

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA FÍSICA

MARTIN HOFFMANN

ENSAIO DA RELAÇÃO DO PARCELAMENTO DO SOLO E
VOLUMETRIA CONSTRUÍDA INTRAQUADRA COM A TEMPERATURA
APARENTE DE SUPERFÍCIE DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO EM
MEDIÇÕES REMOTAS
- versão corrigida -

São Paulo
Março/2014

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA FÍSICA

MARTIN HOFFMANN

ENSAIO DA RELAÇÃO DO PARCELAMENTO DO SOLO E
VOLUMETRIA CONSTRUÍDA INTRAQUADRA COM A TEMPERATURA
APARENTE DE SUPERFÍCIE DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO EM
MEDIÇÕES REMOTAS
- versão corrigida -

De Acordo.

Ricardo Augusto Felício.

São Paulo
Março/2014

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Dr. Jorge Gustavo da Graça Raffo (*in memoriam*) pela orientação e incentivo na minha carreira acadêmica e profissional.

Agradeço ao Prof. Dr. Ricardo Augusto Felicio, pela preciosa orientação e amizade. Pela oportunidade e confiança concedida para o desenvolvimento desta pesquisa, que me mostrou as mais diversas oportunidades e desafios durante a sua realização. Pelas discussões da pesquisa e de infindáveis outros temas nas mais diversas áreas. Foi uma honra tê-lo como orientador.

Agradeço ao Prof. Dr. Silvio Soares Macedo pelos valiosos ensinamentos e contribuições durante a realização desta pesquisa.

Agradeço aos meus amigos e amigas que direta ou indiretamente, tiveram a compressão e me incentivaram durante a realização desta pesquisa.

Agradecimentos especiais ao Laboratório Quadro do Paisagismo no Brasil (QUAPÁ) da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU) e sua equipe pela disponibilização dos dados, com atenção especial para a Fernanda Lobão e Patricia Eiko, que me auxiliaram na aquisição e orientação sobre os dados, estes essenciais para a elaboração desta pesquisa.

E especialmente agradeço a minha família, meus pais, Edgar e Lucia, irmã Patrícia e cunhado Brian pelo apoio, compreensão e incentivo durante a realização desta pesquisa.

RESUMO

Este projeto é um ensaio para se estabelecer um processo de análise da relação entre parcelamento do solo e volumetria construída intraquadra do município de São Paulo, utilizando a base de dados da pesquisa “Os Sistemas de Espaços Livres na Constituição da Forma Urbana Contemporânea no Brasil: Produção e Apropriação QUAPÁ-Sel II”, desenvolvido pelo Laboratório QUAPÁ da FAU USP, com as informações de temperatura aparente de superfície existente em três estações do ano, outono, inverno e primavera.

No intuito de estabelecer uma metodologia que possa ser replicável em outras localidades, o trabalho ora apresentado, utilizando-se desta base de dados e com imagens de sensores remotos, busca identificar as possíveis similaridades entre as classes trabalhadas e a sua temperatura aparente de superfície e como isso pode influenciar a temperatura do ar e o conforto térmico das pessoas no nível do cânion urbano.

Palavras-chave: clima urbano, aspectos morfológicos, espaços livres, temperatura aparente de superfície, sensoriamento remoto, sistemas de informações geográficas.

ABSTRACT

This project is an essay to establish a process of analysis of the relation between division of land and intraquadra built volumetry of Sao Paulo city, using the database of the research "The Open Spaces Systems in the Brazilian Urban Form Constitution: Production and Appropriation QUAPÁ-Sel II" developed by the QUAPÁ Laboratory at FAU USP, with the information of the apparent surface temperature existent in three seasons, fall, winter and spring.

In order to establish a methodology that can be replicated in other places, the work presented here, using this database and remote sensing images, seeks to identify possible similarities between the worked classes and their apparent surface temperature and how this may influence the air temperature and the thermal comfort of people in the urban canyon level.

Keywords: urban climate, morphological aspects, open spaces, surface temperature, remote sensing, geographical information system.

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES	7
LISTA DE TABELAS.....	10
1 INTRODUÇÃO.....	11
2 OBJETIVO.....	13
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
3.1 CLIMAS DE SÃO PAULO	13
3.2 GEOPROCESSAMENTO.....	14
3.3 SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA	16
3.4 DEFINIÇÕES DE SIG	17
3.4.1 Vetorial.....	21
3.4.2 Matricial (Raster)	23
3.4.3 Comparação (vetorial e matricial).....	24
3.5 ESTRUTURA DE UM SIG.....	25
3.6 RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA	27
3.7 SISTEMA TERRA-ATMOSFERA	33
3.8 INFRAVERMELHO TERMAL - ONDAS LONGAS	34
3.9 FÓRMULAS DE CONVERSÃO	35
3.10 SENSORIAMENTO REMOTO	38
3.11 PROGRAMA LANDSAT	44
3.12 MODIFICAÇÃO DO CLIMA EM ÁREAS URBANAS	49
3.13 MAPA DE PARCELAMENTO DO SOLO E VOLUMETRIA CONSTRUÍDA INTRAQUADRA	52
4 MATERIAL E MÉTODOS	59
4.1 LEVANTAMENTO DE DADOS	59
4.1.1 QUAPÁ.....	59
4.1.2 Landsat 5.....	61
4.2 ELABORAÇÃO DOS MAPAS DE TEMPERATURA APARENTE DE SUPERFÍCIE	65
4.3 CRUZAMENTO DAS INFORMAÇÕES.....	70
5 RESULTADOS	74
5.1 CLASSE: EDIFICAÇÕES HORIZONTAIS DE PEQUENO PORTE	75
5.2 CLASSE: EDIFICAÇÕES HORIZONTAIS DE TIPOS VARIADOS.....	83
5.3 CLASSE: EDIFICAÇÕES HORIZONTAIS E VERTICAIS.....	89
5.4 CLASSE: EDIFICAÇÕES HORIZONTAIS DE GRANDE PORTE	96
5.5 CLASSE: QUADRA VERTICALIZADA	102
5.6 PARQUES	108
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	114
7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	118

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 Crescimento de longo termo da população mundial, 1750 a 2050.....	11
Figura 3.2.1 – Original	15
Figura 3.2.2 – Leitura	15
Figura 3.4.1 - Exemplo de mapa cadastral.....	19
Figura 3.4.2 - Exemplo de rede	20
Figura 3.4.3 - Exemplo de imagem Raster.....	21
Figura 3.4.4 - Elementos da representação vetorial.....	22
Figura 3.4.5 - Comparação de resolução.....	23
Figura 3.5.1 - Estrutura Geral de Sistemas de Informação Geográfica	25
Figura 3.6.1- Espectro Eletromagnético.....	28
Figura 3.6.2 - Onda Eletromagnética.....	29
Figura 3.6.3 - Distribuição espectral de um radiador pleno/corpo negro na temperatura de 6.000 K e de 300 K	30
Figura 3.6.4 - Curvas de radiação de corpo negro para diversos objetos	33
Figura 3.7.1 - Representação simples da cascata de energia solar total para o sistema Terra-Atmosfera	34
Figura 3.9.1 - Modelos de regressão linear, quadrático e cubico para a relação entre número digital do pixel e temperatura para a banda termal do infravermelho do Landsat 5	38
Figura 3.10.1 - Medição por Sensoriamento Remoto	40
Figura 3.10.2 - Fluxograma de como os dados remotos são transformados em informação útil	42
Figura 3.10.3 - Terminologia de Imagens Digitais	43
Figura 3.11.1 - Expansão urbana da cidade de Tucson no Arizona.....	44
Figura 3.11.2 - Construção de represa em Rondônia e o avanço do desmatamento.....	45
Figura 3.11.3 - Cronologia das missões Landsat.....	45
Figura 3.12.1 - Representação esquemática de uma atmosfera urbana.....	50
Figura 3.12.2 - Secção transversal generalizada de uma típica ilha de calor urbano.....	51
Figura 4.1.1 – Mapa de parcelamento do solo e volumetria construída intraquadra.....	60
Figura 4.1.2 – Ampliação da legenda: Classes do mapa de parcelamento intraquadra	61
Figura 4.1.3 - Croqui de Cenas Landsat 5 utilizadas e Município de São Paulo.....	62
Figura 4.1.4 - Exemplo de Cenas cobertas por nuvens – Verão 2011.....	63
Figura 4.1.5 - Exemplo de mosaico de Imagem.....	64
Figura 4.1.6 - Recorte do município de São Paulo.....	64
Figura 4.2.1 – Mapa de temperatura aparente de superfície para outono ano 2011	67
Figura 4.2.2 – Mapa de temperatura aparente de superfície para inverno ano 2011.....	68
Figura 4.2.3 – Mapa de temperatura aparente de superfície para primavera ano 2011	69
Figura 4.2.4 - Histograma comparativo entre as estações.....	70
Figura 4.3.1 - Exemplo dos planos de informação individual de cada classe temática.....	71

Figura 4.3.2 - Exemplo de cruzamento entre temperatura aparente de superfície e a classe temática.....	73
Figura 5.1.1 – Histograma dos mapas de temperatura aparente de superfície para a classe de edificações horizontais de pequeno porte	76
Figura 5.1.2 – Exemplo de bairro arborizado, no distrito de Santo Amaro 2013.	77
Figura 5.1.3 Croqui para a classe de edificações horizontais de pequeno porte, situação de área arborizada.....	77
Figura 5.1.4 - Exemplo de bairro arborizado, no distrito do Morumbi	78
Figura 5.1.5 - Exemplo de bairro não arborizado, no distrito da Penha	79
Figura 5.1.6 Croqui para a classe de edificações horizontais de pequeno porte, situação de área arborizada.....	79
Figura 5.1.7 – Mapa de temperatura aparente de superfície das edificações horizontais de pequeno porte para o outono de 2011.	80
Figura 5.1.8- Mapa de temperatura aparente de superfície das edificações horizontais de pequeno porte para o inverno de 2011.	81
Figura 5.1.9 - Mapa de temperatura aparente de superfície das edificações horizontais de pequeno porte para a primavera de 2011.	82
Figura 5.2.1- Histograma dos mapas de temperatura aparente de superfície para a classe de edificações horizontais de tipos variados	84
Figura 5.2.2 Exemplo de área com presença de edificações horizontais de tipos variados, no distrito de Belém	84
Figura 5.2.3 Croqui para a classe de edificações horizontais de tipos variados.	85
Figura 5.2.4 Exemplo de área com presença de edificações horizontais de tipos variados, no distrito do Ipiranga	85
Figura 5.2.5 – Mapa de temperatura aparente de superfície das edificações horizontais de tipos variados para o outono de 2011.	86
Figura 5.2.6- Mapa de temperatura aparente de superfície das edificações horizontais de tipos variados para o inverno de 2011.....	87
Figura 5.2.7 - Mapa de temperatura aparente de superfície das edificações horizontais de tipos variados para a primavera de 2011.....	88
Figura 5.3.1 - Histograma dos mapas de temperatura aparente de superfície para a classe de edificações horizontais e verticais	89
Figura 5.3.2 - Exemplo de bairro arborizado e influência das sombras dos prédios, no distrito do Campo Belo.....	91
Figura 5.3.3 Croqui para a classe de edificações horizontais e verticais, para situação com arborização.	91
Figura 5.3.4 - Exemplo de bairro não arborizado e influência das sombras dos prédios, no distrito do Pari	92

Figura 5.3.5 Croqui para a classe de edificações horizontais e verticais, situação não arborizada.	92
Figura 5.3.6 – Mapa de temperatura aparente de superfície das edificações horizontais e verticais para o outono de 2011.	93
Figura 5.3.7- Mapa de temperatura aparente de superfície das edificações horizontais e verticais para o inverno de 2011.....	94
Figura 5.3.8 - Mapa de temperatura aparente de superfície das edificações horizontais e verticais para a primavera de 2011.	95
Figura 5.4.1 - Histograma dos mapas de temperatura aparente de superfície para a classe de edificações horizontais de grande porte	96
Figura 5.4.2 - Exemplo de área com presença de edificações horizontais de grande porte, no distrito de Socorro	97
Figura 5.4.3 Croqui para a classe de edificações de grande porte.	98
Figura 5.4.4 - Exemplo de área com presença de edificações horizontais de grande porte, no distrito de Vila Leopoldina	98
Figura 5.4.5 – Mapa de temperatura aparente de superfície das edificações horizontais de grande porte para o outono de 2011.....	99
Figura 5.4.6- Mapa de temperatura aparente de superfície das edificações horizontais de grande porte para o inverno de 2011.	100
Figura 5.4.7 - Mapa de temperatura aparente de superfície das edificações horizontais de grande porte para a primavera de 2011.	101
Figura 5.5.1 - Histograma dos mapas de temperatura aparente de superfície para a classe de quadra verticalizada.....	102
Figura 5.5.2 - Exemplo de área de quadra verticalizada, notar as áreas de sombras dos prédios, no distrito de Jardim Paulista.....	103
Figura 5.5.3 Croqui para a classe de quadra verticalizada.....	104
Figura 5.5.4 - Exemplo de área de quadra verticalizada, notar as áreas de sombras dos prédios, no distrito de Santa Cecília	104
Figura 5.5.5 – Mapa de temperatura aparente de superfície das quadras verticalizadas para o outono de 2011.....	105
Figura 5.5.6- Mapa de temperatura aparente de superfície das quadras verticalizadas para o inverno de 2011.	106
Figura 5.5.7 - Mapa de temperatura aparente de superfície das quadras verticalizadas para a primavera de 2011.	107
Figura 5.6.1 - Histograma dos mapas de temperatura aparente de superfície para os parques	108
Figura 5.6.2 – Parque do Ibirapuera.	109
Figura 5.6.3 – Parque do Estado.....	110
Figura 5.6.4 Croqui para a classe de parques.	110

Figura 5.6.5 – Mapa de temperatura aparente de superfície dos principais parques para o outono de 2011.	111
Figura 5.6.6- Mapa de temperatura aparente de superfície dos principais parques para o inverno de 2011.	112
Figura 5.6.7 - Mapa de temperatura aparente de superfície dos principais parques para a primavera de 2011.	113
Figura 6.1 – Croqui da diferença entre superfícies superiores e inferiores.	117

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.4.1 Vantagens dos tipos de representação.....	24
Tabela 3.4.2 – Desvantagens dos tipos de representação.....	24
Tabela 3.6.1 - Coeficiente de emissividade (ϵ) para algumas superfícies	31
Tabela 3.11.1 - Data das missões do Landsat	46
Tabela 3.11.2 - Características do sensor do Landsat 5 e 7	47
Tabela 3.13.1 - Classes de parcelamento de solo	53
Tabela 4.3.1 – Classes predominantes	72

1 Introdução

Entre 2011 e 2050, se espera que a população mundial aumente 2,3 bilhões, passando de 7 bilhões para 9,3 bilhões (ONU, 2011). Ao mesmo tempo, a população que vive em áreas urbanas tem um aumento projetado de 2,6 bilhões ou 72%, passando de 3,6 bilhões em 2011 para 6,3 bilhões em 2050. (ONU, 2011). O que irá levar a mais da metade da população mundial vivendo em áreas urbanas (ONU, 2012). Este crescente aumento no nível de urbanização é causado pelo crescimento natural da população urbana e migração da população rural em direção as cidades. (UNEP, 2000).

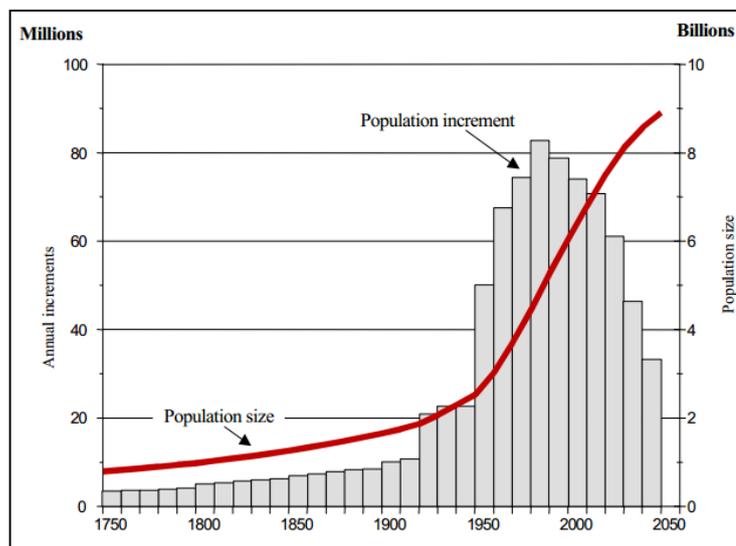


Figura 1 Crescimento de longo termo da população mundial, 1750 a 2050
FONTE: United Nations Environment Programme - UNEP, 2000.

Embora tais cenários raramente sejam confirmados, as cidades são um importante objeto de estudo devido a quantidade de pessoas que nelas habitam e uma fonte infindável de temas de pesquisas nas mais diversas áreas científicas.

Uma delas em particular é a que trata sobre a modificação do clima nas áreas urbanas, segundo OKE¹, o processo de urbanização produz mudanças radicais na natureza da superfície e nas propriedades atmosféricas de uma

¹ OKE, 1978, p. 240

região, que envolve a transformação das características radiativas, termais, de umidade e aerodinâmicas.

OKE² ressalta que o clima urbano não possui repercussão negativa a nível planetário, permanecendo somente no nível local. As diversas interações dentro do sistema urbano e a forma como a cidade é constituída, em seus diferentes tipos de materiais e formatos a transforma em um mosaico de diferentes tipos de temperatura.

Nesse aspecto o município de São Paulo, é um objeto de estudo representativo por possuir uma área urbanizada e heterogênea de 968,3248 km² o que representa 63% da superfície total de 1.528,5 km²³ sendo a maior área urbana do país.

Dentre o que foi exposto, uma das possíveis abordagens para a análise de temperatura de grandes áreas é a utilização de sensores remotos, notadamente os de satélite, por permitirem adquirir informações de diversas bandas espectrais, em especial, no infravermelho termal.

Outra parte fundamental é conhecer o tipo morfologia urbana existente e como este, se relaciona com a resposta espectral do sensor do satélite ao coletar a informação da superfície.

Para este fim, serão utilizados as informações geradas do Laboratório "Quadro de Paisagismo no Brasil" (QUAPÁ) da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU) da Universidade de São Paulo (USP) inserido no projeto que tem como objetivo, compreender as principais relações processuais contemporâneas entre sistemas de espaços livres e forma urbana das cidades brasileiras (QUAPÁ, 2013) e dentre os vários objetivos específicos um deles se insere na questão do macro clima de forma a analisar a relação de possíveis padrões existentes entre os espaços livres, forma urbana e o clima.

Assim sendo, para realizar as conversões, análises espaciais, cruzamentos necessários e consolidar estas informações será utilizado o Sistemas de Informação Geográfica.

² Idem, p. 241.

³ <http://www.urbanizacao.cnpm.embrapa.br/conteudo/uf/sp.html>

2 Objetivo

Este trabalho é um ensaio, que tem como objetivo, propor uma análise entre a interação da temperatura aparente de superfície obtida por sensores remotos com os tipos de parcelamento do solo e volumetria construída intraquadra na cidade de São Paulo oriundos do projeto desenvolvido pelo QUAPÁ.

3 Revisão bibliográfica

3.1 Climas de São Paulo

A metrópole Paulistana está localizada numa latitude aproximada de 23°21' S e longitude de 46° 44' O, junto ao trópico de Capricórnio, o que implica em uma realidade climática de transição, entre os Climas Tropicais Úmidos de Altitude, com período seco definido, e aqueles subtropicais, permanentemente úmidos, do Brasil meridional. (MONTEIRO, 1973)

A análise dos espaços climáticos "naturais" do Município de São Paulo, é o resultado de uma análise realizada por TARIFA e ARMANI, como artifício analítico, para a:

Busca de uma identidade climática simplificada, nascida da correlação entre os atributos e os controles climáticos (oceano, relevo, altitude, declividade, orientação e ventos), procurando definir limites no espaço. Cada unidade climática "natural", em diferentes níveis de hierarquia (local, meso e topoclimático) guarda estreita relação com as várias superposições temporais: anuais, sazonais, diárias (dia-noite). Em outras palavras, existem momentos ou durações em que os "fenômenos e os ritmos urbanos" se impõem, mas existem outros onde os "ritmos dos ciclones extratropicais ou das brisas oceânicas" são dominante, nesse tipo de interação. (TARIFA e ARMANI, 2001, p.34)

A cidade de São Paulo está inserida num contexto de terras altas (predominantemente entre 720 e 850 metros), chamada Planalto Atlântico. A topografia desse planalto apresenta as mais variadas feições, tais como planícies aluviais (várzeas), colinas, morros, serras e maciços com diversas orientações. A poucos quilômetros de distância (45km em média) encontra-se o Oceano Atlântico. Esse quadro físico define um conjunto de controles climáticos que, em interação com a sucessão habitual dos sistemas atmosféricos, irão dar identidade aos

climas locais, produzidos pelo encadeamento de diferentes tipos de tempo. (TARIFA e ARMANI, 2001, p.38)

Além dos aspectos físicos existe os aspectos da natureza das estruturas existentes na cidade de São Paulo que são influenciadas pela:

Trajectoria do Sol (movimento aparente) e as variações diurnas e noturnas dos ventos, associadas à orientação das ruas, praças, avenidas, edificações baixas, prédio altos, criam um "desenho" ou uma superfície topológica, criam volumes, rugosidades, materiais, inclinações e exposições redefinindo os topoclimas urbanos. As trocas de radiação e do vento, externas e internas são fundamentais para se compreender o aquecimento-resfriamento e a qualidade do ar nesses volumes cada vez mais próximos da superfície do solo e dos lugares onde o homem vive, trabalha e produz socialmente (microclimas urbanos). (TARIFA e ARMANI, 2001, p.50)

Estes aspectos são fundamentais para a compressão da diversidade de climas locais existentes dentro da cidade de São Paulo, dentro do contexto deste ensaio.

3.2 Geoprocessamento

Segundo, Peuquet e Marble *et al.*⁴ nós vivemos em um mundo que é basicamente espacial em sua natureza e estamos acostumados, a passar por uma série de rotinas, para lidar com as suas complexas interações. Ou seja, vivemos em um lugar no espaço, estudamos, trabalhamos, em outro e o caminho que percorremos é influenciado por estes pontos e suas interações.

Desde os primórdios da humanidade a localização sempre teve importância fundamental para os humanos, por exemplo, onde estão os locais de caça, os locais de coleta de frutas, onde são as áreas de água potável e assim por diante. Para isso,

o homem vem utilizando-se da confecção de mapas como meio de armazenamento de conhecimentos sobre a superfície terrestre, tendo como finalidade principal mas, muito principalmente, administrar e

⁴ PEUQUET, 1993, p.30.

racionalizar o uso do espaço geográfico envolvente. (DUARTE, 2006, p.19)

E com essa necessidade de administrar, racionalizar o espaço e de armazenar esse conhecimento, teve o início da cartografia. Os primeiros mapas foram confeccionados em barro, como exemplo, o mapa da Ga-Sur (Figura 3.2.1 e Figura 3.2.2) - um dos mapas considerados mais antigos que se tem conhecimento -, que tem uma datação aproximada entre 2.500 a 4.500 a.C. Até começarem a serem utilizados outros tipos de materiais, como o papiro e o papel, que por séculos foi a maneira utilizada para representar graficamente a superfície terrestre.

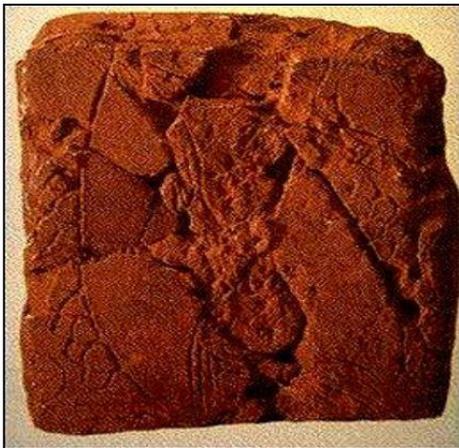


Figura 3.2.1 – Original - FONTE: Oliveira (1987, p. 17)

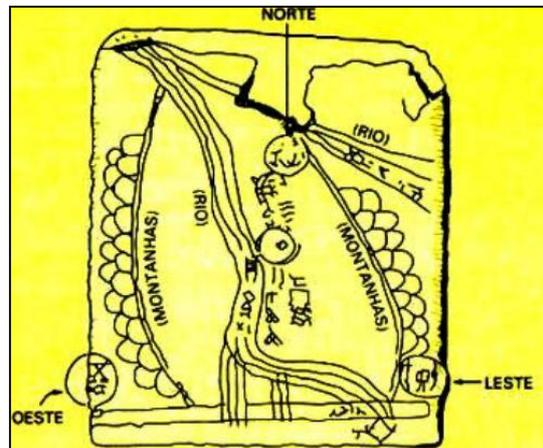


Figura 3.2.2 – Leitura - FONTE: Raisz (1969, p.9)

Em cada estágio de nossa evolução tecnológica e científica os mapas tiveram uma importância diferente, segundo LOCH⁵, “verifica-se que os mapas antigos eram vistos como veículos de orientação no espaço geográfico”. A sua principal função era indicar o “onde”, o “que” e como chegar. Mas “com a evolução humana e também da cartografia, o mapa passou a ser considerado também como uma forma de comunicação de dados e no decorrer de seu avanço como um instrumento de visualização científica”⁶, criando novas necessidades

⁵ LOCH, 2006. p.35

⁶ Idem.

para representar o espaço geográfico. Conjuntamente com o avanço computacional da segunda metade do século passado, tornou-se possível armazenar e representar as informações – antes em mapas analógicos – em ambiente computacional.

Essas novas necessidades vindas das mais diversas áreas e disciplinas, fizeram com que o volume e tipos de dados aumentassem.

O conhecimento da distribuição espacial dos recursos naturais terrestres, da população e outras características ligadas a eles exigiam cada vez mais o desenvolvimento de métodos de levantamento para efetuar o inventário (observar, medir, classificar e registrar) bem como o mapeamento dos dados. O homem se deparou com problemas relativos ao levantamento de dados e a falta de ferramentas matemáticas para descrever quantitativamente as variações espaciais (LOCH, 2006, p.92).

É nesse contexto que segundo Câmara⁷, surge o Geoprocessamento.

O termo Geoprocessamento denota a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica e que vem influenciando de maneira crescente as áreas de Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Transportes, Comunicações, Energia e Planejamento Urbano e Regional. As ferramentas computacionais para Geoprocessamento, chamadas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados geo-referenciados. Tornam ainda possível automatizar a produção de documentos cartográficos. (CÂMARA e DAVIS, 2000, p.1)

3.3 Sistemas de informação geográfica

Segundo Longley⁸ *et al.* existem controvérsias sobre a história do SIG (Sistemas de Informação Geográfica), pois houve diversos desenvolvimentos paralelos na América do Norte, Europa e Austrália. Mas que se pode considerar como um dos primeiros SIG em sua real concepção, o que foi desenvolvido no Canadá nos anos 60, o "*Canada Geographic Information System*" ou CGIS, que

⁷ CÂMARA, 2000, p.1

⁸ LONGLEY, 2007, p. 25.

foi um esforço maciço do Governo do Canadá em realizar um inventário dos recursos naturais existentes e potenciais no país.

Inicialmente foi pensado como uma ferramenta tabular de dados, mais do que uma ferramenta de mapeamento. Como complementa Câmara⁹, os recursos computacionais eram excessivamente caros, bem como a mão-de-obra altamente especializada. Onde cada interessado precisava desenvolver seus próprios programas, resultando em longo tempo de desenvolvimento e alto custo.

Neste contexto, com o desenvolvimento dos computadores na década de 70, aliada a redução no custo de *hardware*, resultou na ampliação da oferta de ferramentas computacionais para trabalho com geoprocessamento, foi então que, segundo Câmara¹⁰, a expressão *Geographic Information System* (GIS) foi criada, onde o processo de mapeamento, atualização e manipulação de informações geográficas de diversas fontes para análises espaciais conjuntas dentro de um sistema, tornou-se um processo rápido, confiável e rotineiro.

Por outro lado, segundo Silva¹¹, uma questão muito importante na utilização dos SIGs é que eles não garantem a certeza e segurança de que o produto final tenha a solução mais correta. Pois no caso de não haver um controle de qualidade do banco de dados, nas técnicas e operações utilizadas, o resultado do trabalho, não terá utilidade. Assim, Silva¹² complementa, "o resultado final será um mapa talvez extremamente colorido, capaz de impressionar, mas, na prática, nada mais será que um mapa sem significado".

3.4 Definições de SIG

O SIG é uma tecnologia que se desenvolveu paralelamente aos avanços da informática. Aliado a isso, as possibilidades de aplicação do SIG nas mais diversas áreas do conhecimento, fez com que surgissem diversos tipos de

⁹ CÂMARA, 2000, p2.

¹⁰ *Idem*, 2000, p2.

¹¹ SILVA, 2003 p.28.

¹² *Idem*, p.28.

conceitos sobre o SIG. Silva destaca as 17 definições de SIG mais comumente encontradas na literatura, que ao se analisar em conjunto, pode-se esboçar uma definição mais completa:

Os SIGs necessitam usar o meio digital, portanto o uso intensivo da informática é imprescindível; deve existir uma base de dados integrada, estes dados precisam estar geo-referenciados e com controle de erro; devem conter funções de análises destes dados que variem de álgebra cumulativa (operações do tipo soma, subtração, multiplicação, divisão etc.) até álgebra não cumulativa (operações lógicas) (SILVA, 2003, p.45)

No SIG temos os seguintes tipos de dados:

- Dados temáticos;
- Dados cadastrais;
- Redes;
- Modelos numéricos de terreno; e,
- Imagens.

Dados temáticos

Os dados temáticos, segundo Câmara¹³ “descrevem a distribuição espacial de uma grandeza geográfica, expressa de forma qualitativa, como os mapas de pedologia e a aptidão agrícola de uma região”. Complementando a definição sobre os dados temáticos, Cote¹⁴, adiciona que “simbolizam feições de acordo com o seu atributo” e, “esses atributos podem ser qualitativos ou quantitativos.”. Nessas duas categorias Loch¹⁵, completa que o qualitativo “tem por objetivo principal mostrar a distribuição espacial ou localização de algum fenômeno geográfico” e o quantitativo “mostra os aspectos espaciais de dados numéricos”, ou seja, a sua quantidade presente neste fenômeno geográfico.

¹³ CÂMARA, 2000, p.7.

¹⁴ COTE, acessado em 2012.

¹⁵ LOCH, 2006. p.48.

Dados cadastrais

Cada elemento de um dado cadastral é um objeto geográfico, que tem em sua estrutura um ou mais atributos que são armazenados em um banco de dados e que está associada a representações vetoriais. Câmara¹⁶ exemplifica da seguinte maneira, “os lotes de uma cidade são elementos do espaço geográfico que possuem atributos (dono, localização, valor venal, IPTU devido, etc.) e que podem ter representações gráficas diferentes em mapas de escalas distintas.”.

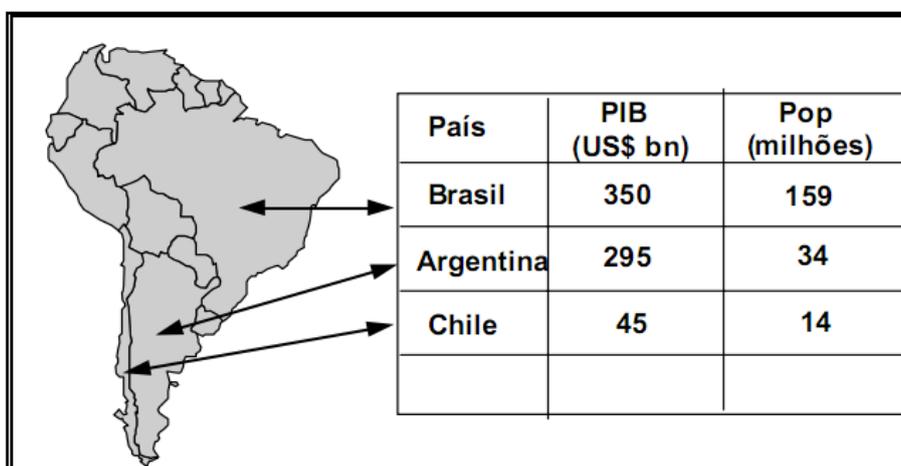


Figura 3.4.1 - Exemplo de mapa cadastral - FONTE: Câmara, 2001

Redes

O conceito de rede abrange as informações vetoriais interligadas entre si que possuem atributos que as descrevem, segundo Câmara¹⁷, “denota as informações associadas a, serviços de utilidade pública (luz, água e telefone), redes de drenagem (bacias hidrográficas) e rodovias”. Câmara também completa que:

As informações gráficas de redes são armazenadas em coordenadas vetoriais, com topologia arco-nó: os atributos de arcos incluem o sentido de fluxo e os atributos dos nós sua impedância (custo de percorrimento). A topologia de redes constitui um grafo, que

¹⁶ CÂMARA, 2000, p.7

¹⁷ Idem, p8.

armazena informações sobre recursos que fluem entre localizações geográficas distintas. (Câmara, 2001)

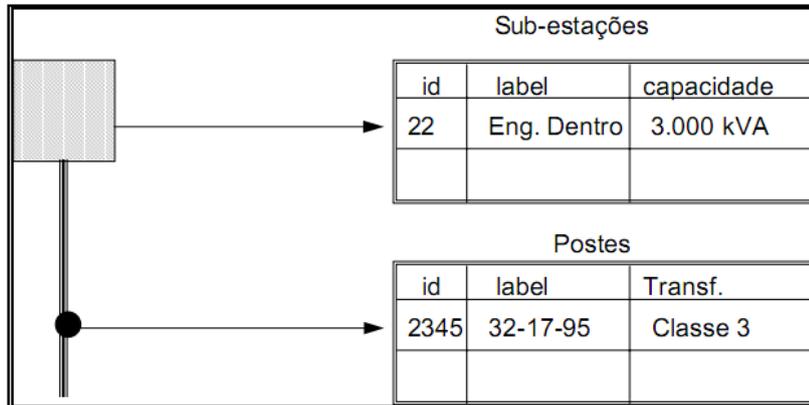


Figura 3.4.2 - Exemplo de rede FONTE: Câmara, 2001

Modelo numérico de terreno

O modelo numérico de terreno (MNT) é utilizado para representar informações quantitativas distribuídas no espaço. Câmara complementa que o modelo numérico de terreno:

pode ser definido como um modelo matemático que reproduz uma superfície real a partir de algoritmos e de um conjunto de pontos (x, y), em um referencial qualquer, com atributos denotados de z, que descrevem a variação contínua da superfície. (Câmara, 2001, p.10)

É utilizado principalmente para representar a altitude, mas também é utilizado para representação contínua de informações, como análises de solos, clima, temperatura, hipsometria, variáveis geofísicas e geoquímicas, poluição etc.

Imagens

As imagens são uma das principais formas de inserir informações em um ambiente de sistemas de informações geográficas. Podem ser adquiridas de diversas fontes, tais como: imagens de satélite, fotografias aéreas, digitalização de cartas ou mapas etc.

Segundo Câmara¹⁸, “Pela natureza do processo de aquisição de imagens, os objetos geográficos estão contidos na imagem, sendo necessário recorrer a técnicas de fotointerpretação e de classificação para individualizá-los.”.

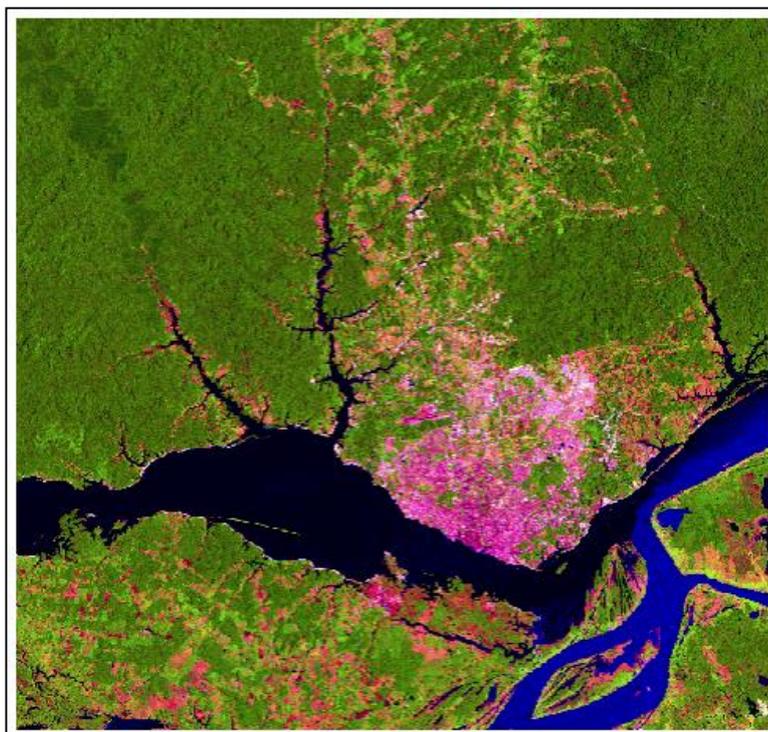


Figura 3.4.3 - Exemplo de imagem Raster FONTE: Câmara, 2001.

No SIG temos os seguintes tipos de representação:

- Vetorial;
- Matricial (Raster).

3.4.1 Vetorial

A representação vetorial segundo Burrough¹⁹, “é uma tentativa de representar o objeto o mais exato possível” do mundo real. São representados por um ou mais pares de coordenadas em um plano cartesiano, sendo consideradas três entidades gráficas: ponto, linha e polígono.

¹⁸ Idem, p.10.

¹⁹ Burrough, 1986, P.13.

Ponto

Segundo Burrough²⁰, a entidade ponto pode ser considerada por abranger todas as entidades geográficas e gráficas que estão posicionadas por um simples par XY de coordenadas, além disso, esse ponto deverá ter o seu atributo para indicar que tipo ele é.

Linha

A entidade linha é definida por todo segmento linear que possua duas ou mais coordenadas. Segundo Câmara²¹, "são um conjunto de pontos conectados", assim como a entidade ponto, deverá ter o seu atributo indicado.

Polígono

O polígono é uma entidade definida por um conjunto de linhas conectadas, de tal forma que o último ponto de uma linha seja idêntico ao primeiro da próxima (Câmara, 2001, p.19), ou seja, os pares de coordenadas inicial e final são os mesmos (Silva, 2003, p. 130), criando uma possível área.

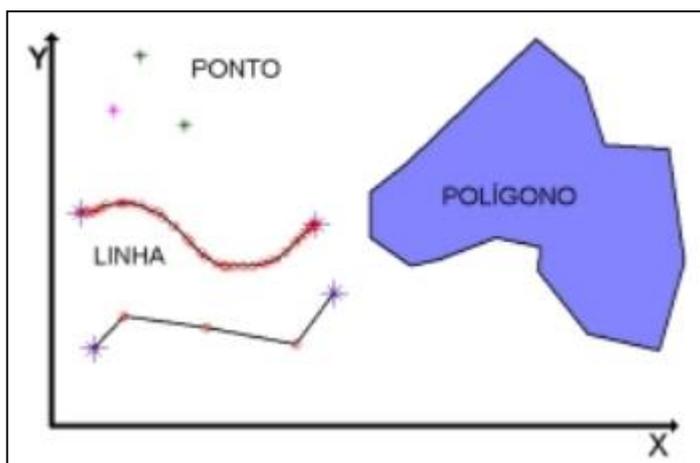


Figura 3.4.4 - Elementos da representação vetorial FONTE: Câmara, 2001

²⁰ Idem, p.14.

²¹ Câmara, 2001, p. 19.

3.4.2 Matricial (Raster)

A representação matricial ou "*Raster*" consiste numa matriz de células, chamadas de *pixel*, onde cada célula desta matriz é referenciada por um número de linha e coluna, além de conter um número que representa o tipo ou valor do atributo mapeado (Burrough, 1986 p.20). Câmara complementa que

A representação matricial supõe que o espaço pode ser tratado como uma superfície plana, onde cada célula está associada a uma porção do terreno. A resolução do sistema é dada pela relação entre o tamanho da célula no mapa ou documento e a área por ela coberta no terreno. (Câmara, 2001, p.17).

Na Figura 3.4.5, podemos observar que as células possuem direntes tamanhos, ou seja, diferentes resoluções, que determina a quantidade de informação disponível e tamanho do arquivo para armazenamento, quanto maior a resolução (mapa B), mais informação e espaço para armazenamento e quanto menor a resolução (mapa A), haverá menor informações e espaço para armazenar.

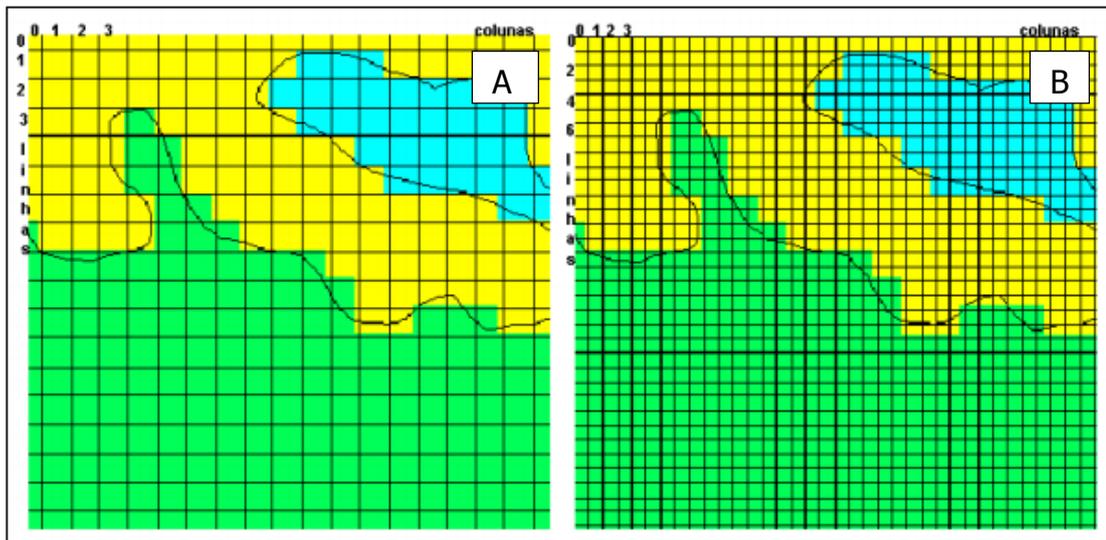


Figura 3.4.5 - Comparação de resolução FONTE: Câmara, 2001.

3.4.3 Comparação (vetorial e matricial)

A forma de representação vetorial e matricial são as mais importantes ao se trabalhar com o SIG, Câmara compara da seguinte maneira:

Para a produção de cartas e em operações onde se requer maior precisão, a representação vetorial é mais adequada. As operações de álgebra de mapas são mais facilmente realizadas no formato matricial. No entanto, para um mesmo grau de precisão, o espaço de armazenamento requerido por uma representação matricial é substancialmente maior. (Câmara, 2001, p.25)

Cada forma de representação possui sua característica específica, com sua vantagem e desvantagem de uso, à decisão de qual utilizar, depende principalmente do objetivo da análise, escala, análise empregada, material disponível e capacidade de armazenamento. Na Tabela 3.4.1 e Tabela 3.4.2 é possível observar as vantagens e desvantagens de cada modelo.

Tabela 3.4.1 Vantagens dos tipos de representação	
Representação Matricial	Representação Vetorial
Estrutura simples de dados	Estrutura compacta de dados
Operação de superposição	Codificação de topologia eficaz
Representação eficiente de variabilidade espacial	Facilidade de associar atributos a elementos gráficos
Operações matemáticas com precisão	Gráficos precisos
Operações de modelagem e simulação facilitadas	Recuperação, atualização e generalização de gráficos e de atributos

FONTE: Silva (2003), Câmara (2000) e Burrough (1986).

Tabela 3.4.2 – Desvantagens dos tipos de representação	
Representação Matricial	Representação Vetorial
Volume grande de dados para armazenamento	Estrutura complexa de dados
Dificuldade de representação topológica	Dificuldade na capacidade de simulação de dados, pois cada entidade tem uma forma topológica diferente

Resoluções muito baixas, resultam em perda de informação	Análises espaciais e filtros com polígonos não são possíveis
Associação dos atributos apenas a classes do mapa	Operações de superposição são difíceis de serem implementadas
Mapas em representação matricial podem não ser esteticamente agradáveis	

FONTE: Silva (2003), Câmara (2000) e Burrough (1986).

3.5 Estrutura de um SIG

Em uma visão abrangente, pode-se dizer que um SIG é composto por cinco componentes, que se relacionam de forma hierárquica (Câmara, 2001, p.3). Como se pode observar na Figura 3.5.1.

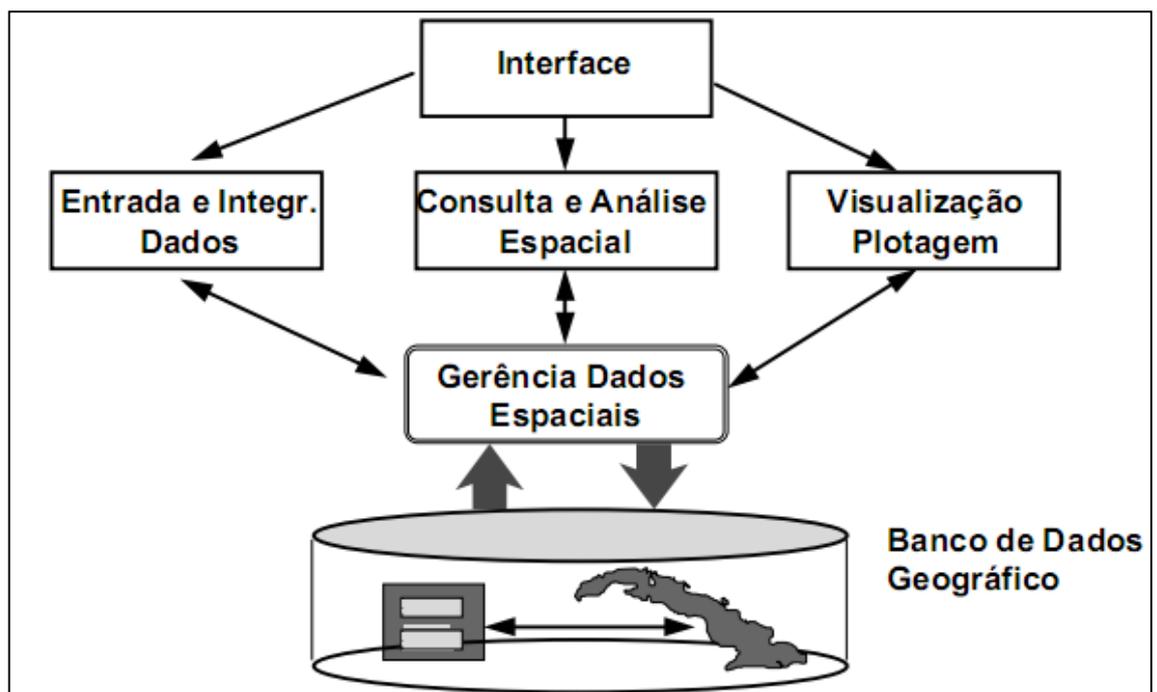


Figura 3.5.1 - Estrutura Geral de Sistemas de Informação Geográfica FONTE: Câmara, 2001

- **Entrada de dados:** Segundo Burrough²², a entrada de dados cobre, além dos dados digitais já disponíveis, todos os aspectos de transformar os

²² Burrough, 1986, p. 23.

dados capturados na forma de mapas analógicos, observações de campo e de sensores (incluindo fotografias aéreas, satélites e outros sensores) em uma forma digital compatível.

- **Interface:** define como o sistema será operado e controlado, por meio da interface homem-máquina (Câmara, 2001, p.4).
- **Consulta e análise espacial:** Segundo Burrough²³, engloba operações para remover erros dos dados inseridos no sistema ou para combina-los com outras informações. Também é onde uma larga gama de métodos de análise pode ser aplicada de forma a alcançar o objetivo das análises.
- **Visualização e plotagem:** Segundo Burrough²⁴, trata-se da forma que a informação e os resultados serão visualizados ao usuário. Podendo ser apresentado em forma de mapas, tabelas ou figuras (gráficos) em uma variedade de opções de saída, tais como impressora, plotters, vídeo e a internet.
- **Banco de dados geográfico:** conjunto de arquivos estruturados, de forma a facilitar o acesso a algumas informações que descrevem determinadas entidades do mundo real. (Moreira, 2001 *apud* Senatore, 2006).

²³ Idem, 30

²⁴ Idem, 31.

3.6 Radiação eletromagnética

Energia é a capacidade de realizar trabalho. Neste processo, frequentemente a energia é transferida de um corpo a outro ou de um lugar a outro. (JENSEN, 2009. p.39). Existem três formas básicas de transferência de energia:

- **Condução:** transferência de energia cinética de um corpo (molécula ou átomo) a outro pelo contato;
- **Convecção:** transferência de energia cinética dos corpos por meio de sua movimentação física;
- **Radiação:** a energia se propaga sem a necessidade de um meio material, ou seja, é a única que pode ocorrer no vácuo, através da rápida oscilação de campos eletromagnéticos.

Dentre estas três formas de transferências de energia, duas são de grande importância para os estudos do clima, a convecção e a radiação. Especialmente a radiação, como sendo única forma de transmissão de energia no vácuo, o que permite transmitir energia do Sol para a Terra, onde a entrada exclusiva de energia do sistema Terra-Atmosfera (E-A) é feita pela radiação emitida pelo Sol (OKE, 1983, p.9).

São conhecidas radiações com comprimento de onda que variam desde 10^{-10} cm (raios gama) até 10^7 cm (ondas longas de rádio). Ao conjunto de todas elas denomina-se espectro eletromagnético (VAREJÃO-SILVA, 2006 p.179) Na Figura 3.6.1 é possível observar os intervalos do espectro eletromagnético.

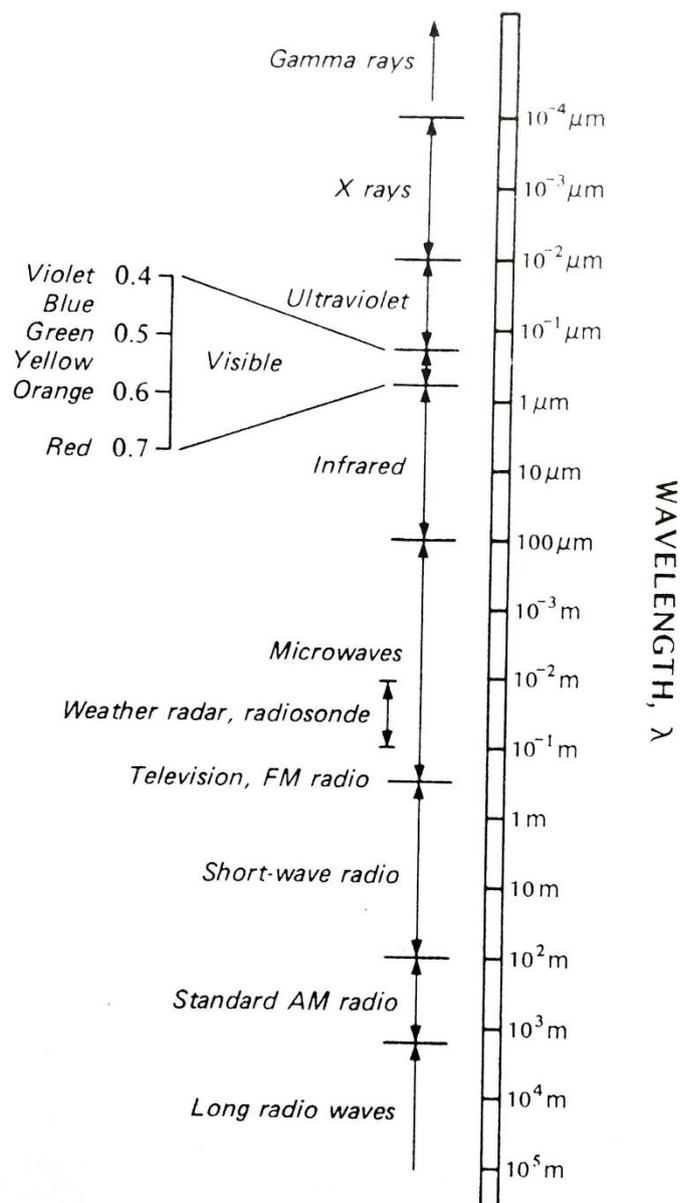


Figura 3.6.1- Espectro Eletromagnético FONTE: OKE, 1983.

O Sol emite radiação em praticamente todos os comprimentos de onda, embora 99,9% da energia vinda do Sol se situem na faixa compreendida entre 0,15 e 4,0 μ de comprimento de onda, conhecida como domínio da radiação solar (VAREJÃO-SILVA, 2006 p.180.)

Uma outra questão importante é que, dentro desse intervalo, cerca de 52% da radiação solar que atinge a superfície da Terra está na faixa espectral do infravermelho (ondas curtas), 44% na do visível e 4% na do ultravioleta (LEMON, 1965 apud VAREJÃO-SILVA 2006 p.180).

Conforme OKE, todos os corpos que possuem energia (por exemplo, aqueles que estão acima do zero absoluto 0K ou -273,16°C) emitem radiação, nesse caso inclui água, solo, rocha, vegetação e a própria superfície do sol.

A onda eletromagnética consiste de dois campos flutuantes – um elétrico e outro magnético, ortogonais entre si, desloca-se a velocidade da luz c . (JENSEN, 2009, p.41). Como se pode observar na Figura 3.6.2

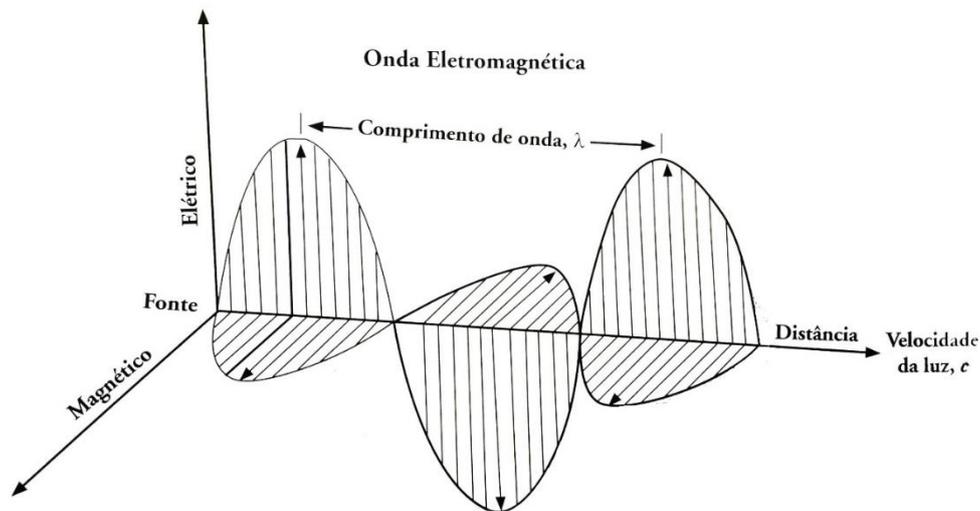


Figura 3.6.2 - Onda Eletromagnética FONTE: JENSEN, 2009

JENSEN faz uma breve explicação de como uma onda eletromagnética é criada:

Radiação eletromagnética é gerada toda vez que uma carga elétrica é acelerada. O comprimento de onda (λ) da radiação eletromagnética depende da duração do tempo pelo qual a partícula carregada é acelerada. Sua frequência (ν) depende do número de acelerações por segundo. O *comprimento de onda* é formalmente definido como a distância média entre dois máximos (ou mínimos) consecutivos de um padrão grosseiramente periódico e é normalmente medido em micrômetros (μm) ou nanômetros (nm). *Frequência* é o número de comprimentos de onda que passam por um ponto por unidade de tempo. Uma onda envia uma crista a cada segunda (completando um ciclo) é dita como tendo uma frequência de um ciclo por segundo. Ou *hertz*, abreviado como 1 Hz. (JENSEN, 2009. P. 40)

Podemos ver o Sol como um *corpo negro*²⁵ ou *radiador pleno* a 5.770-6.000K, um objeto que a dada temperatura emite o máximo possível de radiação por unidade de área de superfície em uma unidade de tempo e também absorve. (OKE, 1983 e JENSEN, 2009) Mas que este é um modelo apenas conceitual, pois não existe na natureza, um corpo absorvente perfeito. (VAREJÃO-SILVA, 2006 p. 173)

A relação entre a quantidade de radiação emitida por um corpo negro, e o comprimento de onda desta radiação a uma temperatura é dada pela Lei de Planck. (OKE, 1983 p. 9). Na Figura 3.6.3, é possível observar a forma gráfica desta lei, onde mostra a distribuição espectral da radiação de um radiador pleno como uma curva. A forma consiste de um único pico de emissão em relação a um comprimento de onda (λ_{max}), que decresce com o aumento do comprimento de onda. (OKE, 1983 p. 9).

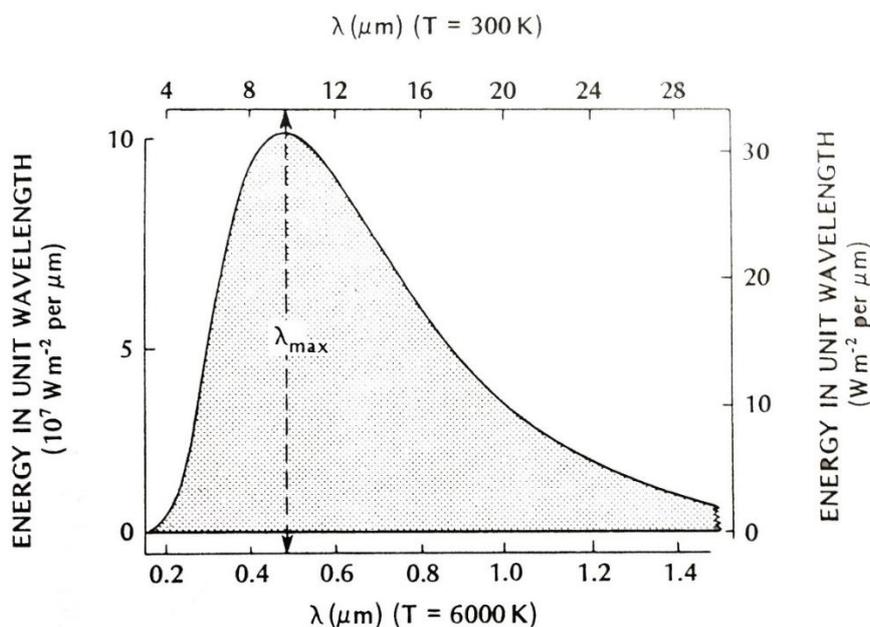


Figura 3.6.3 - Distribuição espectral de um radiador pleno/corpo negro na temperatura de 6.000 K e de 300 K FONTE: OKE, 1983

A forma desta curva é tão característica que a curva de Planck em diferentes escalas, descreve o espectro de emissão de um corpo negro a 300 K (Terra) e a 6.000 K (Sol). Na Figura 3.6.4, é possível observar as curvas de

²⁵ O corpo negro absorve toda a radiação eletromagnética que é incidido nele, mas são corpos que emitem radiação, sendo possível determinar a sua temperatura.

radiação de corpo negro para diversos objetos. A área representada sobre a curva pode ser utilizada para determinar o total de radiação emitida por um corpo negro (M_λ) emanado de cada objeto/corpo, sendo à base da *Lei de Stefan-Boltzmann*:

$$M_\lambda = \sigma T_0^4$$

Onde σ é a constante de proporcionalidade de Stefan-Boltzmann = $5,670 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$, e T_0 a temperatura da superfície do corpo (K). Se o corpo não é um corpo negro (corpo cinza), a equação poderá ser reescrita incluindo o coeficiente da emissividade da superfície (como exemplo a Tabela 3.6.1 mostra alguns coeficientes para algumas superfícies):

$$M_\lambda = \epsilon \sigma T_0^4$$

Tabela 3.6.1 - Coeficiente de emissividade (ϵ) para algumas superfícies

Superfícies Diversas	ϵ	Superfícies de Folhas	ϵ
água	0,92 a 0,96	algodão	0,96 a 0,97
areia molhada	0,95	cana	0,97 a 0,98
areia seca	0,89 a 0,90	feijão	0,93 a 0,94
gelo	0,82 a 0,995	fumo	0,97 a 0,98
solo molhado	0,95 a 0,98	milho	0,94 a 0,95

FONTE: SALLERS (1965); MONTHEHITH (1975) apud VEREJÃO-SILVA, 2006.

Segundo OKE,

a energia da emissão dada essas equações é o fluxo de energia ($\text{J s}^{-1} = \text{W}$) de uma unidade de área (m^2) de uma superfície plana no hemisfério sobrejacente. O Fluxo por unidade de área é denominado de densidade de fluxo (Wm^{-2}). Em um típico intervalo de temperatura encontrado no sistema Terra-Atmosfera (-15 a 45°C) a diferença de um 1 K resulta na mudança na emissão da densidade de fluxo radiativo de 4 para 7 Wm^{-2} . (OKE, 1983 p.10)

No processo de aumento de temperatura do corpo, seu comprimento de onda dominante (λ_{MAX}) se desloca em direção aos menores comprimentos de onda do espectro (JENSEN, 2009, p.257). Podendo ser atribuído a *Lei de deslocamento de Wien*, onde:

$$\lambda_{MAX} T_0 = 2,88 \times 10^{-3} \text{ ou } \lambda_{MAX} = \frac{2,88 \times 10^{-3}}{T_0}$$

Com λ_{MAX} em metros e T_0 em K. Disso podemos dizer que:

Fisicamente esta equação revela que, quanto maior a temperatura da superfície emissora, mais se aproximará do ultravioleta o comprimento da radiação emitida com maior intensidade. Caso a temperatura da superfície emissora venha a diminuir esse deslocamento acontecerá na direção do infravermelho. Daqui se infere que, qualquer corpo luminoso que venha progressivamente a se resfriar, deixará de emitir luz visível. (VAREJÃO-SILVA, 2006. P. 177)

Com isso, podemos determinar o comprimento de onda dominante λ_{MAX} , como o Sol se aproxima de um corpo negro a 6.000 K o comprimento de onda dominante (λ_{MAX}) é de 0,483 μm , conforme equação abaixo:

$$0,483 \mu\text{m} = \frac{2,88 \times 10^{-3} \text{ K}}{6.000 \text{ K}}$$

E para determinar o comprimento de onda dominante λ_{MAX} para Terra, que se aproxima de um corpo negro a 300 K, resultaria em um comprimento de onda dominante de aproximadamente 9,66 μm :

$$9,66 \mu\text{m} = \frac{2,88 \times 10^{-3} \text{ K}}{300 \text{ K}}$$

Os comprimentos de onda da radiação solar abrangem de 0,15 μm (ultravioleta) a até 3 μm (infravermelho próximo), enquanto o sistema Terra-Atmosfera, estende de 3 μm a até aproximadamente 100 μm . (OKE, 1983 p.11).

Nesta base atmosférica, cientistas designaram a radiação observada na seguinte intervalo 0,15 a 3,0 μm como *ondas-curtas* ou *radiação solar*, e o que se encontra no intervalo de 3,0 a 100 μm como radiação de *onda longa*.

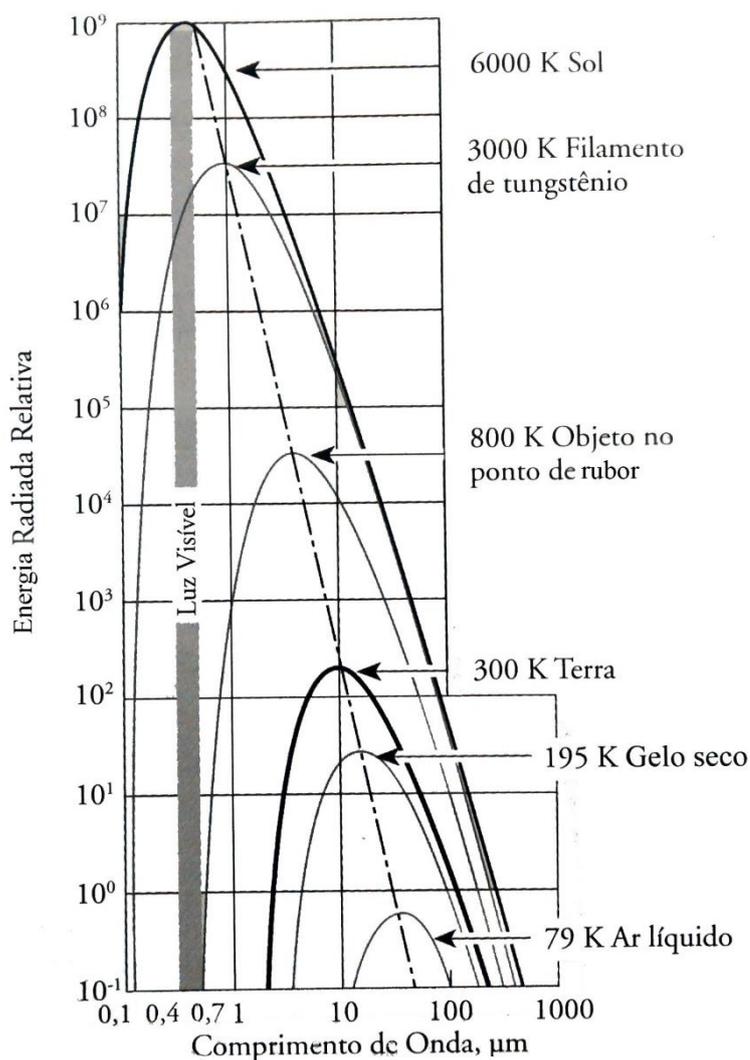


Figura 3.6.4 - Curvas de radiação de corpo negro para diversos objetos FONTE: JENSEN, 2009.

A radiação incidente sobre um corpo deve também ser transmitida através desse corpo, ou por reflexão de sua superfície, ou ser absorvido. Neste último caso, resulta em retenção de energia. (OKE, 1978 p.11).

3.7 Sistema Terra-Atmosfera

Segundo OKE²⁶, o sistema Terra-Atmosfera é um sistema fechado. Isso significa que é fechado para importação ou exportação de massa, mas permite

²⁶ OKE, 1978, p.12.

troca de energia com o exterior (Espaço sideral), como se pode observar na Figura 3.7.1.

Dentro deste sistema, no momento de entrada da energia solar, uma parte é perdida pelo espalhamento e reflexão das partículas que compõem a atmosfera, nuvens e parte da superfície terrestre. Esta quantidade refletida está vinculada ao tipo de albedo (α_{T-A}) do sistema Terra-Atmosfera. O total de energia refletida é dado por $K_{EX}(\alpha_{T-A})$ o restante é armazenado como energia e depois emitida como radiação de onda longa $L^*_{(T-A)}$.

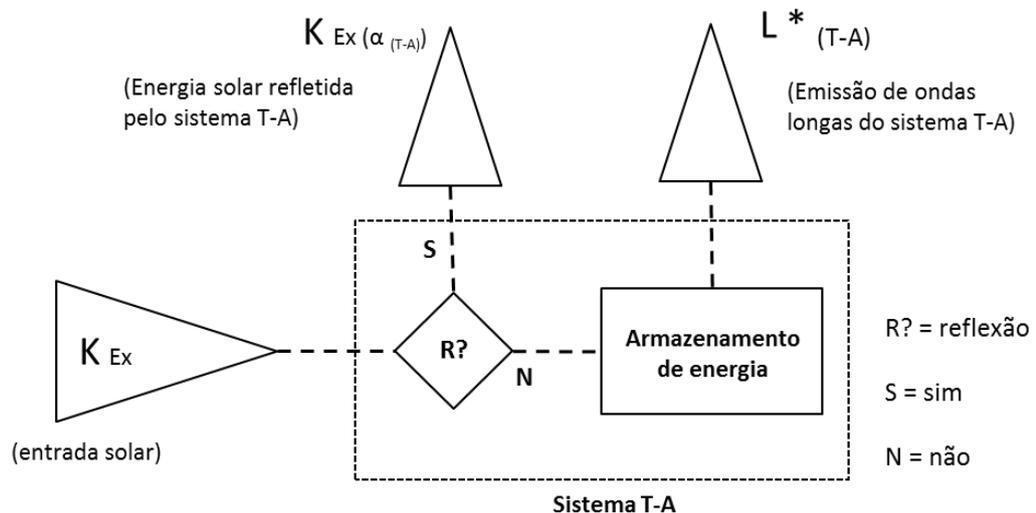


Figura 3.7.1 - Representação simples da cascata de energia solar total para o sistema Terra-Atmosfera FONTE: OKE, 1983 adaptado pelo autor.

3.8 Infravermelho Termal - Ondas longas

Historicamente atribui-se o descobrimento da porção infravermelha do espectro eletromagnético é Sir Frederick William Herschel (1738-1822):

Em 1800, Herschel criou um espectro de cores usando um prisma e mediu as diferentes partes do espectro com um termômetro para ver se algumas cores eram mais quentes que outras. À medida que movia o termômetro em direção à porção do vermelho do espectro, a temperatura aumentava. Pareceu-lhe razoável mover o termômetro um pouco além do final do final do vermelho para ver se o efeito de

aquecimento desaparecia. Não desaparecia. Ao contrário, a temperatura continuava a subir além do final do vermelho do espectro. Herschel chamou esta região do espectro "abaixo do vermelho" (Omega, 2005 apud JENSEN, 2009 p. 252)

Após Herschel, inúmeros outros cientistas se dedicaram a encontrar uma forma de detectar melhor esta radiação, S. P. Langley em 1879, S.O. Hoffman, na primeira guerra mundial, dentre outros. Mas após um tempo, o sensoriamento remoto na região do infravermelho termal, se tornou uma informação valiosa para os meios militares, ao possibilitar a aquisição de imagens durante a noite. Os sensores tiveram primeiramente seu uso exclusivamente dedicado ao setor militar, e posteriormente foram liberados ao público civil, onde os sensores são utilizados em inúmeras aplicações.

Como apresentado, todos os objetos tendo temperatura acima do zero absoluto que é 0 K ou $-273,16^{\circ}\text{C}$ apresentam movimento de suas partículas, que é denominado de *calor cinético*.

Quando essas partículas colidem, elas mudam seu estado de energia e emitem radiação eletromagnética (...) A quantidade de calor pode ser medida em *calorias*. Podemos medir a temperatura cinética verdadeira (T_{kin}) ou concentração desse calor usando um termômetro. (JENSEN, 2009. P. 254)

Esse calor cinético interno de um objeto é convertido em energia radiante, o que permite com que sensores remotos possam captar essa energia.

A radiação eletromagnética deixando um objeto é chamada de fluxo radiante (Φ) e é medido em Watts. A concentração da quantidade de fluxo radiante deixando (emitido por) um objeto é a sua temperatura radiante (T_{rad}). Para a maioria dos objetos do mundo real (exceto para aqueles compostos de vidro e metal), geralmente há uma alta correlação positiva entre a temperatura cinética verdadeira do objeto (T_{kin}) e a quantidade de fluxo radiante radiado pelo objeto (T_{rad}). (JENSEN, 2009. P255)

3.9 Fórmulas de conversão

Existem várias equações utilizadas para estimar a temperatura da superfície terrestre, utilizando os valores de radiância de banda do infravermelho

termal dos satélites (Landsat, CBERS, entre outros) e outros em conjunto com outras variáveis como se pode observar nos trabalhos de Malaret et al (1984), Qin *et al* (2001) e Sobrino e Jiménez-Muñoz *et al* (2004).

Relação entre radiância e temperatura

Uma das equações possíveis de ser utilizada é a relação entre radiância (número digital do *pixel*) e temperatura, desenvolvida em 1984 pela equipe do laboratório para aplicações de sensoriamento remoto da Universidade de Purdue, em West Lafayette, Indiana, onde conduziu-se um estudo para a Administração Nacional da Aeronáutica e do Espaço (NASA), para análise da qualidade de dados dos satélites Landsat 4 e 5 (que será detalhado no item 3.11), dentre os estudos realizados, cabe destacar o teste do sensor termal do Landsat 5 e o seu procedimento de calibração dentro de uma região pré-definida, que consistiu em estabelecer uma relação entre o resultado da temperatura de radiância da água obtida pelo satélite com as temperaturas de referência conhecidas obtidas *in loco*, em sete pontos distintos, cinco pontos no lago Michigan e dois pontos no lago de resfriamento da usina nuclear de Dresden (MALARET, 1984).

Com os dados de radiância obtida pelo satélite, adicionados dos de temperaturas de referência conhecidas das amostras dos lagos, utilizou-se equações de regressão para melhor ajustar a equação para a relação de radiância e temperatura.

Segundo Malaret:

A relação entre radiância e temperatura, para intervalos de temperatura maior que 10 Kelvin não é linear; para tanto um ajuste quadrático e cubico foram derivados para converter o número digital em temperatura da banda infravermelha termal do TM-5²⁷. (Bartolucci et al. Apud Malaret, 1984).

Na Figura 3.9.1 é possível observar de forma ilustrativa, as curvas dos modelos quadráticos e cubico. A equação do modelo quadrático é dado na seguinte expressão:

²⁷ TM-5 faz referência ao satélite Landsat 5, que será detalhado no item 3.11

Modelo quadrático

$$T = 209,831 + 0,834 \text{ DN} - 0,00133 \text{ DN}^2$$

Já a expressão da equação do modelo cubico é dado por:

Modelo Cubico

$$T = 206,127 + 1,0545 \text{ DN}^2 - 0,00371 \text{ DN} + 6,606\text{E-}6 \text{ DN}^3$$

Onde:

T = temperatura aparente em Kelvin (K)

DN = *digital number* ou número digital de cada *pixel*

Segundo Malaret:

Ambos os modelos, quadrático e cubico, podem ser usados para converter os números digitais da banda infravermelha termal do TM-5 em temperatura radiante. Entretanto, depende do intervalo de temperatura em questão, um ou outro modelo (quadrático ou cubico) será melhor para determinado dados. (Bartolucci et al. Apud Malaret, 1984)

E a temperatura resultante T em Kelvin é convertida em graus Celsius com a subtração do valor por 273,16K.

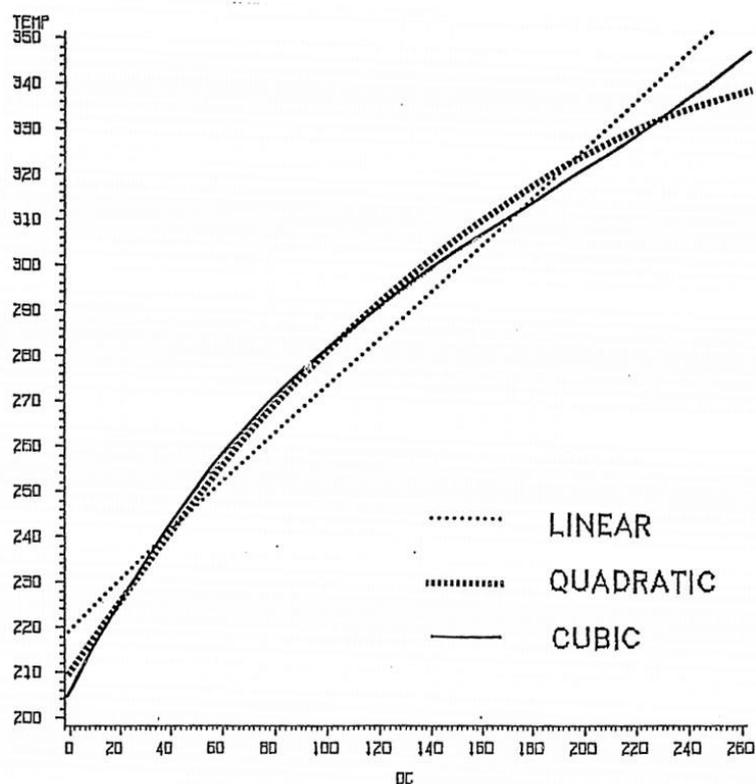


Figura 3.9.1 - Modelos de regressão linear, quadrático e cúbico para a relação entre número digital do pixel e temperatura para a banda termal do infravermelho do Landsat 5 FONTE: MALARET, 1984

3.10 Sensoriamento Remoto

Neste tópico será tratado sobre o sensoriamento remoto, sua origem, conceitos, aplicações e formas de aquisição e uso dos dados em linhas gerais.

A coleta de dados é um dos pontos mais importantes da ciência, é por meio dela, que são realizadas medições e posteriormente a formulação de hipóteses.

Uma das formas de coleta de dados é a *in situ*, que envolve o pesquisador ir a campo e pessoalmente coletar os dados do fenômeno de interesse, por exemplo, pode ser por meio de entrevistas e aplicações de questionários ou na utilização de equipamentos ou dispositivos que possam coletar os dados.

A outra forma de coleta de dados é por meio de Sensoriamento Remoto, que é a coleta de informação de algum fenômeno (objeto ou área geográfica) à distância.

Teve sua origem, com a utilização de câmaras fotográficas acopladas a aeronaves suborbitais, tais como balões e aviões. Com o avanço tecnológico houve atualizações e variações na definição do que seria sensoriamento remoto, podemos utilizar a seguinte definição do que seria sensoriamento remoto e que foi adotada pela *American Society for Photography and Remote Sensing* (ASPRS) em 1988:

Fotogrametria e sensoriamento remoto são a arte, ciência e tecnologia de obter informação confiável sobre objetos físicos e o ambiente por meio do processo de registro, medição, e interpretação de imagens e representações digitais dos padrões de energia derivados de sistemas sensores sem contato físico (Colwell, 1997 apud JENSEN 2009, p. 3)

Como se pode observar na Figura 3.10.1, existem várias formas de medição por sensoriamento remoto, podemos trabalhar com plataformas suborbitais, como aviões ou helicópteros, bem como plataformas orbitais como os satélites.

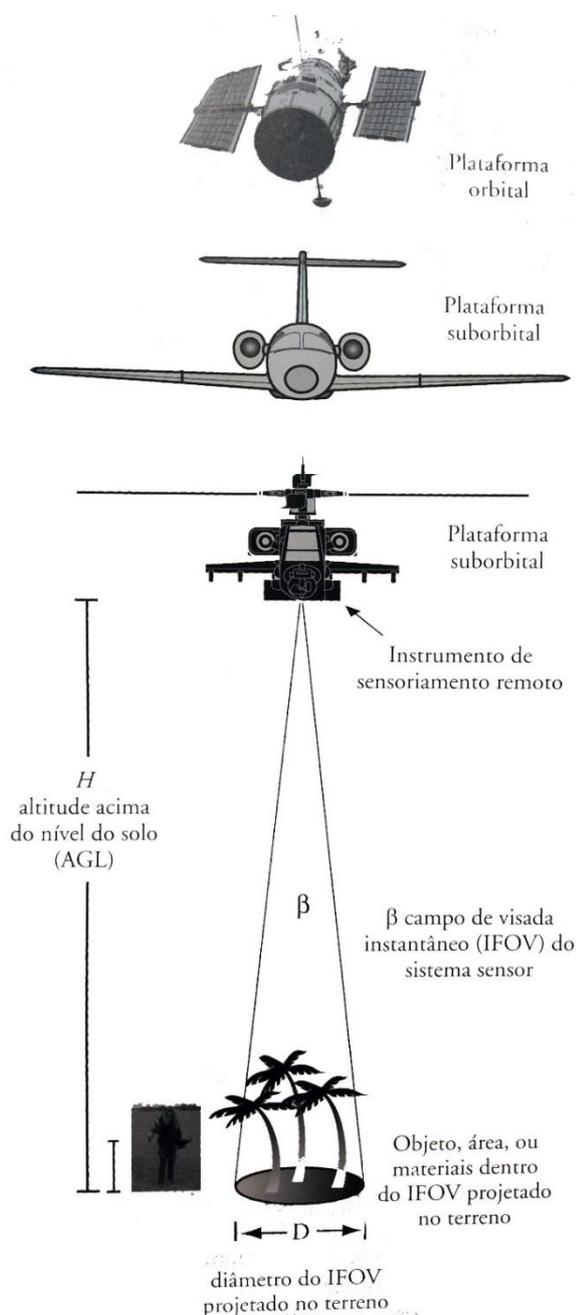


Figura 3.10.1 - Medição por Sensoriamento Remoto FONTE: JENSEN, 2009.

Existem duas formas de coleta de dados de sensoriamento remoto, a saber:

- **Sensor passivo:** registra a radiação eletromagnética que é refletida ou emitida pelo terreno (Shippert, 2004). Como exemplo, podemos citar câmaras, ou escâneres multiespectrais.

- **Sensor ativo:** segundo Jensen²⁸, cobrem o terreno com energia eletromagnética gerada pelo próprio equipamento, e depois registram a quantidade de fluxo radiante espalhado de volta em direção ao sensor.

No presente ensaio, iremos utilizar os sensores passivos, pois o objetivo é captar a radiação eletromagnética de onda longa emitida pela superfície do terreno e das estruturas.

O sensoriamento remoto também apresenta suas vantagens e desvantagens em seu uso. Em relação às vantagens, conforme JENSEN:

O sensoriamento remoto é não intrusivo se o sensor estiver registrando passivamente a energia eletromagnética refletiva ou emitida pelo fenômeno de interesse. Está é uma consideração muito importante, uma vez que o *sensoriamento remoto passivo* não perturba o objeto ou a área de interesse. (JENSEN, 2009. p.8)

Outro aspecto distinto é que o sensoriamento remoto, diferentemente das ciências de cartografia ou do SIG que utilizam dados, em sua grande maioria de terceiros, a ciência do sensoriamento remoto assemelha-se ao levantamento, fornecendo informação básica que outras ciências podem usar ao conduzirem investigações científicas. (JENSEN, 2009, p.9), como outra vantagem é a obtenção de informações de grandes áreas geográficas de forma sistemática ao invés de coletas individuais e pontuais de dados.

E como desvantagens em relação ao sensoriamento remoto, podemos citar:

O sensoriamento remoto não é uma panaceia que fornecerá todas as informações necessárias à condução das pesquisas físicas, biológicas ou das ciências sociais. Ele simplesmente provê alguma informação espacial, espectral e temporal de valor, de uma forma que esperamos que seja eficiente e econômica. (JENSEN, 2009. p.9)

²⁸ JENSEN, 2009. p.9

Além disso, como desvantagens, podemos citar a falta de calibração nos sensores, interpretação errônea por parte do analista, utilização de técnica intrusiva que podem afetar o fenômeno em estudo e por fim, o alto custo de aquisição das imagens e posterior análise.

Sistemas multiespectrais de sensoriamento remoto

Os sistemas multiespectrais de sensoriamento remoto registram a energia refletida ou emitida de um objeto ou área de interesse em múltiplas bandas do espectro eletromagnético. (JENSEN, 2009. P. 195)

Na Figura 3.10.2, podemos observar como funcionam os processos da captura de dados, processamento e saída final para uso.

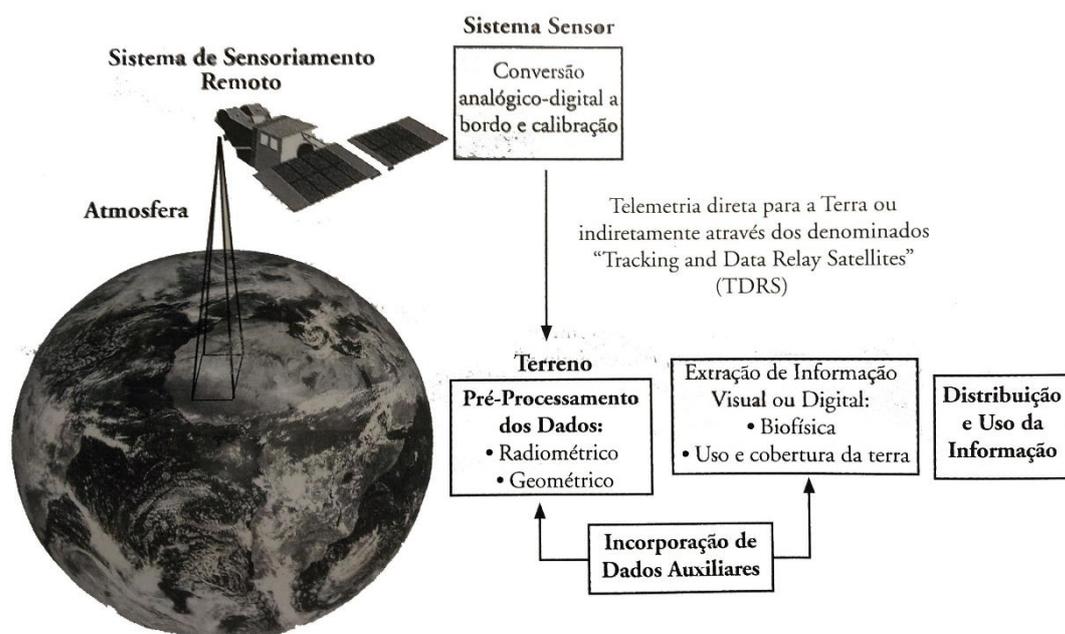


Figura 3.10.2 - Fluxograma de como os dados remotos são transformados em informação útil
FONTE: JENSEN, 2009 p. 196.

Primeiro o sensor remoto capta a energia eletromagnética do fenômeno em estudo, esta energia é registrada como um sinal elétrico, que é convertido para sinal digital, posteriormente os dados são transmitidos para a terra por telemetria até uma estação receptadora (de acordo com o caso e aplicação), após o recebimento do sinal, passa-se por um pré-processamento dos dados (radiométrico ou geométrico) para melhor visualização e por fim, é realizada a

distribuição ao público, onde se poderá extrair informações, como por exemplo: cobertura do terreno ou biofísica.

Os dados digitais dos sensores remotos são normalmente armazenados como uma matriz (arranjo) de números. Cada valor digital está localizado em uma linha (i) e coluna (j). (JENSEN, 2009 p. 196), como se pode observar na Figura 3.10.3 como é constituída uma imagem digital de um sensor remoto.

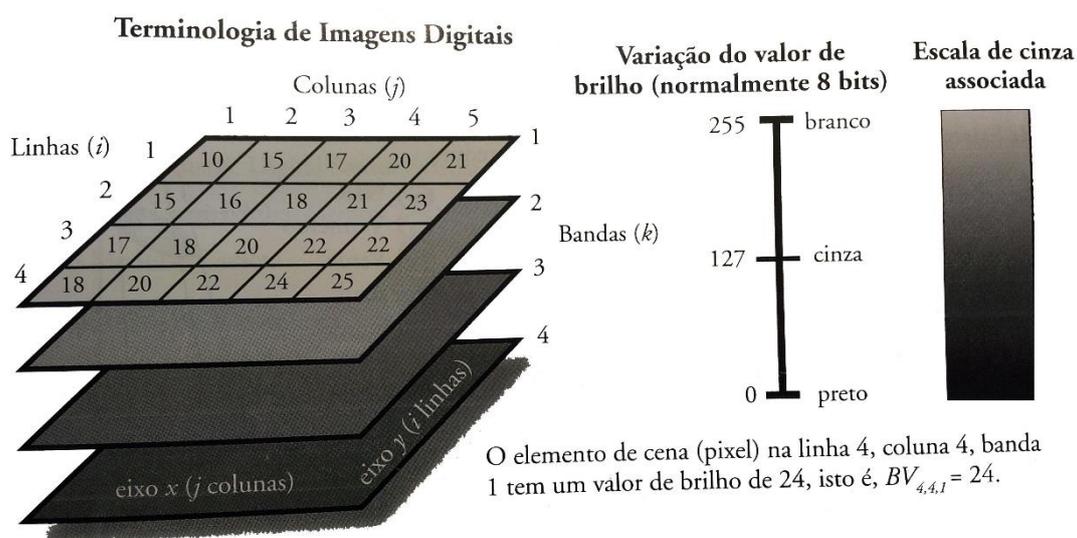


Figura 3.10.3 - Terminologia de Imagens Digitais FONTE: JENSEN, 2009. p.197.

O *Pixel* é definido como um elemento de cena bidimensional que constitui o menor elemento não divisível de uma imagem digital. (JENSEN, 2009). Cada *pixel* possui uma localização, linha (i), coluna (j) e um valor de brilho (VB) associado a ele. Este valor também pode ser denominado de número digital (*digital number - DN*). Ressalta-se que o tamanho deste *pixel* é utilizado para determinar a resolução espacial, que é a capacidade do sensor de distinguir objetos na superfície terrestre, sendo expressa também em termos do seu campo instantâneo de visada ou IFOV ("*instantaneous field of view*")

A aquisição de dados pode ser realizada por x bandas e para cada banda (k) haverá esta informação de pixel e DN, que é resultado de um imageamento multiespectral.

Existe uma imensa variedade de sensores remotos multiespectrais, mas que não é o objetivo deste ensaio abordar, para isso, será focado no sensor

remoto que será a fonte de dados para o projeto, que é um dos satélites do Programa *Landsat*.

3.11 Programa *Landsat*

O programa *Landsat*, representa o mais duradouro projeto contínuo de aquisição de dados de sensoriamento remoto de média resolução do mundo (USGS, 2013), com mais quatro décadas de imageamento da terra, provendo informações únicas sobre agricultura, geologia, florestas, planejamento regional, mapeamentos e pesquisas sobre mudanças globais.

Como exemplo, podemos observar a Figura 3.11.1, onde é possível comparar a expansão urbana da cidade de Tucson no Arizona (mancha em roxo), com essas informações podem-se realizar diversos estudos, tais como: quantificar a área do crescimento; quantificar a redução de área verde; delimitar novas classes de uso e ocupação do solo; analisar a diferença de temperatura aparente de superfície nos dois momentos; tendências de expansão, dentre outros.

Ou na Figura 3.11.2, onde é possível acompanhar e quantificar a área de desmatamento (áreas em branco) e a área ocupada pelo lago da represa (área negra). Informações úteis para o planejamento de recomposição de áreas e monitoramento de desmatamento.

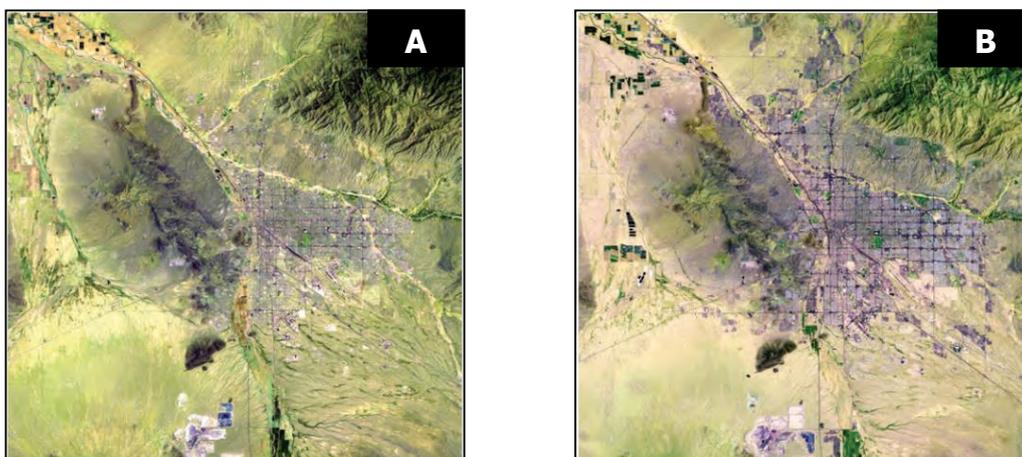


Figura 3.11.1 - Expansão urbana da cidade de Tucson no Arizona.
A imagem da esquerda "A" foi adquirida em 26 de maio de 1984. A Imagem da direita "B" foi adquirida em 21 de maio de 2011 FONTE: USGS, 2013.



Figura 3.11.2 - Construção de represa em Rondônia e o avanço do desmatamento. A imagem da esquerda "A" foi adquirida em 24 de junho de 1984. A Imagem "B" da direita foi adquirida em 6 de agosto de 2011. FONTE: USGS, 2013.

O programa *Landsat*, é uma iniciativa conjunta entre o serviço geológico americano (*U.S. Geological Survey* – USGS) e a agência espacial norte americano (NASA), para o fornecimento contínuo e rotineiro, de imagens da superfície terrestre a partir do espaço. Teve seu início com em 23 de julho de 1972, com o lançamento do *Landsat 1*, e desde então foi sucedido por outras 7 missões, como se pode observar nas

Figura 3.11.3 e na Tabela 3.11.1.

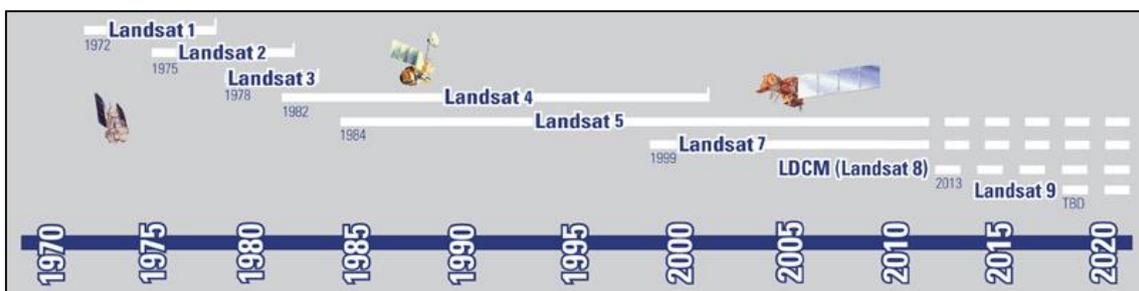


Figura 3.11.3 - Cronologia das missões Landsat FONTE: USGS, 2013.

Tabela 3.11.1 - Data das missões do Landsat

Satélite	Lançamento	Desativação
Landsat 1	23 de julho de 1972	6 de janeiro de 1978
Landsat 2	22 de janeiro de 1975	27 de julho de 1983
Landsat 3	5 de março de 1978	7 de setembro de 1983
Landsat 4	16 de julho de 1982	15 de junho de 2001
Landsat 5	1 de março de 1984	5 de junho de 2013
Landsat 6	5 de outubro de 1993	Não chegou na órbita
Landsat 7	15 de abril de 1999	Operacional
Landsat 8	11 de fevereiro de 2013	Operacional

FONTE: USGS, 2013.

Cada satélite *Landsat*, coleta uma imagem da superfície terrestre, com uma cena de 185 x 185 km, movendo em órbita descendente de norte a sul, sobre o lado iluminado da terra. Os satélites cruzam o mesmo ponto na terra quase que na mesma hora, uma vez a cada 16 ou 18 dias dependendo da latitude.

Os satélites *Landsat*, possuíam diferentes conjuntos de sensores, cada um com suas características, capazes de coletar dados de diferentes comprimentos de ondas, cada um com suas especificidades.

Em 11 de fevereiro de 2013, foi lançado com sucesso o *Landsat Data Continuity Mission* (LDCM), também conhecido como *Landsat 8*, que tem como objetivo, continuar com o fornecimento de imagens da superfície terrestre de modo contínuo e rotineiro.

Landsat 5

O *Landsat 5*, foi o satélite que por mais tempo realizou o monitoramento da terra, foram 29 anos orbitando a terra, passando em muito o tempo de vida projetado de 3 anos que ele teria. Desenvolvido pela NASA e lançado em 1984, o *Landsat 5*, orbitou mais de 150.000 vezes a terra e transmitiu mais de 2,5 milhões de imagens das condições da sua superfície.

Em 21 de dezembro de 2011, foi anunciado o fim da missão *Landsat 5*, após a falha de um de seus giroscópios, encerrando o seu grande ciclo de aquisição de dados.

Na Tabela 3.11.2 é possível observar as características dos sensores do *Landsat 5 e 7*.

Tabela 3.11.2 - Características do sensor do Landsat 5 e 7

Banda	Intervalo espectral (μm)	Principais características e aplicações das bandas <i>TM</i> e <i>ETM</i> dos satélites LANDSAT 5 e 7
1 (azul)	(0,45 - 0,52)	Apresenta grande penetração em corpos de água, com elevada transparência, permitindo estudos batimétricos. Sofre absorção pela clorofila e pigmentos fotossintéticos auxiliares (carotenóides). Apresenta sensibilidade a plumas de fumaça oriundas de queimadas ou atividade industrial. Pode apresentar atenuação pela atmosfera. Fornece suporte para análises de uso da terra, solo e características de vegetação.
2 (verde)	(0,52 - 0,60)	Apresenta grande sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão, possibilitando sua análise em termos de quantidade e qualidade. Boa penetração em corpos de água. Também cobre a região entre as bandas de absorção pela clorofila no azul e no vermelho e responde à refletância da vegetação sadia no verde.
3 (vermelho)	(0,63 - 0,69)	A vegetação verde, densa e uniforme, apresenta grande absorção, ficando escura, permitindo bom contraste entre as áreas ocupadas com vegetação (ex.: solo exposto, estradas e áreas urbanas). Apresenta bom contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetal (ex.: campo, cerrado e floresta). Permite análise da variação litológica em regiões com pouca cobertura vegetal. Permite o mapeamento da drenagem através da visualização da mata galeria e entalhe dos cursos dos rios em regiões com pouca cobertura vegetal. É a banda mais utilizada para delimitar a mancha urbana, incluindo identificação de novos loteamentos. Permite a identificação de áreas agrícolas.
4 (infravermelho próximo)	(0,76 - 0,90)	Os corpos de água absorvem muita energia nesta banda e ficam escuros, permitindo o mapeamento da rede de drenagem e delineamento de corpos de água. A vegetação verde, densa e uniforme, reflete muita energia nesta banda, aparecendo bem clara nas imagens. Apresenta sensibilidade à rugosidade da copa das florestas (dossel florestal). Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo a obtenção de informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia. Serve para análise e mapeamento de feições geológicas e estruturais. Serve para separar e mapear áreas ocupadas com <i>pinus</i> e <i>eucalipto</i> . Serve para mapear áreas ocupadas com vegetação que foram queimadas. Permite a visualização de áreas ocupadas com macrófitas aquáticas (ex.: aguapé).

Tabela 3.11.2 - Características do sensor do Landsat 5 e 7 (continuação)

		Permite a identificação de áreas agrícolas. Também é útil para realçar contrastes entre solo/cultura e terra/água.
5 (infravermelho médio – SWIR)	(1,55 - 1,75)	Apresenta sensibilidade ao teor de umidade e quantidade de água nas plantas, servindo para observar estresse na vegetação, causado por desequilíbrio hídrico e também de sua vigor. Esta banda sofre perturbações em caso de ocorrer excesso de chuva antes da obtenção da cena pelo satélite. Também pode ser utilizada para discriminar entre nuvens, neve e gelo.
6 (infravermelho termal)	(10,4 - 12,5)	Essa banda mede a quantidade de energia radiante infravermelha emitida das superfícies. A temperatura aparente é uma função da emissividade e da temperatura verdadeira (cinética) da superfície. Apresenta sensibilidade aos fenômenos relativos aos contrastes térmicos, servindo para detectar propriedades termais de rochas, solos, vegetação e água.
7 (infravermelho médio ou infravermelho de ondas curtas)	(2,08 - 2,35)	Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo obter informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia. Esta banda serve para identificar minerais com íons hidroxilas. Potencialmente favorável à discriminação de produtos de alteração hidrotermal.

FONTE: INPE, 2013 e Jensen, 2009.

O *Landsat 5*, possui resolução de 30m para as bandas, 1, 2, 3, 4, 5 e 7 e para a banda 6 termal possui resolução de 120m.

O *Landsat 5*, é o que possui o acervo de imagens mais próximo do mapeamento realizado pelo QUAPÁ no período de 2011, dentre os satélites *Landsat*, e por isso será utilizado no trabalho. A banda 6, termal, do *Landsat 5*, será utilizada para se obter a temperatura aparente de alvos de superfície por meio de cálculos de conversão de radiância em temperatura.

3.12 Modificação do clima em áreas urbanas

As cidades como importante objeto de estudo e pela quantidade de pessoas que nelas habitam, é uma fonte infindável de temas de pesquisas nas mais diversas áreas científicas. Uma delas em particular é a modificação do clima através das áreas urbanas, segundo OKE²⁹, o processo de urbanização produz mudanças radicais na natureza da superfície e nas propriedades atmosféricas de uma região, isso envolve a transformação das características radiativas, termais, de umidade e aerodinâmicas. OKE utilizada os seguintes exemplos, mas que não foram totalmente provados:

O aparente inevitável aumento da poluição do ar afeta a transferência de radiação, e fornece núcleos adicionais em torno dos quais gotículas de nuvem podem se formar; utilização de matérias densas na construção urbana faz o sistema um melhor armazenador de calor; a impermeabilização da superfície; a geometria em bloco cria possibilidade do aprisionamento da radiação e estagnação do ar, e torna a superfície muito rugosa; e o calor e água lançados a partir da "perda" das atividades humanas que complementa com as fontes naturais de calor e água no sistema urbano. (OKE, 1983 p. 240)

Com esses exemplos fica claro que as áreas urbanas são as que maiores representam uma modificação do clima em nível local. Para isso OKE ainda complementa:

Isso faz com que o estudo dos climas urbanos duplamente importantes; primeiro para garantir um agradável e saudável ambiental para os habitantes do meio urbano, e segundo para ver que os efeitos da urbanização não possuem repercussões climáticas prejudiciais em grande escala (até mesmo planetário). (OKE, 1983 p. 240)

Ou seja, o urbano não interfere no clima global, ficando os efeitos do clima que são percebidos pelos seus habitantes restrito ao nível local. Na Figura 3.12.1 é possível observar uma representação esquemática da atmosfera urbana.

²⁹ OKE, 1978, p. 240

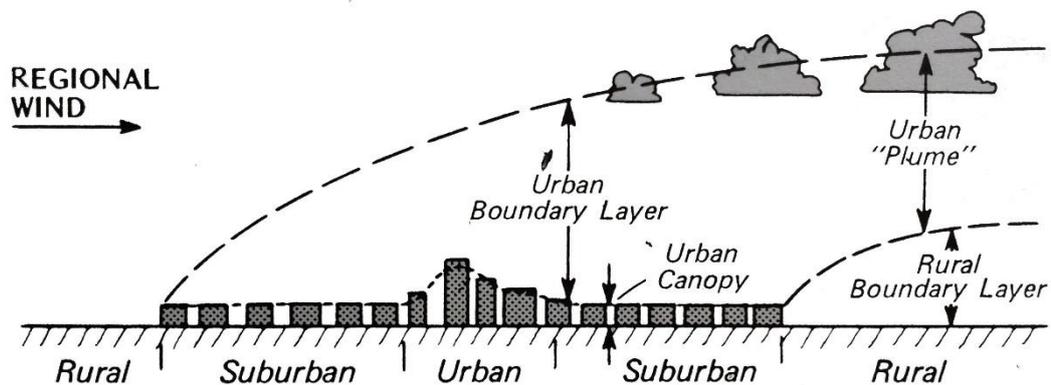


Figura 3.12.1 - Representação esquemática de uma atmosfera urbana ilustrando uma classificação de duas camadas para a modificação urbana FONTE: OKE, 1983.

Segundo OKE

a camada limite urbana (*urban boundary layer*), que está baseado no nível do telhado, é um fenômeno local para meso-escala, cujas características são governadas em geral pela natureza da "superfície" urbana. Abaixo do nível do telhado está a dossel urbano (*urban canopy layer*), que é produzido por processos em microescala operando nas ruas (*canyons*) entre as construções. O clima é uma amálgama de microclimas no qual cada um dos quais é dominado pelas características de suas imediações. (OKE, 1983 p. 241).

Esta mistura de elementos que interagem dentro do sistema urbano, aliado com a forma da constituição da cidade, pode criar efeitos de aumento da temperatura, conhecido como "ilha de calor urbano", cabe ressaltar que o fenômeno de ilha de calor é desenvolvido no período noturno e em situação "ideal" de ventos fracos e de poucas nuvens, conforme OKE. Outro ponto importante a ressaltar é a existência da ilha de calor negativa:

a causa da ilha de calor negativa durante o dia, necessita de mais trabalho, mas sua ocorrência pode estar restrita a cidade com cânions profundos e estreitos em seu centro. Isso significaria que ao nível da rua está quase que continuamente sombreado. (Idem p. 258).

Na Figura 3.12.2 podemos observar uma seção transversal generalizada de uma típica ilha de calor.

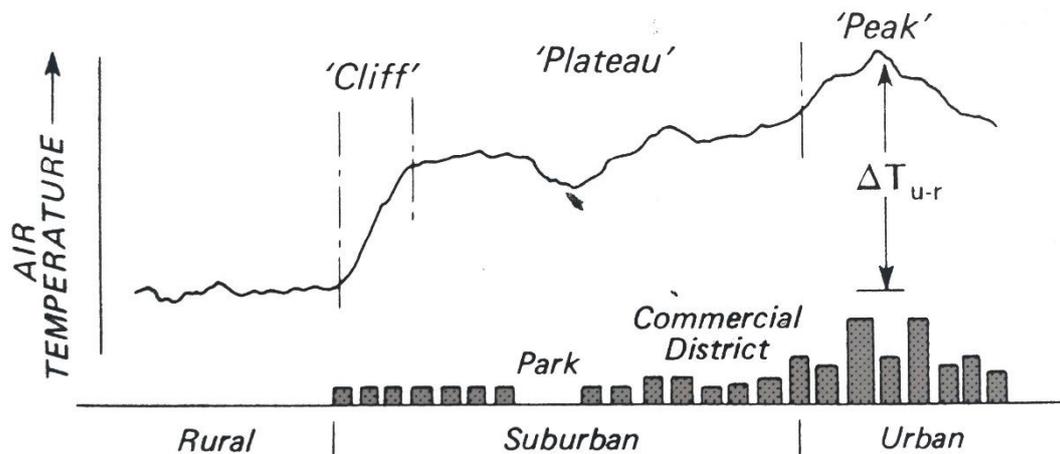


Figura 3.12.2 - Seção transversal generalizada de uma típica ilha de calor urbano FONTE: OKE, 1983.

Segundo OKE.

O ar no dossel urbano é geralmente mais quente que nas áreas de campo circundante. Este ilha de calor urbano (*urban heat island*.) é ambos o efeito mais claro e melhor documento de modificação inadvertido do clima. A forma e tamanho exatos deste fenômeno variam no espaço e tempo como resultado das condições meteorológicas e características urbanas locais. (OKE, 1983 p.254)

A própria intensidade da ilha de calor este relacionada com o tamanho da cidade (OKE, 1983, p.257), nisso a morfologia da cidade tem grande influência, neste cenário a cidade de São Paulo, é representativa por possuir uma área urbanizada e heterogênea de 968,3248 km² o que corresponde a 63% da superfície total de 1.528,5 km²³⁰ sendo a maior área urbana do Brasil. Além disso, a ilha de calor gera diversas implicações a seus habitantes, tanto positivas como negativas:

A existência da ilha de calor urbana tem inúmeras implicações biológicas, econômicas e meteorológicas. O aquecimento urbano é responsável pela brotação e floração precoces em flores e árvores na cidade; uma temporada maior de crescimento; e a atração de algumas aves para um habitat termal urbano mais favorável. Humanos, porem podem achar este acréscimo de temperatura desconfortável se a cidade já se encontra em um local com clima quente. Do ponto de vista econômico a ilha de calor é benéfico pela redução do uso de espaços

³⁰ <http://www.urbanizacao.cnpemembrapa.br/conteudo/uf/sp.html>

para aquecimento no inverno, mas é uma desvantagem ao aumentar a demanda no uso de ar-condicionado no verão. (OKE, 1983. p. 258)³¹

3.13 Mapa de Parcelamento do solo e volumetria construída intraquadra

Este trabalho tem como alicerce a pesquisa do laboratório Quadro do Paisagismo no Brasil (QUAPÁ) da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU) da Universidade de São Paulo (USP), com o nome de, "Os Sistemas de Espaços Livres na Constituição da Forma Urbana Contemporânea no Brasil: Produção e Apropriação QUAPÁ-SEL II", que tem como objetivo compreender o sistema de espaços livres através do estudo da forma urbana.

Para suportar o projeto, um dos procedimentos adotados foram a criação de mapas temáticos, que envolveram: software de SIG; bases cartográficas vetoriais do Centro de Coleta, Sistematização, Armazenamento e Fornecimento de Dados (CeSAD)³²; imagens de satélite do *Google Earth*³³ e imagens de nível de rua do recurso do *Google Street View*³⁴.

O procedimento de análise do projeto QUAPÁ pode ser sintetizado da seguinte maneira:

Através das imagens do Google, analisam-se todas as construções e todos os lotes a fim de identificar o padrão majoritário da quadra, ou seja, a classificação é feita por quadra e não para cada lote ou construção. Assim, temos como resultado as classificações de volumetria, recuo e arborização para cada quadra das subprefeituras. (LOBÃO, 2013, p.19)

Como resultado desta análise, foram gerados pelo QUAPÁ diversos tipos de mapas temático, tais como: Verticalização intraquadra; aspectos morfológicos: Parcelamento do solo e volumetria construída intraquadra; Recuos intraquadra.

³¹É importante ressaltar que as análises realizadas por OKE, foram conduzidas no hemisfério norte, principalmente nas cidades do Canadá, localizada acima da latitude 48°N, onde as estações do ano são bem mais definidas.

³² Base CeSAD, ano 2008.

³³ Imagens de satélite do Google Earth ano base 2013.

³⁴ Imagens no nível de rua do Street View ano base 2011.

Para as análises deste projeto, optou-se pelo mapa de parcelamento do solo e volumetria construída intraquadra, que está dividida em três tipos de parcelamento de solo, sendo eles: tradicional, não tradicional e encrave subdivididas em categorias, como se pode observar na Tabela 3.13.1.

Tabela 3.13.1 - Classes de parcelamento de solo

Parcelamento tradicional	
<p>Edificações horizontais de pequeno porte</p> <p>Descrição: Construções pequenas, com no máximo quatro andares, uso misto: residencial, comercial ou serviços</p> <p>Imagem</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Aérea</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Nível do solo</p>  </div> </div>	
<p>Edificações horizontais de tipos variados</p> <p>Descrição: Construções de tamanhos variados com no máximo quatro andares. Ex. Casa e Galpões.</p> <p>Imagem</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Aérea</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Nível do solo</p>  </div> </div>	

Tabela 3.13.1 - Classes de parcelamento de solo (Continuação)

<p>Quadras verticalizadas</p> <p>Descrição: Quadras divididas em lotes por edifícios verticais acima de cinco andares.</p> <p>Imagem</p>	
Aérea	Nível do solo
	
<p>Edificações horizontais e verticais</p> <p>Descrição: Quadras com existência de construções que variam de altura. Ex: casas, galpões e edifícios verticais de mais de cinco andares</p> <p>Imagem</p>	
Aérea	Nível do solo
	
<p>Parcelamento não tradicional</p>	
<p>Edificação de porte médio dispersas</p> <p>Descrição: Quadras com construções com grande espaço livre intraquadra, que geralmente pertencem a um mesmo conjunto. Ex: Galpões industriais ou grandes centros de eventos.</p> <p>Imagem</p>	
Aérea	Nível do solo
	

Tabela 3.13.1 - Classes de parcelamento de solo (Continuação)

Edificações horizontais de porte médio (não dispersas)

Descrição: Quadras divididas em grandes lotes ocupados por construções como galpões

Imagem

Aérea



Nível do solo



Edificação horizontal de grande porte

Descrição: Edificações de grande porte que ocupam toda a quadra, sem haver a divisão de lotes.

Imagem

Aérea



Nível do solo

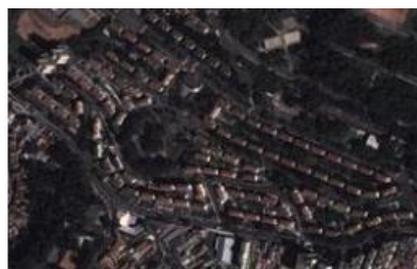


Conjunto habitacional

Descrição: Quadras ocupadas por edifícios de apartamentos entre 4 e 5 andares, que pode ser de iniciativa privada ou pública. Volumetria característica sendo isolada e repetida

Imagem

Aérea



Nível do solo



Tabela 3.13.1 - Classes de parcelamento de solo (Continuação)

Condomínio horizontal

Descrição: Quadras muradas, construídas pela iniciativa privada, com casa de um mesmo padrão. Acesso e circulação interna restrita

Imagem

Aérea



Nível do solo



Quadra condomínio vertical

Descrição: Quadras fechadas de iniciativa privada, com construções verticais com mais de quatro andares, pertencentes a um mesmo conjunto e com acesso e circulação interna restrita

Imagem

Aérea



Nível do solo



Tabela 3.13.1 - Classes de parcelamento de solo (Continuação)

Encrave	
Estruturas com pouco volume edificado	
Descrição: Quadras com uma ou mais construções e muito espaço livre intraquadra, geralmente quadras de dimensões grandes.	
Imagem	
Aérea	Nível do solo
	
Loteamento horizontal	
Descrição: Quadras ocupadas por edificações horizontais de pequeno porte sem padrão definido, com acesso e circulação interna restrita.	
Imagem	
Aérea	Nível do solo
	

Tabela 3.13.1 - Classes de parcelamento de solo (Continuação)

Grande conjunto de edificações dispersas	
Descrição: Quadras extensas, com grande espaço livre intraquadra e com construções que geralmente pertencem a um mesmo conjunto.	
Imagem	
Aérea	Nível do solo
	
Grande complexo de edificações horizontais de grande porte	
Descrição: Quadras extensas ocupadas por edificações de grande porte.	
Imagem	
Aérea	Nível do solo
	

FONTE: LOBÃO, 2013.

4 Material e Métodos

Neste item serão apresentados os materiais e métodos utilizados para a elaboração dos mapas de temperatura aparente de superfície para as três estações de estudo: outono, inverno e primavera. Desde a coleta, tratamento e análises dos dados, até o processo de cruzamento das informações de temperatura aparente de superfície com a base de dados do QUAPÁ.

4.1 Levantamento de dados

4.1.1 QUAPÁ

O laboratório QUAPÁ, disponibilizou a base de dados georreferenciada do mapa de parcelamento do solo e volumetria construída intraquadra³⁵ (Figura 4.1.1), que será a base das análises de comparação de temperatura aparente de superfície com os tipos de parcelamento mapeados.

³⁵ A base de dados é referente a fonte de dados que é do período de 2011 a dezembro de 2013, onde foi realizada a última atualização para o presente projeto.

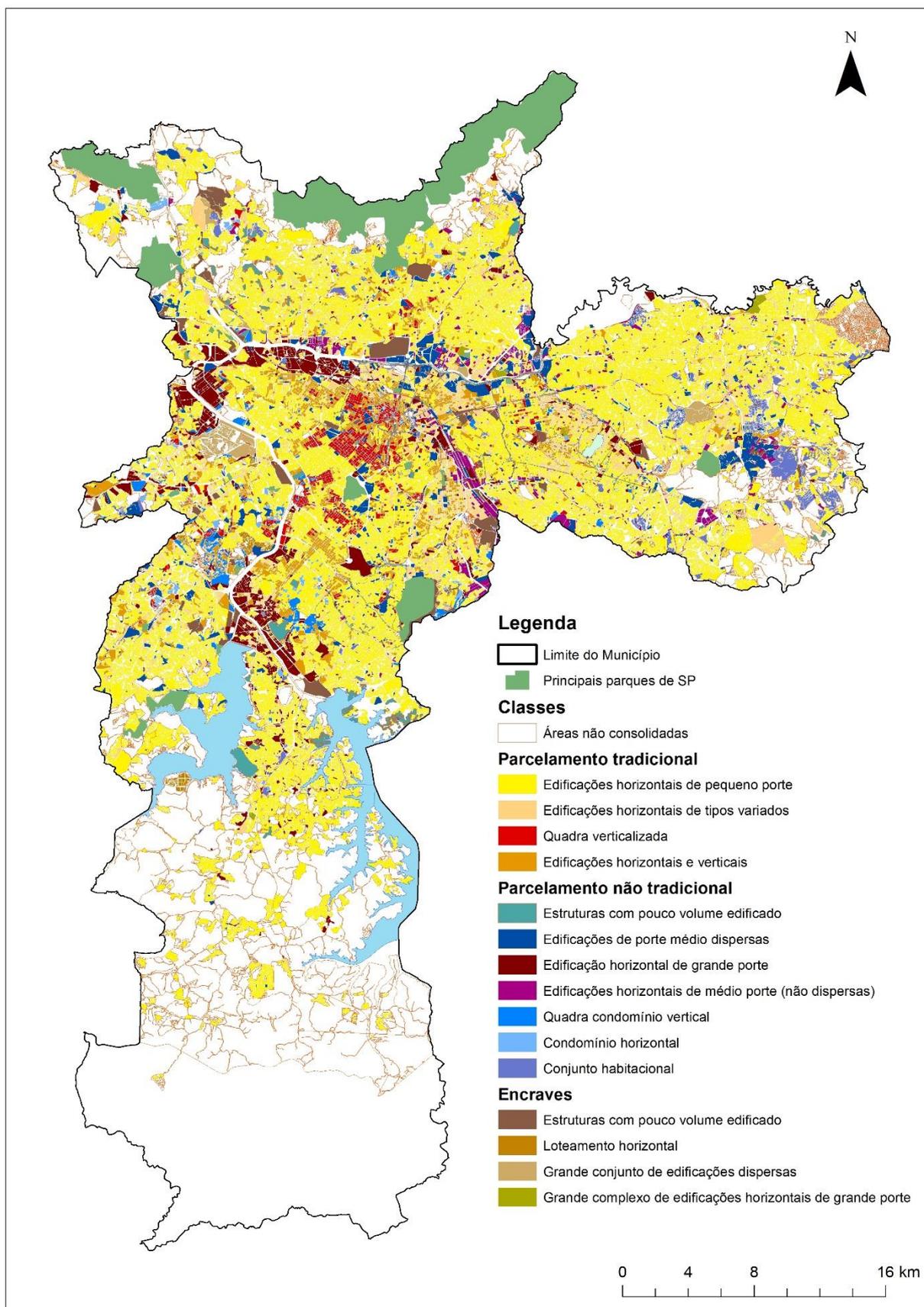


Figura 4.1.1 – Mapa de parcelamento do solo e volumetria construída intraquadra – Atualizado em Dezembro de 2013. FONTE: QUAPÁ, 2013.



Figura 4.1.2 – Ampliação da legenda: Classes do mapa de parcelamento intraquadra
FONTE: QUAPÁ, 2013.

4.1.2 Landsat 5

O projeto tem como objeto de estudo a cidade de São Paulo, para isso a primeira etapa, consistiu na aquisição das cenas³⁶ da imagem de satélite da cidade, que neste projeto o satélite adotado foi o Landsat 5 TM, por apresentar

³⁶ A cena, é o registro da imagem que foi focalizadas pelo sensor, no caso do Landsat 5, corresponde a uma área de 185 x 170km e dura 24 segundos para realizar o imageamento.

em seu acervo as imagens que se encontram dentro do período de mapeamento do projeto do QUAPÁ, ano base de 2011 e por sua disponibilidade gratuita.

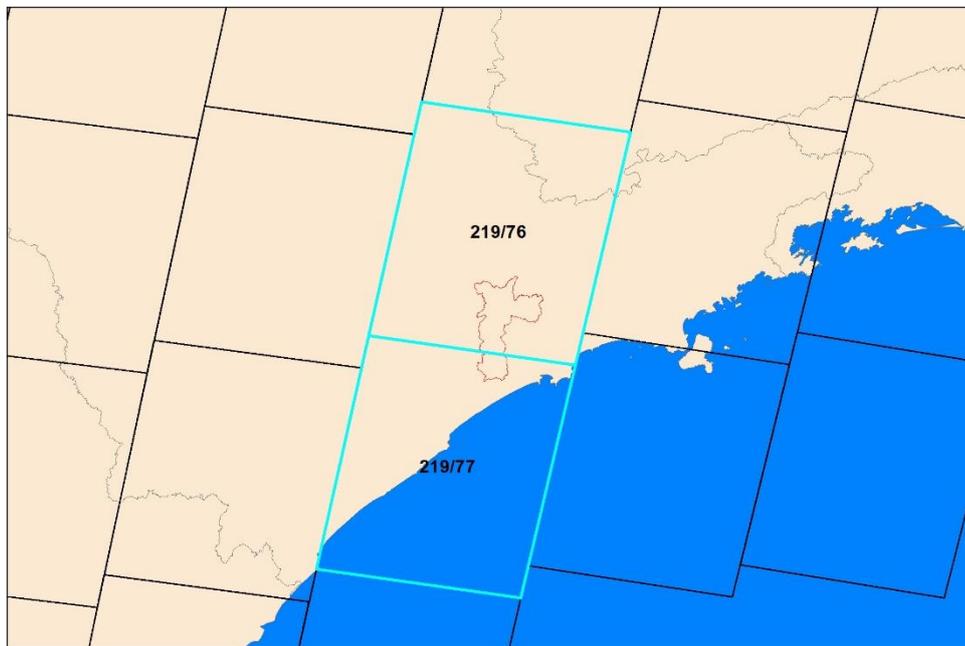


Figura 4.1.3 - Croqui de Cenas Landsat 5 utilizadas e Município de São Paulo FONTE: INPE, 2013. Adaptado pelo autor.

Foram utilizadas as cenas: 219/76 e 219/77 (Figura 4.1.3), por abranger a totalidade do município de São Paulo, com hora de passagem entre 12h52 e 12h54 UTC, elevação solar de 36° e com sentido de iluminação de nordeste para sudoeste.

A busca das cenas³⁷ se concentrou nas imagens que não tivessem cobertura de nuvens ou apresentassem o mínimo possível, sobre a área de estudo no ano de 2011 para os seguintes períodos:

- Primavera: 22/09 a 21/12
- Verão: 21/12 a 20/03
- Outono: 20/03 a 21/06
- Inverno: 21/06 a 22/09

³⁷ As imagens foram adquiridas na Divisão de Geração de Imagens (DGI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) disponíveis no seguinte endereço: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>.

Das 18 cenas localizadas, somente 3 (três) não possuíam nuvens ou que havia o mínimo possível, sobre o município de São Paulo, sendo elas:

- Primavera: 28/09
- Verão: nenhuma cena disponível
- Outono: 23/05
- Inverno: 26/07

Todas as cenas correspondentes ao verão de 2011 estavam com cobertura de nuvens sobre o município de São Paulo, como se pode observar nos exemplos da Figura 4.1.4, o que inviabiliza qualquer análise de superfície. Como alternativa, optou-se por localizar as cenas do verão de 2010, que retornaram com a mesma condição do verão de 2011. Já para o ano de 2012, não foi mais possível localizar cenas devido a problemas do sensor do Landsat 5.

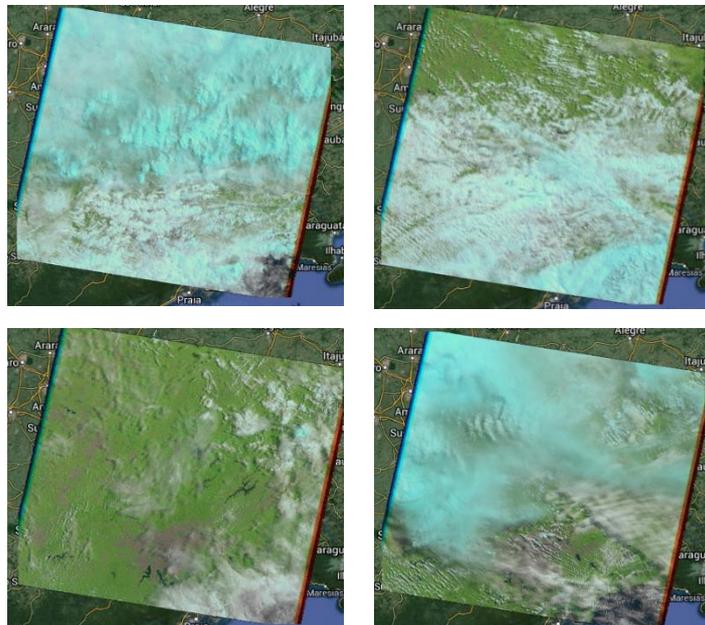


Figura 4.1.4 - Exemplo de Cenas cobertas por nuvens – Verão 2011 FONTE: USGS, 2013. Adaptado pelo autor.

Após a seleção das imagens, o próximo procedimento adotado foi de unir as duas cenas de satélite em uma só, através do procedimento de mosaico³⁸, que realiza a junção de duas ou mais imagens de satélite (Figura 4.1.5), transformando-a em uma só.

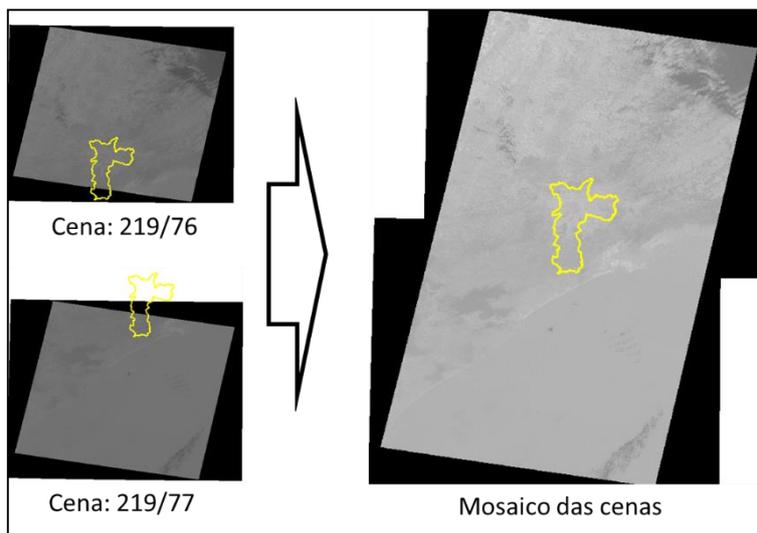


Figura 4.1.5 - Exemplo de mosaico de Imagem FONTE: USGS, 2013. Adaptado pelo autor.

Após realizar o mosaico das cenas, utilizou-se o perímetro do município de São Paulo para recorte (Figura 4.1.6), de forma a delimitar a área de estudo.

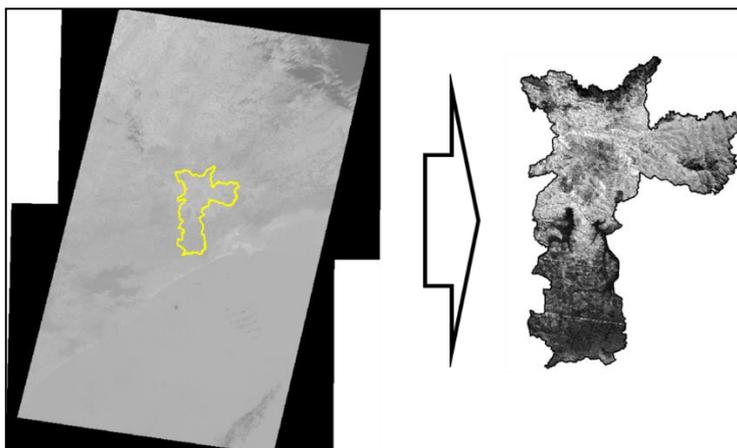


Figura 4.1.6 - Recorte do município de São Paulo FONTE: USGS, 2013. Adaptado pelo autor.

³⁸ Mosaicos de imagens de satélite são representações sinóticas e atualizadas de grandes extensões territoriais. (MIRANDA, 2005). Compostas por duas ou mais imagens de satélites.

Com base nesse recorte, utilizou-se a base de dados do QUAPÁ, para realizar o georreferenciamento da imagem e desta forma, integrar todas as informações em um só sistemas de coordenadas geográficas. De forma a permitir a realização das análises subsequentes.

4.2 Elaboração dos mapas de temperatura aparente de superfície

Para a elaboração dos mapas de temperatura aparente de superfície, foi utilizada a banda 6 termal do satélite Landsat 5 TM.

O procedimento adotado para a elaboração do mapa de temperatura aparente de superfície foi a utilização da equação do modelo quadrático de Malaret *et al* (1984), que faz a relação entre a radiância (número digital do pixel) e temperatura, como se pode observar na expressão:

$$T = 209,831 + 0,834 \text{ DN} - 0,00133 \text{ DN}^2$$

Onde:

T = temperatura aparente em Kelvin (K)

DN = *digital number* ou número digital de cada pixel

A temperatura resultante de T em Kelvin é convertida posteriormente em graus Celsius com a subtração do valor de T por 273,16.

Para melhorar o contraste na visualização das informações, foi utilizada a técnica de manipulação do *stretch* do histograma³⁹, onde foi aplicada uma transformação linear, que como resultado permite facilitar a visualização das diferenças entre os pixels, adicionalmente foram atribuídas cores para realçar as diferenças entre as temperaturas mais frias (azul) as mais quentes (vermelho).

³⁹ Algumas imagens possuem baixo contraste devido a diversos fatores, que podem envolver iluminação não uniforme, ou problemas do sensor de visão. Desta forma existem operações de "*Stretching*" (alongamento), que espalha o contraste e visa uniformizar o histograma, melhorando ou realçando a imagem. Por exemplo, um *raster* de 8-bit será alongado de 0 a 255 faixas de cinzas.

Cabe ressaltar que o satélite pode apresentar alguns erros de sensor como, ruídos ou distorções geométricas, que podem afetar os dados em análise, apesar de existirem modelos matemáticos que possam minimizar estes efeitos, estes ainda poderão influenciar no resultado final.

O erro instrumental adotado para o satélite após uma série de calibrações é de $\pm 0,7K$ (Média da Raiz Quadrática) e para a fórmula (que foi gerada através de equações de regressão) de conversão de radiância e temperatura, encontrou-se diferenças de aproximadamente $1^{\circ}C$ entre o dado obtido pelo sensor remoto e o dado coletado. Os erros podem se propagar, ao se somar o erro admissível do sensor mais o erro teórico inerente da própria fórmula, além dos possíveis erros ambientais (tais como a ocorrência de pontos de nuvens ou umidade) ou observacionais (pequenas falhas de procedimentos ou de transmissão de dados). Deve-se então, admitir que as medidas de temperatura da superfície tenham um erro padrão de no mínimo $\pm 1^{\circ}C$.

No final, os resultados são ensaios e estimativas, longe de ser a realidade em si, mas que apesar disso, são nossos melhores indicadores.

Os resultados da temperatura aparente de superfície podem ser observados nas Figura 4.2.1, para o outono, Figura 4.2.2, para o inverno e Figura 4.2.3 para a primavera.

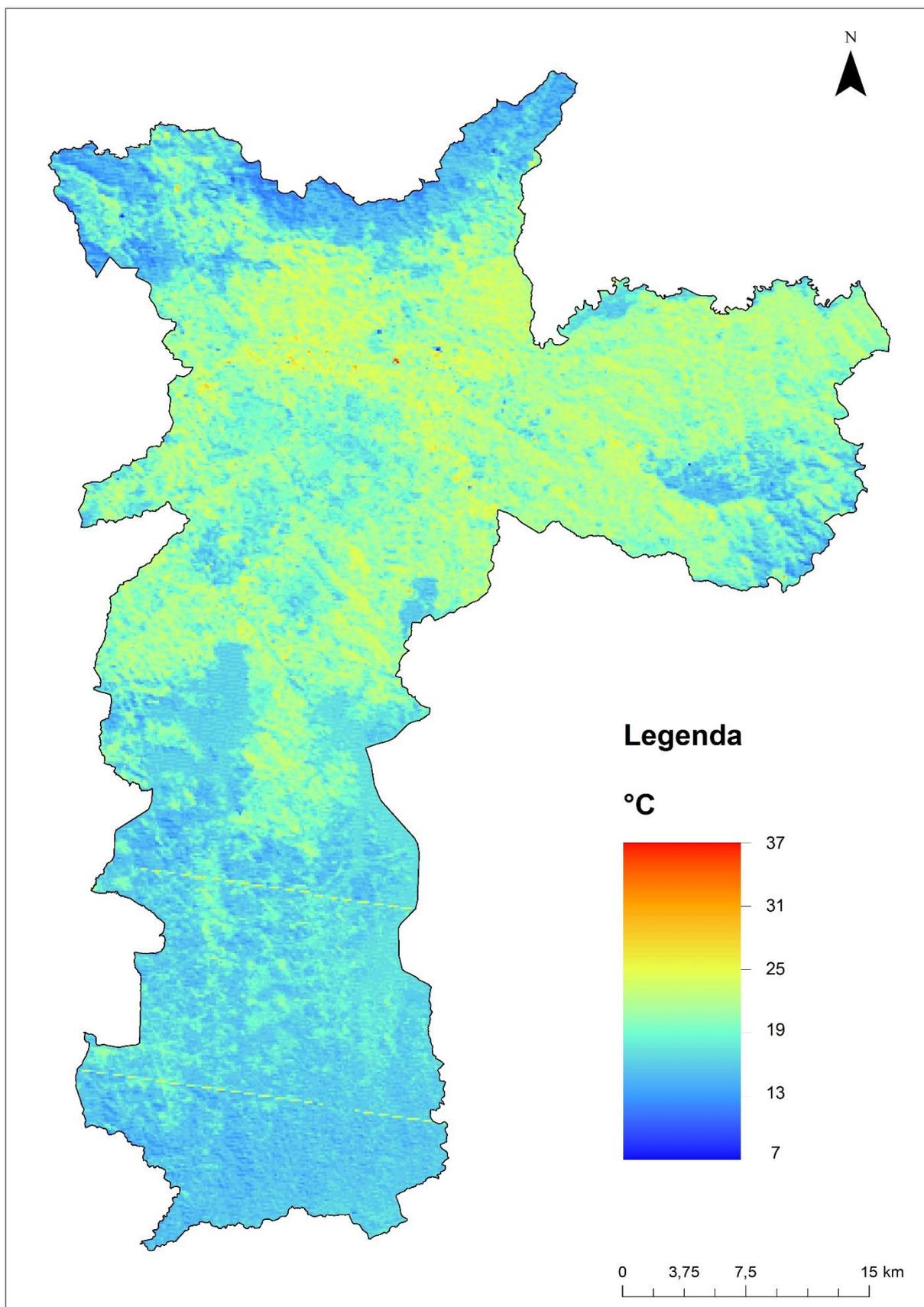


Figura 4.2.1 – Mapa de temperatura aparente de superfície para outono ano 2011

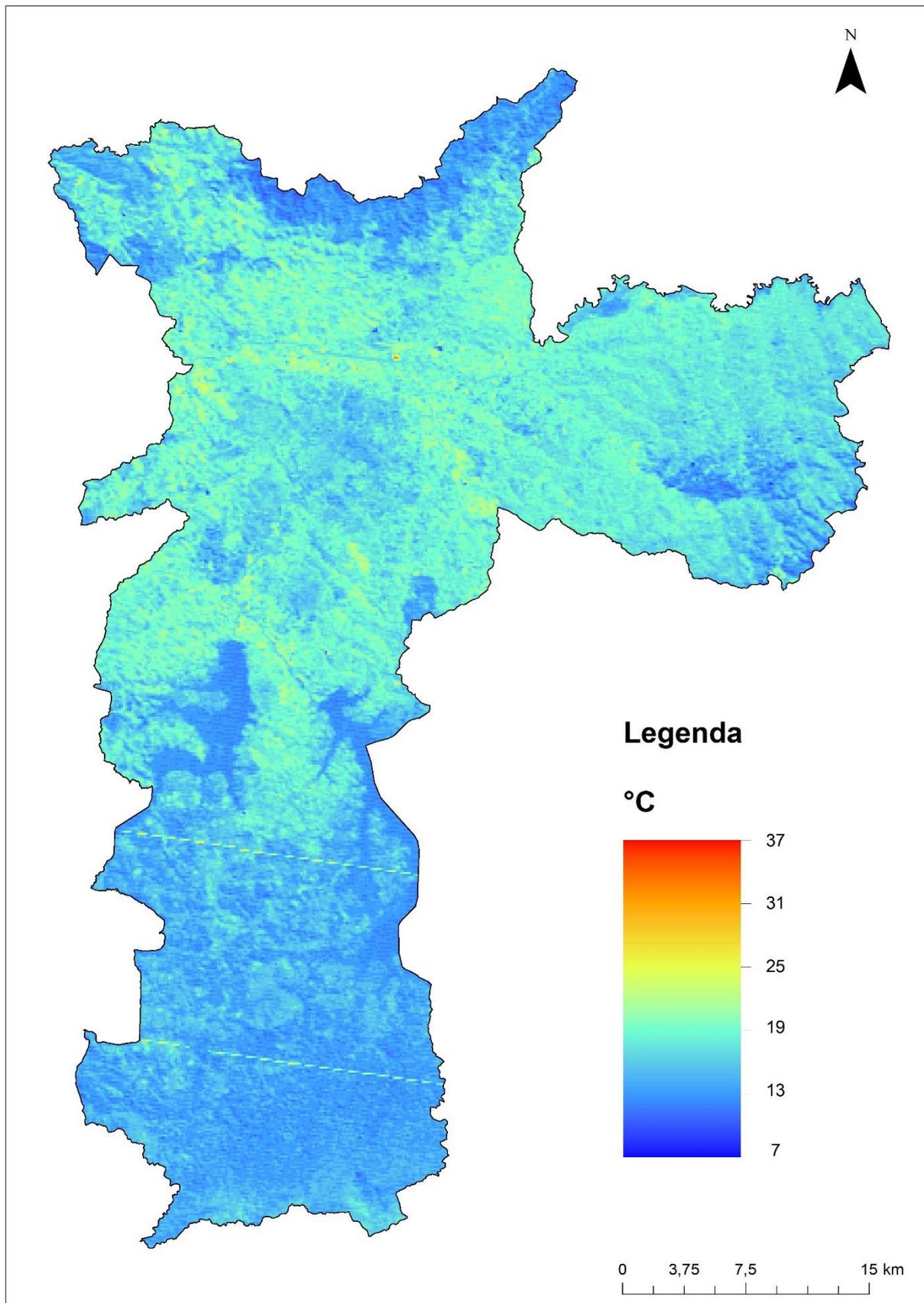


Figura 4.2.2 – Mapa de temperatura aparente de superfície para inverno ano 2011

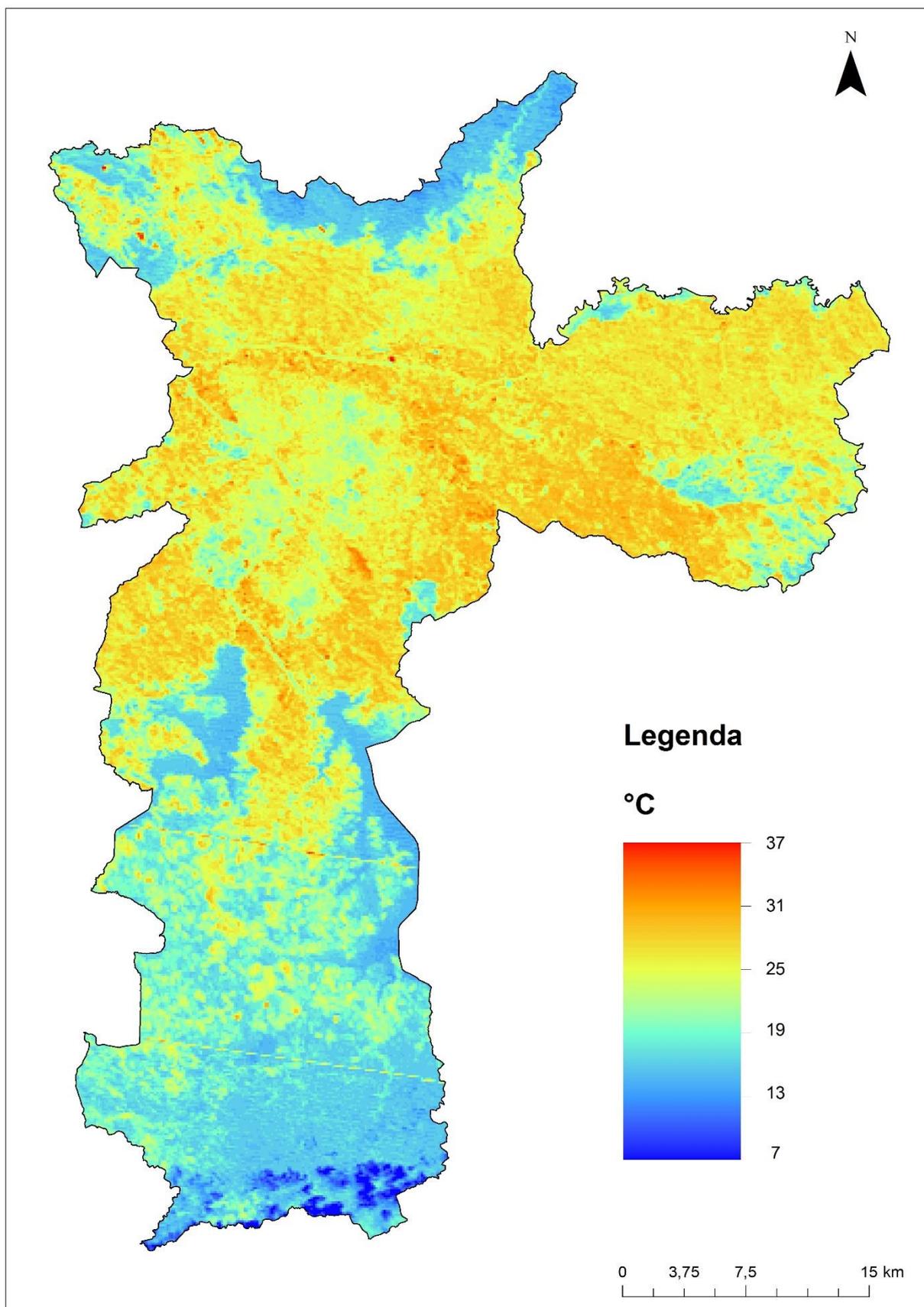


Figura 4.2.3 – Mapa de temperatura aparente de superfície para primavera ano 2011

Na Figura 4.2.4, é possível observar o histograma com a distribuição do número de pixel em função da sua temperatura correspondente. Para o ano de 2011 para a cidade de São Paulo, o inverno apresentou uma predominância de temperaturas no intervalo de 13°C a 18°C, com média ponderada⁴⁰ de 16°C, o outono com temperaturas entre 16°C e 22°C e média ponderada de 19°C e a primavera com temperaturas mais elevadas entre 16°C a 27°C e média ponderada de 23°C.

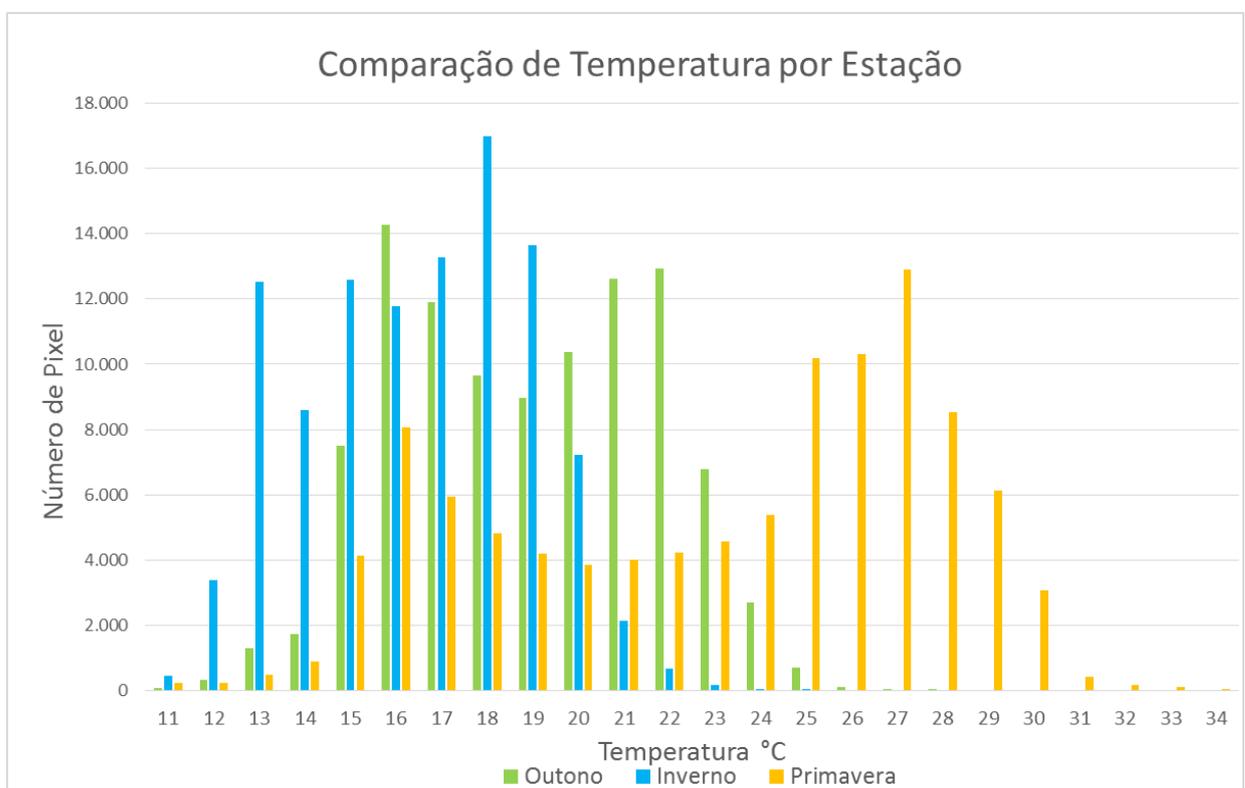


Figura 4.2.4 - Histograma comparativo entre as estações

4.3 Cruzamento das informações

O próximo passo adotado foi realizar o cruzamento entre o mapa de temperatura aparente de superfície para cada estação com o mapa de parcelamento do solo e volumetria construída intraquadra do QUAPÁ. Foram

⁴⁰ A média ponderada foi calculada em função da temperatura e o número de pixels existentes para cada temperatura.

adotados dois procedimentos, o primeiro foi separar cada classe do mapa de parcelamento⁴¹ mais os parques em um plano de informação individual cada (Figura 4.3.1), totalizando 16 (dezesesseis) planos de informações, com isso foi possível quantificar e determinar quais são as classes predominantes na área urbana do município de São Paulo, como se pode observar na Tabela 4.3.1.

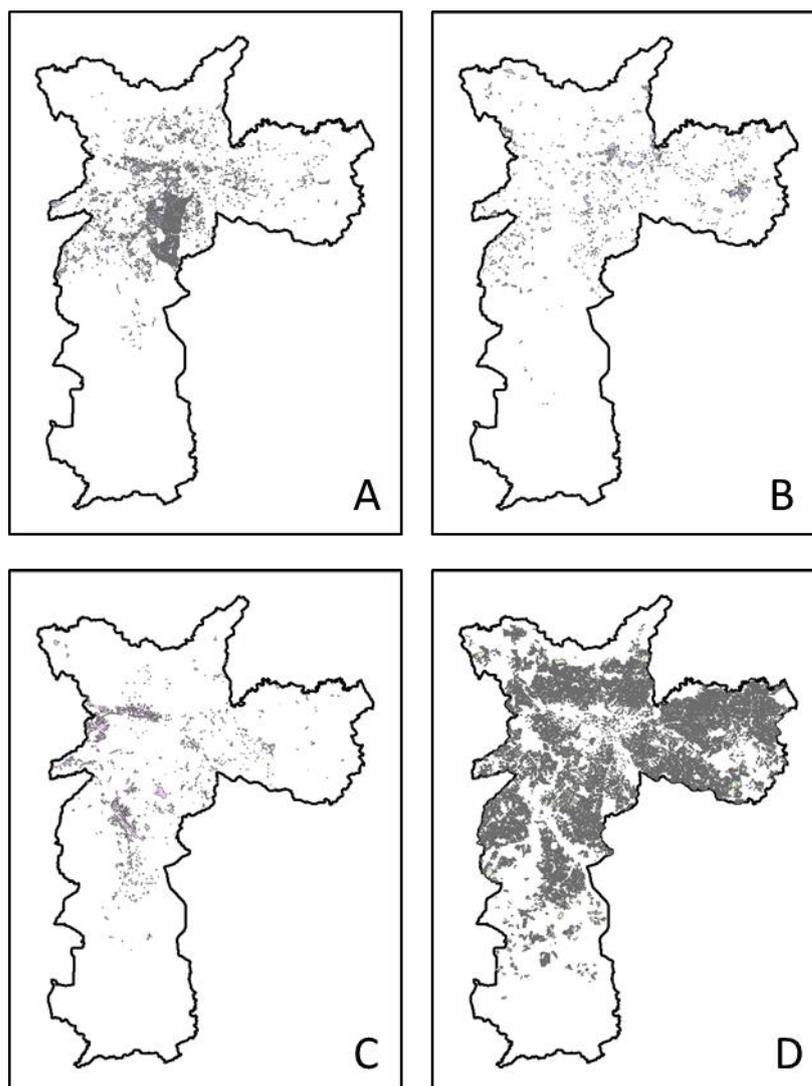


Figura 4.3.1 - Exemplo dos planos de informação individual de cada classe temática: A- edificações horizontais e verticais; B – Edificações de porte médio dispersas; C- Edificação horizontal de grande porte; D – Edificações horizontais de pequeno porte.

⁴¹ Como a classe “Área não consolidada” não faz parte de nenhum parcelamento, foi excluída da análise.

Tabela 4.3.1 – Classes predominantes

Classe	Tipo de parcelamento	%
Edificações horizontais de pequeno porte	Parcelamento tradicional	76,58%
Edificações horizontais de tipos variados	Parcelamento tradicional	7,43%
Edificações horizontais e verticais	Parcelamento tradicional	4,93%
Edificação horizontal de grande porte	Parcelamento não tradicional	2,16%
Quadra verticalizada	Parcelamento tradicional	1,94%
Edificações horizontais de médio porte (não dispersas)	Parcelamento não tradicional	1,55%
Edificações de porte médio dispersas	Parcelamento não tradicional	1,53%
Conjunto habitacional	Parcelamento não tradicional	1,27%
Quadra condomínio vertical	Parcelamento não tradicional	0,79%
Estruturas com pouco volume edificado	Parcelamento não tradicional	0,50%
Estruturas com pouco volume edificado	Encraves	0,45%
Loteamento horizontal	Encraves	0,38%
Condomínio horizontal	Parcelamento não tradicional	0,30%
Grande conjunto de edificações dispersas	Encraves	0,16%
Grande complexo de edificações horizontais de grande porte	Encraves	0,02%
	Total	100,00%

As cinco classes mais representativas, respondem por mais de 93% da área mapeada pelo projeto QUAPÁ⁴², estas cinco classes serão utilizadas para realizar as análises comparativas de temperatura devido a sua escala e representatividade na área urbana de São Paulo.

O segundo procedimento foi cruzar cada plano de informação com os mapas de temperatura aparente de superfície para as três estações, como se pode observar o exemplo da Figura 4.3.2

⁴² O cálculo realizado foi sobre o número de polígonos mapeados pelo projeto do QUAPÁ.

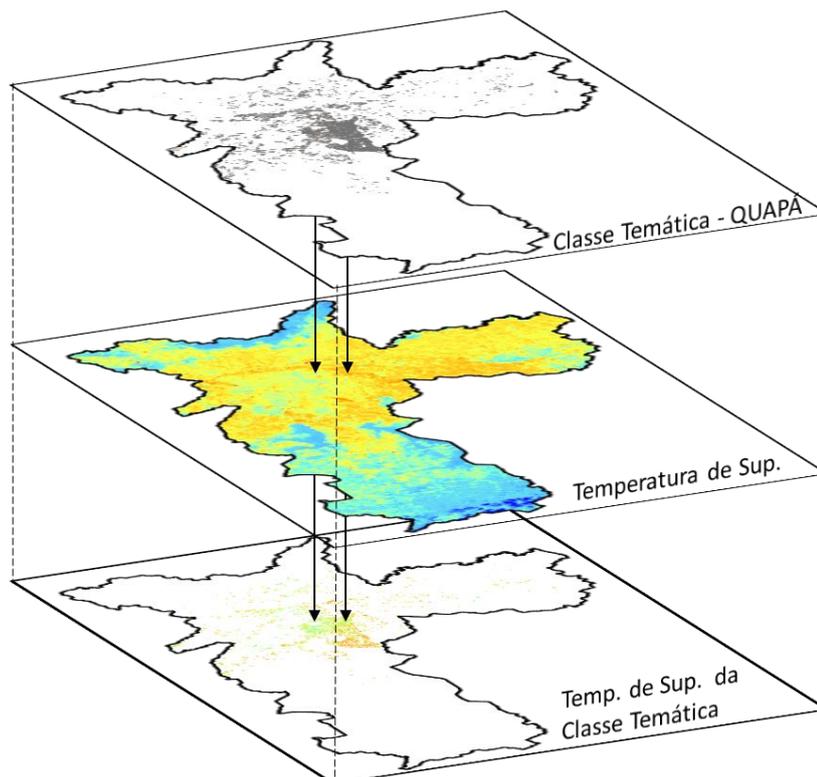


Figura 4.3.2 - Exemplo de cruzamento entre temperatura aparente de superfície e a classe temática. A classe temática é utilizada como máscara para extrair a informação da temperatura aparente de superfície, tendo como resultado as áreas de temperatura referentes a classe temática.

Com o resultado deste cruzamento foi possível obter a média da temperatura aparente de superfície das quadras construídas segundo as 15 (quinze) classes⁴³ para o município de São Paulo nas três estações do ano avaliadas, a saber: Outono, temperatura de 20,1°C; inverno, temperatura de 17,5°C e primavera, temperatura de 25,5°C.

Cabe ressaltar que o ângulo de inclinação solar de 36° mais o tipo de relevo presente, pode aquecer mais algumas áreas que outras, como causar mais áreas de sombra em edificações altas.

Para fim comparativo, foram utilizados dados da temperatura média do ar obtidas na Estação Meteorológica do IAG/USP, referente aos dias de passagem do satélite.

⁴³ Os parques não foram incluídos, por não representarem parcelamento com áreas construídas e por serem espaços livres especiais.

5 Resultados

Neste item serão apresentados os resultados dos cruzamentos entre as cinco classes mais predominantes do mapa de parcelamento do solo e volumetria construída intraquadra do QUAPÁ mais os parques, com os mapas de temperatura aparente de superfície para o outono, inverno e primavera do ano de 2011. Cabe ressaltar que os resultados da temperatura apresentados neste ensaio remetem-se estritamente a temperatura aparente da superfície para o momento em que o satélite adquiriu os dados e dentro do seu campo de visada instantânea (IFOV "*instantaneous field of view*"), ou seja, de acordo com a sua resolução de 120m. Além disso, a temperatura de superfície é diferente da temperatura do ar, que pode variar em função de outras variáveis que não foram contempladas nestes ensaio, tais como: ritmo das influências de frentes frias, brisas oceânicas, variações diurnas e noturnas dos ventos, trajetória do Sol, a superposições dessas variáveis entre outros.

Na Tabela 5.1 é possível observar o quadro resumo das diferenças de temperatura aparente de superfície observadas nas classes avaliadas e a temperatura do ar (média, mínimo e máxima) para o dia de aquisição das imagens de satélite. A cor verde, indica a temperatura média de São Paulo para todas as 15 (quinze) classes avaliadas; A cor amarela indica, que a temperatura média da classe avaliada está dentro da margem de erro de 1°C do estudo; A cor vermelha indica que a temperatura média da classe avaliada está 1°C ou mais acima da média de São Paulo; A cor azul indica que a temperatura média da classe avaliada está 1°C abaixo da média de São Paulo.

Tabela 5.1 – Resumo das temperaturas (ar e superfície) x classes x estação

Estação	Outono			Inverno			Primavera		
Temperatura Estação Meteorológica IAG/USP	Tmed 16,9°C	Tmin. 10,3°C	Tmáx. 24,6°C	Tmed 17,6°C	Tmin. 12,3°C	Tmáx. 25,6°C	Tmed 17,0°C	Tmin. 13,2°C	Tmáx. 23,2°C
Temperatura Média de Superfície de SP	20,1°C			17,5°C			25,5°C		
Edificações horizontais de pequeno porte	20,8°C			17,9°C			26,2°C		
Edificações horizontais de tipos variados	21,4°C			18,5°C			27,1°C		
Edificações horizontais e verticais	20,4°C			17,7°C			26,0°C		
Edificação horizontal de grande porte	21,8°C			19,2°C			27,5°C		
Quadra Verticalizada	18,0°C			16,1°C			24,0°C		
Parques	15,4°C			14,0°C			17,2°C		

5.1 Classe: Edificações horizontais de pequeno porte

A classe Edificações horizontais de pequeno porte que pertence ao tipo de parcelamento tradicional, representa mais de 73% da área urbana de São Paulo, sendo a classe predominante entre as mapeadas no projeto.

Como é possível observar no seu histograma (Figura 5.1.1) a temperatura aparente de superfície para esta classe apresenta as seguintes variações: para outono (Figura 5.1.7) a média da temperatura é de 20,8°C, ou 0,7°C acima da temperatura média do município de São Paulo; para o inverno (Figura 5.1.8) a média da temperatura ficou em 17,9°C e 0,4°C acima da temperatura média do município de São Paulo; e pôr fim a primavera (Figura 5.1.9), com temperatura média de 26,2°C e 0,7°C acima da temperatura média do município de São Paulo.

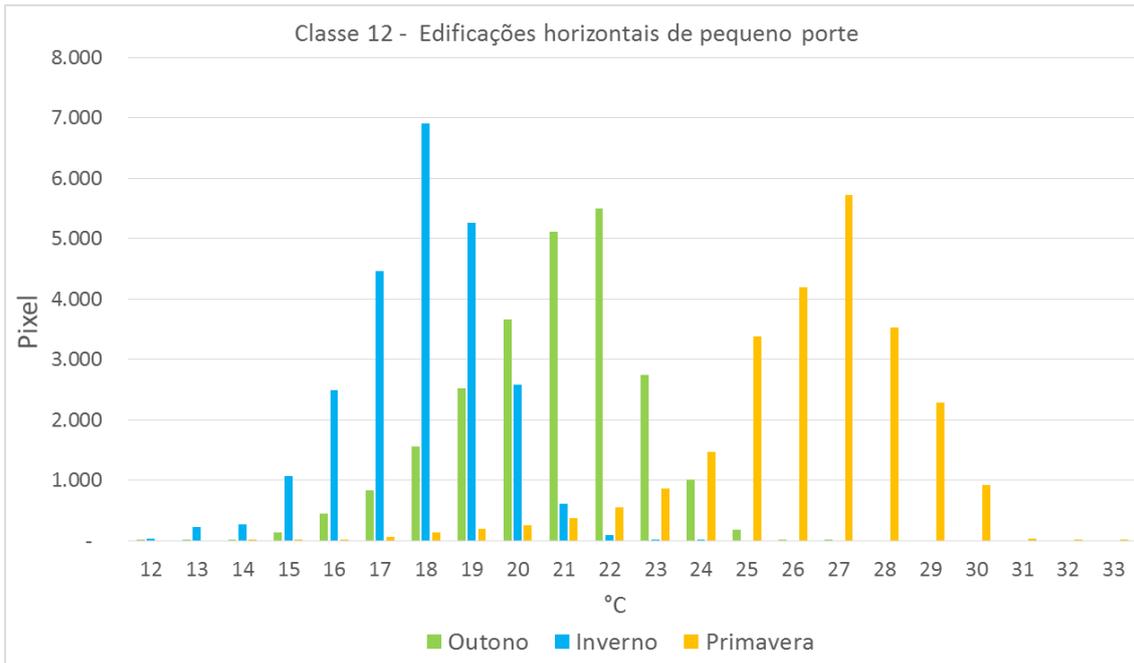


Figura 5.1.1 – Histograma dos mapas de temperatura aparente de superfície para a classe de edificações horizontais de pequeno porte

Ao observar os mapas (Figura 5.1.7, Figura 5.1.8 e Figura 5.1.9) da classe de edificações horizontais de pequeno porte, é possível notar a existência de “ilhas de frescor” com temperatura aparente de superfície em média, cerca de 3°C inferior à da temperatura média encontrada no outono, inverno e primavera. Tal situação é resultado do tipo de superfície encontrada na área do mapeamento, que neste caso, são áreas mais arborizadas, como nos exemplos das Figura 5.1.2 e Figura 5.1.4, que também acabam criando áreas de sombra nos cânions urbanos, como é possível observar na Figura 5.1.3, onde temos as áreas de superfície quente, como por exemplo, os telhados das edificações ou vias de circulação que concentram e irradiam as ondas longas de forma direta e a superfície do dossel das árvores para bairros mais arborizados, que devido as suas propriedades, acaba por “espalhar” as ondas longas, criando zonas menos quentes em relação as outras estruturas em seu entorno.

Situação que não ocorre por exemplo em áreas que não são arborizadas (Figura 5.1.5), onde a temperatura aparente de superfície pode ficar em média entre 1 a 2°C acima da temperatura média registrada para esta classe. Na Figura 5.1.6, as áreas de superfície quente, as quais os feixes são mais concentrados,

são predominantes, não havendo casos de espalhamento ocasionado por árvores.



Figura 5.1.2 – Exemplo de bairro arborizado, no distrito de Santo Amaro FONTE: Google Earth, 2013.

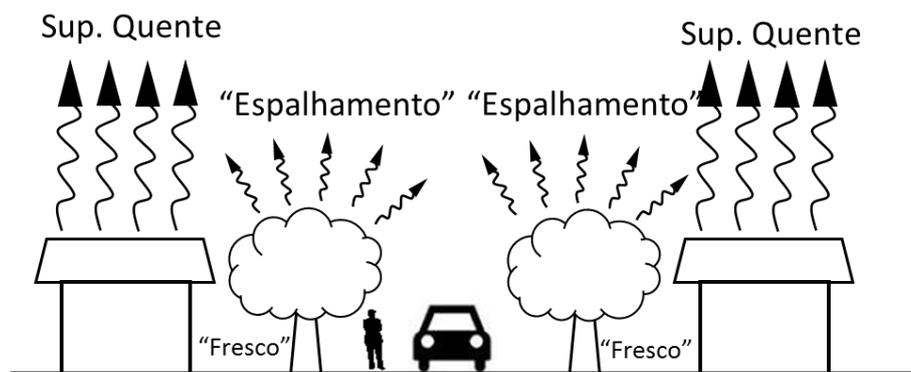


Figura 5.1.3 Croqui para a classe de edificações horizontais de pequeno porte, situação de área arborizada.



Figura 5.1.4 - Exemplo de bairro arborizado, no distrito do Morumbi FONTE: Google Earth, 2013.



Figura 5.1.5 - Exemplo de bairro não arborizado, no distrito da Penha FONTE: Google Earth, 2013

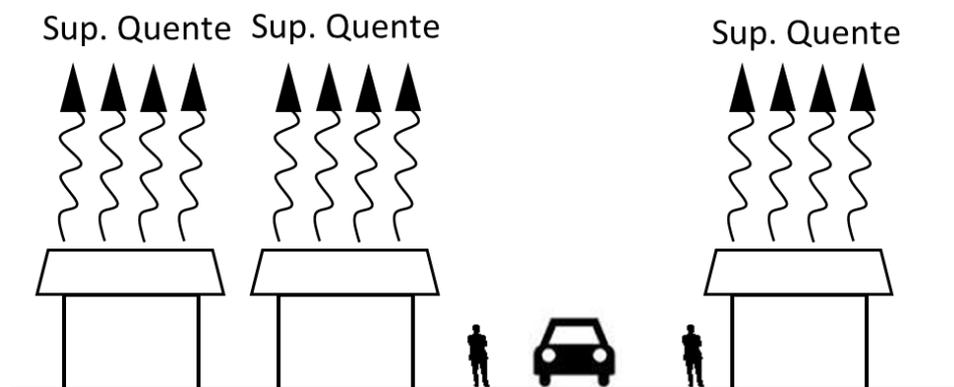


Figura 5.1.6 Croqui para a classe de edificações horizontais de pequeno porte, situação de área arborizada.

Outono - 2011

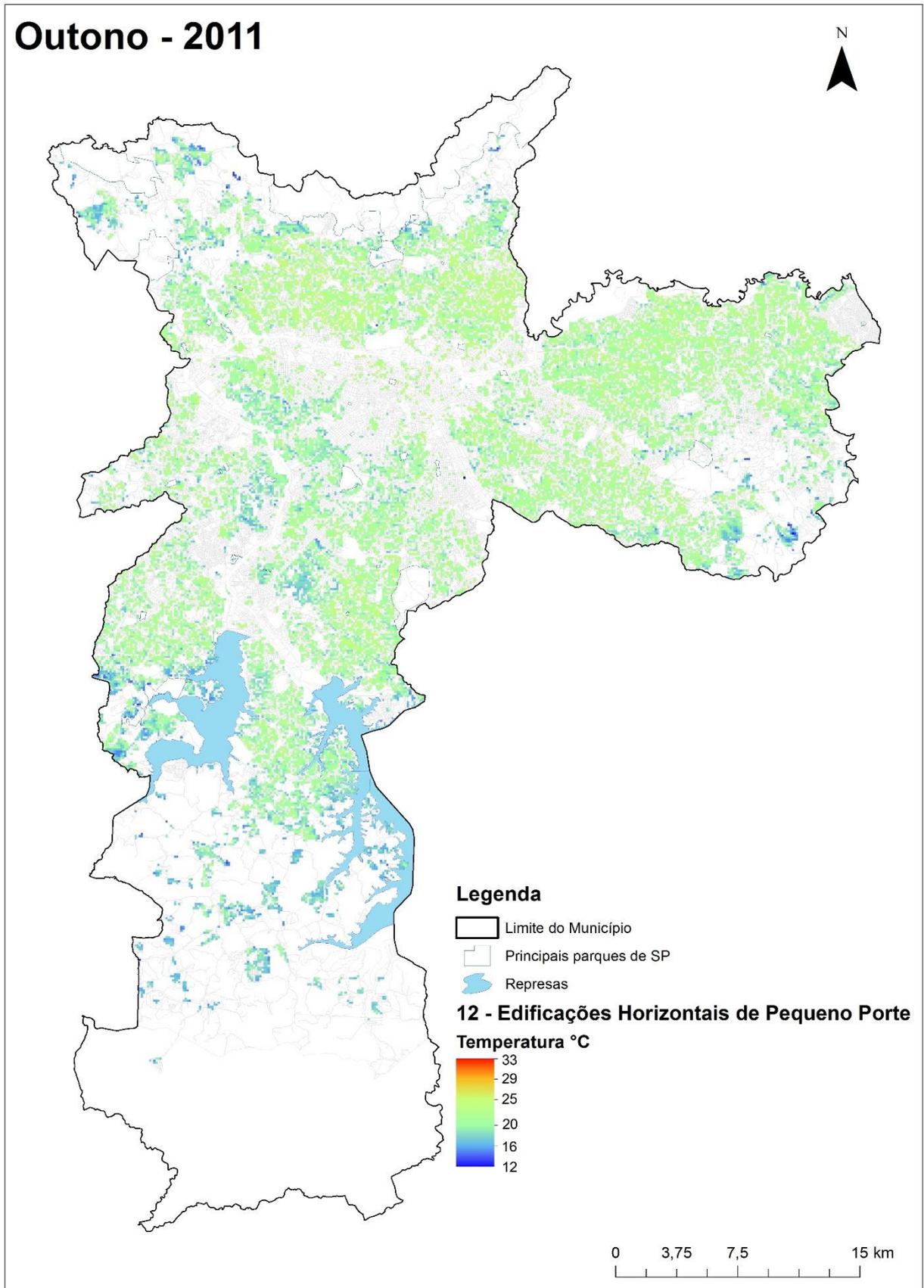


Figura 5.1.7 – Mapa de temperatura aparente de superfície das edificações horizontais de pequeno porte para o outono de 2011.

Inverno - 2011

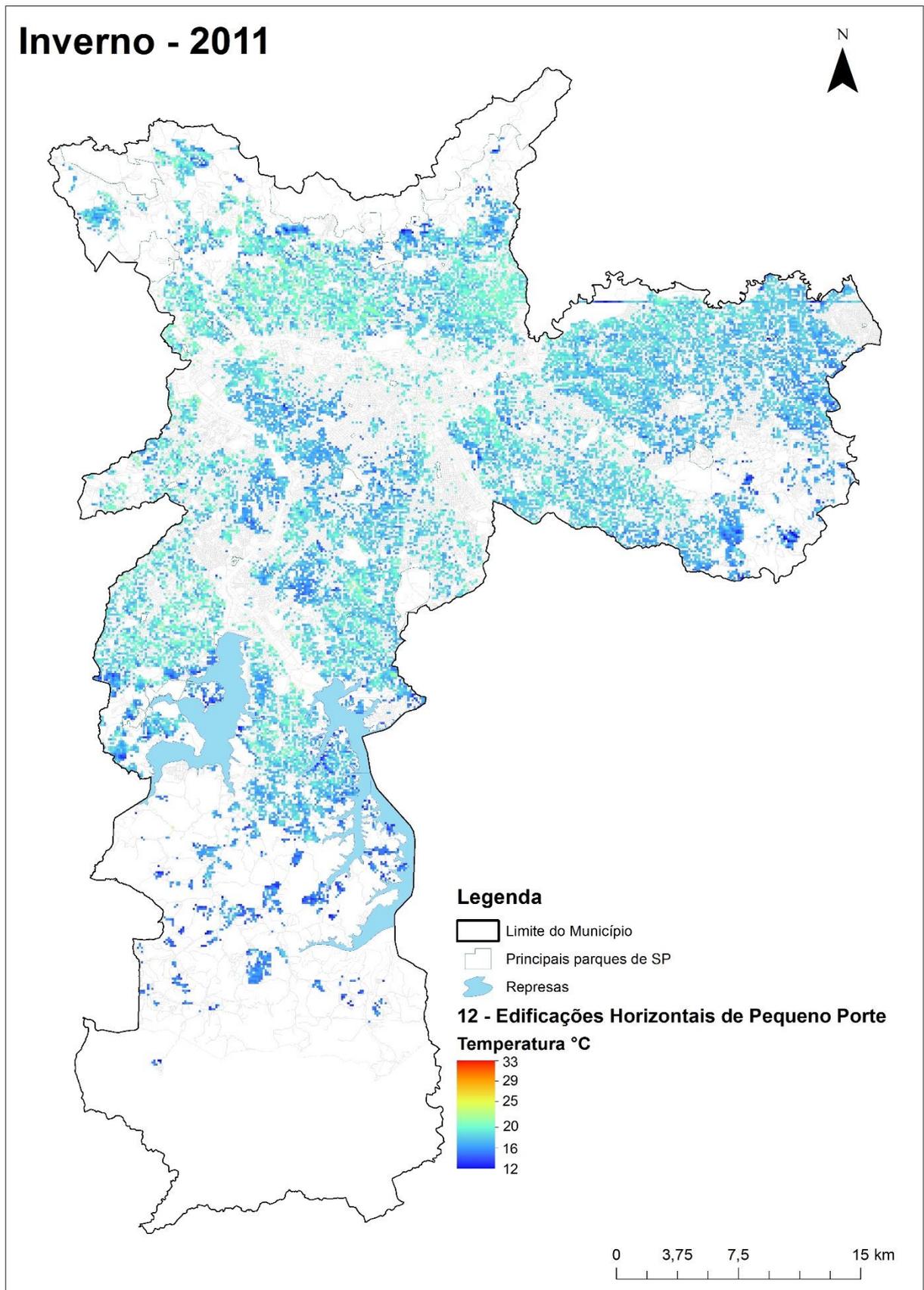


Figura 5.1.8- Mapa de temperatura aparente de superfície das edificações horizontais de pequeno porte para o inverno de 2011.

Primavera - 2011

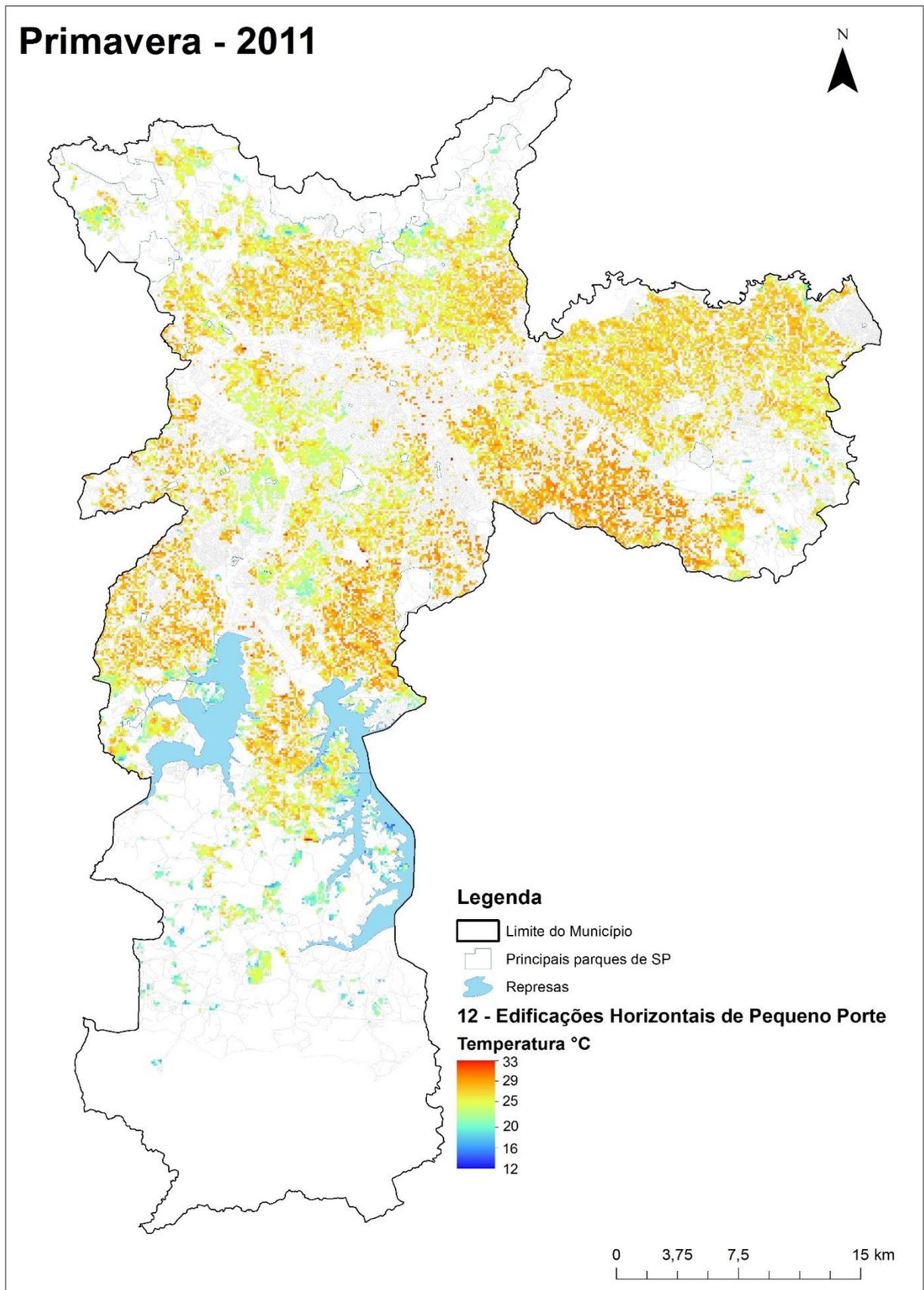


Figura 5.1.9 - Mapa de temperatura aparente de superfície das edificações horizontais de pequeno porte para a primavera de 2011.

5.2 Classe: Edificações horizontais de tipos variados

A classe Edificações horizontais de tipos variados pertence ao tipo de parcelamento tradicional, e representa a segunda classe mais presente na área urbana de São Paulo, com 7,16%.

No histograma (Figura 5.2.1) a temperatura aparente de superfície para esta classe apresentam as seguintes variações para outono (Figura 5.2.5) a média da temperatura é de 21,4°C, ou 1,3°C acima da temperatura média do município de São Paulo; para o inverno (Figura 5.2.6) a média da temperatura ficou em 18,5°C e 1,0°C acima da temperatura média do município de São Paulo; e pôr fim a primavera (Figura 5.2.7), com temperatura média de 27,1°C e 1,6°C acima da temperatura média do município de São Paulo.

Os mapas de temperatura aparente de superfície das edificações horizontais de tipos variados para o outono, inverno e primavera, apresentam algumas zonas com temperaturas mais elevadas e outras mais frescas, durante as estações do ano. Esta situação de temperatura mais elevada pode estar associada ao tipo de material existente (por exemplo, telhas de barro ou coberturas metálicas) na cobertura das construções dentro desta classe associadas as suas dimensões em área, já que nesta classe apresenta construções de tamanhos variados, podendo ser desde casas até galpões, que criam áreas de concentração de ondas longas (Figura 5.2.3).

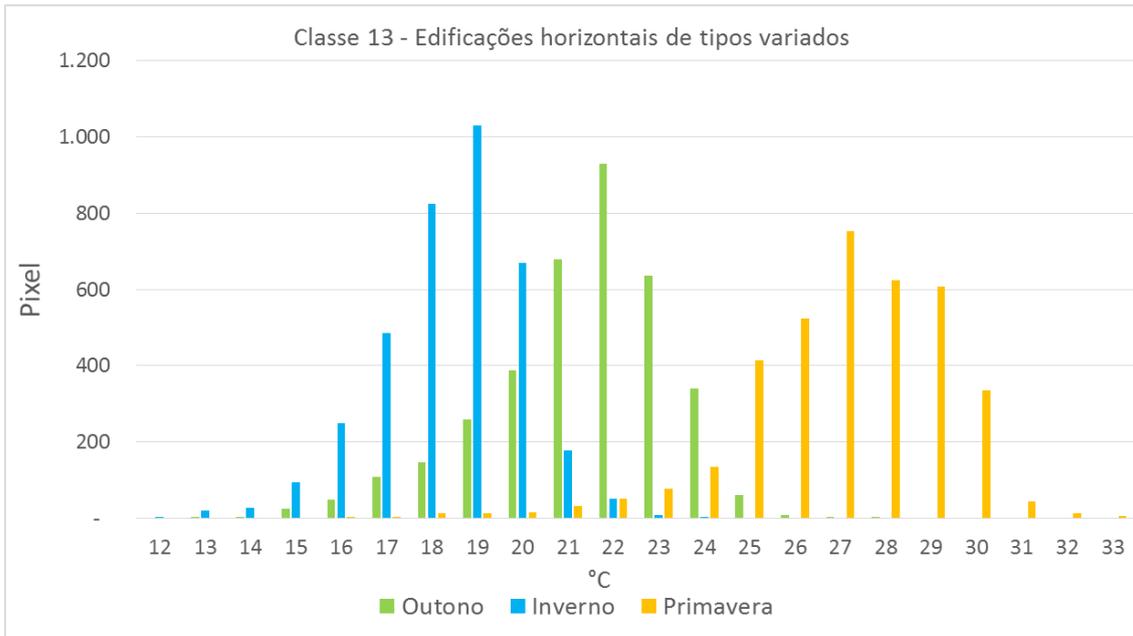


Figura 5.2.1- Histograma dos mapas de temperatura aparente de superfície para a classe de edificações horizontais de tipos variados



Figura 5.2.2 Exemplo de área com presença de edificações horizontais de tipos variados, no distrito de Belém FONTE: Google Earth, 2013

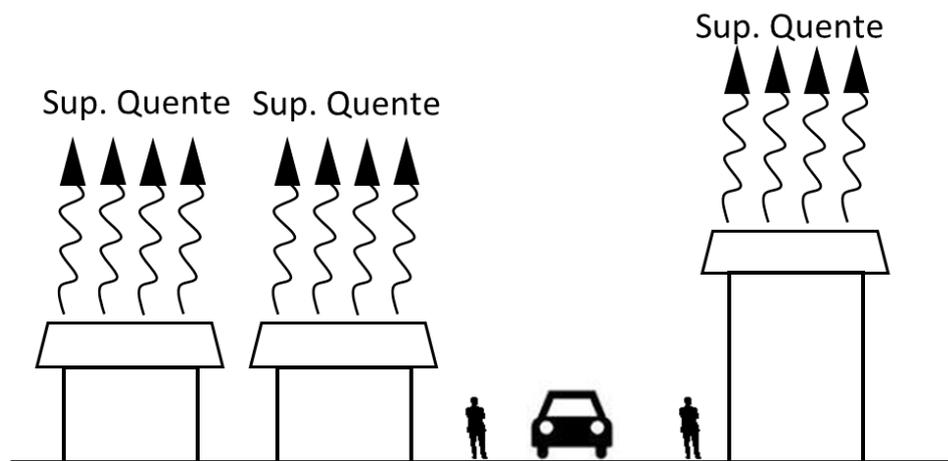


Figura 5.2.3 Croqui para a classe de edificações horizontais de tipos variados.



Figura 5.2.4 Exemplo de área com presença de edificações horizontais de tipos variados, no distrito do Ipiranga FONTE: Google Earth, 2013

Outono - 2011

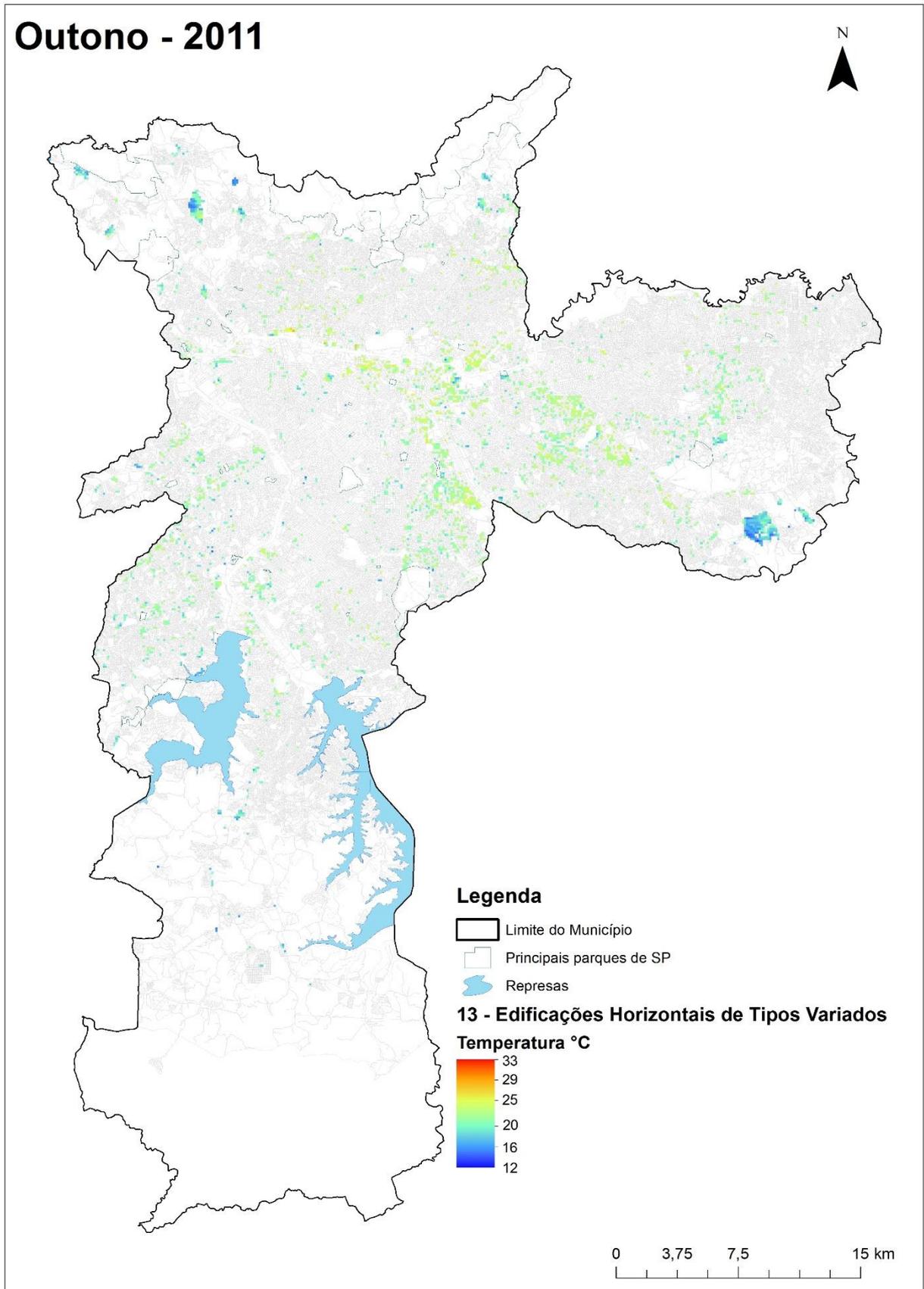


Figura 5.2.5 – Mapa de temperatura aparente de superfície das edificações horizontais de tipos variados para o outono de 2011.

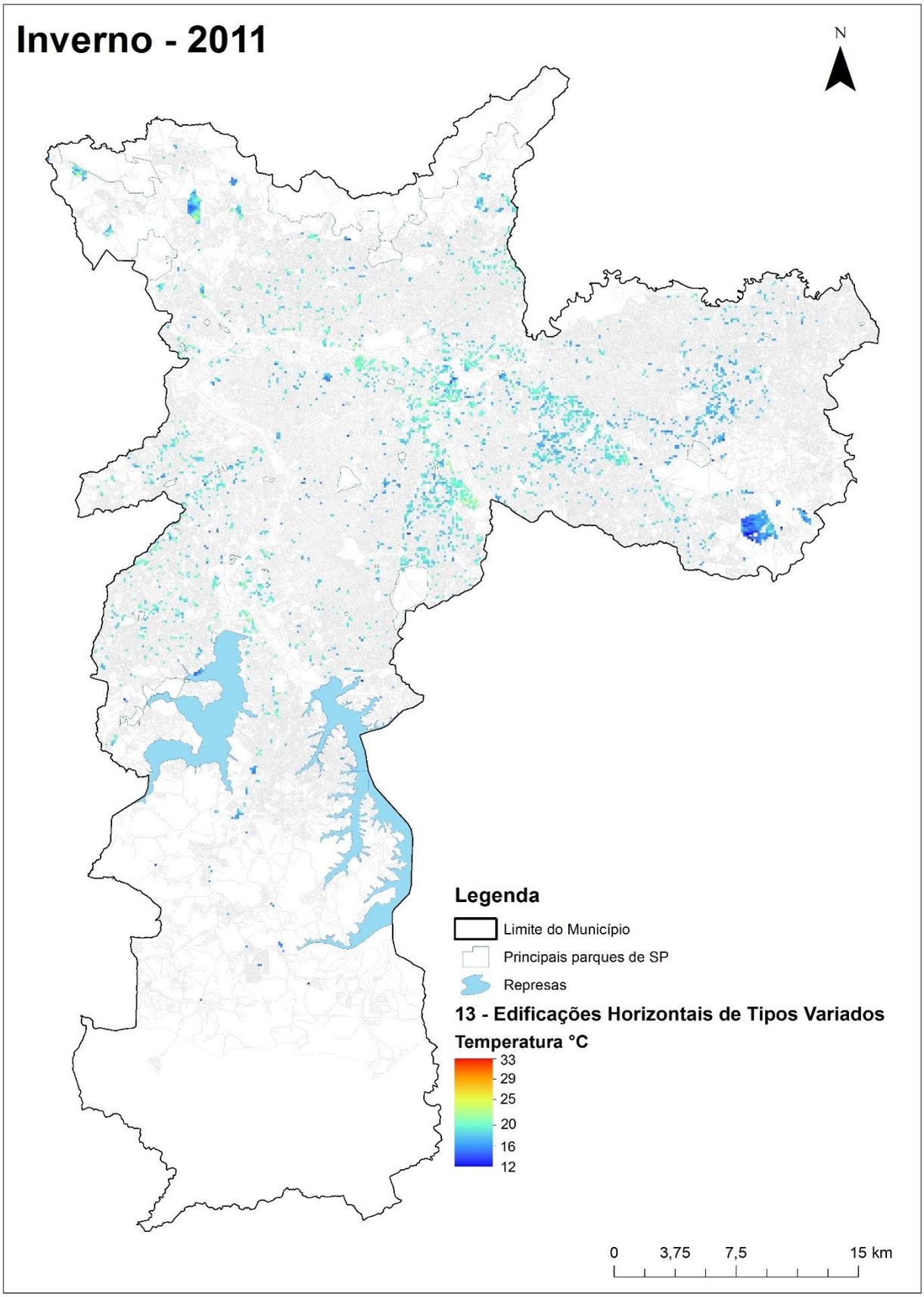


Figura 5.2.6- Mapa de temperatura aparente de superfície das edificações horizontais de tipos variados para o inverno de 2011.

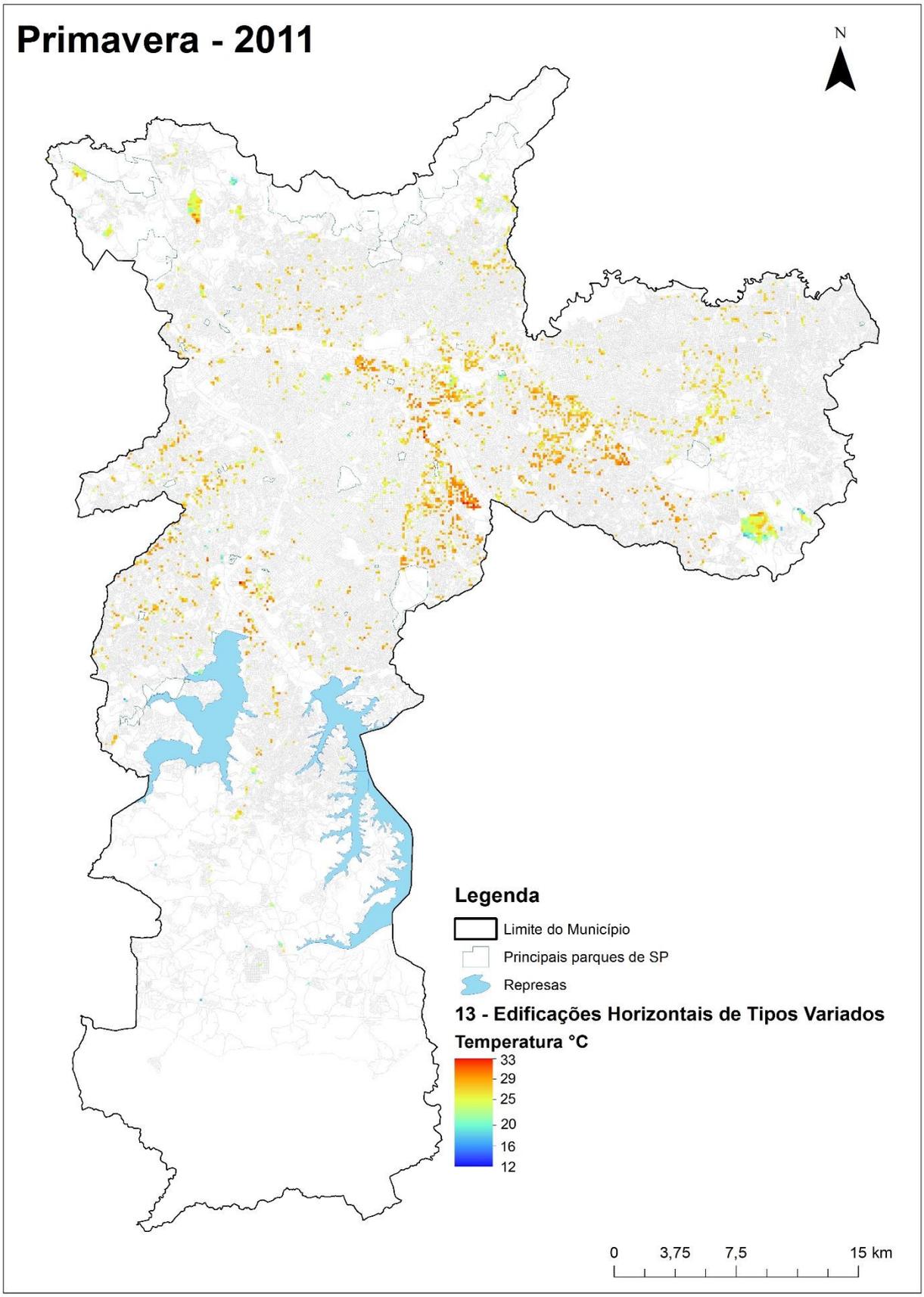


Figura 5.2.7 - Mapa de temperatura aparente de superfície das edificações horizontais de tipos variados para a primavera de 2011.

5.3 Classe: Edificações horizontais e verticais

A classe Edificações horizontais e verticais pertence ao tipo de parcelamento tradicional, e representa a terceira classe mais presente na área urbana de São Paulo, com 4,93%.

Como é possível observar no seu histograma (Figura 5.3.1) a temperatura aparente de superfície para esta classe apresenta as seguintes variações: para outono (Figura 5.3.6) a média da temperatura é de 20,4°C, ou 0,3°C acima da temperatura média do município de São Paulo; para o inverno (Figura 5.3.7) a média da temperatura ficou em 17,7°C e 0,2°C acima da temperatura média do município de São Paulo; e por fim, a primavera (Figura 5.3.8), com temperatura média de 26,0°C e 0,5°C acima da temperatura média do município de São Paulo.

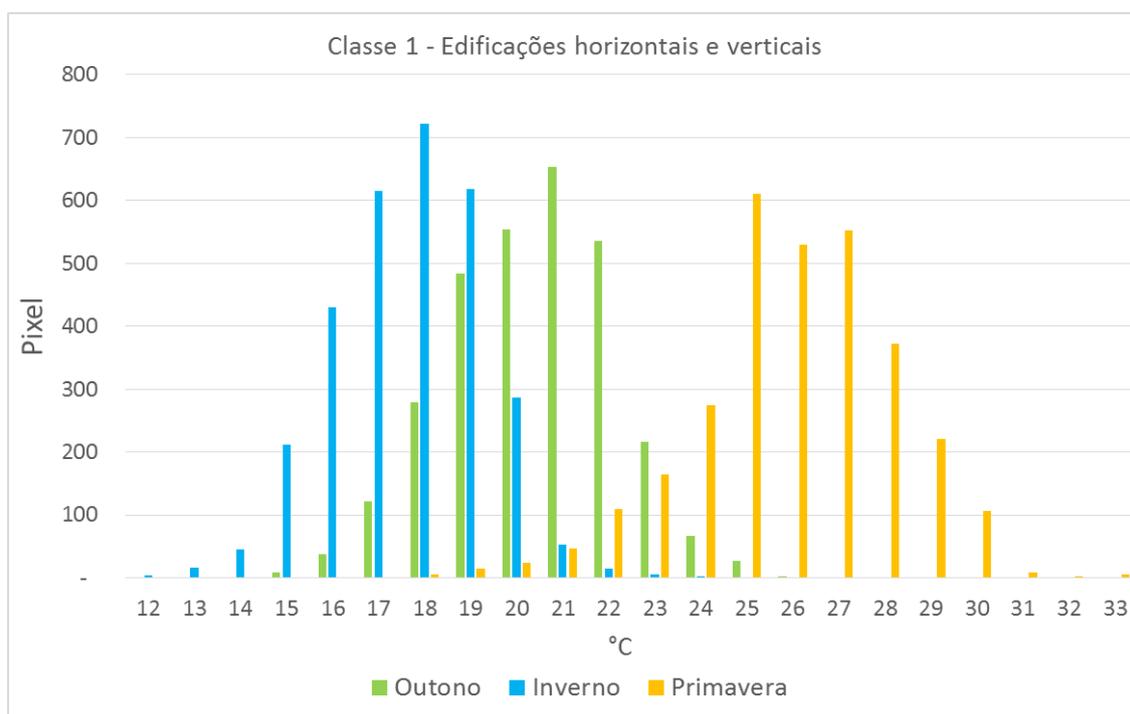


Figura 5.3.1 - Histograma dos mapas de temperatura aparente de superfície para a classe de edificações horizontais e verticais

Ao observar os mapas (Figura 5.3.6, Figura 5.3.7 e Figura 5.3.8) da classe de edificações horizontais e verticais, é possível notar a existência de “ilhas de frescor” com temperatura aparente de superfície em média, cerca de 3°C inferior à da temperatura média encontrada no outono, inverno e primavera para

esta classe. Tal situação é resultado do tipo de superfície encontrada na área do mapeamento, que neste caso, são áreas mais arborizadas, associadas as zonas de influência das sombras dos prédios, presentes nesta classe, que intensificam o efeito de frescor no cânion urbano, como no exemplo da Figura 5.3.2, que também acaba criando áreas de sombra nos cânions urbanos, como se pode observar no croqui da Figura 5.3.3, onde devido a estas mesmas sombras, verificou-se a emissão de ondas longas "mais frias".

Situação que não ocorre por exemplo, em áreas que não são arborizadas e que não apresentem edificações com mais de cinco andares, para criar as zonas de influência das sombras e ainda que apresentem galpões (Figura 5.3.4), apesar de haver áreas de sombras devido a presença de grandes galpões, que podem criar pequenas áreas de frescor extremamente pontuais e de curta duração, durante o período que houver a sombra da construções, mas que devido à natureza da sua superfície e dimensões dos galpões, estas áreas acabam por criar zonas concentradas de calor, onde a temperatura aparente de superfície pode ficar em média entre 1 a 2°C acima da temperatura média registrada para esta classe.

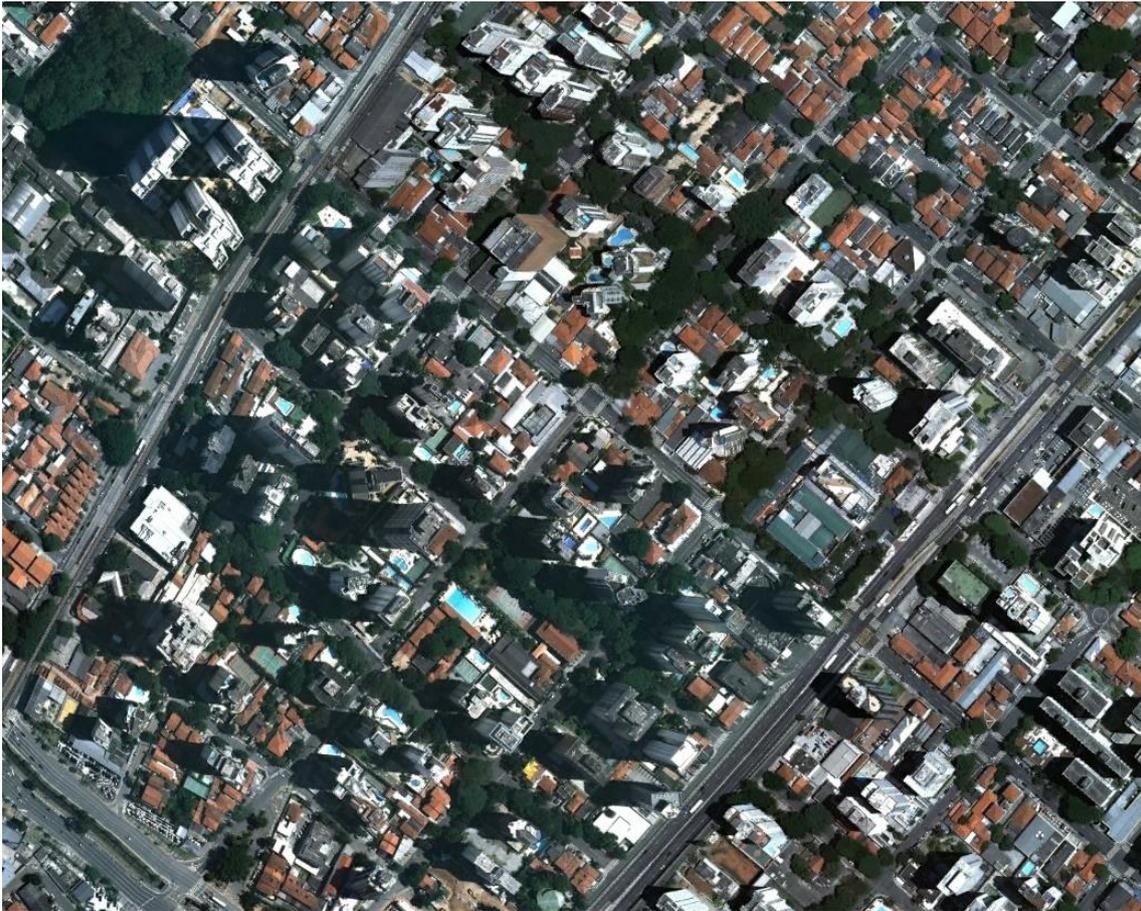


Figura 5.3.2 - Exemplo de bairro arborizado e influência das sombras dos prédios, no distrito do Campo Belo FONTE: Google Earth, 2013

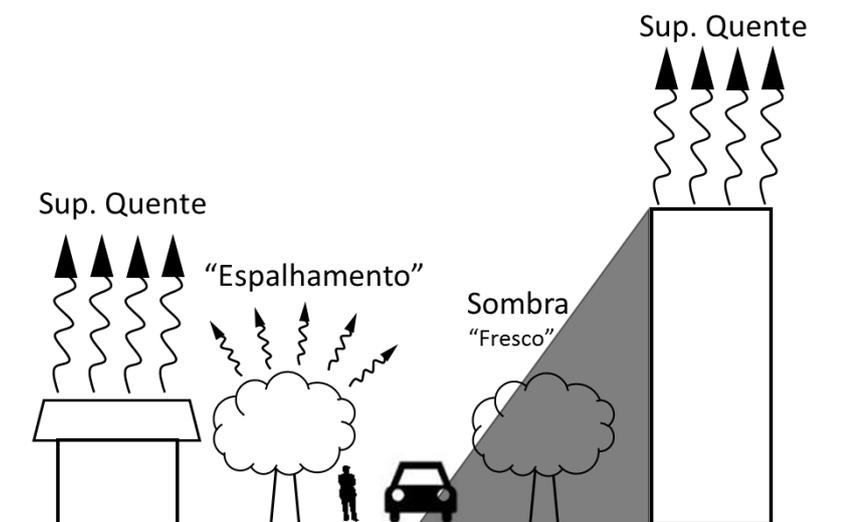


Figura 5.3.3 Croqui para a classe de edificações horizontais e verticais, para situação com arborização.

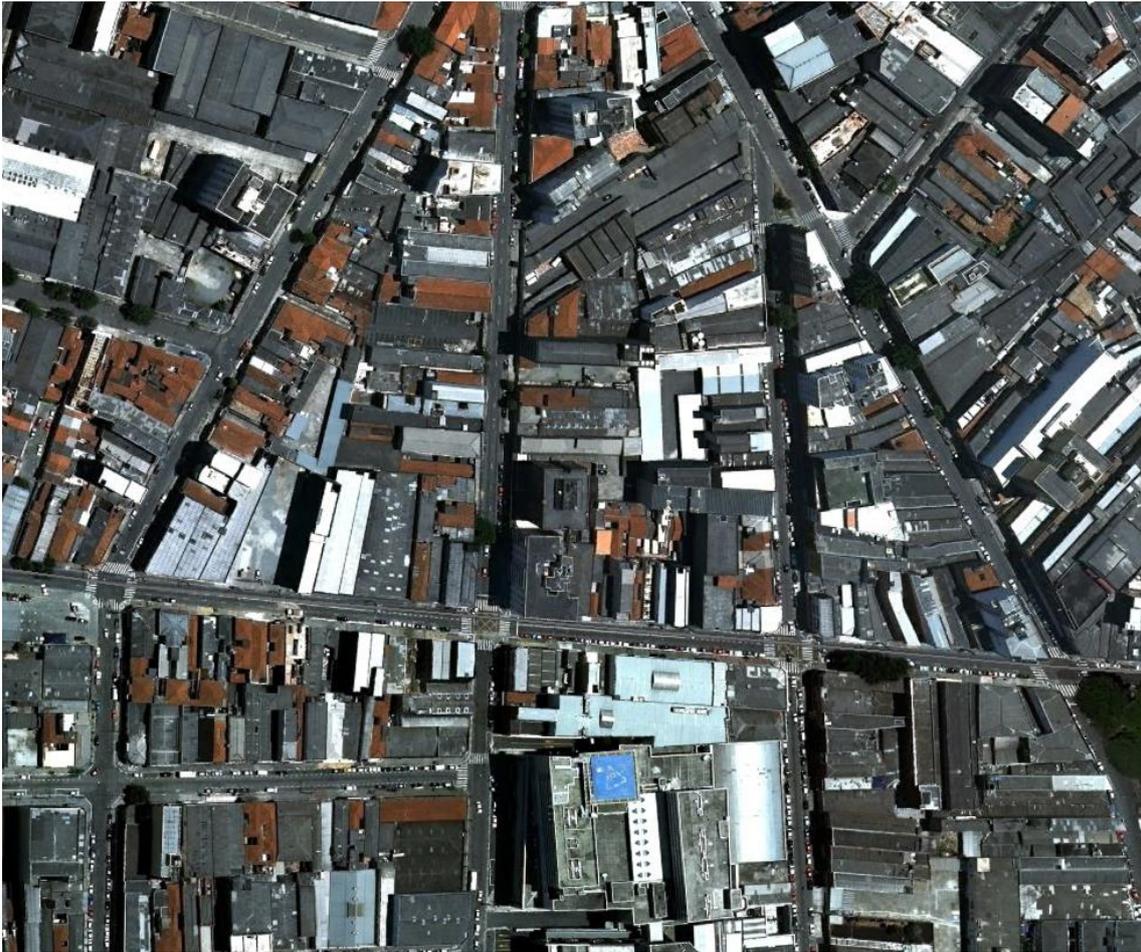


Figura 5.3.4 - Exemplo de bairro não arborizado e influência das sombras dos prédios, no distrito do Pari FONTE: Google Earth, 2013

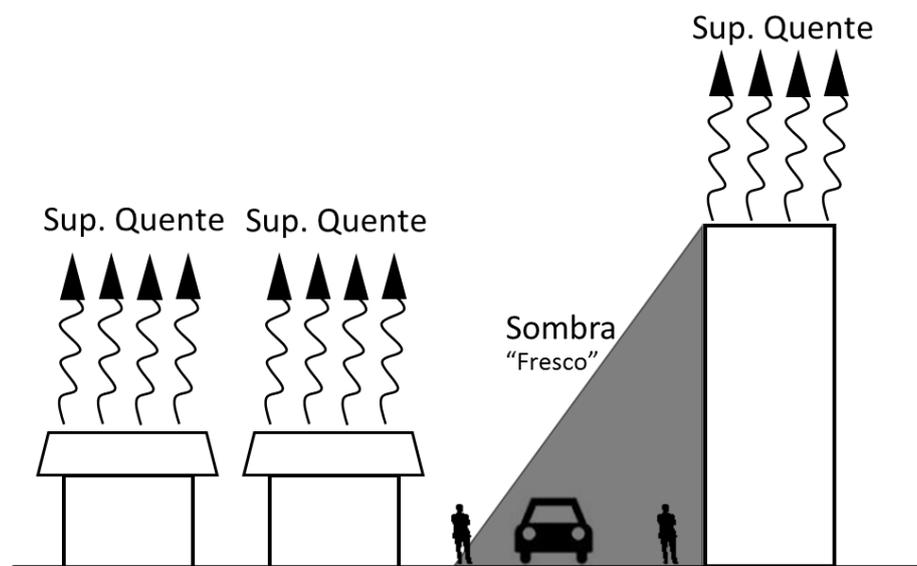


Figura 5.3.5 Croqui para a classe de edificações horizontais e verticais, situação não arborizada.

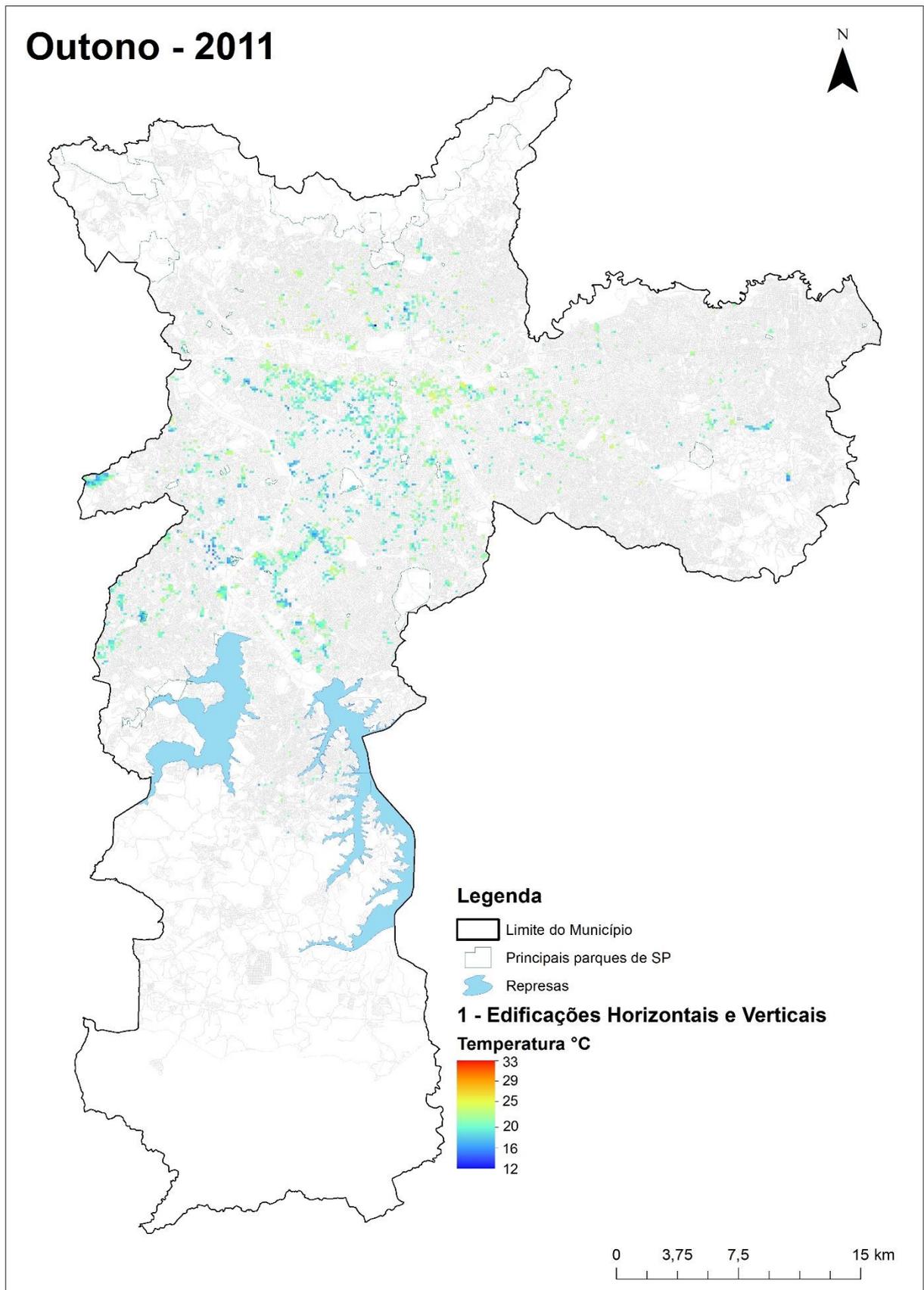


Figura 5.3.6 – Mapa de temperatura aparente de superfície das edificações horizontais e verticais para o outono de 2011.

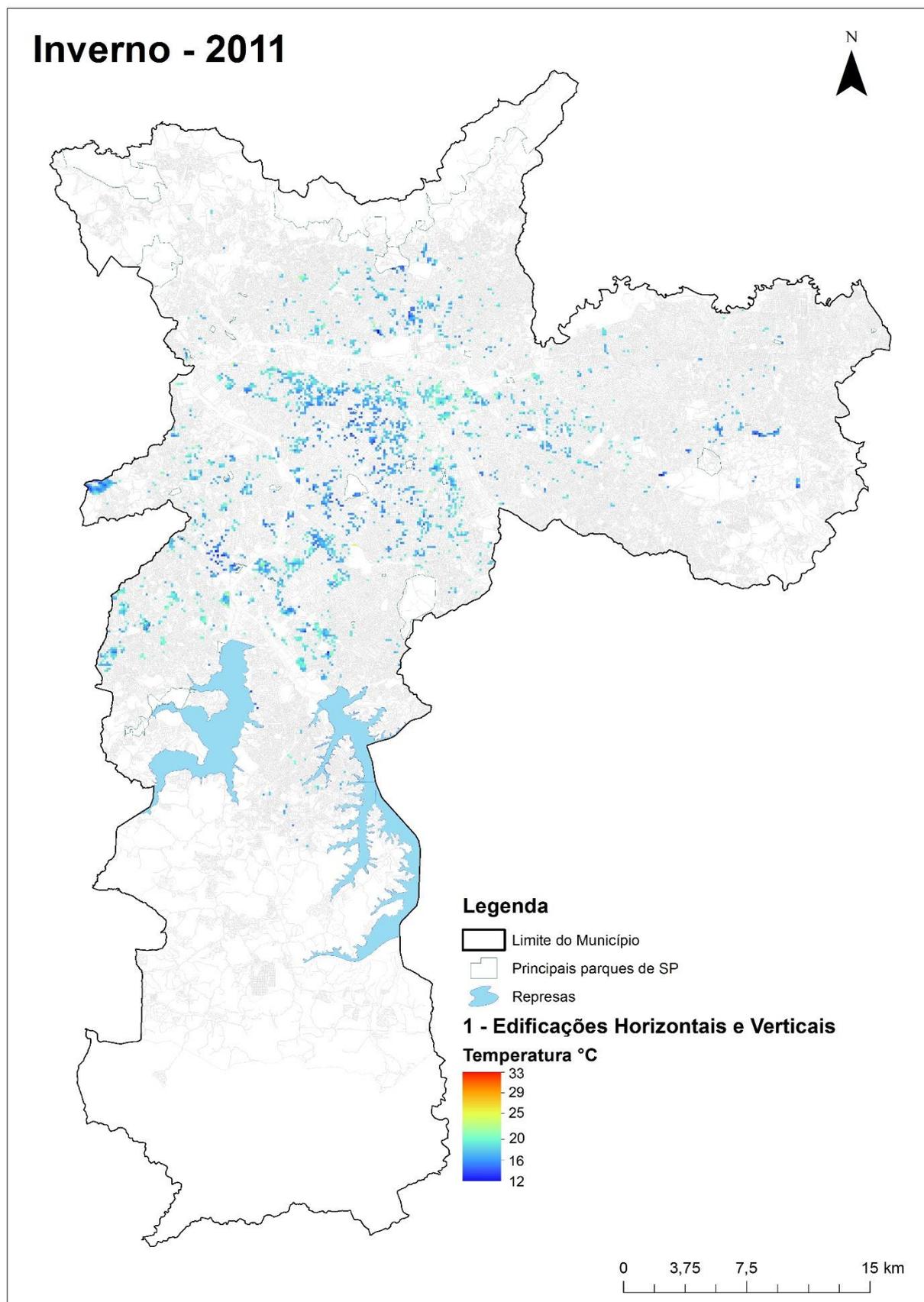


Figura 5.3.7- Mapa de temperatura aparente de superfície das edificações horizontais e verticais para o inverno de 2011.

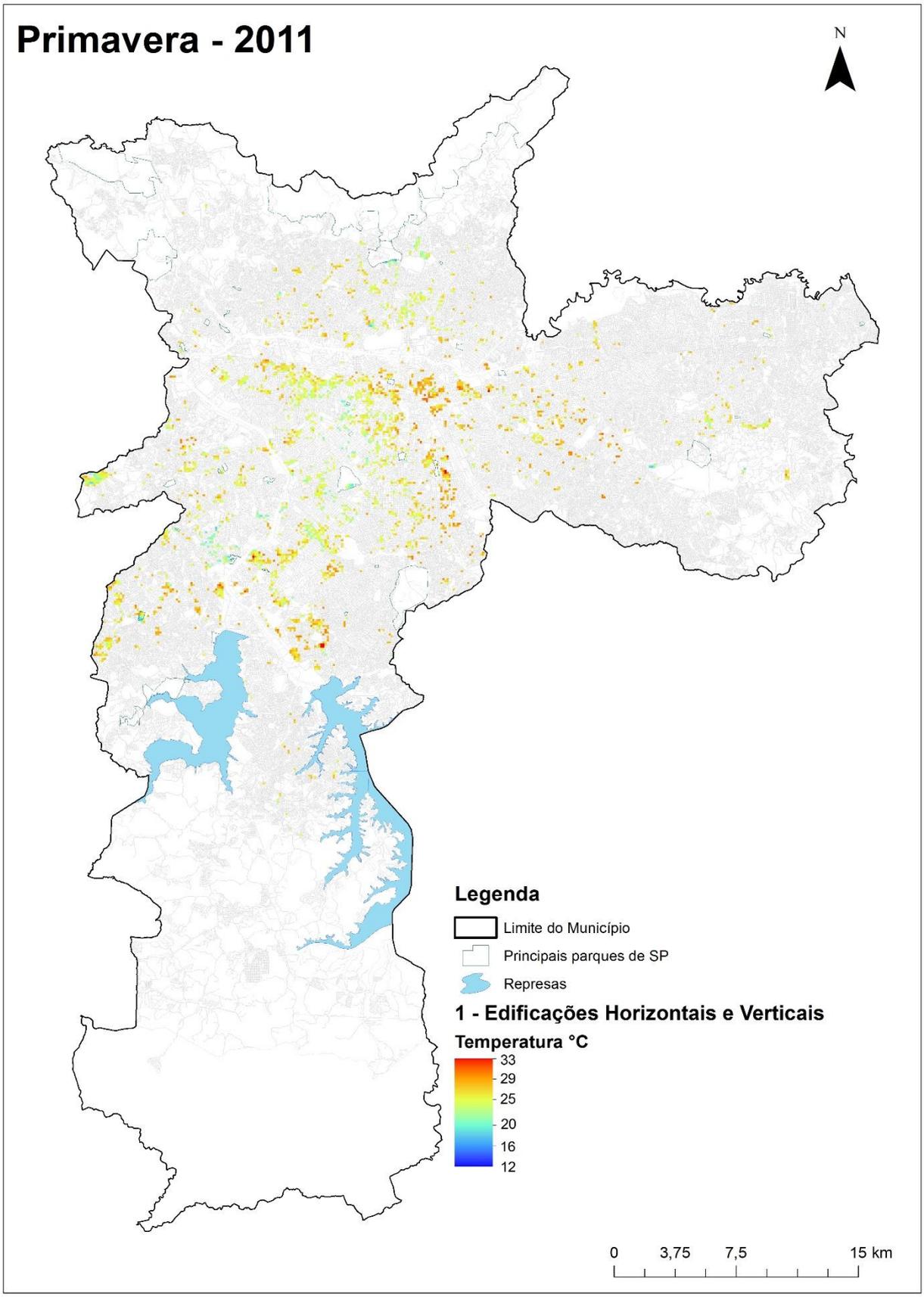


Figura 5.3.8 - Mapa de temperatura aparente de superfície das edificações horizontais e verticais para a primavera de 2011.

5.4 Classe: Edificações horizontais de grande porte

A classe Edificações horizontais de porte grande pertence ao tipo de parcelamento não tradicional, e representa a quarta classe mais presente na área urbana de São Paulo, com 2,16%.

Em seu histograma (Figura 5.4.1) a temperatura aparente de superfície para esta classe apresenta as seguintes variações: para outono (Figura 5.4.5) a média da temperatura é de 21,8°C, ou 1,7°C acima da temperatura média do município de São Paulo; para o inverno (Figura 5.4.6) a média da temperatura ficou em 19,2°C e 1,7°C acima da temperatura média do município de São Paulo; e pôr fim a primavera (Figura 5.4.7), com temperatura média de 27,5°C e 2,0°C acima da temperatura média do município de São Paulo.

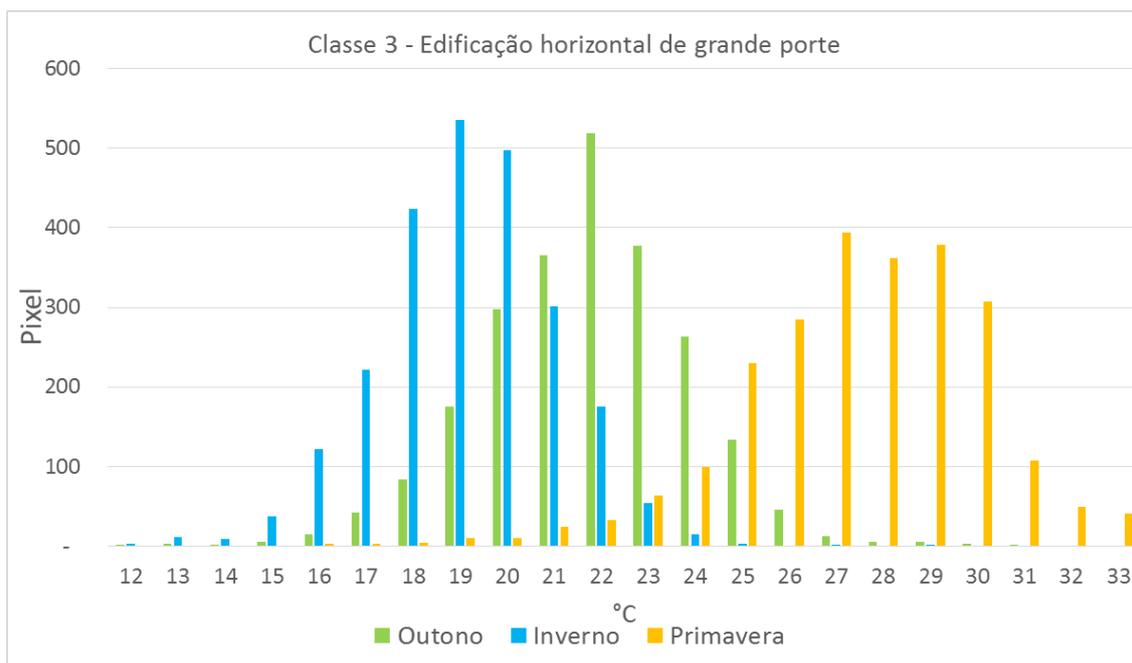


Figura 5.4.1 - Histograma dos mapas de temperatura aparente de superfície para a classe de edificações horizontais de grande porte

Ao observar os mapas (Figura 5.4.5, Figura 5.4.6 e Figura 5.4.7) da classe de edificações horizontais de grande porte, é a que apresenta a temperatura aparentes de superfície mais elevada dentre as cinco classes avaliadas mais os parques, criando zonas locais de calor. Tal situação é resultado

do tipo do material de superfície encontrada na área do mapeamento, que neste caso, são áreas extensas que ocupam toda a quadra com edificações de grande porte e por grandes áreas impermeabilizadas com concreto, ou com coberturas metálicas utilizadas em galpões ou de concreto, como se pode observar nas Figura 5.4.2 e Figura 5.4.4.



Figura 5.4.2 - Exemplo de área com presença de edificações horizontais de grande porte, no distrito de Socorro FONTE: Google Earth, 2013

Estas áreas extensas e com grandes estruturas, criam zonas concentradas de emissividade de ondas longas de maior expressão dentro da cidade, com suas grandes superfícies aquecidas, como se pode observar no croqui da Figura 5.4.3

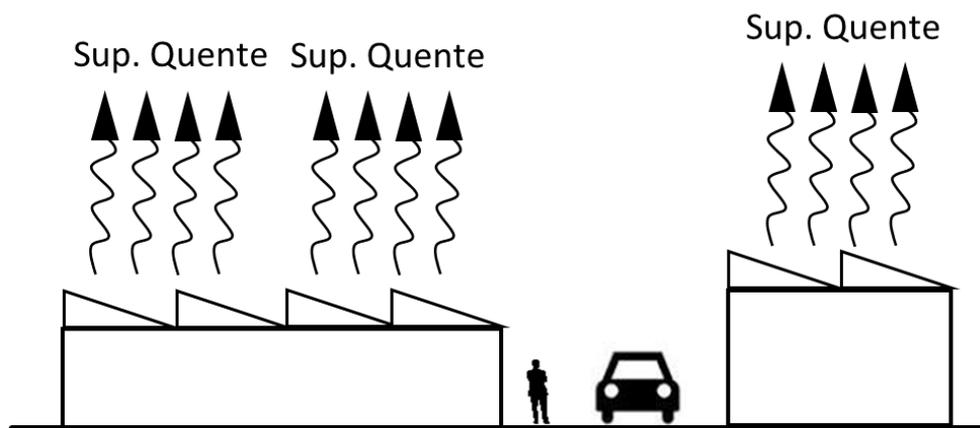


Figura 5.4.3 Croqui para a classe de edificações de grande porte.

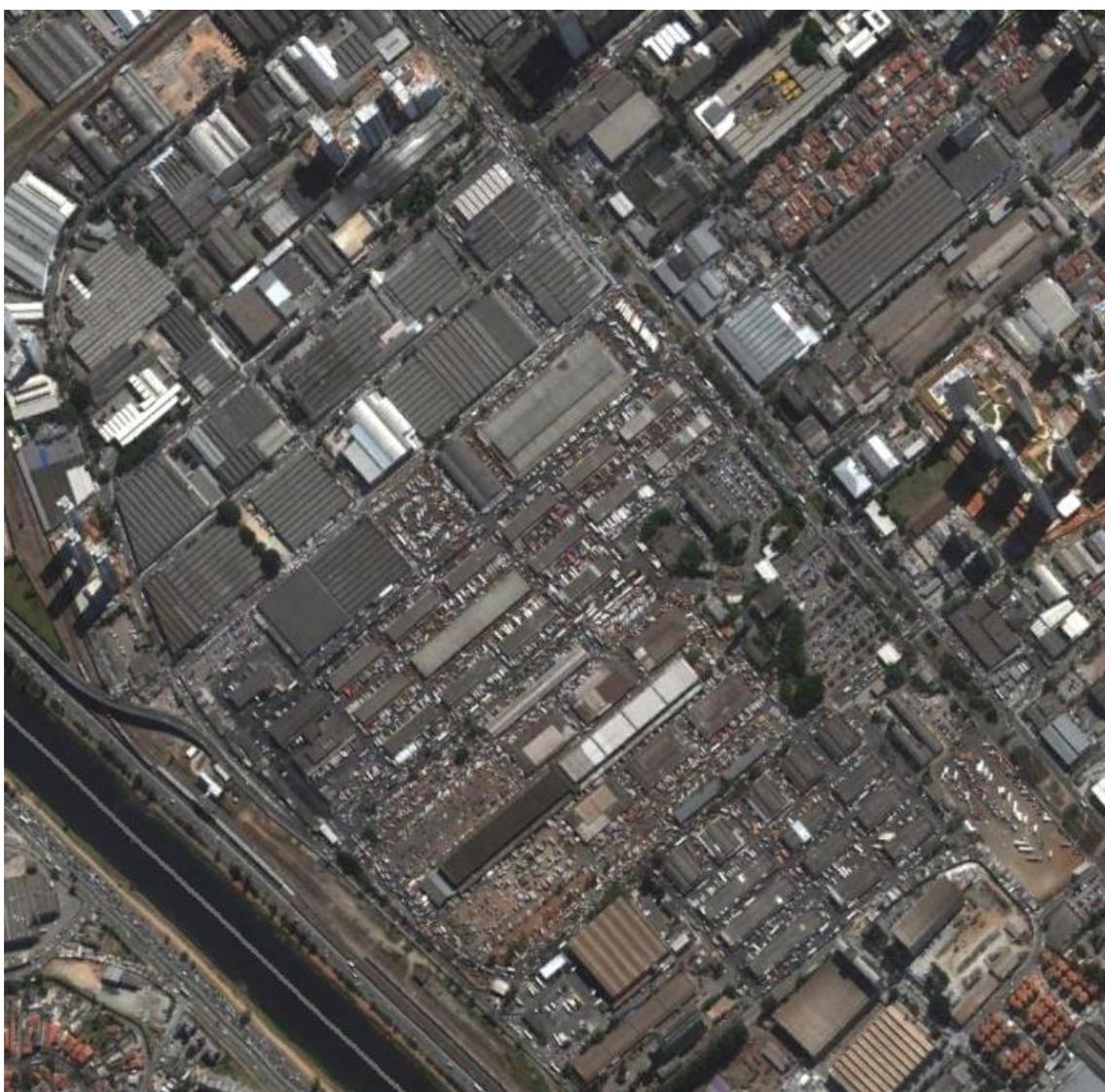


Figura 5.4.4 - Exemplo de área com presença de edificações horizontais de grande porte, no distrito de Vila Leopoldina FONTE: Google Earth, 2013

Outono - 2011

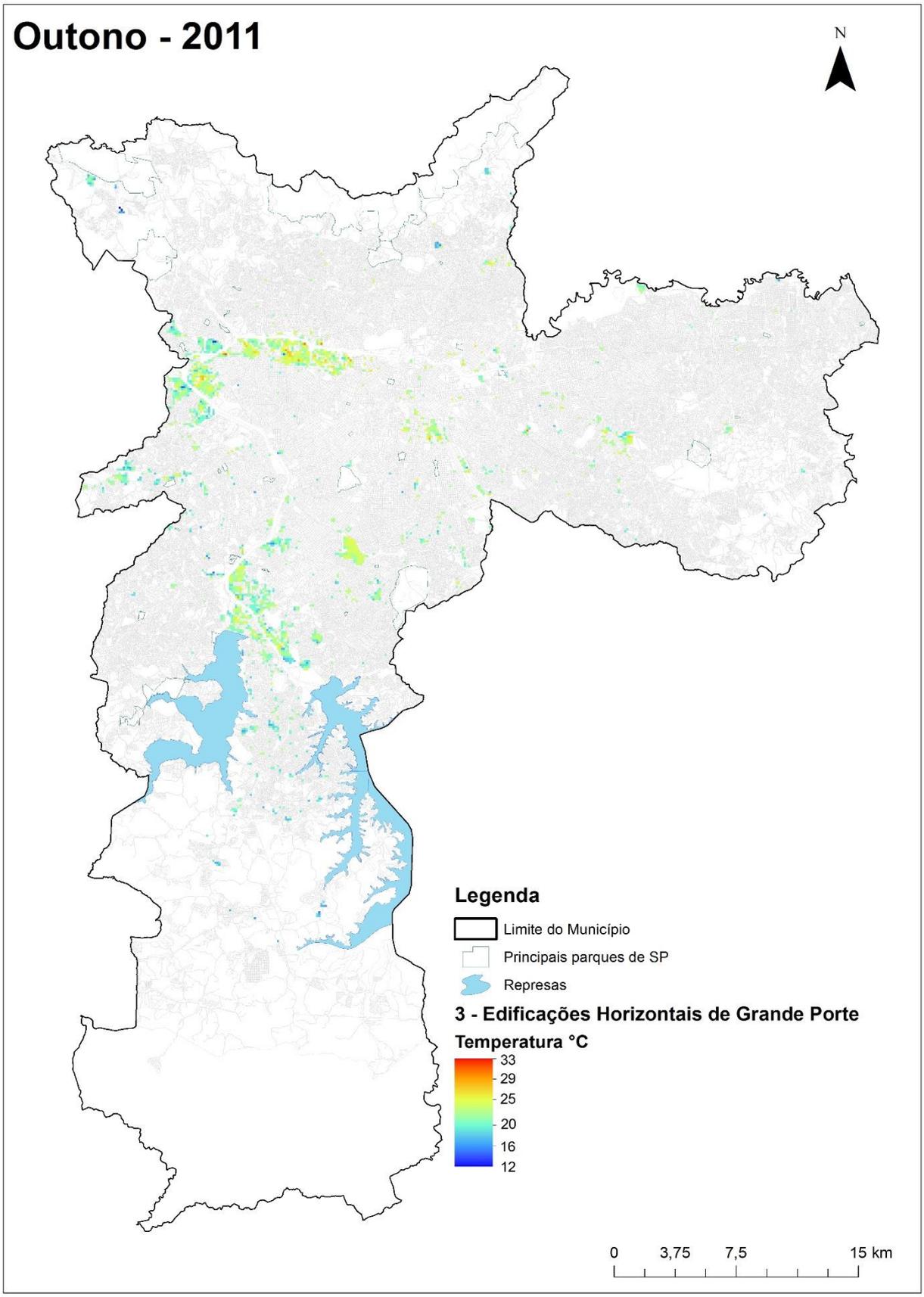


Figura 5.4.5 – Mapa de temperatura aparente de superfície das edificações horizontais de grande porte para o outono de 2011.

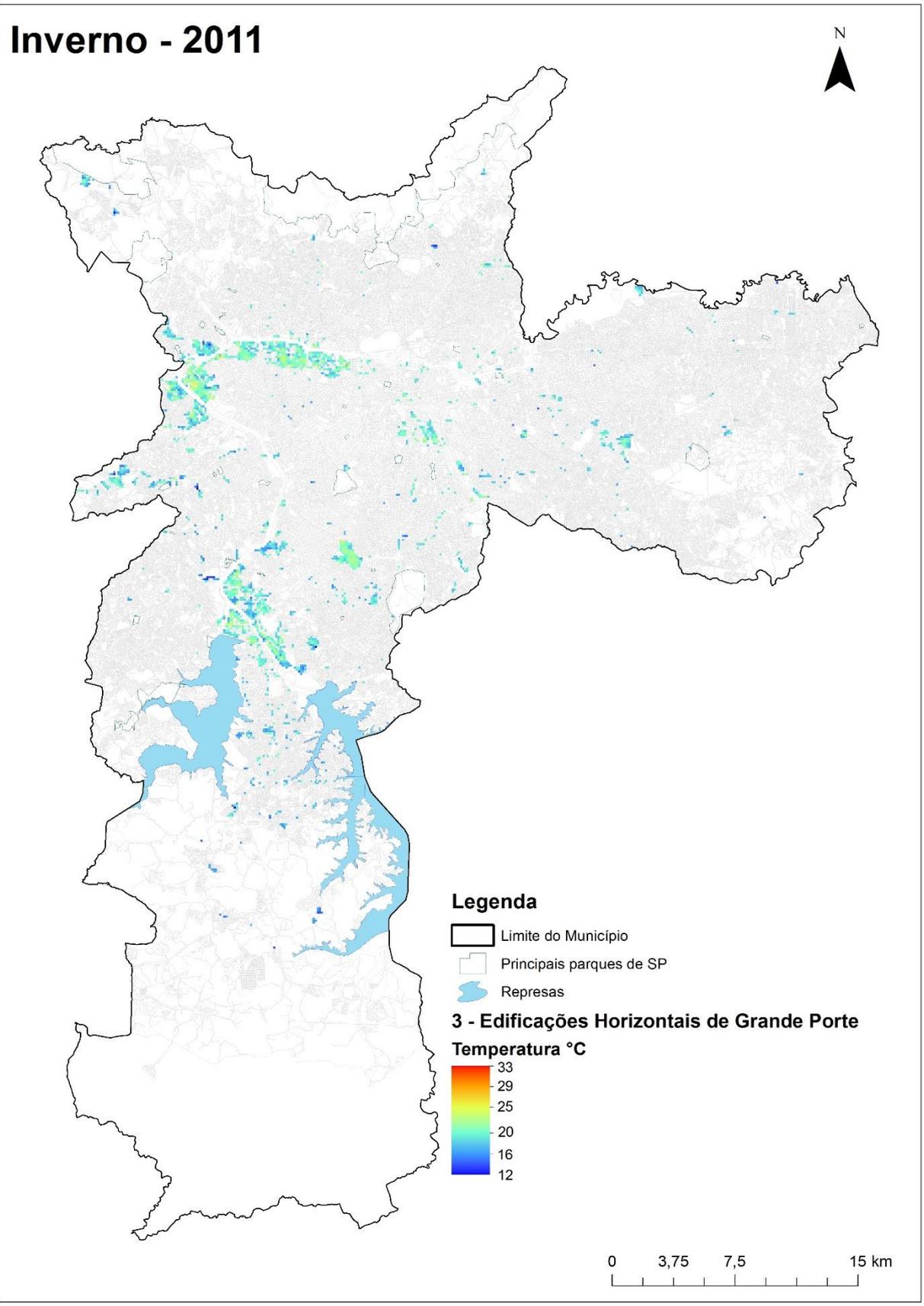


Figura 5.4.6- Mapa de temperatura aparente de superfície das edificações horizontais de grande porte para o inverno de 2011.

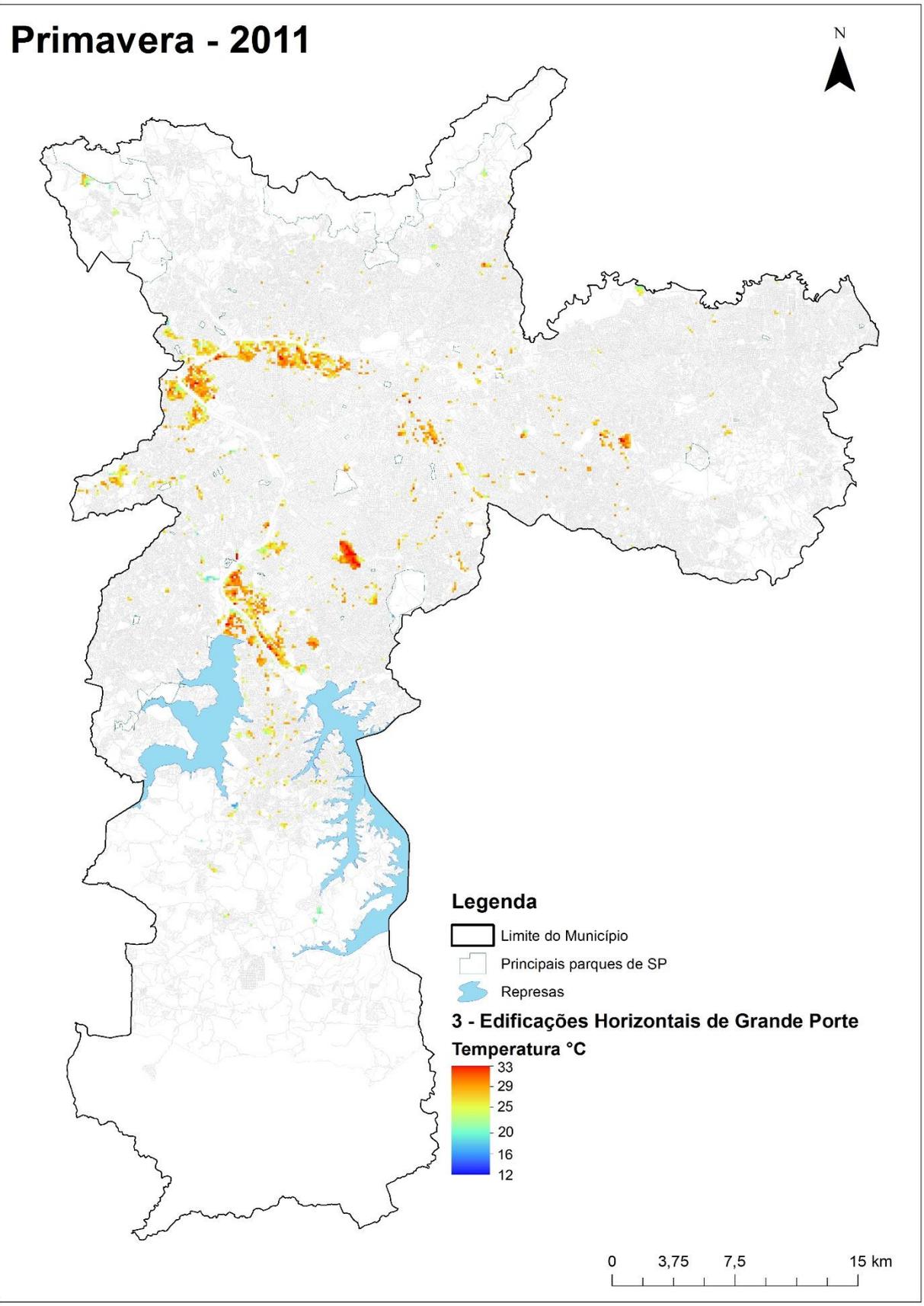


Figura 5.4.7 - Mapa de temperatura aparente de superfície das edificações horizontais de grande porte para a primavera de 2011.

5.5 Classe: Quadra verticalizada

A classe Quadra verticalizada pertence ao tipo de parcelamento tradicional, e representa a quinta classe mais presente na área urbana de São Paulo, com 1,94%.

Ao observar o seu histograma (Figura 5.5.1) a temperatura aparente de superfície para a classe de quadra verticalizada apresenta as seguintes variações: para outono (Figura 5.5.5) a média da temperatura é de 18,0°C, ou 2,1°C abaixo da temperatura média do município de São Paulo; para o inverno (Figura 5.5.6) a média da temperatura ficou em 16,1°C e 1,4°C abaixo da temperatura média do município de São Paulo; e pôr fim a primavera (Figura 5.5.7), com temperatura média de 24,0°C e 1,5°C abaixo da temperatura média do município de São Paulo.

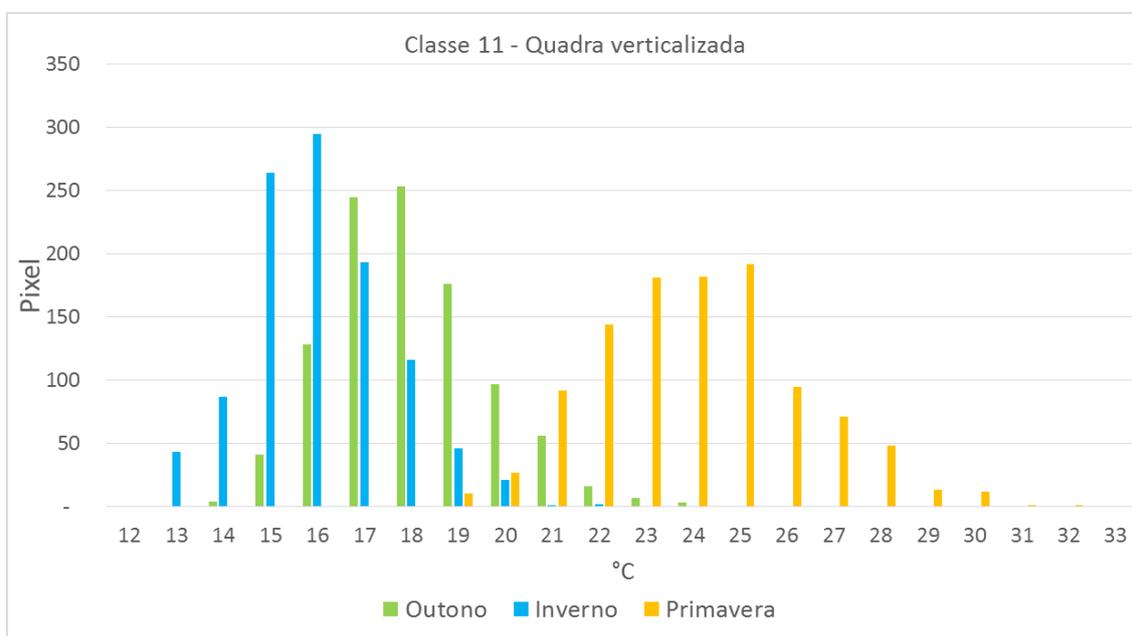


Figura 5.5.1 - Histograma dos mapas de temperatura aparente de superfície para a classe de quadra verticalizada

Ao observar os mapas (Figura 5.5.5, Figura 5.5.6 e Figura 5.5.7) da classe de quadra verticalizada, é possível notar que as suas temperaturas são inferiores em comparação as outras cinco classes avaliadas em relação ao tipo de parcelamento com exceção dos parques, o que faz com que a classe quadra

verticalizada se torne uma “ilha de frescor” dentro da cidade, mas que em épocas mais frias como no outono e inverno, se torne uma área mais fria que o resto da cidade. Tal situação é resultado do tipo de superfície encontrada na área do mapeamento, que neste caso, estão sob influência direta das grandes áreas de sombras dos prédios no cânion urbano, como no exemplo da Figura 5.5.2 e Figura 5.5.4. No croqui da Figura 5.5.3 é possível observar as zonas de influência das sombras dos prédios, que intensificam o efeito de frescor no cânion urbano, pelo fato da quadra ser quase que totalmente verticalizada, com edificações acima de cinco andares, grandes áreas estão em zonas de influência das sombras durante grande parte do dia, criando áreas de frescor dentro da cidade, emitindo então, em frequências mais frias das ondas longas, o que influenciará no cômputo geral dos *pixels*.



Figura 5.5.2 - Exemplo de área de quadra verticalizada, notar as áreas de sombras dos prédios, no distrito de Jardim Paulista FONTE: Google Earth, 2013

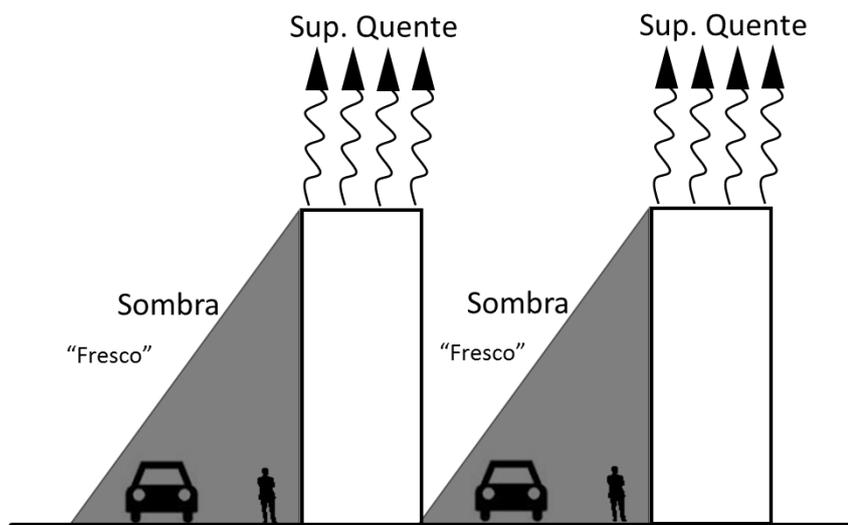


Figura 5.5.3 Croqui para a classe de quadra verticalizada.



Figura 5.5.4 - Exemplo de área de quadra verticalizada, notar as áreas de sombras dos prédios, no distrito de Santa Cecília FONTE: Google Earth, 2013

Outono - 2011

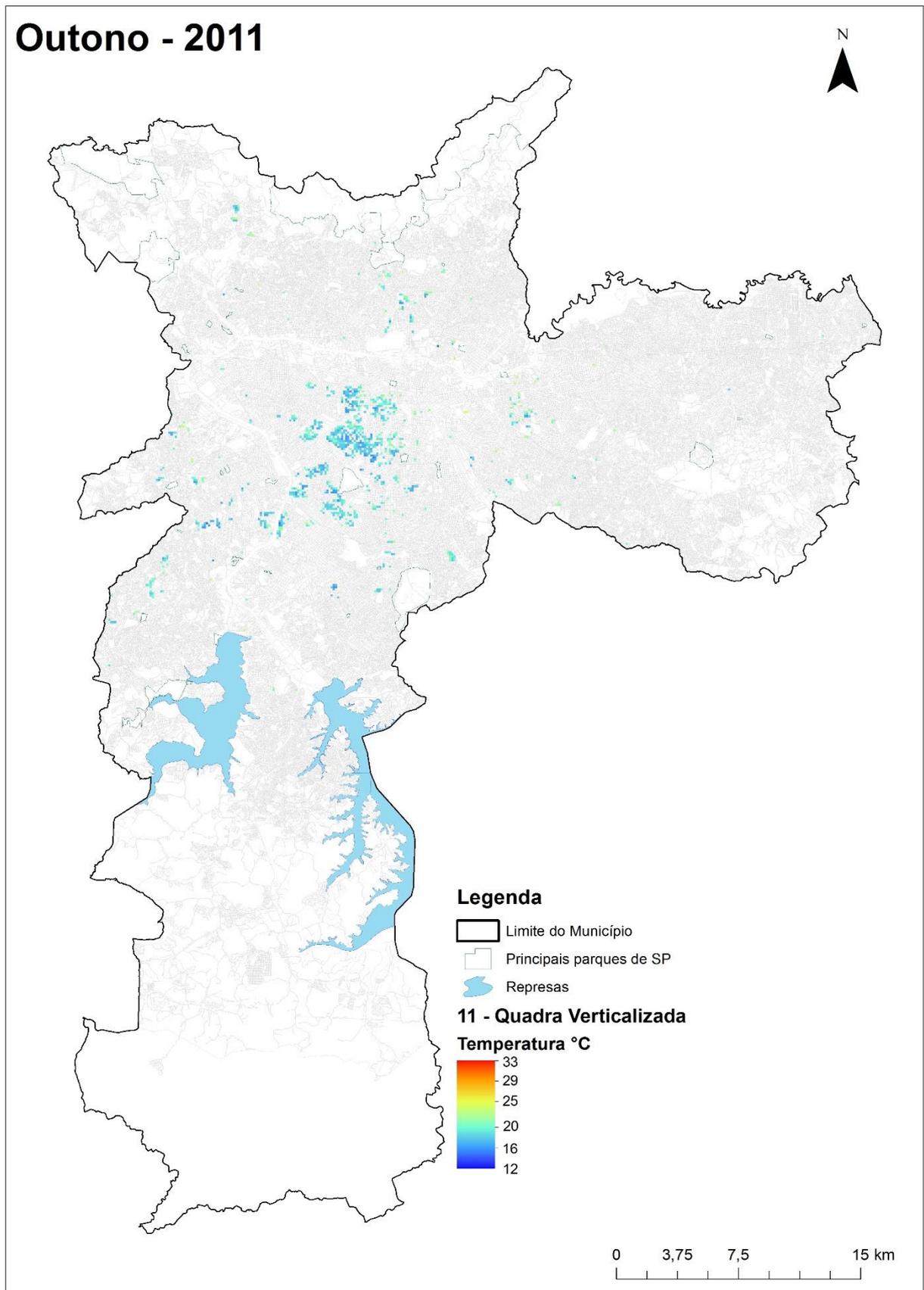


Figura 5.5.5 – Mapa de temperatura aparente de superfície das quadras verticalizadas para o outono de 2011.

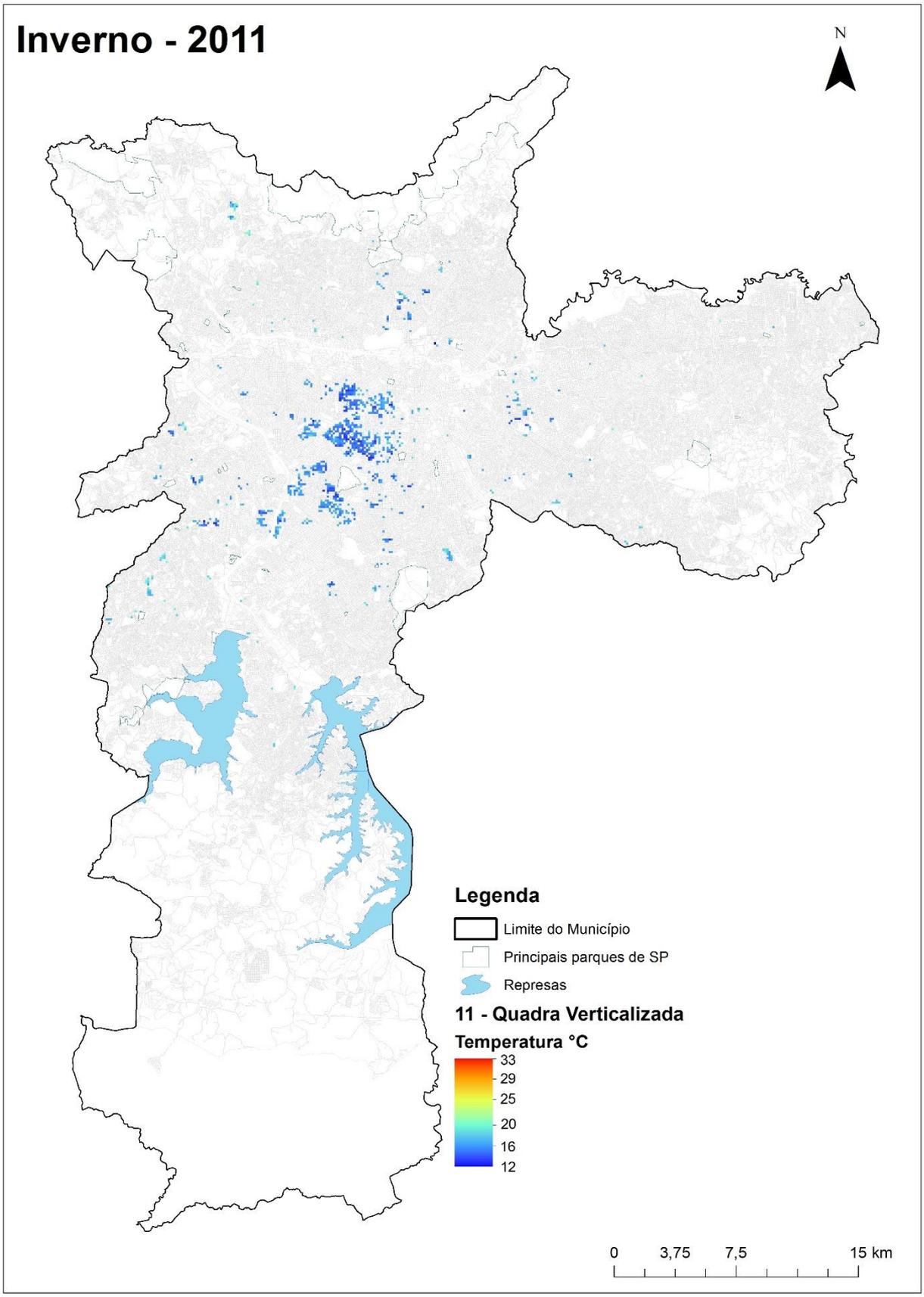


Figura 5.5.6- Mapa de temperatura aparente de superfície das quadras verticalizadas para o inverno de 2011.

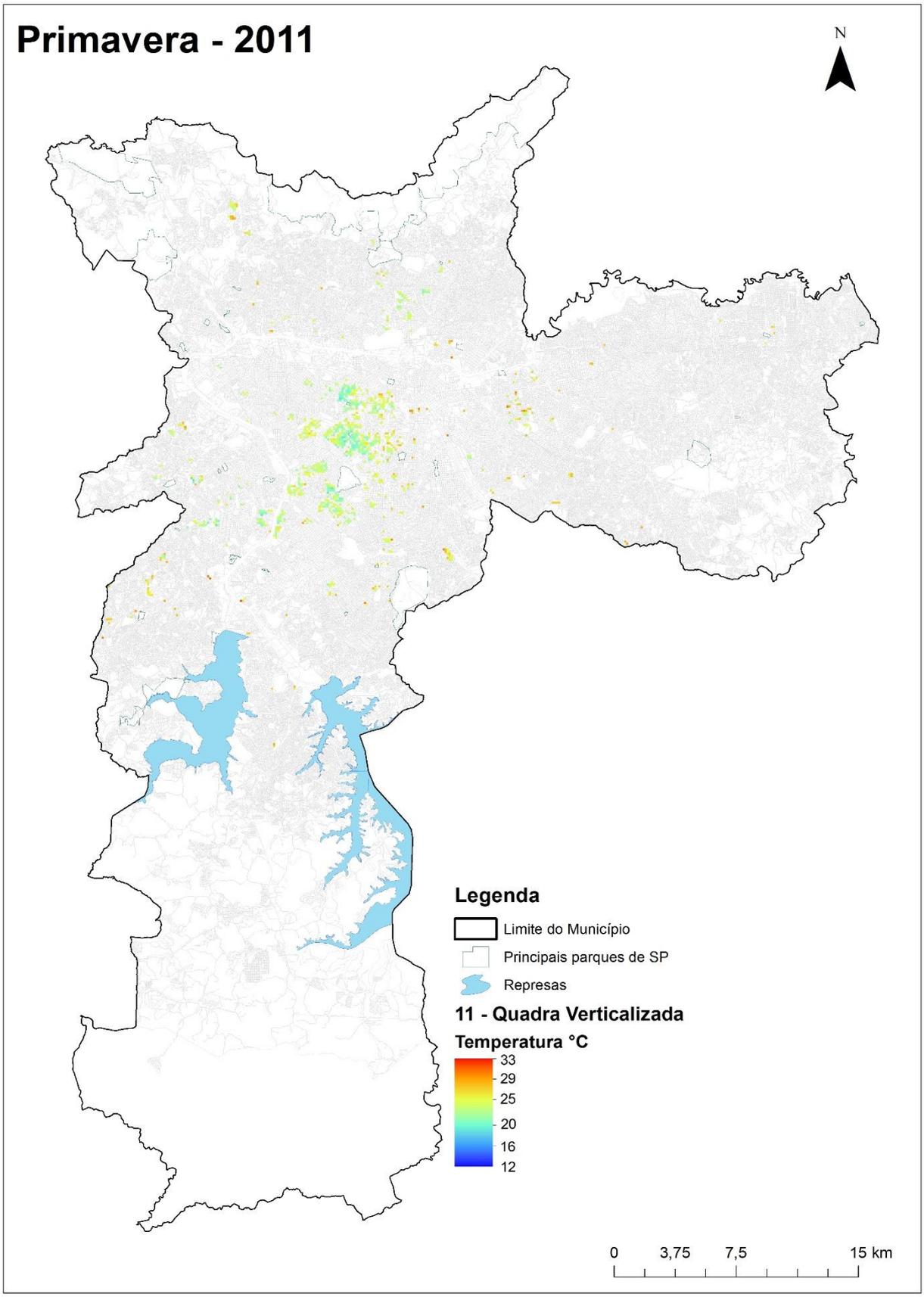


Figura 5.5.7 - Mapa de temperatura aparente de superfície das quadras verticalizadas para a primavera de 2011.

5.6 Parques

Os parques são importantes centros de lazer e descanso na cidade de São Paulo e por isso foram selecionados para analisar a sua temperatura aparente de superfície. Dos parques municipais e estaduais existentes, selecionou-se 35 parques⁴⁴.

No histograma (Figura 5.6.1) a temperatura aparente de superfície para os parques apresentam as seguintes variações: para outono (Figura 5.6.5) a média da temperatura é de 15,4°C, ou 4,7°C abaixo da temperatura média do município de São Paulo; para o inverno (Figura 5.6.6) a média da temperatura ficou em 14,0°C e 3,5°C abaixo da temperatura média do município de São Paulo; e pôr fim a primavera (Figura 5.6.7), com temperatura média de 17,2°C e 8,3°C abaixo da temperatura média do município de São Paulo.

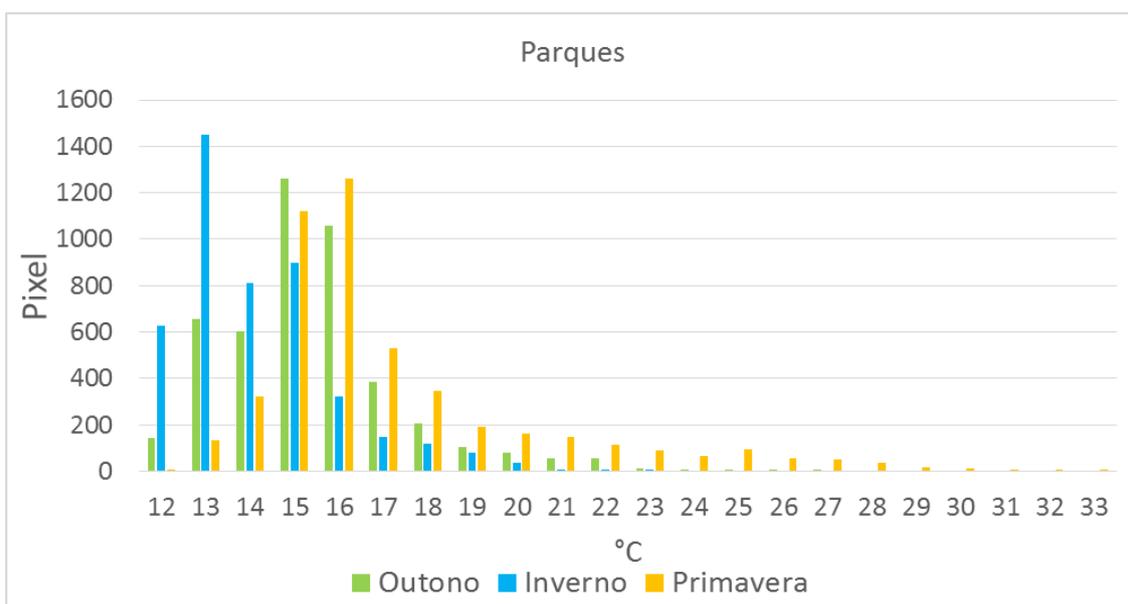


Figura 5.6.1 - Histograma dos mapas de temperatura aparente de superfície para os parques

Ao observar os mapas das Figura 5.6.5, Figura 5.6.6 e Figura 5.6.7 dos parques, é possível notar que as suas temperaturas são inferiores em comparação as cinco classes avaliadas, o que faz com que os parques se tornem

⁴⁴ Foram selecionados os parques estaduais e municipais mais representativos em tamanho para o estudo

“ilhas de frescor” dentro da cidade na primavera, mas que em épocas mais frias como no outono e inverno, se tornem áreas muito mais frias que o resto da cidade. Tal situação é resultado do tipo de superfície encontrada na área do mapeamento, que neste caso, é a presença da cobertura vegetal, principalmente árvores, como no exemplo da Figura 5.6.2 e Figura 5.6.3.

A grande presença de cobertura vegetal com áreas de gramado ou de árvores, dada as suas propriedades, acaba por “espalhar” as ondas longas. Além disso, são áreas mais úmidas, e com isso as ondas longas que passariam para o ar, poderiam ser capturadas por esta umidade, transformando-se em vapor de água e com isso o sensor não iria capturar a onda longa, criando zonas mais frescas em relação a temperatura aparente de superfície em comparação as estruturas de seu entorno, como se pode observar no croqui da Figura 5.6.4



Figura 5.6.2 – Parque do Ibirapuera. FONTE: Google Earth, 2013

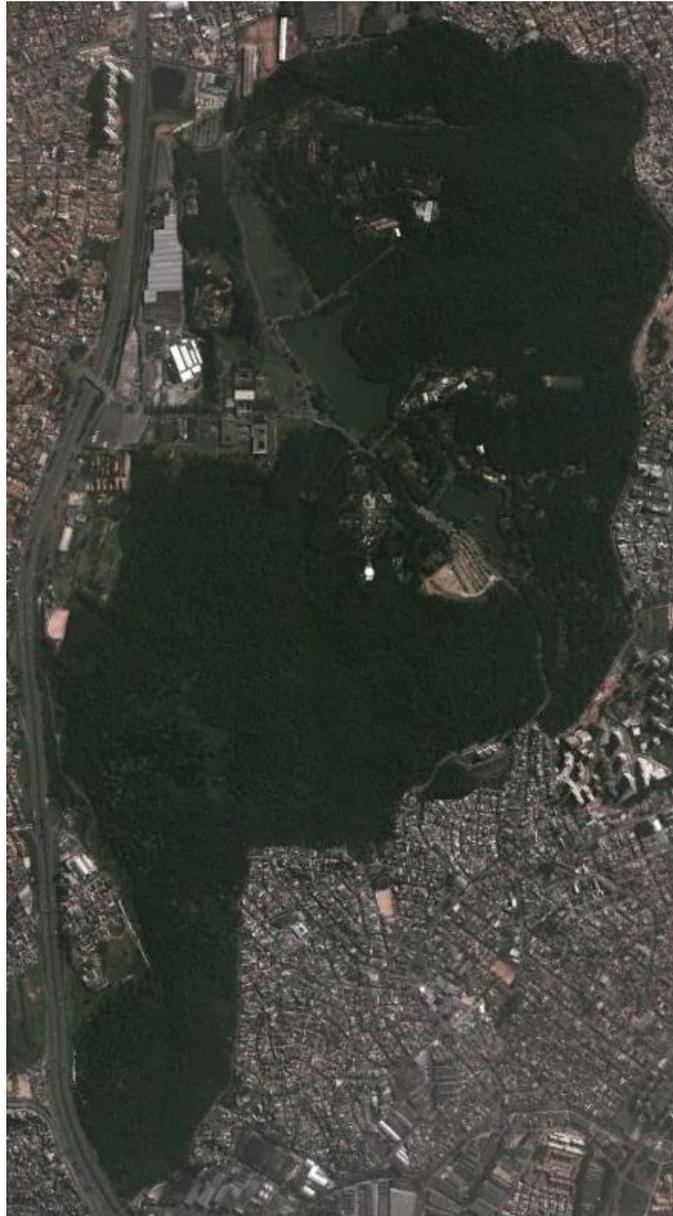


Figura 5.6.3 – Parque do Estado. FONTE: Google Earth, 2013

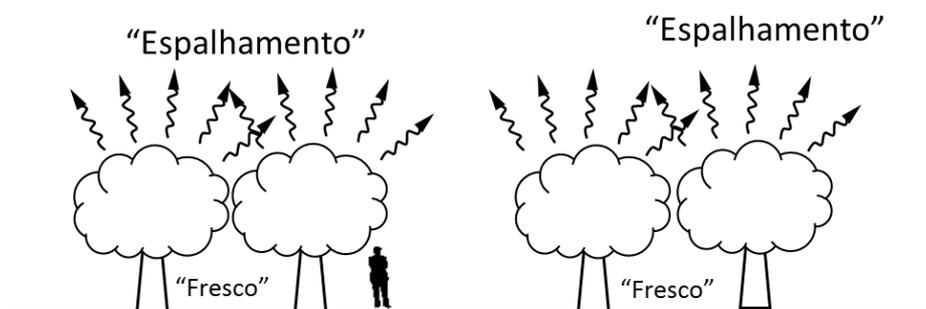


Figura 5.6.4 Croqui para a classe de parques.

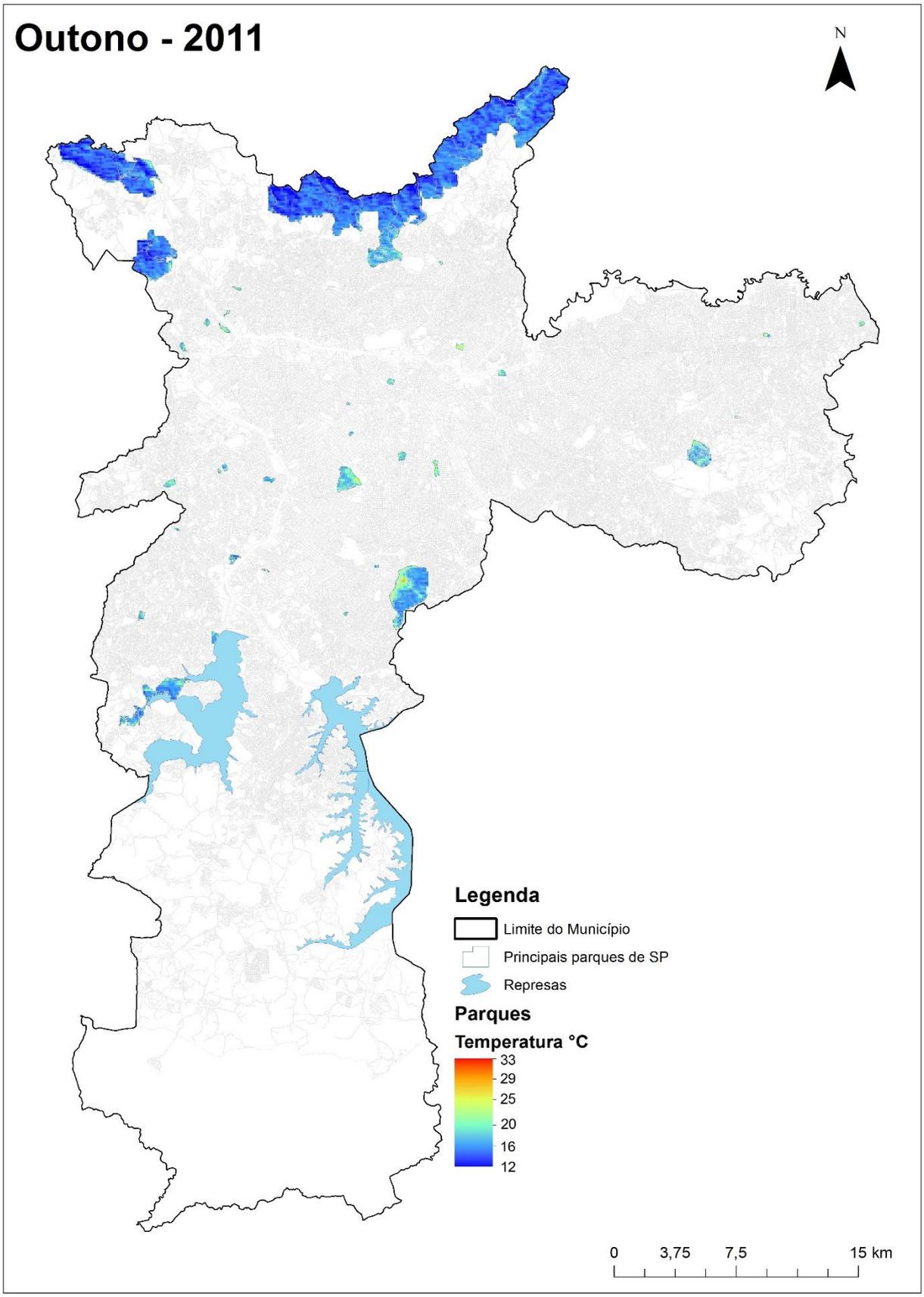


Figura 5.6.5 – Mapa de temperatura aparente de superfície dos principais parques para o outono de 2011.

Inverno - 2011

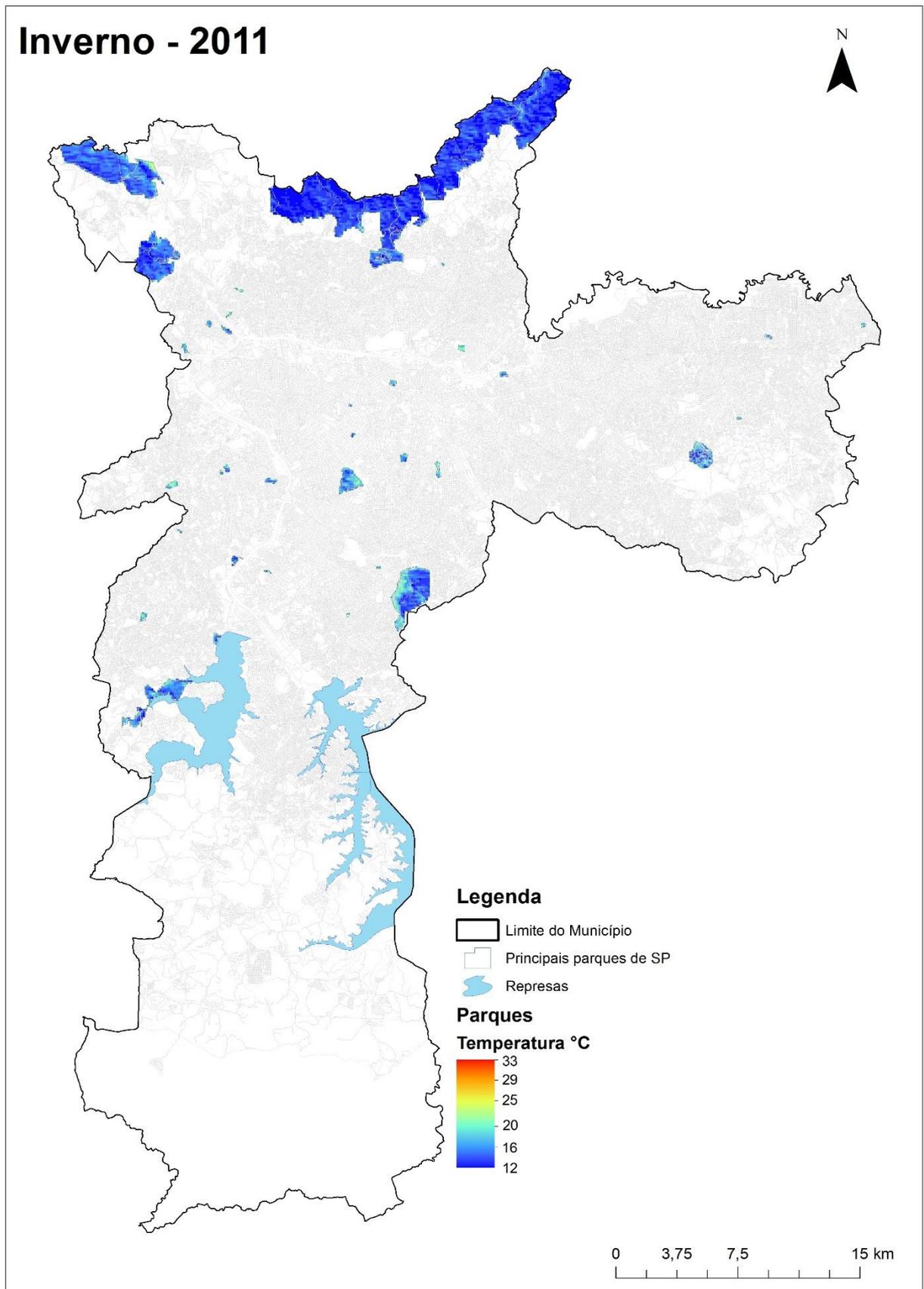


Figura 5.6.6- Mapa de temperatura aparente de superfície dos principais parques para o inverno de 2011.

Primavera - 2011

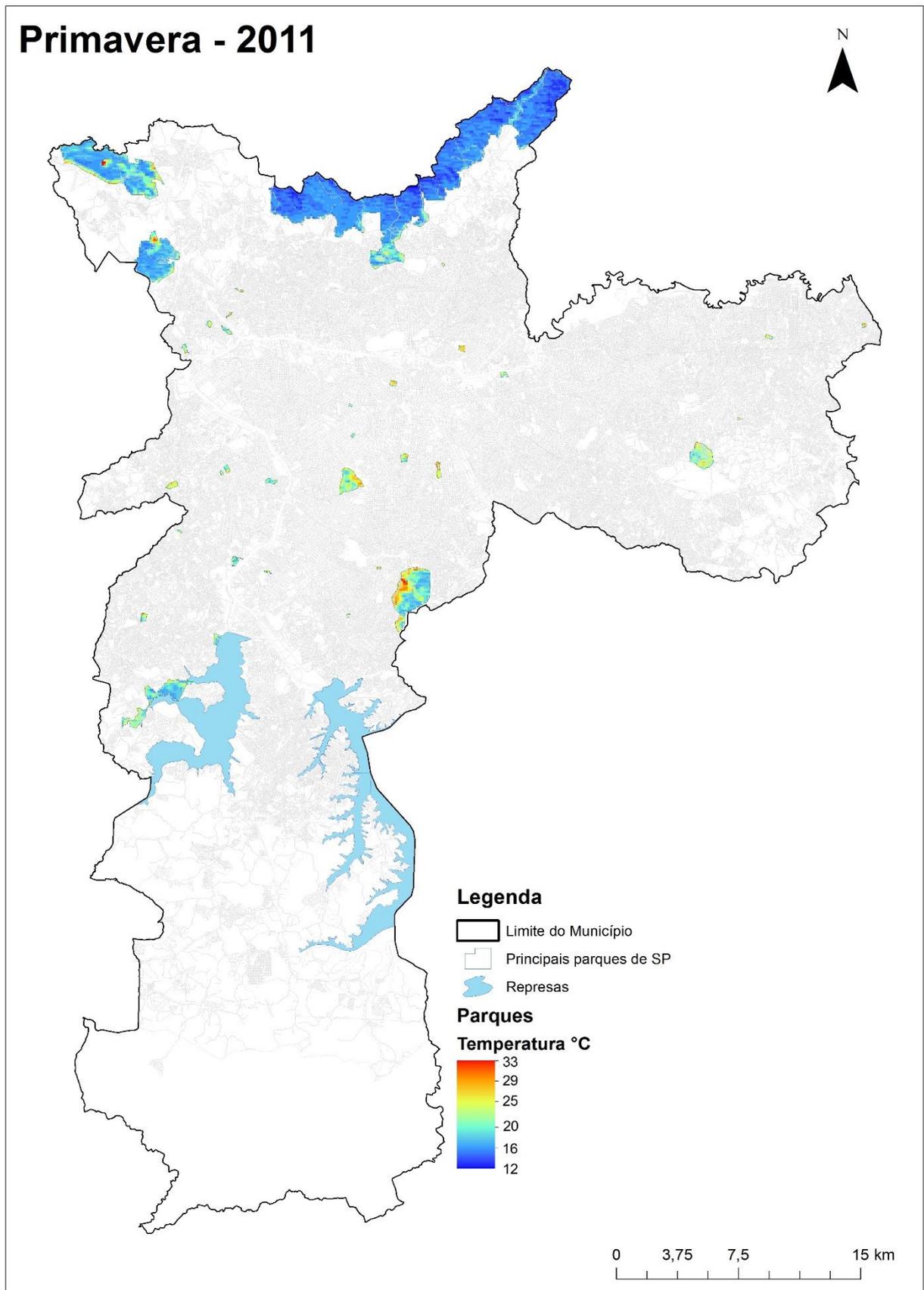


Figura 5.6.7 - Mapa de temperatura aparente de superfície dos principais parques para a primavera de 2011.

6 Considerações Finais

Como um primeiro ensaio da utilização desta metodologia foi possível relacionar os dados do mapa de parcelamento do solo e volumetria construída intraquadra do QUAPÁ na cidade de São Paulo, com a temperatura aparente de superfície obtida de sensores remotos, que apresentou como resultado uma interessante covariação entre estas informações.

É importante ressaltar que a avaliação da temperatura de superfície aparente foi realizada somente na área urbanizada e nos parques. Não foram avaliadas as temperaturas das áreas não consolidadas na cidade de São Paulo ou áreas abertas.

Com isso foram levantadas algumas hipóteses em relação aos resultados obtidos deste cruzamento de informações e como estas superfícies poderiam influenciar a temperatura do ar.

Neste ensaio, as análises foram diurnas, e que estas estão sujeitas as sazonalidades e aos fluxos de energia incidente, além disto, todas as estruturas, com sua morfologia física de fato, bem como suas interferências ao entorno (sombras, “espalhamentos de radiação” etc.) foram “achatados” em um único plano, o que interfere na análise, mas que tenta exprimir a realidade posta, já que todos os parâmetros mudam constantemente.

Com isso, foi possível identificar a existência de “ilhas de frescor” diurnas na cidade (fazendo um paralelo em relação ao conceito dado por OKE de ilha de calor, que é um fenômeno estritamente noturno e dado as condições específicas para a sua ocorrência), entre as classes avaliadas e dentro delas próprias havia diferenças de temperatura que dependendo da natureza da sua superfície, criava uma “ilha de frescor” ou “arquipélago de calor”. No inverno estas áreas de “frescor” ficam mais acentuadas, o que deve afetar diretamente no conforto térmico das pessoas no nível do cânion urbano. Por outro lado dependendo da estação e da natureza dos materiais, pode-se verificar os “arquipélagos de calor”, no que tange a emissão de radiação infravermelha, criando zonas localizadas de calor, com gradientes acentuados de temperatura aparente de superfície, mas de ocorrência sazonal, sendo mais acentuados na primavera do que no outono ou inverno. Estes “arquipélagos de calor” são candidatos a criar possíveis

processos convectivos extremamente localizados, pois poderiam aquecer o ar ao seu entorno. Uma vez aquecido, ele subiria para níveis mais altos, forçando um processo convectivo, e puxando o ar de partes mais baixas. Este poderia ser um indício que corroboraria a hipótese do OKE.

Assim, as fontes de calor que ocorrem sobre alguns tipos de superfície e com propriedades radiométricas diferentes têm a possibilidade de esquentar o ar dentro das suas escalas, mas não alterar como um todo a mancha urbana.

Outro ponto importante para ressaltar é que a temperatura aparente de superfície avaliada é um retrato pontual no tempo e da estação do ano em que se encontra, sendo exclusivamente uma indicação de sua suposta temperatura, estimada por um algoritmo matemático experimental. Não foram avaliadas outras variáveis que influenciam na temperatura, ou seja, neste caso, o próprio ar interferindo nas superfícies, as influências de frentes frias ou quentes que são grandes massas de ar que afetam a totalidade da cidade, ou a situação do estado atmosférico, se a cidade se encontrava em um grande período de estiagem ou pós-chuvas, pois o ensaio ficou restrito a disponibilidade das imagens de satélite e não seria possível trabalhar com as muitas variáveis das situações meteorológicas, como em situações de intenso aquecimento ou de intenso resfriamento, ou em períodos temporais de dias a semanas.

Além disto, deve-se ressaltar mais uma vez que as análises da temperatura aparente de superfície ficaram restritas a resolução do sensor remoto, que apesar de ser de 120m, e pela escala de trabalho e disponibilidade de dados do QUAPÁ, que trabalhou com o tipo de morfologia predominante nas quadras do município de São Paulo, pôde-se entender que o resultado foi satisfatório.

As análises indicaram que no caso da temperatura aparente de superfície, ela por si só não é um fator determinante na modificação do clima em escala da cidade como um todo ou regional, por outro lado, a existência de microclimas na escala do cânion urbano, aliado ao tipo de morfologia existente, é quem pode influenciar no conforto térmico das pessoas e a sua percepção em relação a temperatura na cidade como um todo. Desta forma, tudo indicou que a falta de energia na cidade pareceu ser mais importante do que o contrário, tendo em vista que, se elencarmos a cidade como próxima de corpo negro, tudo

o que ela absorver, será emitido, praticamente nas mesmas taxas, diferindo pela geometria aparente, que poderá atenuar esta perda ou não. Em outro aspecto, se as superfícies não receberam a energia durante o período diurno, no noturno, o processo emissivo permanecerá, resfriando as superfícies e resfriando o ar ao seu redor, criando condições de inversões térmicas, diminuindo conforto humano, reduzindo prováveis processos convectivos diminutos ao redor das estruturas.

Em suma, (1) não se pode concluir uma relação direta com a temperatura aparente de superfície com a temperatura do ar, pois seria necessário auferir a temperatura do ar para todas as estruturas analisadas no mesmo momento em que o sensor capta as informações, portanto, valores de gradientes térmicos de 14°C como apresentado diversas vezes na academia e na imprensa, como o exemplo da matéria publicada na revista arquitetura e construção número 325 maio de 2014 não procedem; (2) As superfícies aquecidas podem ser candidatas à se transformarem em fontes de aquecimento do ar, mas por si só esta propriedade não é um fator determinante, já que o próprio ar pode apresentar outras propriedades que também podem oferecer um peso decisivo na sua influência sobre as superfícies; (3) Duas superfícies podem emitir frequências diferentes do espectro do infravermelho, uma mais quente e outra mais "fresca", mas as áreas as quais cobririam, poderiam apresentar temperaturas do ar idênticas, incluindo também temperaturas equivalentes de infravermelho, como o exemplo de áreas abaixo de uma ampla cobertura de árvores frondosas com copas altas e uma enorme marquise de concreto armado. Embora para o satélite, estas superfícies emitam "frescor" e "quente", respectivamente, pelo que foi exposto sobre o "espalhamento", exercido pelas árvores, e concentração de feixes, exercido por superfícies planas, as áreas abaixo destas podem aparentar os mesmos valores de temperatura do ar e até mesmo em ondas longas, já que estas superfícies inferiores não foram expostas à luz solar direta, como se pode observar na Figura 6.1.

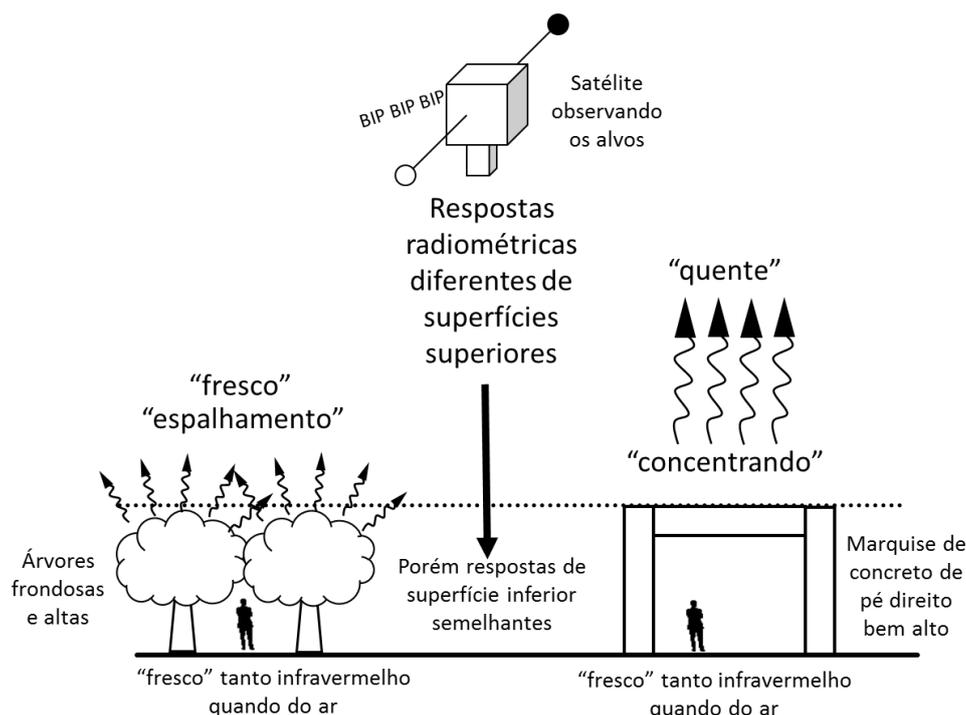


Figura 6.1 – Croqui da diferença entre superfícies superiores e inferiores.

As análises não foram possíveis de serem realizadas em um período de verão justamente porque esta estação sazonal apresenta grande quantidade de nebulosidade. Curiosamente, o verão de 2013-2014 apresentou diversos dias seguidos de período total de brilho solar, os quais seriam ideais para aplicar a metodologia deste trabalho, mas que infelizmente não foi possível pela ausência do satélite, dos dados e do tempo exíguo para o encerramento da pesquisa.

Por fim, a metodologia proposta neste ensaio, mostrou-se com um potencial para se replicar em outros centros urbanos, localizados em latitudes diferentes, para se avaliar a correlação entre os aspectos de parcelamento do solo e volumetria construída intraquadra e a temperatura aparente de superfície.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BURROUGH, Peter .A. **Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment**. Oxford: Clarendon Press, 1986

BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES. Definition of the SI unit of thermodynamic temperature (kelvin). Disponível em:

<<http://www.bipm.org/en/CGPM/db/13/4/>> Acesso em: 2 dez. 2013.

CÂMARA, Gilverto; DAVIS, Clodoveu. **Fundamentos de Geoprocessamento**.

2000. Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/>>. Acesso em 20 set. 2009.

_____. **Curso de Cartografia Moderna**. 2ª. edição. Rio de Janeiro: IBGE, 1993.

Cella, Luisa. Revista arquitetura e construção número 325 Editora Abril. Maio de 2014.

COTE, Paul. **Elements of Cartographic Style**, Disponível em:

<<http://www.gsd.harvard.edu/gis/manual/style/index.htm>>. Acesso em 10 set. 2012.

DEMOGRAPHIA. **Demographia World Urban Areas**. disponível em:

<<http://www.demographia.com/db-worldua.pdf>> Acesso em: 15 abr. 2013.

EMBRAPA - **Mapeamento e Estimativa da Área Urbanizada do Brasil**.

Disponível em:

<<http://www.urbanizacao.cnpem.embrapa.br/conteudo/uf/sp.html>> Acesso em: 24 fev. 2013.

Eric Weisstein's World of Science - Stefan-Boltzmann Constant. Disponível em

<<http://scienceworld.wolfram.com/physics/Stefan-BoltzmannConstant.html>>

Acesso em: 15 dez. 2013.

FERREIRA, Fabiana Lourenço, PRADO, Racine T.A. Medição do albedo e análise de sua influência na temperatura superficial dos materiais utilizados em coberturas de edifícios no Brasil. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2003.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Divisão de Geração de

Imagens. Disponível em: < www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Acesso em: julho, 2013.

JENSEN, John R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução: José Carlos Neves Epiphânio (coordenador) et al. São José dos Campos, SP. Parêntese, 2009.

LOBÃO, Fernanda Z. **SISTEMA DE ESPAÇOS LIVRES NAS SUBPREFEITURAS DE SÃO PAULO: CASA VERDE, SANTANA-TUCURUVI, JAÇANÃ-TREMembÉ E VILA MARIA-VILA GUILHERME**. Projeto de Iniciação Científica. Faculdade de Arquitetura da Universidade de São Paulo São Paulo, 2013.

LOCH, Ruth E. Nogueira. **Cartografia, Representação, comunicação e visualização de dados espaciais**. Florianópolis: UFSC, 2006.

LONGLEY, Paul A., GOODCHILD, Michael F., MAGUIRE, David J., RHIND, David W. **Geographic Information Systems and Science**. Chichester: John Wiley & Sons, 2007.

MIRANDA, Evaristo E. de; (Coord.). **Brasil em Relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 29 set. 2013

MOREIRA, Maurício. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. São José dos Campos: INPE, 2001. 250p.

MALARET, Erick. BARTOLUCCI, Luis A., LOZANO, D. Fabian, ANUTA, Paul E., MCGILLEM, Clare D. Laboratory for Applications of Remote Sensing and School of Electrical Engineering. Purdue University Dez. 1984. NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION - **LANDSAT 4/5 Image Data Quality Analysis - NASA Technical Reports Serve 1984** Disponível em: <http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19850027150_1985027150.pdf> Acesso em: 18 mar. 2013.

OKE, Tim R. **Boundary Layer Climates**, London. Methuem & Ltd. A. Halsted Press Book, John. Wiley & Sons, New York, 1978, 372p.

OLIVEIRA, Cêurio de. **Dicionário Cartográfico**. 3ª. edição. Rio de Janeiro: IBGE, 1987

PEUQUET, Donna J. MARBLE, D.F. **Introductory readings in Geographic Information Systems**. Basingstoke: Taylor & Francis, 1993

PREFEITURA DE SÃO PAULO – **Atlas Ambiental da Cidade de São Paulo**.

Disponível em

<<http://atlasambiental.prefeitura.sp.gov.br/pagina.php?B=30&id=21>> Acesso em: 18 fev. 2013.

Qin, Z., A. Karnieli, and P. Berliner, A mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM data and its application to the Israel-Egypt border region, *Int. J. Remote Sens.*, 22, 3719–3746, 2001.

RAISZ, Erwin. **Cartografia Geral**. Rio de Janeiro: Editora Científica, 1969.

SENATORE, Giuliano M. Metodologia para determinação de áreas de iluminação e sombreamento através de um sistema de informações geográficas.

Pircacicaba, 2006. Dissertação de Mestrado (Máquinas Agrícolas) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo.

SHIPPERT, Peg. 2004, ***Spotlight on Hyperspectral***, Disponível em:

<http://loi.sccc.ru/gis/RS/Hyperspectral-WP.pdf> . Acesso em: 10 fev. 2013.

SILVA, Ardemirio de Barros. Sistemas de Informações Geo-referenciadas: conceitos e fundamentos. Campinas: Editora Unicamp, 2003

SOBRINO, José A. JIMÉNEZ-MUÑOZ, Juan C. PAOLINI, Leonardo. Land surface temperature retrieval from Landsat TM-5. *Remote Sensing of Environment* 90 (2004) 434–440. Elsevier.

TARIFA, José Roberto, ARMANI, Gustavo. Os climas “Naturais”. In: TARIFA, José Roberto, AZEVEDO, Tarik Rezende de. Os climas na cidade de São Paulo. São Paulo: Pró-reitoria de cultura e extensão universitária, 2001, 199p.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME - UNEP (2000). **The urban environment: facts and figures**. *UNEP Industry and Environment*, 23, 2, 4-11. Disponível em: <http://esa.un.org/unup/pdf/WUP2011_Highlights.pdf> Acesso em: 20 mar. 2013.

_____ - **United Nations Department of Economic and Social Affairs/Population Division World Urbanization Prospects: The 2011 Revision**, New York, 2012. Disponível em:

<http://www.unep.org/Geo/geo3/english/pdfs/chapter2-8_urban.pdf> Acesso em: 10 mar. 2013.

_____ - **The World at Six Billion United Nations** - Disponível em: <

> Acesso em: 10 mar. 2013.

_____ - **Urban Population, Development and the Environment**

2011. Disponível em:

<http://www.un.org/esa/population/publications/2011UrbanPopDevEnv_Chart/2011Urban_wallchart.pdf> Acesso em: 10 mar. 2013.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY - **Landsat** – USGS Disponível em:

<<http://landsat.usgs.gov/>> Acesso em: 10 jan. 2013.

UNIVERSIDADE DE VALÊNCIA - **Revision of the Single-Channel Algorithm for Land Surface Temperature Retrieval From Landsat Thermal-**

Infrared Data. Disponível em:

<http://www.uv.es/~ucg/articulos/2009/Publications_2009_1.pdf > Acesso em: 15 jan. 2013.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia. Técnicas de manipulação de histogramas. Disponível em:

<<http://www.ufrgs.br/engcart/PDASR/maniphist.html>> Acesso em: 08 out 2013.

UNIVERSITY OF TSUKUBA - **Estimation of Landsat TM Surface**

Temperature Using ERDAS Imagine Spatial Modeler – Division of Spatial Information Science of Graduate School of Life and Environmental Sciences –.

Disponível em:

<<http://giswin.geo.tsukuba.ac.jp/sis/tutorial/koko/SurfaceTemp/SurfaceTemperature.pdf>> Acesso em: 24 fev. 2013.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e climatologia.** Versão Digital 2, Recife, Março de 2006.

WORBOYS, M. F.j DUCKHAAM, M. **GIS: a computing perspective.**

Washington D.C.: CRC Press, 2004.