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

BRUNA LUIZA PEREIRA DE JESUS

A relação entre a temperatura radiométrica de superfície (Land Surface Temperature-LST), índice de vegetação (Normalized Difference Vegetation Index-NDVI) e os diferentes padrões de uso da terra do município de São Paulo-SP.

São Paulo
2015

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

A relação entre a temperatura radiométrica de superfície (Land Surface Temperature-LST), índice de vegetação (Normalized Difference Vegetation Index-NDVI) e os diferentes padrões de uso da terra do município de São Paulo-SP.

Bruna Luíza Pereira de Jesus

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia Física da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, para a obtenção do título de Mestre em Geografia Física.

Orientadora:

Prof^a Dr^a Magda Adelaide Lombardo

São Paulo

2015

FICHA CATALOGRÁFICA

FOLHA DE AVALIAÇÃO

Autor: JESUS, Bruna Luiza Pereira de

Título: A relação entre a temperatura radiométrica de superfície (Land Surface Temperature-LST), índice de vegetação (Normalized Difference Vegetation Index-NDVI) e os diferentes padrões de uso da terra do município de São Paulo-SP.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia Física da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Geografia Física.

Data: ____/____/____

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____

Instituição: _____ Julgamento: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____ Julgamento: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____ Julgamento: _____

DEDICATÓRIA

A minha mãe, Luiza Antônia Domingos, pelos exemplos de fé, perseverança e amor a mim ensinados.

Ao meu pai, Leonidas Pereira de Jesus, por ser um guerreiro e cuidar de cada detalhe quando se refere a sua família, nos mostrando a intensidade do amor.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus por ter me concedido a oportunidade de enfrentar mais um desafio.

Aos meus queridos pais que sempre me apoiaram e estiveram próximos a mim.

A minha orientadora Magda Adelaide Lombardo por ter depositado em mim a confiança para realizar este trabalho.

Aos Professores Jurandyr Luciano Sanches Ross, Ailton Luchiari, Demóstenes Ferreira da Silva Filho e Jefferson Lordello Polizel pelo apoio durante todo o meu trabalho.

A todos os funcionários do CEAPLA pela atenção.

Agradeço à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela bolsa de pesquisa concedida de 2013 a 2015, e à FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo), pelos auxílios-viagem a mim concedidos.

Aos amigos queridos que compartilharam diversos momentos importantes da minha vida: Adriana, Lígia, Paulinha, Anderson, Verônica, Breno, Natália..

Ao meu namorado Julien Picque que, mesmo à distância, me possibilitou sentir o aconchego e apoio diários.

Aos Funcionários da Secretária da Pós-Graduação da Geografia Física, principalmente à Cida que muito me auxiliou em diversos momentos.

Ao Laboratório de Cartografia e Geoprocessamento do Departamento de Geografia FFLCH/ USP e ao querido Pablo Luiz Maia Nepomuceno que muito me auxiliou.

A todos os amigos que de alguma forma fizeram parte de toda esta fase da minha vida.

“Muitos são os planos no coração do homem, mas o que prevalece é o propósito do
Senhor” Provérbios, 19:21

RESUMO

Esse trabalho tem como objetivo compreender as relações entre a Land Surface Temperature (LST), Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) e os padrões de uso da terra do município de São Paulo no período de 1985 a 2010. Analisou-se 15 bairros, nos quais foram extraídas 45 amostras aleatórias de diferentes padrões de uso da terra; subdivididas em baixo padrão, médio padrão e médio alto padrão. Com o aporte de geotecnologia, foi feita a extração dos dados das imagens de satélite Landsat 5 (TM) e das Ortofotos do ano de 2010. O comportamento das amostras variou de acordo como os diferentes perfis dos grupos analisados. O grupo de baixo padrão foi o que apresentou as maiores amplitudes térmicas, ausência de arborização urbana atreladas a um baixo padrão construtivo. O grupo de médio padrão é caracterizado pela predominância de área verticalizada e apresenta uma arborização urbana escassa em meio a uma malha urbana consolidada. O grupo de médio alto padrão foi o que mais apresentou arborização urbana, distribuída de forma homogênea na maioria das amostras, portanto foi o grupo que teve baixas amplitudes térmicas e o índice de Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) com pouca variação. Os testes mostraram fortes correlações negativas entre as amostras de Land Surface Temperature (LST) e o índice de Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), sendo -0,58 em 1985, -0,43 em 2004 e -0,82 em 2010. Os diferentes padrões de uso da terra, relacionados à temperatura de superfície, e o índice de vegetação, aliado à preocupação com o planejamento ambiental, deve resultar na melhoria da qualidade de vida da população. Esta pesquisa faz parte do Projeto Temático processo FAPESP 08/58161 -1, "Assessment of Impacts and Vulnerability to Climate Change in Brazil and strategies for Adaptation options", Component 5: Vulnerability of the metropolitan region of São Paulo to climate Change.

Palavras-chave: Land Surface Temperature (LST), Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Padrões de uso da terra, Geotecnologias.

ABSTRACT

This study aims to understand the relationship between Land Surface Temperature (LST), Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and the patterns of land use in the municipality of São Paulo, from 1985 to 2010. A total of 45 random samples were extracted from the 15 districts used in this study, with different patterns of land use which were subdivided into three different classes: low-end, middle and middle-high. Geospatial approaches allowed the extraction of satellite image data from Landsat 5 data (TM) and from Orthophotos from 2010. The behavior of the samples varied accordingly to the different group profiles. The low-end group presented the highest thermal amplitudes and more significant absence of urban vegetation linked, both to low urbanization and construction standards. The average standard group is characterized by the predominance of vertical buildings and lacks urban trees amidst a consolidated urban landscape. The average-high standard group displayed the highest concentration of green urban areas, distributed homogeneously in most samples, so this group presented low variations both in temperature amplitude and in the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). The correlation tests showed strong negative correlations between samples of Land Surface Temperature (LST) and the NDVI samples, of -0.58 in 1985, -0.43 in 2004 and -0.82 in 2010. Understanding the relations between the different patterns of land use, surface temperature and the NDVI (with due concern for environmental planning) is an important step in the identification and rehabilitation of environmentally. This research is part of the Thematic Project FAPESP 08/58161 -1 process, "Assessment of Impacts and Vulnerability to Climate Change in Brazil and strategies for Adaptation options", Component 5: Vulnerability of the metropolitan region of São Paulo to climate Change.

Keywords: Land Surface Temperature (LST), Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), patterns of land use, geotechnology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema das camadas atmosféricas urbanas.....	20
Figura 2 - Perfil das Ilhas de Calor nos centros urbanos	22
Figura 3 - Localização da área de estudo.....	32
Figura 4 - Evolução da Mancha Urbana na RMSP 1881-2010.....	36
Figura 5 - Fluxograma referente aos dados adquiridos e metodologia aplicada neste trabalho	40
Figura 6 - Esquema de subdivisão dos bairros de São Paulo	46
Figura 7 - Mapa de Localização das amostras	48
Figura 8 - Representação esquemática das amostras	49
Figura 9 - Imagem GOES 1985.	56
Figura10 - Imagem GOES 2004.	57
Figura11 - Imagem GOES 2010.	58
Figura12 - Rua Dr. Laérte Setúbal - Paraisópolis-SP.	60
Figura13 - Rua Domingos Antônio de Moraes - Brasilândia-SP.....	61
Figura14 - Imagem próximo a Domingos Antônio de Mores Brasilândia-SP.	62
Figura15 - Imagem próximo ao metrô Vila Madalena-SP.	63
Figura16 - Imagem da verticalização da Vila Mariana-SP.	64
Figura17 - Imagem da Rua com arborização urbana no Bairro do Morumbi- SP.	65
Figura18 - Amostra da Brasilândia de LST e NDVI de 2010.	78
Figura19 - Amostra de Alto de Pinheiros de LST e NDVI de 2010	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Valores do albedo e da emissividade nos alvos urbanos.....	24
Tabela 2 -	Valores do albedo e da emissividade nos alvos rurais.....	25
Tabela 3 -	Evolução da população da década de 1950 a 2010	35
Tabela 4 -	Variáveis da fórmula de conversão para radiância.	42
Tabela 5 -	Faixa de Radiância Espectral dos Sensores TM.....	43
Tabela 6 -	TM Constantes de calibração da banda termal.....	44
Tabela 7 -	Classificação das amostras selecionadas para o estudo.....	47
Tabela 8 -	Médias de Temperatura do Ar anuais e mensais das imagens orbitais.....	53
Tabela 9 -	Dados de LST dos anos de 1985, 2004 e 2010.	70
Tabela 10 -	Dados de NDVI dos anos de 1985, 2004 e 2010.	76
Tabela11 -	Dados de índice de NDVI e amplitude térmica do grupo de baixo padrão.	78
Tabela12 -	Dados de índice de NDVI e amplitude térmica do grupo de médio padrão.	79
Tabela13 -	Dados de índice de NDVI e amplitude térmica do grupo de médio alto padrão.....	80
Tabela14 -	Testes de correlação dos dados da LST e NDVI do Landsat 5.....	81
Tabela15 -	Máximas e Mínimas dos testes de correlação dos dados da LST e NDVI do Landsat 5.	83
Tabela16 -	Testes de correlação dos índices de NDVI_land e NDVI_orto de 2010 e LST10.....	85
Tabela17 -	Máximas e Mínimas dos testes de correlação dos índices de NDVI_land e NDVI_orto de 2010 e LST10.....	86
Tabela18 -	Dados de NDVI das ortofotos e porcentagens de uso da terra do ano de 2010.	86

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 -	Temperatura Média Anual de São Paulo pela Estação IAG-USP	52
Gráfico 2 -	Médias Anuais de Temperatura do Ar.....	54
Gráfico 3 -	Medias mensais de temperatura do Ar.....	55
Gráfico 4 -	Dados de LST para os anos 1985, 2004 e 2010.....	68
Gráfico 5 -	Dados do índice de NDVI para os anos 1985, 2004, e 2010	75
Gráfico 6 -	Dados do índice de NDVI e de LST	77
Gráfico 7 -	Esboço dos dados de correlação da Tabela 14	82
Gráfico 8 -	Comparação dos índices de NDVI das imagens Landsat 5 (TM) e das ortofotos do ano de 2010.....	84
Gráfico 9 -	Esboço dos dados de correlação da Tabela 16	85
Gráfico 10 -	Porcentagem de uso da terra dos ortofotos e LST do ano de 2010	89

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

°C	Graus Celsius
Cfa	Clima temperado húmido com Verão quente
Cfb	Clima temperado húmido com Verão temperado
cm ²	Unidade medida em centímetros quadrados
CPTEC	Centro de previsão de tempo e estudos climáticos
Cwa	Clima temperado úmido com Inverno seco e Verão quente
ha	Unidade medida em hectares
IAG	Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IC	Ilha de Calor
INMET	Instituto nacional de meteorologia
IR	Infra Red
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
K1	Constante de calibração 1
K2	Constante de calibração 2
Km ²	Unidade medida em quilômetros quadrados
L	Radiância espectral
Lmax	Radiância espectral máxima
Lmin	Radiância espectral mínima
L λ	Radiância espectral em sensor de abertura em watts
Lmin λ	Radiância espectral mínima
Lmax λ	Radiância espectral máxima
LST	Land Surface Temperature
LST10	Land Surface Temperature do ano de 2010
m ²	Unidade de medida em metros
NC	Níveis de Cinza
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NDVI_land	Índice de NDVI das imagens Landsat 5 (TM)
NDVI_orto	Índice de NDVI das ortofotos do ano de 2010
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
Qcal	Valor quantizado calibrado pixel em DN

Qcalmin	O mínimo valor quantizado calibrado pixel
Qcalmax	O máximo valor quantizado calibrado pixel
R	Red
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
SCU	Sistema de Clima Urbano
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SP	São Paulo
T	Temperatura
TM	Thematic mapper
UBL	Urban Bounday Layer
UCL	Urban Canopy Layer
UHI	Urban Heat Island
USP	Universidade Estadual de São Paulo
UTM	Universal Transversa de Mercator
WGS	World Geodetic System
ZCOU	zona de convergência de umidade

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	13
2	OBJETIVOS	14
2.1	OBJETIVOS GERAIS	14
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1	BASES TEÓRICAS DO CLIMA URBANO	15
3.2	ESTUDOS SOBRE AS ILHAS DE CALOR	19
3.3	A IMPORTÂNCIA DAS ÁREAS VERDES URBANAS NO CONTEXTO DA ILHA DE CALOR	26
3.4	A UTILIZAÇÃO DO SENSORIAMENTO REMOTO NA IDENTIFICAÇÃO DA ILHA DE CALOR A PARTIR DA BANDA DO INFRAVERMELHO TERMAL	27
3.5	A UTILIZAÇÃO DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO (NDVI) E IMAGEM DE SATÉLITE PARA O MAPEAMENTO DA VEGETAÇÃO.....	28
3.6	OS DIFERENTES PADRÕES DE USO DA TERRA NA ÁREA URBANA.....	30
4	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO: O MUNICÍPIO DE SÃO PAULO	32
4.1	CARACTERÍSTICAS DA CIRCULAÇÃO ATMOSFÉRICA SOBRE O CLIMA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO	33
4.2	BREVE HISTÓRICO DA EXPANSÃO DA URBANIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO	33
4.2.1.	As diferentes feições da cidade de São Paulo.....	36
5	PROCEDIMENTO METODOLÓGICO.....	39
5.1	PROCESSAMENTO DO LANDSAT PARA OBTENÇÃO DA LAND SURFACE TEMPERATURE (LST).....	41
5.2	PROCESSAMENTO DO LANDSAT PARA OBTENÇÃO DO ÍNDICE NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX (NDVI).....	44
5.3	PROCESSAMENTO DAS ORTOFOTOS DO ANO DE 2010.....	45

5.4	AMOSTRAGEM DO LAND SURFACE TEMPERATURE DO ÍNDICE NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX E OS PADRÕES DE USO DA TERRA.....	46
6	RESULTADO E DISCUSSÃO	51
6.1	CARACTERIZAÇÃO DA TEMPERATURA MÉDIA DO AR	52
6.1.1	Obtenção da temperatura média do ar	53
6.2	ANÁLISE DA DINÂMICA DA ATMOSFERA DOS ANOS DE 1985, 2004 E 2010	55
6.3	DADOS DAS IMAGENS DE SATÉLITES E DOS PADRÕES DE USO DA TERRA COM BASE NAS ORTOFOTOS.....	58
6.3.1	Análise do land surface temperature (LST) para os anos de 1985, 2004 e 2010.....	65
6.3.2	Análise do índice de NDVI do landsat 5 (TM) para os anos de 1985, 2004 e 2010	72
6.3.3	Análise do Índice de NDVI e Uso da Terra para o ano de 2010.....	83
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	89
8	REFERÊNCIAS	92

1 INTRODUÇÃO

Desde a Revolução Industrial a cidade tem sofrido alterações em seu desenho urbano e é nas metrópoles que os problemas ambientais geralmente são mais perceptíveis, isso porque existe uma maior concentração de poluentes no ar e na água e a degradação do solo e subsolo em consequência do uso intensivo do território pelas atividades urbanas.

A urbanização brasileira é um fenômeno recente e ocorreu de forma acelerada, isso refletiu no agravamento dos referidos problemas ambientais. Na década de 1970, conforme censo realizado pelo IBGE, a população brasileira tornou-se mais urbana e, desde então não houve regressão nas taxas de urbanização, chegando a exorbitante taxa de 81% no ano 2000, como demonstram os resultados obtidos pelo IBGE através do censo do mesmo ano. Atualmente a de urbanização do Brasil é de 83 a 84%, tendo em vista as estimativas de crescimento populacional.

A rápida urbanização do município de São Paulo trouxe transformações significativas ao meio ambiente, como as alterações climáticas. Esses fenômenos podem ser usados como indicadores da degradação ambiental, pois apresentam expressivas diferenças de temperatura, em alguns casos chegando a 10° C entre a zona urbana e a zona periférica da cidade, que foram identificadas e denominadas como Ilhas de Calor (IC), (LOMBARDO, 1985).

Esse fenômeno tem raízes em diversas fontes como resultado de intensa emissão de poluentes das indústrias, fluxo de veículos intenso, ausência de arborização, excessiva superfície pavimentada e de tipos de materiais usados na construção de edifícios que absorvem elevadas taxas de radiação térmica.

Nos grandes centros urbanos essas características são identificadas com maior frequência devido a urbanização, que propicia a formação das IC. O município de São Paulo é considerado um exemplo clássico, por apresentar diversos trechos urbanos que se destacam nestes aspectos.

Para a identificação dos diferentes perfis apresentados pelos centros urbanos, o uso das geotecnologias é de fundamental importância na representação do comportamento termal das amostras (Land Surface Temperature, - (LST)) com o

cruzamento de outras variáveis tais como o Índice de Vegetação (Normalized Difference Vegetation Index - (NDVI)) e os diferentes padrões de uso da terra.

Nesse contexto, pretende-se nesse trabalho contribuir para uma análise das características térmicas que contribuem para a intensificação da ilha de calor em São Paulo, assim como a sua dinâmica temporal ao longo de 25 anos (1985-2010).

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo geral compreender a relação entre a Land Surface Temperature (LST), Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) e os diferentes padrões de uso da terra do município de São Paulo-SP.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Extrair a Land Surface Temperature da imagem de satélite Landsat 5 (TM) e identificar sua variação espacial;
- Correlacionar a evolução da Land Surface Temperature com os diferentes padrões de uso da terra, principalmente com o Normalized Difference Vegetation Index;
- Integrar e cruzar diferentes fontes de dados;
- Contribuir para o desenvolvimento de estratégias de intervenção para futuras propostas de planejamento urbano.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 BASES TEÓRICAS DO CLIMA URBANO

A história do homem sobre a Terra é marcada por uma ruptura progressiva entre o homem e o entorno. Esse processo se acelera quando o homem se descobre como indivíduo e inicia a mecanização do planeta, armando-se de novos instrumentos para tentar dominá-lo. A natureza artificializada marca uma grande mudança na história humana. Atualmente a ciência e a tecnologia alcançaram a experiência humana ao estágio supremo desta evolução (SANTOS, 1994).

A estrutura do crescimento urbano também reflete a persistência da urbanização concomitantemente à Revolução Industrial que ocorreu na Europa. Sendo assim, a proporção de crescimento que era de apenas 1,7% no início do século XIX, aumentou em 1950 para um percentual de 21%, passando para 25% em 1960, 37,4% em 1970 e cerca de 41,5% em 1980” (SANTOS, 1990).

No Brasil, o processo de urbanização se intensificou a partir da segunda metade do século XX, devido ao crescimento industrial e a modernização agrícola, o que induziu milhares de pessoas a migrarem do campo para as cidades, refletindo no inchaço das regiões metropolitanas. Segundo Ferreira (2000), “quase trinta milhões de pessoas deixaram o campo entre 1960 e 1980, acelerando o processo de urbanização e “inchando” as metrópoles e as cidades de tamanho médio entre 100 a 500 mil habitantes”.

Após o ano de 1970, as áreas urbanas foram exercendo uma pressão significativa no meio ambiente, cuja principal manifestação ocorreu nas regiões metropolitanas. É nesse contexto que os problemas ambientais emergem como resultado dos processos de produção das estruturas urbanas e regionais. Os efeitos negativos da relação sociedade x natureza apresentam-se com intensidade elevada nos espaços de concentração populacional.

É no espaço metropolitano que se verifica o equilíbrio ambiental mais profundamente afetado devido à sobrecarga de dejetos residuais, a concentração de poluentes no ar e na água, a degradação do solo e subsolo pela intensa atividade industrial entre outros. Todas essas atividades humanas geram, por exemplo, a interferência no clima regional, influenciando na criação de condições especiais

concretas, que pode caracterizar a cidade com um clima distinto do entorno e afetar diretamente na composição química da atmosfera, como o balanço térmico e hídrico.

As agressivas substituições dos ambientes naturais por artificiais nas cidades intervêm nas modificações das propriedades meteorológicas do ar, uma vez que a cidade interfere no clima, na camada interna e acima da área urbana.

Em meados do século XIX começaram as primeiras preocupações com o clima das cidades devido ao reflexo da urbanização, com isso o estudo pioneiro em clima urbano surge em Londres com a obra de Howard em 1833; Landsberg em 1956, destacando-se com a sua mais importante obra na climatologia urbana mundial em 1981, quando estudou o clima urbano de Nova Iorque com o trabalho intitulado *The urban climate*; Pelletier e Delfante em 1992, na França; Alcoforado em 1993, em Portugal; Oke na cidade de Londres intitulado de *Boundary Layer Climate*, onde ele destaca o papel das escalas climáticas nos estudos da atmosfera urbana, entre outros.

No Brasil, muitas pesquisas têm sido desenvolvidas desde a década de 1960 e 1970 sobre o clima urbano, como a obra Monteiro em 1976 que trouxe uma contribuição mais completa e um embasamento teórico-metodológico para o estudo do clima urbano, possibilitando que os trabalhos a partir daí, dessem resultados mais precisos nos temas das condições atmosféricas urbanas, como: Sartori (1979); Lombardo (1985); Danni-Oliveira (1987); Mendonça (1995); Conti (1998); Tarifa (2000); Tarik (2001); Brandão (2003), entre outros.

A interação do tempo e do espaço entre os fluxos de matéria e energia e os condicionantes de sua definição, pode ter três níveis interativos: o macro climático, o mesoclimático e o microclimático (SILVA e RIBEIRO, 2004).

O macroclima, ou nível zonal, se refere a grandes escalas, ao clima global, por exemplo. Já mesoclima é um termo utilizado para definir o clima de região. Enfim, os microclimas são os climas de pequenas áreas, ou a nível local.

Para Monteiro (1976), o clima urbano é como um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização. Ele afirma que o Sistema Clima Urbano (SCU) é um sistema aberto já que:

O SCU visa compreender a organização climática peculiar da cidade e, como tal, é centrado exclusivamente na atmosfera que, assim é, encarada como o operador. Toda ação ecológica natural e as associações aos fenômenos da urbanização constituem o conjunto complexo sobre o qual o operador age. Por isso, tudo o que não é atmosférico e que se caracteriza no espaço urbano, incluindo o homem e demais seres vivos, consistem elementos do Sistema, estruturando-se em partes que, através de suas relações definem atributos especiais (MONTEIRO, 1976, p.97).

O clima urbano é uma modificação substancial de um clima local, resultado das condições particulares do meio ambiente urbano, seja pela sua rugosidade, uso e ocupação do solo, orientação, permeabilidade e propriedades dos materiais constituintes, entre outros fatores Oke (1996). Desta forma, Lombardo (1985) afirma que um mesoclima que está incluído no macroclima, o qual sofre, na proximidade do solo, influências microclimáticas derivadas dos espaços urbanos.

Segundo Lombardo (1985), o clima urbano é “um mesoclima que inclui topoclimas e microclimas”. De acordo com Alcoforado, (1993) esses conceitos são definidos como: topoclima (“climas dependentes das características do substrato, tais como topografia, tipos de solo, ocupação vegetal etc.); e, microclimas (“climas de áreas reduzidas junto ao solo, nas quais há grandes variações verticais e horizontais dos valores dos vários elementos climáticos”).

Sendo assim, observa-se que o clima urbano é um sistema complexo, adaptativo e aberto que, ao receber energia do ambiente maior no qual se insere, a transforma substancialmente a ponto de gerar uma produção exportadora ao ambiente (MONTEIRO; MENDONÇA, 2003), resultando num balanço energético diferenciado.

Neste contexto, Oke (1981), destaca alguns aspectos da urbanização que alteram o ambiente físico, acarretando modificações no balanço de energia e nas condições térmicas, em comparação à periferia. São eles:

- I. Poluição do ar (aumento da radiação de ondas longas emitidas pela atmosfera, devido à maior absorção das ondas curtas e radiação de ondas longas emitidas pelos poluentes);

- II. Calor antropogênico (calor desprendido no processo de combustão);
- III. Superfícies impermeáveis (aumento da admitância térmica das superfícies e materiais construtivos, aumentando o calor acumulado durante o dia e desprendimento do calor armazenado durante a noite);
- IV. Geometria das superfícies (aumento da absorção de ondas longas devido à retenção entre edificações);
- V. Diminuição da perda de calor por turbulência causada pela estagnação entre as edificações;
- VI. Diminuição da perda da radiação por ondas longas do espaço entre edificações pela redução da área de céu visível.

Na área urbana, o balanço energético é representado por fluxos de energia através do volume solo-construções-ar até uma altura onde as trocas verticais de calor são desprezíveis para o período de análise (BARBIRATO-SOUZA; TORRES 2007). Segundo Monteiro (1990), ao penetrar na cidade para investigar- lhes o clima, o procedimento preliminar básico dirige-se à análise do campo térmico urbano, a partir do qual, todo um jogo de correlações e de interações se produz na geração das características climáticas da cidade.

O espaço urbano tem grande potencial no armazenamento de calor, além disso, a geometria dos prédios e a excessiva ocupação do solo contribuem para a estagnação e a canalização do ar, com a formação de uma superfície rugosa. Esses fatores contribuem para a alteração do balanço de energia no ambiente urbano e, conseqüentemente, para a conformação de seu campo térmico, o qual tende a apresentar bolsões de ar mais aquecido sobre as áreas mais adensadas, denominado por Lombardo (1985), fenômeno das ilhas de calor.

3.2 ESTUDOS SOBRE AS ILHAS DE CALOR

Para Lombardo (1985), a urbanização considerada em termos de espaço físico construído, altera significativamente o clima urbano, considerando-se o aumento das superfícies de absorção térmica, impermeabilização dos solos, alterações na cobertura vegetal, concentração de edifícios que interferem nos efeitos dos ventos, contaminação da atmosfera por meio da emissão de gases.

Desta forma, a variação das atividades humanas nos espaços internos diferenciados, como parques, ruas, casas, indústrias e a configuração física da cidade contribuem para as variações climáticas, notando-se alterações mais significativas de temperatura, umidade e vento. As Ilhas Urbanas de Calor (Urban Heat Island - UHI) são definidas por apresentarem modificações no clima local, percebendo seu maior desenvolvimento no início da noite.

Brandão (2003) também ressalta o papel que as características da camada urbana proporcionam para o surgimento da Ilha de Calor Urbana:

A ilha de calor representa o fenômeno mais significativo do clima urbano e sua intensidade depende das condições micro e mesoclimáticas locais da cidade. Assim, é necessário pesquisar o desempenho das diversas edificações do uso do solo, da morfologia, dos materiais de construção do desmatamento, dentre outros, como fatores condicionantes do clima urbano. (BRANDÃO, 2003).

Segundo Perez et al. (2001), as propriedades térmicas dos materiais que compõem a superfície do solo são capazes de modificar e moldar as variáveis microclimáticas de tal maneira que há a formação de regiões mais quentes, com fronteiras bem definidas, que as separam de seus arredores.

De acordo com Voogt e Oke (2003) as ilhas de calor podem ser referidas ao excesso de aquecimento da atmosfera urbana em relação ao seu redor não urbanizado, sendo mais expressivas com céu claro e calmaria, durante o período noturno, quando a diferença de resfriamento radiativo é máxima entre a localização urbana e rural.

Sendo assim, Lombardo (1995) afirma que a intensidade das características do clima urbano, a magnitude da ilha de calor e a extensão da área urbanizada são

variáveis, pois se trata de uma relação não linear, embora seja evidente que quanto maior a estrutura de uma área urbana, maior serão as alterações que o clima local sofrerá, por conta das mudanças na superfície e de suas intensidades.

Destaca-se neste contexto, que um dos fatores mais afetados pela urbanização é o balanço de energia (MONTEIRO; MENDONÇA 2003). De acordo com OKE (1979), conforme as correntes de ar oriundas das áreas rurais adentram a cidade, elas se deparam com uma atmosfera modificada e com características próprias. Dessa forma, ele dividiu a atmosfera urbana em duas camadas:

- a. Canopy Layer (Camada Intra-Urbana) – estratificada abaixo do nível dos telhados. É produzida pelos processos em microescala localizados nas ruas, entre os prédios etc. A natureza ativa dessa superfície produz uma considerável complexidade de fatores atuantes.
- b. Urban Boundary Layer (Camada Limite da Influência Urbana) – estende se acima do nível dos telhados. É um fenômeno com características produzidas pela natureza da superfície urbana, cuja rugosidade, proporcionada pela presença de prédios relativamente altos, provoca uma aerodinâmica particular. A velocidade do vento se reduz, mas ocorre um aumento da turbulência e nos arrastos produzidos pela fricção do ar. Podemos observar um esquema explicativo na figura1.

Figura 1 – Esquema das camadas atmosféricas urbanas (Canopy Layer) e (Urban Boundary Layer) definidas por OKE, 1979

Fonte: (OKE, 1979)

Essa diferenciação permite que os processos operacionais sejam identificados em análises de microescala que operam na Camada Limite Urbanos (UCL), isto é, abaixo do nível dos telhados e as análises de mesoescala que operam na camada de Fronteira Urbana (UBL), ou seja, geralmente acima do nível dos telhados.

Esses fenômenos não estão sozinhos na área urbana, durante o dia o limite de influência é maior, pois o aumento da convecção do ar é aquecido pelos processos térmicos ou dinâmicos. À noite, a camada limite se contrai devido à estabilização vertical. Contudo, a convecção forçada é capaz de desestabilizar o ar da zona rural durante a noite, produzindo advecção sobre a cidade. Assim, se gera nos centros urbanos um balanço térmico especial conhecido como “domo urbano”. E dentro dos domos urbanos é que se forma uma circulação atípica de ar que faz com que a cidade se assemelhe a uma ilha quente (a temperatura chega a ser de 2°C a 10°C superior) rodeada por um entorno mais frio.

De acordo com Oke (1979), os principais mecanismos que afetam a camada limite superior (“boundary layer”) são:

- Calor antropogênico provenientes dos telhados, aglomeração de telhas e chaminés;
- Calor percorrido da camada dossel;
- Calor excedente do ar pelo processo de convecção;
- Fluxo de radiação de onda curta que converge com a poluição do ar.

Os mecanismos que mais afetam a camada do dossel urbano (“cannopy boundary layer”) incluem:

- O calor antropogênico das construções;
- Alta absorção de ondas curtas pelas construções;
- Decréscimo do fluxo de ondas longas perdidas;
- Alto armazenamento de calor pelos materiais de construção civil (armazenam calor durante o dia e o liberam no período noturno);
- Excesso de calor sensível pela diminuição do fluxo de calor latente;
- Convergência do calor sensível pela redução da velocidade do vento.

Analizando a grandeza do fenômeno de geração de ilhas de calor urbano, são inúmeros os mecanismos que contribuem para a sua formação e muitos são os fatores e sistemas que acresce a sua intensidade, desde a sua localização geográfica até as condições climatológicas do dia. Existem fatores relacionados às feições específicas da cidade, como tamanho, densidade populacional, além das variações diurnas e sazonais (LOMBARDO, 1985).

Segundo Sampaio (1981), a ilha de calor funciona como uma variável dependente, explicada por dois grupos de variáveis: (a) as condicionantes do meio físico e seus atributos geoecológicos; e (b) as condicionantes derivadas das ações antrópicas sobre o ambiente urbano, em termos de uso e ocupação do solo. A (Figura 2) apresenta o “perfil clássico das Ilhas de Calor” traçado por Oke (1974), nos grandes centros urbanos caracteriza os lugares com maiores atividades humanas.

Figura 2 – Perfil da Ilha de Calor nos centros urbanos

Fonte: (EPA-US/Mod. E. Zimbres, 1975)

O albedo nas áreas urbanas apresenta uma variação considerável, muito em função da grande diversidade de materiais utilizados nas construções de superfícies criadas pelo homem, por exemplo, os telhados e as superfícies impermeabilizadas.

As alterações do albedo interferem no balanço de energia e no clima local (OKE, 2005). Para Landsberg (1974), a mudança no balanço de energia é o principal fator da geração da ilha de calor. Portanto, o calor armazenado pelo tecido urbano e o fluxo de calor antropogênico são as principais causas da formação de ilhas de calor, visto que, apesar da troca do albedo causada pela mudança de superfícies naturais para materiais construtivos não ser tão grande, as mudanças na condutividade térmica e na capacidade térmica dos materiais que constituem a área urbana são marcantes.

Essa afirmação é pautada na premissa de que a condutividade térmica e a capacidade de armazenar calor dos materiais urbanos são maiores do que as dos solos rurais (MAITELLI, 1994). Podemos observar os valores radioativos dos diferentes alvos na área urbana (Tabela 1) e na área rural (Tabela 2), definido por Oke (1987).

Tabela 1 – Valores do albedo e da emissividade nos alvos urbanos

Variações de Albedo das Áreas Urbanas		
Superfície	Albedo	Emissividade
I. Ruas com asfalto	0,05-0,20	0,95
II. Paredes		
Concreto	0,19-0,35	0,71-0,90
Tijolos	0,20-0,40	0,90-0,92
Pedras	0,20-0,35	0,85-0,95
Madeiras		0,90
III. Telhados		
Piche e Cascalho	0,08-0,18	0,92
Telhas	0,10-0,35	0,90
Ardósia	0,10	0,90
Sapé e Folhagem	0,15-0,20	
Chapa Ondulada	0,10-0,16	0,13-0,28
IV. Janelas		
Vidros Claros		
Ângulo menor 40°	0,8	0,87-0,94
Ângulo de 40° a 80°		0,87-0,92
V. Pinturas		
Branças e Caiadas	0,50-0,90	0,85-0,95
Vermelha, Marrom	0,20-0,35	0,85-0,95
Preta	0,02-0,15	0,90-0,98
VI. Áreas Urbanas		
Variações	0,10-0,27	0,85-0,96
Médias	0,15	0,95

Fonte: (OKE, 1987)

Tabela 2 – Valores do albedo e da emissividade nos alvos rurais

Variações de Albedo das Áreas Rurais		
Superfície	Albedo	Emissividade
I. Solos		
Escuro e Úmido		0,90
Claro e Seco	0,040	0,90
II. Desertos	0,20-0,25	0,84-0,91
III. Grama		
Alta (1 m)	0,16	0,90
Baixa (0,02 m)	0,26	0,95
IV. Cultivos e Tundra	0,18-0,25	0,90-0,99
V. Pomares	0,15-0,20	
VI. Florestas Decíduas		
Solo exposto	0,15	0,97
Abandonadas	0,20	0,98
VII. Coníferas	0,05-0,15	0,97-0,99
VIII. Água		
Pequeno ângulo zênite	0,03-0,10	0,92-0,97
Grande ângulo zênite	0,10-1,00	0,92-0,97

Fonte: (Oke, 1987)

Quando comparados os valores do albedo dos alvos das duas tabelas (1 e 2) citadas acima, nota-se que a área urbana tende a ter uma maior variabilidade com relação aos valores da área rural; esses valores inseridos em uma aglomeração urbana dos grandes centros urbanos, por exemplo, são responsáveis pelo aumento da temperatura.

Nesse contexto, temos que os sistemas urbanos e rurais obtêm energia originada dos processos radioativos os quais se ganha energia do sol e se perde para atmosfera superior e para o espaço. A radiação de ondas curtas originada do sol é absorvida durante o dia, mas a radiação de ondas longas emitida pelo sistema Terra é perdida a qualquer hora. As propriedades termodinâmicas dos materiais estão ligadas as propriedades físicas como albedo, absorptância a radiação solar,

emissividade, inércia térmica e índices de impermeabilidade dos materiais da massa edificada (DINES, 1991; BARBIRATO; SOUZA; TORRES, 2007).

3.3 A IMPORTÂNCIA DAS ÁREAS VERDES URBANAS NO CONTEXTO DA ILHA DE CALOR

De acordo com Lombardo (1985), é nas áreas urbanas que os sistemas naturais mais sofrem alterações, causadas pela ação antrópica, principalmente por conta dos elementos que constituem a cidade, tais como a remoção da cobertura vegetal, a impermeabilização do solo através de espessas camadas asfálticas e de cimento, que impossibilitam a infiltração da água das chuvas modificando o regime de escoamento superficial e de evaporação d'água do solo, o que implica na redução da umidade do ar.

Na paisagem urbana da cidade de São Paulo, a ausência de espaços ocupados com áreas verdes, principalmente em áreas com intenso aglomerado, esses cenários contribuem para o contraste no balanço de energia entre o centro e a periferia da metrópole. Essa organização espacial da atividade urbana cria condições espaciais propícias à formação da ilha de calor e concentração de poluentes (LOMBARDO, 1985).

É importante destacar que a presença de vegetação arbórea contribui para atenuar a temperatura e o efeito da ilha de calor urbana. A arborização dos bairros da cidade traz benefícios econômicos indiretos tais como a economia de energia elétrica, manutenção de pavimentos e diminuição das enchentes, amenizando os altos índices de calor e da poluição do ar.

A vegetação atua como um filtro das radiações absorvidas pelo solo e pelas superfícies construídas, refrescando os ambientes próximos, uma vez que as folhagens das árvores atuam como anteparos protetores das superfícies localizadas imediatamente abaixo e nas proximidades (ROMERO, 1997).

Neste contexto, Nucci (2001) também complementa que as áreas verdes urbanas são indispensáveis para assegurar a qualidade ambiental das cidades, uma vez que abrigam a fauna; filtram o ar, reduzindo os poluentes; atuam na redução da poluição sonora; diminuem a poeira em suspensão; e colaboram para a organização e desenvolvimento das atividades humanas, contribuindo para a saúde do homem.

Com a ideia de atenuar os impactos causados pela ausência de áreas verdes, muitos planejadores têm recorrido às vegetações urbanas para modificar os microclimas por meio de sombreamento e evapotranspiração, sendo uma boa estratégia para amenizar o aquecimento urbano em diferentes escalas.

Nas regiões com maior concentração de espaços livres, com arborização ou nas proximidades de reservatórios d'água, as temperaturas sofrem declínios acentuados. Isso pode ser explicado tendo em vista que a maior quantidade de vegetação implica em mudança do balanço de energia, já que as plantas, por meio do processo de fotossíntese e transpiração, absorvem a radiação solar.

Para avaliar os efeitos da vegetação na área urbana, Carlsson e Arthur (2000), analisaram dados obtidos sobre a temperatura da superfície a partir de imagens de satélite e técnicas de sensoriamento remoto considerando parâmetros como fragmentação da cobertura vegetal, disponibilidade de superfícies úmidas e variação das taxas de urbanização.

3.4 A UTILIZAÇÃO DO SENSORIAMENTO REMOTO NA IDENTIFICAÇÃO DA ILHA DE CALOR A PARTIR DA BANDA DO INFRAVERMELHO TERMAL.

O sensoriamento remoto e os sistemas de informações geográficas (SIG) têm se destacado como importantes ferramentas para qualificar e quantificar diversos processos na mudança do uso e cobertura do solo e na determinação da temperatura aparente de superfície (NOVO, 1989; NICHOL, 1994; LU; WENG, 2005).

Estudos pioneiros foram efetuados com o satélite NOAA ("National Oceanic and Atmospheric Administration"), o qual possui resolução espacial de 1,1km (GALLO, et al., 1993). No entanto, tal resolução é baixa, limitando a qualidade da descrição da imagem (WENG, 2003). Os próximos satélites que foram utilizados, e ainda são até hoje, são os da série Landsat, que se destacam por sua maior acessibilidade (NICHOL, 1994), pelo fato de serem disponibilizados gratuitamente no banco de dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). O Landsat 5

se destacou por muitos anos por apresentar uma melhor resolução espacial (120 m) quando comparado ao satélite NOAA.

Nas últimas décadas, estudos de clima urbano e de IC vêm se destacando e ganhando muita importância na área do sensoriamento remoto, pois oferecem visões de diferentes escalas e permitem a transformação de dados do infravermelho termal em temperatura aparente de superfície. De acordo com (CARLSON et al., 1999), mudanças detectadas com o auxílio de satélites, medidas obtidas remotamente a partir da banda do infravermelho termal têm sido amplamente utilizadas em estudos sobre a urbanização, na maioria dos casos, com foco no efeito conhecido como “ilhas de calor urbano”.

Os sensores de infravermelho termal encontrados no Satélite Landsat 5 são capazes de mensurar a temperatura aparente da superfície “land surface temperature” (LST). A determinação da LST é utilizada para diversas áreas de interesse como, por exemplo, processos termais que ocorrem no oceano (OLIVEIRA 2001), estudos de Ilhas de Calor nos centros urbanos (LOMBARDO, 1985; GEDZELMAN et al., 2003 e COLTRI et al., 2005).

O processo de mensurar a temperatura aparente da superfície exige uma série de cálculos matemáticos (SOBRINHO e CASELLES 1990) e também a aplicação de algoritmos de softwares. Dentre os softwares para esse tipo de transformação se destaca o ArcGis 9.3 que possui um algoritmo de transformação termal capaz de fazer a conversão dos níveis de cinza das imagens Landsat 5.

3.5 A UTILIZAÇÃO DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO (NDVI) E IMAGENS DE SATÉLITE PARA O MAPEAMENTO DA VEGETAÇÃO.

A caracterização das dinâmicas temporais e espaciais das paisagens vem sendo cada vez mais explorada no âmbito dos pesquisadores científicos. A compreensão das transformações temporais do uso da terra busca esclarecimentos para um melhor gerenciamento local. Sendo assim, a caracterização da qualidade ambiental das paisagens urbanas se torna especialmente importante.

A qualidade ambiental é influenciada por diversos fatores, tais como presença de áreas com vegetação, características climáticas, desmatamentos, solos degradados, entre outros. Tentativas têm sido realizadas para monitorar esses fatores por meio do uso de dados obtidos a partir de sensoriamento remoto (SMALL, 2001).

Os grandes centros urbanos têm sido alvo de grandes impactos causados pela supressão da vegetação tem sido intensificada pela urbanização. Esse processo tem causado um desequilíbrio na paisagem, tornando essas áreas urbanas vulneráveis e sem qualidade de vida. Nesse sentido, a utilização de séries de imagens do satélite Landsat é adequada para interpretar a explosão urbana que se sobrepõem às áreas de vegetação (SABINS, 1999).

A cobertura vegetal tem sido analisada por variados cientistas, por meio índices de vegetação utilizando medidas espectrais. O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) é um índice que qualifica e quantifica a cobertura vegetal, e tem sido um dos mais utilizados atualmente. Este índice foi proposto por (ROUSE et al., 1973), e é utilizado para identificar a presença de vegetação verde na superfície, o que permite caracterizar sua distribuição espacial, bem como a evolução do seu estado ao longo do tempo, a qual é determinada pelas variações das condições climáticas dominantes, bem como pelos ciclos fenológicos anuais (FOLHES, 2007).

Os índices de vegetação são transformações lineares da reflectância de duas ou mais bandas do espectro eletromagnético, que podem ser obtidos através de soma, diferença e razão de banda (como é o caso do Normalized Difference Vegetation Index – NDVI) (BARET; GUYOT, 1991; GOWARD et al., 1991). Esse índice pode caracterizar grandes áreas em termos de densidade de vegetação, permitindo que se tenha uma visão global da região e, a partir daí, localizar possíveis áreas de estudo.

3.6 OS DIFERENTES PADRÕES DE USO DA TERRA NA ÁREA URBANA

O grande desenvolvimento econômico nas metrópoles contemporâneas impulsionou a aglomeração populacional e essa por sua vez a expansão urbana. As diversas formas de organização urbana estão ligadas ao reflexo da economia em escala. Segundo Meyer (2004) “A concomitância entre o processo de metropolização e a expansão do modo de produção industrial, converteu a metrópoles no *locus* da sociedade industrial”, ou seja, desde então a vida na metrópole se modernizou, demonstrando novos aspectos de organização como a sociedade de classes. Tratando de questões territoriais, houve o desenvolvimento para a recepção das grandes indústrias, refletindo na organização do mercado consumidor e na instalação da classe trabalhadora.

Neste contexto, a dinâmica de organização no espaço urbano é composta por diferentes padrões de uso em uma cidade, pois a mesma de acordo com Luchiari (2013) “não se constitui de um espaço homogêneo, e sim num conjunto de espaços menores e diferenciados, o que se deve ao tempo e as relações socioeconômicas”. Por este motivo nas grandes cidades essa lógica é muito perceptível na paisagem urbana, ou seja, as pessoas que ocupam os melhores cargos no mercado de trabalho, terão acesso a residências bem localizadas em áreas centrais e com uma boa infraestrutura, por outro lado, as pessoas que ocupam cargos inferiores que não dispõem de alta remuneração, tendem a morar cada vez mais distante das áreas centrais em busca de um preço mais acessível de moradia; geralmente estes locais periféricos são carentes até de infraestrutura básica.

Corrêa (1995) e Villaça (2001) discutem alguns aspectos que demonstram como essa dinâmica se apresenta no espaço intra-urbano, caracterizando as principais zonas e formas dos espaços internos da cidade. Os autores destacam a atenção ao fluxo de ações pelas empresas hegemônicas, pois essas estão diretamente ligadas a organização interna das grandes cidades; e ao fluxo cotidiano das pessoas, tanto o trajeto da casa ao trabalho, como também da casa ao centro de compras. De acordo com isso, é feita a subdivisão das áreas de interesse: a área central, os centros secundários, as áreas de especializações e as diferenciações entre as áreas residenciais.

Neste contexto, a zona central é caracterizada com o uso intensivo da terra e são ligadas a grandes terminais de circulação, pois concentram atividades comerciais e de serviços. Essa por sua vez, é subdividida em duas partes: núcleo e periferia de centro. A periferia de centro, segundo Luchiari (2013) “... apresentam edifícios com grandes dimensões horizontais, outrora ocupadas por indústrias...”, ou seja, são espaços que passaram por revitalização e hoje são utilizados para funções diferenciadas, como por exemplo, depósitos de mercadorias, transportadoras entre outros. As indústrias que antes ocupavam esses espaços centrais passaram por um processo de descentralização incentivado pelo poder público a se instalar distantes das áreas centrais e mais próximo aos principais eixos, o que facilitaria a escoação de suas mercadorias.

É na zona pericentral onde se encontra a importante função residencial da cidade e tem como característica o tecido urbano contínuo (LUCHIARI, 2013); e é nessa zona onde a desigualdade sócio espacial é mais perceptível, evidenciando as diferenciações econômicas e sociais, ou seja, o processo de segregação (CORRÊA, 2010). Segundo Luchiari (2013) “Essas desigualdades sociais na zona pericentral podem ser identificadas pelos diferentes padrões construtivos das residências situadas nos diferentes bairros da área”, pois de acordo com o mesmo “a habitação é uma mercadoria que depende da terra...”, no entanto os terrenos com melhores localizações e acesso contêm altos valores agregados e serão ocupados pelas populações com as maiores rendas, enquanto os terrenos com menores valores serão destinados à população de baixa renda.

A classe de baixíssima renda de acordo com Luchiari (2013) “... tem no Brasil, sua forma particular de habitação, a favela ou a habitação subnormal, um dos casos típicos de segregação. Essas geralmente estão localizadas em áreas de alto risco ambiental, áreas submetidas a enchentes periódicas ou aos desmoronamentos, que são locais impróprios a especulação imobiliária”. Essas moradias geralmente são bem pequenas e feitas com materiais de descarte, resíduos de construção civil não reciclado entre outros. A classe baixa, influenciada pelo processo de descentralização da indústria e o deslocamento da população foi impulsionada pela oferta de emprego, muitas vezes instalando-se assim ao redor das indústrias, dando origem a um novo padrão de uso na cidade. O padrão construtivo das residências é modesto, não apresentando intervenções arquitetônicas significativas (LUCHIARI, 2013).

Por último, a classe média alta por ter uma renda mais elevada, desfruta de habitações próximas ao centro, descrito por Luchiari (2013) “... locais que apresentam amenidades, praia, lagos, parques, parcelas de floresta e shoppings centers em terrenos servidos por bens de consumo coletivo, em que as condições de infraestrutura são as melhores”. As características dos bairros são diferenciadas, pois contêm casas projetadas por profissionais da arquitetura em largos quarteirões, com vastas ornamentações de áreas verdes. Em meio a esses variados padrões de uso e diferentes paisagens é que se define o espaço urbano das grandes cidades, todos esses herdados pelos processos de urbanização.

4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO: O MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), também conhecida como a Grande São Paulo é uma das mais complexas regiões Administrativas do Estado de São Paulo, reunindo 39 municípios com características socioeconômicas e territoriais heterogêneas, totalizando 19.867.456 habitantes (SEADE, 2011).

Figura 3 – Localização da área de estudo

Fonte: (JESUS, 2015)

Denominado como município sede, São Paulo, segundo o IBGE (2014) apresenta uma população estimada em 11.895.893 de habitantes.

O município de São Paulo é cortado pelo Trópico de Capricórnio, localizado a 23°37' de latitude sul e 46°39' de longitude oeste (FROTA; SCHIFFER, 1995). Sua altitude é de 802m e se apresenta em uma região denominada Planalto Atlântico, sendo influenciada pelas condições oceânicas (TARIFA e AZEVEDO, 2001).

4.1 CARACTERÍSTICAS DA CIRCULAÇÃO ATMOSFÉRICA SOBRE O CLIMA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

O clima na RMSP pode ser resumido como seco no inverno e úmido no verão. Devido à localização da RMSP na região sudeste do Brasil e na parte leste do Estado de São Paulo, o seu clima local é fortemente influenciado pelo transporte de ar quente e úmido do Brasil central, assim como pelo Oceano Atlântico.

Localizada no limite da zona tropical, a cidade de São Paulo apresenta um clima de transição. Para a classificação climática de Koppen-Geiger, a cidade se configura como Cwa – Clima mesotérmico com verões chuvosos e rigorosos (tropical de altitude), na divisa com os climas subtropicais permanentemente úmidos (Cfa e Cfb) (OLIVEIRA FILHO, 2004).

As médias de temperaturas para o mês de julho geralmente são de 14,3° C e no mês de fevereiro de 22,3° C e conta com inverno seco e verões quentes. De acordo com Tarifa e Armani (2001), esta posição sujeita a cidade a uma influência significativa das massas polares, o que aumenta a umidade e as variações de temperatura em curtos segmentos de tempo. Esse fato reflete na questão pluviométrica da bacia do Alto Tietê na primavera-verão nos anos de El Nino, e no inverno com a maior frequência de sistemas anticiclônicos polares e o avanço da alta subtropical pelo continente, mantendo o tempo seco e instável.

4.2 BREVE HISTÓRICO DA EXPANSÃO DA URBANIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

O processo de estruturação do território metropolitano de São Paulo se deu a partir de um processo histórico que envolveu a ocupação urbana e a topografia do planalto paulista, segundo Morse (1970) “um conjunto de cinco grandes artérias de convergências conformaram o território metropolitano e definiram o seu papel de ponto de entroncamento e articulação regional”.

Em resumo, essas cinco artérias eram formadas a nordeste, para o Rio de Janeiro, seguindo ao longo do rio Paraíba, também contava com algumas saídas laterais ao sul pela costa, pela Serra do Mar, e ao norte para Minas Gerais, pela Serra da Mantiqueira, fora os portos existentes pelas extremidades laterais do Rio de Janeiro e São Paulo; ao norte, para Minas Gerais seguindo por Atibaia e Bragança; a oeste-noroeste para Itu e Porto Feliz; e finalmente, a oeste para Sorocaba e daí para o sudoeste (MORSE, 1970, p.42). Podemos pensar na estruturação metropolitana de São Paulo hoje, partindo da observação que todas essas artérias eram bem distribuídas em direção ao interior de São Paulo.

No início do século XX a cidade de São Paulo já havia se constituído na forma de um núcleo urbano relativamente estruturado, com arredores articulados (MEYER, 2004). A instalação de bondes facilitou para a interligação entre as áreas centrais e periféricas, esse fácil acesso a diferentes atividades urbanas contribuiu para novos loteamentos.

O sistema ferroviário implementado na época, era composto por cinco eixos principais: a São Paulo Railway, a Companhia Paulista, a estrada de Ferro Sorocaba a companhia Mogiana e a Estrada de Ferro Central do Brasil. No início esse sistema era mais voltado para o carregamento de carga, mas logo ganhou um caráter de serviço público, pois, começou a transportar passageiros que moravam em municípios ao entorno e até mesmo em bairros mais afastados do centro. Segundo (MEYER, 2004), “Do ponto de vista intra-urbano, o sistema ferroviário abriu a chamada “frente-oeste” de desenvolvimento da cidade”.

A constituição do território periférico se evidenciou em 1950 com a grande evolução da população (Tabela 3), evidenciando assim, a segregação residencial. Nesse mesmo período, foi instalado na região do ABC Paulista -- Santo André, São Caetano do Sul e São Bernardo dos Campos, as indústrias relacionadas ao automobilismo, o que implicou na mudança da dinâmica territorial da metrópole, que constitui hoje a Grande São Paulo.

Tabela 3 – Evolução da população da década de 1950 a 2010

Região	1950	1960	1970	1980	1991	2000	2010
MSP	2.198.096	3.525.351	5.924.615	8.493.226	9.646.185	10.434.252	11.253.503
RMSP	2.699.449	4.608.380	8.139.730	12.588.725	15.444.941	17.878.703	19.677.844
Estado	9.134.423	12.974.699	17.958.693	25.375.199	31.546.476	37.032.403	41.262.199
Brasil	51.944.397	70.992.343	94.508.583	121.150.573	146.917.459	169.799.170	190.755.799

Fonte: IBGE, 1950, 1960, 1970, 1980, 1991, 2000 e 2010.

Com relação ao município de São Paulo, destaca-se que o mesmo apresentou crescimento significativo de 2,19 milhões de habitantes desde 1950, passando para 11,25 milhões em 2010.

Essas mudanças influenciaram diretamente no aumento das demandas habitacionais e na acomodação e absorção dos trabalhadores atraídos pela demanda de oferta de emprego. Meyer, 2004 afirma que “a descrição do processo histórico de estruturação da metrópole está inteiramente ligada à compreensão do desenvolvimento dos três elementos articulados que o constituíram: a dispersão intensiva do padrão periférico, o deslocamento da função residencial para áreas desprovidas de atributos urbanos básicos; e a acentuada desarticulação do sistema de transporte público e dos fluxos responsáveis pela mobilidade intra-metropolitana”.

A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), somente foi instituída em 1973 e desde então se mostrou em constates mudanças com relação a ampliação do território, o crescimento populacional e nas relações econômicas como os municípios vizinhos.

A aglomeração da população impulsionou a expansão urbana, que por sua vez influenciou cada vez mais no decréscimo da cobertura vegetal. Segundo Furlan, (2004, p. 263) “A cobertura vegetal perdeu lugar para a especulação da terra que se consolidou em toda a cidade, e poucas vezes foi considerada fator importante na estruturação urbana”.

No município de São Paulo, a área cultivada passou de 121,58 Km² em 1960 para 95,36 Km² em 1970, evidenciando a grande pressão exercida pelas atividades urbanas sobre as áreas rurais (MARCONDES,1999). Portanto, as áreas rurais foram as que mais sofreram com a expansão urbana, pois, a mancha urbana ultrapassou os limites municipais e seguiu os padrões periféricos de expansão urbana, impactando ao longo do tempo de forma significativas as áreas verdes.

Na figura 4, observa-se a evolução da mancha urbana na RMSP no intervalo de 1881-2010.

Figura 4 – Evolução da Mancha Urbana na RMSP 1881-2010

Fonte: (Emplasa, 2002)

A figura acima nos retrata que do ano de 1881 até 1949 a aglomeração era concentrada na região central do município de São Paulo; a partir de 1950 a expansão começou a ultrapassar os limites do município de São Paulo, desde então até 1974, foi o período marcado pela rápida e intensa aglomeração urbana. Desde 1975 até hoje nota-se que o processo de urbanização continua crescendo, mas de forma mais lenta e com características de espalhamento pelo território.

4.2.1 As diferentes feições da cidade de São Paulo

O município de São Paulo no século XX já apresentava uma grande concentração populacional, esse processo intensificou-se a partir do ano de 1950, e

em um curto espaço de tempo, refletiu primeiramente no aumento dos subúrbios mais próximos e deu abertura para a criação de subúrbios cada vez mais distantes da área central.

De acordo com Villaça (2001), “A cidade se expandiu em todas as direções, porém, seletivamente”, ou seja, a aglomeração além do Vale do Anhangabaú era do mesmo lado da área central da cidade, o que era uma vantagem com relação ao outro lado; dispunha ainda de uma topografia suave e de uma bela paisagem que mais tarde se tornaria a Avenida Paulista (Zona Oeste). Já o outro lado, o rio ocupava uma área maior, a presença de várzea inundável e a ferrovia, a parte plana não apresentava nenhum atrativo natural entre outras desvantagens (zona Leste). Sendo assim, as classes médias altas ficaram do lado mais vantajoso e as outras classes se organizaram as margens opostas.

Pôde se dividir a cidade de São Paulo em Leste-Oeste por algumas décadas. Isso influenciou sobre a estrutura urbana, tanto como a distribuição territorial das classes sociais, como sobre o desenvolvimento dos subcentros de comércio e serviços (VILLAÇA, 2001). Mas essa divisão não foi mais possível quando o número de habitantes atingiu a ordem de 2 milhões.

Nesse contexto, a urbanização foi crescendo e criando novas feições na cidade de São Paulo. Segundo Langenbuch (1971 p.179) “este crescimento se materializa, sobretudo através de três processos: Compactação de área edificada; Expansão da área edificada sobre porções dos arredores que não tinham conhecido um desenvolvimento suburbano expressivo; Expansão da área edificada sobre porções dos arredores significativamente sub-urbanizados, compreendendo a absorção territorial de numerosos núcleos suburbanos”.

A compactação da cidade pode ser observada quando um grande crescimento vertical entre o centro e os bairros mais próximos consolidam-se, o que no caso de São Paulo ocorreu em grande escala nos bairros centrais. A significativa expansão sobre os núcleos suburbanos faz com que os mesmos rapidamente sejam absorvidos em sua área edificada; assim novas áreas suburbanas vão surgindo e sendo absorvidas, e passam a se fundir territorialmente com a cidade.

Como já citado, a média classe alta se instalou inicialmente nas áreas centrais que se mostravam com maiores vantagens e foi se expandindo sentido oeste e, em seguida, a sudoeste. Alguns desses bairros ainda hoje se mantêm e são denominados: Higienópolis, Jardim América, Alto de Pinheiros, Morumbi, Avenida

Paulista, entre outros. No entanto, a classe média, que também se destacava com o desenvolvimento na parte oeste da cidade, é formada, por exemplo, pelos distritos: Vila Mariana, Ipiranga, Perdizes, Vila Madalena entre outros.

Por fim a classe baixa, composta pela grande maioria da população, foi sendo realocadas para as áreas cada vez mais periféricas, principalmente na zona leste, onde eram áreas destinadas a investimentos públicos em habitação social, as quais não foram suficientes para contribuir com mudanças no quadro da grande aglomeração urbana; pois problemas urbanos como o abandono do poder público no sistema de transporte, loteamentos clandestinos, a falta de planejamento de atividades geradoras de empregos e renda entre outros, intensificava a problematização dessas populações localizadas em direção à zona leste.

Partindo do município de São Paulo e posteriormente o Grande ABC, o padrão periférico conduziu a urbanização em ritmo acelerado, atingindo no ano de 1980, áreas ambientais inadequadas (MEYER, 2004), no entanto houve a intensificação dessas ocupações precárias e ilegal em áreas de proteção dos mananciais metropolitanos, principalmente próximo às represas de Guarapiranga e Billings. Outros exemplos dessas ocupações irregulares são as estradas de Parelheiros, do M' Boi Mirim, do Boreré e do Alvarenga.

Devido a essas diferentes aglomerações, a cidade de São Paulo é constituída por diversas feições que podem ser justificadas, por exemplo, por investimentos imobiliários em bairros residenciais para classes sociais específicas. Segundo os autores (QUEIRÓZ, R. et al., apud VILLAÇA, 2001) “veem na promoção imobiliária o elemento de ligação entre, de um lado, as transformações macroeconômicas nacionais e, de outro, a reestruturação intra-urbana”, reforçando mais que “ a dinâmica construtiva empresarial concentra-se e renova intensamente os núcleos urbanos, elitizando e segregando essas áreas das grandes e médias cidades, especialmente das capitais”.

Nos anos 1980, o foco de um grande investimento imobiliário foi fora dos centros urbanos, voltado para a classe média alta paulistana, esses bairros mesmo sendo afastados ofereciam toda infraestrutura de alto padrão necessária, são exemplos os bairros Alphaville e Tamboré, em São Paulo (VILLAÇA, 2001). Esses bairros criados para esta classe em específico ficam distante da área central da cidade, o que comprova que a questão da “promoção imobiliária” é muito determinante.

5 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Todos os procedimentos metodológicos utilizados neste trabalho sendo, aquisição processamento e calibração de imagens e as análises dos dados estão esboçados no fluxograma na figura 5.

Figura 5 – Fluxograma referente aos dados adquiridos e metodologia aplicada neste trabalho

Fonte: (JESUS, 2015)

▪ Dados Landsat

Para este estudo foram utilizadas imagens orbitais dos Satélites Landsat 5 (TM), com resolução de (30 m) para as bandas 3 (vermelho) e 4 (infravermelho próximo) e (120m) para a banda 6 (infravermelho termal), órbita/ponto 219/76, de 07 de novembro de 1985, 27 de novembro de 2004 e 27 de novembro de 2010, as quais foram projetadas para o fuso UTM 22S, DATUM WGS 1984. As imagens orbitais foram adquiridas no acervo do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

▪ Dados das ortofotos

Para o ano de 2010 utilizou-se como referência quanto aos variados padrões de uso da terra para o município de São Paulo as ortofotos na escala de 1:5000, fornecidas pela EMPLASA e disponibilizadas pelo Arquivo de Fotografias Aéreas do Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo.

5.1 PROCESSAMENTO DO LANDSAT PARA OBTENÇÃO DA LAND SURFACE TEMPERATURE (LST)

No processamento das imagens de satélite Landsat 5 (TM), na banda termal 6, foi utilizado o algoritmo de transformação termal do Software Arcgis 9.3. Esse tratamento da imagem consistiu em transformar os valores digitais das imagens para temperatura em graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$), com a utilização de parâmetros fixos de conversão de níveis de cinza da imagem (NC) para radiância, depois para temperatura Kelvin e finalmente para graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$).

Após, os valores de níveis de cinza (NC) da imagem foram convertidos para radiância espectral, por meio dos parâmetros de radiância de calibração absoluta de pós-lançamento do sensor TM. Os valores de radiância espectral obtidos foram, então, transformados em refletância aparente.

Cabe destacar que a estimativa das temperaturas da superfície terrestre, em graus Kelvin, por radiometria, baseia-se na Lei de Plank. Com base nos valores estimados de emissividade obtêm-se a temperatura da superfície mediante a inversão da equação de Plank para corpos radiadores seletivos; e, dá-se origem a grade de temperatura da superfície mediante a transformação de graus Kelvin para graus Celsius (°C), subtraindo 273,16 dos valores de T.

Para obtenção da radiância, no software ArcGis criou-se um novo projeto para importar a imagem do infravermelho termal – banda 6, convertendo-se os níveis de cinza para informações de radiância a partir da seguinte equação:

Equação (1)

$$L_{\lambda} = ((L_{\max \lambda} - L_{\min \lambda}) / (QCAL_{\max} - QCAL_{\min})) * (QCAL_{\min} - QCAL) + L_{\min \lambda}$$

A descrição das variáveis da fórmula de conversão para radiância estão descritas na Tabela 4.

Tabela 4 – Variáveis da formula de conversão para radiância

L_{λ}	Radiância espectral em sensor de abertura de em Watts
QCAL	Valor quantizado calibrado pixel em DN
$L_{\min \lambda}$	Radiância espectral, que é dimensionado para $QCAL_{\min}$ em Watts = 0.000
$L_{\max \lambda}$	Radiância espectral, que é dimensionado para $QCAL_{\max}$ = 17.040
$QCAL_{\min}$	O mínimo valor quantizado calibrado pixel (correspondente a $L_{\min \lambda}$), em DN = 1
$QCAL_{\max}$	Máximo valor quantizado calibrado pixel (correspondente a $L_{\max \lambda}$) no DN = 255

Fonte: <http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov>

Segundo Dumke (2007), “os valores de $L_{\max}$ e $L_{\min}$ podem se alterar em função da data de imageamento e do tipo de sensor”. Os parâmetros que devem ser utilizados em imagens TM encontram-se na tabela 5.

Tabela 5 – Faixa de Radiância Espectral dos Sensores TM.

Sensores TM(Qcal min = 1 and Qcal max = 255)				
	W/(m² sr m)		(W/m² sr m)/DN	W/(m² sr m)
Bandas TM	LMIN λ	LMAX λ	G rescale	B rescale
1	-1,52	169	0.671339	-2,19
	-1,52	193	0.765827	-2,29
2	-2,84	333	1.322.205	-4,16
	-2,84	365	1.448.189	-4,29
3	-1,17	264	1.043.976	-2,21
4	-1,51	221	0.876024	-2,39
5	-0,37	30,2	0.120354	-0,49
6	1,2378	15,3032	0.055376	1,18
7	-0,15	16,5	0.065551	-0,22

Fonte: (CHANDER; MARKHAM; HELDER, 2009)

Em seguida, aplicou-se a equação para converter os valores digitais em temperatura Kelvin:

Equação (2)

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

Onde:

T = temperatura efetiva no satélite em Kelvin;

K2 = constante de calibração 2, valores na tabela 6;

K1 = constante de calibração 1, valores na tabela 6;

L = radiância espectral em Watts /(metros quadrado μm).

Tabela 6 – TM Constantes de calibração da banda termal

	Constante 1-K1Watts/ (metros quadrados ster **mm)	Constante 2-K2kelvin
Lansat 5	607,76	1260,56

Fonte: <http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov>.

Posteriormente, aplicou-se a fórmula para converter os graus Kelvin em graus Celsius (C°), ainda no software Arcgis 9.3. Assim, subtraiu-se 273,15 dos valores de temperatura gerando a grade da temperatura de superfície. As interpolações e aquisição dos dados de temperatura foram realizadas utilizando o software ArcGis versão 9.3, por meio de análises estatísticas zonais.

5.2 PROCESSAMENTO DO LANDSAT PARA OBTENÇÃO DO ÍNDICE NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX (NDVI)

Para a aplicação do índice de NDVI utilizou-se as bandas 3 e 4. Após a separação das duas bandas de cada ano, foi feito registro e o georreferenciamento das imagens. Em seguida foi realizada a conversão de ND para reflectância aparente para a correção atmosférica. As imagens foram processadas no ArcGis 9.3; e em seguida foi realizada a classificação da imagem e gerado o índice de NDVI.

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), tem sido amplamente utilizado com auxílio de sensoriamento remoto em estudos globais como um discriminador de vegetação, porque pode ser facilmente correlacionado a determinados parâmetros de vegetação, tais como biomassa vegetal, área foliar, produtividade, atividade fotossintética, porcentagem de cobertura verde, entre outros (ELVIDGE e CHEN, 1995).

Este índice é eficiente porque é suficientemente estável para permitir comparações de mudanças sazonais e interanuais no crescimento e na atividade vegetal. Sobre as bases da evidência visual, as diferenças entre a simples razão entre bandas e o NDVI não são muito grandes. Entretanto, o fato de que a soma e a diferença de bandas são mais utilizadas do que os valores absolutos, podem tornar

o NDVI mais apropriado para o uso em estudos de comparações temporais para uma simples área (MATHER, 1999).

De acordo com Rouse et al. (1973), o índice de vegetação NDVI, consiste em uma equação que tem como variáveis as bandas do vermelho e infravermelho próximo, como segue:

Equação (3)

$$\text{NDVI: } IR - R / IR + R$$

Sendo,

IR: Infrared (Infravermelho próximo)

R: Red (vermelho)

As interpolações e aquisição dos dados do índice de NDVI foram realizadas utilizando o software Arcgis 9.3, por meio de análises estatísticas zonais.

5.3 PROCESSAMENTO DAS ORTOFOTOS DO ANO DE 2010

Para a utilização das ortofotos do ano de 2010 com a resolução de (0,60 cm) como principal referência para as análises dessa pesquisa, foi necessário a obtenção de uma melhor resolução e para isso, as bandas do Infravermelho Próximo e do Vermelho foram tratadas no Arcgis 9.3.

Com uma nova composição para as ortofotos, sendo bilinear e com resolução de 2 metros, iniciou-se a aplicação do índice NDVI, conforme a mesma metodologia citada anteriormente. Verificou-se que o resultado ofereceu um contraste muito bom para a identificação dos alvos pretendidos para a análise.

Em seguida, o histograma do índice do NDVI foi dividido em três níveis de refletância dentro do intervalo de variação de -1 a 1, classificando-se três classes:

área construída, gramínea e copa de árvore. Com a subdivisão foi calculado com o Arcgis 9.3, a porcentagem de cada uma dessas classes, obtendo o uso da terra.

5.4 AMOSTRAGEM DO LAND SURFACE TEMPERATURE, DO ÍNDICE NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX E OS PADRÕES DE USO DA TERRA

Para a obtenção das amostras foram selecionados 15 bairros do município de São Paulo e separados em três grupos iguais, contendo 5 bairros em cada grupo. Os critérios de cada grupo foram os diferentes padrões de uso: baixo padrão, médio padrão e médio alto padrão. Em cada bairro foram extraídas três amostras, conforme mostra o esquema abaixo, figura 6 e na tabela 7.

Figura 6– Esquema de subdivisão dos bairros de São Paulo

Tabela7– Classificação das amostras selecionadas para o estudo

Baixo Padrão		Médio Padrão		Médio Alto Padrão	
Amostras	Bairro	Amostras	Bairro	Amostras	Bairro
1	Paraisópolis	16	Vila Madalena	31	Jardim
2		17		32	
3		18		33	
4	Brasilândia	19	Ipiranga	34	Alto de Pinheiros
5		20		35	
6		21		36	
7	Parelheiros	22	Vila Mariana	37	Morumbi
8		23		38	
9		24		39	
10	Jardim	25	Perdizes	40	Higienópolis
11		26		41	
12		27		42	
13	Tiradentes	28	Interlagos	43	Jardins
14		29		44	
15		30		45	

Todas as amostras citadas na tabela acima estão indicadas no mapa de localização (Figura7).

Figura7—Mapa de localização das amostras

Fonte:(JESUS, 2015)

Para a obtenção das amostras foram escolhidas áreas de formas aleatórias dentro de cada bairro, somente levando em consideração os variados padrões de construções existentes em cada local.

Após a seleção dos bairros iniciou-se a extração das amostras correspondentes, para isso utilizou-se um shape no Arccatalog, contendo um polígono quadrado com medidas de 400(metros) x 400(metros), como mostra a figura 8.

Figura 8 – Representação esquemática das amostras

Fonte: (JESUS,2015)

Inicialmente, os recortes foram feitos aleatórios dentro dos bairros, ou seja de acordo com os padrões de construções predominante em cada local. Em seguida, foram utilizadas as mesmas coordenadas para extrair os dados das imagens dos anos seguintes. Todo o processo foi elaborado no Arcgis 9.3.

Para cada amostra foi gerada uma média dos valores amostrados nos pixels da área, tanto para a temperatura de superfície terrestre, para o índice de NDVI e para o uso da terra. Os valores das médias extraídos foram organizados em softwares estatísticos, nos quais foram esboçados gráficos e tabelas.

No total foram geradas 45 amostras com diferentes perfis para uma melhor compreensão da relação entre os variados padrões de construção e o comportamento térmico local. Segue abaixo o (quadro 1), com os principais exemplos de padrões de construção, que foram detalhados com precisão com o aporte da ortofoto de 2010, subdividindo-se em três grupos: baixo padrão, médio padrão e médio alto padrão.

Quadro1 – Exemplos das três classes a serem interpretadas: baixo padrão, médio padrão e médio alto padrão.

Grupo Amostral (classes de cobertura)	Padrões Característicos de Interpretação	Imagem (Paisagem)
Exemplo: Ponto 3 Parelheiros	Baixo padrão de construção Área horizontal Intensa área construída Quadras pequenas Densa presença telha escura Escassa cobertura vegetal Ruas asfaltadas Ruas sem asfalto
Exemplo: Ponto 8 Brasilândia	Baixo padrão de construção Área horizontal Intensa área construída Quadras pequenas Densa presença de telha escura Cobertura vegetal não urbana Ruas asfaltadas
Exemplo: Ponto 19 Vila Madalena	Médio padrão de construção Área horizontal Intensa área construída Quadras médias Densa presença de telha cerâmica Escassa cobertura vegetal
Exemplo: Ponto 25 Vila Mariana	Médio padrão de construção Área verticalizada Intensa área construída Quadras médias Média cobertura vegetal Presença de sombra
Exemplo: Ponto 36 Alto de Pinheiros	Médio Alto padrão de construção Área horizontal Quadras grandes Densa cobertura vegetal Predominância de telha cerâmica
Exemplo: Ponto 34 Jardim América	Médio Alto padrão de construção Área horizontal Área construída reduzida Quadras grandes Densa cobertura vegetal Predominância de telha cerâmica

Fonte: (JESUS,2015)

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados e análises estão organizados na seguinte sequência:

- **Caracterização da temperatura média do ar**

Inicialmente para a observação das variações das temperaturas médias anuais e mensais do ar foi realizada uma organização e tratamento dos dados das Estações Meteorológicas do IAG-USP e Mirante do Santana, para cada ano correspondente, no software Microsoft Office Excel 2003. Para uma melhor visualização foram elaborados gráficos para representar o comportamento das temperaturas.

- **Caracterização da atmosfera**

A caracterização do comportamento climático atuante na atmosfera para o período foi feito com imagens temporais GOES, extraídos dos acervos de imagens do CPTEC-INPE, de acordo com a disponibilidade.

- **Análise dos dados extraídos das imagens de satélite e das ortofotos**

As amostras extraídas das imagens foram organizadas em três grupos: baixo padrão (amostras de 1 a 15), médio padrão (amostras de 16 a 30) e médio alto padrão (amostras de 31 a 45), os dados de LST e do índice de NDVI extraídos das imagens de satélites Landsat 5 (TM), foram organizados em tabelas e, a partir daí, foram gerados gráficos.

Após a confecção e a interpretação dos gráficos obtidos como resultados foi possível comparar com a análise de dados de temperaturas do ar, LST e NDVI, buscando encontrar similaridades nos diferentes padrões de construção.

6.1 CARACTERIZAÇÃO DA TEMPERATURA MÉDIA DO AR

Para as três imagens orbitais do Landsat 5 (TM) selecionadas para compor uma série temporal de 25 anos, foram verificados os anos que eram representativos dentro das normais dessa série. Verificou-se que todos os anos estão dentro dos padrões, ou seja, sem nenhuma anormalidade ou eventos extremos foram notados como demonstrado nas linhas na cor vermelha no (Gráfico 1).

Gráfico 1 – Comportamento da Temperatura Média Anual de São Paulo pela Estação IAG-USP

Fonte: IAG-USP.

O gráfico mostra que durante todo o período (1985-2010) a temperatura média do ar foi de aproximadamente 19º C, apresentando certa tendência a linearidade, ou seja, uma variação bem sutil. Portanto, os anos de 1985, 2004 e 2010 podem representar seguramente o comportamento da temperatura do ar dentro da série temporal selecionada para este estudo.

6.1.1 Obtenção da Temperatura Média do Ar

Foram verificadas as médias mensais e anuais em duas estações meteorológicas localizadas no município de São Paulo para cada ano das imagens selecionadas. A primeira estação foi a do IAG –USP, que está localizada no interior da Cidade Universitária no bairro Butantã, e a segunda está localizada no Mirante do Santana, sendo a estação principal do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A tabela 8 esboça os dados coletados.

Tabela 8 – Médias anuais e mensais de temperatura do ar das imagens orbitais

Dados das Temperaturas Médias anuais e mensais						
Data Imagem	Ano	Média Anual (IAG)	Média Anual (INMET)	Ano	Média Mensal (IAG)	Média Mensal (INMET)
07/11/1985	1985	18,9	20,4	1985	20,3	22,2
27/11/2004	2004	18,8	19,8	2004	20,2	21,8
28/11/2010	2010	19,5	21,4	2010	20,1	22,1

Fonte: Estações IAG-USP e Mirante do Santana (INMET)

Para uma melhor visualização e comparação, os dados de temperatura média do ar foram alocados em dois gráficos. Primeiramente serão comparados as Médias Anuais de Temperatura do ar das duas estações: a do IAG-USP e a do Mirante do Santana (INMET), (Gráfico 2).

Gráfico2 – Médias Anuais de Temperatura do ar

Fonte: Estações IAG-USP e Mirante do Santana (INMET).

O gráfico nos mostra que entre uma estação e outra sempre há uma diferença $\geq 1^\circ \text{C}$, no entanto, deve-se levar em consideração as localizações das estações meteorológicas e o seu entorno. Se observado o comportamento das temperaturas do ar entre as estações, elas seguem uma mesma tendência, somente com uma pequena variação de temperatura.

De maneira geral, as temperaturas diminuíram gradualmente no ano de 2004 e em seguida no ano de 2010, a estação do IAG aponta $0,7^\circ \text{C}$ de aumento na média, e o Mirante do Santana, $1,6^\circ \text{C}$.

A segunda análise será o comportamento das Médias Mensais de Temperatura (Gráfico 3).

Gráfico3 – Médias Mensais de Temperaturas do ar.

Fonte: Estações IAG-USP e Mirante do Santana (INMET).

Observa-se que a diferença da temperatura média mensal do ar entre as estações IAG e Mirante do Santana teve uma variação menos brusca do que temperatura média anual. O ano em que houve a maior variação da temperatura mensal foi em 2004, ano este que se mostrou com temperatura mais amena no período.

6.2 ANÁLISE DA DINÂMICA DA ATMOSFERA DOS ANOS DE 1985, 2004 E 2010

Para a caracterização da atmosfera foram utilizadas imagens GOES, disponibilizadas pelo acervo do CPTEC-INPE, e os boletins técnicos com análise sinótica disponibilizada também pelo CPETC-INPE. Seguem abaixo a análise da dinâmica climática de acordo com as imagens de satélites Landsat 5 (TM) da série temporal, com o auxílio das imagens GOES disponibilizadas pelo CPTEC-INPE.

Imagem do dia 07 de novembro de 1985:

Quase todo o país estava coberto por nuvens que poderiam propiciar chuvas da Amazônia ao Planalto Central e da Região Sul a Região Sudeste.

Na RMSP a nebulosidade é variável com risco de nevoeiro pela manhã. As temperaturas estão em elevação entre 16° a 26°.

A imagem de satélite GOES 1985 (Figura 9) confirmou a presença da nebulosidade, mas com pouca intensidade no Sudeste e um aumento da temperatura.

Figura 9 – Imagem GOES 1985

Fonte: Inpe CPTEC.

Imagem do dia 27 de novembro de 2004:

Nesse dia para a RMSP o céu esteve encoberto com nuvens e houve pancadas de chuvas. Em alguns locais isolados as chuvas foram mais intensas e acompanhadas com rajadas de vento (Figura 10). A temperatura oscilou entre 20° C a 29° C.

Figura 10 – Imagem GOES 2004

Fonte: Inpe CPTEC.

Imagem do dia 28 de novembro de 2010:

Na análise da carta sinótica de superfície da 00Z do dia 28/11 (Figura 11), notou-se a presença de uma Zona de Convergência de Umidade (ZCOU) que atuou no Sudeste e na faixa sul da Bahia, favorecendo a formação de células convectivas sobre áreas destas regiões. Com este padrão atmosférico, a Zona de Convergência de Umidade (ZCOU) deverá enfraquecer, porém o fator termodinâmico causará ainda pancadas de chuva em parte do Sudeste (principalmente o norte de MG).

Figura 11 – Imagem GOES 2010

Fonte: Inpe CPTEC

6.3 DADOS DAS IMAGENS DE SATÉLITES E DOS PADRÕES DE USO DA TERRA COM BASE NAS ORTOFOTOS

A malha urbana do município de São Paulo constitui uma grande variedade de uso da terra. Uma cidade não é formada por um espaço homogêneo, e sim por um conjunto de espaços menores e diversificados, Luchiari (2013). Diante dessa complexidade presente na área urbana, as 45 amostras foram selecionadas com o intuito de representar alguns dos padrões de construção mais comuns em bairros tradicionais do município. Como dados de referência foram utilizados as ortofotos do ano de 2010 (quadro 2).

Quadro 2- amostras das ortofotos de 2010.

Fonte: (JESUS, 2015)

Para caracterizar os diferentes padrões de uso de baixo, médio e médio alto padrão o trabalho de campo foi utilizado como ferramenta para a descrição das amostras, pois segundo Luchiari (2013) “O espaço urbano das grandes cidades possui a característica de fragmentação, constituindo-se de diferentes paisagens e uso da terra gerados pelos processos de urbanização”, nesse contexto o contato com a realidade da área de estudo torna-se fundamental.

O grupo amostral de baixo padrão (1 a 15), foi representado por alguns exemplos das periferias do município de São Paulo como Parelheiros, Paraisópolis, Jardim Ângela, Tiradentes e Brasilândia, essas áreas são constituídas por malhas urbanas desestruturadas e carentes de atributos básicos como uma qualidade dos espaços construídos, áreas de lazer, o transporte público de baixa eficiência, entre outros. Segundo Meyer (2004): “A partir dos anos 70, no momento em que Estado passa a produzir habitação social adotando a tipologia dos grandes conjuntos, essa situação se agrava, pois os projetos reproduziram as deficiências e carências urbanísticas típicas das regiões periféricas”,

As periferias se caracterizam por diversos aspectos como o distanciamento das áreas centrais e apresentam um baixo padrão de construção, ou seja, as residências geralmente têm suas fachadas inacabadas e muitas vezes construídas de formas irregulares. As ruas e as calçadas aparentemente são mais estreitas e

com ausência de arborização urbana, como podemos notar esses detalhes no bairro de Paraisópolis (Figura 12).

Figura 12- Próximo a Rua Dr. Laérte Setúbal Paraisópolis-SP.

Fonte: (JESUS, 2015) (24/03/2015)

Outro aspecto perceptível nesse adensamento urbano é o tamanho do terreno que cada residência está construída, os mesmos são bem pequenos e só restam corredores como área externa, tornando inviável a instalação de um jardim ou até mesmo uma área verde ao redor da residência. A aparência da malha urbana, se observada de um ponto mais alto, nos remete a um aglomerado de estreitos quadrados de telhas de amianto escurecidas, como mostra a figura 13 no bairro da Brasilândia.

Figura 13- Rua Domingos Antônio de Moraes. Brasilândia- SP

Fonte: (JESUS,2015) (24/03/2015)

Esse mesmo grupo amostral não dispõe de arborização distribuída em sua malha urbana. A falta do planejamento urbano e da preocupação com a arborização nos bairros pode interferir na qualidade de ambiental. Esse tipo de procedimento é muito comum nas cidades brasileiras, o que tem causado, muitas vezes, sérios prejuízos (SILVA FILHO et al., 2002).

No entanto, há certas áreas isoladas localizadas em terrenos baldios ou em áreas laterais ao bairro, que dispõem de resquícios de arborização, porém muitos desses espaços são transformados em depósitos de lixo pela população local, como mostrado na figura 14 no bairro de Brasilândia.

Figura14- Imagem próximo a Domingos
Antônio de Moraes- Brasilândia- SP

Fonte: (JESUS, 2015) (24/03/2015)

O grupo de médio padrão foi representado com amostras dos bairros Vila Mariana, Vila Madalena, Ipiranga, Perdizes e Interlagos. Na malha urbana desses bairros há o predomínio de diversos aglomerados de áreas verticalizadas.

Com relação aos terrenos e às disposições das quadras, esses são maiores se comparados às residências do grupo de baixo padrão. As ruas e calçadas são mais alargadas, mostrando alguns pontos de arborização urbana (Figura 15).

Figura15- Imagem próxima ao metrô da Vila Madalena

Fonte: (www.imoveis.mitula.com.br, acessado em 26/02/2015)

Em alguns locais a arborização urbana se mostrou presente nas calçadas, em canteiros e ao redor de condomínios de prédios, mas na maioria dos casos a arborização apresenta-se escassa, se comparado à porcentagem de área construída, como mostra a figura 16 localizada na Vila Mariana.

Figura16- Imagem de Verticalização da Vila Mariana - SP

Fonte: (www.casa.abril.com.br, acessado em 26/02/2015)

No grupo de médio alto padrão as amostras foram retiradas dos bairros do Morumbi, Alto de Pinheiros, Jardim América, Higienópolis e Jardins. Nesses bairros os terrenos se mostram mais espaçosos e com um menor número de casas, no entanto essas áreas restantes são preenchidas com extensos jardins com diversas variedades de vegetação, ou seja, desde vegetação rasteiras até a de grande porte.

As ruas e as calçadas são alargadas, possibilitando a presença de uma vasta arborização urbana, essa por sua vez distribuída de forma homogênea na malha urbana. Muitas dessas ruas são tomadas por uma arborização urbana de grande porte que possibilita o encontro das copas, contribuindo para a formação de verdadeiros corredores em alguns pontos, como o exemplo da Figura 17, no bairro do Morumbi.

Figura 17 - Ruas com arborização urbana no Bairro do Morumbi –SP.

Fonte: (JESUS, 2015) (24/03/2015)

A arborização urbana é uma das variáveis que mais aparece em evidência na malha urbana quando se identifica os padrões uso, pois segundo Morato, “Há uma nítida diferença na arborização dos bairros de alto padrão, sobretudo na zona oeste e sul, como o Jardins, Morumbi, Alto de Pinheiros e os bairros mais populares das zonas Leste, Norte, Sul e Centro”.

6.3.1 Análise do Land Surface Temperature (LST) para os anos de 1985, 2004 e 2010

Diante das diferentes feições encontradas na malha urbana do município de São Paulo, o excesso de áreas construídas e impermeáveis por asfalto, concreto entre outros são bem frequentes. Estas superfícies são responsáveis por converter e armazenar a radiação solar incidente, por outro lado as áreas com arborização mostram temperatura de superfície mais amena. O conjunto dos fatores acima é capaz de determinar o aparecimento de um gradiente horizontal de temperatura conhecido como o fenômeno da ilha de calor urbana (STULL, 1993).

Definida como uma anomalia térmica, a Ilha de Calor tem como característica a temperatura de superfície do ar urbano mais elevado do que ao redor. Como forma de monitoramento, o sensoriamento remoto permite realizar estimativas através dos dados do canal infravermelho termal de temperatura aparente de superfície, ou seja, a LST que é extraída das imagens de satélite, mostrando como resultado final o desenho da temperatura local.

Neste contexto, os valores das médias da LST que foram extraídos estão representados no Quadro 3, do qual, as temperaturas estão em graus Celsius, e cada medida está esboçada no interior da amostra. Para o ano de 1985, o grupo de baixo padrão apresentou as temperaturas mínimas 19,2°C no bairro de Parelheiros (amostra 9) e as máximas de 26,8°C no bairro da Brasilândia (amostra 5); no grupo de médio padrão as mínimas foram de 24,7°C no bairro de Interlagos (amostra 28) e as máximas de 30,7°C no bairro do Ipiranga (amostra 20) e para o grupo de médio alto padrão as mínimas foram de 24,3°C no bairro de Higienópolis (amostra 42) e as máximas de 27,4°C no bairro do Morumbi (amostra 37).

No ano de 2004, para o grupo de baixo padrão as mínimas foram de 22°C no Jardim Ângela (amostra 12) e as máximas de 28,6°C no bairro Brasilândia (amostra 11); as temperaturas mínimas para o grupo de médio padrão foram 26,2°C no bairro de Perdizes (amostra 26) e as máximas de 29,3°C no bairro do Ipiranga (amostra 20) e com relação ao grupo de médio alto padrão as mínimas foram de 23,2°C no bairro Alto de Pinheiros (amostra 34) e as máximas de 28,7°C no bairro do Morumbi (amostra 38).

E para o ano de 2010, as mínimas do grupo de baixo padrão foram de 24,5°C no jardim Ângela (amostra 10) e as máximas de 36,0°C no bairro Brasilândia (amostra 6); o grupo de médio padrão as mínimas foram de 29,4°C no bairro de Interlagos (amostra 29) e as máximas de 35,6°C na Vila Madalena (amostra 16); e no grupo de médio alto padrão as mínimas foram de 27°C no bairro de Alto de Pinheiros (amostra 35) e as máximas de 30,8°C no bairro do Morumbi (amostra 37).

Quadro3 – Amostras das médias do Landsat 5 (TM) de LST de 1985, 2004 e 2010

Fonte: (Jesus, 2015)¹

As amostras de LST demonstraram aumento ao longo dos anos analisados, como pode ser observado no gráfico 4, a amplitude térmica foi diversificada de

¹ A média de temperatura de superfície em graus Celsius (°C) de cada amostra está especificada no interior de cada quadrante.

acordo com a porcentagem de arborização urbana e o padrão de uso da terra de cada grupo.

Gráfico 4 – Dados de LST para os anos de 1985, 2004 e 2010

Fonte: (Jesus, 2015)

As amostras de baixo padrão apresentaram os maiores picos nas temperaturas quando comparados às mínimas e as máximas ao longo dos anos. No caso da amostra 1, localizada no bairro de Paraisópolis em 1985, evidencia a temperatura de 26,4°C, em 2004, diminuindo para 25,3°C e em 2010 atingindo os 32,1°C; ao longo da análise houve o aumento de 5,7°C.

O bairro da Brasilândia (amostras 4, 5 e 6), foi responsável pelos maiores picos de temperaturas. Essas amostras em 1985 apresentaram temperaturas de 26,2°C, 26,8°C e 25,5°C, em 2004 houve um aumento para 27,2°C, 28,5°C e 28,6°C. Entretanto, em 2010 as temperaturas dispararam para 36°C, 35,4°C e 36°C, alcançando uma amplitude térmica de 10,5°C.

Outra amostra que se destacou com a maior amplitude térmica foi a de número 12 que ocupa uma área do Jardim Ângela, em 1985 apresentou medidas de 25,4°C, no ano de 2004 a temperatura caiu para 22°C, mas em 2010 elevou-se para 33°C, chegando a 11°C de aumento.

Duas amostras em Paraisópolis (2 e 3), oscilaram pouco em suas temperaturas ao longo dos anos. Em 1985 os dois apresentaram a mesma temperatura 25,6°C, em 2004 24,1°C e 23,6°C e no ano de 2010 28,5°C e 26°C. Em Parelheiros, (amostra 7) a amplitude térmica ao longo dos anos foi de 2,3°C e na amostra 10 localizada no Jardim Ângela, foi encontrada a menor do grupo 0,7°C, demonstrando uma maior estabilidade de temperatura.

No grupo de médio padrão os pontos de temperatura apresentaram uma amplitude térmica mediana e uma variação menor entre as máximas e mínimas, se comparado ao grupo de baixo padrão.

Na Vila Madalena, no ponto 16 em 1985 a temperatura apresentou 26,2°C, em 2004 28,4°C e no ano de 2010 em 35,6°C, ou seja, mostrando 9,4°C de amplitude térmica, sendo destaque no grupo de médio padrão. O bairro Ipiranga, (amostra 19) e a Vila Mariana (amostra 23), indicaram temperaturas em 1985 de 28,9°C e 27°C, no ano de 2004 de 28,6°C e de 27,9°C e em de 2010 34,2°C e de 34°C. As amostras tiveram em comum altos picos de temperatura no ano de 2010, variando na amplitude térmica de 5,6°C e de 7°C.

No bairro de Interlagos (amostras 29 e 30), apresentaram as menores amplitudes térmicas nesse grupo, e estas foram de 2,5°C e de 2°C. As temperaturas dos pontos na série em 1985 foram de 26,9°C e 28,6°C, em 2004 de 27,9°C e 28,4°C e no ano de 2010 de 29,4°C e 30,6°C.

Para o grupo de médio alto padrão, as amostras 35 e 38 localizadas nos bairros Alto de Pinheiros e Morumbi mostraram temperaturas de 26,1°C e 26,8°C em 1985; de 28,6 °C e 28,7 °C em 2004 e em 2010 de 27 °C e 27,5 °C, esse grupo registrou as menores amplitudes térmicas de todos os grupos sendo de 0,9°C e 1,9°C. Para os bairros Jardim América e Higienópolis (amostras 33 e 41) as temperaturas em 1985 foram de 25,8 °C e 24,4 °C, em 2004 de 28,5 °C e 27,7 °C e no ano de 2010, de 33 °C e 30,2 °C. Essas amostras seguiram com as maiores amplitudes térmicas do grupo, sendo de 7, 2 °C e 5,8 °C. Todos os valores médios da LST estão esboçados na tabela 9.

Tabela 8—Dados de LST dos anos 1985, 2004 e 2010

Amostras	Bairros (baixo padrão)	LST 1985	LST 2004	LST 2010
1	Paraisópolis	26,4	25,3	32,1
2		25,6	24,1	28,5
3		25,6	23,6	26,0
4	Brasilândia	26,2	27,2	36,0
5		26,8	28,5	35,4
6		25,5	28,6	36,0
7	Parelheiros	22,8	23,8	25,1
8		22,5	23,7	26,5
9		19,2	25,9	24,7
10	Jardim Ângela	23,8	24,5	24,5
11		23,5	28,6	31,2
12		25,4	22	33,0
13	Tiradentes	24,1	23,2	27,1
14		23,8	23,2	30,0
15		23,2	25,9	30,0
Amostras	Bairros (médio padrão)	LST 1985	LST 2004	LST 2010
16	Vila Madalena	26,2	28,4	35,6
17		27,2	28,6	33,8
18		28,1	28,8	31,9
19	Ipiranga	28,9	28,6	34,2
20		30,7	29,3	32,4
21		29,8	28,6	34,1
22	Vila Mariana	26,7	27,9	31,1
23		27	27,9	34,0
24		28,2	28,6	33,5
25	Perdizes	25,5	27	31,8
26		27	26,2	30,7
27		25	28,6	29,7
28	Interlagos	24,7	28	31,0
29		26,9	27,9	29,4
30		28,6	28,4	30,6
Amostras	Bairros (médio alto padrão)	LST 1985	LST 2004	LST 2010
31	Jardim América	26,6	27,6	29,8
32		25,9	27,9	30,6
33		25,8	28,5	33
34	Alto de Pinheiros	25,7	23,2	27,8
35		26,1	28,6	27
36		26,2	24,6	29,1
37	Morumbi	27,4	28,6	30,8
38		26,8	28,7	27,5
39		25,4	28,6	30
40	Higienópolis	25,8	28,6	30,1
41		24,4	27,7	30,2
42		24,3	25,9	28,7
43	Jardins	26,4	28,6	29,8
44		25,6	27,7	28,1
45		25,4	28,6	30,8

Fonte: (JESUS,2015)

Em síntese, o grupo de baixo padrão mostrou suas maiores amplitudes térmicas, sendo de 10,5°C na Brasilândia e no Jardim Ângela de 11°C, porém as mínimas que ficaram em destaque no período da análise (1985 a 2010) foram de 2,3°C em Parelheiros e 0,7°C no Jardim Ângela. No bairro da Brasilândia, todas as amostras elevaram suas temperaturas excessivamente no ano de 2010, devido a ausência da arborização e o intenso adensamento urbano; no que se refere ao Jardim Ângela, as mínimas e as máximas se deram em suas amostras, esse fato é justificado pela ausência da arborização urbana em pontos do bairro, e em outros serem localizados as margens da Represa Guarapiranga e rodeado pela vegetação do Parque Estadual de Guarapiranga e do Parque do Lago. No caso de Parelheiros, é justificado pela presença da Mata Atlântica nas proximidades.

No grupo de médio padrão as máximas se deram na Vila Madalena, com a amplitude térmica chegando a 9,4°C. Esse fenômeno pode ter sido intensificado devido à localização central do bairro, por apresentar uma área de grande adensamento residencial verticalizado e pela precariedade de arborização urbana. No entanto, as menores amplitudes térmicas de 2,2°C se deram no bairro de Interlagos, que está localizado a margem direita da Represa Guarapiranga e em torno do Parque Jacques Cousteau, caracterizando-se por apresentar bolsões residenciais de alto padrão e com vasta arborização bem distribuída pela malha urbana.

O grupo de médio alto padrão apresentou suas maiores amplitudes térmicas nos bairros Jardim América e Higienópolis, sendo de 7,2°C e 5,8°C. No caso do bairro Jardim América, se caracteriza por apresentar uma vasta arborização urbana, mas se localiza próximo a avenidas com grande fluxo diário como, por exemplo, a avenida Brasil, o que pode interferir na temperatura local. Já o bairro de Higienópolis é localizado em uma região central do município de São Paulo, sendo altamente verticalizado e com escassez de arborização urbana se comparado a porcentagem de área construída. As menores amplitudes térmicas foram de 0,9°C e 1,9°C nos bairros de Alto de Pinheiros e Morumbi, os mesmos dispõem de vasta arborização urbana em sua malha e são bairros residenciais com alto índice de vegetação, ou seja, mais de 50% do terreno corresponde a espaços livres.

6.3.2 – Análise do Índice de NDVI do Landsat 5 (TM) para os anos de 1985, 2004 e 2010

Com o aporte da tecnologia dos sensores remotos e das imagens de satélite foi possível analisar a distribuição espacial da cobertura vegetal no município de São Paulo e suas modificações ao longo do período de análise e gerar índices como resultados. Os índices de vegetação resultam de combinações lineares de dados espectrais, realçando o sinal da vegetação, que minimizam as variações na irradiância solar e os efeitos do substrato do dossel vegetal (JACKSON; HUETE, 1991). Como forma de análise, o índice de NDVI nos possibilita o monitoramento e a estimativa de variados fenômenos climáticos e ambientais.

Os valores médios da análise dos dados do Índice de NDVI (Quadro 4) para o ano de 1985, no grupo de baixo padrão apresentou o índice mínimo de -0,01 no bairro da Brasilândia (amostra 4) e o máximo de 0,36 no bairro de Tiradentes (amostra 15); para o grupo de médio padrão o índice mínimo foi de -0,11 no bairro no Ipiranga (amostra 21) e o máximo de 0,21 na amostra 28 no bairro de Interlagos; no que se refere ao grupo de bairros de médio alto padrão as mínimas foram de -0,04 na amostra 42, localizada no bairro de Higienópolis e as máximas no bairro do Morumbi de 0,25 na amostra 37.

Em 2004, o índice mínimo para o grupo de baixo padrão foi de -0,04 no bairro de Paraisópolis (amostra 1) e o máximo de 0,41 na amostra 15, que se localiza no bairro de Tiradentes; para o médio padrão o mínimo foi de -0,09 no bairro do Ipiranga (amostra 21) e o máximo 0,13 em Interlagos (amostra 28), e por fim no grupo de médio e alto padrão os índices variaram no mínimo de -0,11 (amostra 41), localizada em Higienópolis e o máximo de 0,36, na amostra 36 em Alto de Pinheiros.

No ano de 2010, para o grupo de baixo padrão o índice mínimo foi de -0,08 na amostra 4 no bairro da Brasilândia e de 0,53 (amostra 10), localizada no Jardim Ângela no índice máximo; no grupo de médio padrão o mínimo ficou em -0,08 na amostra 21 localizada no bairro Ipiranga e 0,16 de índice máximo (amostra 28) presente no bairro de Interlagos; e para o médio alto padrão o mínimo foi de -0,11 na amostra 32 no Jardim América e o índice máximo de 0,32 em Alto de Pinheiros (amostra 34).

Quadro 4 – amostras do Landsat 5 (TM) de NDVI de 1985, 2004 e 2010.

Fonte: (JESUS, 2015)

As amostras dos três grupos do índice de NDVI estão esboçadas no (Gráfico 5) abaixo. Em uma análise geral, o grupo de baixo padrão foi o que apresentou a menor porcentagem de índice abaixo de 0; portanto o grupo de médio padrão foi o que liderou com os índices abaixo de 0, demonstrando uma certa escassez de vegetação em mais da metade das amostras; e o grupo de médio alto padrão teve algumas incidências negativas, mas o índice mínimo e máximo variou menos.

Gráfico 5 – Dados do índice de NDVI para os anos de 1985, 2004 e 2010.

Fonte: (JESUS, 2015)

Para exemplificar o grupo de baixo padrão, nas amostras 4, 5 e 6 localizadas no bairro de Brasilândia apresentaram índices baixos de NDVI, sendo que em 1985 foram de -0,01 e os dois seguintes de 0,05; em 2004 os dois primeiros índices foi de 0 e o terceiro de 0,03, mas em 2010 os três tenderam a valores negativos sendo de -0,08, -0,07 e -0,08. As amostras 7, 8, 9 localizadas no bairro de Parelheiros e a amostra 10 que fica no Jardim Ângela, tiveram em comum a diminuição do índice entre os anos de 1985 e 2004, exceto a amostra 9. De acordo com estudos realizados pelo Sempla (1993), entre os anos de 1991 a 2000, os bairros citados acima sofreram uma grande perda de cobertura vegetal devido ao aumento da população, chegando a 115,74 (ha) em Brasilândia, 328, 59 (ha) em Parelheiros e 410,76 (ha) no Jardim Ângela.

O grupo de médio padrão como já citado anteriormente, se destacou em valores negativos na maior parte das amostras ao longo dos anos. As amostras 19, 20 e 21 localizadas no bairro Ipiranga são exemplos, pois apresentaram valores em 1985 de -0,08, de -0,1 e de -0,11, em 2004 de -0,08 e de -0,09 nos dois últimos, e em 2010 de -0,04 e -0,08 nas duas últimas amostras. As amostras 27 e 28, localizadas nos bairros de Perdizes e Interlagos foram os que apresentaram os

maiores índices de NDVI do grupo, mas ao longo do período analisado ainda sofreram reduções. Em 1985 os índices foram de 0,17 e de 0,21, no ano de 2004 de 0,11 e de 0,13 e em 2010 de 0,09 e 0,16. A maioria dos bairros integrantes desse grupo se localiza em áreas com urbanização consolidada, portanto a cobertura vegetal se mostra ausente ao longo da série de análise.

No que se refere ao grupo de médio alto padrão, as amostras 34, 35 e 38 localizadas nos bairros de Alto de Pinheiros e do Morumbi foram os que apresentaram a menor variação do índice durante o período de análise. As amostras apresentaram índices de NDVI para 1985 os valores de 0,22, de 0,17 e de 0,23; no ano de 2004 de 0,29, de 0,28 e de 0,24 e em 2010 de 0,32, de 0,29 e de 0,31. Em contrapartida, as amostras 32, 33, 40, 41, 42, 44 e 45 localizadas nos bairros Jardim América, Higienópolis e Jardins foram os que se destacaram por apresentarem os índices mais baixos do grupo, sendo muitas delas valores negativos. Todos os valores médios podem ser observados na (tabela 10).

Em geral, o grupo de baixo padrão foi o que apresentou os índices mais altos de vegetação, porém a mesma não se caracteriza como arborização urbana, mas fazem parte de reservas ambientais. O grupo de médio padrão se caracterizou na escassez de arborização urbana, apontando que os bairros tradicionais de São Paulo estão em situações críticas. Por último, o grupo de médio alto padrão foi o que apresentou a menor variação do índice de NDVI ao longo do período analisado, indicando que existe uma arborização urbana preservada.

Tabela 10 – Dados de NDVI dos anos de 1985, 2004 e 2010.

Amostras	Bairro (baixo padrão)	NDVI 1985	NDVI 2004	NDVI 2010
1	Paraisópolis	0,07	-0,04	0,19
2		0,17	0,17	0,21
3		0,18	0,10	0,41
4	Brasilândia	-0,01	0	-0,08
5		0,05	0	-0,07
6		0,05	0,03	-0,08
7	Parelheiros	0,22	0,13	0,44
8		0,27	0,09	0,40
9		0,17	0,31	0,47
10	Jardim Ângela	0,32	0,08	0,53
11		0,03	0,25	0,08
12		0,04	0,01	0,14
13	Tiradentes	0,12	0,36	0,40
14		0,2	0,19	0,26
15		0,36	0,41	0,15
Amostras	Bairro (médio padrão)	NDVI 1985	NDVI 2004	NDVI 2010
16	Vila Madalena	0,11	-0,07	0,08
17		-0,04	0,09	-0,10
18		-0,07	0,02	0,11
19	Ipiranga	-0,08	-0,08	-0,04
20		-0,1	-0,09	-0,08
21		-0,11	-0,09	-0,08
22	Vila Mariana	-0,06	-0,06	0,04
23		0,04	-0,09	-0,06
24		0,02	-0,07	-0,07
25	Perdizes	0,11	-0,05	0,02
26		-0,05	0,09	0,09
27		0,17	0,11	0,09
28	Interlagos	0,21	0,13	0,16
29		0,01	0,1	0,11
30		0,03	0,07	0,10
Amostras	Bairro (médio alto padrão)	NDVI 1985	NDVI 2004	NDVI 2010
31	Jardim América	0,14	0,06	0,08
32		0,17	-0,08	-0,11
33		0,09	-0,07	-0,07
34	Alto de Pinheiros	0,22	0,29	0,32
35		0,17	0,28	0,29
36		0,19	0,36	0,23
37	Morumbi	0,25	0,11	0,14
38		0,23	0,24	0,31
39		0,23	0,09	0,12
40	Higienópolis	0,02	-0,07	-0,07
41		0	-0,11	-0,01
42		-0,04	-0,09	0,02
43	Jardins	0,12	-0,07	0,18
44		0,14	-0,11	-0,01
45		0,15	-0,01	0,01

Fonte: (JESUS, 2015)

Os dados de LST e do índice de NDVI extraídos das imagens de satélite foram detectados por sensores sensíveis a radiação, que por sua vez monitorou as características térmicas das amostras ao longo da série. Conforme JENSEN, 2009 os elementos da paisagem possuem características termais previsíveis com base em suas características e capacidade de absorver a energia solar. Portanto, foi possível utilizar esses dados para determinar o tipo do material do alvo, assim como identificar as mudanças significativas que ocorreram nas características termais dos objetos. Sendo assim, quando comparamos os dados de LST e o índice de NDVI os resultados indicam uma forte correlação entre as variáveis, ou seja, a temperatura local sofre variação de acordo com os tipos de uso da terra e a disposição da arborização urbana (Gráfico 6).

Gráfico 6 – Dados do Índice de NDVI e de LST.

Fonte: (JESUS, 2015)

O comportamento dos dados de LST e o índice de NDVI dos diferentes grupos mostraram interagir entre si, pois quanto menor o índice de NDVI na amostra, maior foi amplitude térmica ao longo da série, já as amostras que apresentaram um índice maior de NDVI mostraram uma amplitude térmica com menor variação. Segundo Silva-Filho (2002) “A arborização urbana atua sobre o conforto humano no ambiente por meio das características naturais das árvores, proporcionando sombra para pedestres e veículos, redução da poluição sonora, melhoria da qualidade do ar, redução da amplitude térmica...”.

Podemos observar os exemplos ao longo da série no grupo de baixo padrão nas amostras 4, 5 e 6 no bairro da Brasilândia, que mostrou um índice de NDVI baixíssimo, portanto refletiu diretamente na LST, que se apresentou com a maior amplitude térmica do conjunto de dados. Por outro lado, as amostras 7 e 10

localizadas nos bairros de Parelheiros e no Jardim Ângela tiveram índices de NDVI maiores e conseqüentemente as menores amplitudes térmicas, como mostra a tabela 11.

Tabela 11 – Dados de índice de NDVI e amplitude térmica do grupo de baixo padrão

Amostras	Bairros	NDVI_85	NDVI_04	NDVI_10	Amplitude Térmica
4	Brasilândia	-0,01	0	-0,08	9,8°C
5		0,05	0	-0,07	8,6 °C
6		0,05	0,03	-0,08	10,5 °C
7	Parelheiros	0,22	0,13	0,44	2,3 °C
10	Jardim Ângela	0,32	0,08	0,53	0,7 °C

Fonte: (JESUS, 2015)

Para exemplificar a atuação entre a LST e o índice de NDVI do ano de 2010 do grupo amostral de baixo padrão foi utilizado a amostra 6 no bairro da Brasilândia (Figura 18).

Figura 18 - amostra da Brasilândia de LST e NDVI de 2010

Fonte: (JESUS, 2015)

No grupo de médio padrão o índice de NDVI se mostrou negativo em grande parte ao longo da série, indicando que a vegetação é escassa. As amostras 16, 19 e 21 presentes nos bairros da Vila Madalena e Ipiranga, aparecem com as maiores amplitudes térmicas (Tabela12), portanto com os valores do índice de NDVI bem baixos. Outras amostras como as 27, 29 e 30 localizadas nos bairros de Perdizes e de Interlagos se mostraram com valores maiores no índice de NDVI e com uma amplitude menor da variação na LST.

Tabela 12 – Dados de índice de NDVI e amplitude térmica do grupo de médio padrão

Amostras	Bairros	NDVI_85	NDVI_04	NDVI_10	Amplitude Térmica
16	Vila Madalena	0,11	-0,07	0,08	9,4°C
19	Ipiranga	-0,08	-0,08	-0,04	5,6°C
21		-0,11	-0,09	-0,08	5,5°C
27	Perdizes	0,17	0,11	0,09	4,7°C
29	Interlagos	0,01	0,1	0,11	2,5°C
30		0,03	0,07	0,10	2,2°C

Fonte: (JESUS, 2015)

Comparando a amplitude térmica desse grupo de médio padrão com o anterior de baixo padrão, notamos que as amplitudes térmicas no geral são menores, isso possivelmente se dá devido à mediação da arborização urbana em algumas áreas, as variações da condutividade térmica e da capacidade dos materiais encontrado nos diferentes padrões de uso da terra.

O grupo de médio alto padrão foi o que mais apresentou arborização urbana nas amostras coletadas, no entanto as amplitudes térmicas obtiveram a menor variação, como comprovam as amostras 35 e 38 localizadas nos bairros Alto de Pinheiros e Morumbi. As amostras que apresentaram o menor índice de NDVI foram nos bairros do Jardim América (amostras 32 e 33), de Higienópolis (amostras 40 e 41) e do Jardins (amostra 45). As mesmas se destacaram com as maiores amplitudes térmicas do grupo. Esses valores podem ser observados na Tabela13.

Tabela 13- Dados de índice de NDVI e amplitude térmica do grupo de médio alto padrão.

Amostras	Bairros	NDVI_85	NDVI_04	NDVI_10	Amplitude Térmica
32	Jardim	0,17	-0,08	-0,11	4,7
33	América	0,09	-0,07	-0,07	7,2
35	Alto de Pinheiros	0,17	0,28	0,29	0,9
38	Morumbi	0,23	0,24	0,31	1,9
40	Higienópolis	0,02	-0,07	-0,07	4,3
41		0	-0,11	-0,01	5,8
45	Jardins	0,15	-0,01	0,01	5,4

Fonte: (JESUS, 2015)

Para exemplificar a atuação entre a LST e o índice de NDVI do ano de 2010 do grupo amostral de médio alto padrão foi utilizado a amostra 35 no bairro de Alto de Pinheiros (Figura 19).

Figura 19 – amostra de Alto de Pinheiros de LST e NDVI de 2010

Fonte: (JESUS, 2015)

Notou-se que independente do grupo amostral, se a amostra não apresentar um índice de NDVI significativo, a LST vai sofrer aumento ao longo da série, de acordo com OKE (1973) estimou que um índice de cobertura vegetal na faixa de 30% seria o recomendável para proporcionar um adequado balanço térmico em áreas urbanas, sendo que áreas com índices de vegetação inferior a 5% modificam significativamente a umidade relativa do ar e o balanço térmico. Outro fator importante é que para essa arborização atingir todo seu potencial e assim exercer suas múltiplas funções na malha urbana, é necessário que ela esteja distribuída de forma homogênea nos bairros.

Para a validação de todos os dados de LST e dos índices de NDVI extraídos foram feito testes de correlação entre as variáveis ao longo da série, conforme mostra a tabela abaixo:

Tabela 14 – Testes de correlação dos dados da LST e NDVI do Landsat 5

Dados	LST85	LST04	LST10	NDVI85	NDVI04	NDVI10
LST85	1,00	0,50	0,57	-0,58	-0,46	-0,57
LST04	0,50	1,00	0,50	-0,40	-0,43	-0,67
LST10	0,57	0,50	1,00	-0,59	-0,51	-0,82
NDVI85	-0,58	-0,40	-0,60	1,00	0,57	0,65
NDVI04	-0,46	-0,43	-0,51	0,57	1,00	0,66
NDVI10	-0,57	-0,67	-0,82	0,65	0,65	1,00

* Pearson's product-moment correlation (95% de intervalo de confiança)

Fonte: (JESUS, 2015)

Todos os dados apresentaram correlações significativas, ou seja, $\neq$ de 0, com o intervalo de confiança de 95%. Podemos observar os dados esboçados no Gráfico 7:

Gráfico 7 – Esboço dos dados de correlação da Tabela 13

Fonte: (JESUS, 2015)

Os dados que estão classificados em correlações positivas são representados pelos círculos azuis e em correlações negativas são representados pelos círculos vermelhos. Os tons das cores e as espessuras dos círculos vão variar de acordo com a maior ou menor correlação entre os dados.

Nesse contexto, os dados de LST e o índice NDVI do ano de 1985 demonstraram uma correlação negativa de -0,58, para o ano de 2004 de -0,43 e para o ano de 2010 de -0,82. Em 2004, foi o ano em que os dados apresentaram uma menor correlação, isso se dá devido ao mesmo ter tido uma queda na temperatura. A correlação negativa se dá devido a relação: quanto maior a LST, menor será o índice de NDVI.

As variações máximas e mínimas dos dados correlacionados e as estimativas de correlação estão representadas na tabela 15.

Tabela 15 – Máximas e Mínimas dos testes de correlação dos dados da LST e o índice NDVI do Landsat 5

Dados	Variação Máx/Mín		Estimativa de Correlação
LST85 x LST04	0,25	0,69	0,50
LST85 x LST10	0,33	0,74	0,57
LST85 x NDVI85	-0,74	-0,35	-0,58
LST85 x NDVI04	-0,67	-0,2	-0,46
LST85 x NDVI10	-0,74	-0,34	-0,57
LST04 x LST10	0,24	0,69	0,50
LST04 x NDVI85	-0,62	-0,12	-0,40
LST04 x NDVI04	-0,64	-0,15	-0,43
LST04 x NDVI10	-0,80	-0,46	-0,67
LST10 x NDVI85	-0,75	-0,36	-0,59
LST10 x NDVI04	-0,70	-0,26	-0,51
LST10 x NDVI10	-0,90	-0,69	-0,82
NDVI85 x NDVI04	0,33	0,74	0,57
NDVI85 x NDVI10	0,44	0,79	0,65
NDVI04 x NDVI10	0,45	0,79	0,66
* Pearson's product-moment correlation (95% de intervalo de confiança)			

Fonte: (JESUS, 2015)

6.3.3 Análise do Índice de NDVI e Uso da Terra para o ano de 2010.

Para a validação do índice de NDVI obtido das imagens de satélite do Landsat 5 (TM) do ano de 2010 que apresentam uma resolução de 30 metros, foram extraídos os índices de NDVI das ortofotos de 2010 com resolução de 2 metros (quadro 5).

Quadro 5 – Dados do índice de NDVI das ortofotos de 2010

Fonte: (JESUS, 2015)

Como resultado da comparação dos índices de NDVI do ano 2010, os dados das imagens de satélite (NDVI_land) e os das ortofotos (NDVI_orto) mostraram uma grande similaridade no comportamento ao longo da série analisada, demonstrando pouca variação conforme o Gráfico 8.

Gráfico 8 – Comparação dos índices de NDVI das imagens Landsat 5 (TM) e das ortofotos do ano de 2010

Fonte: (JESUS, 2015)

O teste de correlação, os índices de NDVI das imagens do landsat e das ortofotos do ano de 2010 mostraram um alto grau de correlação positiva entre si, sendo de 0,84. Outros testes foram realizados com a LST de 2010 e os resultados foram de altas correlações negativas, ou seja, com o NDVI_land x LST2010 a

correlação foi de -0,82 e com NDVI_orto x TS10 a correlação foi de -0,80, como mostra a tabela 16.

Tabela 16- Testes de correlação dos índices de NDVI_land e NDVI_orto de 2010 e LST10.

Dados	NDVI10_land	NDVI10_orto	LST10
NDVI10_land	1,00	0,84	-0,82
NDVI10_orto	0,84	1,00	-0,80
LST10	-0,82	-0,80	1,00
* Pearson's product-moment correlation (95% de intervalo de confiança)			

Fonte: (JESUS, 2015)

Todos esses dados apresentaram correlações significativas, ou seja, $\neq$ de 0, com o intervalo de confiança de 95%, os quais estão esboçados no Gráfico 9.

Gráfico 9 -- Esboço dos dados de correlação da Tabela 15

Fonte: (JESUS, 2015)

As variações máximas e mínimas dos dados correlacionados e as estimativas de correlação estão na tabela 17.

Tabela 17 – Máximas e Mínimas dos testes de correlação dos índices de NDVI_land e NDVI_orto de 2010 e LST10

Dados	Variação Máx/Mín		Estimativa de Correlação
NDVI10_land x NDVI10_orto	0,73	0,91	0,84
NDVI10_orto x LST10	-0,89	-0,67	-0,80
NDVI10_land x LST10	-0,90	-0,69	-0,82
* Pearson's product-moment correlation (95% de intervalo de confiança)			

Fonte: (JESUS, 2015)

Pode-se observar que as máximas e as mínimas tiveram pouca variação, mostrando altos valores enfatizando a forte correlação entre as variáveis.

Como outra forma de análise, foi utilizado o índice de NDVI da ortofoto para o cálculo das porcentagens da área de três classes de uso da terra: área construída, gramínea e arborização (quadro 6).

Quadro 6 – Porcentagem dos dados de NDVI das ortofotos de 2010

Fonte: (JESUS, 2015)

Com a observação do quadro é nítido que no grupo de baixo padrão a arborização urbana é escassa, concentrando-se somente em áreas isoladas. No que se refere ao grupo de médio padrão, a arborização urbana aparece um pouco mais, mas mostra algumas amostras destacam-se com pouca arborização se comparada a

quantidade de área construída. No último grupo de médio alto padrão, a arborização urbana é mais abundante se comparado à área construída. Todos os dados utilizados nessa análise estão expostos na tabela 18.

Tabela 18- Dados de NDVI das ortofotos e porcentagens de uso da terra do ano de 2010

Amostras	Bairro baixo padrão	NDVI	Área construída (%)	Gramínea (%)	Copa de árvore (%)
1	Paraisópolis	0,17	79,8	1,4	18,8
2		0,18	88,6	0,6	10,8
3		0,45	87,7	6,3	6
4	Brasilândia	-0,09	92,9	1,2	5,9
5		-0,05	79,9	5,9	14,2
6		-0,10	92,9	0,2	6,9
7	Parelheiros	0,48	75,7	4,4	19,9
8		0,40	68,3	1,6	30,1
9		0,50	91	3	6,0
10	Jardim Ângela	0,57	71,7	3,7	24,6
11		0,08	96,2	0,6	3,2
12		0,14	77,5	4,5	18
13	Tiradentes	0,40	57,5	1	41,5
14		0,30	95,7	1,8	2,5
15		0,15	59	24,7	16,3
Amostras	Bairro médio padrão	NDVI	Área construída (%)	Gramínea (%)	Copa de árvore (%)
16	Vila Madalena	0,21	49,7	6	44,3
17		0,03	86,8	3,1	10,1
18		0,00	85,8	4	10,2
19	Ipiranga	0,06	89,4	1	9,6
20		0,02	87,4	3	9,6
21		0,04	89,4	0,6	10
22	Vila Mariana	0,06	88	1,8	10,2
23		0,10	67,2	10,8	22
24		0,13	70,3	4,3	25,4
25	Perdizes	0,20	53,2	5	41,8
26		0,04	84,9	3,7	11,4
27		0,19	59,9	0,7	39,4
28	Interlagos	0,24	37,4	7,3	55,3
29		0,10	75,8	5,32	18,8
30		0,19	65,9	0,5	33,6
Amostras	Bairro médio alto padrão	NDVI	Área construída (%)	Gramínea (%)	Copa de árvore (%)
31	Jardim América	0,16	57,4	2,9	39,7
32		0,20	51,6	1,7	46,7
33		0,18	55	0,8	44,2
34	Alto de Pinheiros	0,22	48,5	2,4	49,1
35		0,21	53,4	4,1	42,5
36		0,20	44,8	4,3	50,9
37	Morumbi	0,27	40,8	6,4	52,8
38		0,25	33,4	7,2	59,4
39		0,23	41,8	0,6	57,6
40	Higienópolis	0,13	73,4	0,9	25,7
41		0,09	76	2,3	21,7
42		0,07	79,6	3	17,4
43	Jardins	0,24	43,9	7,5	48,6
44		0,18	58,4	2,9	38,7
45		0,19	58	0,7	41,3

Fonte: (Jesus, 2015)

Ao analisar os dados de uso da terra relacionando com a LST de 2010 (gráfico 10), pode-se observar que os maiores picos de temperatura ocorrem nos bairros que apresentam as maiores porcentagens de áreas construídas e consequentemente, as menores porcentagens de arborização urbana.

Gráfico 10 – Porcentagens de uso da terra das ortofotos e LST do ano de 2010

Fonte: (JESUS, 2015)

Este padrão aparece com maior frequência nos grupos de baixo e médio padrão, onde a arborização urbana é inexistente; e no grupo de médio padrão, que se caracteriza por apresentar área de intensa verticalização com escassez de arborização urbana. No que se refere ao último grupo de médio alto padrão, há um grande equilíbrio entre a porcentagem de área construída e arborização urbana, isso contribui para que a temperatura não sofra grandes oscilações.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização do sensoriamento Remoto contribuiu para a compreensão da correlação entre as variáveis de temperatura radiométrica de superfície – Land

Surface Temperature (LST), o Índice de Vegetação – Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) e os diferentes padrões de uso da terra.

No período de análise do trabalho (1985-2010) observou-se que a Land Surface Temperature (LST) aumentou com o decorrer dos anos, porém, as áreas com maior presença de arborização urbana apresentaram menores amplitudes térmicas ao longo da série analisada, mostrando a importância das áreas verdes como reguladora da temperatura.

O comportamento das amostras variou de acordo como os diferentes perfis dos grupos analisados, ou seja, o grupo de baixo padrão foi o que apresentou as maiores amplitudes térmicas, ausência de arborização urbana atrelado a um baixo padrão construtivo. No entanto, esse mesmo grupo apresentou um alto índice de NDVI. As áreas de preservação ambiental localizadas nas bordas dos bairros são responsáveis por estes índices. Entretanto, estas áreas não influenciam as altas temperaturas que ocorrem no contexto da malha urbana. É o caso do Jardim Ângela localizado às margens da represa Guarapiranga, além de ser rodeada pelo Parque Estadual de Guarapiranga e do Parque do Lago.

O grupo de médio padrão é caracterizado pela predominância de área verticalizada e, apresenta uma arborização urbana escassa em meio a uma malha urbana consolidada desde 1985 na maioria dos bairros de São Paulo. Este padrão refletiu-se na predominância de altas temperaturas por todo período de análise, consolidando-se, assim, a evidência da formação da Ilha de Calor.

O grupo de médio alto padrão foi o que mais apresentou arborização urbana e distribuída de forma homogeneia na maioria das amostras, portanto foi o grupo que teve baixas amplitudes térmicas e o índice de Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) com pouca variação. O grupo apresentou uma porcentagem menor de área construída, priorizando as áreas verdes. Este padrão caracteriza esta área como a de melhor qualidade ambiental.

Os dados extraídos das imagens de satélite e das ortofotos foram tratados e representados com o aporte da Estatística para verificar o grau de relação entre eles. Como resultado, os testes mostraram fortes correlações negativas entre as amostras de Land Surface Temperature (LST) e o índice de Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), sendo -0,58 em 1985, -0,43 em 2004 e -0,82 em 2010. Esta análise demonstra que quanto menor é a ocorrência de arborização urbana, maior será a ocorrência de altas temperaturas.

As correlações entre o NDVI das ortofotos do ano de 2010 (NDVI_orto) e do NDVI das imagens do landsat de 2010 (NDVI_land) mostraram uma correlação positiva de 0,84; caracterizando a semelhança entre os dados mesmos tendo resoluções diferentes. Neste contexto, o teste de correlação entre a LST de 2010 com o NDVI_orto foi de -0,80, mostrando similaridade com os resultados das imagens de satélite.

Os resultados encontrados neste trabalho propiciam avançar na análise do Land Surface Temperature (LST), do índice de Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) e dos padrões de uso da terra, não apenas nas amostras estudadas mas, as análises observadas em nível de bairro. Pretende-se dar continuidade a pesquisa estudando o Land Surface Temperature (LST), do índice de Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) e dos padrões de uso da terra nos seguintes bairros: Brasilândia, Vila Madalena, Alto de Pinheiros e Higienópolis.

REFERÊNCIAS

ALCOFORADO, M. J. **O clima da região de Lisboa: contrastes e ritmos térmicos**. Lisboa: Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa, 1993.

BARBIRATO, G. M.; SOUZA, L. C. L.; TORRES, S. C. (2007) – **Clima e cidade: A abordagem climática como para estudos urbanos**. UFAL, Maceio.

BARET, F; GUYOT. G. **Potentials and limits of vegetation índices for LAI and APAR assessment**. Remote Sensing of Environment, New York, v. 35, p. 161-173, 1991.

BRANDÃO, A. M. P. M. **O clima urbano na cidade do Rio de Janeiro**. In: MENDONÇA, Francisco de Assis & MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo (orgs). **Clima Urbano**. São Paulo: Contexto, 2003.

CARLSON, T.N, & ARTHUR, S.T.**The impact of lande use/land cover changes due to urbanization on surface microclimate and hydrology: A satellite perspective**. Global and Planetary Change, N°25, p.49-65, 2000.

CONTI, J.B. **Considerações sobre mudanças climáticas globais**. In: NETO, J.L.S.; ZAVATINI, J. A.(Org.). Variabilidade e mudanças climáticas: implicações ambientais e socioeconômicas. Maringá/PR: Editora da Universidade Estadual de Maringá, 2000.

CORRÊA, R. L. **O espaço urbano**. São Paulo, Ática, 1995, 3º ed.

CORRÊA, R. L. **Trajetórias Geográficas**. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2010, 4º ed.

DANNI-OLIVEIRA. Inês Moresco. **Aspectos conceituais do sistema clima urbano: uma breve revisão bibliográfica sobre ilhas de calor**. Cadernos de Geociências, nº15, p.13-26, jul/set, 1995.

FERREIRA, Yoshiya Nakagawara. **Metrópole Sustentável? Não é uma questão urbana**. São Paulo em Perspectiva, vol.14,nº 4, p 139-144, out-dez 2000.

FOLHES, M. T. **Modelagem da evapotranspiração para a gestão hídrica de perímetros irrigados com base em sensores remotos**. (Tese Doutorado). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos, 2007.

FURLAN, S. A. Paisagens Sustentáveis: São Paulo e sua cobertura Vegetal. In: CARLOS, Ana Fani Alessandri; Oliveira, Ariovaldo Umbelino de. (Orgs) **Geografias de São Paulo: A metrópole do século XXI**. São Paulo: Contexto, 2004.

FROTA, Anesia, SCHIFFER, Sueli. **Manual de conforto térmico**. 2ª ed. Sao Paulo: Nobel, 1995, 243p.

GALLO, K.P.; McNAB, A.L.; KARL, T.R.; BROWN, J.F.; HOOD, J.J.; TARPLEY, J.D. **The use of NOAA AVHRR data for assessment of the urban heat island effect**. Journal of Applied Meteorology, Boston, v.32, n.5, p.899-908, 1993.

GAO X., HUETE A. R., WENGE NI, and TOMOAKI M. **Optical–Biophysical Relationships of Vegetation Spectra without Background**. Remote Sensing Environment. 74:609–620 Elsevier Science Inc., New York, NY. 2000.

GOODEY, B. “**Environmental perception: the relationship with urban design**”. In: Progress in human geography. Londres, v. 11, 1, pp. 127-133, 1987.

GOODEY, B. & GOLD, J. “**Geografia do comportamento e da percepção**”. Belo Horizonte: Instituto de Geociências, UFMG, Publicação Especial 3, 1986.

JACKSON, R. D.; HUETE, A. R. **Interpreting vegetation índices**. Preventive Veterinary Medicine, v.11, n.3-4, p.185-200, 1991

LANDSBERGER, H.E. **Energy and the social sciences: An examination of research needs**. Resources for the Future, Washington, 1974.

LANGENBUCH, J. R. **A estruturação da Grande São Paulo- estudo de geografia urbana**. Rio de Janeiro, Instituto Brasileiro de Geografia ,Departamento de Documentação e Divulgação Geográfica e Cartográfica, 1971.

LOMBARDO, M. A – **Ilhas de Calor nas Metrôpoles: o caso de São Paulo**. São Paulo: HUCITEC, 1985

LOMBARDO, M. A. (1995) – **Qualidade ambiental e Planejamento Urbano**. Tese (Livre Docência em Geografia) – Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e ciências humanas da USP.

LU, D.; WENG, Q. **Urban Classification Using Full Spectral Information of Landsat ETM+ Imagery in Marion County, Indiana**. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Bethesda, v.71, n.11, p.1275-1284, nov. 2005.

LUCHIARI, A. **Tratamento da informação Geográfica: estudo sobre a distribuição espacial de categorias socioprofissionais**”. Tese de Livre Docência. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2013.

MAITELLI, G. T. – **Uma abordagem Tridimensional de clima urbano em área tropical continental: o exemplo de Cuiabá – MT** – São Paulo, 1994, Tese (doutorado em Geografia Física – Sub-area:Climatologia). Universidade de São Paulo, 1994.

MARCONDES, Maria José de Azevedo. **Cidade e natureza: proteção dos mananciais e exclusão social**. São Paulo: Studio Nobel, 1999.

MEIER, A.K.; **Measured cooling savings from vegetative landscaping**. Energy Efficiency and the Environment: Forging the link. Washington: American Council for an Energy Efficient Economy.1991,386 p.

MELO, Marcus A. B. C. de. **Regimes de acumulação e Sistemas Financeiros da Habitação: Brasil em perspectiva comparada**. In: Reestruturação urbana, São Paulo, Nobel/Iuperj, 1990^a.

MEYER, R. M. P; GROSTEIN, M. D; BIDERMAN, C. **São Paulo: Metrópole**. São Paulo: Edusp, 2004.

MILLER, R. W. **Urban forest: planning and managing urban greenspaces**. 2^a ed. New Jersey: Prentice Hall, 1997.

MONTEIRO, C. A. F. **Análise rítmica em climatologia: problemas da atualidade climática em São Paulo para um programa de trabalho**. Climatologia, São Paulo, n.1, p.01-21, 1971.

MONTEIRO, C. A. F; **A dinâmica climática e as chuvas no estado de São Paulo: estudo geográfico sob a forma de Atlas**. São Paulo: USP/Igeog, 1973.

MONTEIRO, C. A. F; **Teoria e clima urbano**. São Paulo: EDUSP, 1976.

MONTEIRO, C. A. F. **Por um suporte teórico e prático para estimular estudos geográficos de clima urbano no Brasil**. Geosul, Florianópolis, n.9. 1990.

MONTEIRO, C. A de F.; MENDONÇA, F.(Org.). **Clima Urbano**. São Paulo: Editora Contexto, 2003.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. 2^a ed. Viçosa, UFV, 2003. 307 p.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3.ed. Viçosa: UFV, 2005. 320 p.

MORSE, R. **Formação histórica de São Paulo**. São Paulo: Difel, 1970.

NICHOL, J. E. A. GIS-based approach to microclimate monitoring in Singapore's highrise housing estates. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Bethesda, v. 60, n.10, p.1225-1232, 1994.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Editora Edgar Blücher, 1989.

NUCCI, J. C. **Qualidade ambiental e adensamento urbano: um estudo de ecologia e planejamento da paisagem aplicada ao distrito de Santa Cecília (MSP)**. São Paulo: Humanitas/FFLCH-USP, 2001.

OKE, T. R. Technical Note n.134: Review of urban Climatology. World Meteorological Organization, Geneva, WMO, n.134, p. 1968-1973. 1974.

OKE, T. R. Technical Note n.169: Review of urban Climatology. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, n.134, p.43. 1979.

OKE, T. R. Canyon Geometry and the Nocturnal Heat Island: comparisons of scale model and field observations. **Journal of Climatology**, v.1, n.3, p. 237-254, jul./set. 1981.

OKE, T. R. **Boundary layer climates**. Routledge, London. 1987.

OLIVEIRA FILHO, J. J. P. **Estudo de viabilidade técnica da utilização de coberturas monolíticas em aterros sanitários no Estado de São Paulo**: 2004. 250 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil, Engenharia Civil) Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

OLIVEIRA, G. S.; **O El Niño e Você – o fenômeno climático**. Transtec Editorial - São José dos Campos (SP), 2001.

PEREZ, J. C.; SÁNCHEZ, M.DE LOS.A.V.; BARRADAS, V.L. **Clima, urbanización y uso del suelo en ciudades tropicales de Mexico**. Red Nacional de Investigación Urbana, Puebla, México, Ciudades 51, jul/set. 2001.

R Core Team (2013). R: **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.

ROMERO, M. A. B.; Caracterização do clima. **Princípios Bioclimáticos para o Desenho Urbano**. Ed. Projeto; 1997.

ROUSE J. W; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. **Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS**, Proceedings, 3rd ERTS Symposium, D. C.: NASA. Goddard Space Flight Center, vol.1, p. 309-317. 1973.

SABINS, F. F. **Remote Sensing – Principles and Interpretation**. 3rd ed. W. H. Freeman and Company. New York. 1999. 494 p.

SAMPAIO, A. H. L. **Correlações entre o uso do solo e ilhas de calor no ambiente urbano: o caso de Salvador**. 1981. 103f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1981.

SANTOS, M. **Metrópole Corporativa Fragmentada: o caso de São Paulo**. Nobel/Secretaria de Estado da Cultura, São Paulo, 1990.

SANTOS, M. **A questão do meio ambiente: desafios para a construção de uma perspectiva transdisciplinar**. São Paulo, 1994.

SARTORI, M. G. B. **Clima e percepção**. Tese de doutorado. Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas. USP, São Paulo, 2000.

SEMPA, **Secretaria Municipal do Planejamento**. Acessado em: 15/07/2015. Disponível em: < <http://www.prodiam.sp.gov.br/sempa/>>

SILVA FILHO, D. F. da. **Aplicação de videografia aérea multiespectral na avaliação de floresta urbana**. 2004. Tese (Doutorado em Agronomia – Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2004.

SILVA, E. M. da.; RIBEIRO, A.G. **As tendências das variações climáticas na cidade de Uberlândia-MG (1981-2000)**. Caminhos de Geografia, Uberlândia, v.9, n.12, p.174-190, Jun. 2004. Revista on-line. Disponível: <www.ig.ufu.br/caminhos_de_geografia.html>.

SILVA FILHO, D. F. et al. Banco de dados relacional para cadastro, avaliação e manejo da arborização em vias públicas. **Revista Árvore**, v.26, n.5, p.629-642, 2002.

SILVA, L. S. **A cidade e a floresta: o impacto da expansão urbana sobre áreas vegetadas na região Metropolitana de São Paulo (RMSP)**.2013. Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental da USP (Procam/USP), São Paulo, 2013.

SEADE, **Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados**. Consultado em 04/07/2013 <http://www.seade.gov.br/>.

SMALL, C. Estimation of urban vegetation abundance by spectral mixture analysis. **Int. J. Remote Sensing**, vol. 22, n7, p. 1305-1334, 2001.

STULL, R. B. **An Introduction to Boundary Layer Meteorology**. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. 666 p. 1993.

TARIFA, J. R; AZEVEDO, T. R. de. **Os climas na cidade de São Paulo: teoria e prática**. Sao Paulo: FFLCH-USP, 2001. (Geosp, 4)

TAVARES, A. C. **Clima local de Campinas: introdução ao estudo do clima urbano**. 1975.180F... Dissertação (Mestrado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1975.

VIANELLO, L. R.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa: Imprensa Universitária. 1991.

VILLAÇA, F. **Espaço intraurbano no Brasil**. São Paulo: Studio Nobel: FAPESP: Lincoln Institute, 2001.

VOOGT, J. A; OKE, T.R. (2003) Thermal remote sensing of urban climates. **Remote Sensing of Environment**, v.86, p.370-384, 2003.

WENG, Q. Fractal analysis of satellite-detected urban heat island effect. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Bethesda, v.69, n.5, p.555-566, May. 2003.