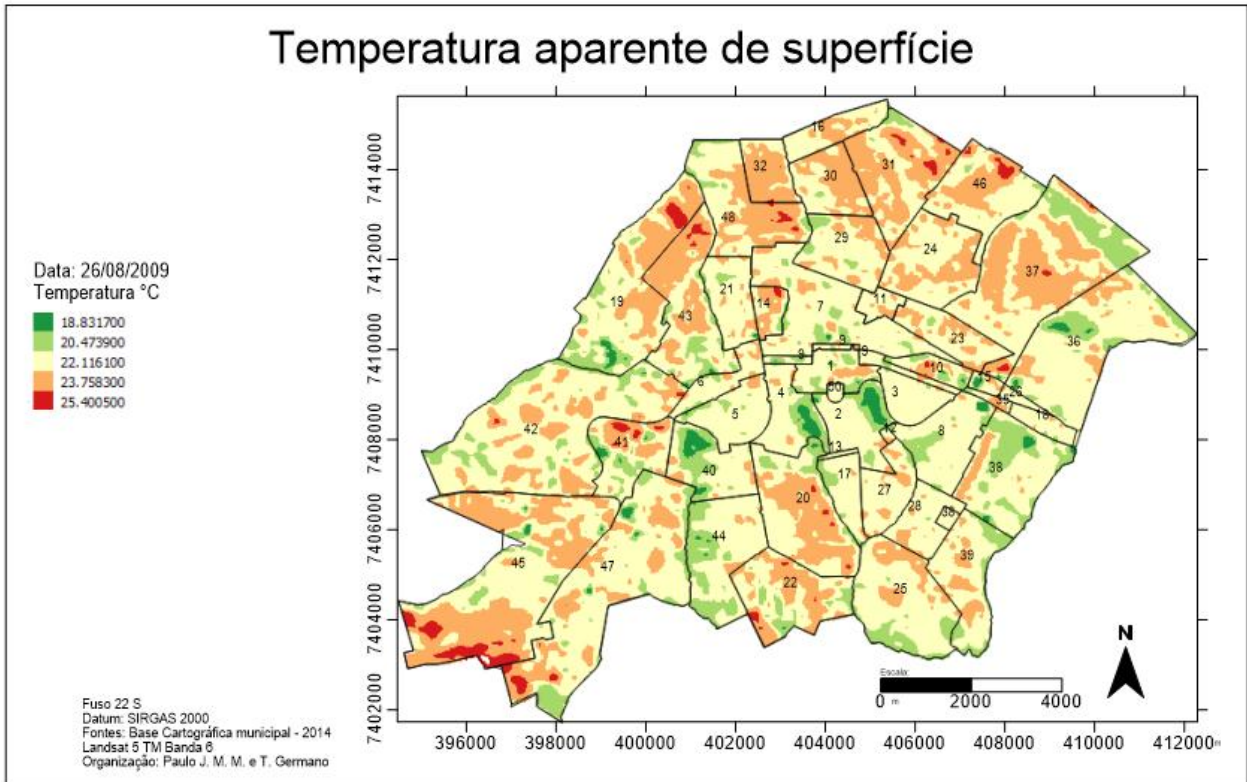
### Temperatura aparente de superfície

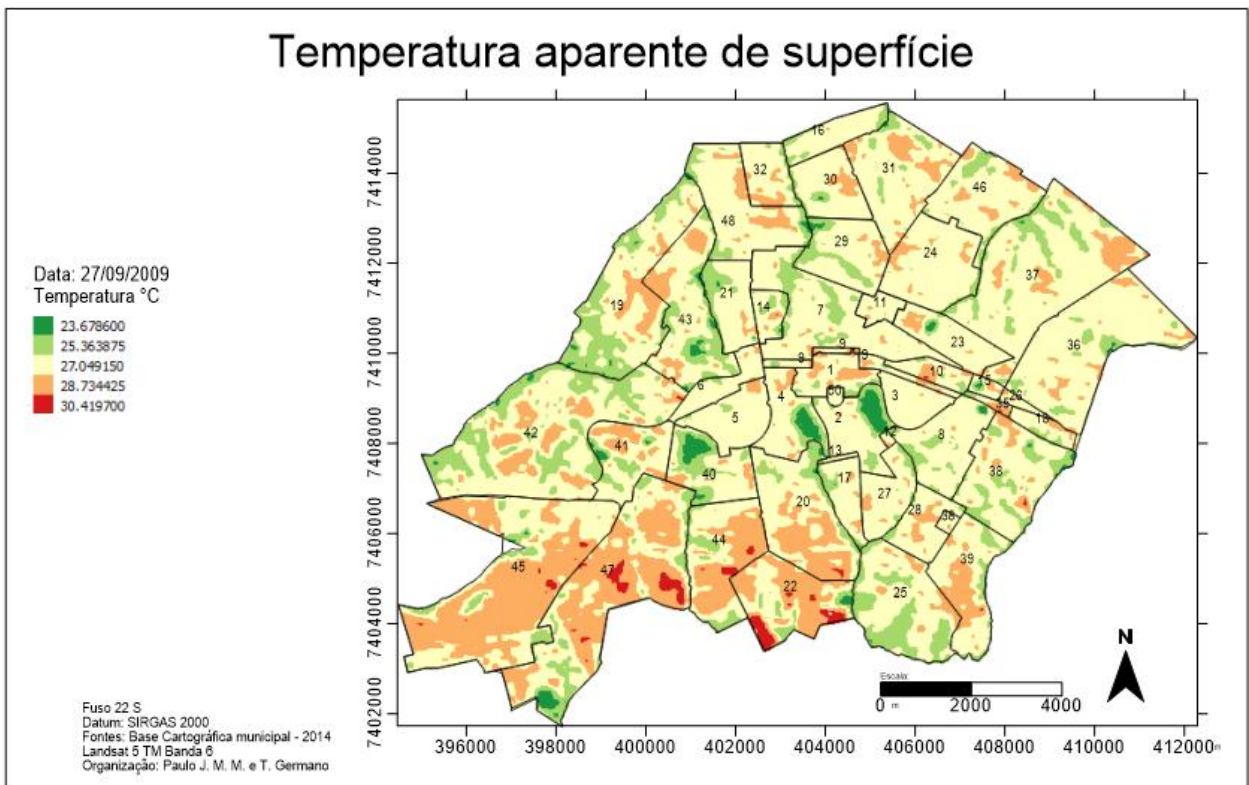
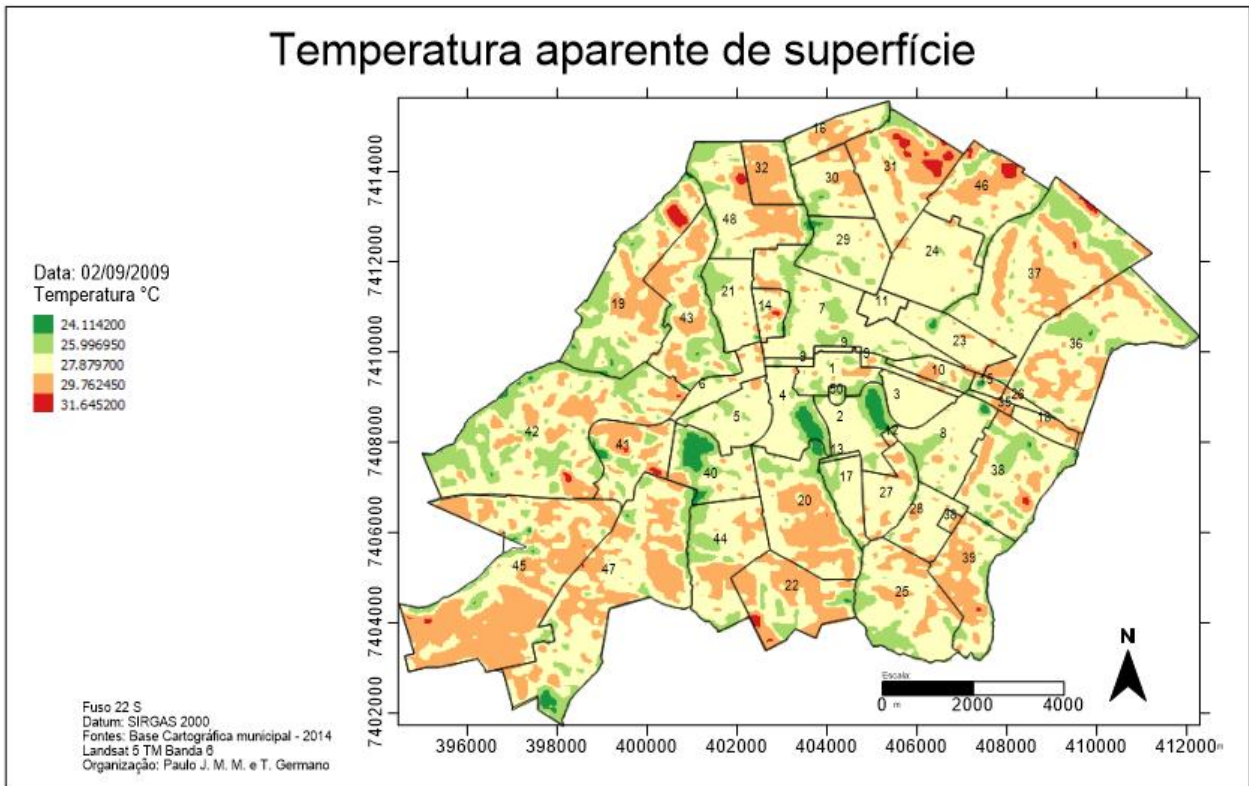


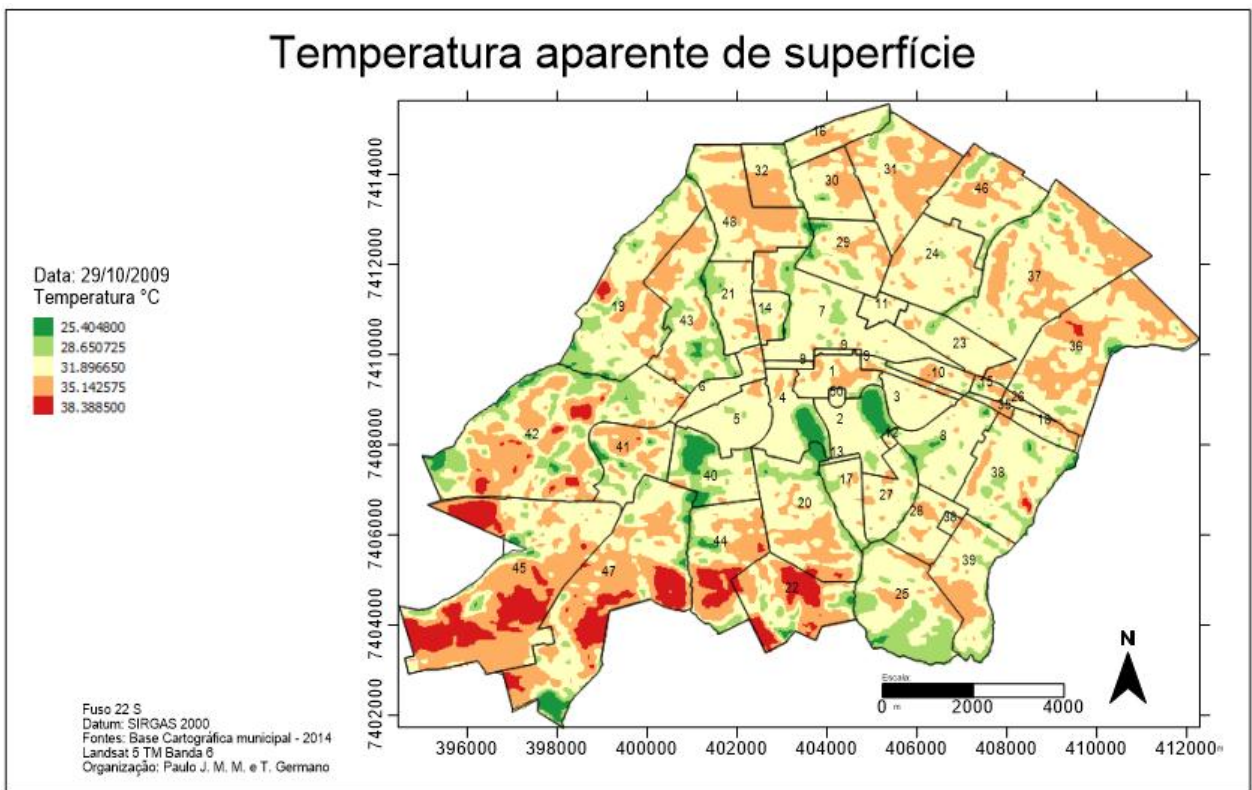
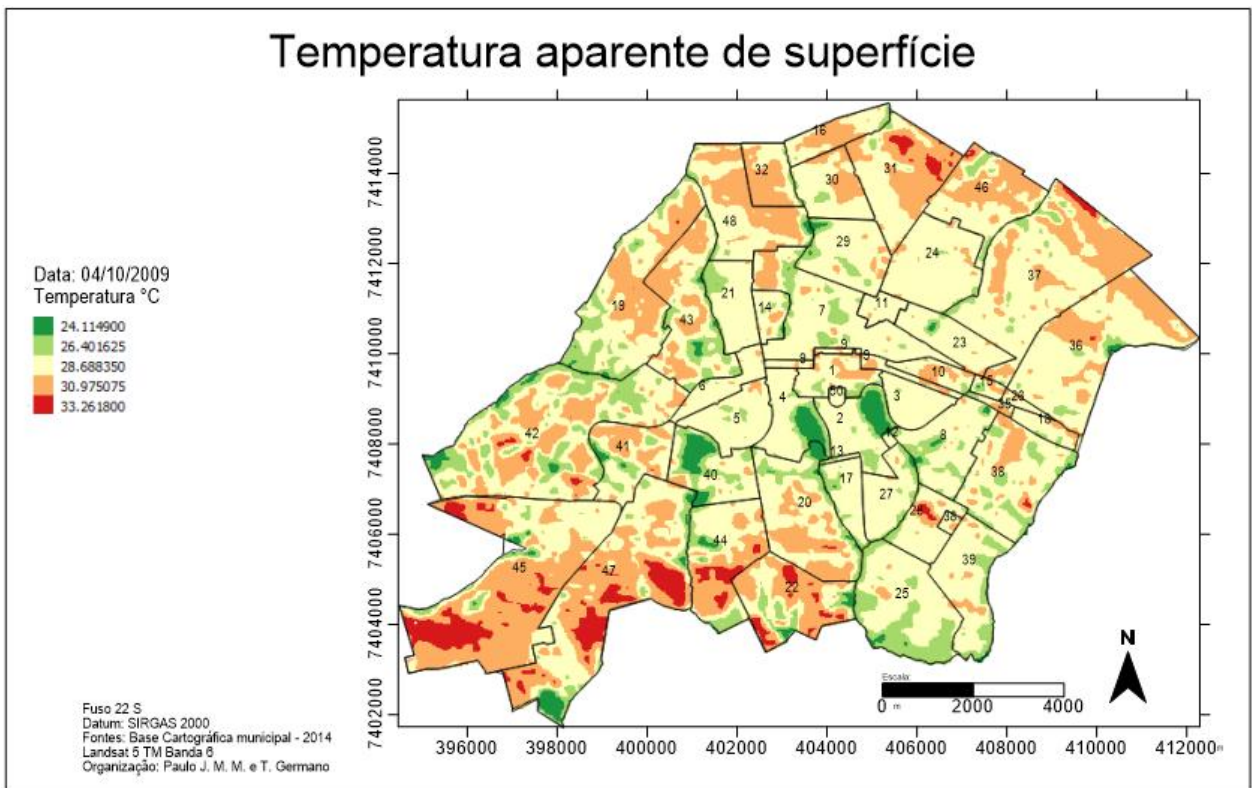
### Temperatura aparente de superfície



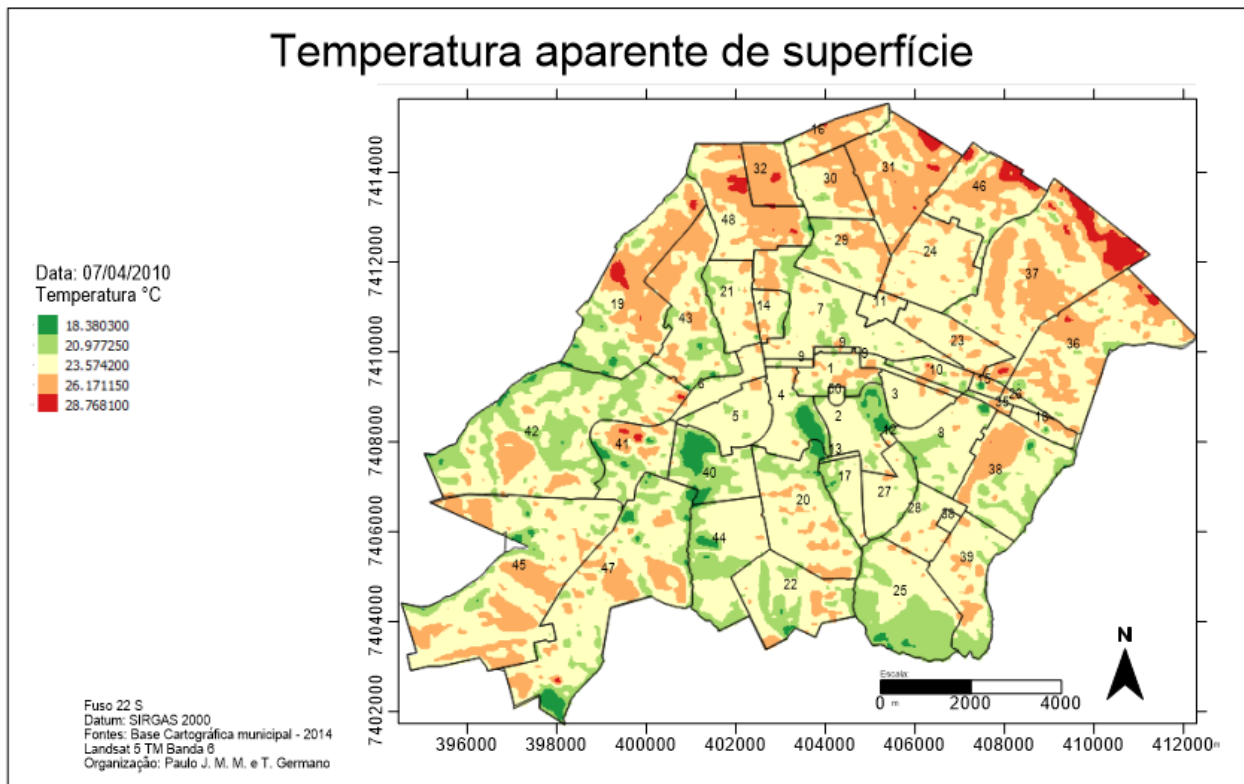
### Temperatura aparente de superfície



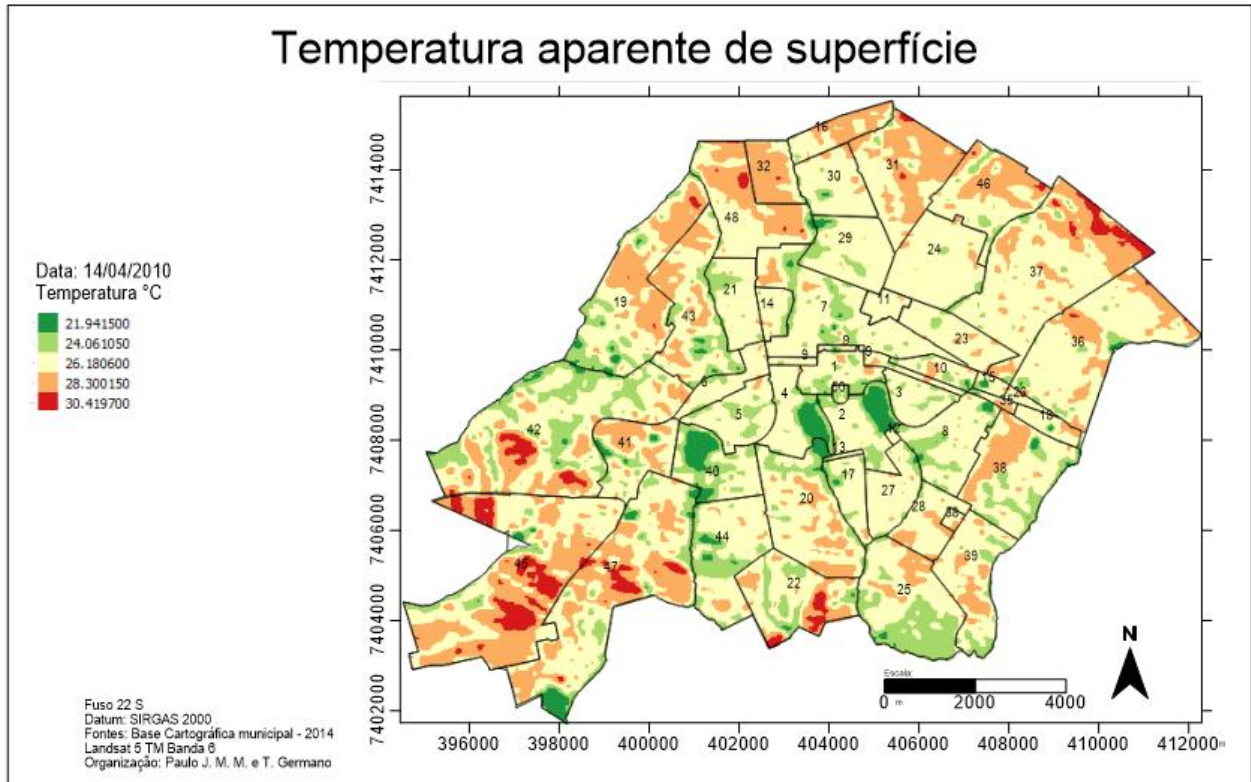




## Temperatura aparente de superfície

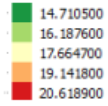


## Temperatura aparente de superfície

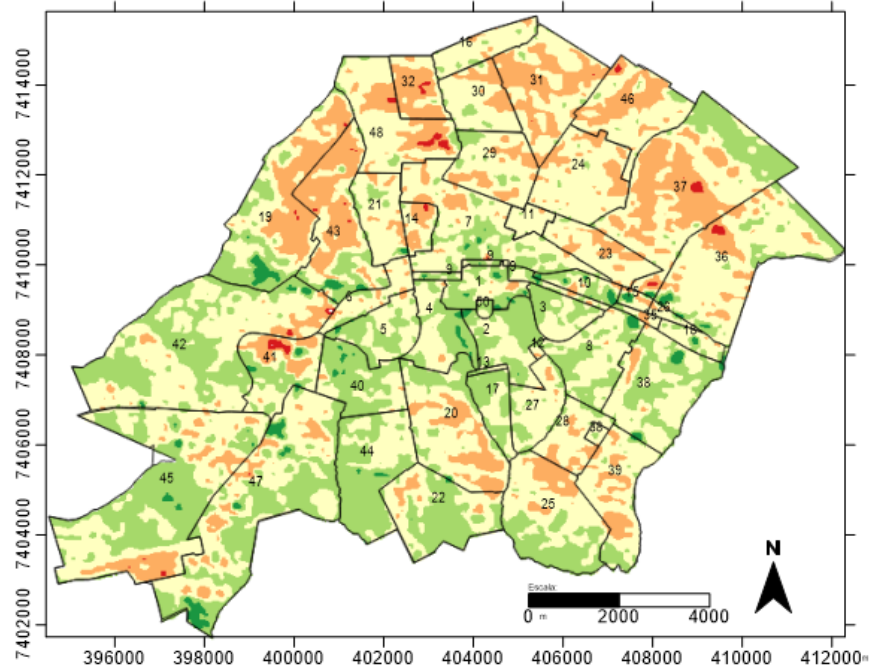


### Temperatura aparente de superfície

Data: 01/06/2010  
Temperatura °C

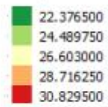


Fuso 22 S  
Datum: SIRGAS 2000  
Fontes: Base Cartográfica municipal - 2014  
Landsat 5 TM Banda 6  
Organização: Paulo J. M. M. e T. Germano

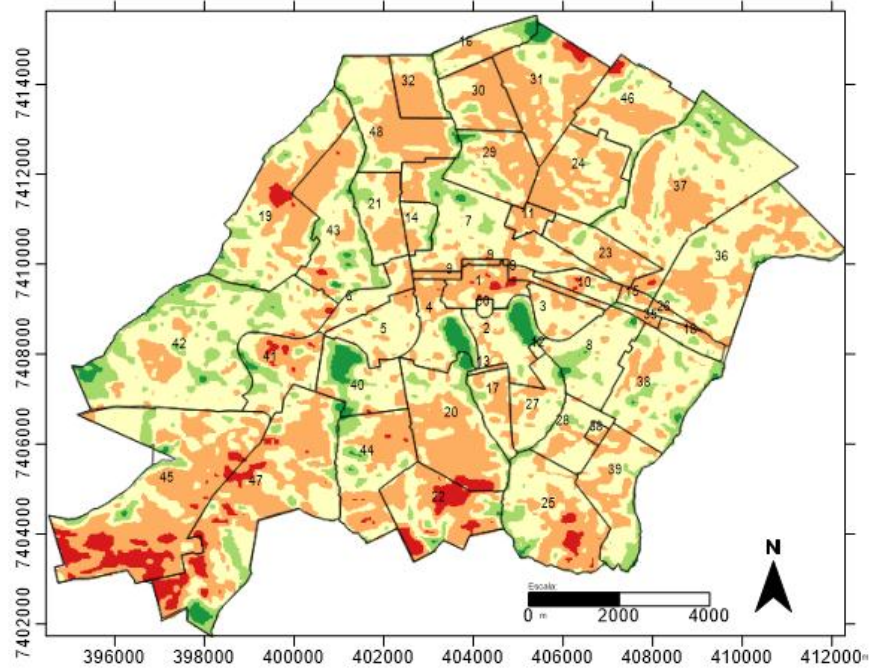


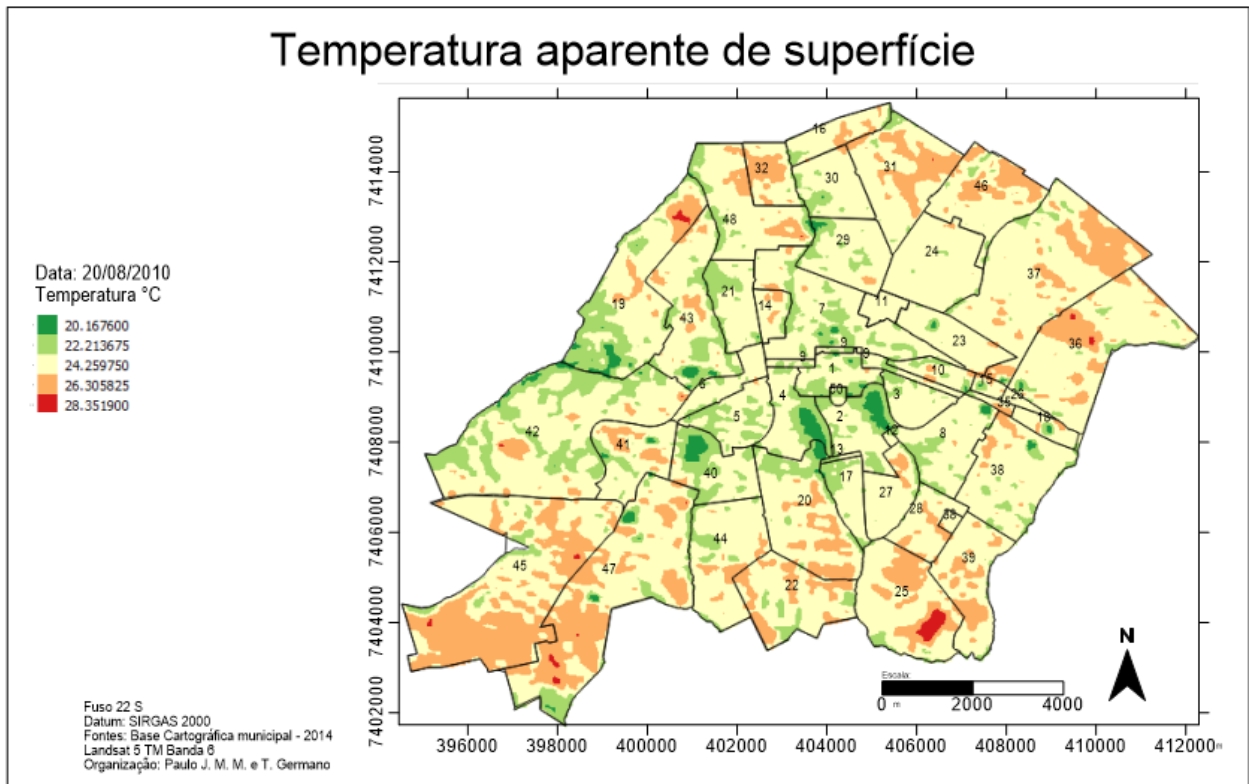
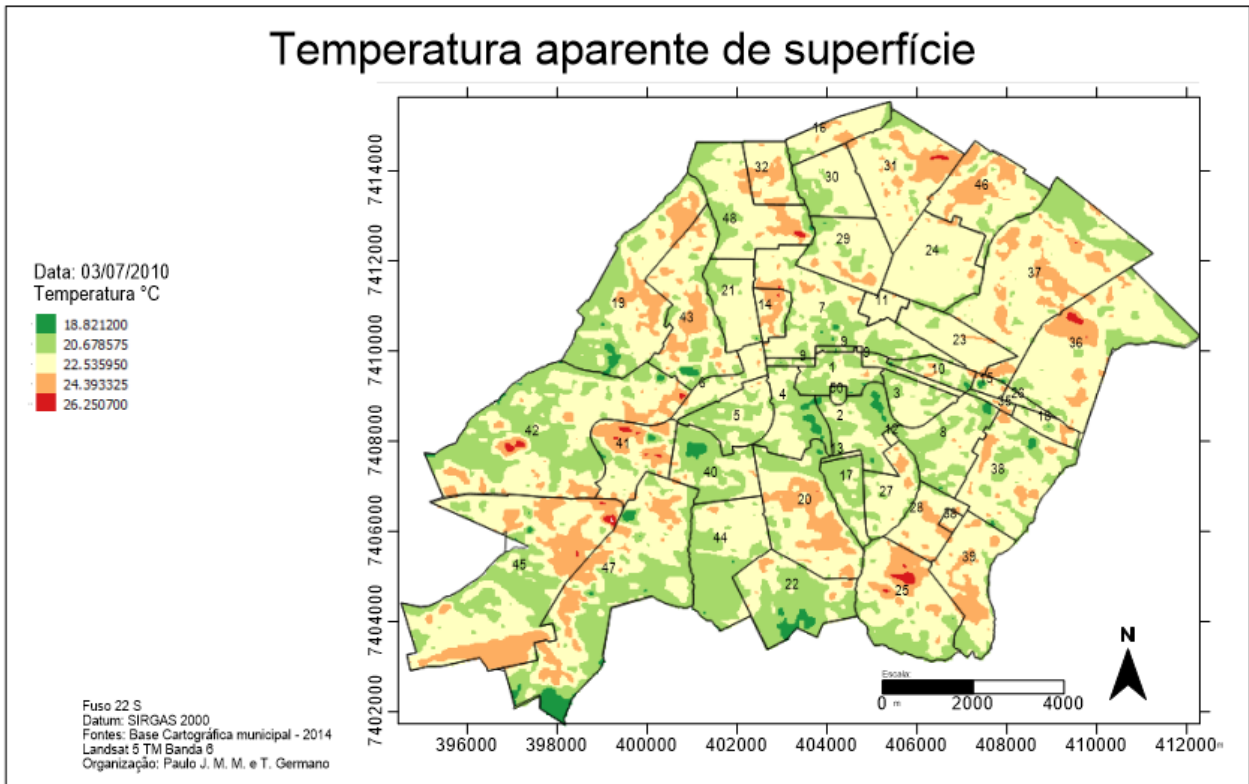
### Temperatura aparente de superfície

Data: 26/06/2010  
Temperatura °C

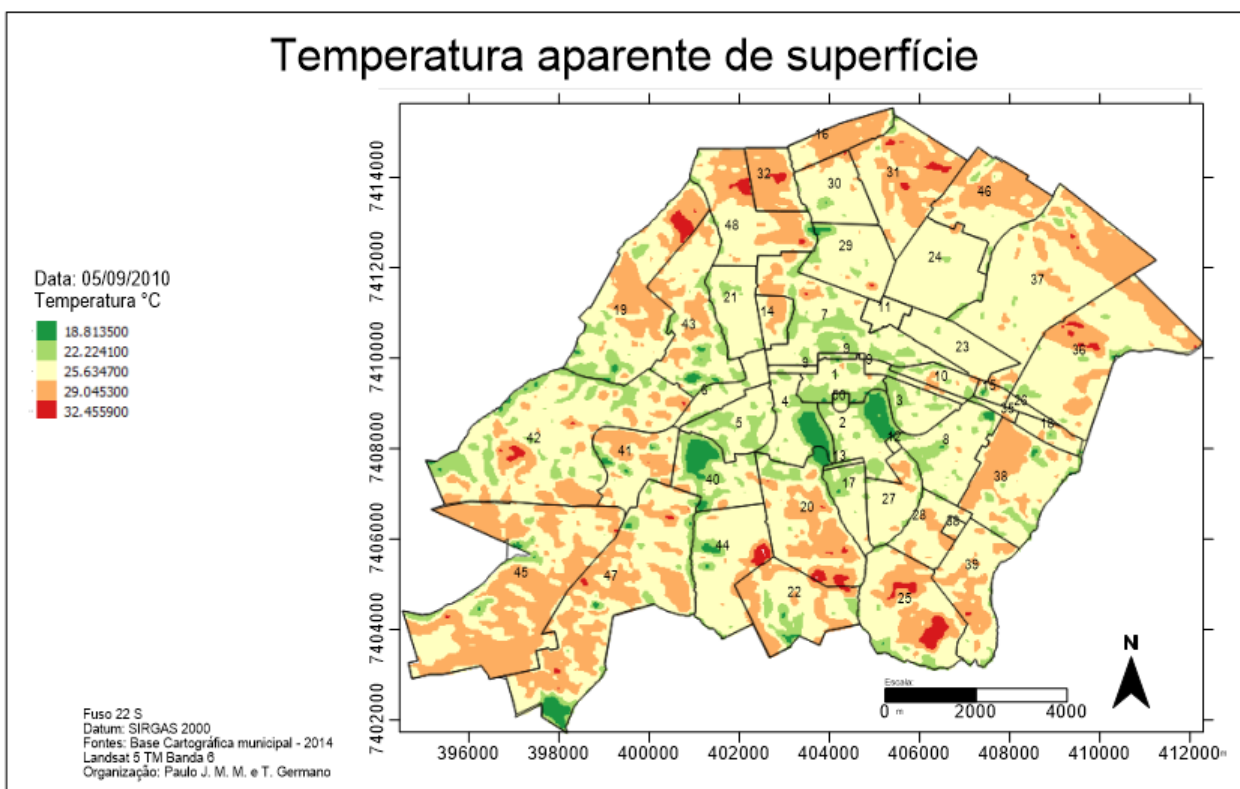
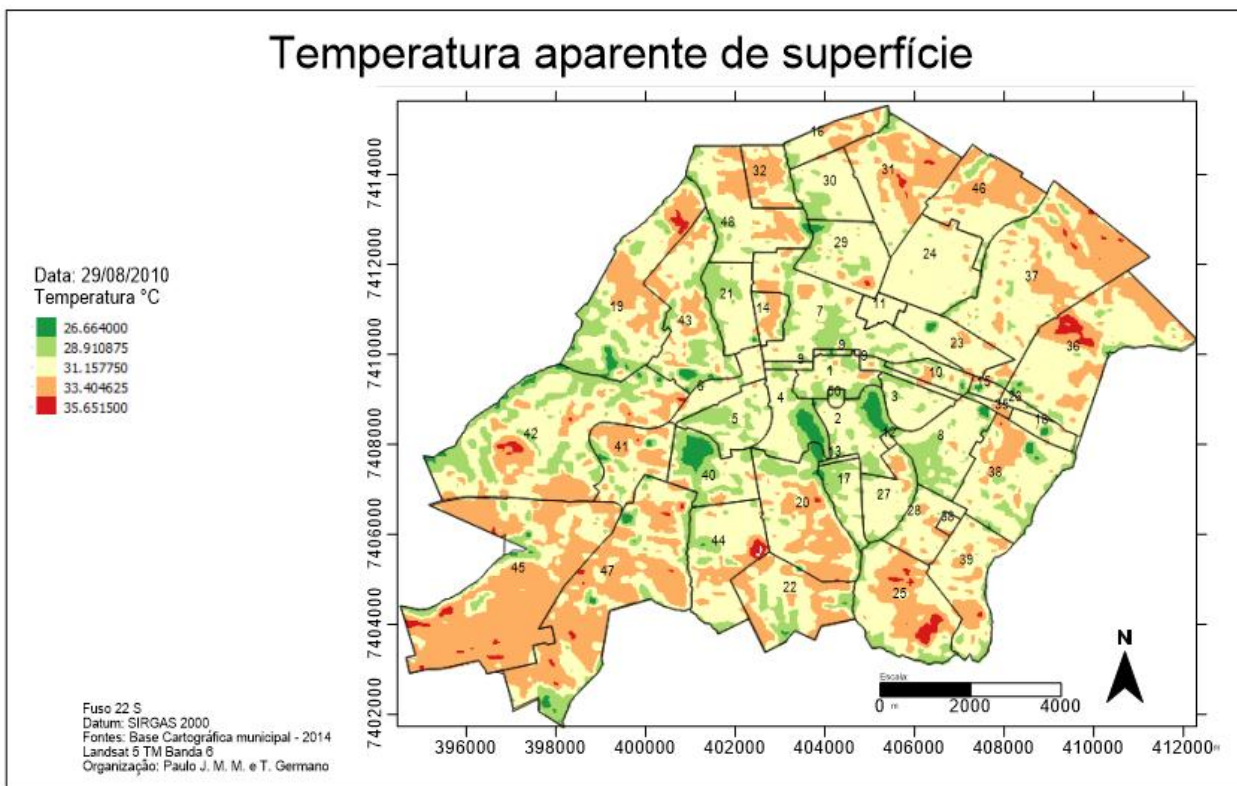


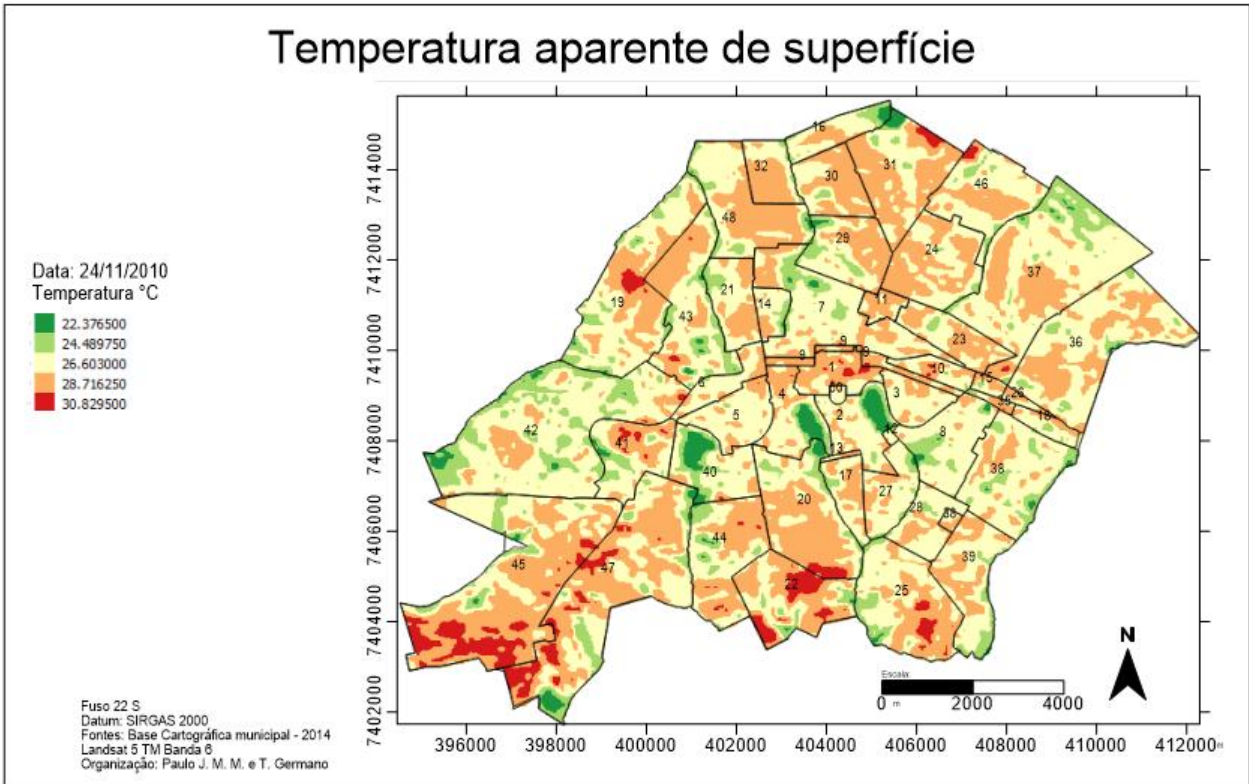
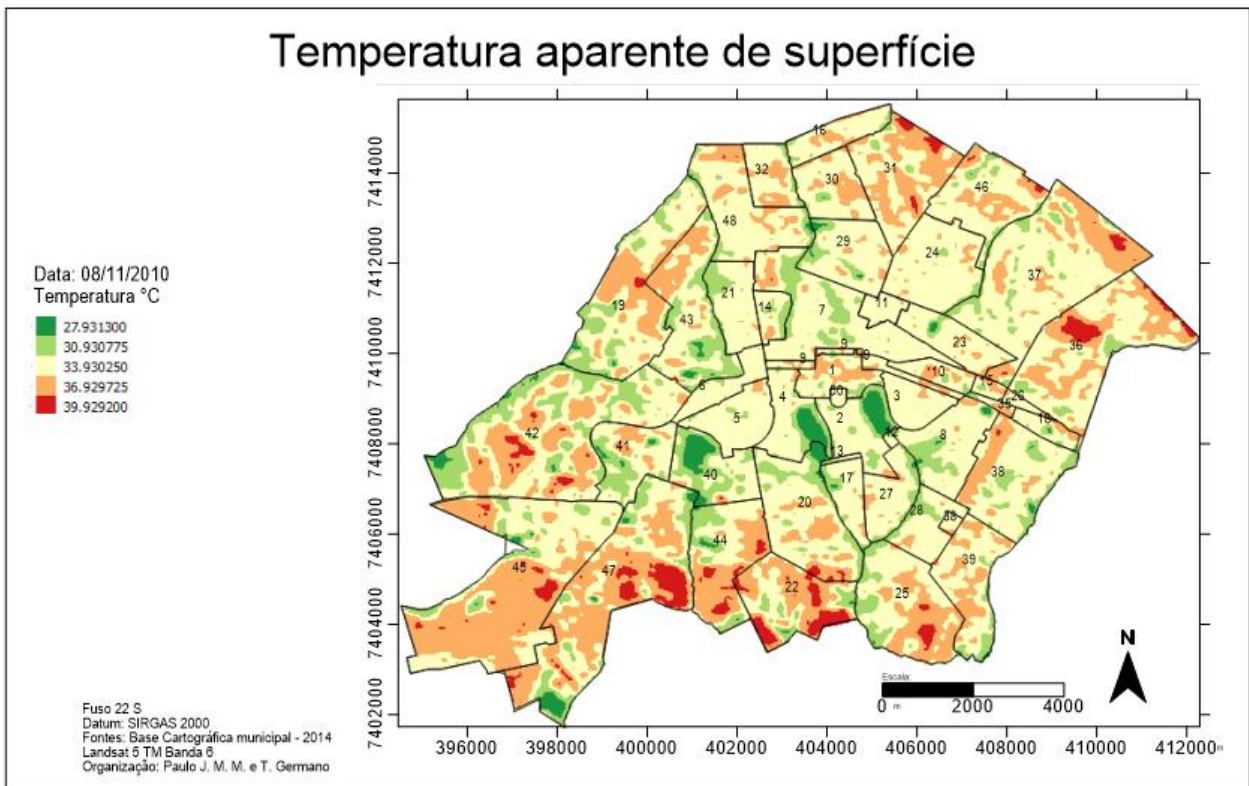
Fuso 22 S  
Datum: SIRGAS 2000  
Fontes: Base Cartográfica municipal - 2014  
Landsat 5 TM Banda 6  
Organização: Paulo J. M. M. e T. Germano



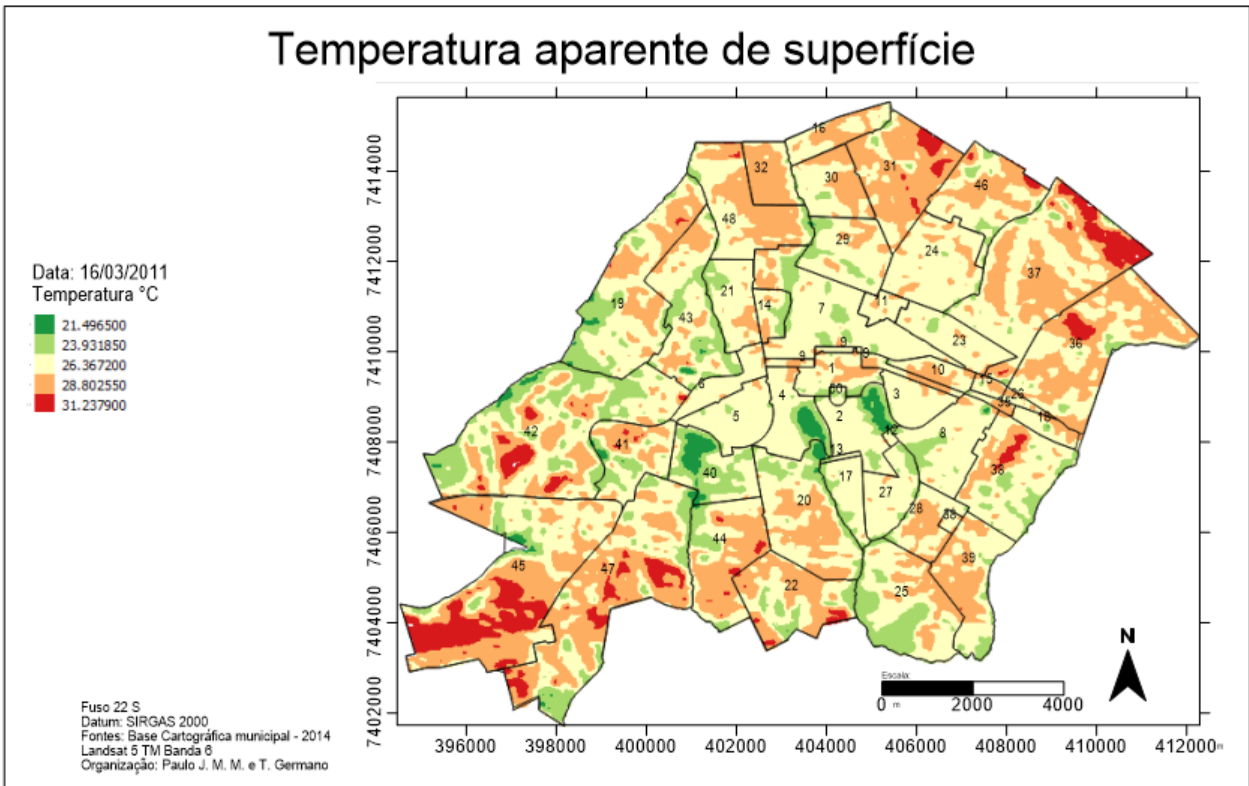




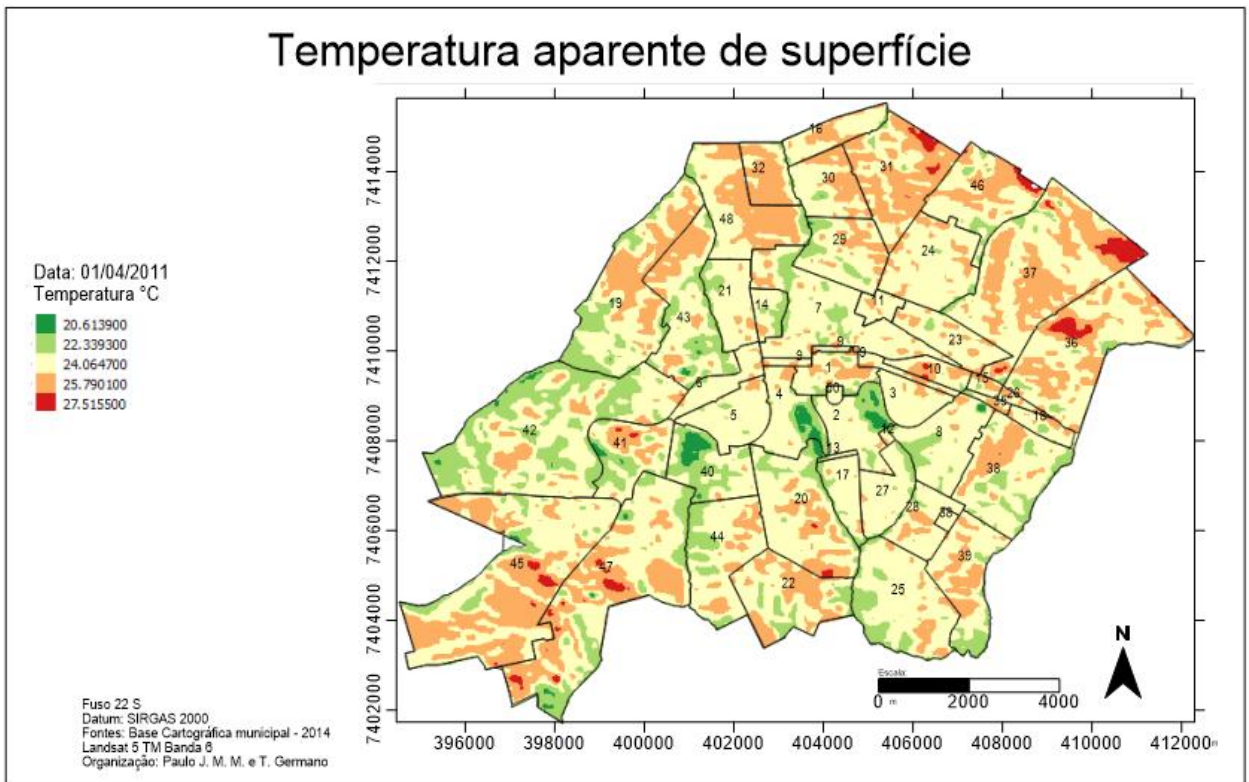


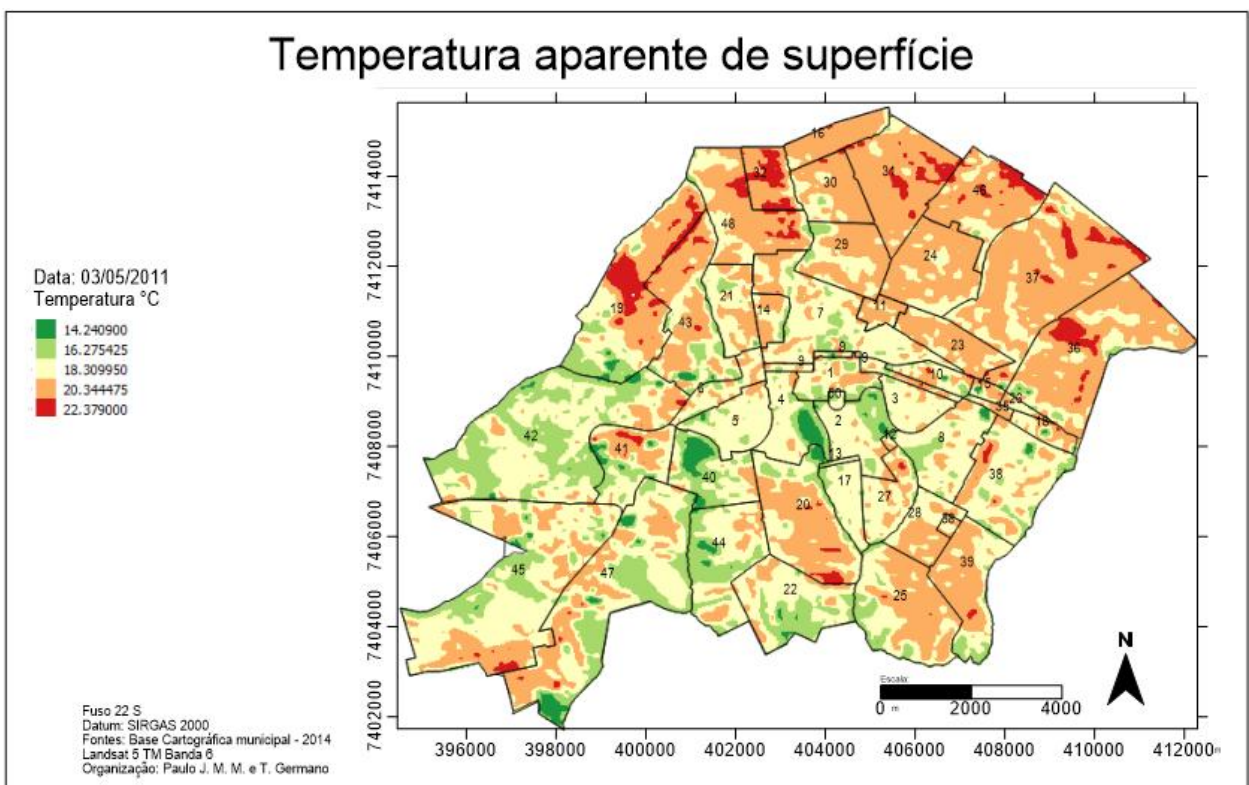
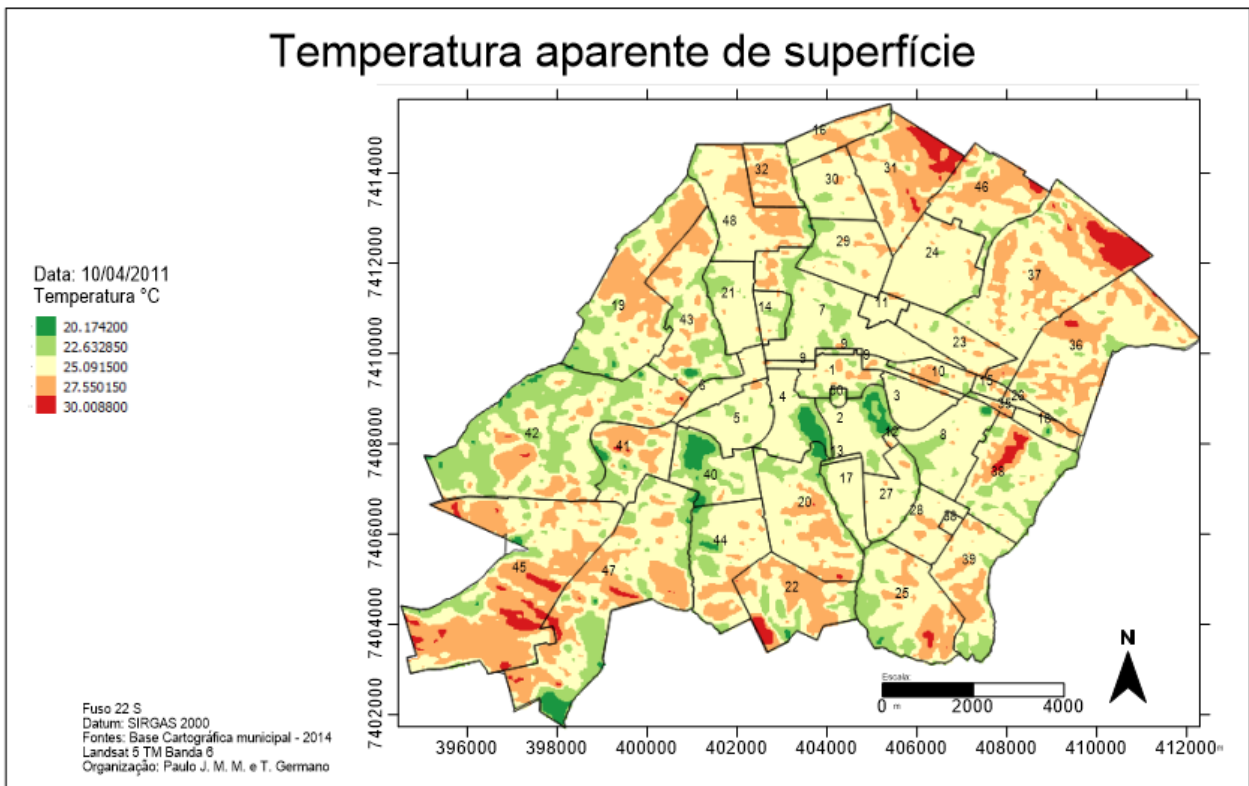


### Temperatura aparente de superfície



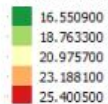
### Temperatura aparente de superfície



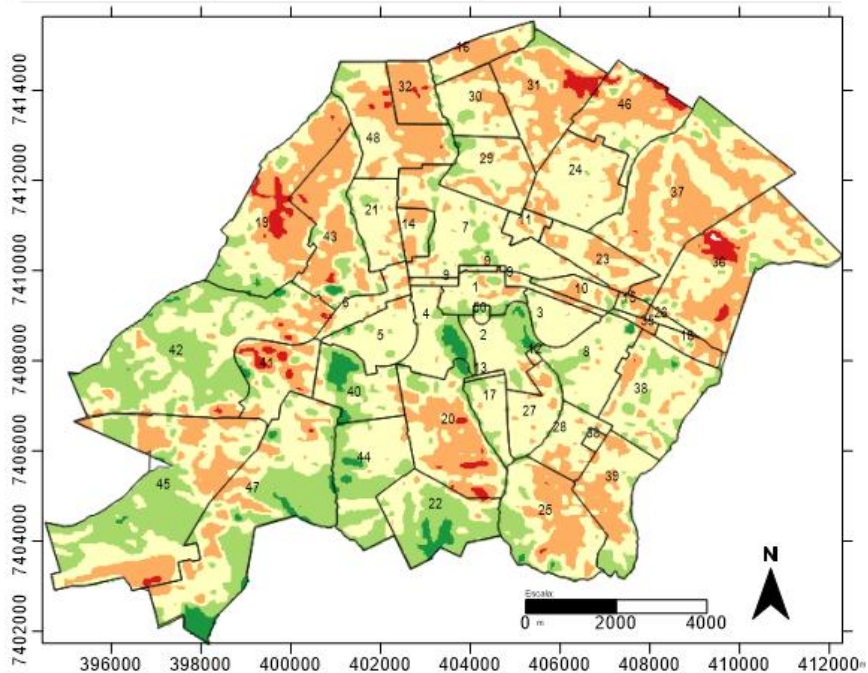


### Temperatura aparente de superfície

Data: 19/05/2011  
Temperatura °C

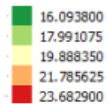


Fuso 22 S  
Datum: SIRGAS 2000  
Fontes: Base Cartográfica municipal - 2014  
Landsat 5 TM Banda 6  
Organização: Paulo J. M. M. e T. Germano

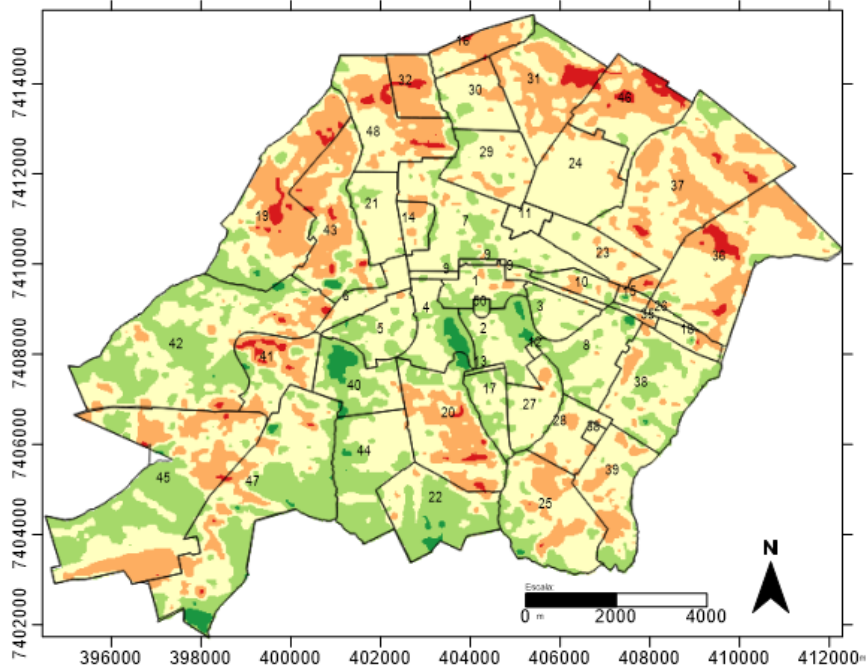


### Temperatura aparente de superfície

Data: 04/06/2011  
Temperatura °C

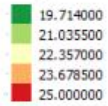


Fuso 22 S  
Datum: SIRGAS 2000  
Fontes: Base Cartográfica municipal - 2014  
Landsat 5 TM Banda 6  
Organização: Paulo J. M. M. e T. Germano

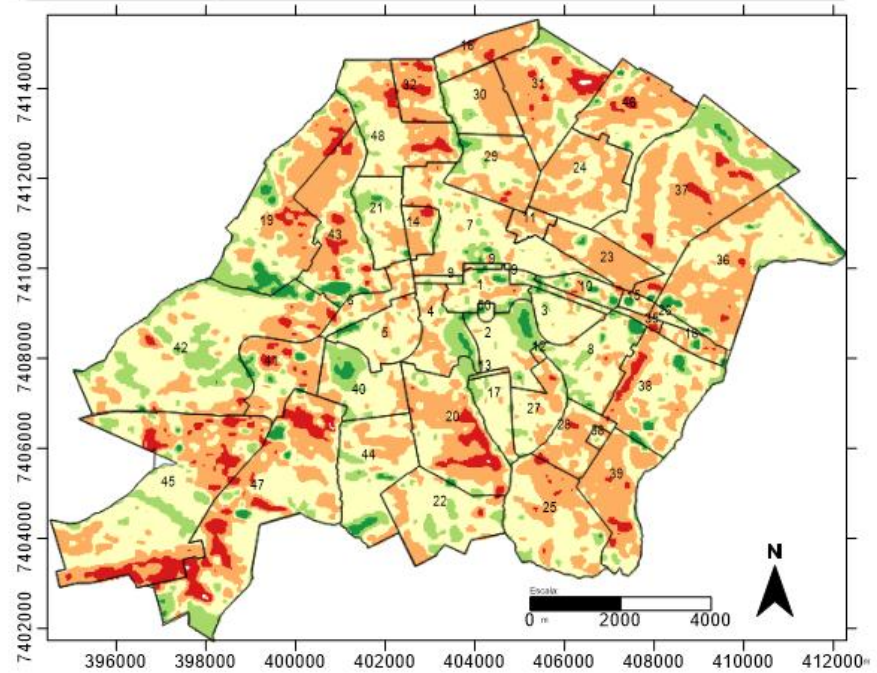


### Temperatura aparente de superfície

Data: 15/07/2011  
Temperatura °C



Fuso 22 S  
Datum: SIRGAS 2000  
Fontes: Base Cartográfica municipal - 2014  
Landsat 5 TM Banda 6  
Organização: Paulo J. M. M. e T. Germano

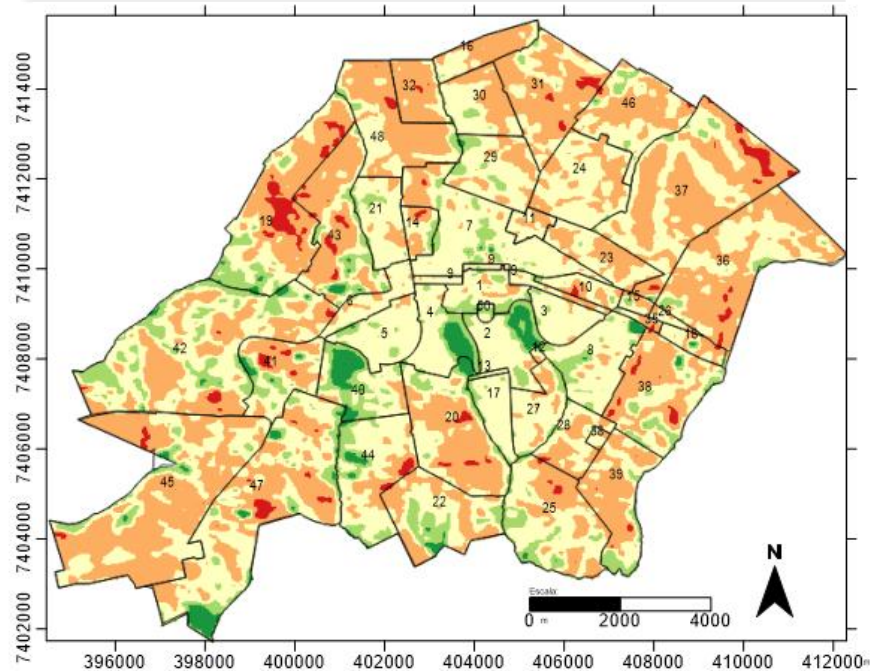


### Temperatura aparente de superfície

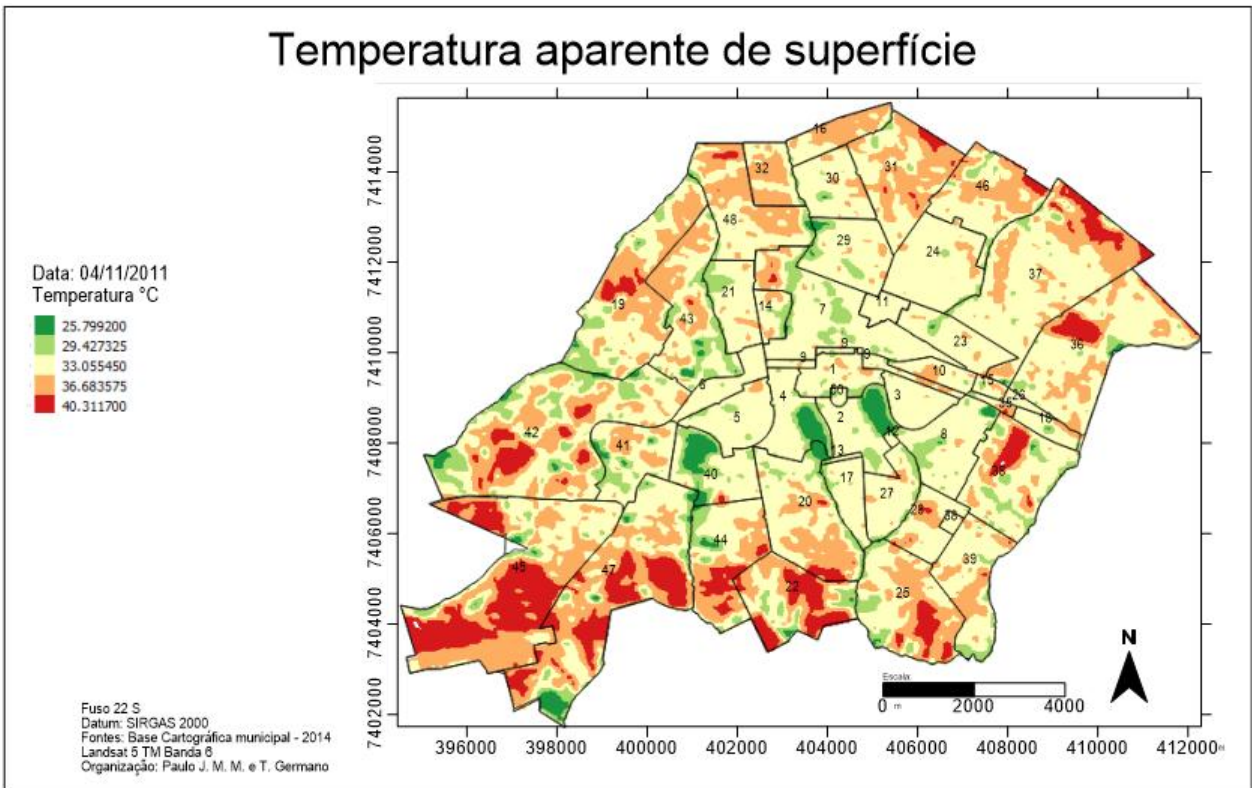
Data: 01/09/2011  
Temperatura °C



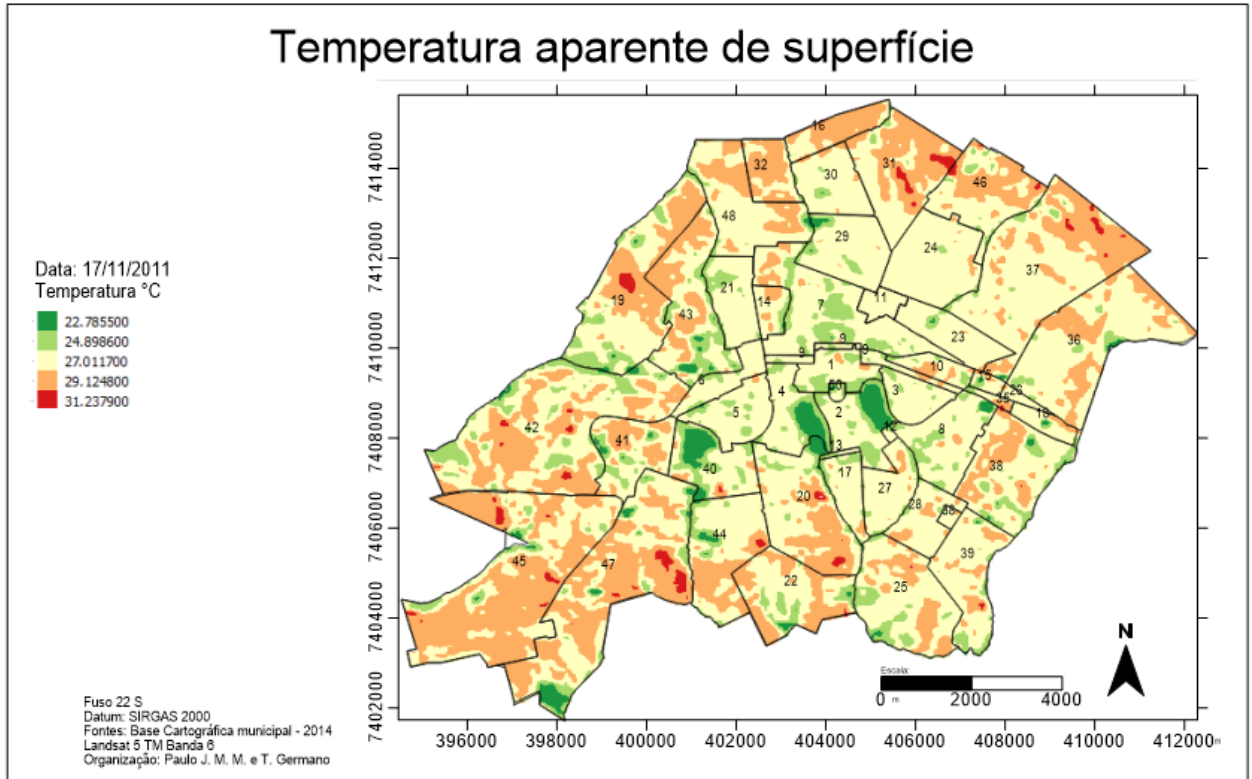
Fuso 22 S  
Datum: SIRGAS 2000  
Fontes: Base Cartográfica municipal - 2014  
Landsat 5 TM Banda 6  
Organização: Paulo J. M. M. e T. Germano



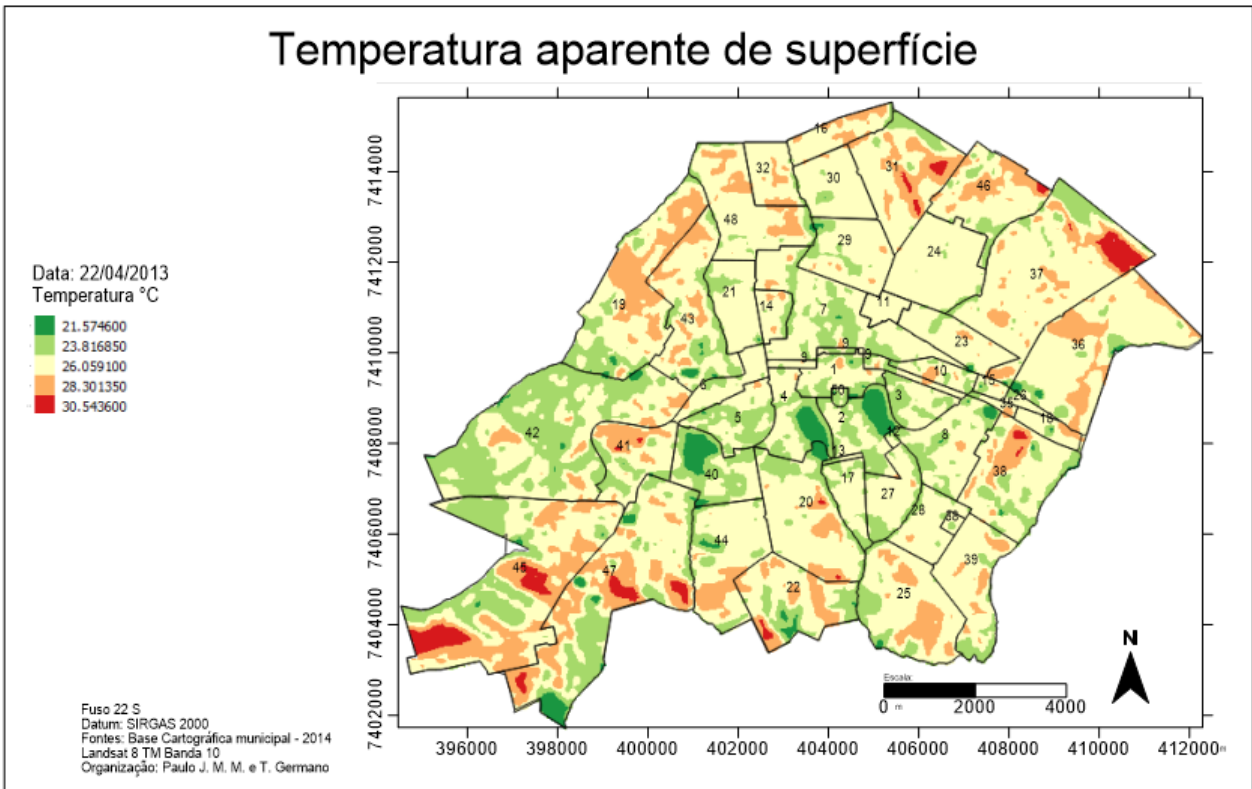
### Temperatura aparente de superfície



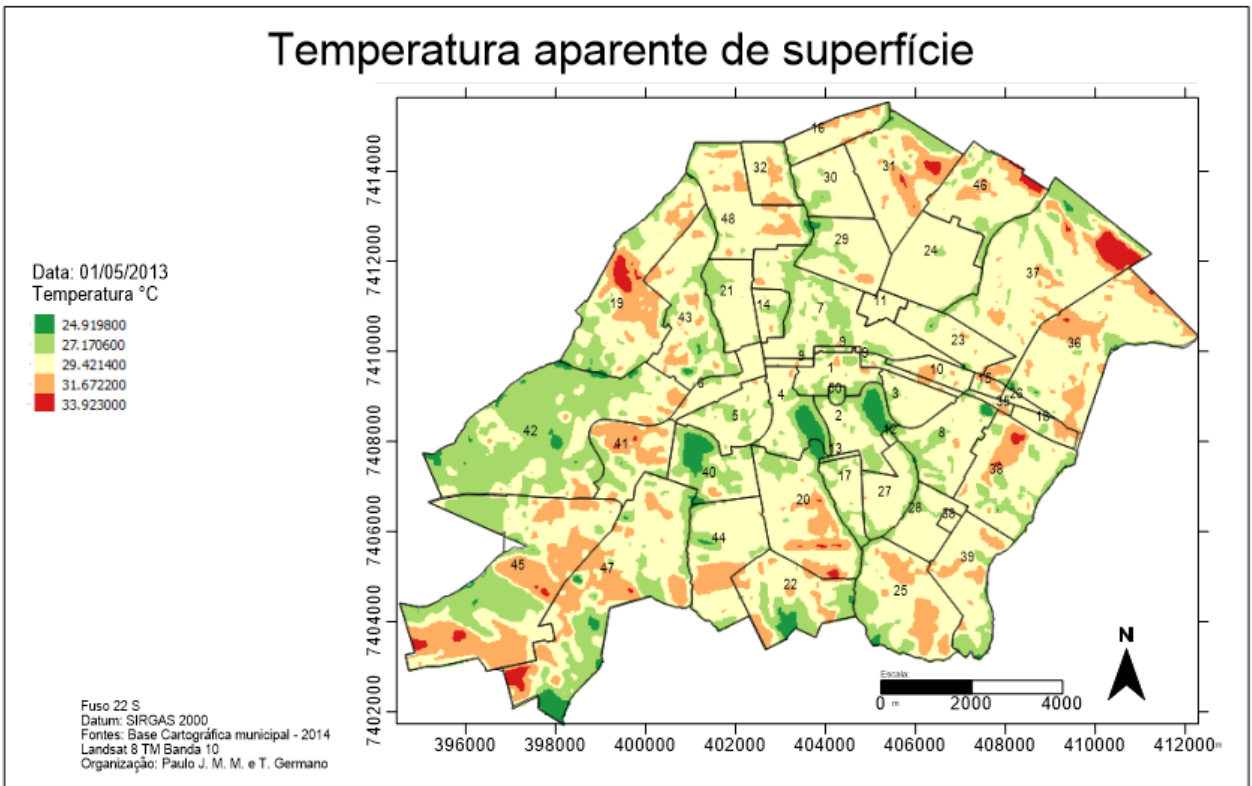
### Temperatura aparente de superfície



### Temperatura aparente de superfície

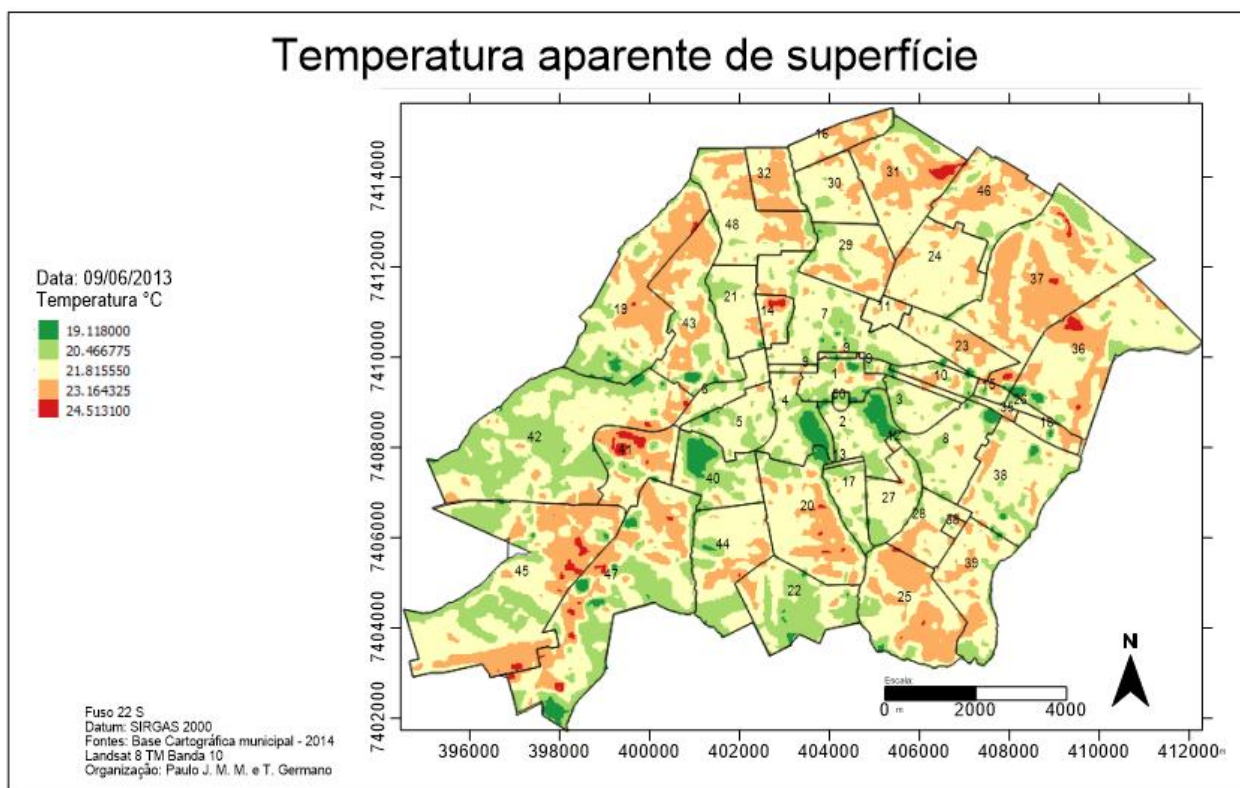


### Temperatura aparente de superfície

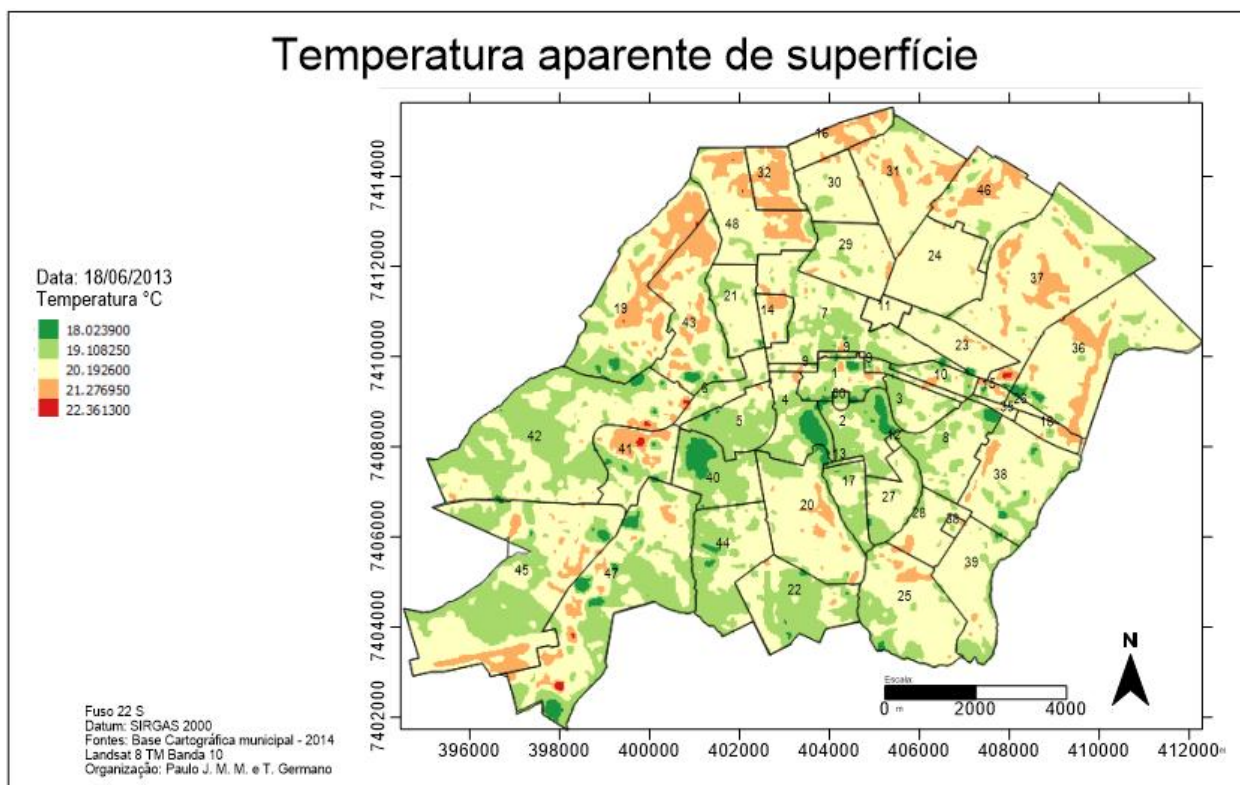


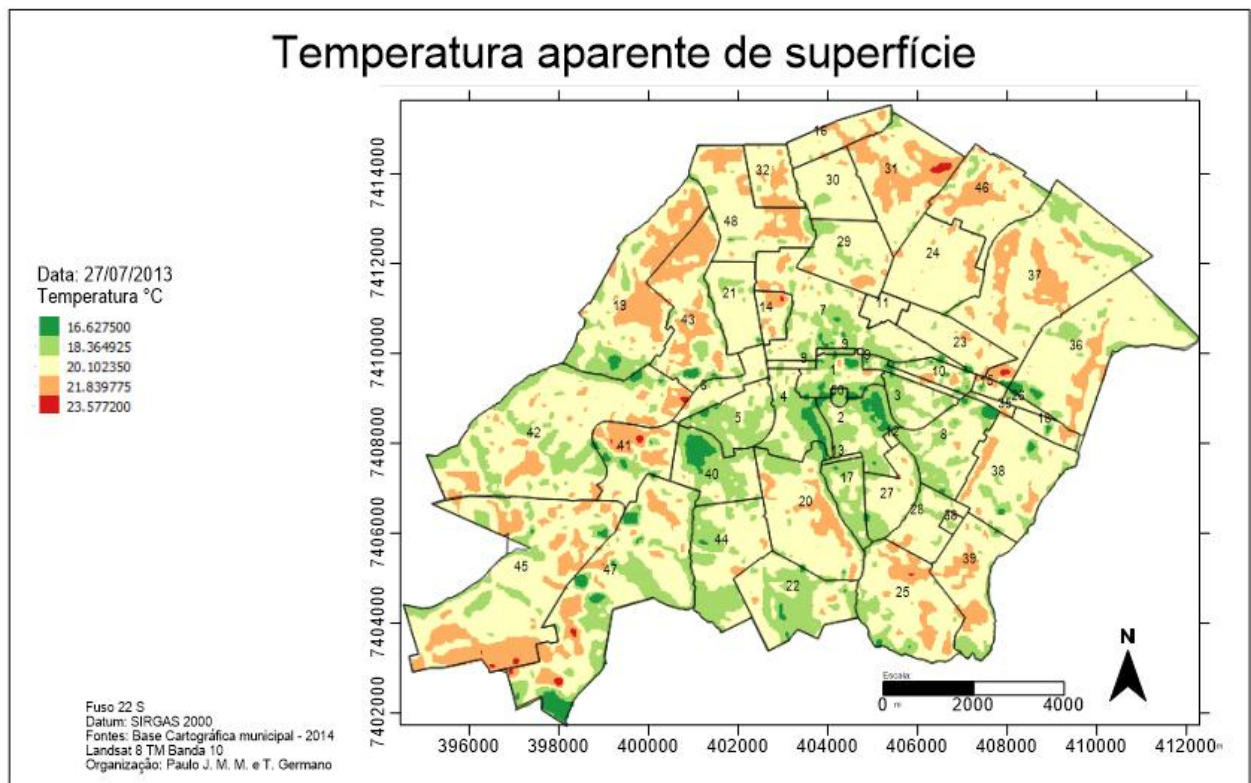
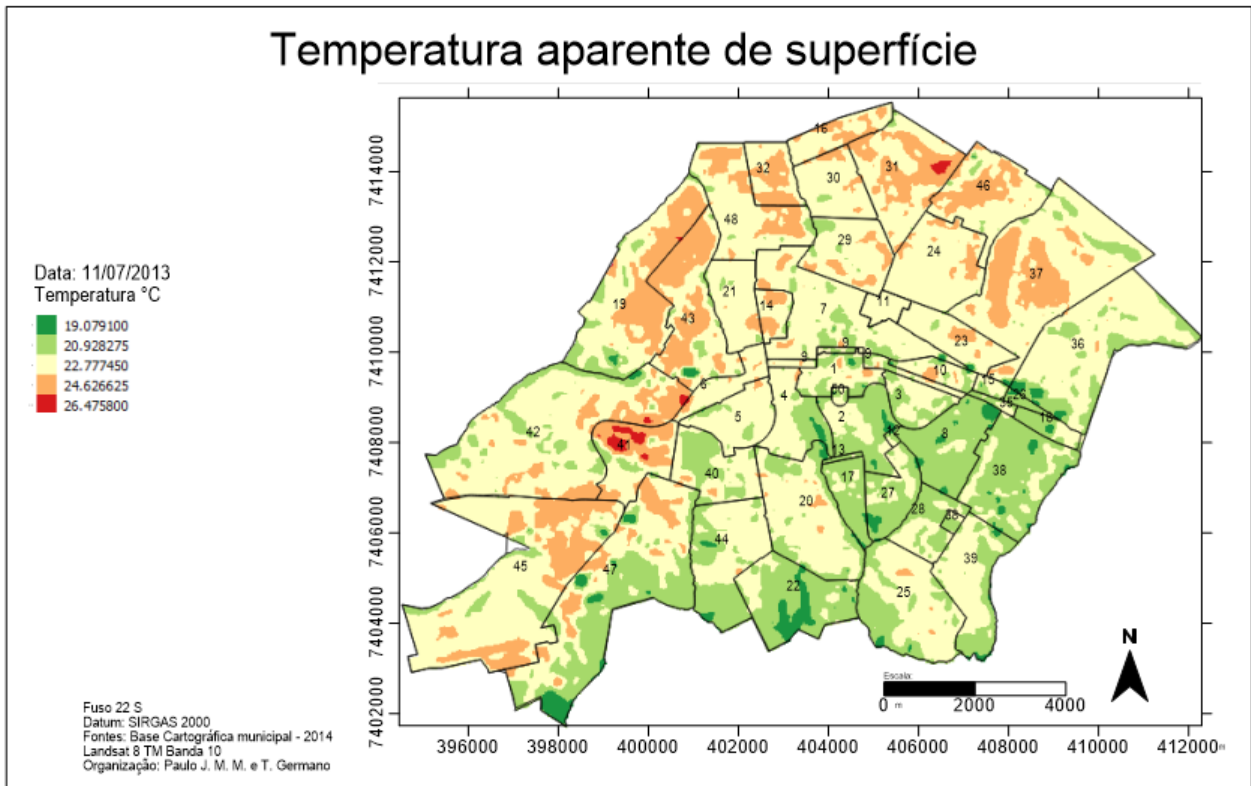


## Temperatura aparente de superfície

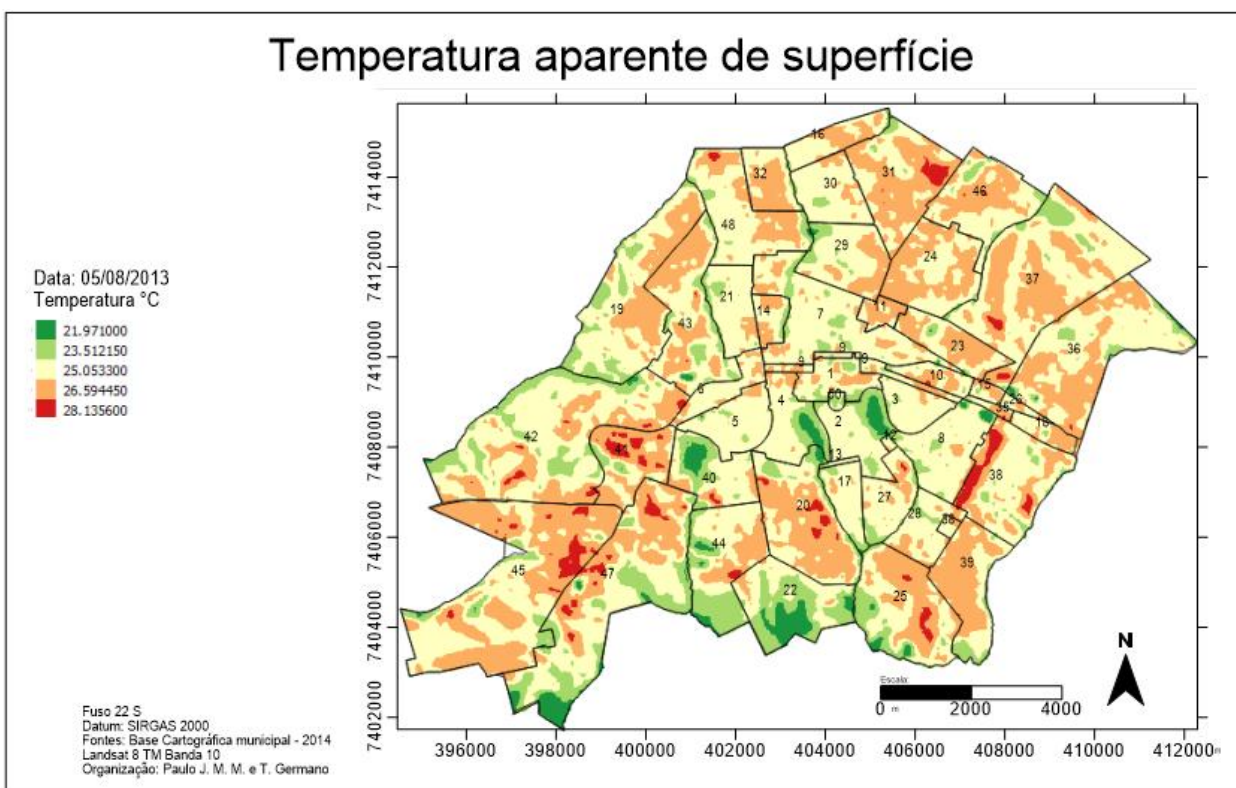


## Temperatura aparente de superfície

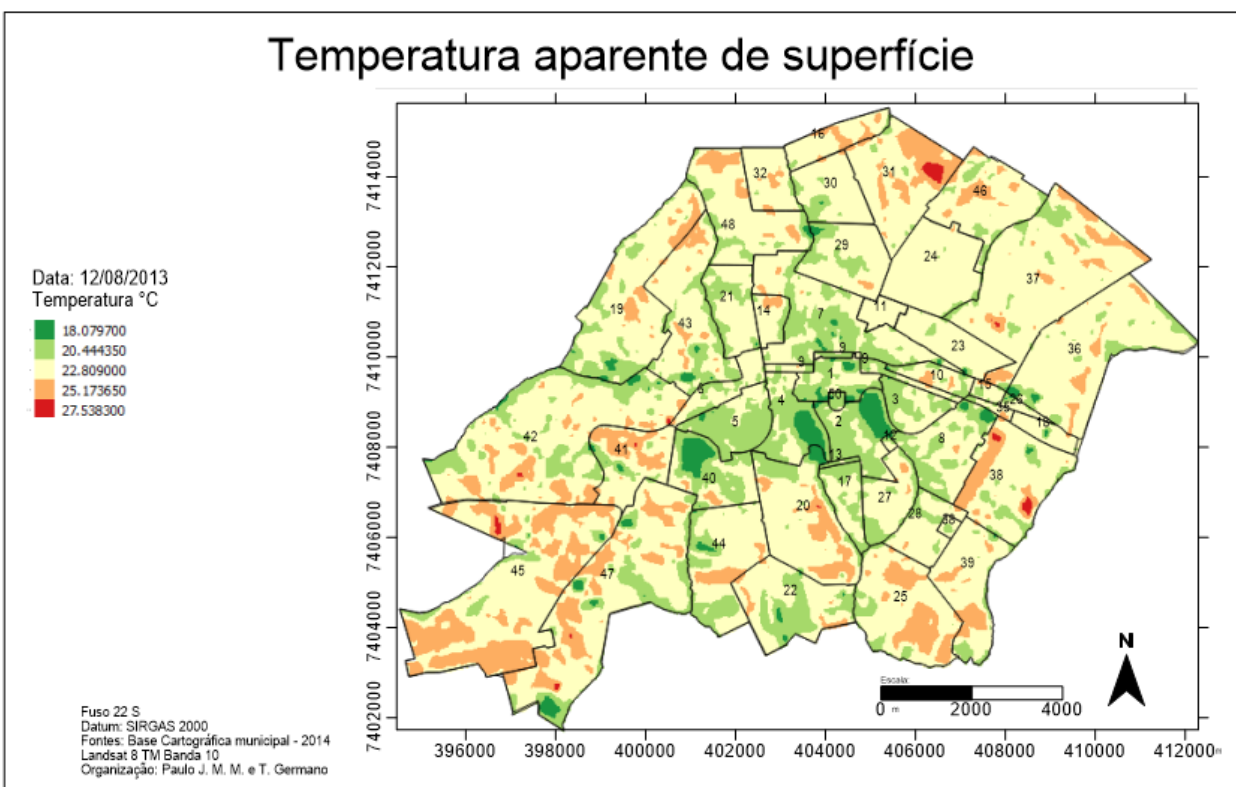




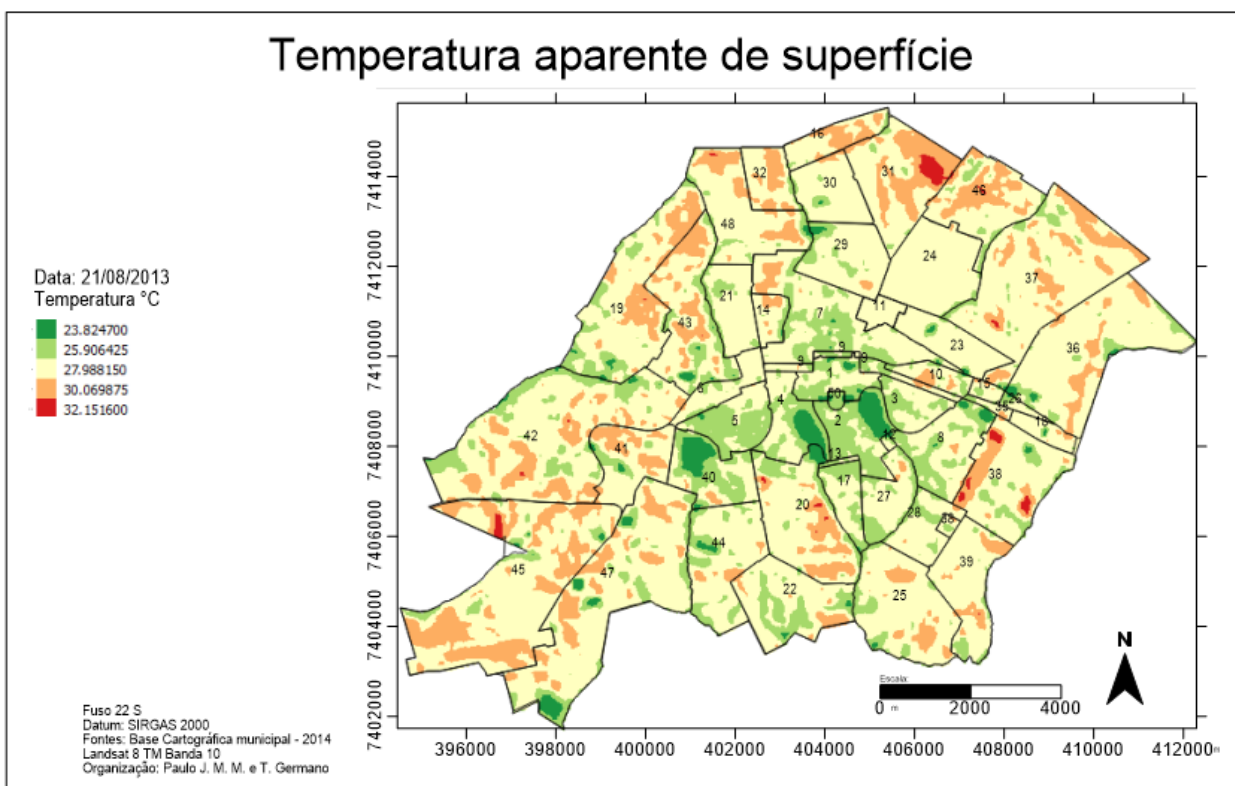
## Temperatura aparente de superfície



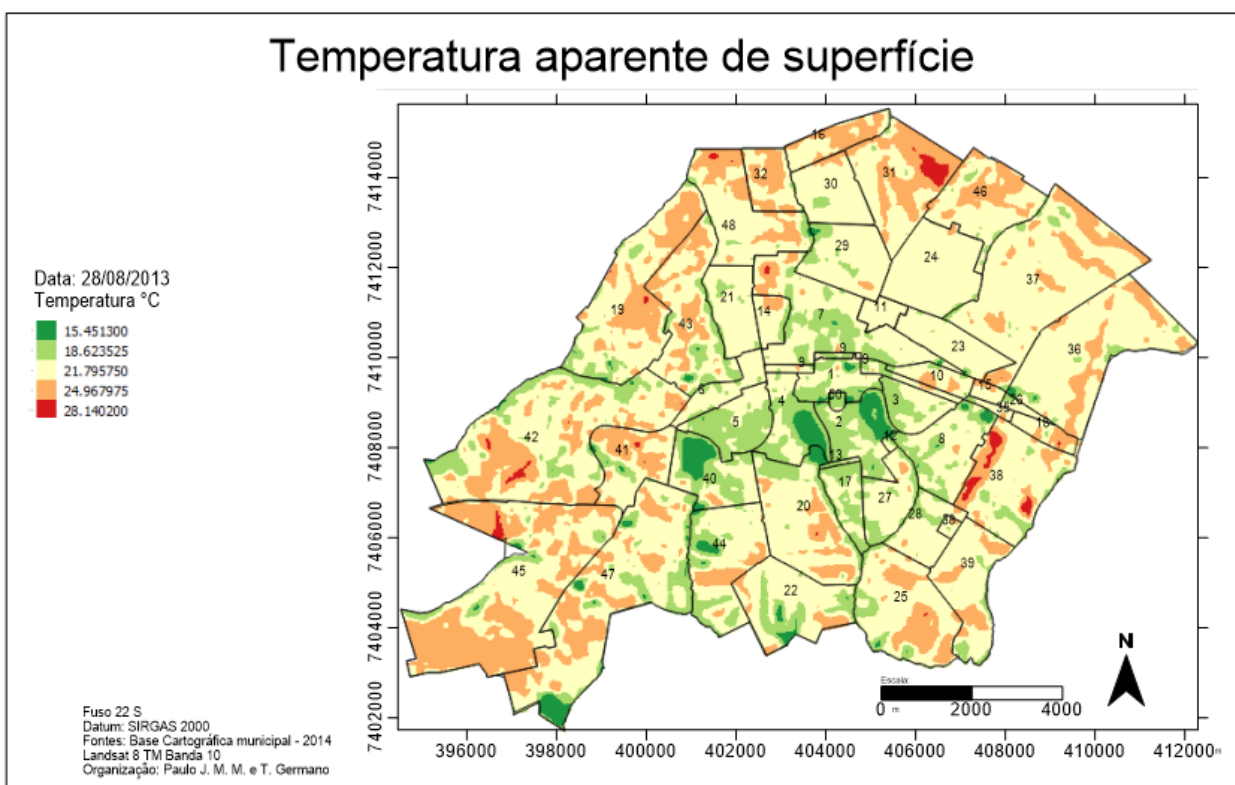
## Temperatura aparente de superfície



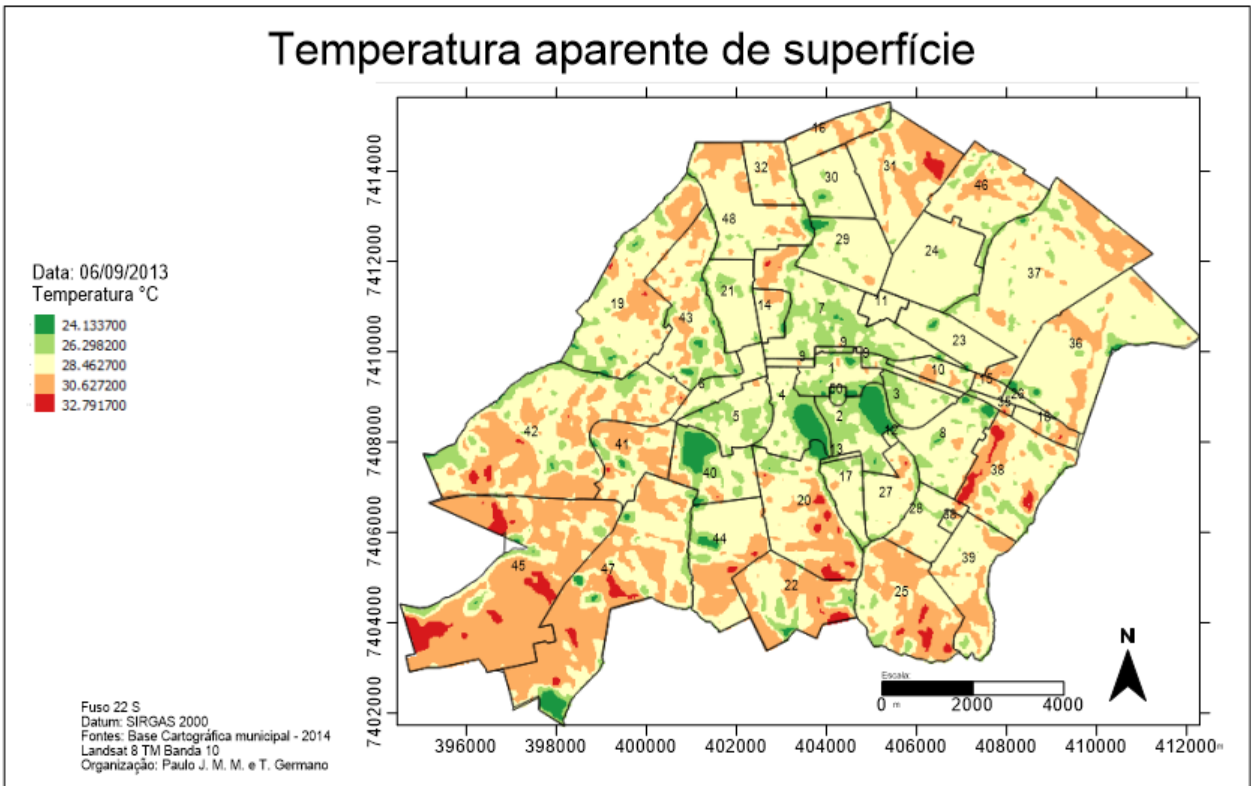
## Temperatura aparente de superfície



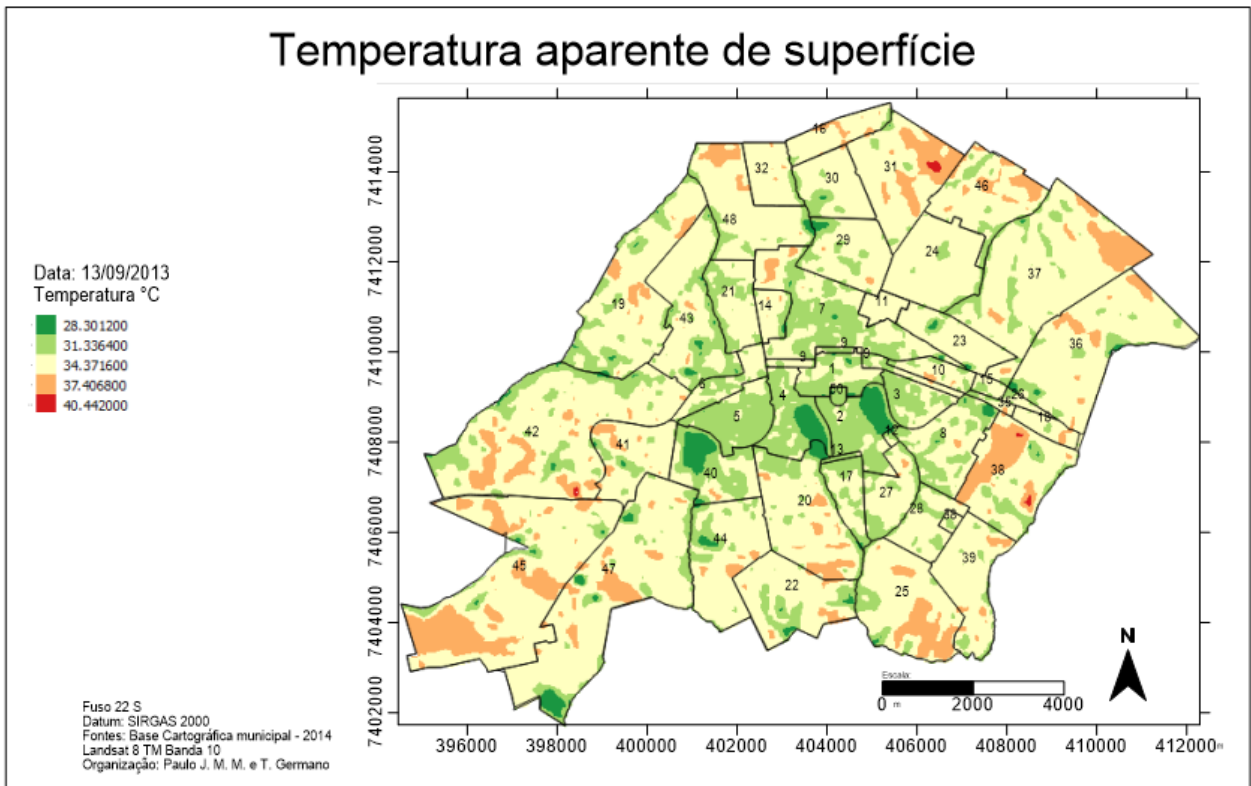
## Temperatura aparente de superfície



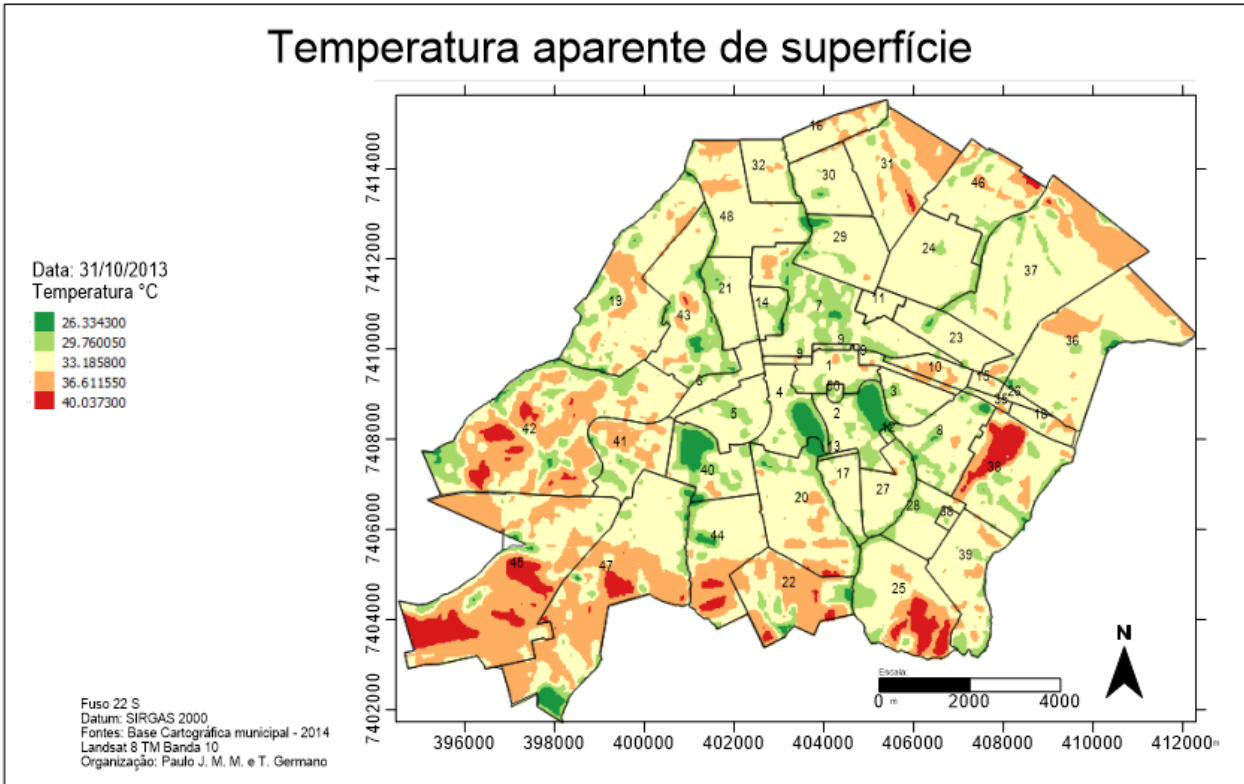
### Temperatura aparente de superfície



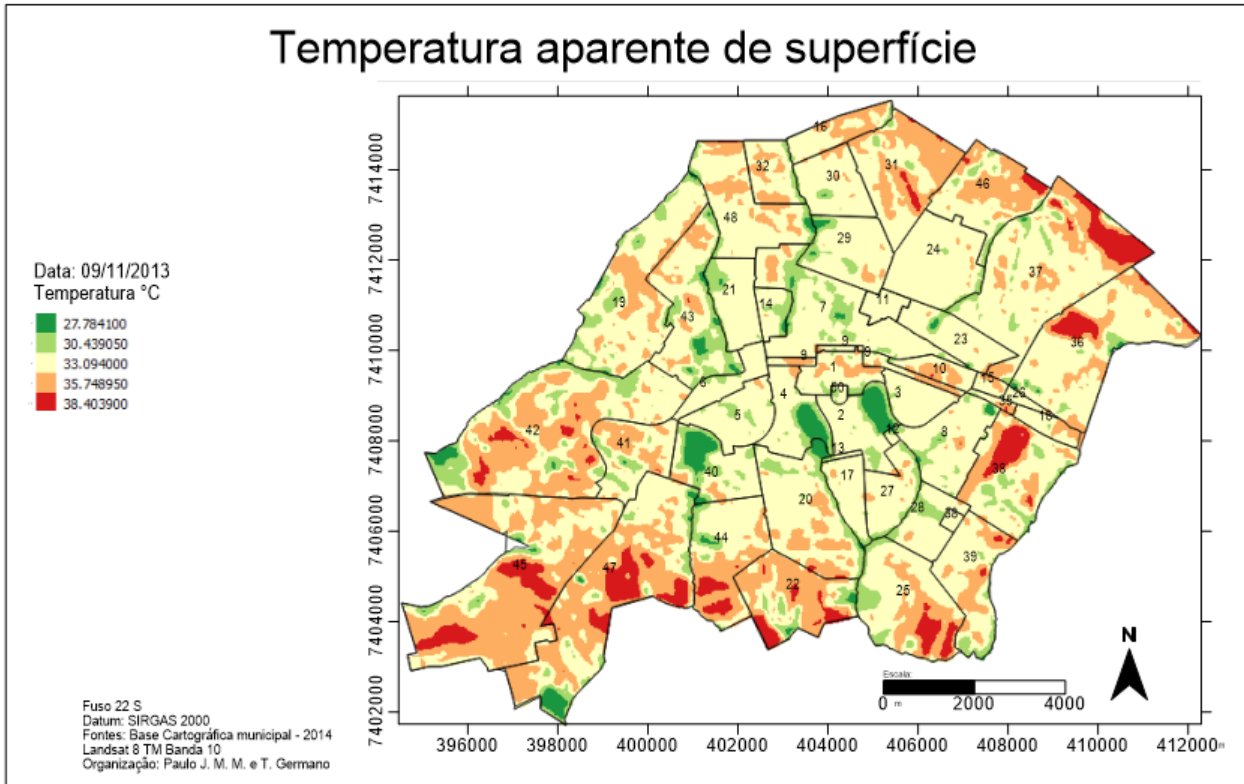
### Temperatura aparente de superfície

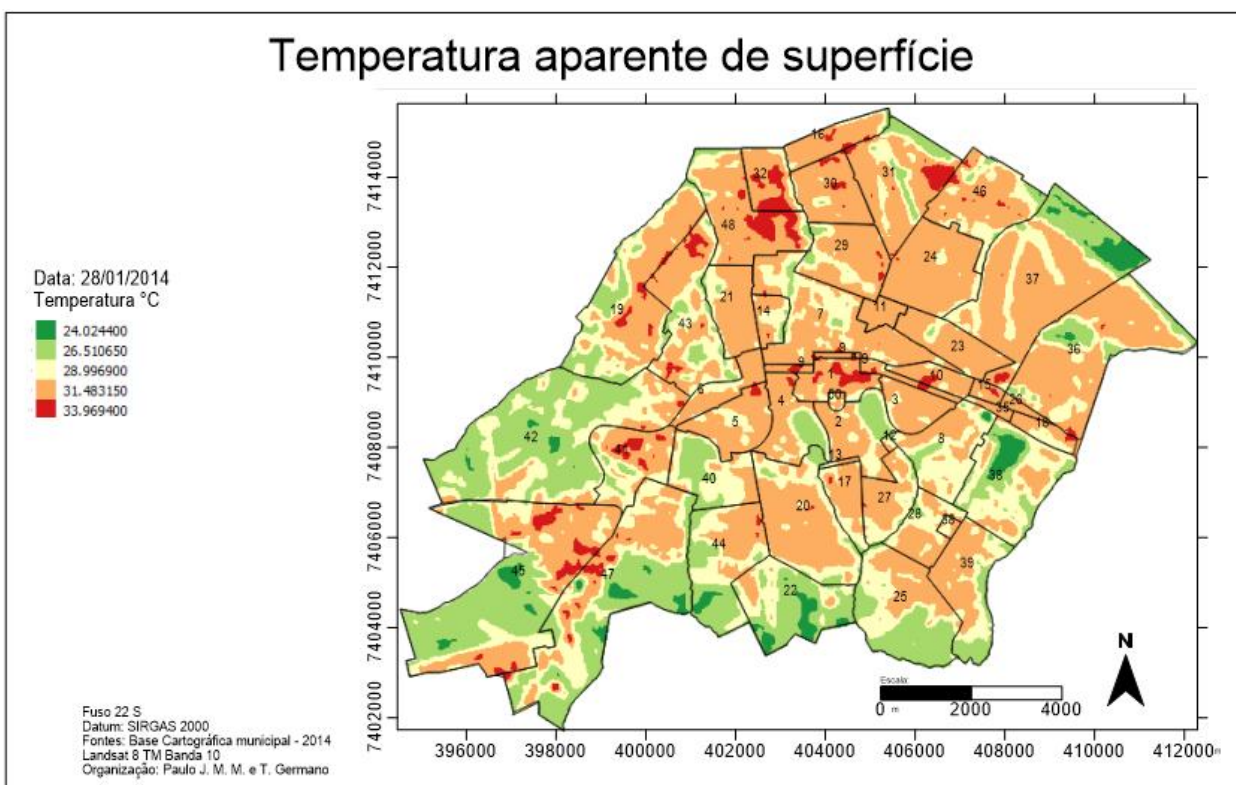
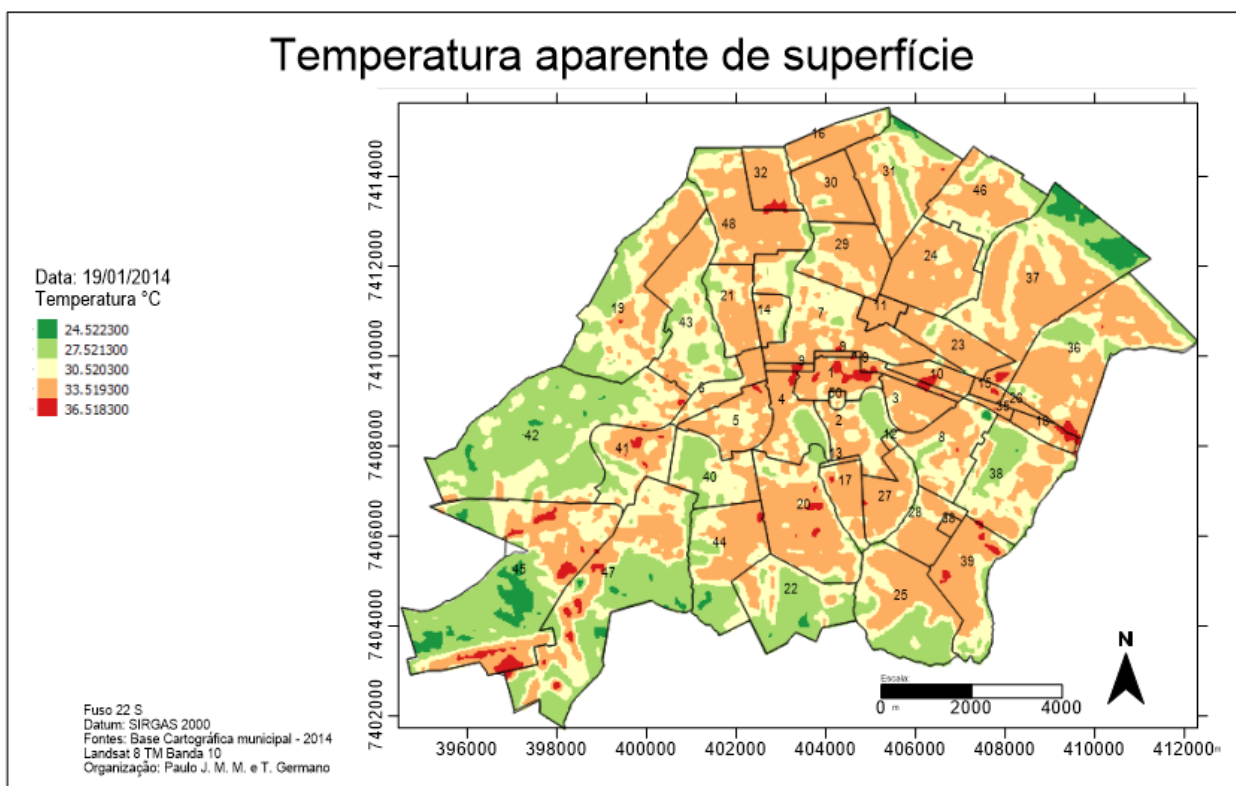


### Temperatura aparente de superfície



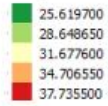
### Temperatura aparente de superfície



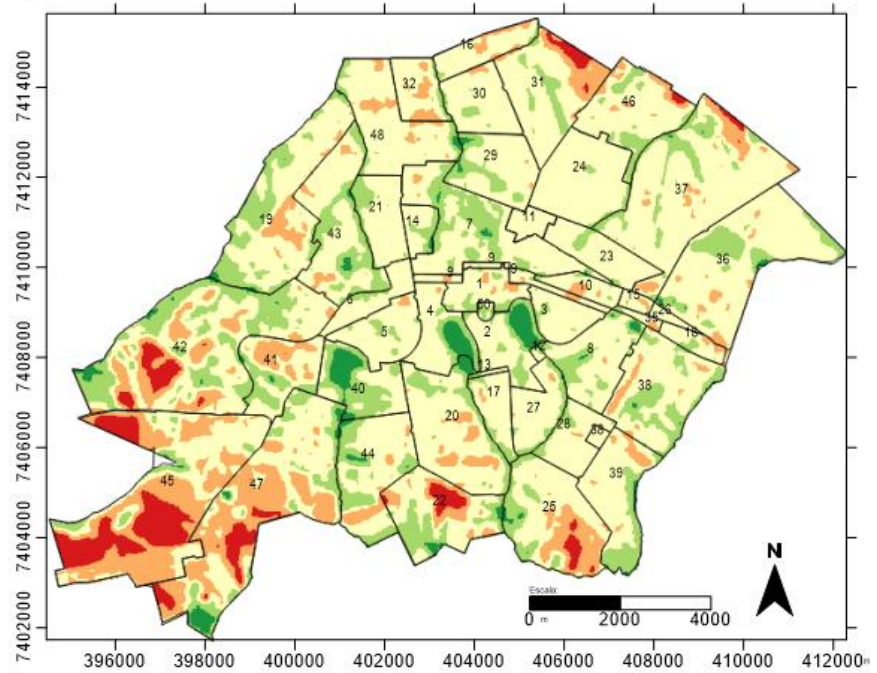


### Temperatura aparente de superfície

Data: 01/03/2014  
Temperatura °C

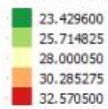


Fuso 22 S  
Datum: SIRGAS 2000  
Fontes: Base Cartográfica municipal - 2014  
Landsat 8 TM Banda 10  
Organização: Paulo J. M. M. e T. Germano

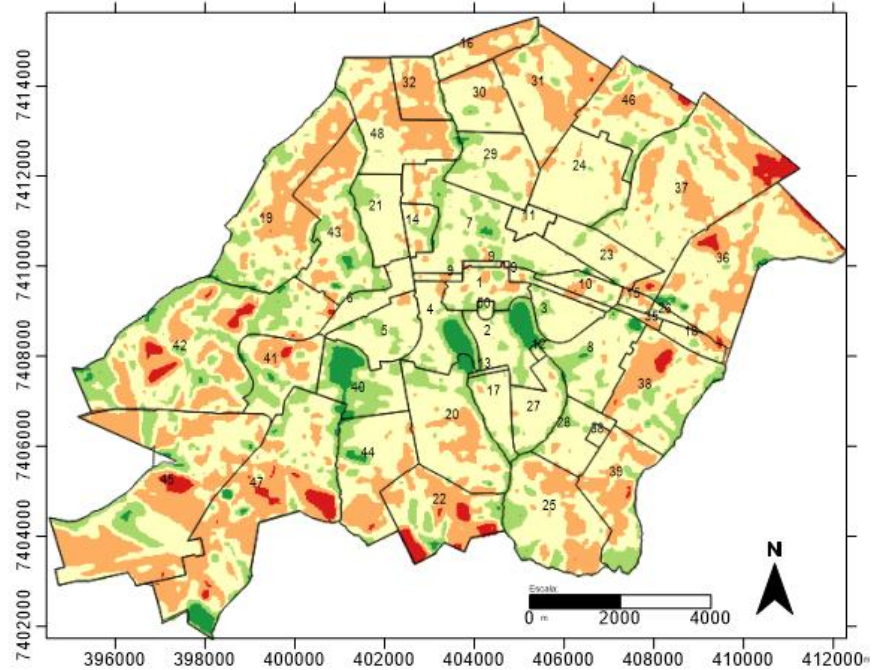


### Temperatura aparente de superfície

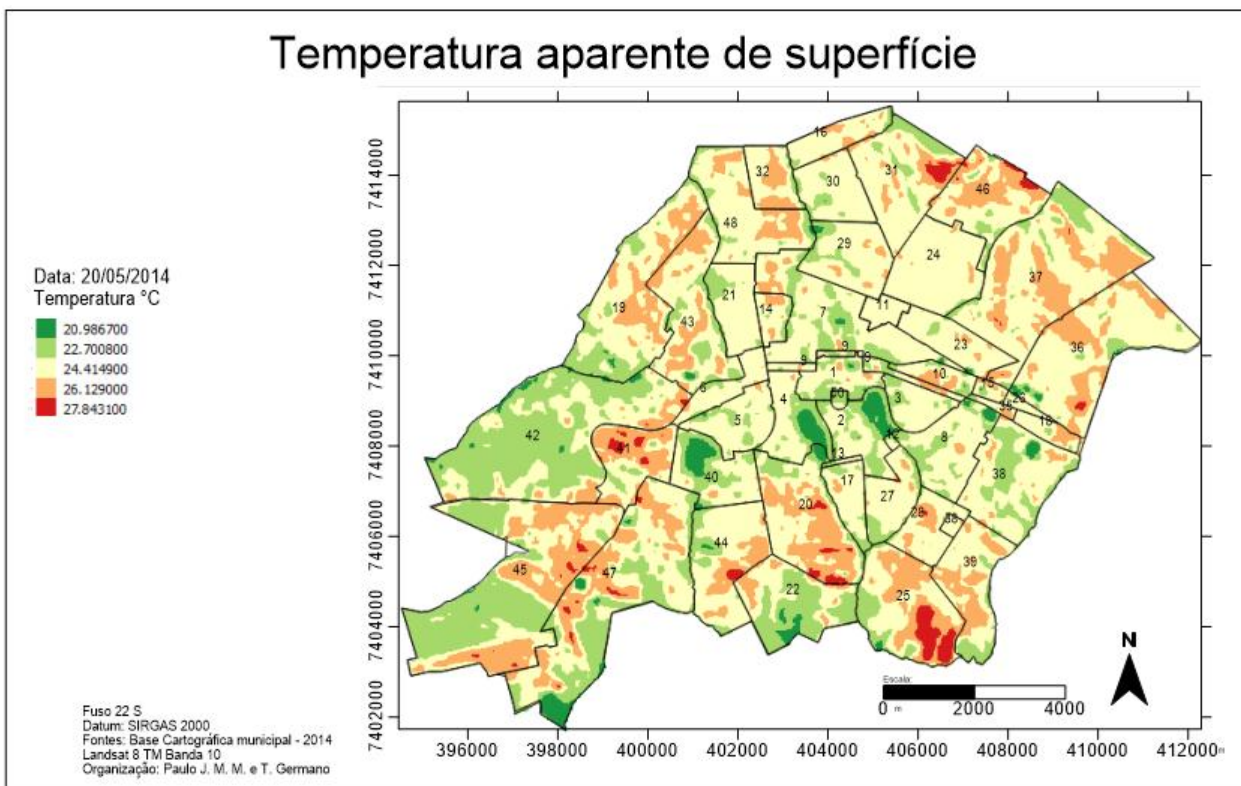
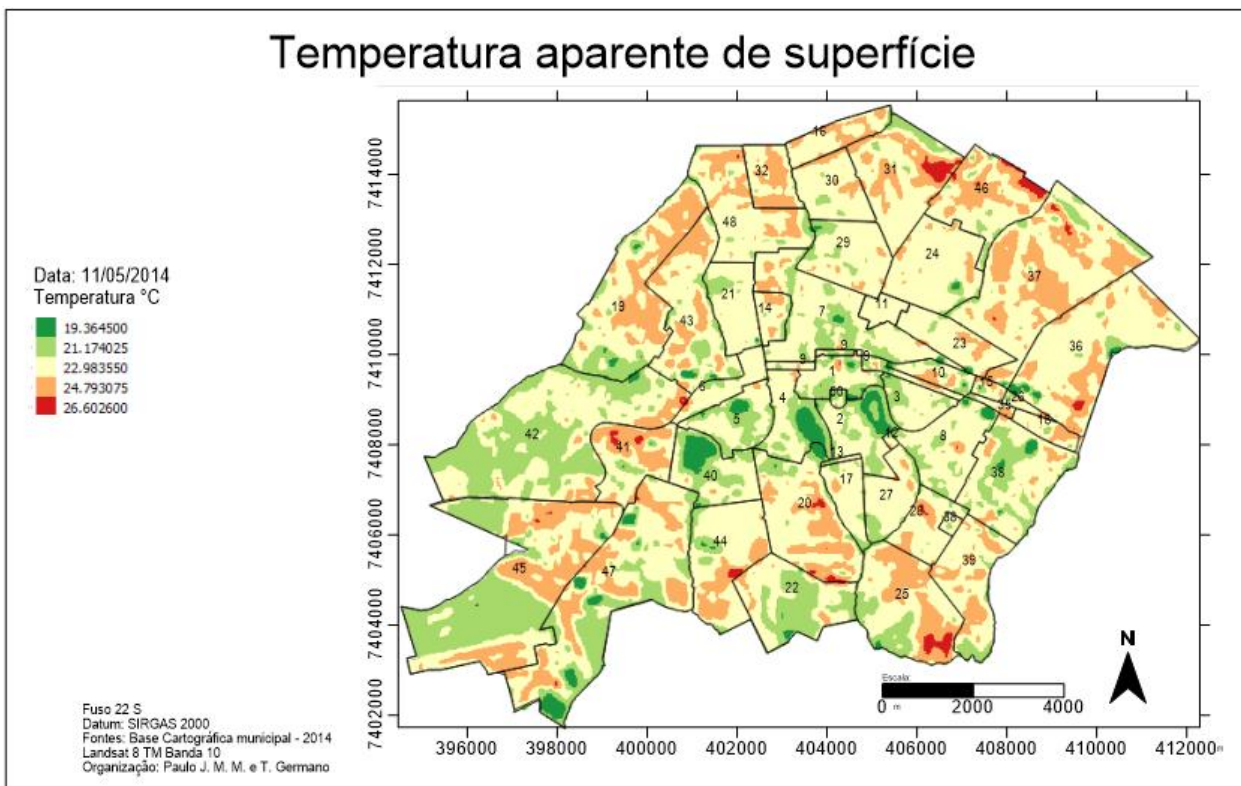
Data: 24/03/2014  
Temperatura °C

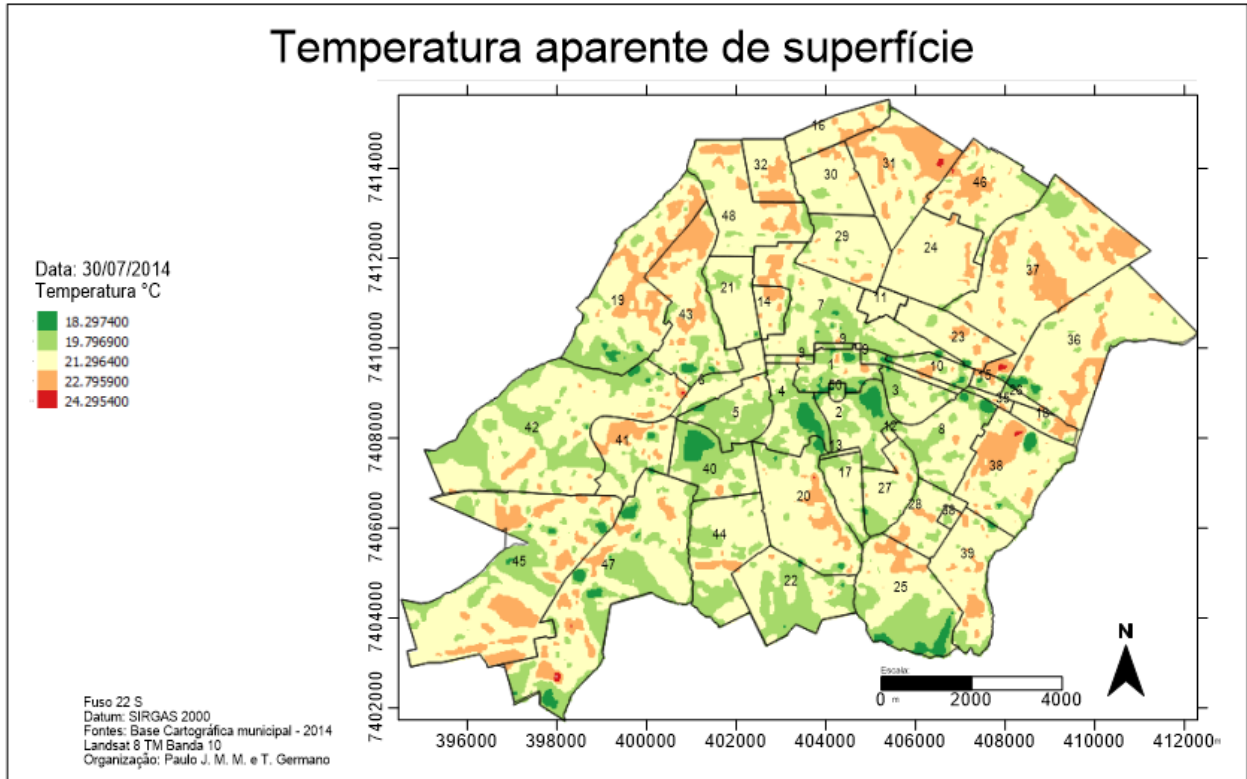
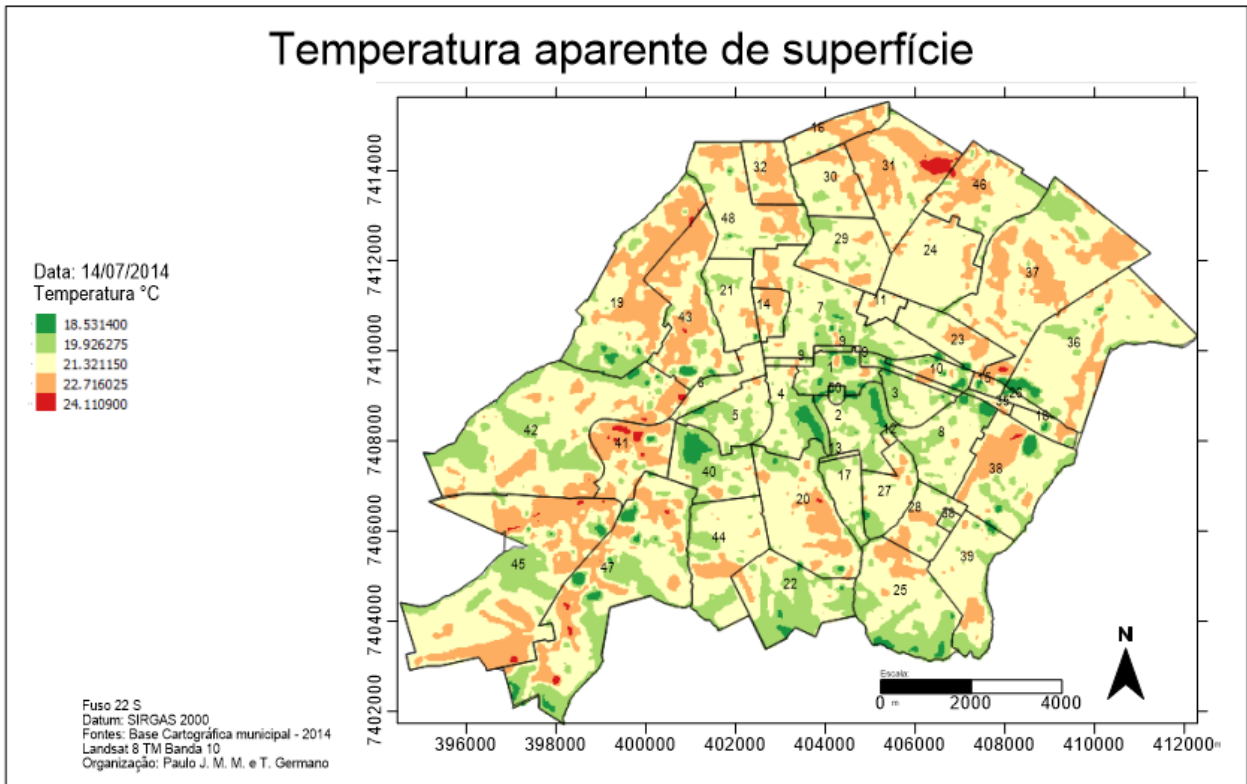


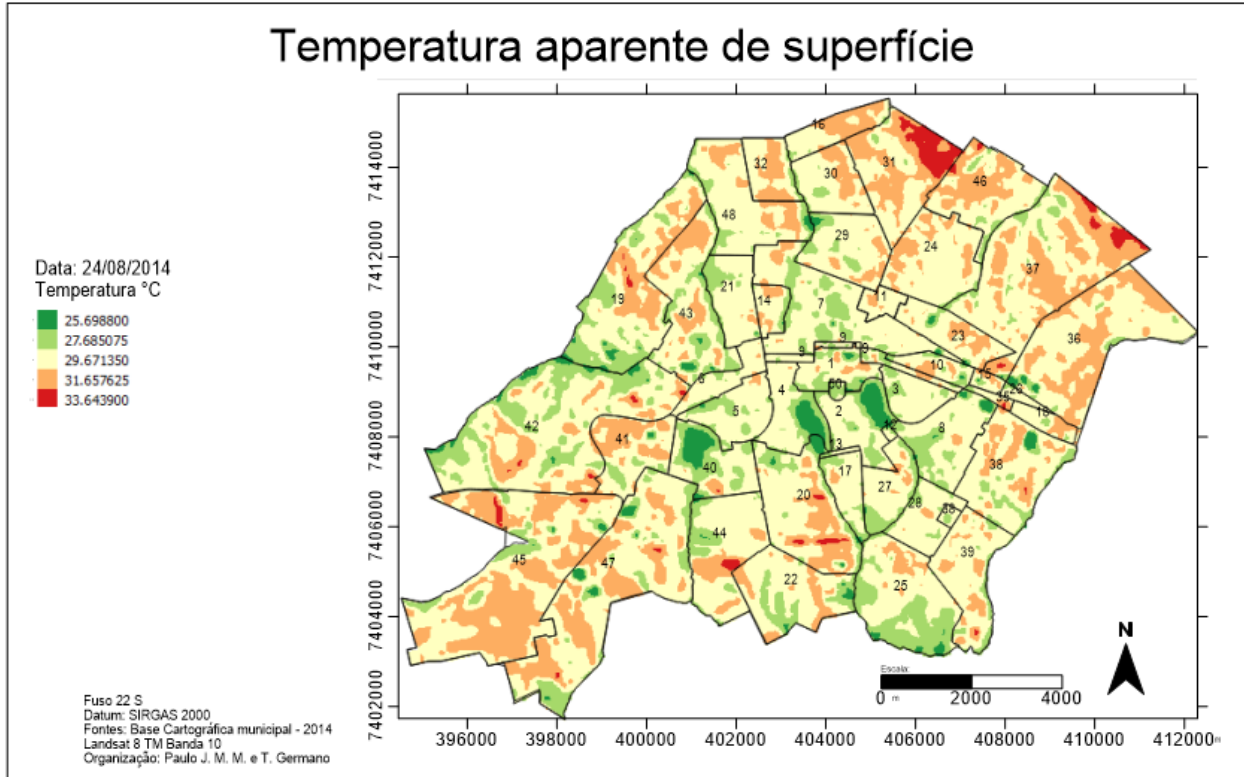
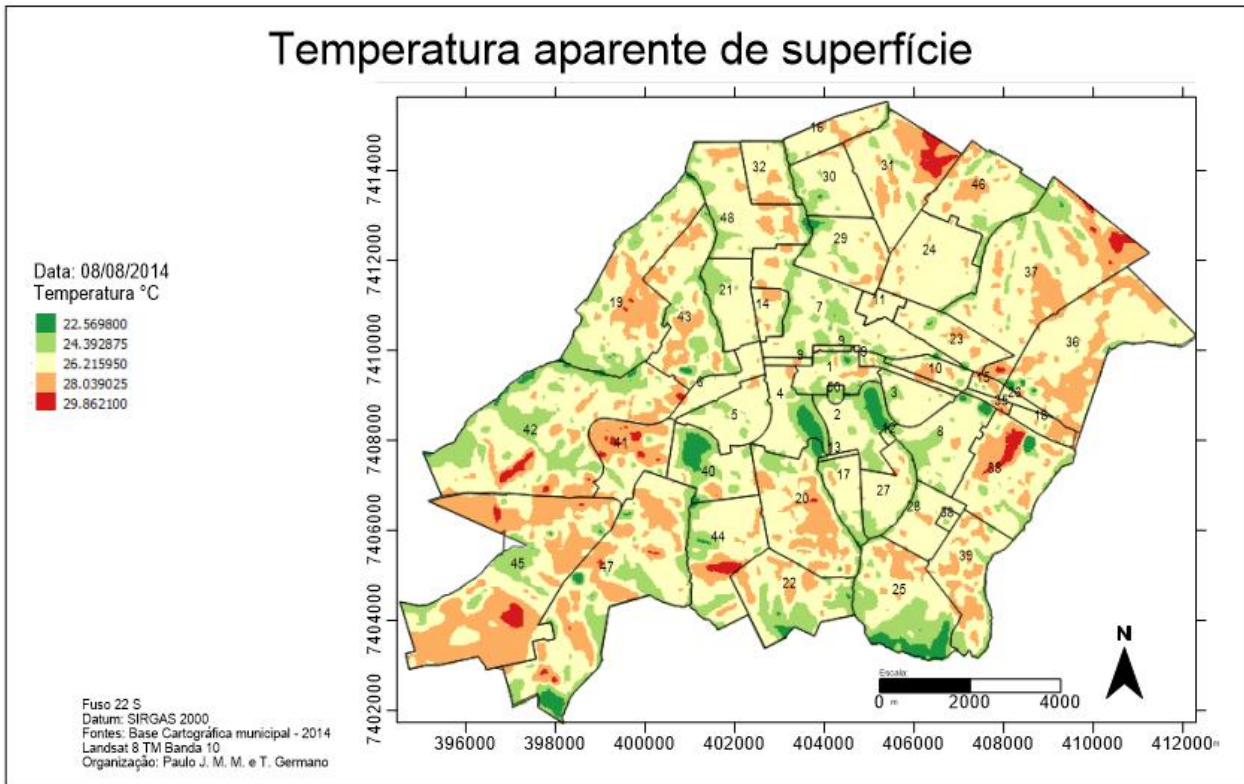
Fuso 22 S  
Datum: SIRGAS 2000  
Fontes: Base Cartográfica municipal - 2014  
Landsat 8 TM Banda 10  
Organização: Paulo J. M. M. e T. Germano

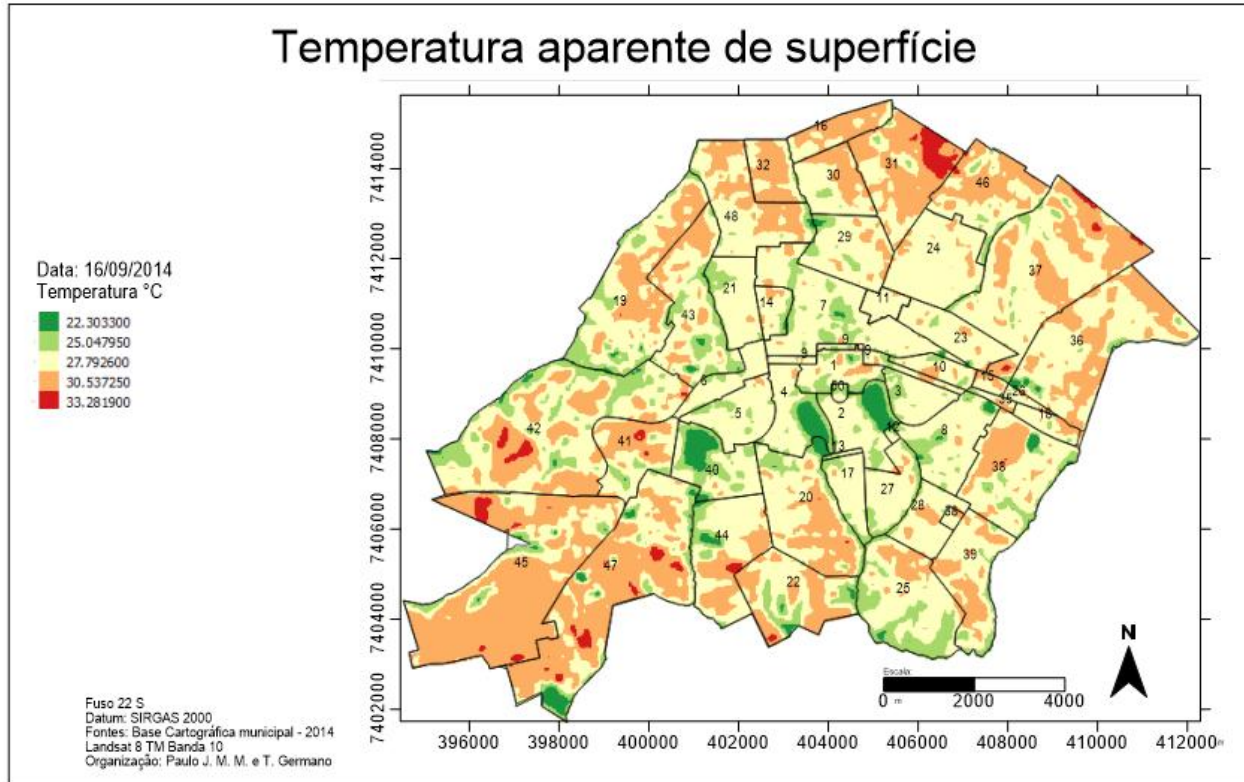
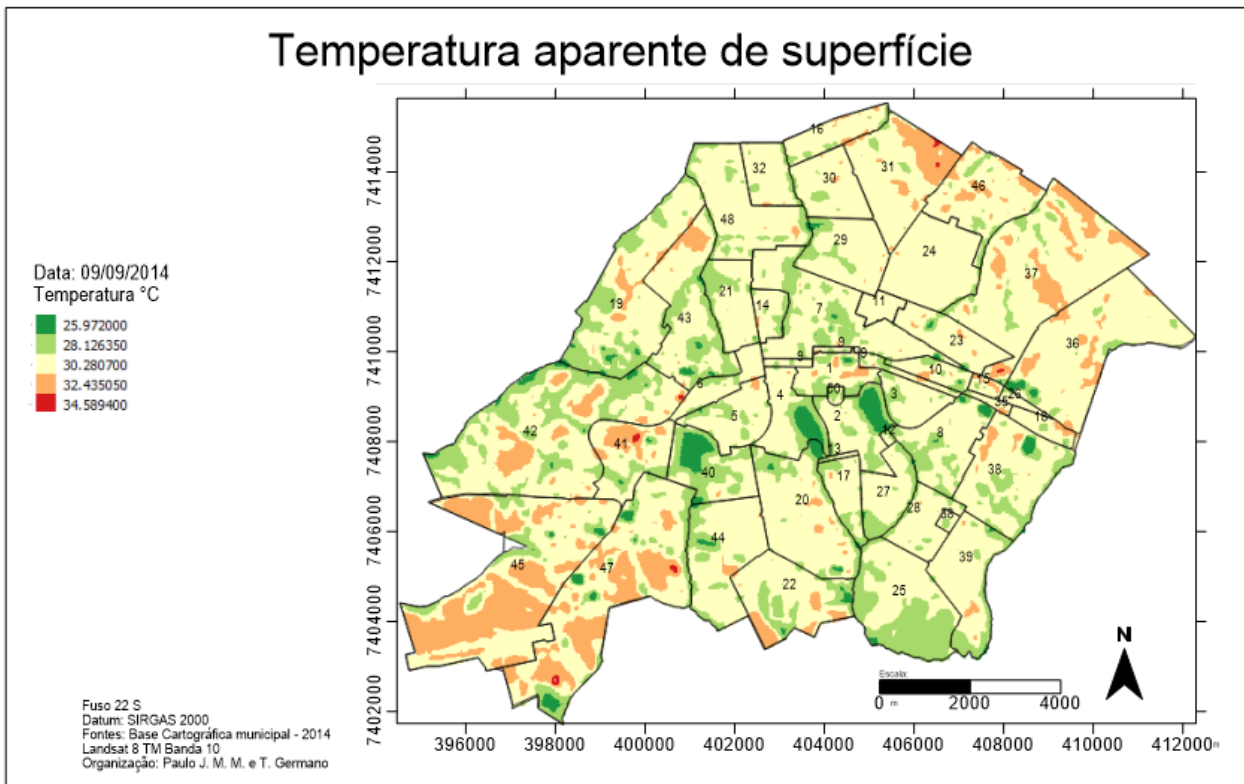


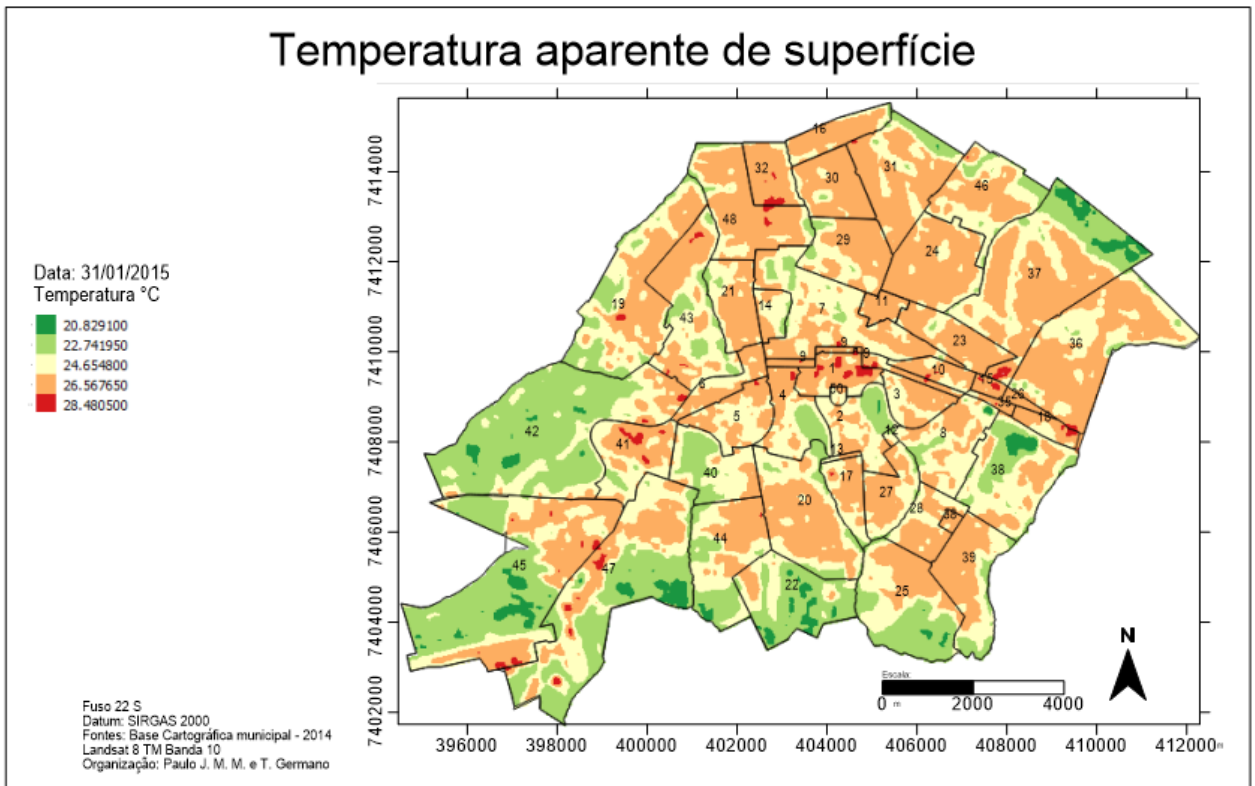
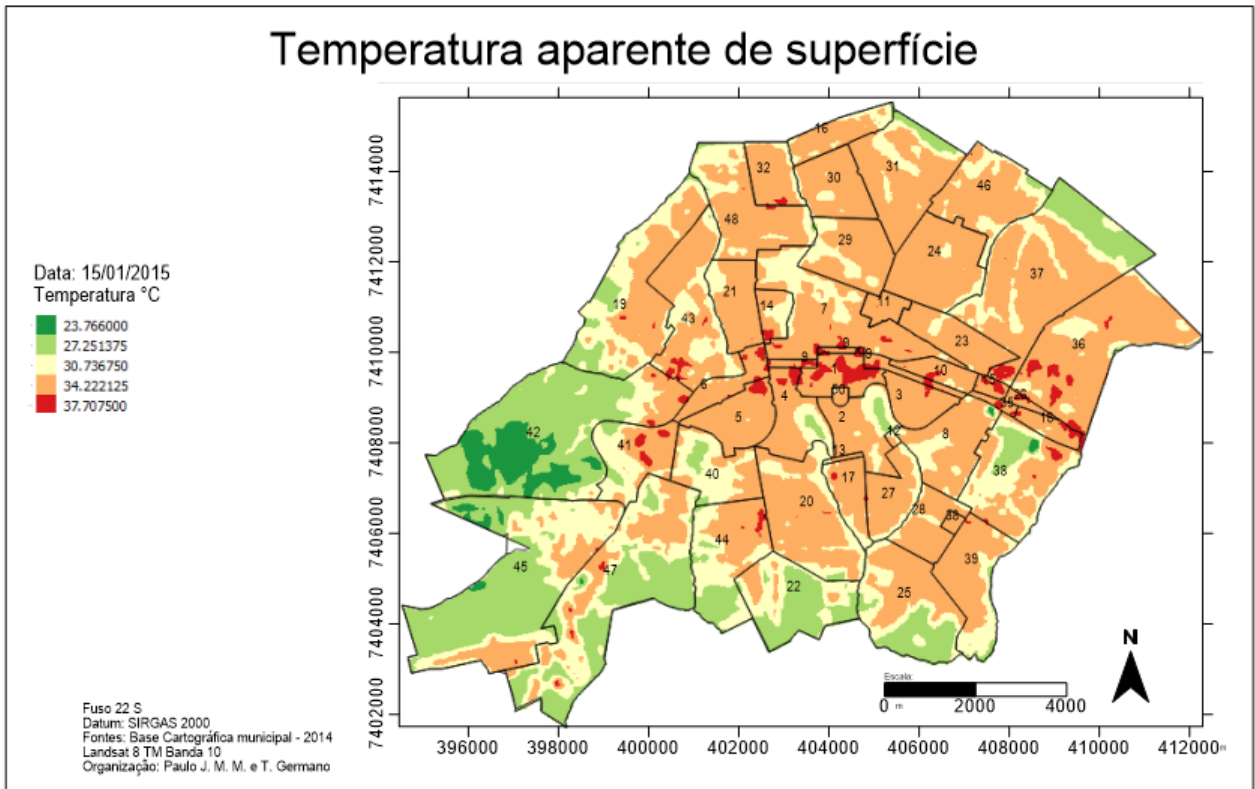


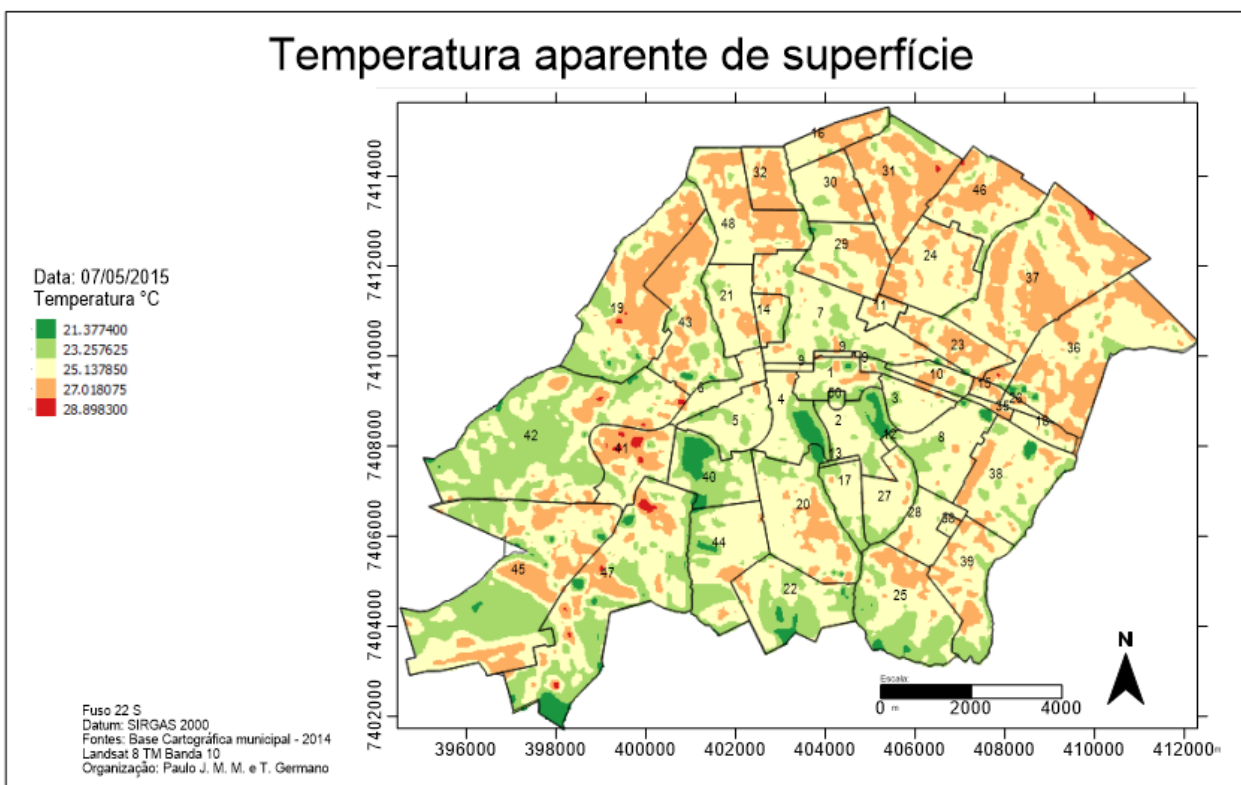
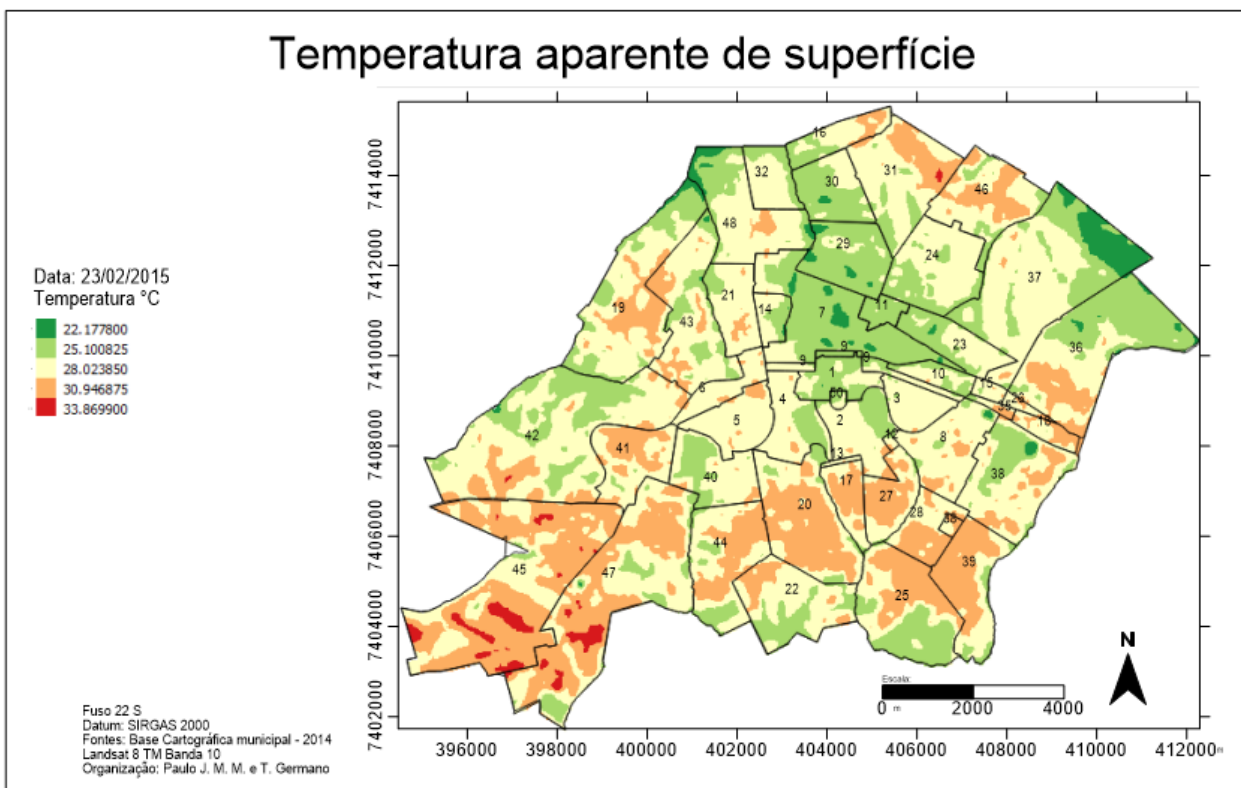




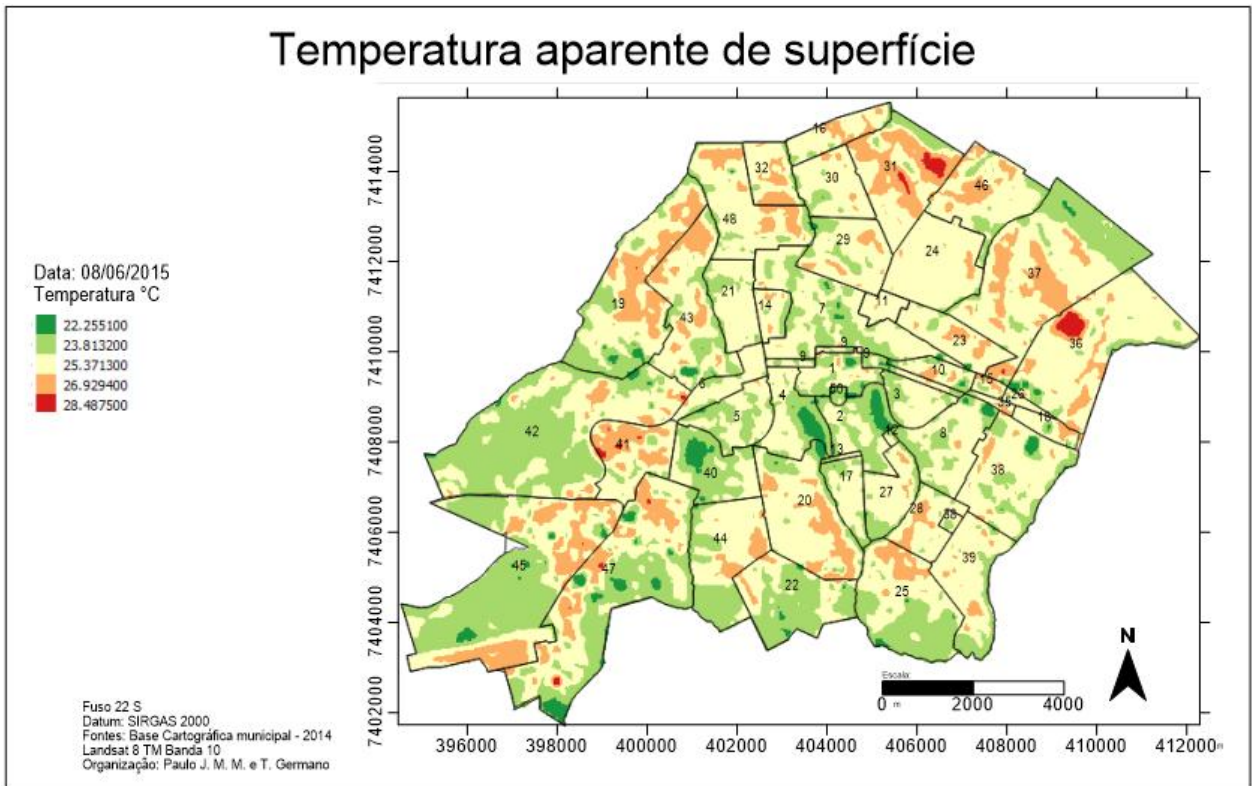




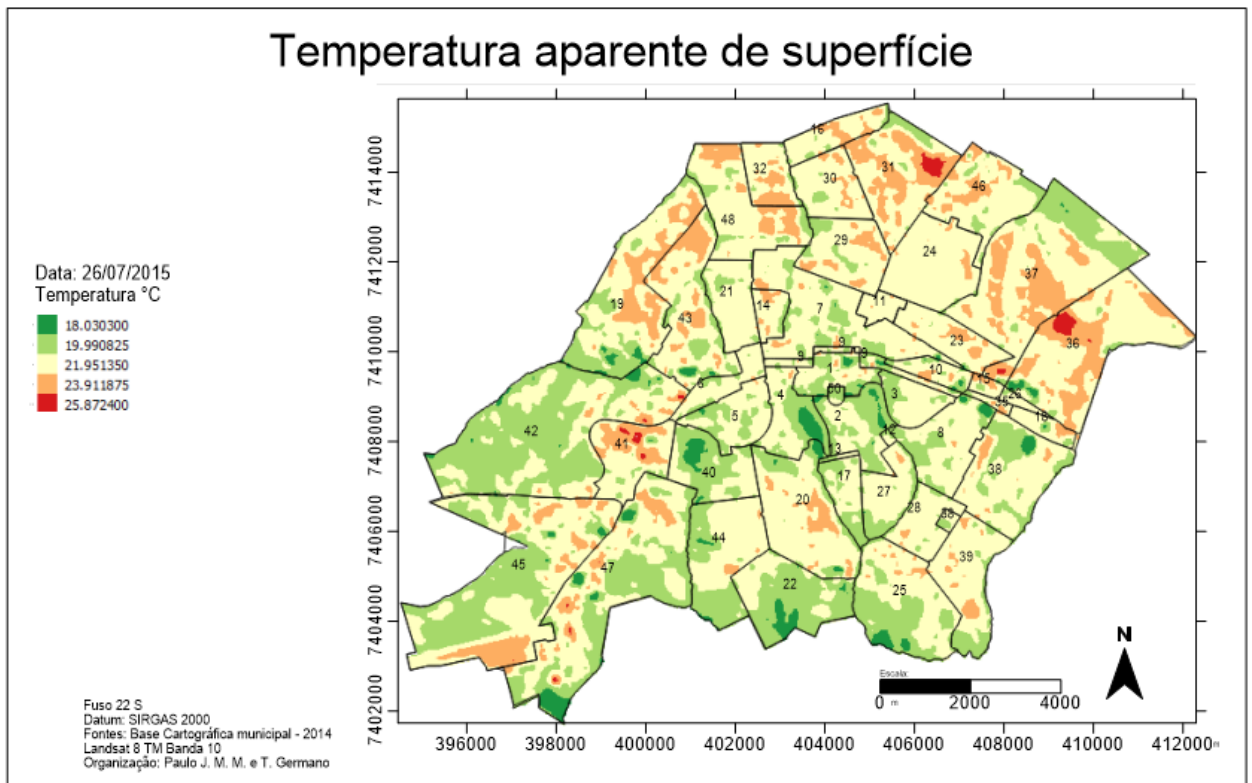


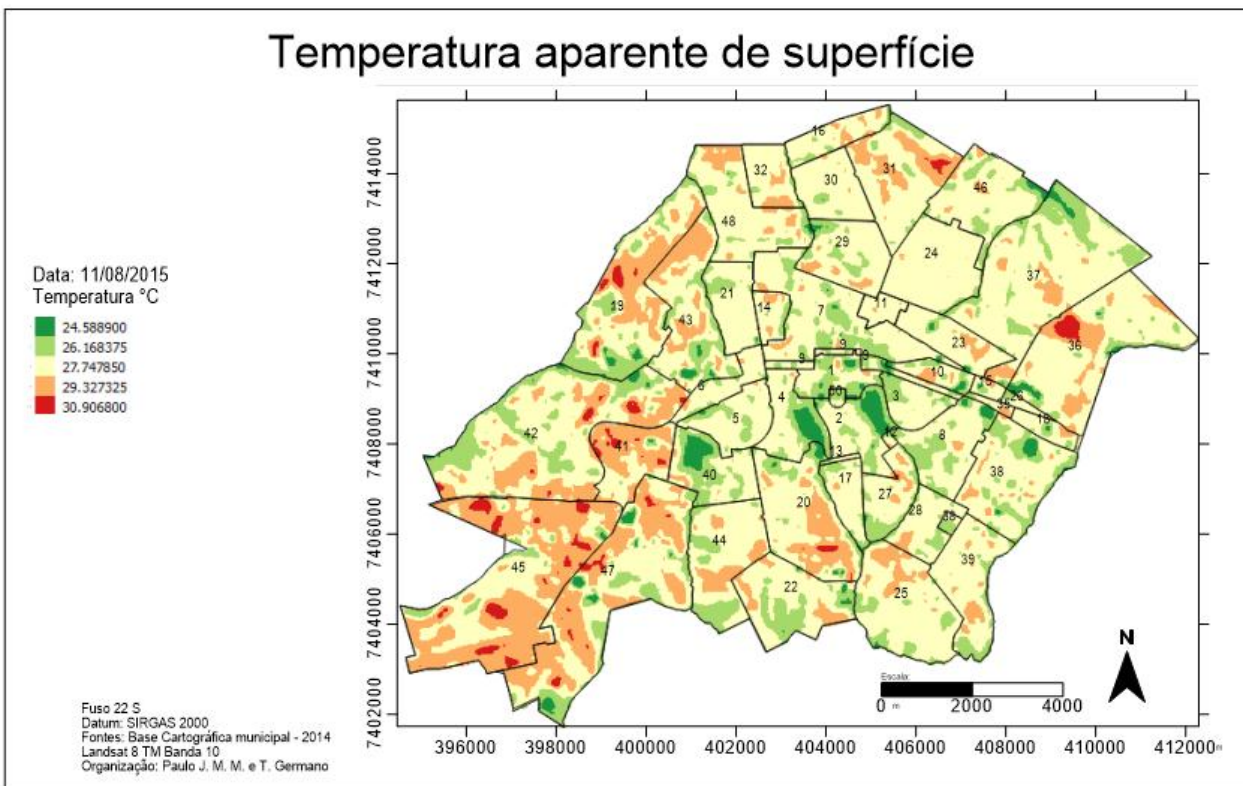
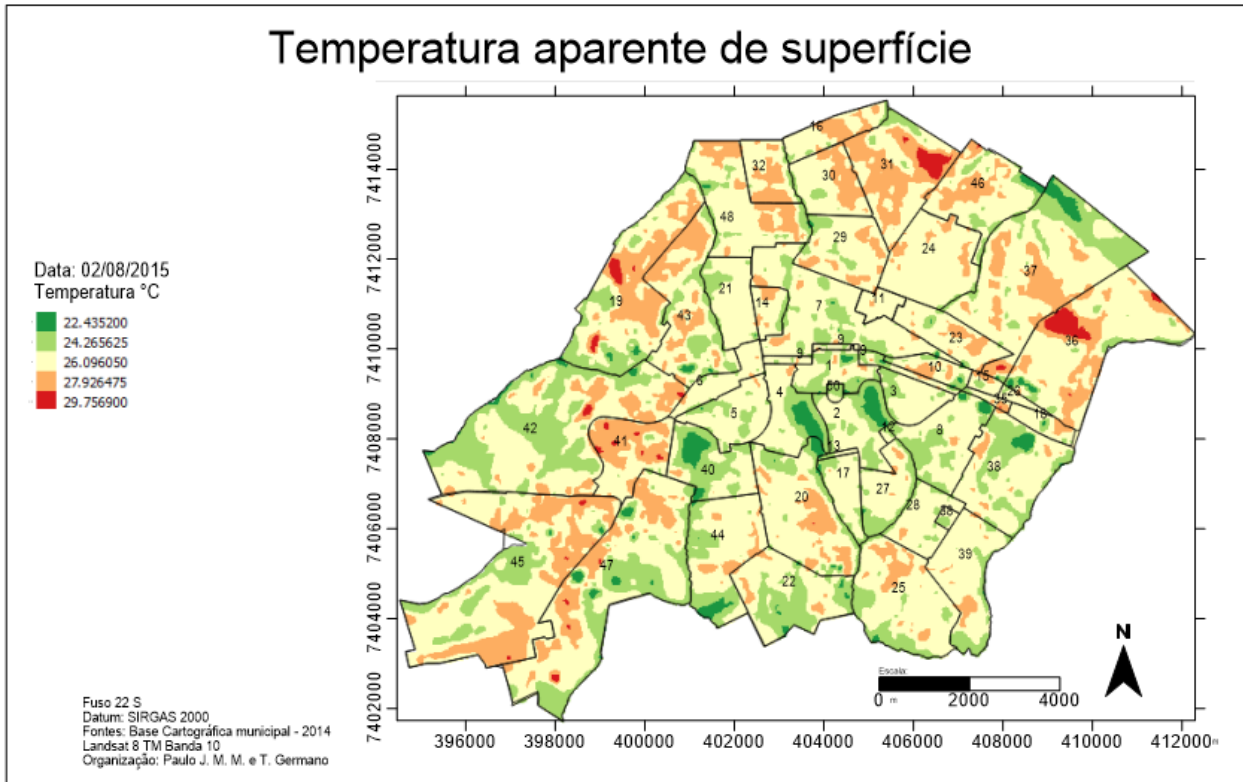


### Temperatura aparente de superfície

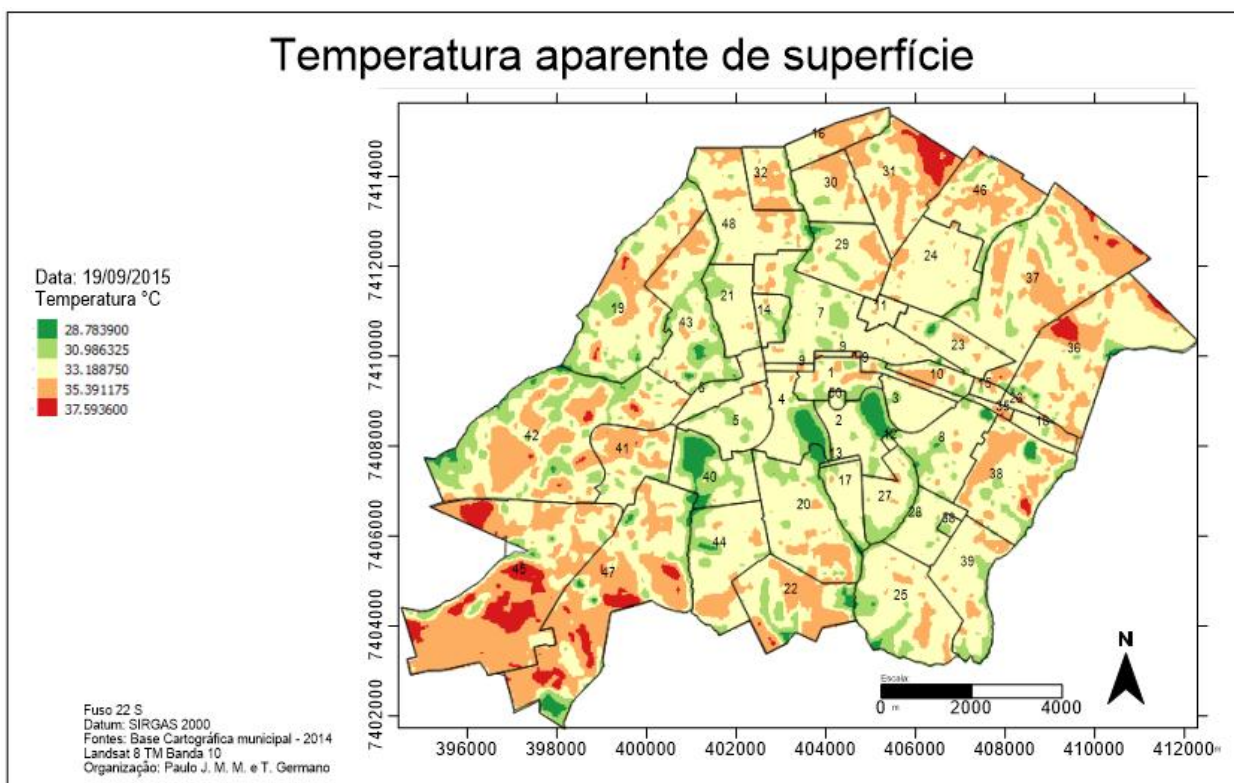
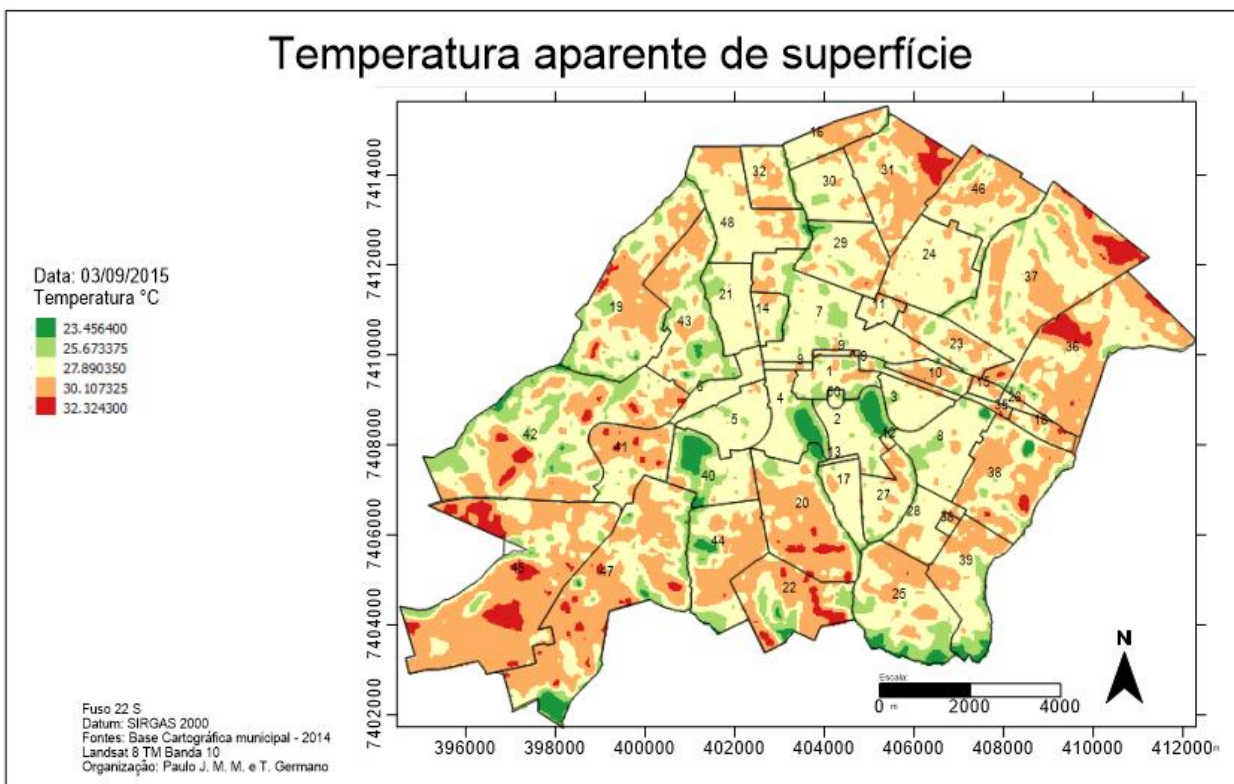


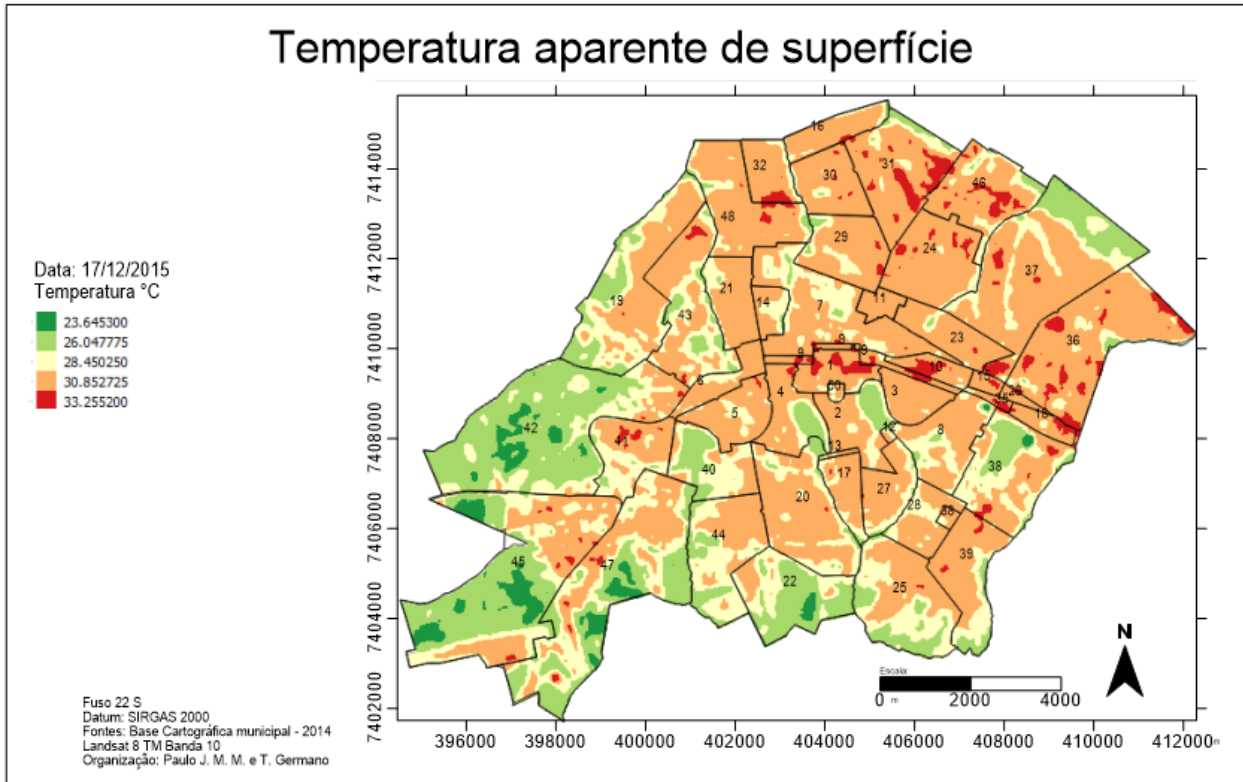
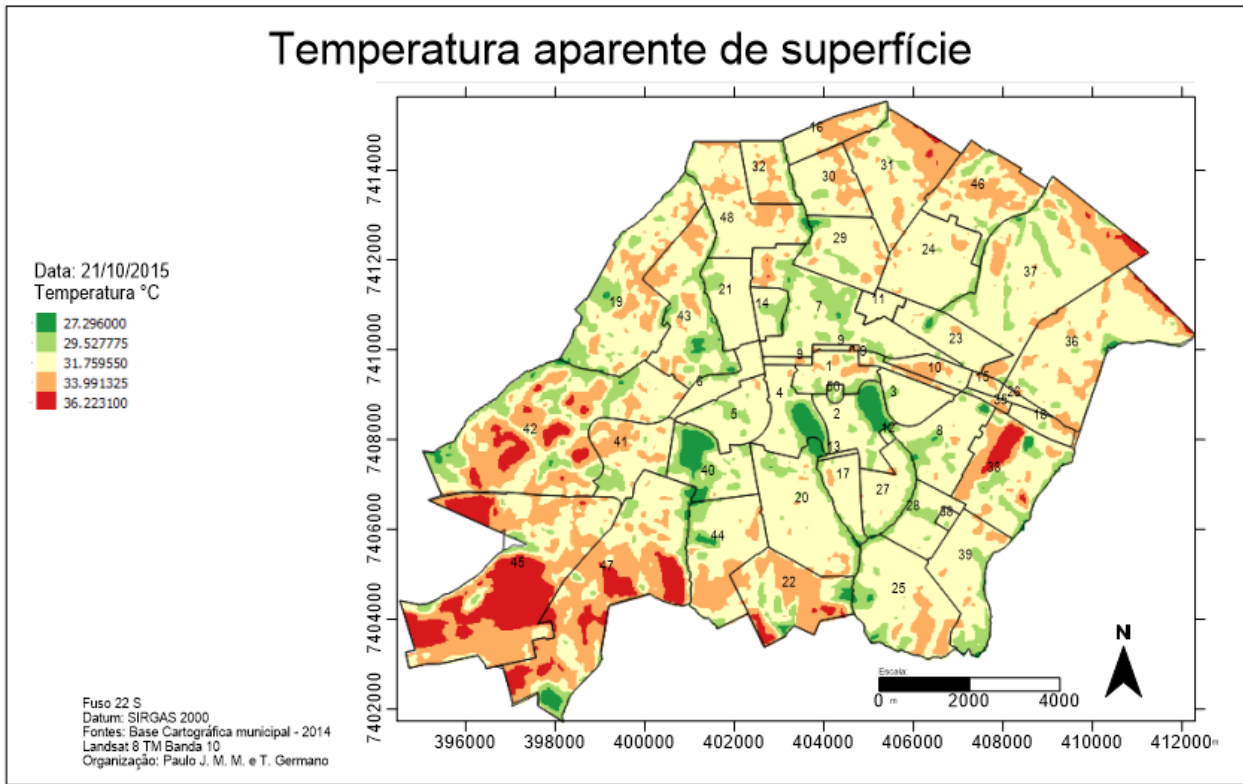
### Temperatura aparente de superfície









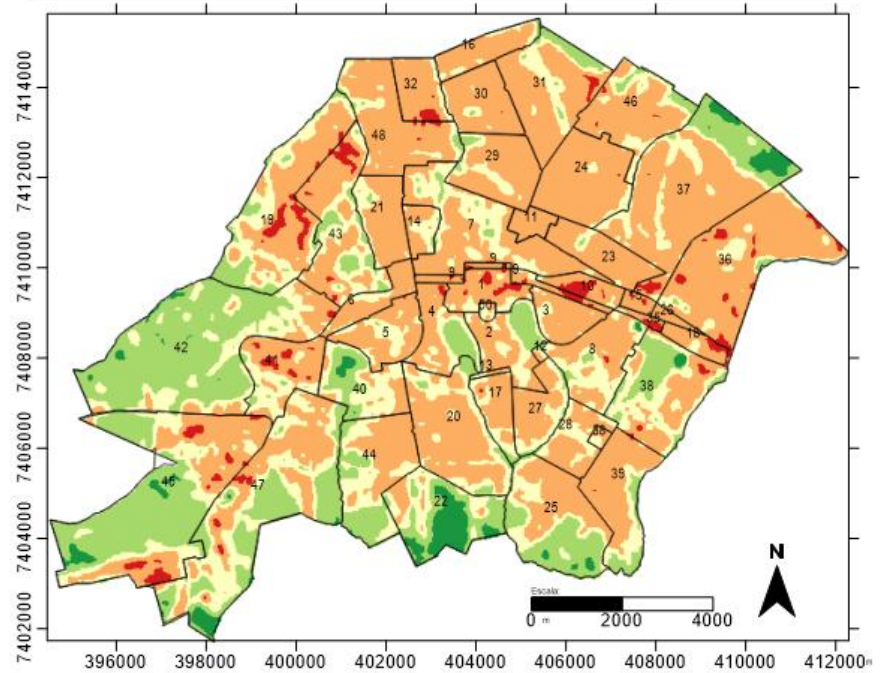


### Temperatura aparente de superfície

Data: 18/01/2016  
Temperatura °C

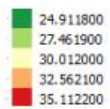


Fuso 22 S  
Datum: SIRGAS 2000  
Fontes: Base Cartográfica municipal - 2014  
Landsat 8 TM Banda 10  
Organização: Paulo J. M. M. e T. Germano

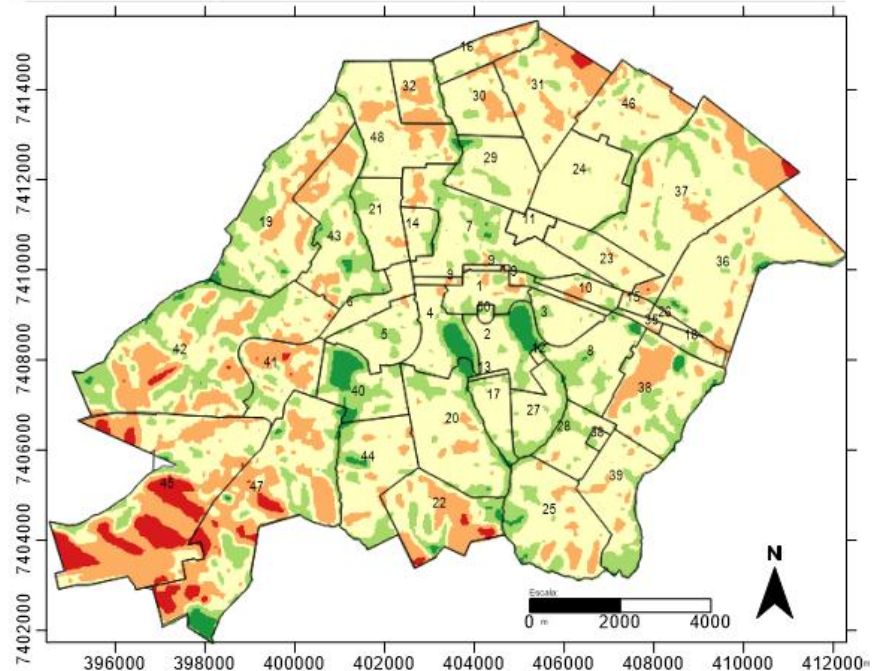


### Temperatura aparente de superfície

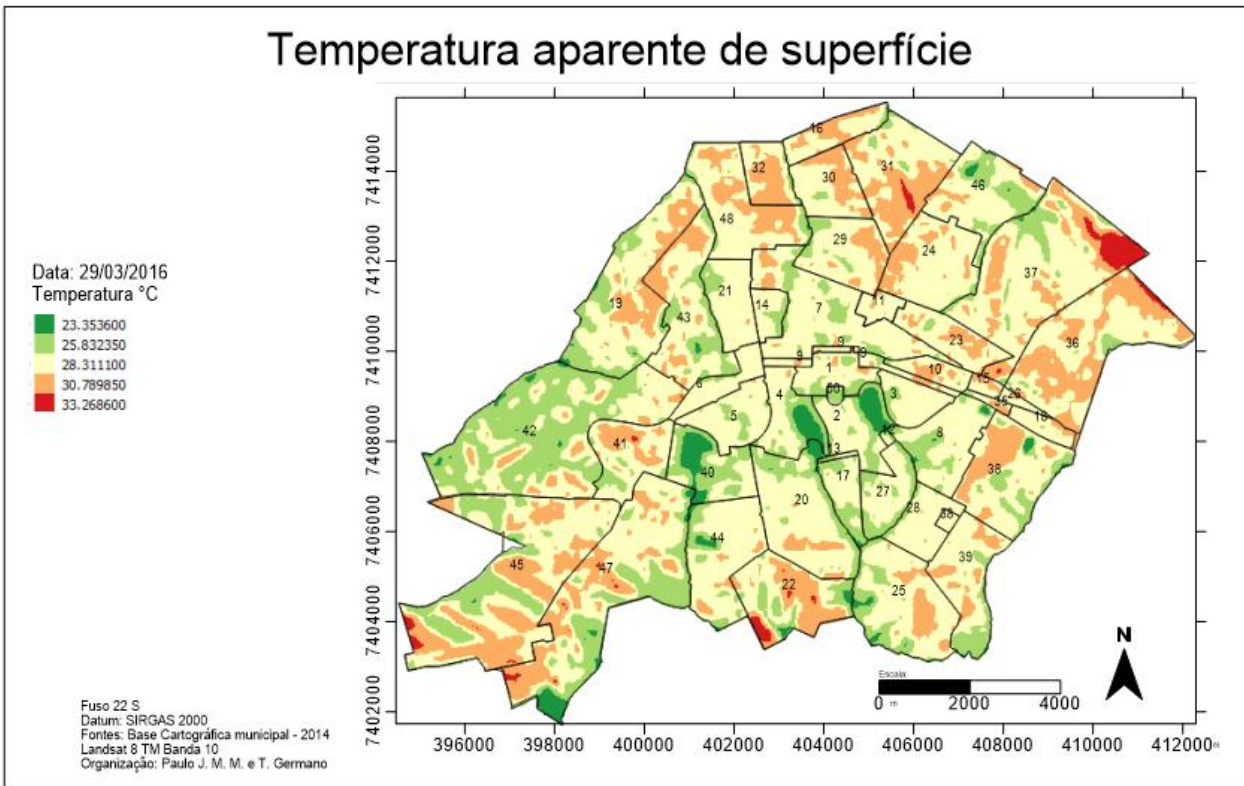
Data: 13/03/2016  
Temperatura °C



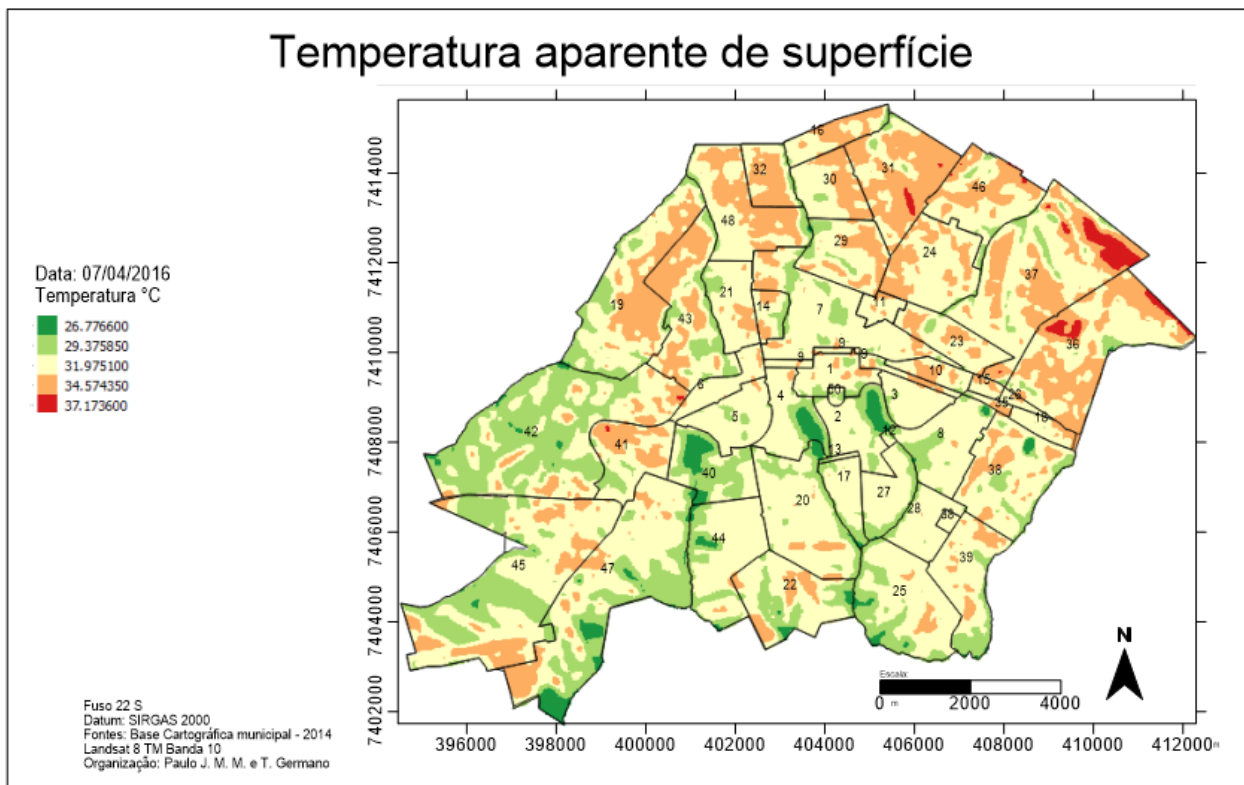
Fuso 22 S  
Datum: SIRGAS 2000  
Fontes: Base Cartográfica municipal - 2014  
Landsat 8 TM Banda 10  
Organização: Paulo J. M. M. e T. Germano

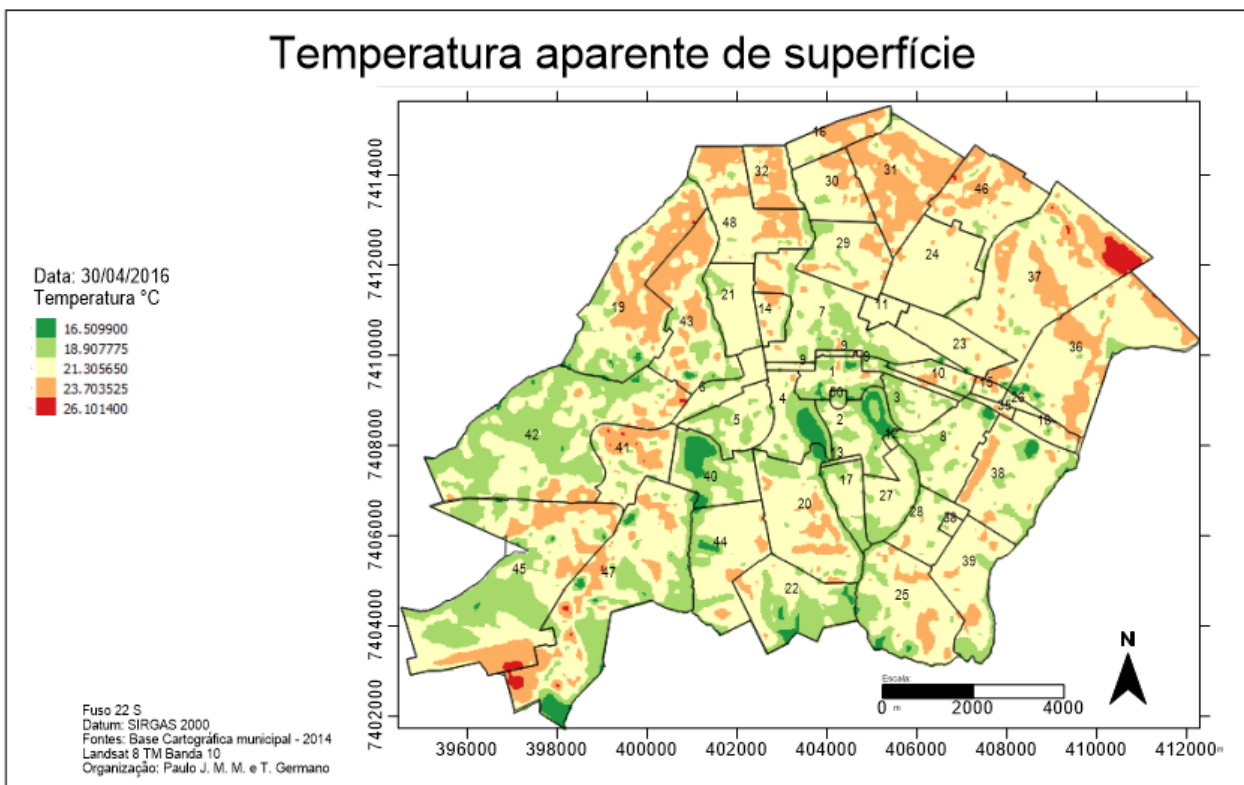
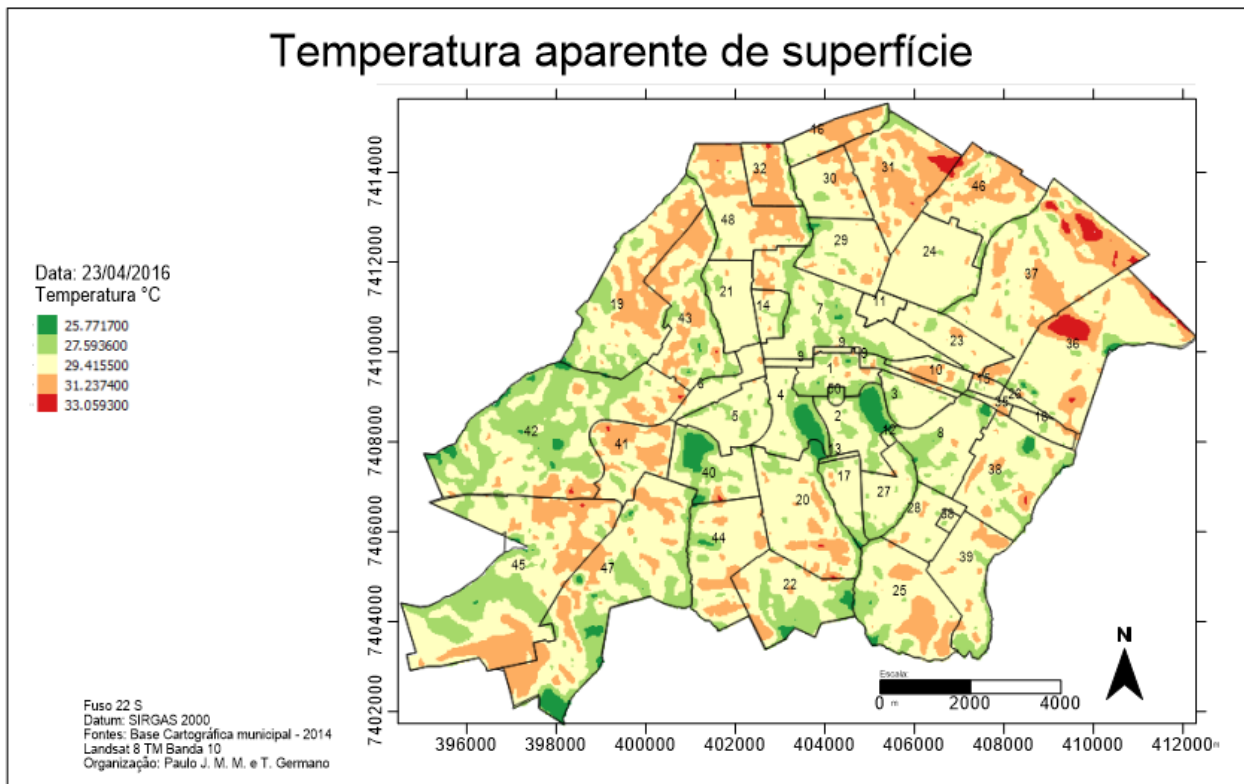


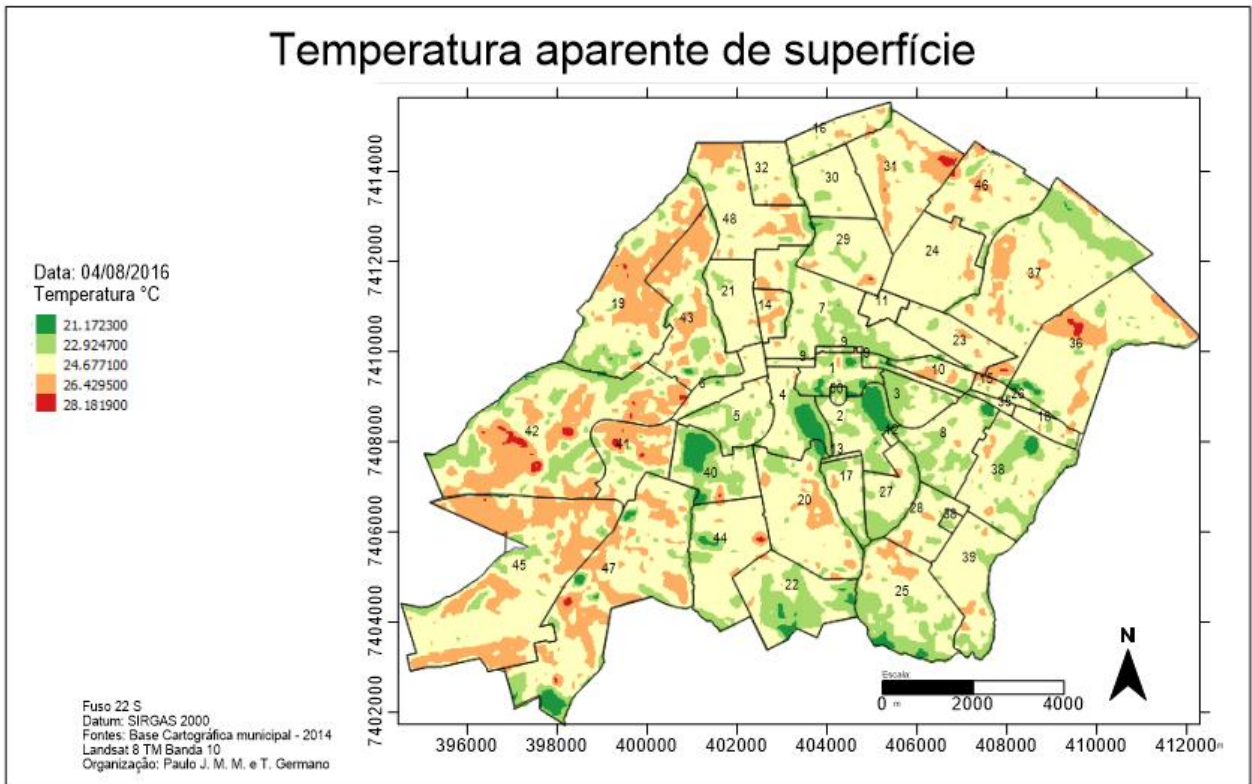
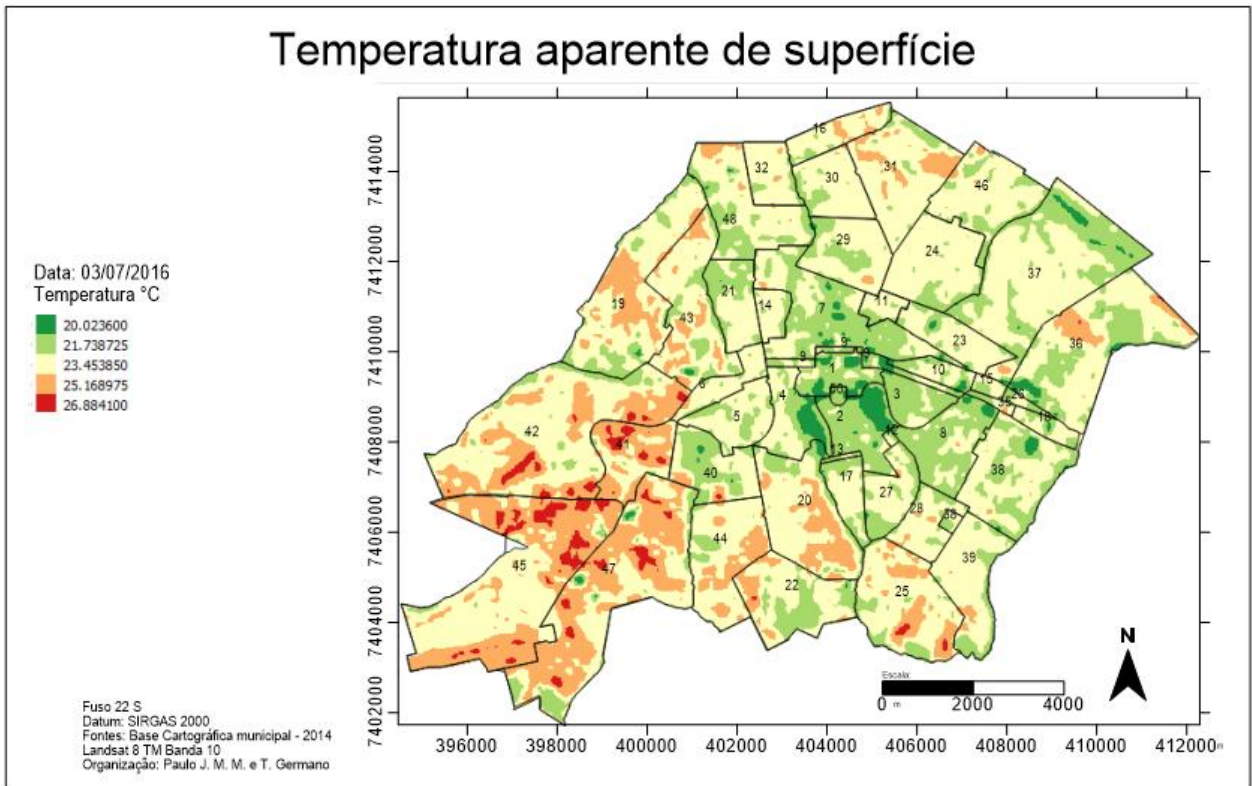
### Temperatura aparente de superfície



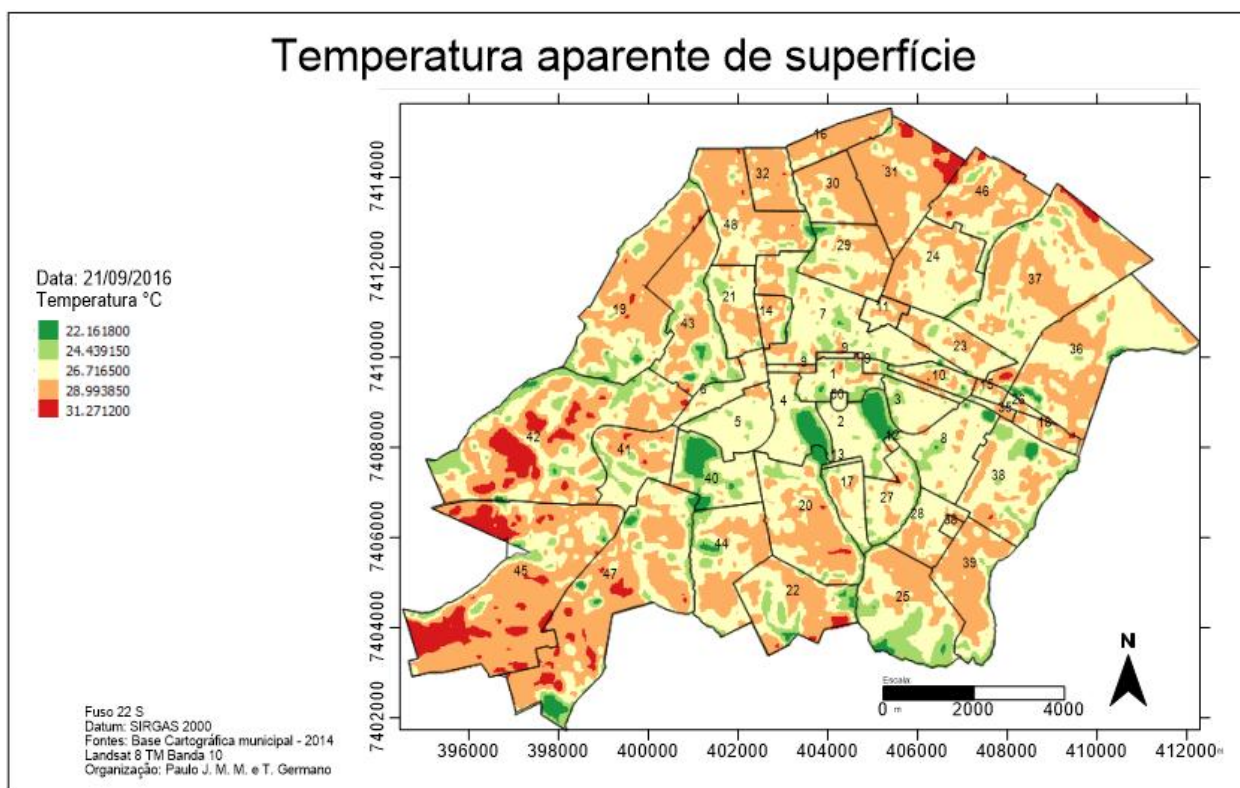
### Temperatura aparente de superfície







## Temperatura aparente de superfície



## Temperatura aparente de superfície

