



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS  
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

DISSERTAÇÃO

**DINÂMICA DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE EM RESPOSTA ÀS  
ALTERAÇÕES NA COBERTURA E USO DO SOLO UTILIZANDO TÉCNICAS DE  
SENSORIAMENTO REMOTO**

LIDIANE CRISTINA FÉLIX GOMES

CAMPINA GRANDE

2011

**DINÂMICA DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE EM RESPOSTA  
ÀS ALTERAÇÕES NA COBERTURA E USO DO SOLO UTILIZANDO  
TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO**

Dissertação de Mestrado apresentado ao  
Programa de Pós-Graduação em  
Meteorologia da Universidade Federal de  
Campina Grande, na área de concentração de  
Sensoriamento Remoto em cumprimento às  
exigências para obtenção do grau de mestre.

**Aluna:** Lidiane Cristina Félix Gomes

**Orientadores:** Prof. Dr. Bernardo Barbosa da Silva

Prof. Dr. Carlos Antonio Costa dos Santos

Campina Grande – PB

Dezembro de 2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

G633d Gomes, Lidianne Cristina Félix.  
Dinâmica da temperatura da superfície em resposta às alterações na  
cobertura e uso do solo utilizando técnicas de sensoriamento remoto/  
Lidianne Cristina Gomes Félix. – Campina Grande, 2011.  
71f.: il. col.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de  
Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.  
Orientador: Prof. Dr. Carlos Antônio Costa dos Santos  
Referências.

1. Sensoriamento remoto. 2. Uso do Solo. 3. Clima Urbano.  
4. Ilhas de Calor. I. Título.

CDU 528.2 (043)

LIDIANE CRISTINA FÉLIX GOMES

DINÂMICA DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE EM RESPOSTA AS  
ALTERAÇÕES NA COBERTURA E USO DO SOLO UTILIZANDO TÉCNICAS DE  
SENSORIAMENTO REMOTO

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 22/12/2011

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. CARLOS ANTONIO COSTA DOS SANTOS  
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande



Prof. Dr. BERNARDO BARBOSA DA SILVA  
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande



Prof. Dr. ENIO PEREIRA DE SOUZA  
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande



Dra. CLÊNIA RODRIGUES ALCÂNTARA  
Programa Nacional de Pós-Doutorado  
Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	7
1.1	OBJETIVOS .....	9
1.1.1	Objetivo Geral .....	9
1.1.2	Objetivos Específicos .....	10
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	11
2.1	Clima .....	11
2.2	Clima Urbano .....	13
2.3	Formação de Ilhas de Calor.....	15
2.4	Sensoriamento Remoto Aplicado aos Estudos do Clima Urbano .....	17
2.5	Processamento Digital de imagens de satélite.....	20
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3.1	Área de estudo.....	25
3.2	Método .....	26
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	40
5	CONCLUSÕES.....	66
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	67

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Fotografia panorâmica da cidade Brasília- DF (Fonte: coletivomundo.com.br/tag/tour/)	14
<b>Figura 2</b> - Comportamento espectral da vegetação sadia, do solo desnudado e da água limpa. Fonte: Lillesand <i>et al.</i> (1995)	18
<b>Figura 3</b> - Mapa de temperatura da superfície da região do Centro-Oeste de Portugal. Fonte: Machado et al. (2010)	20
<b>Figura 4</b> - Exemplo de aplicação de um tipo de realce aplicado sobre uma imagem (Banda 4) do satélite Landsat 5TM.	22
<b>Figura 5</b> – Imagem segmentada (similaridade = 50, área = 10).	23
<b>Figura 6</b> – Localização geográfica da cidade de Brasília-DF	25
<b>Figura 7</b> – Imagens do satélite Landsat 5 TM para os dias 06/07/1987, 19/07/1992, 03/09/1997, 18/07/2003, 01/09/2008 e 25/08/2011.	26
<b>Figura 8</b> - Tela de visualização do georreferenciamento da imagem alvo de estudo	29
<b>Figura 9</b> – Fluxograma das etapas da obtenção da temperatura da superfície, índices de vegetação e impermeabilidade	30
<b>Figura 10</b> – Imagem de radiância espectral com composição de cores RGB 541.	31
<b>Figura 11</b> – Fluxograma do modelo para obtenção da reflectância a partir do Erdas	33
<b>Figura 12</b> – Imagem do Landsat 5 TM aplicada composição RGB 543.	36
<b>Figura 13</b> – Análise das amostras realizadas na classificação supervisionada	37
<b>Figura 14</b> – Análise das amostras realizadas na classificação supervisionada	38
<b>Figura 15</b> - Sequência de etapas na aquisição das áreas das classes determinadas	39

<b>Figura 16</b> – Mapa Temático de Uso e Ocupação do Solo para o ano de 1987 do Distrito Federal. ....	40
<b>Figura 17</b> – Mapa Temático de Uso e Ocupação do Solo para o ano de 2011 do Distrito Federal. ....	41
<b>Figura 18</b> – Distribuição espaço-temporal de albedo da superfície dos anos a) 1987, b) 1992, c) 1997, d) 2003, e) 2008 e f) 2011. ....	44
<b>Figura 19</b> – Distribuição espaço-temporal do NDVI – ( <i>Normalized Difference Vegetation Index</i> ) dos anos a) 1987, b) 1992, c) 1997, d) 2003, e) 2008 e f) 2011. ....	47
<b>Figura 20</b> – Distribuição espaço-temporal da Temperatura da Superfície dos anos a) 1987, b) 1992, c) 1997, d) 2003, e) 2008 e f) 2011. ....	50
<b>Figura 21</b> – Recorte da imagem do Google Earth do Distrito Federal com a distribuição espacial dos pontos escolhidos para a primeira etapa da análise. Fonte: Google Earth (2011). ....	51
<b>Figura 22</b> – Ponto 1 indicativo de formação de ilhas de calor urbano. ....	52
<b>Figura 23</b> – Ponto 2 indicativo de formação de ilhas de calor urbano. ....	53
<b>Figura 24</b> - Ponto 3 indicativo de formação de ilhas de calor urbano. ....	54
<b>Figura 25</b> – Ponto 4 indicativo de formação de ilhas de calor urbano. ....	55
<b>Figura 26</b> - Ponto 5 indicativo de formação de ilhas de calor urbano. ....	56
<b>Figura 27</b> – Ponto 6 indicativo de formação de ilhas de calor urbano. ....	57
<b>Figura 28</b> – Ponto 7 indicativo de formação de ilhas de calor urbano. ....	58
<b>Figura 29</b> – Recorte da espacialização da temperatura da superfície do plano piloto de Brasília – DF dos anos 1987 (a) e 2011 (b). ....	59
<b>Figura 30</b> – Recorte da espacialização da temperatura da superfície sobre operação de subtração entre os anos 1987 e 2011, ....	60

<b>Figura 31</b> – Recorte da imagem do Google Earth do plano piloto no Distrito Federal. <b>Fonte:</b> Google Earth (2011).....	61
<b>Figura 32</b> – Distribuição espaço-temporal do saldo de radiação à superfície – Rn para os anos a) 1987, b) 1992, c) 1997, d) 2003, e) 2008 e f) 2011.....	63
<b>Figura 33</b> - Distribuição espaço-temporal da Área de Superfície Impermeável - ISA para os anos a) 1987, b) 1992, c) 1997, d) 2003, e) 2008 e f) 2011.....	64

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Características e efeitos do balanço de energia sobre a superfície terrestre. Fonte: Adaptada de (Gartland, 2010). .....	16
<b>Tabela 2</b> – Características do sensor TM a bordo do Landsat 5 e suas principais aplicações. Fonte: Adaptada de (Engesat).....	28
<b>Tabela 3</b> – Classes Temáticas Derivadas dos Mapas de Uso e Ocupação do Solo entre os anos de 1987 a 2011.....	42
<b>Tabela 4</b> – Variações do albedo médio da superfície entre os anos de 1987 a 2011.....	45
<b>Tabela 5</b> – Variações do albedo da superfície dos elementos contidos nas imagens entre os anos de 1987 a 2011.....	45
<b>Tabela 6</b> – Variações do NDVI entre os anos de 1987 a 2011.....	46
<b>Tabela 7</b> – Variações da Temperatura da Superfície média entre os anos de 1987 a 2011.....	49
<b>Tabela 8</b> - Dados de população do Censo de 2000 e 2010. Fonte: IBGE (2011).....	60
<b>Tabela 9</b> – Variações do Saldo de Radiação (Rn) entre os anos de 1987 a 2011.....	62
<b>Tabela 10</b> – Variações da Área de Superfície Impermeável (ISA) entre os anos de 1987 a 2011. ....	65

## **RESUMO**

O uso e cobertura do solo sofrem alterações constantemente, ocasionadas pelas ações antrópicas ou processos naturais. A expansão urbana desordenada é considerada um agravante para alterações no clima local e possíveis formações de ilhas de calor urbano. Uma forma de verificar a sua formação é através do sensoriamento remoto, em específico, imagens termais, identificando a temperatura da superfície e outras características como solos desnudados e áreas cobertas de diferentes tipos de materiais. Considerando a importância das transformações na cobertura do solo e sua influência sobre a temperatura da superfície, foi realizada uma análise espaço-temporal de alguns componentes do balanço de energia, entre eles o saldo de radiação, temperatura da superfície e índice de vegetação, como também um índice urbano, o Área de Superfície Impermeável (ISA), com auxílio de ferramentas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), com o objetivo de avaliar suas variações dependendo do uso do solo e cobertura da terra na cidade de Brasília – DF. O universo de estudo compreendeu os anos de 1987, 1992, 1997, 2003, 2008 e 2011, onde foram utilizadas imagens do satélite Landsat 5-TM e o algoritmo SEBAL. A metodologia utilizada apresentou uma alteração da superfície devido ao crescimento urbano e expansão agrícola. Com os mapas de temperatura e do índice de vegetação associados aos mapas de uso e ocupação do solo, pôde ser percebido uma alteração na temperatura de até 14<sup>0</sup>C, o que é um indicativo para mudança do clima urbano e surgimento de possíveis ilhas de calor.

**PALAVRA-CHAVE:** Sensoriamento Remoto, Uso do Solo, Clima Urbano, Ilhas de Calor

## **ABSTRACT**

The use and ground cover changes constantly suffering, caused by human activities or natural processes. The disorderly urban is considered a worsening climate for change local and possible formation of urban heat islands. The way to verify their formation is through remote sensing, in specific thermal images, identifying the surface temperature and others characteristic as bare soil and area covered with different materials. Considering the importance of the transformations of land covered and their influence about the surface temperature, was realized a spatio-temporal analysis of some components of energy balance, including net radiation, surface temperature and vegetation index, as well as, the urban impermeable surface (ISA), with the helps of GIS tools (Geographic information system), in order to evaluating the variations depending on land use and land cover in Brasilia - DF. The universe of study comprised the years 1987, 1992, 1997, 2003, 2008 and 2011, where Landsat 5-TM satellite images and the SEBAL algorithm were used. The methodology presented a surface change due to urban growth and agricultural expansion. With vegetation index maps associated with the use and occupation, could be perceived a change in temperature up to 14° C, which is an indicator for climate change and the emergence of possible urban heat islands.

**KEY-WORDS:** Remote Sensing, Land Use, Urban Climate, Heat Island

# 1 INTRODUÇÃO

Desde meados da década de 70 ocorreu um grande processo de migração da população do campo para a cidade com o advento da revolução industrial. Por consequência deste fato histórico, se deu uma maior concentração de pessoas nas zonas urbanas, o que derivou uma aceleração no processo de urbanização das cidades. Neste contexto, a dinâmica populacional e a intensa concentração de pessoas nos centros urbanos acarretaram consequências socioeconômicas e ambientais.

O crescimento urbano não planejado ou mal articulado vem gerando alterações no clima local, devido ao desordenado uso e ocupação do solo. O ar com temperatura elevada é sentido com intensidade no centro das cidades que sofrem com esse desequilíbrio. Essas condições dificultam a evaporação, reduz em poder de dispersão dos poluentes atmosféricos, trazendo desconfortos térmicos e problemas de saúde para a população. Do ponto de vista das ciências atmosféricas, altera o balanço da radiação da superfície, provocando mudanças nos processos de absorção, transmissão e reflexão, e nas características da atmosfera local (Carneiro, 2007).

A substituição dos materiais naturais por grande quantidade de casas e prédios, ruas asfaltadas e uma série de outras construções, produzem um maior aquecimento local, resultando nas formações de ilhas de calor nos centros urbanos. De acordo com Oke (1978), o ar na camada urbana é usualmente mais quente que em áreas vizinhas vegetadas. Confirmando suas observações, Gartland (2010) afirma que as ilhas de calor são áreas onde o ar e as temperaturas da superfície são mais quentes do que as áreas suburbanas vegetadas circunvizinhas.

A ilha de calor urbano resulta da elevação das temperaturas médias nas zonas centrais da mancha urbana ou região metropolitana. Ocorrem basicamente devido às diferenças de irradiação de calor entre as regiões edificadas e as regiões que preservam características naturais. As diferenças mais visíveis são a ausência de circulação do ar e a concentração de poluentes nas zonas centrais da cidade. No período diurno, os edifícios funcionam como labirintos de reflexão nas camadas mais altas de ar aquecido além de impedir a circulação de ar. À noite, a poluição do ar impede a dispersão de calor (Lombardo, 1985).

Na construção civil, diversos tipos de materiais são utilizados, como o concreto e o asfalto, os quais possuem propriedades específicas de condutividade térmica, calor específico, densidade, taxa de difusão térmica e capacidade de calor. Esses parâmetros físicos irão influenciar de maneira direta a radiância obtida pelo sensor, seja pela reflexão da radiação eletromagnética ou pela emissão dos corpos terrestres. O estudo sobre formação de ilhas de calor nas cidades vem se intensificando, mas no Brasil a discussão se encontra ainda no meio acadêmico, em pesquisas pontuais e substanciais (Gartland, 2010).

Conhecer o clima local de uma cidade e as variáveis que interagem ou interferem em seu comportamento é de fundamental importância para o estudo de formação das ilhas de calor. Nesse sentido, a análise de fatores ambientais através de técnicas de sensoriamento remoto apresenta um grande potencial de propostas às aplicações práticas no meio ambiente ao planejamento regional e ecologia urbana.

Este trabalho contemplará a cidade de Brasília no Distrito Federal, no qual apresenta características bastantes peculiares advindas do fato de ser uma cidade

planejada inclusive no que se refere a sua localização, e que ao longo dos anos vem sendo modificada com a apropriação de novas tendências e ocupação de seu espaço territorial. Serão abordadas técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto para a avaliação do crescimento da cidade de 1987 a 2011, na medida em que serão também obtidas as temperaturas da superfície e o saldo de radiação à superfície através de imagens do Landsat 5 TM utilizando o algoritmo SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*). No decorrer das etapas para a aquisição do saldo de radiação serão obtidos dados de albedo da superfície, os índices de vegetação, temperatura da superfície, índice de impermeabilidade do solo e mapas de uso e ocupação do solo, que se apresentam de grande utilidade na avaliação da dinâmica da natureza e as transformações do meio ambiente ocasionadas pela ocupação do homem.

A alteração da superfície com a pavimentação e área construída com o crescimento urbano pode ser uma das causas para a mudança do clima urbano, pois de acordo com Koenigsberger et al (1980) a temperatura do ar pode ser acrescida de 8°C ao entorno e a umidade relativa reduzida de 5 a 10% devido a pavimentação permitindo a rápida evaporação de água e ausência de vegetação.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

Identificar a partir de técnicas de sensoriamento remoto possíveis alterações sobre a temperatura da superfície face à mudança na cobertura do solo na região metropolitana de Brasília – DF.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

Evidenciar a importância das técnicas do Sensoriamento remoto para o estudo climático local;

Identificar a influência da urbanização, ao longo do tempo, sobre o aquecimento em algumas áreas da região metropolitana de Brasília;

Aplicar algoritmos de sensoriamento remoto na obtenção de parâmetros que indiquem alterações na temperatura da superfície e no NDVI (Normalized Difference Vegetation Index);

Associar as temperaturas da superfície obtidas a partir da imagem aos respectivos elementos existentes na região;

Confeccionar mapas temáticos para facilitar o entendimento dos resultados obtidos.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 Clima**

O clima que muitas vezes é confundido com as condições de tempo pela população, é um conjunto dos fenômenos meteorológicos que caracterizam a condição média da atmosfera sobre cada lugar da Terra. Já o tempo é um estado momentâneo da atmosfera em um determinado local, com curta duração. A Organização Mundial de Meteorologia (OMM) determinou em suas prerrogativas, a análise temporal cronológica de dados para definir o clima de uma região, onde as séries de dados para quantificar as médias estatísticas devem ser de no mínimo 30 anos, para que haja consistência nos resultados obtidos e conseqüentemente, maior confiabilidade (Mendonça & Danni-Oliveira, 2007).

O estudo do clima é de fundamental importância para os seres vivos do planeta. É ele que determina em muitas vezes o modo de vida, alimentação, moradia, condições de saúde entre outros elementos. Vale ressaltar que na parte de produção de alimentos Silva, et al., (2009) afirmam em sua pesquisa que nas últimas décadas, o interesse pelos estudos das mudanças climáticas tem crescido substancialmente, sobretudo devido à associação de tais impactos na atividade humana. O conhecimento do comportamento do clima de uma região também é de interesse dos gestores locais, regionais, nacionais e mundiais. A obtenção dessas informações subsidia o manejo e gestão dos recursos naturais.

Para melhor entender o comportamento do clima em todo o globo terrestre, a climatologia evidencia os elementos e seus aspectos inerentes a geografia do lugar, onde os elementos principais que compõe o clima são basicamente, segundo Mendonça & Danni-Oliveira (2007) a temperatura, umidade e pressão atmosférica, além do vento, a precipitação e radiação solar.

Existe uma temática bastante discutida nestes últimos anos que são as alterações climáticas em micro e macro escala, sendo debatidos em eventos mundiais, como é o caso do protocolo de Quioto e da agenda 21. Uma das maiores preocupações em âmbito nacional e internacional, que vem ocasionando inúmeras pesquisas e estudos observacionais, são as mudanças climáticas e suas projeções para o futuro, como pode ser visto em pesquisas na América do Sul (Valverde & Marengo, 2010). As causas vêm sendo apresentadas, como a emissões de gases poluentes lançados na atmosfera, como por exemplo, o dióxido de carbono e o metano. Os gases formam uma camada de difícil dispersão. Os desmatamentos e as queimadas também intensificam este processo, visto que propiciam a facilidade da chegada dos raios solares ao solo e a irradiação do calor à atmosfera. Unindo estes dois fatores, temos uma intensificação de calor sendo emitido à atmosfera e uma película de gases poluentes impedindo à sua dissipação, conseqüentemente, tem um cenário ideal para a visualização do efeito estufa.

Entre os efeitos sentidos pelas populações, pode-se destacar a ocorrência de chuvas demasiadas, que ocasionam enchentes e deslizamentos, as secas intensas, a redução na umidade do ar, que acarretam doenças respiratórias, aumento nos níveis dos oceanos, causados pelo derretimento das calotas polares, crescimento de desertos, a

intensificação de incidência de furacões, tufões e o aparecimento de ondas de calor sentidas em várias partes do mundo.

## **2.2 Clima Urbano**

As modificações na paisagem natural feita pelo homem devido a sua acomodação em massa fazem com que ocorram mudanças também em seu clima local. Uma variável de grande importância para o estudo de climatologia urbana é a temperatura da superfície. A obtenção desta variável pode ser obtida através de algumas técnicas de coleta de dados à superfície ou através de técnicas de sensoriamento remoto. Vários estudos já foram realizados acerca do clima urbano de grandes cidades, entre eles pode-se citar VOOGTA & OKE, (2003) que apresenta em sua pesquisa um estudo realizado em Vancouver no Canadá a partir de técnicas de sensoriamento remoto. Estudos também foram realizados em Tampa Bay e Las Vegas, nos Estados Unidos, usando dados de satélite *Landsat*, em que Xian & Crane (2006) associaram as características térmicas do espaço urbano ao uso e ocupação do solo.

Apesar de cronologicamente, o Brasil ter começado observações e pesquisas sobre as alterações no clima urbano posteriores aos demais países, vale ressaltar estudos de grande valia como no estado de São Paulo, onde Amorim (2005) utilizou outra técnica de obtenção de temperatura do ar a partir de termômetros digitais e definindo um transecto e horários estabelecidos. Outra metodologia semelhante foi utilizada na cidade de Recife-PE, onde Nóbrega & Vital (2010) definiram também um transecto e

utilizaram termohigrômetros com pontos definidos com características distintas e dados de uma estação meteorológica.

Nas modificações do espaço urbano, a verticalização ganhou um espaço considerável e que também essas ações interferem na circulação do ar dentro das cidades. A Figura 1 mostra o ordenamento do espaço físico da cidade Brasília-DF.



**Figura 1:** Fotografia panorâmica da cidade Brasília- DF (Fonte: [coletivomundo.com.br/tag/tour/](http://coletivomundo.com.br/tag/tour/))

De fato o uso e ocupação do solo determinam um contexto histórico e caracterizam uma região e seu povo. Esses conhecimentos são importantes para quem deseja realizar estudos sobre as alterações de clima em uma região.

Todos os aspectos são de elevada importância para quem tem o interesse de acompanhar especificamente as temperaturas nas cidades, no que se resume à qualidade de vida e os impactos ambientais caso haja alterações no clima de uma região.

### **2.3 Formação de Ilhas de Calor**

A ilha de calor é um fenômeno que vem sendo observado e estudado em algumas partes do mundo. Gartland (2010) afirma em suas pesquisas que a primeira documentação acerca do calor urbano ocorreu em 1818, quando Luke Howard detectou um excesso de calor artificial na cidade de Londres em comparação ao campo. Posteriormente ocorreram estudos com a mesma finalidade em Paris, Viena e nos Estados Unidos.

Um estudo ocorrido em Hong Kong em meados de 2007 observou a estrutura física e sua população concomitantemente à magnitude de calor e sua distância a partir do limite urbano rural, com dados do sensor ASTER e dados de temperatura do ar coletados ao longo da malha urbana e rural. Ao cruzar os resultados obtidos Nichol et al (2009) verificaram alterações de temperatura em um centro comercial, na cidade de Kolloon, onde na malha urbana verticalizada prevalecia altas temperaturas e baixas temperaturas na zona sul, onde se localizava um parque.

Comumente verificado nas pesquisas em torno de clima e variações climáticas associados à urbanização, existem alguns métodos básicos utilizados nos estudos de clima urbano e os efeitos da urbanização, nos quais pode se citar, os transectos móveis, sensoriamento remoto, balanços de energia e estações fixas, no qual o sensoriamento remoto se destaca por ser um recurso capaz de possibilitar uma visão mais abrangente de uma área geográfica.

As causas para a formação das ilhas de calor são facilmente identificadas, quando é feito não só a coleta de temperatura da superfície, mas quando se associa à superfície e sua composição na cobertura da área analisada. Entre os materiais que se destacam por sua reflectividade, estão o asfalto e o concreto. A fim de identificação, sem levar em consideração as origens e suas possíveis causas, as ilhas de calor apresentam características específicas, como: temperaturas de ar e superfície elevadas, inversões térmicas, efeito mais intenso em dias claros e calmos.

A Tabela 1 descreve as principais características urbanas e suburbanas para os estudos de ilhas de calor, os efeitos do balanço de energia sobre a superfície terrestre.

**Tabela 1** – Características e efeitos do balanço de energia sobre a superfície terrestre.  
Fonte: Adaptada de (Gartland, 2010).

<b>Características que contribuem para a formação das ilhas de calor</b>	<b>Efeitos sobre o balanço de energia</b>
Falta de vegetação	Reduz a evaporação
Utilização difundida de superfícies impermeáveis	Reduz a evaporação
Maior difusividade térmica dos materiais urbanos	Aumenta o armazenamento de calor
Baixa reflectância solar dos materiais urbanos	Aumenta o saldo de radiação
Geometrias urbanas que aprisionam o calor	Aumenta o saldo de radiação
Geometrias urbanas que reduzem as velocidades dos ventos	Reduz convecção
Aumento nos níveis de poluição	Aumenta o saldo de radiação
Aumento da utilização de energia	Aumenta o calor antropogênico

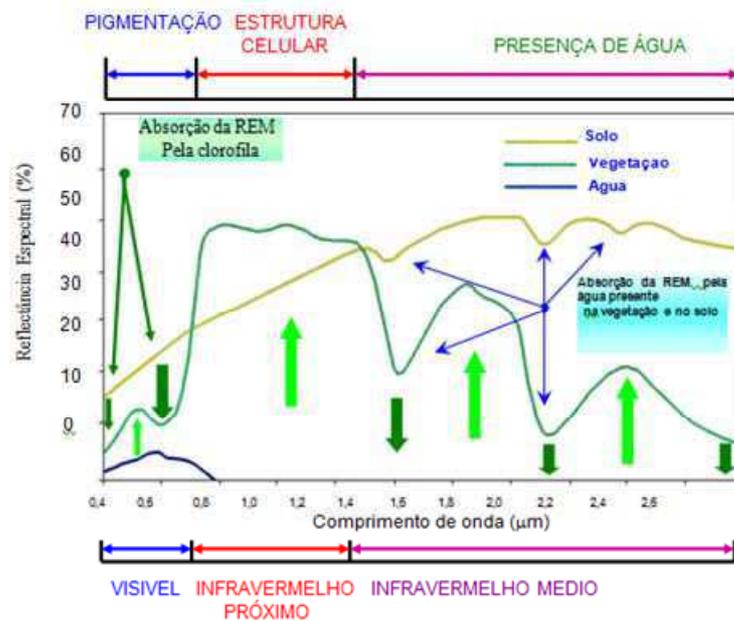
## **2.4 Sensoriamento Remoto Aplicado aos Estudos do Clima Urbano**

Os primeiros registros do sensoriamento remoto, mesmo quando não existia essa denominação ocorreu em 350 a.C. quando Aristóteles descreveu a produção de imagens a partir da passagem da luz por um pequeno orifício. No decorrer da história, em meados de 1903 foi fixada uma câmera fotográfica a um pombo, logo após essa tentativa, foram testados balões. A primeira fotografia a partir de uma plataforma aérea (um balão fixo) foi obtida em 1858 pelo francês Gaspard Félix Tournachon (Jensen, 2009).

Mas o que realmente impulsionou o avanço destas experiências foi à atividade militar, ou seja, as guerras mundiais. As fotografias aéreas propiciavam o reconhecimento, detecção de posições inimigas e estratégias para ataques. Foram realizados contratos militares com empresas privadas que desenvolveram sistemas sofisticados eletro-ópticos multiespectrais e sistemas sensores de infravermelho termal e de micro-ondas.

A obtenção de informações sobre os alvos na superfície da Terra já é bastante comum nos dias atuais. As técnicas vêm se aperfeiçoando e as empresas investindo cada vez mais para superar precisões e obter maiores detalhes do que esta sendo investigado.

De acordo com Fitz (2008), o sensoriamento remoto é a tecnologia que fornece grande parte dos dados para o estudo dos fenômenos espaciais.



**Figura 2** - Comportamento espectral da vegetação sadia, do solo desnudado e da água limpa. Fonte: Lillesand *et al.* (1995)

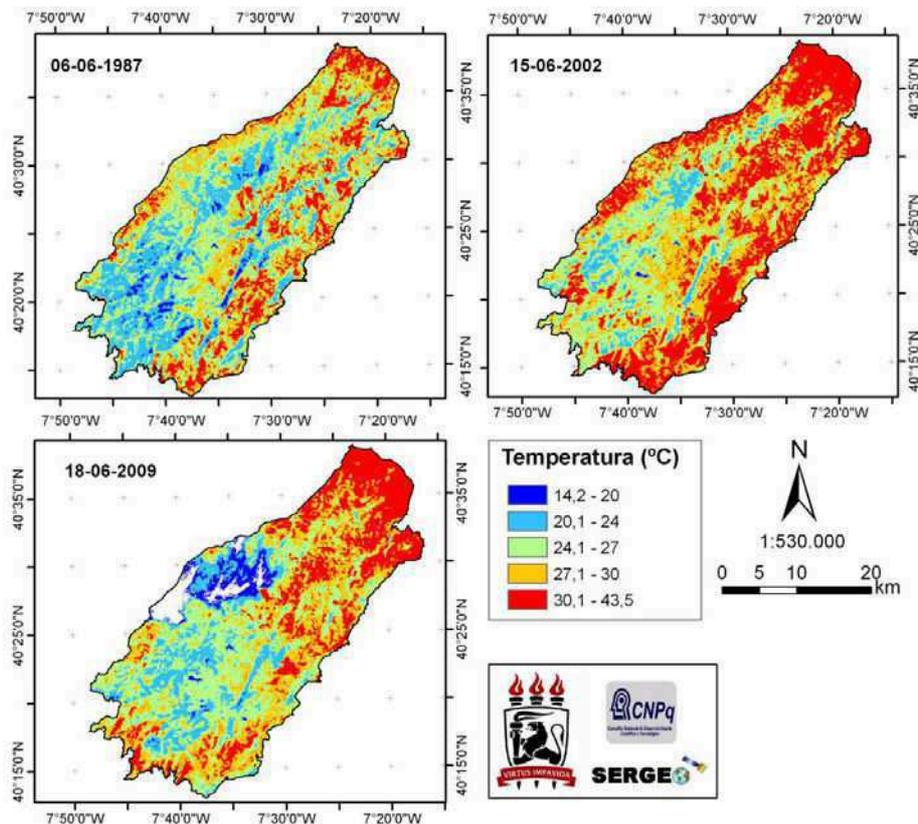
Um conceito utilizado e difundido no meio acadêmico sobre o sensoriamento remoto é o de Rosa (2007), que trata a tecnologia como uma forma de obter informações de um objeto ou alvo, sem que haja um contato físico com o mesmo, sendo as informações obtidas provindas da radiação eletromagnética. Para melhor interpretar alguns dados futuros obtidos no decorrer da pesquisa, a Figura 2 apresenta o comportamento espectral de alguns elementos fundamentais no estudo, como o solo, a água e a vegetação, em face à radiação eletromagnética que chega até a superfície da Terra.

Com a preocupação da conservação do meio ambiente e a necessidade do homem de conhecer o planeta com o intuito de melhor gerenciar ou dominá-lo, o sensoriamento remoto e as tecnologias dos SIG's – Sistemas de Informações Geográficas foram impulsionadas ao avanço tecnológico, e atualmente existem vários

satélites em órbita reproduzindo com precisões centimétricas a representação da Terra e tudo que nela há e softwares buscando a melhor maneira de visualização e manipulação destas imagens obtidas dos satélites.

No contexto da problemática do clima urbano, o sensoriamento remoto tem dado também muitas contribuições, como na obtenção da temperatura da superfície em grandes áreas, provenientes da banda termal do sensor do satélite, na espacialização de dados coletados *in situ*, no auxílio da confecção de mapas de declividade e mapas de uso e ocupação do solo. Esta tecnologia se destaca por suas características de resolução temporal, espacial e espectral, como também área de cobertura, ou seja, imageamento. Cada satélite com suas especificidades atende a uma área de pesquisa, como satélites meteorológicos e ambientais.

Na Figura 3 pode-se observar um mapa temático apresentando a espacialização da temperatura da superfície em um dado momento, gerado a partir de imagens do satélite Landsat 5 – TM, onde as áreas com temperaturas mais baixas representam os corpos hídricos e as áreas mais quentes vislumbram um cenário onde houve alterações na cobertura natural do solo. Machado et al. (2010), relacionaram a substituição da vegetação na área que outrora era ocupada por florestas resinosa para florestas abertas, áreas de corte e novas plantações, que pode ser visto na análise de índices de vegetação ao longo dos anos e correlacionaram os resultados com mapas de temperatura e o de uso e ocupação do solo.



**Figura 3** - Mapa de temperatura da superfície da região do Centro-Oeste de Portugal.  
 Fonte: Machado et al. (2010).

Pesquisas indicam um aumento na temperatura associado ao crescimento desordenado nas cidades. Um mapa com características de uso e ocupação do solo pode vir a auxiliar na detecção de áreas super aquecidas, indicando o que possivelmente estará causando alterações nas condições de tempo e desconfortos térmicos locais.

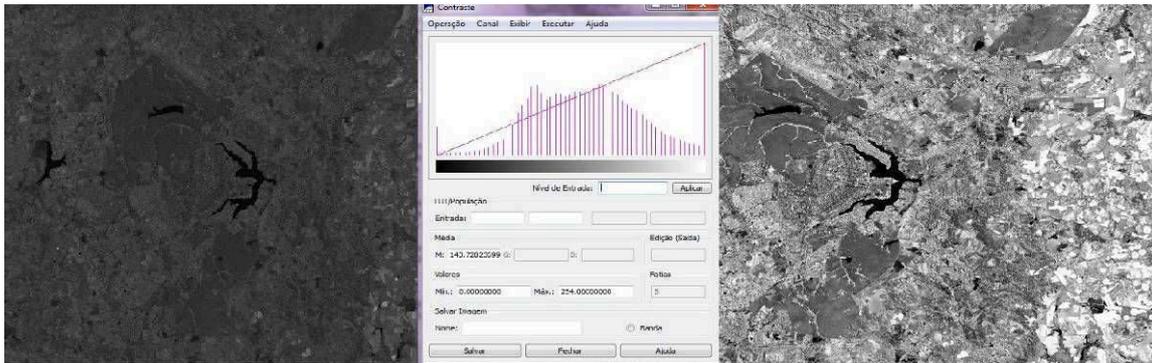
## 2.5 Processamento Digital de imagens de satélite

Processamento digital de Imagem (PDI) refere-se à manipulação de imagem através de computador onde a entrada e saída do processo sejam imagens. Esse processo se deve ao melhoramento do aspecto visual de determinada estrutura a fim de fornecer

outros subsídios para sua interpretação, com geração de produtos que possibilitem outros processamentos posteriormente (SPRING, 1996).

Segundo SILVA (2001), a principal função do processamento digital de imagens de sensoriamento remoto é utilizar como ferramenta de modo a facilitar a identificação dos alvos e obtenção de informações contidas nas imagens para sua interpretação. Com isso, programas computacionais são utilizados para atividades de análise e manipulação das imagens brutas, resultando em imagens aprimoradas contendo informações específicas e realçadas a partir das imagens brutas.

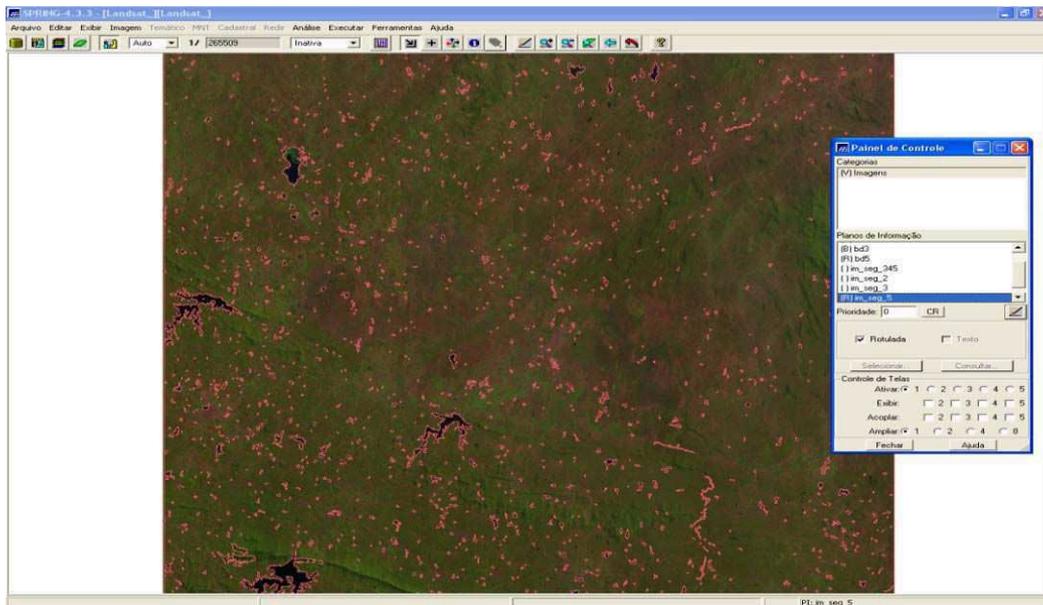
As informações são caracterizadas a partir das propriedades dos objetos ou padrões que compõe as imagens. De fato, extrair informações de imagens requer conhecimentos específicos, e essa atividade necessita de grande capacidade de cognição por parte do intérprete. E, portanto, com esses processos complexos, há a falta de algoritmos computacionais precisos o bastante para realizar sua interpretação de forma automática. As manipulações possíveis de imagens são teoricamente infinitas. No entanto, de acordo com QUEIROZ (2003), pode-se categorizar em um ou mais procedimentos que incluem quatro tipos abrangentes de operações computacionais, como a Retificação e Restauração de Imagens, que são basicamente operações realizadas para minimizar as distorções e degradações dos dados de uma imagem, com a finalidade de criar uma representação mais fiel da cena. O Realce de Imagem, que consiste em procedimentos aplicados aos dados de uma imagem com o objetivo de melhorar efetivamente a visualização da cena, para subsequente interpretação visual. A Figura 4 mostra um exemplo de uma imagem sem realce e aplicado o realce, que neste caso aplicou-se apenas o contraste.



**Figura 4** - Exemplo de aplicação de um tipo de realce aplicado sobre uma imagem (Banda 4) do satélite Landsat 5TM.

Outro procedimento realizado no tratamento de imagens é a Classificação. Estas operações têm a finalidade de substituir a análise visual dos dados por técnicas quantitativas de análise automática, visando à identificação das regiões presentes na cena. Existem dois tipos de classificação de imagens, a supervisionada e a não supervisionada. Na supervisionada o usuário coleta suas próprias amostras dentro da imagem usando o software, já na classificação não supervisionada, o usuário solicita que o programa colete as informações através de um procedimento chamado de segmentação, no qual o software vai circular áreas com características similares, de acordo com os parâmetros estabelecidos. A Figura 5 apresenta um modelo de segmentação com similaridade e área definida.

Outro tipo de procedimento computacional seria a Combinação de Dados (*data merging*) que são procedimentos utilizados para combinar os dados de uma imagem, referente à certa área geográfica, com outros conjuntos de dados referenciados geograficamente, para a mesma área.



**Figura 5** – Imagem segmentada (similaridade = 50, área = 10).

Um dos usos de tratamento digital de imagens é a possibilidade de poder gerar um produto do uso e ocupação do solo para uma melhor compreensão dos padrões de organização do espaço tanto agrícola como urbano, que sofre alteração pela ação do homem e pelo desenvolvimento tecnológico (Borges et al., 1993). Nesse sentido, ROSA (1990) aborda que existe a necessidade de atualização constante dos registros de uso e ocupação do solo, para que suas tendências possam ser analisadas, com o objetivo de fornecer subsídios às ações do planejamento regional.

Essas técnicas de tratamento digital de imagens também são usualmente utilizados para acompanhar o crescimento das cidades e associar esse crescimento às mudanças ambientais em micro ou em grande escala. Zhou and Wang (2010) realizaram uma análise espaço-temporal da dinâmica da temperatura da superfície e relacionaram com as modificações no uso e cobertura do solo ao longo dos anos utilizando imagens

do satélite Landsat 5 TM e encontraram uma forte relação do aumento da temperatura da superfície com áreas que foram retiradas a cobertura vegetal no centro-norte da província de Yunnan, na China.

Silva e Marcola (2011) utilizaram-se de técnicas de processamento digital de imagens para avaliação de áreas degradadas próximas a bacia hidrográfica do Rio Miriri na Paraíba, no qual seu universo de estudo compreendeu os anos de 1972 a 2008, e observaram que houve redução da mata ciliar devido a expansão agrícola e uso desordenado do solo no local.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Área de estudo

A área em estudo compreende a região Metropolitana do Distrito Federal, situada no Planalto Central do Brasil. É caracterizada pelo clima tropical de altitude, de acordo com a classificação de Köppen, onde são identificadas duas estações distintas: quente e úmido (outubro a abril) e seco (maio a setembro). Seu clima é caracterizado pela elevada amplitude térmica. Nos meses mais frios (junho e julho), as temperaturas mínimas são inferiores a 18° C, enquanto nos meses mais quentes (setembro e outubro) a temperatura máxima pode ultrapassar os 30°C (Maciel, 2005). O Distrito Federal localiza-se nas seguintes coordenadas geográficas: latitude 15°34' S e longitude 47°35' W, altitude 1.159 metros.

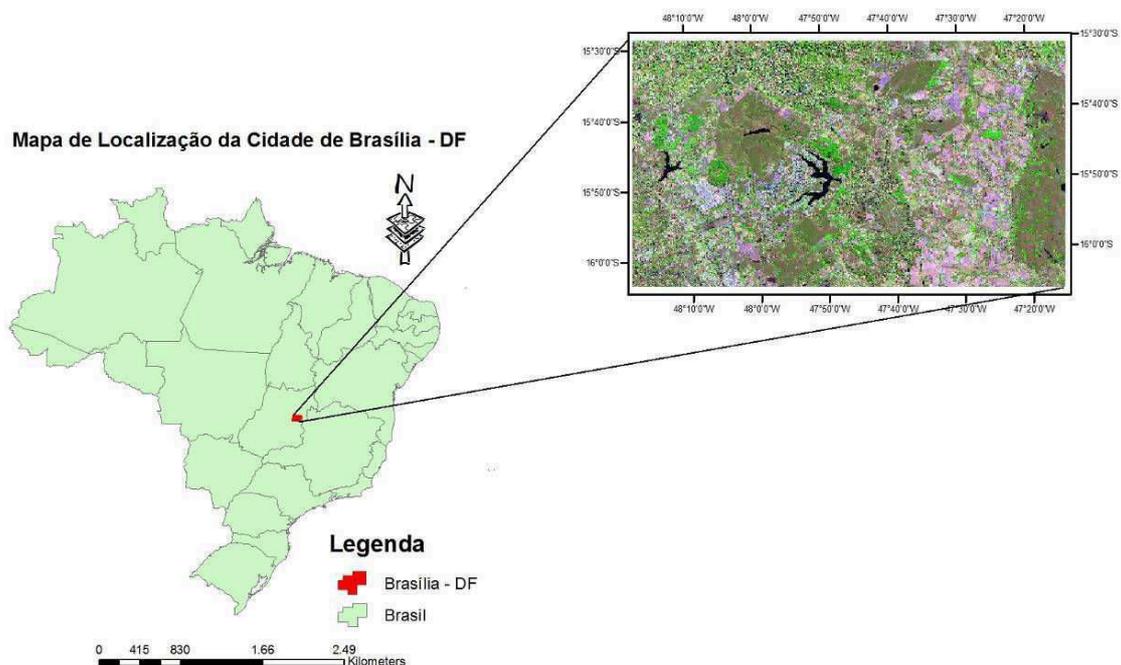
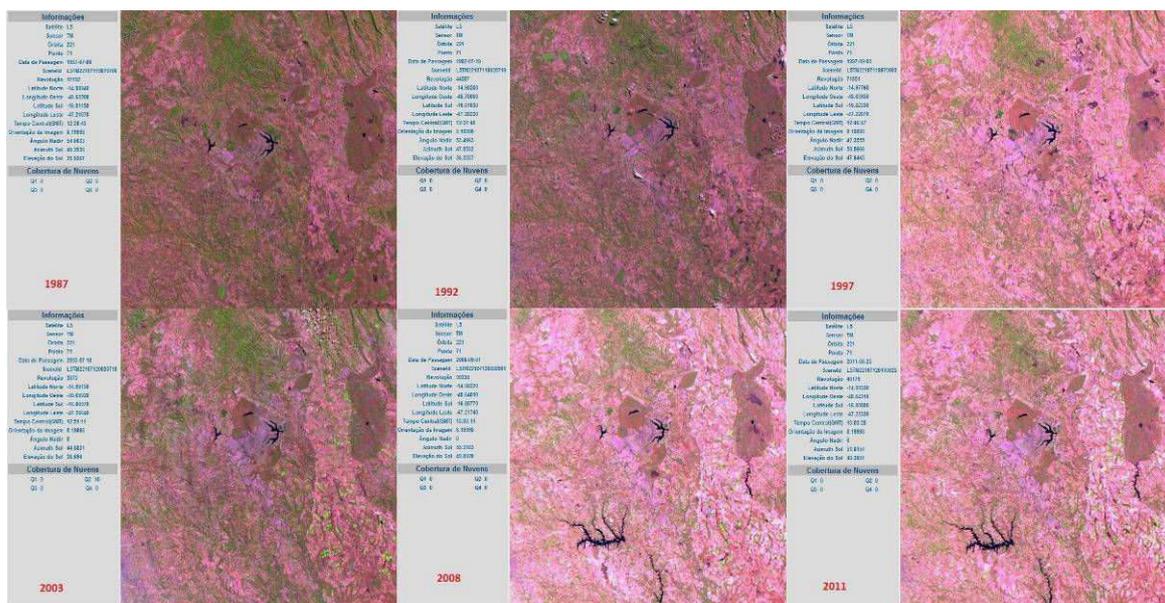


Figura 6 – Localização geográfica da cidade de Brasília-DF.

### 3.2 Método

Para a realização desse estudo foram utilizadas as imagens do satélite Landsat 5 TM, na órbita 221, ponto 71, nos anos de 1987,1992, 1997, 2003, 2008 e 2011, como mostra a Figura 7 a seguir:



**Figura 7** – Imagens do satélite Landsat 5 TM para os dias 06/07/1987, 19/07/1992, 03/09/1997, 18/07/2003, 01/09/2008 e 25/08/2011.

A escolha da data das imagens se deu pela proximidade da época do ano e o seu período seco.

O TM (*Thematic Mapper*) é um sensor a bordo do satélite Landsat 5, que registra a energia nas regiões do visível, infravermelho refletido, infravermelho de ondas curtas (SWIR) e infravermelho termal do espectro eletromagnético. De acordo

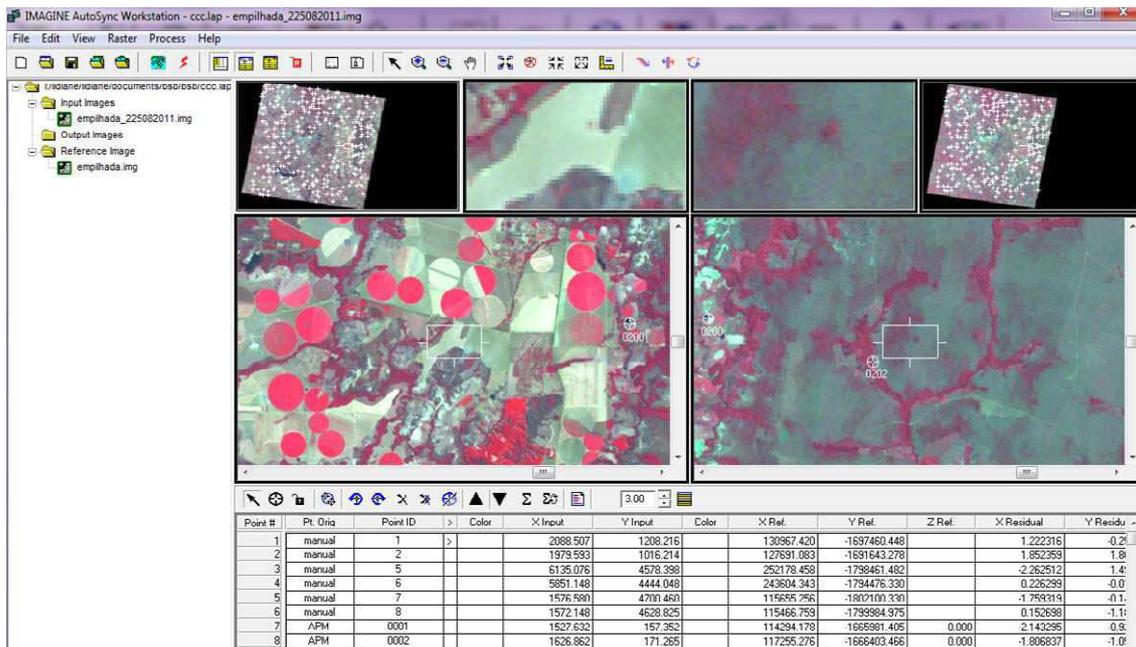
com Novo (2010), possui subsistemas configurados para permitir o imageamento do terreno com fidelidade geométrica. Possui uma largura de área imageada de 185 km, com sete bandas espectrais, uma resolução espacial de 30 metros em suas bandas, com exceção da banda seis, a IR Termal, que possui uma resolução espacial de 120 metros. A Tabela 2 apresenta algumas características dos sensores utilizados na pesquisa e suas principais aplicações.

As bandas espectrais foram tratadas através de procedimentos matemáticos intra e inter bandas, ortorretificação, recortes, classificação, e outras operações em função das especificidades de cada uma, sendo ainda processadas através da ferramenta *Model Maker* do ERDAS Imagine.

Para confecção dos mapas temáticos utilizou-se o *software* Arcgis e os mapas de uso e ocupação do solo, o *software* Spring. O georreferenciamento se deu com a utilização de uma funcionalidade do software Erdas, no qual se denomina *AutoSync - Workstation*, que permite a visualização da imagem já georreferenciada (Figura 8) e a imagem que irá passar pelo processo de ajuste.

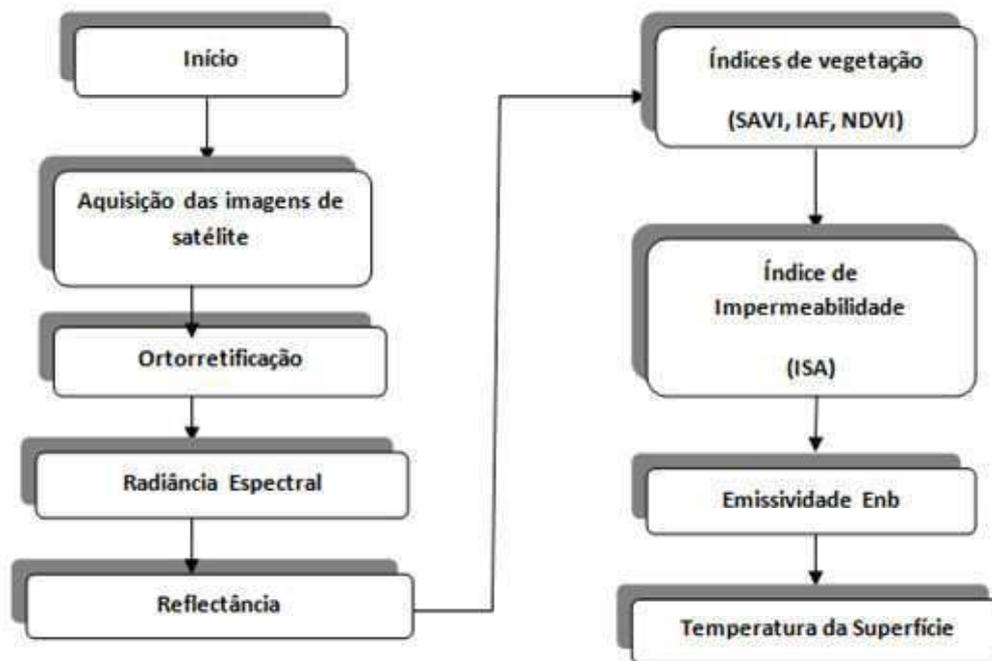
**Tabela 2** – Características do sensor TM a bordo do Landsat 5 e suas principais aplicações. Fonte: Adaptada de (Engesat).

Banda	Intervalo de comprimento de ondas ( $\mu\text{m}$ )	Resolução (m)	Aplicações
1	(0,45 - 0,52)	30	Apresenta grande penetração em corpos de água, com elevada transparência, permitindo estudos batimétricos. Sofre absorção pela clorofila e pigmentos fotossintéticos auxiliares (carotenóides). Apresenta sensibilidade a plumas de fumaça oriundas de queimadas ou atividade industrial. Pode apresentar atenuação pela atmosfera.
2	(0,52 - 0,60)	30	Apresenta grande sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão, possibilitando sua análise em termos de quantidade e qualidade. Boa penetração em corpos de água.
3	(0,63 - 0,69)	30	Apresenta bom contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetal. Permite o mapeamento da drenagem através da visualização da mata galeria e entalhe dos cursos dos rios em regiões com pouca cobertura vegetal.
4	(0,76 - 0,90)	30	Apresenta sensibilidade à rugosidade da copa das florestas (dossel florestal). Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo a obtenção de informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia.
5	(1,55 - 1,75)	30	Apresenta sensibilidade ao teor de umidade das plantas, servindo para observar estresse na vegetação, causado por desequilíbrio hídrico
6	(10,4 - 12,5)	120	Apresenta sensibilidade aos fenômenos relativos aos contrastes térmicos, servindo para detectar propriedades termais dos alvos da superfície.
7	(2,08 - 2,35)	30	Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo obter informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia. Esta banda serve para identificar minerais com íons hidroxilas. Potencialmente favorável à discriminação de produtos de alteração hidrotermal.



**Figura 8** - Tela de visualização do georreferenciamento da imagem alvo de estudo.

As operações matemáticas ocorreram a partir do algoritmo SEBAL – *Surface Energy Balance Algorithms for Land*, que é um modelo utilizado para determinação do balanço completo da radiação e da energia da superfície da Terra. Ele é alimentado com imagens de satélite e dados de superfície. A estimativa dos fluxos de calor latente, calor sensível do ar e do solo, segue uma sequência de procedimentos para a obtenção de dados a serem usados na pesquisa, tais como; Índices de vegetação, impermeabilidade e obtenção da temperatura da superfície. A Figura 9 apresenta a sequência de procedimentos usados na determinação dos parâmetros para o estudo em questão.



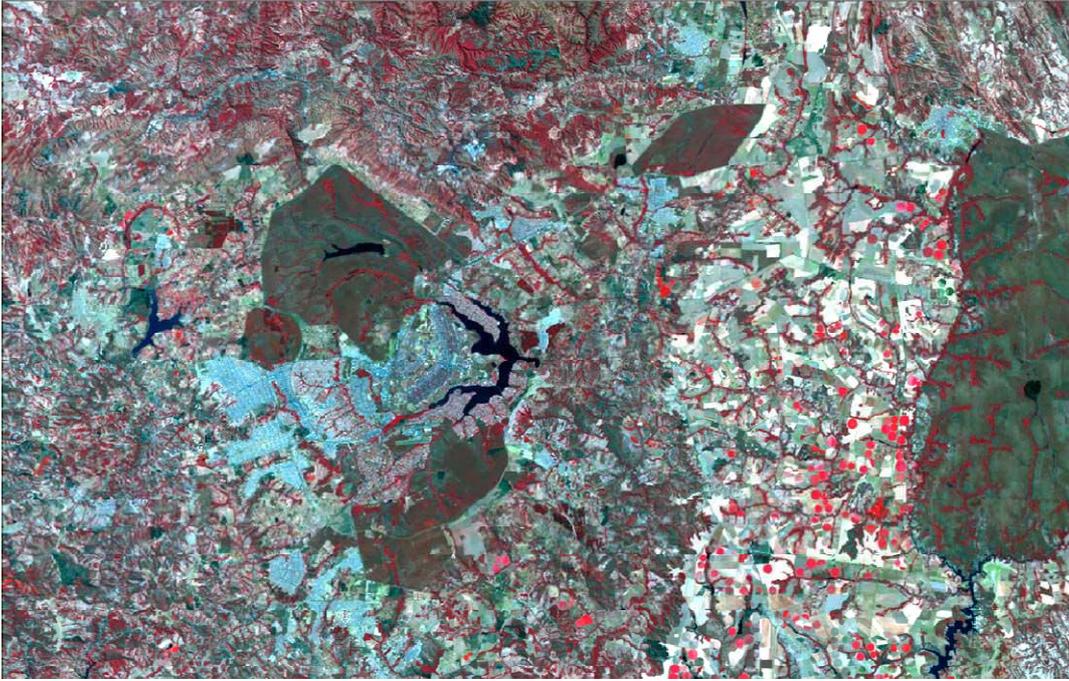
**Figura 9** – Fluxograma das etapas da obtenção da temperatura da superfície, índices de vegetação e impermeabilidade.

De acordo com Rosa (2007), radiância é a quantidade de radiação que deixa determinada superfície, por unidade de área. O cálculo da radiância espectral de cada banda ( $L_{\lambda_i}$ ) foi feito usando a equação proposta por Markham & Baker (1987), sendo a efetivação da calibração radiométrica e o número digital ( $ND$ ), de cada pixel da imagem, convertidos em radiância espectral monocromática.

$$L_{\lambda_i} = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} ND \quad (1)$$

sendo:  $a_i$  e  $b_i$  as radiâncias espectrais mínimas e máximas, respectivamente, em  $Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$ ,  $ND$  é a intensidade do pixel (número digital, de 0 a 255);  $i$  corresponde as bandas de 1 a 7 do satélite Landsat 5 - TM.

Os procedimentos para gerar a radiância espectral a partir do *model maker* no Erdas foram feitos com a composição de cores RGB 541 (Figura 10).



**Figura 10** – Imagem de radiância espectral com composição de cores RGB 541.

A reflectância monocromática de cada banda ( $\rho_{\lambda_i}$ ) é razão entre o fluxo radiante refletido por uma superfície e o incidente. O cálculo foi feito usando a equação proposta por Allen *et al.* (2002).

$$\rho_{\lambda_i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda_i}}{k_{\lambda_i} \cdot \cos Z \cdot d_r} \quad (2)$$

sendo:  $L_{\lambda_i}$  a radiância espectral de cada banda dada em  $Wsr^{-1}m^{-2}$ ;  $k_{\lambda_i}$  a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera ( $Wm^{-2}\mu m^{-1}$ ),  $Z$  o

ângulo zenital solar em radianos;  $d_r$ , o quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol ( $r_0$ ), calculado pela equação citada por Iqbal (1983):

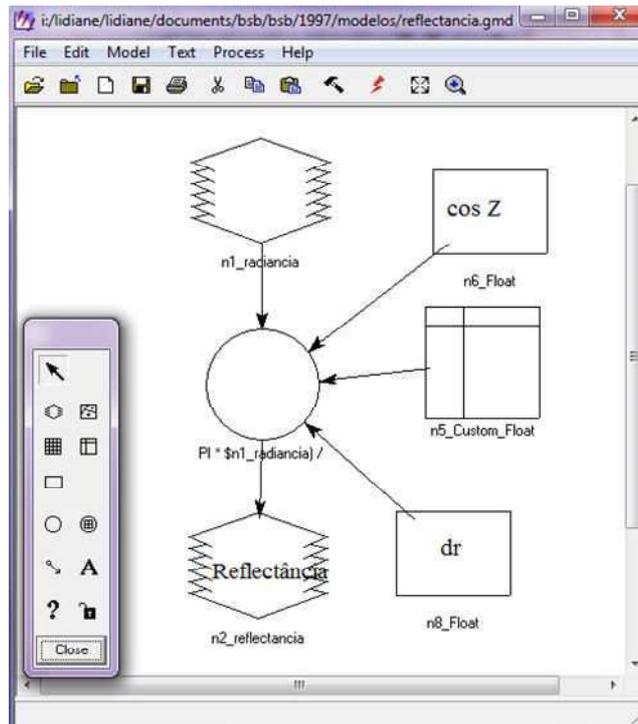
$$d_r = 1 + 0,033 \cos\left(\frac{DSA2\pi}{365}\right) \quad (3)$$

em que o argumento da função cosseno é medido em radianos. O valor médio anual de  $d_r$  varia entre 0,97 e 1,03. O DSA corresponde ao dia seqüencial do ano, também conhecido como dia Juliano.

$$\cos Z = \cos\left(\frac{\pi}{2} - E\right) \quad (4)$$

Em área com declividade muito pequena ou nula, o cosseno do ângulo de incidência da radiação solar é simplesmente obtido a partir do ângulo de elevação do Sol ( $E$ ), que se encontra no cabeçalho da imagem no momento da aquisição, através da Fórmula 4.

Seguindo-se as operações matemáticas foi gerada a imagem da área de estudo (Figura 11), conforme ferramenta do model maker do Erdas.



**Figura 11** – Fluxograma do modelo para obtenção da reflectância a partir do Erdas

O *Soil Adjusted Vegetation Index* – SAVI, ou seja, o Índice de Vegetação Ajustado para os Efeitos do Solo é um índice que busca amenizar os efeitos do “background” do solo, para seu cálculo foi usada a Equação 5 (Huete, 1988), e pode ser calculado por:

$$SAVI = \frac{(1+L)(\rho_{IV} - \rho_V)}{(L + \rho_{IV} + \rho_V)} \quad (5)$$

no qual, L é um fator usado uma função do tipo de solo. Alguns estudos utilizam L = 0,1, embora o seu valor mais utilizado seja L = 0,5 (Huete & Warrick, 1990; Accioly et al., 2002; Boegh et al., 2002).

Seguindo as etapas, se tem a obtenção do IAF (Índice de Área Foliar) que é um indicador da biomassa de cada pixel da imagem. É definido pela razão entre a área foliar de toda a vegetação por unidade de área utilizada por essa vegetação.

$$IAF = -\frac{\ln\left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59}\right)}{0,91} \quad (6)$$

Ainda obtendo índices de vegetação, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – IVDN ou NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), de acordo com PONZONI & SHIMABUKURO, (2009) vem sendo amplamente utilizado e explorado em diferentes abordagens em estudos agrícolas, florestais e climáticos. No qual é obtido através da razão entre a diferença das refletividades do Infravermelho próximo ( $\rho_{IV}$ ) e do vermelho ( $\rho_V$ ), pela soma das mesmas, como mostra a fórmula:

$$NDVI = \frac{\rho_{IV} - \rho_V}{\rho_{IV} + \rho_V} \quad (7)$$

no qual  $\rho_{IV}$  e  $\rho_V$  correspondem, respectivamente, as bandas 4 e 3 do Landsat 5

- TM.

O ISA é um índice de impermeabilidade no solo, que consiste basicamente na classificação supervisionada de pixels e sub-pixels. Pode ser obtido a partir da seguinte expressão:

$$ISA = \left[ 1 - \left( \frac{NDVI - NDVI_0}{NDVI_1 - NDVI_0} \right)^2 \right] DEV \quad (8)$$

em que o  $NDVI_s$  indica os valores para vegetação densa,  $NDVI_0$  representa os valores para solo exposto e o índice DEV indica que a fórmula deve ser utilizada apenas para regiões classificadas como urbanas. Neste caso quanto mais próximo do número um, maior é a impermeabilidade da superfície (CARLSON & ARTHUR, 2000).

Para a obtenção da temperatura da superfície, é necessário a obtenção da emissividade de cada pixel no domínio espectral da banda termal do Landsat 5 TM (10,4 – 12,5  $\mu\text{m}$ ), o  $\epsilon_{NB}$ , que pode ser obtida pela expressão introduzida por Allen et al (2002).

$$\epsilon_{NB} = 0,97 + 0,00331 \times IAF \quad (9)$$

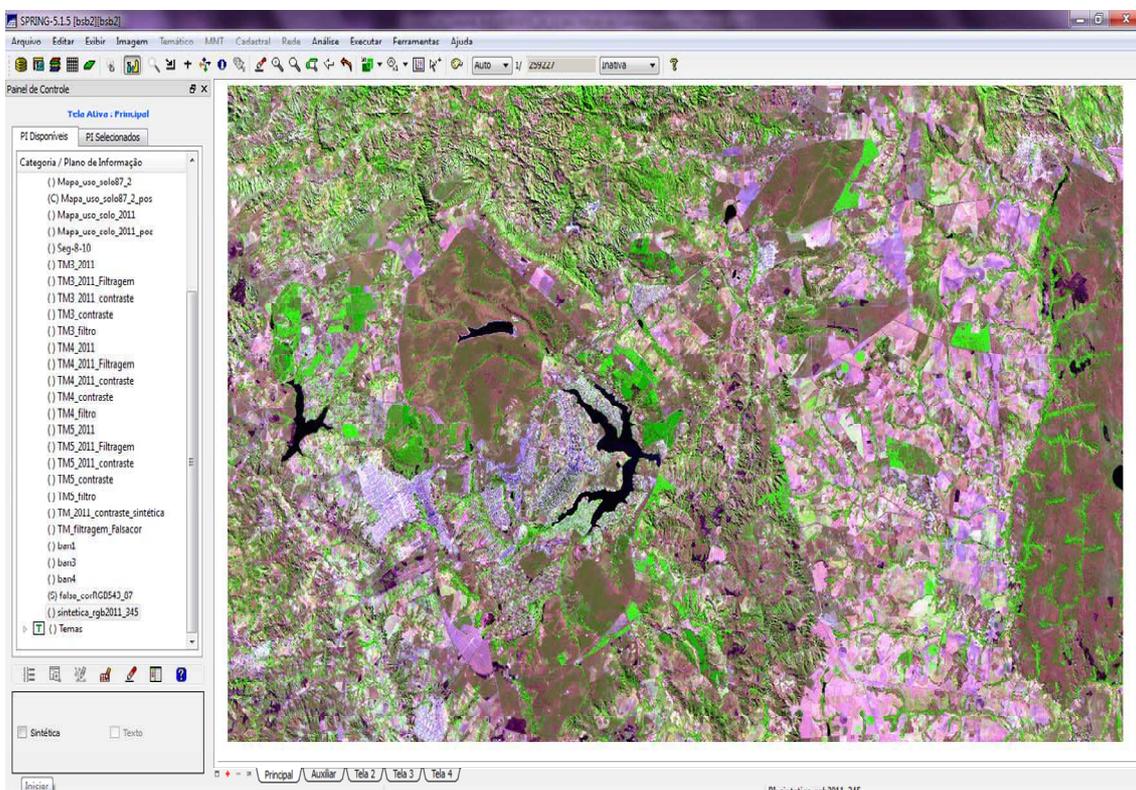
A emissividade poderá ser obtida para  $NDVI > 0$  e  $IAF < 3$ , porém para casos com o  $IAF \geq 3$ , o  $\epsilon_{NB} = \epsilon_0 = 0,98$  e para corpos de água,  $NDVI < 0$ ,  $\epsilon_{NB} = 0,99$  e  $\epsilon_0 = 0,985$ , recomendado por Allen et al. (2002).

Para a obtenção da temperatura da superfície ( $T_s$ ), em Kelvins, são utilizados a radiância espectral da banda termal  $T_{\lambda,6}$  e a emissividade  $\epsilon_{NB}$ . Dessa forma, determina-se a temperatura da superfície ( $T_s$ ) pela equação de Markham e Barber (1987):

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\epsilon_{NB} K_1}{L_{\lambda,6}} + 1\right)} \quad (10)$$

em que  $K_1 = 607,76 \text{ Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$  e  $K_2 = 1260,56\text{K}$  são constantes de calibração da banda termal do Landsat 5 – TM.(SILVA *et al*, 2006).

Finalizada as etapas do fluxograma, foram gerados dois mapas de uso e ocupação do solo, com o software Spring, referentes ao início e fim da pesquisa, o ano de 1987 e 2011 respectivamente. O procedimento consistiu na realização de realce por manipulação de histograma nas imagens do Landsat 5 TM, composição RGB 543 nas imagens selecionadas, gerando uma imagem pseudocolor, visto na Figura 12.

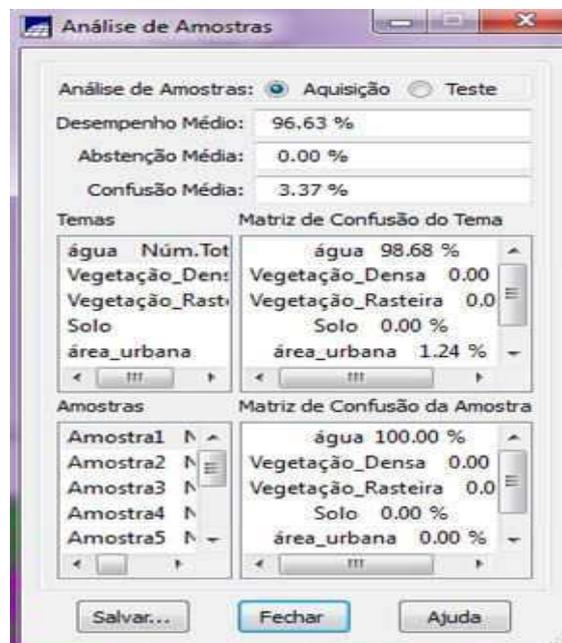


**Figura 12** – Imagem do Landsat 5 TM aplicada composição RGB 543.

Logo foi realizado a classificação supervisionada e criado um arquivo contexto, executado o treinamento, que consiste basicamente em coletar as amostras na imagem, nominando as categorias determinadas. As amostras ainda passaram por uma

análise, para verificação da qualidade das amostras coletadas, observadas na Figura 13. As demais etapas consistiram na classificação propriamente dita, na pós-classificação que refina os resultados encontrados na classificação e o mapeamento de classes, que permitiu extrair das imagens classificadas a quantificação das amostras coletadas.

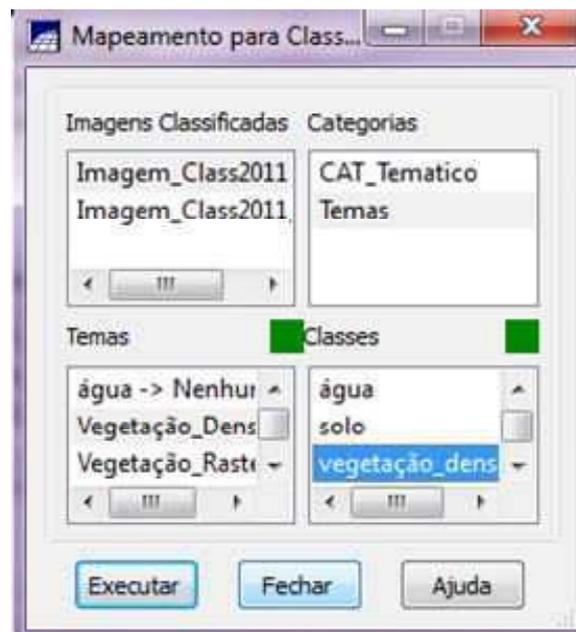
A verificação dos resultados das amostras coletadas permite a visualização da matriz de confusão dos temas, além de apresentar o desempenho médio obtido na análise dos temas, como a água, o solo e a vegetação.



**Figura 13** – Análise das amostras realizadas na classificação supervisionada.

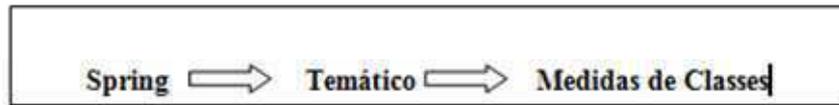
O procedimento da análise das amostras permite além da análise das amostras, verificar o erro obtido na classificação, ou seja, a porcentagem de categorias que se misturaram no decorrer da coleta de amostras. Também existe a possibilidade de retorno na etapa anterior, que é a coleta de amostras, e retirar os pixels que estão causando confusão, como também acrescentar novas coletas. A princípio quanto maior for a

quantidade de amostras coletadas ao longo da imagem, melhor será o resultado da classificação. A etapa posterior consiste em refinar o resultado da classificação. A Figura 14 apresenta a última etapa relacionada aos processos de criação do mapa de uso e ocupação do solo.



**Figura 14** – Análise das amostras realizadas na classificação supervisionada.

Este procedimento (Figura 14) permite relacionar a coleta das amostras, com uma categoria pré-existente, certificando as cores às classes. Após a visualização do resultado, segue-se para obtenção da área que ocupa cada classe na imagem, seguindo as seguintes etapas Figura 15.

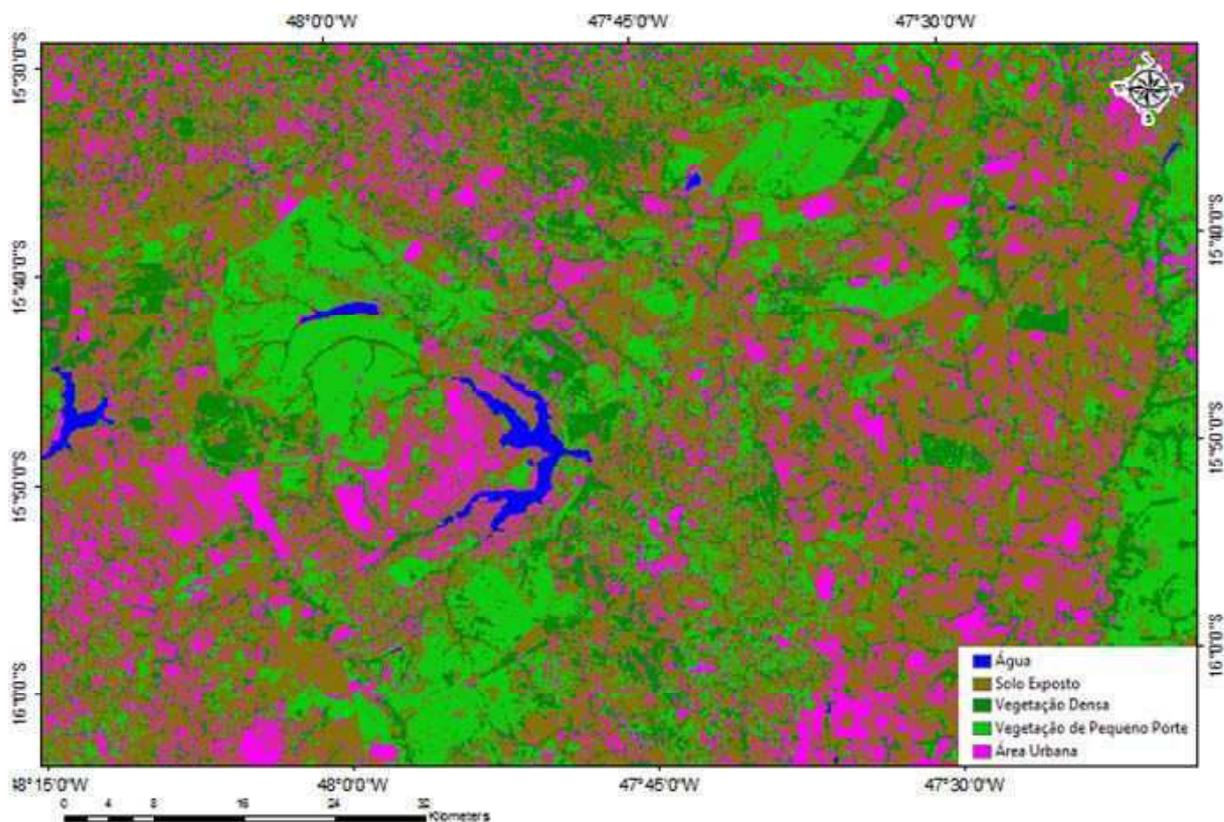


**Figura 15** - Sequência de etapas na aquisição das áreas das classes determinadas.

A análise da temperatura da superfície ao longo dos anos ocorreu em duas etapas, a primeira permitiu uma avaliação geral das cidades satélites espacializada pelo Distrito Federal e a segunda etapa se deu apenas para o plano piloto em Brasília, no qual foi possível realizar além do recorte da área, a identificação da dinâmica da temperatura da superfície, através de álgebra de mapas, que concedeu um mapa de temperatura com as mudanças ocorridas entre os anos de 1987 e 2011.

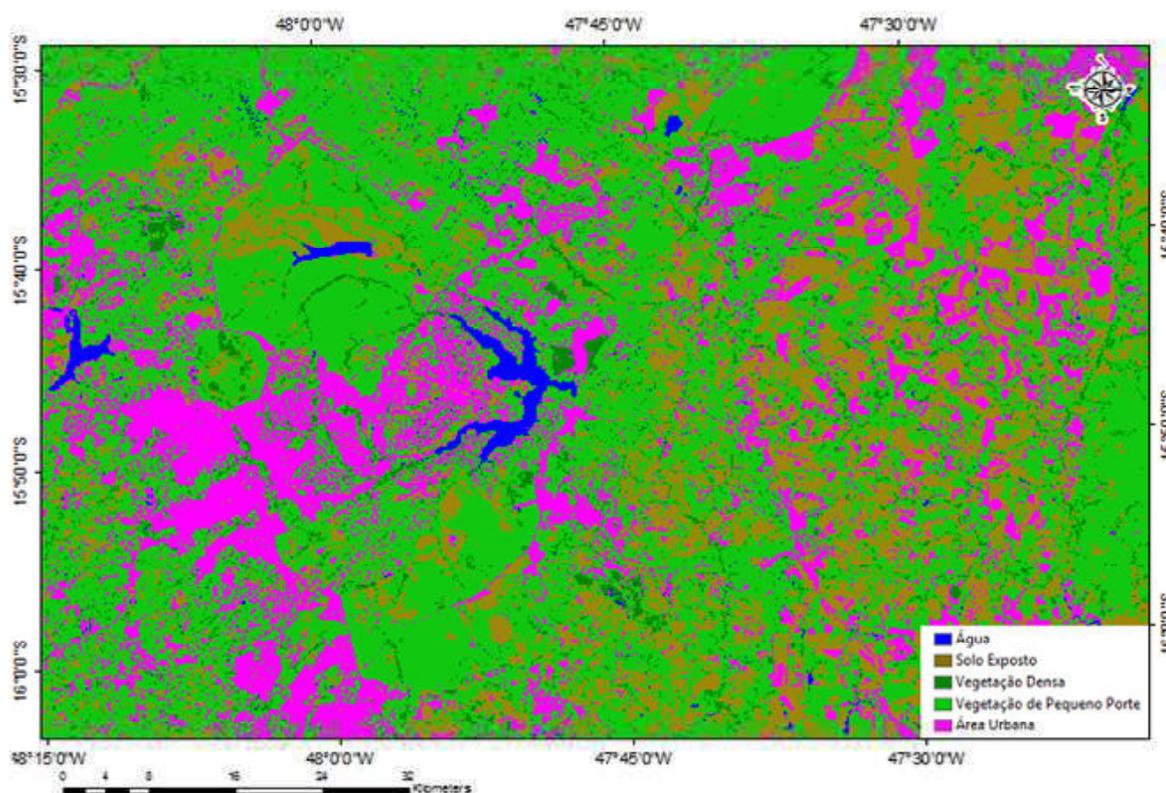
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O mapa de uso e ocupação do solo para o ano de 1987 (Figura 16) apresentou entre as classes definidas, uma área urbana de 1243,91 km<sup>2</sup>, solo exposto de 3430,54 km<sup>2</sup>, os corpos hídricos 58,58km<sup>2</sup> e vegetação de baixo porte de 1690,54km<sup>2</sup> e densa de 1072,72 km<sup>2</sup>, conforme Tabela 3.



**Figura 16** – Mapa Temático de Uso e Ocupação do Solo para o ano de 1987 do Distrito Federal.

A legenda da Figura 16 e 17 apresentam a palheta de cores designadas a cada classe. No qual azul designa água, verde representa a vegetação, o marrom designa solo exposto e a cor magenta representa área urbana.



**Figura 17** – Mapa Temático de Uso e Ocupação do Solo para o ano de 2011 do Distrito Federal.

O mapa de uso e ocupação do solo para o ano de 2011 (Figura 17) apresentou valores com variações entre as classes apresentadas na Figura 16, entre elas a classe urbana com uma área de 1391,18 km<sup>2</sup>, os corpos hídricos 90,59 km<sup>2</sup>, que se destacaram pelo aumento de sua área. Houve classes em que ocorreu redução, como é o caso do solo exposto, com aproximadamente 1507,94 km<sup>2</sup>, conforme Tabela 3.

Analisando a Tabela 3, pode-se observar a coluna denominada Diferença que apresenta a diferença de cobertura do solo nas 5 classes identificadas para o período de 24 anos. A área urbana cresceu 147,27 Km<sup>2</sup>. Na classe temática água também ocorreu um aumento de 32,01 Km<sup>2</sup>, decorrente da apresentação de corpos d'água intermitentes, construções de reservatórios e de um grande aumento da agricultura a sudeste da Figura 17. No solo exposto também ocorreu redução de área, que pode ser associado a substituição da cobertura do solo por vegetação do tipo gramíneas ou outro tipo de vegetação que compreenda o bioma Cerrado, presente na região.

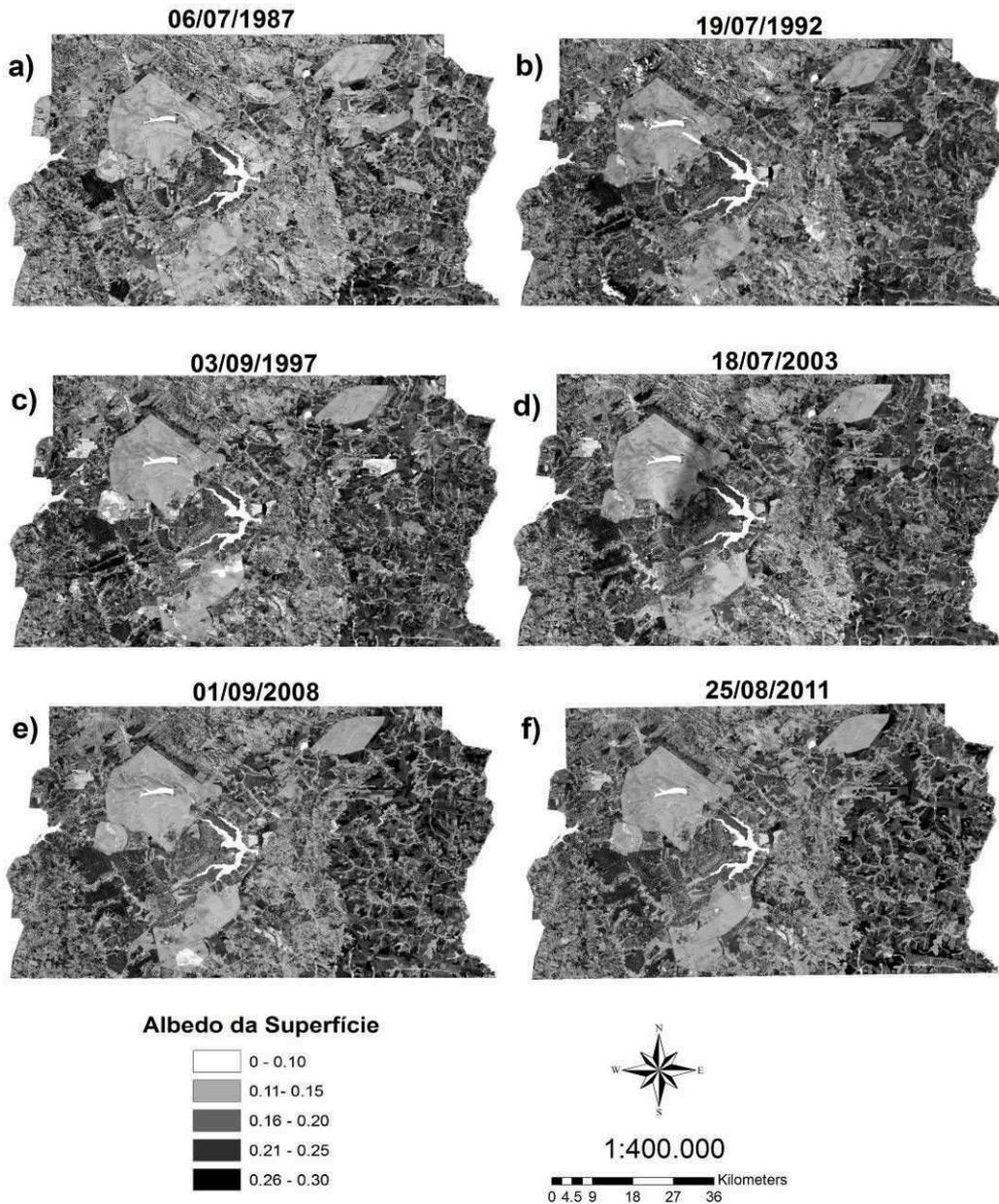
**Tabela 3** – Classes Temáticas Derivadas dos Mapas de Uso e Ocupação do Solo entre os anos de 1987 a 2011.

Classes Temáticas	Áreas - Km <sup>2</sup>		Diferença (Km <sup>2</sup> )	Diferença (%)
	1987	2011		
Área Urbana	1243,91	1391,18	147,27	11,84
Água	58,58	90,59	32,01	54,64
Solo Exposto	3430,54	1507,94	-1922,6	-56,04
Vegetação Densa	1072,72	308,51	-764,21	-71,24
Vegetação de Pequeno Porte	1690,54	4200,00	2509,46	148,44

Neste contexto de mudanças na cobertura do solo, podemos citar a vegetação densa que sofreu uma redução de área devido ao desflorestamento, o que provavelmente foi substituída pela classe de vegetação de pequeno porte, no qual houve um acréscimo de 2509,46 km<sup>2</sup>. Associando as perdas das classes de solo exposto com vegetação densa, é possível que o aumento da classe de vegetação de pequeno porte, seja decorrente dessa redução ocorrida durante o período de tempo avaliado.

As variações de albedo da superfície da cidade de Brasília são mostradas na Figura 18. A palheta de cores em tons de cinza compreende aos valores do albedo entre 0,040 a 0,320, com valores médios de 0,18.

A Figura 18 representa consecutivamente os anos de 1987, 1992, 1997, 2003, 2008 e 2011. Para o ano de 1987 (a) foram observados valores para o solo exposto variando de 0,09 a 0,208, nos corpos d'água 0,052, observados sobre lago Paranoá. Na zona urbana, os coeficientes de reflexão variaram de 0,15 a 0,25, sendo os menores valores encontrados nas vias asfaltadas e/ou nas áreas onde há maior conglomerados de construções com concreto liso. Para o ano de 1992, os valores observados variam entre 0,06 a 0,23, onde o solo exposto se destacou apresentando o valor máximo de refletância, juntamente com algumas coberturas em alumínio. Os demais anos apresentaram valores próximos, visto que a média da refletância dos materiais que compõem os alvos observados usualmente não alteram sua composição.



**Figura 18** – Distribuição espaço-temporal de albedo da superfície dos anos a) 1987, b) 1992, c) 1997, d) 2003, e) 2008 e f) 2011.

A Tabela 4 apresenta a média do albedo da superfície para os anos estudados e suas variações ao longo do tempo devido ao aumento ou redução de áreas com uma capacidade de refletir a luz solar.

**Tabela 4** – Variações do albedo médio da superfície entre os anos de 1987 a 2011.

ALBEDO DA SUPERFÍCIE					
1987	1992	1997	2003	2008	2011
0.13	0.15	0.16	0.13	0.18	0.15

Fazendo-se uma análise comparativa com os valores de coeficientes de reflexão obtidos por outros autores em outras condições, constatou-se que eles estão próximos das mesmas faixas encontrados por Silva et al. (2006), na bacia hidrográfica do baixo Jaguaribe, município de Quixeré, CE, que encontraram albedos variando de 14 a 18%, para diferentes culturas irrigadas, inclusive de vegetação nativa (caatinga).

**Tabela 5** – Variações do albedo da superfície dos elementos contidos nas imagens entre os anos de 1987 a 2011.

	Albedo da Superfície					
	1987	1992	1997	2003	2008	2011
Asfalto	0,15	0,16	0,15	0,13	0,14	0,13
Água	0.05	0,06	0,07	0.02	0,03	0,03
Cobertura das Edificações	0,24	0,29	0,22	0,17	0,34	0,35
Vegetação Densa	0,10	0,09	0,09	0,07	0,07	0,08
Vegetação de Pequeno Porte	0,11	0,10	0,11	0,09	0,10	0,10
Solo Exposto	0.16	0,21	0,27	0,21	0,19	0,18

As variações nos valores do albedo se devem a vários fatores, dentre eles destacam-se a época do ano, a cor da superfície, a cobertura vegetal, conforme Tabela 5. Isso corrobora com os resultados encontrados por Rodrigues et al., (2009), na bacia do

Rio Trussu, CE, cujos albedos variaram de 10 a 15 %, para superfície vegetal, de 3 a 10 % para corpos hídricos e de 28 a 29 % para solos desnudados.

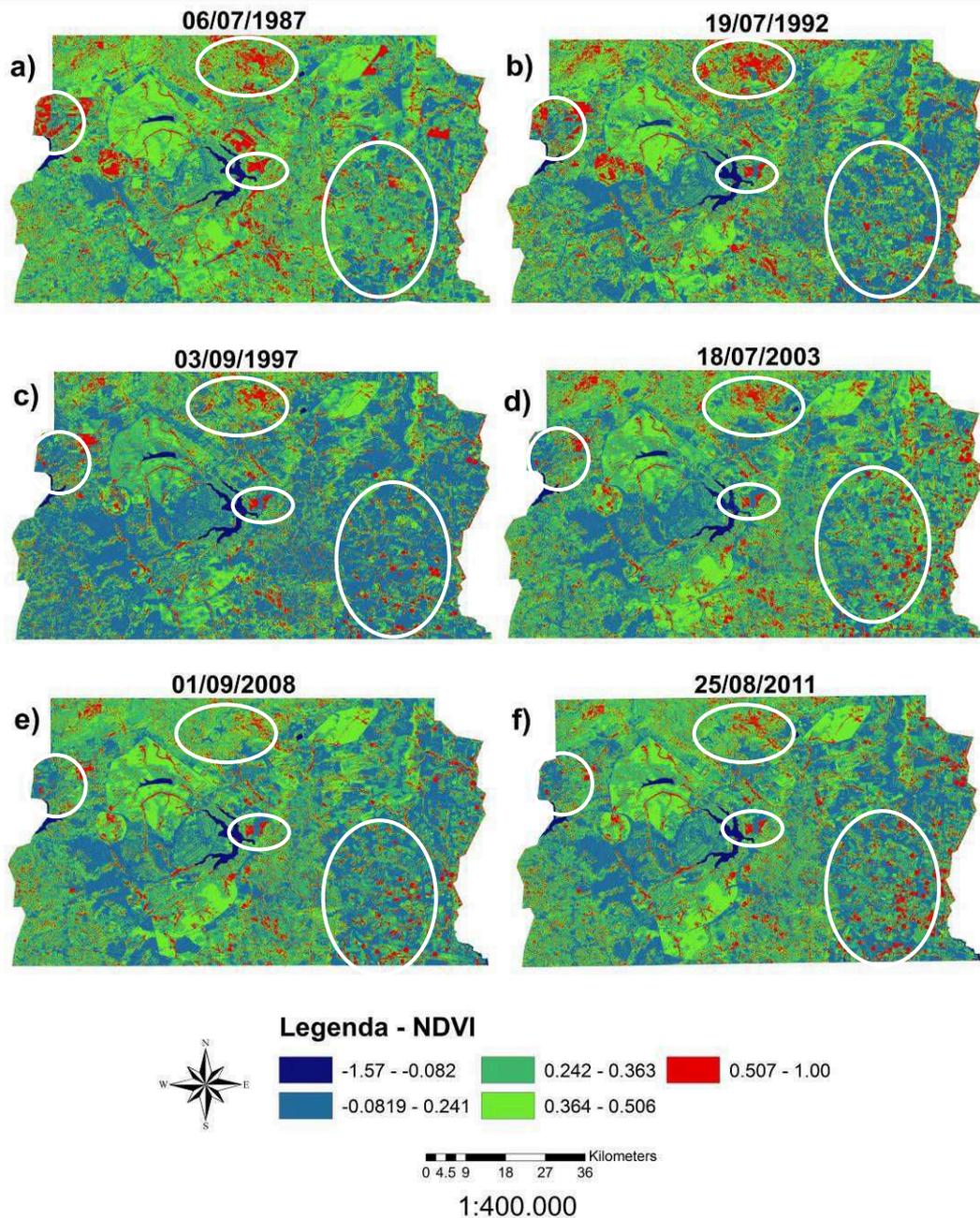
As variações espaciais dos índices de vegetação da diferença normalizada (NDVI), observados na Figura 19 apresentaram variações de -1.57 a 1.00. A cor verde representa às áreas vegetadas de pequeno porte sendo os maiores valores representados na cor vermelha, no qual está representado o parque Tamanduá, indicado com um círculo branco.

Os valores encontrados do NDVI corroboram com os valores de baixa refletividade da superfície e se assemelham com resultados obtidos para a microrregião de Itamaracá em Pernambuco por Silva et al., (2009), compreendidos entre - 0,6 e 0,8, sendo o valor negativo atribuído aos corpos d'água pertencentes à área alvo de estudo.

Na Tabela 6 pode ser observada a média do NDVI para os anos estudados e suas variações ao longo do tempo.

**Tabela 6** – Variações do NDVI entre os anos de 1987 a 2011.

NDVI					
1987	1992	1997	2003	2008	2011
0.41	0.35	0.36	0.32	0.39	0.28



**Figura 19** – Distribuição espaço-temporal do NDVI – (*Normalized Difference Vegetation Index*) dos anos a) 1987, b) 1992, c) 1997, d) 2003, e) 2008 e f) 2011.

A Figura 19 apresenta o índice de NDVI com decréscimo no último ano analisado, que é decorrente de ações antrópicas, seja retirada da vegetação pela substituição da área urbana ou por plantio de culturas.

A Tabela 6 juntamente com a Figura 19 apresentam o comportamento do NDVI ao longo dos anos, onde se pode perceber pela média obtida nas imagens do Landsat 5TM que houve oscilações, porém o menor valor 0,26, representa uma redução no índice de vegetação na imagem de agosto de 2011.

A área com menor circunferência na Figura 19 refere-se ao parque Tamanduá, área vermelha em destaque, apresentando vegetação de médio e grande porte. No decorrer dos anos de 1987 a 2011, pode ser visualizado no mapa de NDVI uma redução de vegetação no parque, o que condiz com as informações apresentadas na Tabela 5. O parque no ano de 1987 apresentava uma área com formato circular e sem interrupção de ocupação do solo, ou seja, apresentava uma área homogênea. A partir do ano de 1992 já pode ser vislumbrado um cenário de expansão urbana na área, cortando a reserva em duas partes e entre elas uma área residencial.

Um círculo de maior diâmetro presente na Figura 19 destaca em meados de 1987 a ausência de um tipo de cultivo na agricultura e a partir de 1997 começa a surgir na imagem a presença de alguns pivôs central, mas é no ano de 2011 que aparece com maior visibilidade tanto em números, como em intensidade na presença de vegetação, decorrente de atividades agrícolas, com índices de maior valor variando de 0,5 a 1,0.

As demais circunferências indicadas na Figura 19 representam áreas degradadas ao longo dos anos, com redução do NDVI em até 100%, conforme indicado à oeste da imagem.

As variações espaciais da temperatura da superfície na região Metropolitana de Brasília, são apresentadas na Figura 20. Observa-se que há uma variação espacial da temperatura superior a 25 °C, com variação entre 17 e 42 °C. Os menores valores de

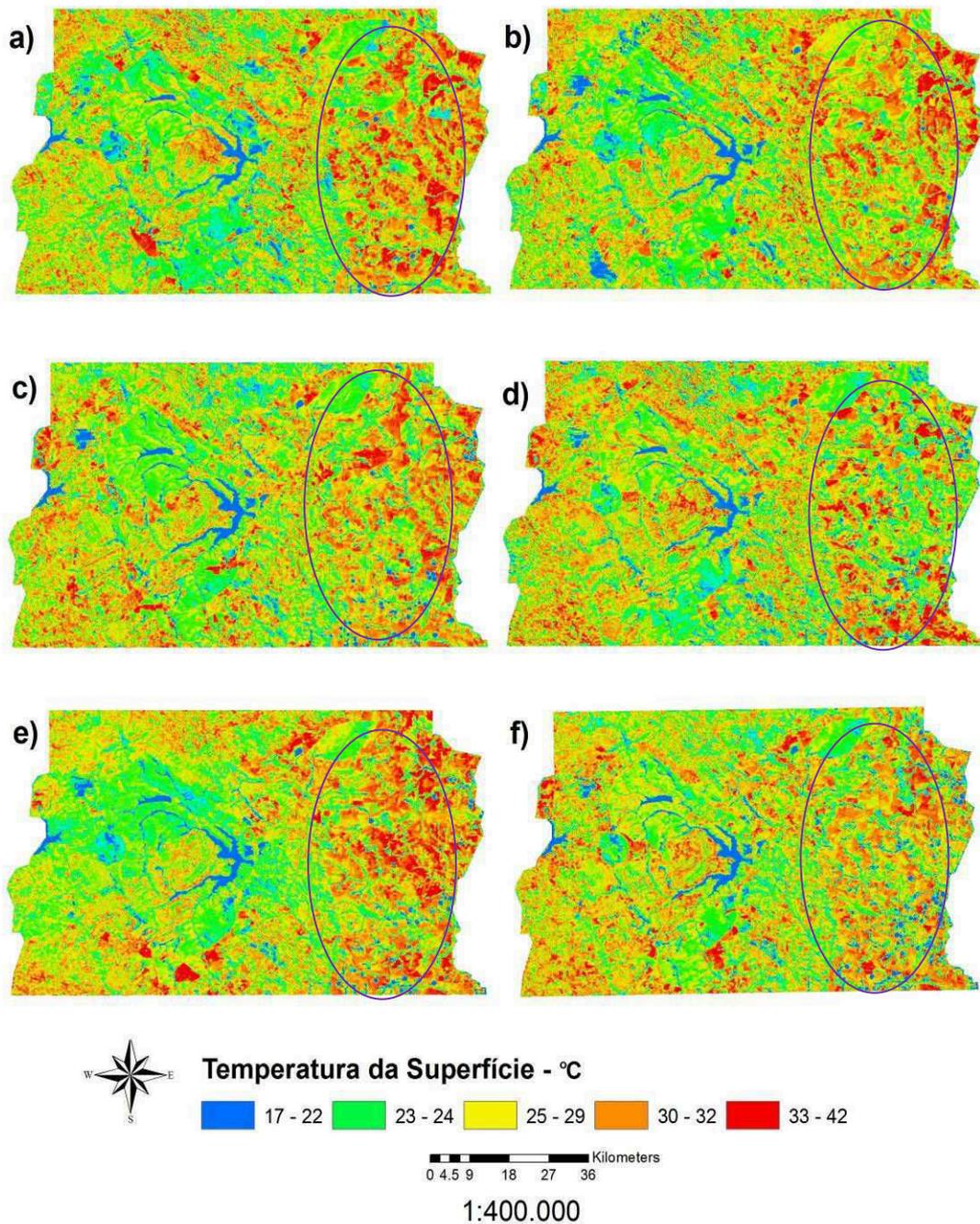
temperaturas foram encontrados nos corpos hídricos (cor azul), os medianos na cor verde estão associados vegetação rasteira e mata ciliar. Para as áreas mais quentes foram designadas às cores vermelho, laranja e amarelo, representando solo exposto e pequenas áreas na malha urbana da cidade. A Tabela 7 apresenta a variação média da temperatura da superfície ao longo dos anos.

**Tabela 7** – Variações da Temperatura da Superfície média entre os anos de 1987 a 2011.

<b>TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE</b>					
<b>1987</b>	<b>1992</b>	<b>1997</b>	<b>2003</b>	<b>2008</b>	<b>2011</b>
21.56	23.64	30.54	23.31	22.30	26.95

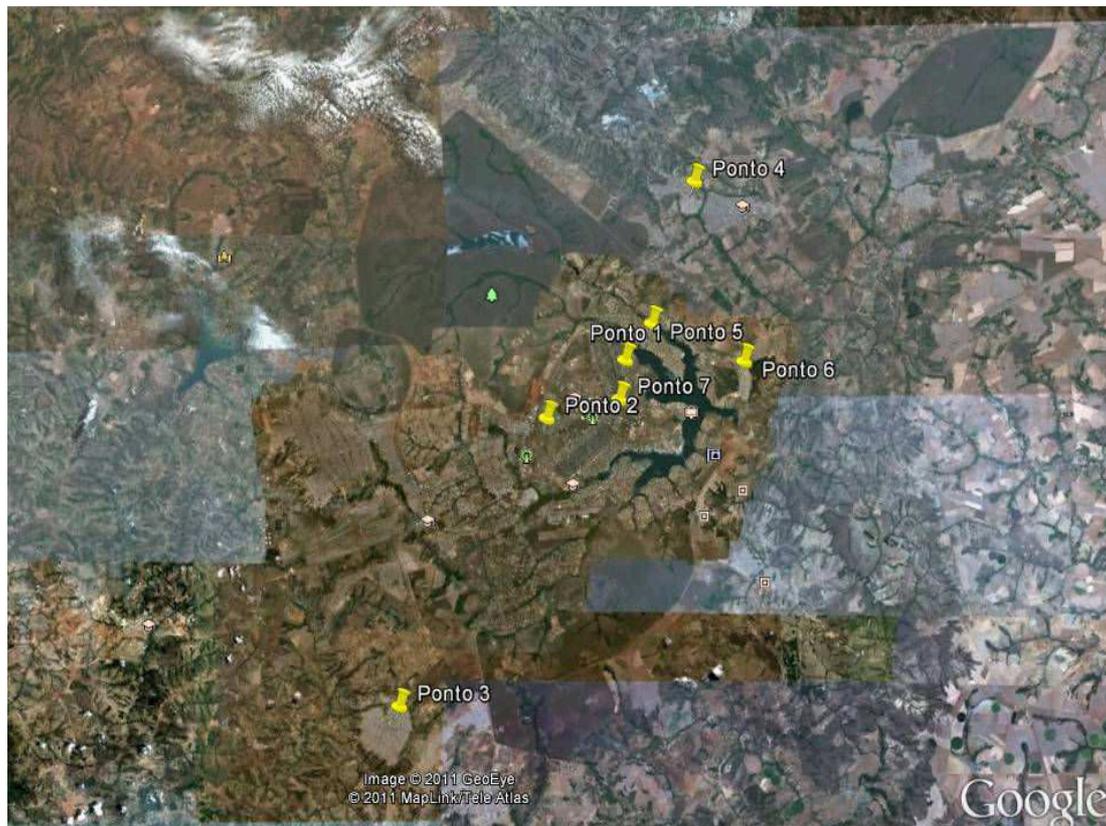
Observa-se que a maior temperatura média ocorreu na imagem do ano de 1997, seguindo do ano de 2011. Esse aumento pode ser associado a diversos fatores, como a interferência humana face a urbanização da cidade, ou ainda na retirada de superfície vegetada, deixando o solo desnudado em grande concentração.

Uma faixa da imagem (Figura 20) que se destaca está circulada ao longo dos anos, que inicialmente em 1987 apresentava temperaturas elevadas, apresentou redução de temperatura nos demais anos, o que correlacionando com a Figura 19, foram áreas em que apresentaram um aumento no NDVI, o que foi observado com grande atividade agrícola, ou seja, áreas vegetadas ou irrigadas apresentam temperaturas mais amenas.



**Figura 20** – Distribuição espaço-temporal da Temperatura da Superfície dos anos a) 1987, b) 1992, c) 1997, d) 2003, e) 2008 e f) 2011.

Inicialmente foram selecionados 7 pontos na imagem do ano de 2011 (Figura 21), áreas consideradas como forte indicativo de formação de ilhas de calor urbano.



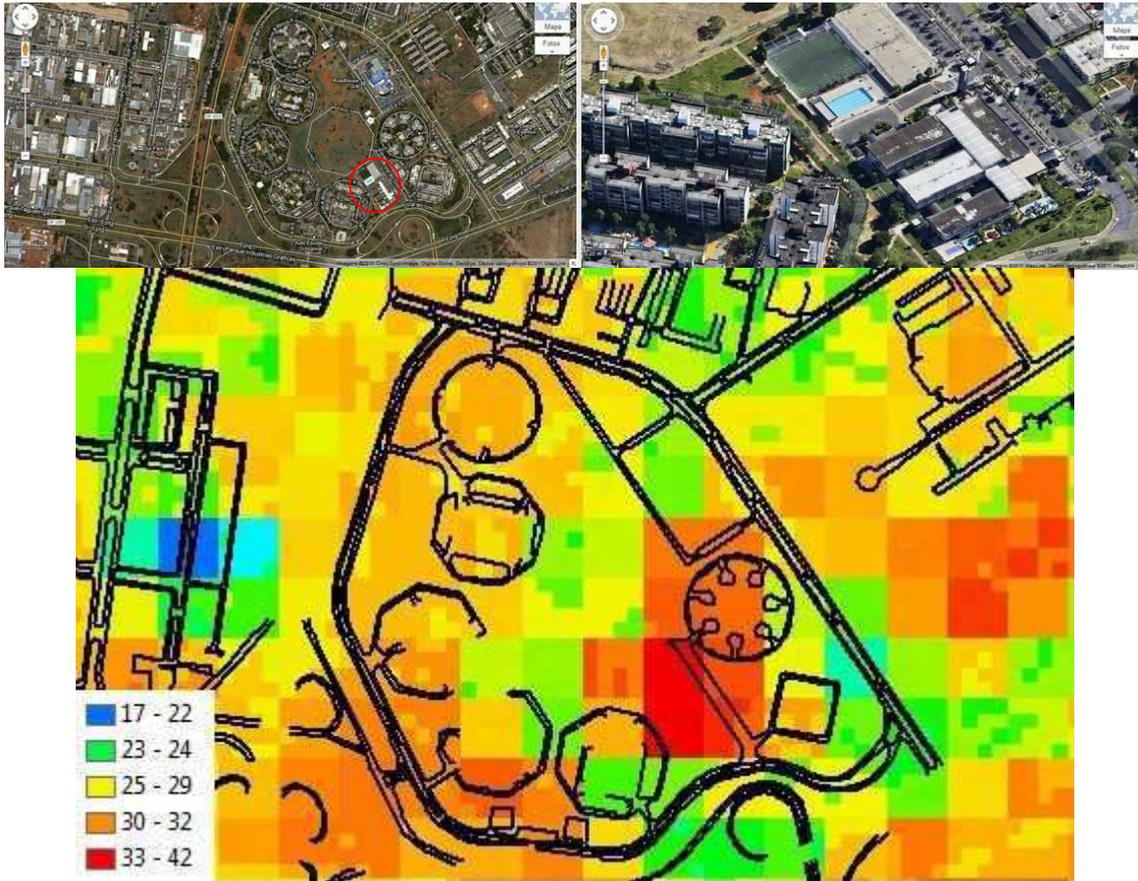
**Figura 21** – Recorte da imagem do Google Earth do Distrito Federal com a distribuição espacial dos pontos escolhidos para a primeira etapa da análise. Fonte: Google Earth (2011).

O primeiro ponto escolhido está localizado na asa norte do plano piloto (Figura 22), no qual está representado um centro comercial, contendo um shopping, empresas de grande porte e um centro de educação. Área impermeabilizada, com cobertura das vias em material betuminoso e as edificações cobertas em sua maioria com material de amianto, com temperatura próximas de  $36^{\circ}\text{C}$ . Essas áreas são circundadas de áreas vegetadas, o que por ser uma cidade planejada, possui canteiros vegetados em sua maioria.



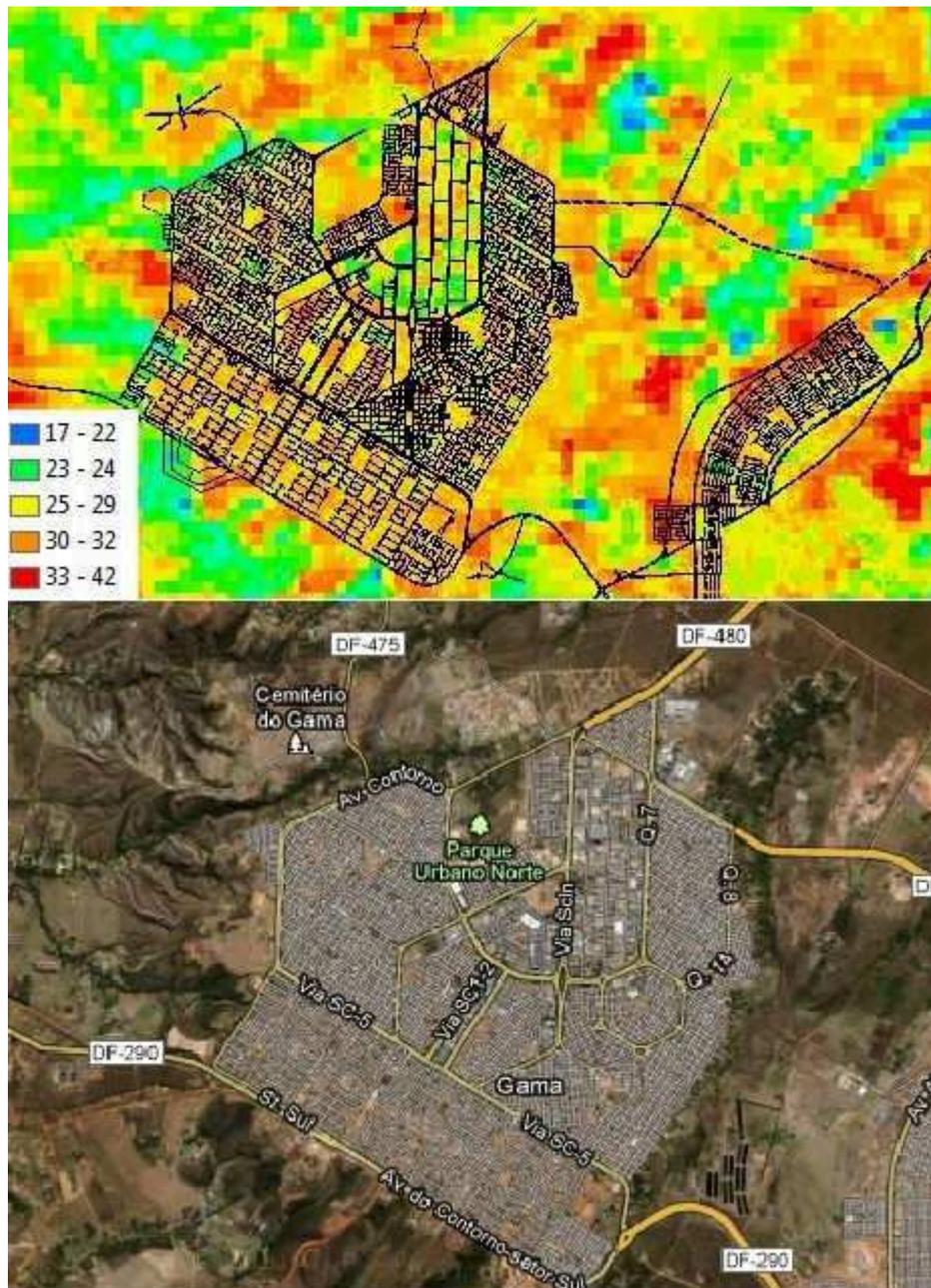
**Figura 22** – Ponto 1 indicativo de formação de ilhas de calor urbano.

O segundo ponto observado pode ser visualizado na Figura 23, onde está localizado em um condomínio fechado, separados em blocos de apartamentos. Pode-se observar que a área mais quente no recorte da imagem, com  $33^{\circ}\text{C}$ , abrange uma grande quantidade de solo exposto e blocos cobertos com concreto, o que implica em um aumento na temperatura da superfície local e consequentemente um aumento na temperatura do ar, ocasionando um desconforto térmico.



**Figura 23** – Ponto 2 indicativo de formação de ilhas de calor urbano.

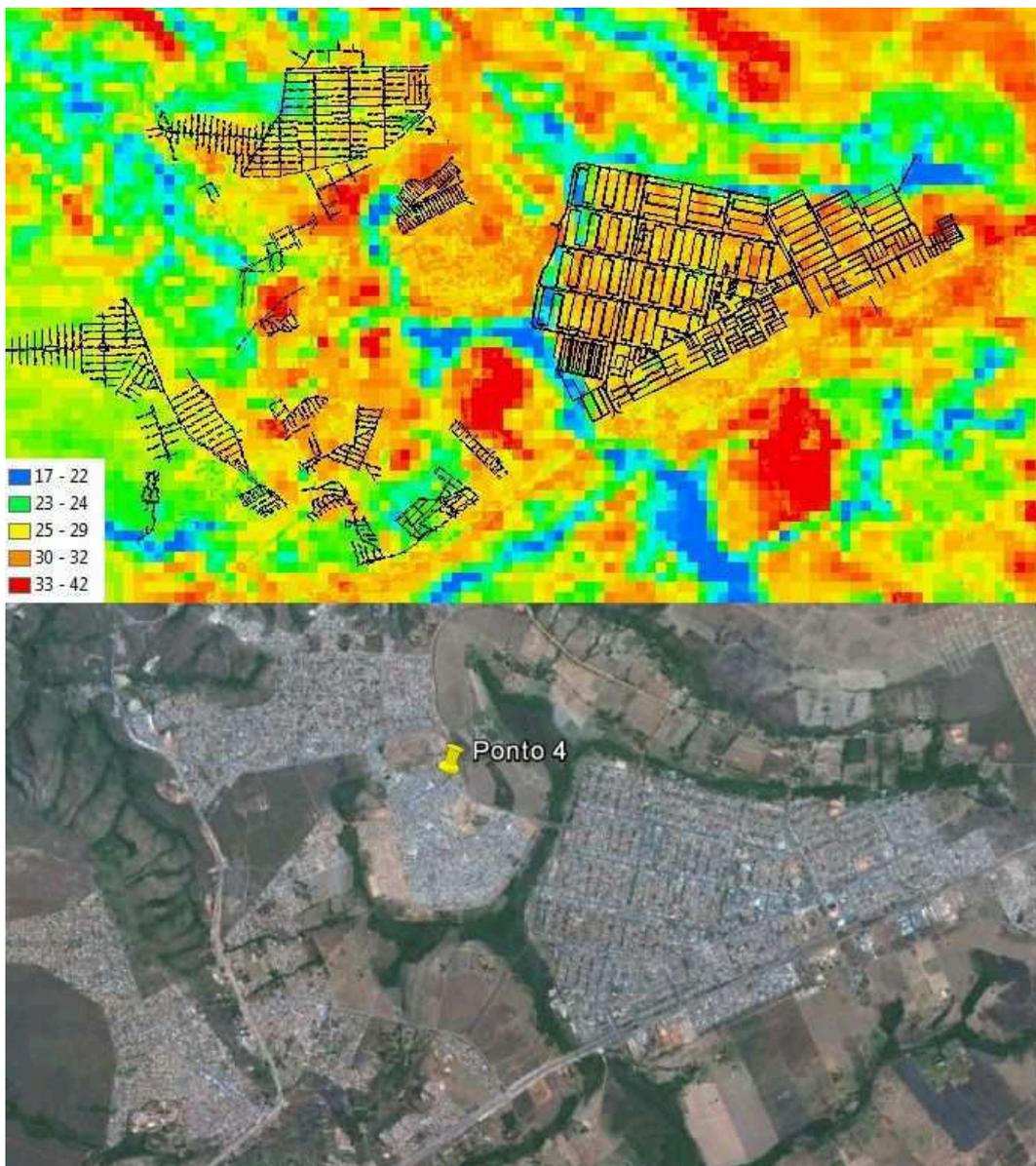
O terceiro ponto (Figura 24) foi observado na cidade satélite, Gama, visto que representa uma das áreas com menor índice de vegetação, entre as demais, e é circundada pela mata ciliar de um corpo hídrico e tem inserido dentro dele um parque, conhecido com Parque Urbano Norte. O círculo compreende toda a cidade da Gama, com um cenário apresentando áreas aquecidas entorno de  $34,7^{\circ}\text{C}$ , devido a ausência de vegetação, grande quantidade de solo exposto e uma área urbana concentrada.



**Figura 24** - Ponto 3 indicativo de formação de ilhas de calor urbano.

A Figura 25 representa o quarto ponto selecionado localizado no distrito de Sobradinho, com condições semelhantes a Figura 24, região próxima a uma mata ciliar, com uma expansão urbana notória, pouco índice de vegetação e uma grande quantidade de solo exposto e área urbana. As temperaturas dentro da cidade no momento da

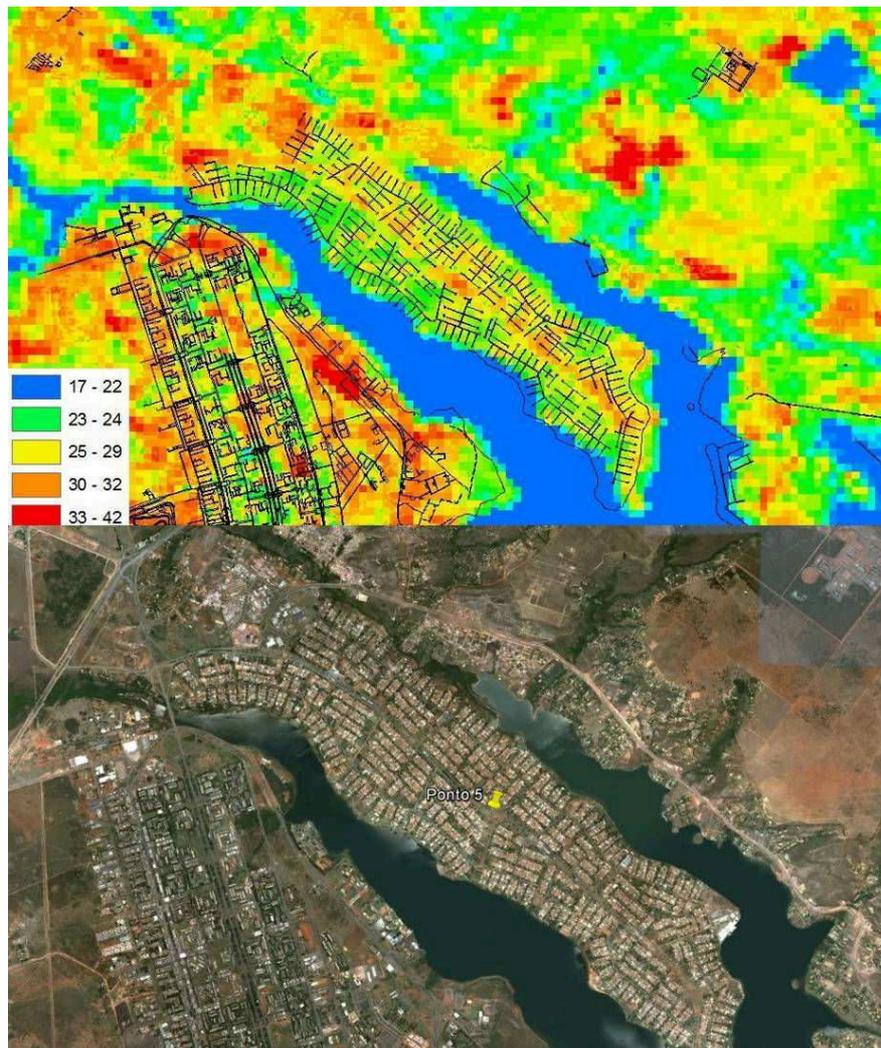
passagem do satélite foram de  $33,60^{\circ}\text{C}$ , e as áreas envoltas que possuem vegetação estavam em um intervalo de  $23$  a  $24^{\circ}\text{C}$ .



**Figura 25** – Ponto 4 indicativo de formação de ilhas de calor urbano.

O quinto ponto selecionado está inserido na asa norte, localizada entre as asas do Lago Paranoá, que apresentou uma suave indicação de formação do fenômeno ilhas

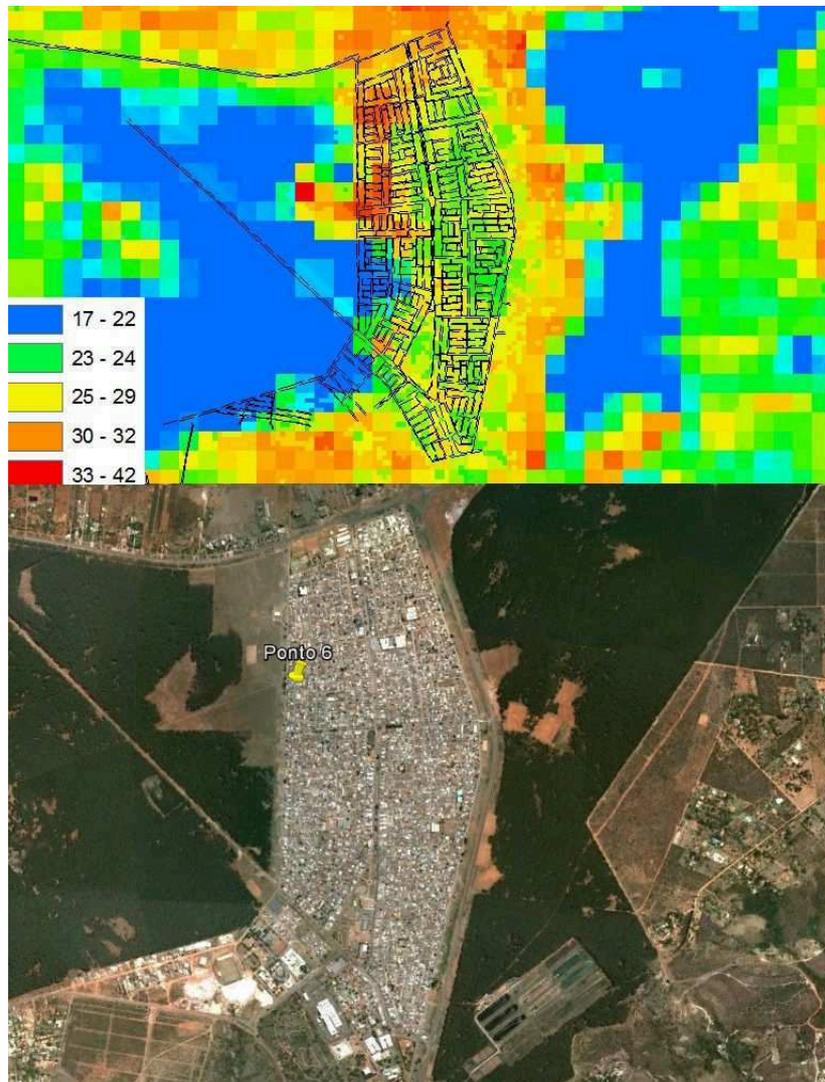
de calor, próximas ao canteiro central, como pode ser visto na Figura 26, o que denota que a substituição da cobertura do solo por asfalto e o crescimento natural das cidades modificam as temperaturas locais



**Figura 26** - Ponto 5 indicativo de formação de ilhas de calor urbano.

Na Figura 27 temos a representação espacial do sexto ponto, localizado entre as duas partes do parque de reserva ecológica, o Parque Tamanduá, indicando neste

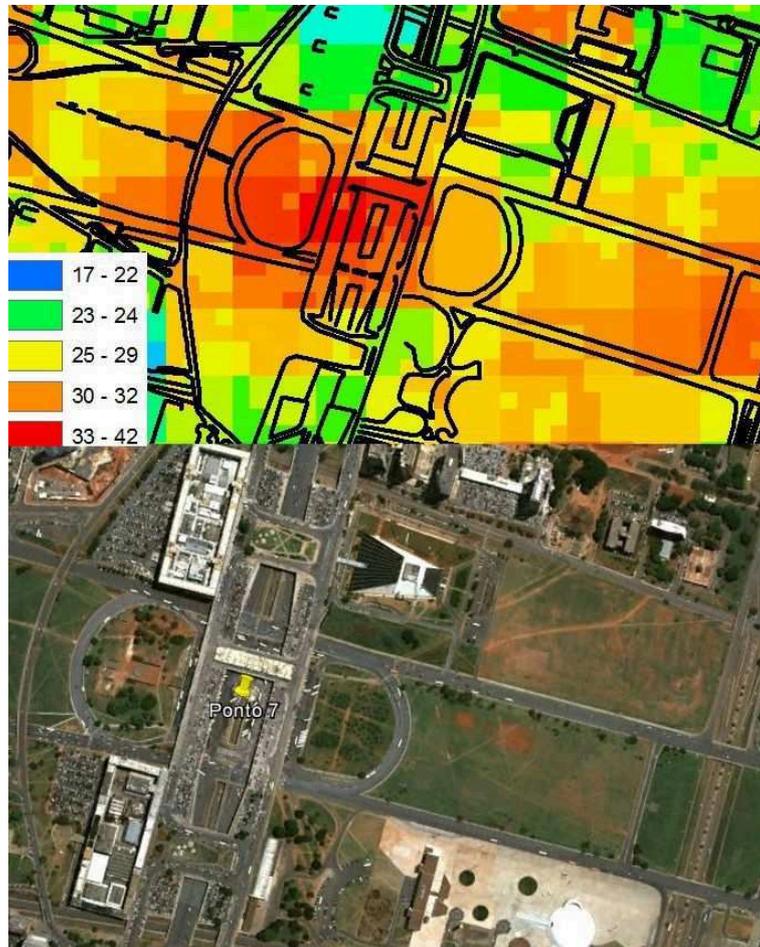
caso, que as áreas mais quentes estão próximas das edificações, como mostra o círculo envolvente.



**Figura 27** – Ponto 6 indicativo de formação de ilhas de calor urbano.

A Figura 28 representa o sétimo ponto observado, localizado entre as alas norte e sul, em uma larga via urbana, próximo a praça dos aposentados. O mapa de temperatura neste ponto apresentou superfícies com aproximadamente 34 °C e referem-

se às vias asfaltadas, cujas características principais, são a capacidade de armazenamento de calor e baixa refletância, sendo um forte indicativo de formação de ilhas de calor.

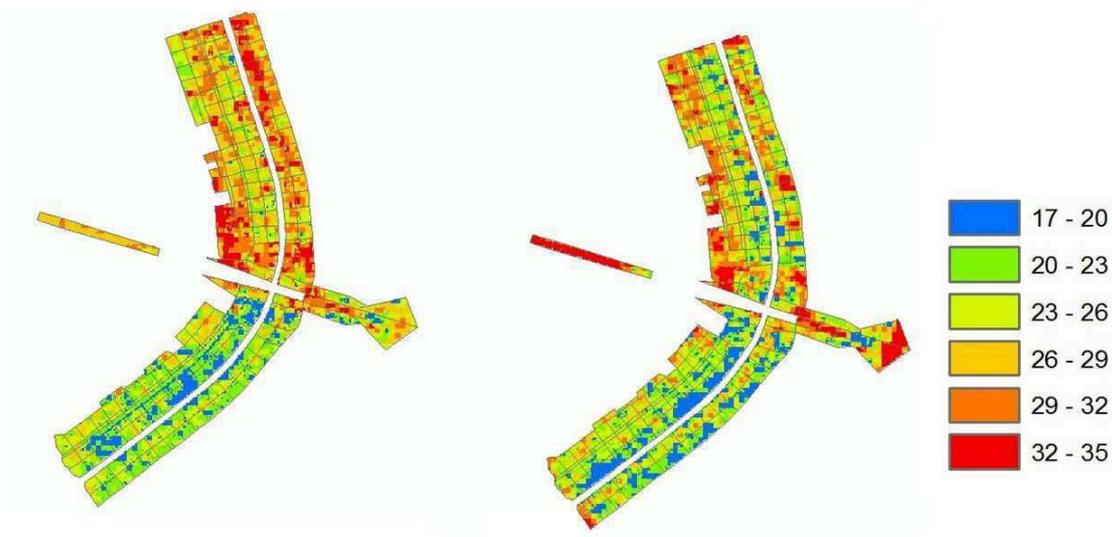


**Figura 28** – Ponto 7 indicativo de formação de ilhas de calor urbano.

Esses resultados concordam como os de Cunha et al., (2009) que observaram as temperaturas para a cidade de médio porte, Campina Grande - PB, para os anos de 1984, 1989 e 2007, no qual foi detectado um aumento de temperatura na área urbana no decorrer dos anos, devido ao fato do maior adensamento populacional e

consequentemente maior interferência das ações antrópicas nas alterações na cobertura do solo.

Na Figura 29 está representado o recorte do plano piloto de Brasília, com a espacialização da temperatura nos anos de 1987 e 2011 respectivamente. Onde foi permitido avaliar a diferença de temperatura durante os anos avaliados.



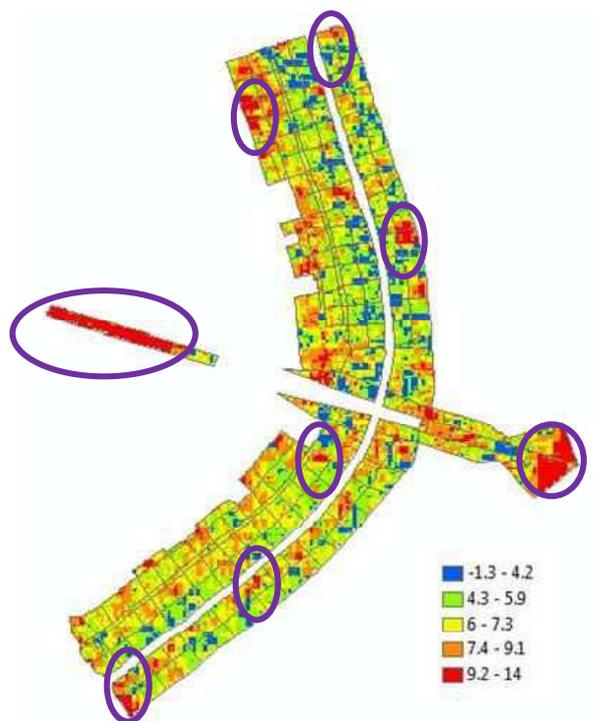
**Figura 29** – Recorte da espacialização da temperatura da superfície do plano piloto de Brasília – DF dos anos 1987 (a) e 2011 (b).

Este recorte facilita a compreensão na avaliação da dinâmica da temperatura de uma área planejada antes de sua execução, que antes da ocupação mais efetivada possuía um menor adensamento populacional. Os dados consultados no IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística fornecidos em último censo apresenta um aumento da população entorno de 500.000 pessoas, como mostra Tabela 8 os resultados dos censos 2000 e 2010 para Brasília -DF.

**Tabela 8** - Dados de população do Censo de 2000 e 2010. Fonte: IBGE (2011).

Município	Total da População em 2000	Total da População em 2010
Brasília - DF	2.051.146	2.562.963

Observando a Figura 30, tem-se o resultado de uma operação de subtração entre imagens de temperatura (Figura 29), onde as cores da legenda representam áreas que se tornaram mais aquecidas e áreas com temperaturas suavizadas.

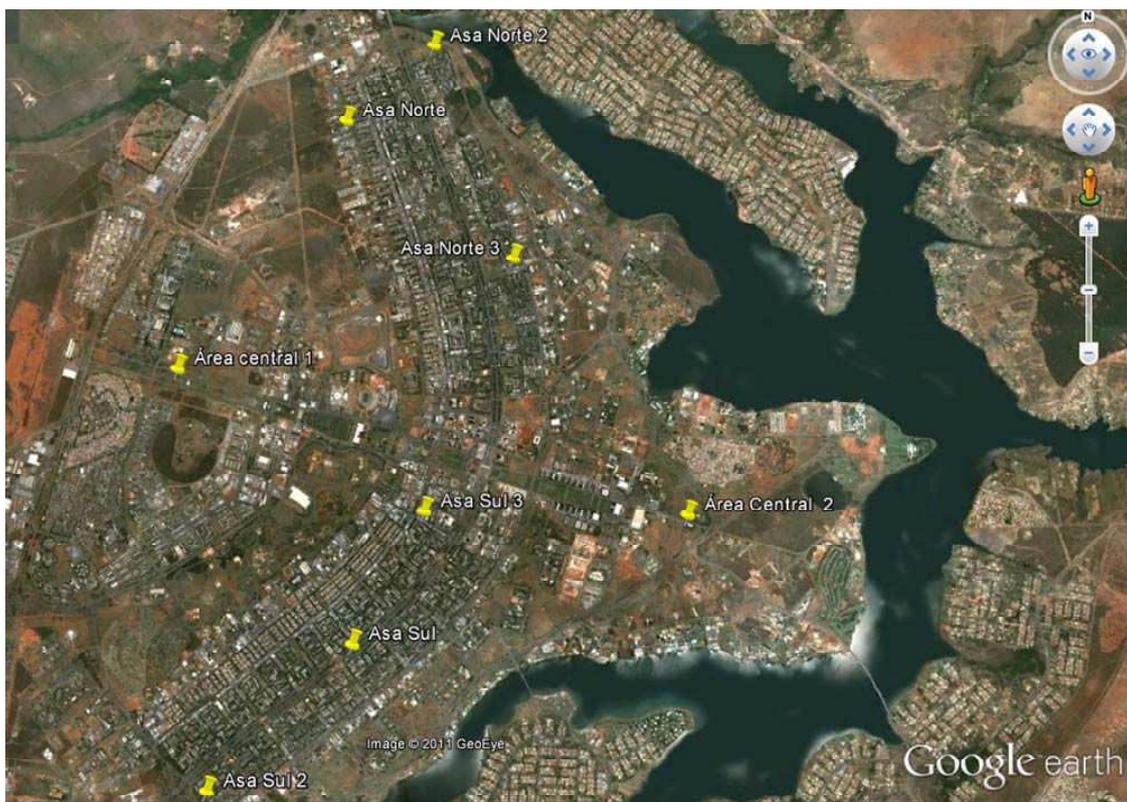


**Figura 30** – Recorte da espacialização da temperatura da superfície sobre operação de subtração entre os anos 1987 e 2011,

As áreas representadas pela cor azul foram áreas que as temperaturas se mantiveram frias ou reduziram a temperatura, devido a presença de vegetação que possui a área planejada de Brasília. Foram pontuados 8 (oito) marcadores distribuídos

pelo plano piloto, visto na Figura 31, para associar o resultado da temperatura com seu uso do solo.

As áreas circuladas na Figura 30 estão associadas à Figura 31, possuem três pontos circulados na Asa Norte, três pontos na Asa Sul e dois pontos na área central. As temperaturas estão apresentadas na cor vermelho e indicam um aumento de temperatura na ordem de 9 a 14<sup>0</sup>C, onde os componentes que constituem os pontos destacados são materiais do tipo asfalto, concreto e vários tipos de coberturas das edificações, salvo exceção o ponto de número dois da área central que possui como cobertura da área, solo desnudado.



**Figura 31** – Recorte da imagem do Google Earth do plano piloto no Distrito Federal.  
**Fonte:** Google Earth (2011).

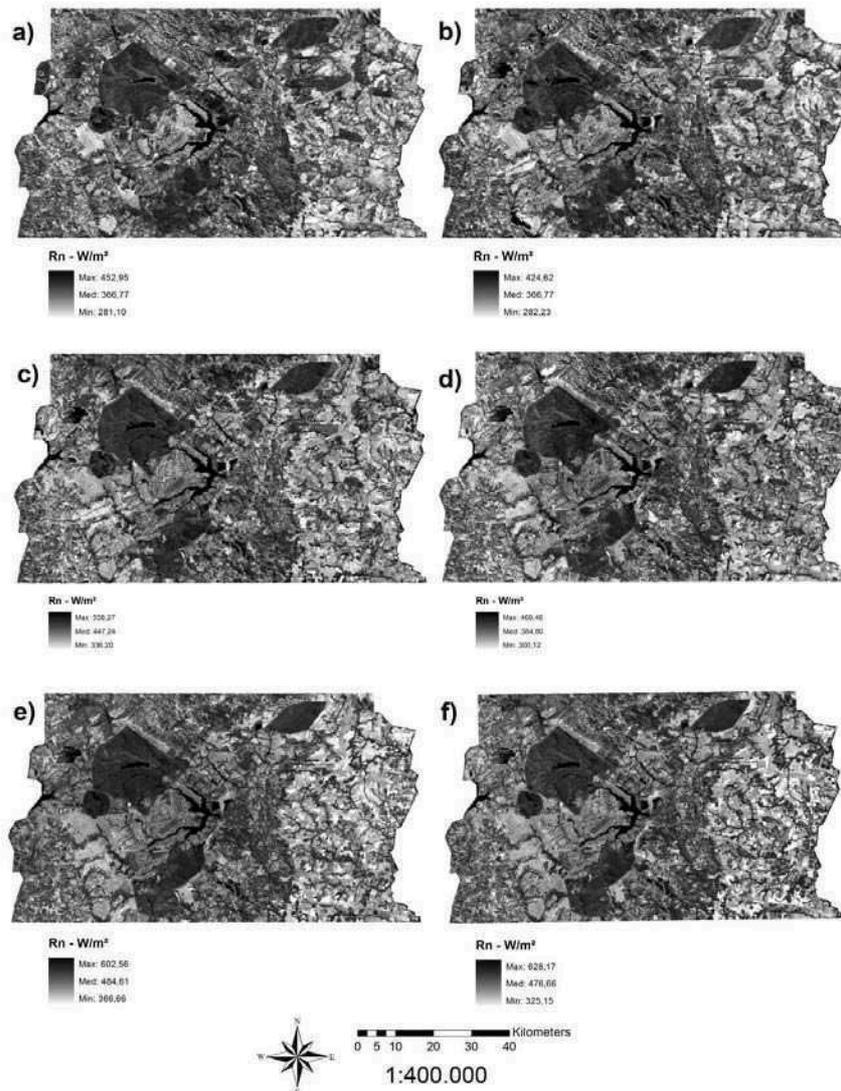
O saldo de radiação disponível à superfície (Rn) é usado na evapotranspiração, no aquecimento do solo e do ar e nas atividades fotossintética dos vegetais. No entanto, a sua variação ocorre em função de diversas características da própria superfície e da época do ano, dentre elas: a cobertura e uso do solo, albedo e temperatura do solo, dentre outras.

Observa-se que o Rn variou em média de 366,77 a 476.66  $\text{wm}^{-2}$ , visto na Tabela 9, sendo os maiores valores para os locais onde há corpos d'água, representados em um tom escuro e os menores em solo exposto (tom de cinza mais claro), no qual pode-se observar que coincide com as áreas com maiores valores de albedo, menores índices de vegetação e, conseqüentemente, menores Rn, devido a menor balanço de energia incidente no solo exposto.

**Tabela 9** – Variações do Saldo de Radiação (Rn) entre os anos de 1987 a 2011.

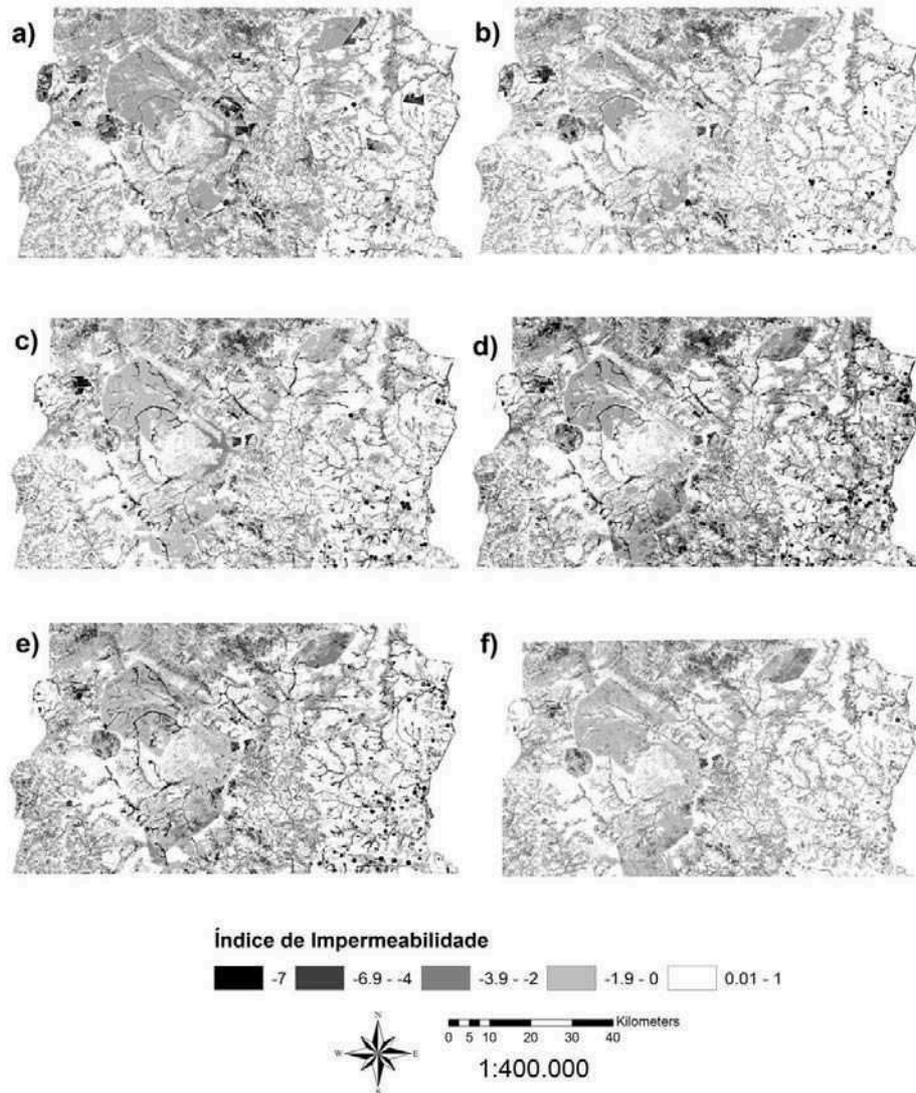
<b>Rn</b>					
<b>1987</b>	<b>1992</b>	<b>1997</b>	<b>2003</b>	<b>2008</b>	<b>2011</b>
366.77	366.80	447.24	384.80	484.61	476.66

Conforme apresentado na Figura 32, o saldo de radiação sofreu alterações ao longo dos anos de 1987 a 2011, sendo os dois últimos anos 2008 e 2011 o que apresentaram maiores valores de saldo de radiação, que se deve de certa forma a um aumento de áreas úmidas, visualizado no mapa de uso e ocupação do solo para o ano de 2011.



**Figura 32** – Distribuição espaço-temporal do saldo de radiação à superfície – Rn para os anos a) 1987, b) 1992, c) 1997, d) 2003, e) 2008 e f) 2011.

Os valores do índice de impermeabilidade apresentados na Figura 33 variaram entre -7 a 1, no qual os valores negativos foram atribuídos aos corpos hídricos, visto que a impermeabilidade é uma propriedade calculada em função da água.



**Figura 33** - Distribuição espaço-temporal da Área de Superfície Impermeável - ISA para os anos a) 1987, b) 1992, c) 1997, d) 2003, e) 2008 e f) 2011.

Quanto mais próximos os valores estiverem de 1 (um), mais impermeável é a área. Este índice é indicado para avaliar o crescimento das cidades, através de áreas modificadas pelo Homem.

A Tabela 10 apresenta os valores do ISA ao longo dos anos analisados e pontos escolhidos dentro da área de estudo para avaliar o comportamento do índice de

impermeabilidade nas classes de asfalto, água, cobertura das edificações, vegetação e solo exposto.

**Tabela 10** – Variações da Área de Superfície Impermeável (ISA) entre os anos de 1987 a 2011.

	<b>Área de Superfície Impermeável – ISA</b>					
	<b>1987</b>	<b>1992</b>	<b>1997</b>	<b>2003</b>	<b>2008</b>	<b>2011</b>
<b>Asfalto</b>	0,95	0,98	1,00	0,98	0,98	1,00
<b>Água</b>	-3,00	-2,3	-3,07	-2,45	-0,67	-0,37
<b>Cobertura das Edificações</b>	0,99	0,91	1,00	0,98	0,98	0,99
<b>Vegetação Densa</b>	-4,12	-3,98	-6,26	-3,35	-4,59	-4,48
<b>Vegetação de Pequeno Porte</b>	-0,11	-0,77	-0,16	-0,93	-0,66	-1,07
<b>Solo Exposto</b>	-0,90	-0,70	-0,80	-0,90	-0,64	-0,70

O índice de impermeabilidade referente à água, solo e vegetação obtiveram valores negativos ou nulos. Este comportamento ocorre pelas características físicas dos alvos analisados. Já o asfalto e a cobertura das edificações alcançaram valores próximos ou iguais a 1 (um), o que confirma que o índice de impermeabilidade é indicado para o estudo de áreas urbanas.

## 5 CONCLUSÕES

Conhecer a dinâmica do uso do solo e sua classificação pode ser de grande importância para a gestão do espaço urbano, visto que suas alterações podem acarretar mudanças no clima local. Neste contexto o sensoriamento remoto aparece como ferramenta promissora de estudos ambientais e climáticos. O estudo comprovou a eficiência da utilização de técnicas de processamento digital de imagens para avaliação do crescimento urbano.

Foi possível verificar que as áreas de vegetação, solo exposto, área urbana e água existentes durante o período avaliado sofreram modificações. Fato que pode ser verificado por meio dos mapas temáticos gerados e da quantificação das classes obtidas.

A análise conjunta do NDVI e da temperatura à superfície permitiu uma avaliação preliminar das mudanças ambientais, com forte indicativo de alterações no clima local.

A confecção de mapas de uso e ocupação do solo apresentaram valores satisfatórios, no caso da área urbana, houve uma expansão de 11,84%, valores estes que corroboraram com o aumento populacional de 511.817 indicado pelo último censo do IBGE em 2010.

Os resultados indicaram que a expansão do espaço urbano contribuiu para um aumento significativo nas temperaturas ao longo dos anos, no plano piloto, permitindo criar ambientes propícios a formações de ilhas de calor urbano.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R.G.; TASUMI, M.; TREZZA, R.; WATERS, R. Metric- Mapping evapotranspiration at high resolution and using internalized calibration. Advanced Training and Users Manual. Version 1.0. 2002.

ARAÚJO, J.FENANDES; HARIDASAN, MUNDAYATAN. Relação entre deciduidade e concentrações foliares de nutrientes em espécies lenhosas do cerrado. In: **Revista Brasileira de Botânica**. V.30, N.3 São Paulo July/Sept. 2007.

CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. S. **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de textos, 2009.

AMORIM, M. C. Ilhas de calor em Birigui/SP. In: **Revista Brasileira de Climatologia**. V. 1, 121-130. 2005.

AYOADE, J. O. **Introdução à Climatologia para os Trópicos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil SA, 1996.

BORGES, M. H.; PFEIFER R. M; DEMATTÊ J. A. M. Evolução e mapeamento do uso da terra, através de imagens aerofotogramétricas e orbitais em Santa Bárbara D'Oeste (SP). In: **Scientia agrícola**, v. 50, págs. 365-371 out./dez., 1993.

CARLSON, T. N., & ARTHUR, S. T. The impact of land use — land cover changes due to urbanization on surface microclimate and hydrology: a satellite perspective. In: **Global and Planetary Change**. V. 25. Págs. 49-65. 2000.

CARNEIRO, D. P., GENARI, H. F., MIYASATO, H. H., & MARTINS, R. J. Ilhas de calor no campus da Unicamp. In: **Revista Ciências do Ambiente**. V. 3. Págs. 43-48. 2007.

CUNHA, J. B. L., RUFINO, I. A. A., IDEIÃO, S. M. A., Determinação da temperatura de superfície na cidade de Campina Grande-PB a partir de imagens do satélite Landsat

5-TM. **XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, INPE, p. 5717-5724. 2009.

**Landsat 5 TM - Ficha Técnica Resumida.** Disponível em <<http://www.engesat.com.br/?system=news&action=read&id=528>>. Acesso em 18 de maio de 2011.

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

GARTLAND, L. **Ilhas de Calor**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente**. São José dos Campos: Editora Parêntese, 2009.

KOENIGSBERGER, O H., INGERSOLL, T.G., MAYHEW, A e SZOKOLAY, S. V. **Manual of Tropical Housing**. Nova York, 1980. 4ed.

LILESAND, T. M., KIEFER, R. W., & CHIPMAN, J. W. **Remote sensing and image interpretation**. John Wiley & Sons, 1995.

MACHADO, C.C.C.; GALVÍNCIO, J.D., PEREIRA, E.C.G. Utilização do IVAS e da Temperatura da superfície para análise multitemporal das mudanças ambientais no Parque Natural da Serra da Estrela (Portugal). **VI Seminário Latino Americano de Geografia Física II Seminário Ibero Americano de Geografia Física Universidade de Coimbra**, Maio de 2010.

MACIEL, A. **Projeto bioclimático em Brasília: Estudo de caso em edifício de escritórios**. Dissertação. Mestrado em Engenharia Civil. Pós- graduação em Engenharia Civil. UFSC, Santa Catarina, Brasil. 2002, 138 p.

MENDONÇA, F., & DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia - Noções Básicas e Climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de textos. 2007.

MONTEIRO, C. A.; MENDONÇA, F. **Clima Urbano**. São Paulo: Contexto. 2009.

NICHOL, J. E., FUNG, W. Y., LAM, K.-S., & WONG, M. S. Urban heat island diagnosis using ASTER satellite images and 'in situ'. In: **Atmospheric Research**. V. 94. Págs. 276-284. 2009.

NÓBREGA, R. S.; VITAL, L. A. Influência da Urbanização sobre o Microclima de Recife e Formação de Ilha de Calor. **Revista Brasileira de Geografia Física** V. 3. págs 151-156. 2010.

NOVO, E. M. Sensoriamento Remoto - Princípios e Aplicações. São Paulo: Blucher. 2010.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. São José dos Campos: Parêntese. 2009.

QUEIROZ, C. J. de. Análise de Transformações Geométricas para o Georreferenciamento de Imagens do Satélite CBERS-I. Dissertação de Mestrado. UFRGS - CEPSRM, 2003.

ROSA, R.A. Utilização de imagens TM/LANDSAT em levantamento de uso do solo. In: **VI Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto**, 6., Manaus, 1990, Anais... São José dos Campos, INPE. v.2, p.419-425. 1990.

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. Uberlândia: EDUFU. 2007.

SILVA, A. M. **Curso Processamento digital de imagens de satélite**. Centro de Eventos da PUCRS - de 07 a 12 de outubro de 2001. Porto Alegre - RS. Disponível em [www.cartografia.org.br](http://www.cartografia.org.br). Acesso em: 19 out. 2011.

SILVA, B. B.; BEZERRA, M. V.; BRAGA, A. C.; SILVA, S. T. Obtenção do albedo de áreas irrigadas e de vegetação nativa. **III Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto**. 2006.

Silva, G. J. F.; Marcola, M. B. Avaliação espaço-temporal da cobertura vegetal na bacia hidrográfica do Rio Miriri-PB. **XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba, PR, Brasil, INPE p.1803. 2011.

SILVA, T. G., MOURA, M. S., SÁ, I. I., Z., S., N.TURCO, S. H., JUSTINO, F., et al. Impactos das Mudanças Climáticas na Produção Leiteira do Estado de Pernambuco: Análise para os Cenários B2 e A2 do IPCC. In: **Revista Brasileira de Meteorologia**. V. 24. págs 489-501. 2009.

CAMARA, G., SOUZA, R. C. M., FREITAS, U. M., GARRIDO, J . SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. In: **Computers & Graphics**. v 20. págs 395-403. May-Jun, 1996.

VALVERDE, M. C.; MARENGO, J. A. Mudanças na circulação atmosférica sobre a américa do sul para cenários futuros de clima projetados pelos modelos globais do IPCC AR4. **Revista Brasileira de Meteorologia**. V. 25. Págs. 125 - 145. 2010.

VOOGT, J.; OKE, T. Thermal remote sensing of urban climates. **Remote Sensing of Environment**. V. 86. págs 370–384. 2003.

XIAN, G.; CRANE, M. An analysis of urban thermal characteristics and associated land cover in Tampa Bay and Las Vegas using Landsat satellite data. **Remote Sensing of Environment**. V. 104. págs 147–156. 2006.