



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE - UFCG
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS - CTRN
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS - UACA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA - PPGMET

DISSERTAÇÃO

**RELAÇÃO ENTRE ILHAS DE CALOR URBANO E MUDANÇAS NO USO
DA TERRA: UM ESTUDO DE CASO PARA MANAUS - AM**

RENATA DE ARAÚJO RAFAEL

Campina Grande - PB

2014

RENATA DE ARAÚJO RAFAEL

**RELAÇÃO ENTRE ILHAS DE CALOR URBANO E MUDANÇAS NO USO DA
TERRA: UM ESTUDO DE CASO PARA MANAUS - AM**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Mestre em Meteorologia.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Antonio Costa dos Santos

Área de Concentração: Meteorologia de Meso e Grande Escalas

Sub-área: Radiação e Sensoriamento Remoto

Campina Grande – PB

2014

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

- | | |
|-------|---|
| R136r | <p>Rafael, Renata de Araújo.
 Relação entre ilhas de calor urbano e mudanças no uso da terra : um estudo de caso para Manaus – AM / Renata de Araújo Rafael. – Campina Grande, 2014.
 121 f. : il.</p> <p>Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2014.</p> <p>"Orientação: Prof. Dr. Carlos Antonio Costa dos Santos".
 Referências.</p> <p>I. Uso/Ocupação do Solo – Meteorologia. 2. Temperatura. 3. Expansão Urbana. 4. Ilhas de Calor Urbano. I. Santos, Carlos Antonio Costa dos.
 II. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU 551.5:332.34(043)</p> |
|-------|---|

RENATA DE ARAÚJO RAFAEL

RELAÇÃO ENTRE ILHAS DE CALOR URBANO E MUDANÇAS NO USO DA
TERRA: UM ESTUDO DE CASO PARA MANAUS-AM

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 15/08/2014

BANCA EXAMINADORA



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



Prof. Dr. JOSÉ IVALDO BARBOSA DE BRITO
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande



Prof. Dr. RIDELSON FARIAS DE SOUSA
Cursos Superiores de Tecnologia em Geoprocessamento
Instituto Federal de Educação

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, porque sem Ele nada poderia fazer. E ao meu marido por todo amor, companheirismo e por incentivar-me sempre em todos meus projetos.

AGRADECIMENTOS

Acima de tudo e de todos agradeço a Deus por me capacitar e estar comigo em todos os momentos, em especial neste, por ter me ajudado na conclusão desta etapa.

Ao meu marido Bruno Cabral, pela compreensão, companheirismo e amor imensurável.

Aos meus pais, por todo amor e carinho que dedicaram a mim, por sempre incentivarem meus estudos, por toda dedicação que tiveram não apenas neste período, mas em toda a minha existência.

A todos os professores do programa de Pós Graduação em Meteorologia, em especial ao professor Dr. Carlos Antonio C. dos Santos por ter me orientado nesta pesquisa. E a professora Célia, por ter participado da qualificação.

Ao professor e amigo Thyago Silveira (IFPB), por todo encorajamento e palavras sábias.

A minhas companheiras de vida Alzira Gabrielle, Anna Raquel, Thaís Benevides, obrigada por vossas palavras de ânimo e orações.

Aos professores, Dr. Ridelson Farias de Sousa (IFPB) e Dr. Ivaldo Brito (UFCEG), por terem aceitado o convite para serem membros da banca examinadora.

A CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior), pelos recursos financeiros concedidos durante o curso.

A Coordenação da Pós-Graduação em Meteorologia, em especial a Divanete Rocha da Cruz, secretária da coordenação, pelo apoio e amizade.

Aos amigos que fiz em Campina Grande, em especial, Erickson Melo, Daris
Correia e Júlio Diniz.

E a todos que contribuíram direta ou indiretamente na realização deste trabalho.

Muito Obrigada!

“O sábio ouvirá e crescerá em conhecimento, e o entendido adquirirá sábios conselhos.”

(Provérbios 1:5)

RESUMO

O crescimento das cidades veio acompanhado de alguns problemas que causam prejuízos ao meio ambiente, tais como: inundações, erosão, aumento dos resíduos sólidos, assoreamento de reservatórios, poluição da água e alterações no clima local ou regional. A mudança na paisagem natural das cidades, quando associadas à poluição resulta no aumento da temperatura, ocasionando assim um grande desconforto térmico e gerando as chamadas ilhas de calor urbano (ICU). Dar-se então a necessidade de estudar a expansão urbana de alguns municípios. Por isso, o objetivo deste trabalho é de investigar os impactos das mudanças no uso/ocupação do solo no município de Manaus, no período compreendido entre 1990 a 2009, sobre a temperatura e o padrão espacial das possíveis ICU. Utilizando imagens de satélite dos anos de 1990, 1997, 2003 e 2009, para obtenção da temperatura de superfície. A quantificação das áreas foi feita a partir da classificação supervisionada. Foram usados ainda dados de temperatura do ar de uma estação meteorológica do INMET. E índices como NDVI, NDWI, NDBI e NDBaI. Para analisar as relações entre os índices e a temperatura foram gerados os diagramas de dispersão. Verificou-se que no ano de 1990 havia mais vegetação no período. A área urbana passou de 17,87% no ano de 1990 para 25,20% em 2009. Confirmou-se que o ano de 2009 apresentou valores mais elevados de temperatura para as imagens estudadas. Os centros de alta temperatura foram consistentes com a área urbana. As temperaturas mais baixas ficaram na classe de água.

Palavras-chave: Ilhas de calor urbano, temperatura, expansão urbana, uso/ocupação do solo.

ABSTRACT

The growth of cities was accompanied by some problems that causing environmental damage such as flooding and erosion and increasing solid waste reservoir sedimentation water pollution and changes in local or regional climate. The changes in natural cities landscape when together the pollution it results in increased temperature thus causing great discomfort and heat generating the Urban heat Islands (UHI). Then give up the need to study urban sprawl of some municipalities. Therefore the main aim of this work is investigate the impacts and changes in land use or land cover in the city of Manaus in the period about 1990-2009 on the temperature and the spatial pattern of potential UHI. Using satellite images about the years 1990, 1997, 2003 and 2009, to obtain the surface temperature. The quantification of the areas was taken from the supervised classification. Still air temperature data from a weather station INMET were used. And indices as NDVI, NDWI, and NDBI NDBaI. To analyze the relationships between the indices and the temperature scatter plots were generated. It was found that in 1990 there were more vegetation period. The urban area growth from 17.87% in 1990 to 25.20% in 2009 and was confirmed that the year 2009 had high values of temperature for the studied images. The centers of high temperature were consistent with the urban area. The lower temperatures were in the water class.

KeyWord: urban heat islands, temperature, urban sprawl, use and land cover.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Obtenção de imagens por sensores orbitais	24
Figura 2: Localização do município de manaus-am, no Brasil.	32
Figura 3: Composição colorida 5(r), 4(g) e 3(b) do landsat 5 sensor tm	34
Figura 4: Composição colorida 543-rgb do município de manaus. (a) 1990, (b) 1997, (c) 2003 e (d) 2009.	40
Figura 5: Imagem de uso/ocupação do solo do ano de 1990 (a) e 1997 (b) e distribuição espacial da temperatura, em °c, nos anos de 1990 (c) e (d) 1997.	46
Figura 7: Temperatura média de diferentes tipos de classes de uso do solo para o ano de 2009. E= estrada, a.d= alta densidade de edificações, s.= solo, b.d.= baixa densidade de edificações, v.d.= vegetação densa, v.=vegetação, á.= água.	48
.....	Erro! Indicador não definido.
Figura 8: Distribuição temporal da temperatura do ar anual (a) e média mensal (b) de 1990 a 2009, valor médio calculado com dados de estação meteorológica do inmet. ...	49
Figura 9: Distribuição espacial do ndvi ao longo do período. (a) 1990, (b) 1997, (c) 2003 e (d) 2009.	50
Figura 10: Distribuição espacial do ndwi ao longo do período. (a) 1990, (b) 1997, (c) 2003 e (d) 2009.	51
Figura 11: Distribuição espacial do ndbi ao longo do período. (a) 1990, (b) 1997, (c) 2003 e (d) 2009.	52
Figura 12: Distribuição espacial do ndbai ao longo do período. (a) 1990, (b) 1997, (c) 2003 e (d) 2009.	52
Figura 13: As relações entre temperatura, em °c, e valores médios dos índices. (a) ndvi e da temperatura, (b) ndwi e temperatura, (c) ndbi e temperatura, (d) ndbai e temperatura.	54

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Principais características do TM do LANDSAT 5.....	25
Quadro 2 : Características e efeitos do balanço de energia sobre a superfície terrestre.	28
Quadro 3: Cenas TM-Landsat-5 utilizadas no estudo.	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Percentual dos diferentes tipos de uso/ocupação do solo no período (1990-2009).....	41
Tabela 2: Valores absolutos em hectares dos diferentes tipos de uso/ocupação do solo no período (1990-2009).....	41
Tabela 3: Dados de população do Censo de 1991, 2000 e 2010. Fonte: IBGE (2014).	42
Tabela 4: Variações da temperatura do ar: máxima, mínima e média, entre os anos de 1990 a 2009.	43
Tabela 5: Diferença de temperatura de superfície entre diferentes classes em Manaus (°C). AU-A a área urbana e a água; AU-VD a área urbana e a vegetação densa; AU-V a área urbana e a vegetação; AU-SE a área urbana e o solo exposto; AU-SSE a área urbana e o solo semi-exposto.	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AM- Amazônia

DN- Número Digital

HAB- Habitantes

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INMET- Instituto Nacional de Meteorologia

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

ICU – Ilhas de calor urbano

LANDSAT – Land Remote Sensing Satellit

MAXVER- Máxima Verossimilhança

NDBaI- Índice de Nudez do Solo por Diferença Normalizada

NDBI- índice de área construída por diferença normalizada

NDVI- índice de vegetação por diferença normalizada

NDWI- índice de água por diferença normalizada

PIB- Produto Interno Bruto

RGB – *Red, Green, Blue*

SIG- Sistema de Informações Geográficas

SUFRAMA- Superintendência da Zona Franca de Manaus

TM – *Thematic Mapper*

UFMG- Universidade Federal de Campina Grande

UTM – Universal Transversa de Mercator

ZFM- Zona Franca de Manaus

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	16
2.1 - OBJETIVO GERAL	19
2.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
3.1 - EXPANSÃO URBANA EM MANAUS	20
3.2 – O USO DO SENSORIAMENTO REMOTO EM ESTUDOS DE ILHAS DE CALOR URBANO.....	22
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	31
4.1 - Localização da área de estudo	31
4.2 – Dados.....	32
4.3 - Pré- processamento das imagens.....	33
4.4 - OBTENção da temperatura DA SUPERFÍCIE.....	35
4.5-Derivação de NDVI, NDWI, NDBI e NDBaI.....	36
4.6- Classificação supervisionada.....	38
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
5.1- CARACTERIZAÇÃO DO USO/OCUPAÇÃO DO SOLO	40
5.2- VARIAÇÃO DE TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE SOBRE DIFERENTES USOS/OCUPAÇÕES DO SOLO.....	42
5.3- RELAÇÃO ENTRE TEMPERATURA E OS ÍNDICES (NDWI, NDVI, NDBI E NDBaI)	49
6. CONCLUSÃO.....	55
6. REFERÊNCIAS	56

1. INTRODUÇÃO

Após o acontecimento da Revolução Industrial, as pessoas passaram a se concentrar nas cidades, que viraram polos, onde se concentram as principais atividades de uma região.

O crescimento espontâneo das cidades tem gerado diversos problemas, acarretando em drásticas consequências sofridas por grande parte da população. Para Pachêco e Ribas (1998) esse processo de urbanização tem gerado diversos problemas ambientais, tais como inundações, erosão, aumento dos resíduos sólidos, assoreamento de reservatórios e poluição da água, que somadas a outros problemas sociais, configuram algumas das consequências do uso inadequado da terra, que terminam por influenciar na qualidade de vida da população residente.

O crescimento urbano pode ainda gerar alterações no clima local ou regional. Segundo Oke (1987), extensas superfícies urbanizadas modificam os processos do balanço de energia e água e influenciam a dinâmica do movimento do ar. A mudança na paisagem natural das cidades, a exemplo da substituição de vegetação por áreas construídas, pavimentação asfáltica, que são elementos de alta condutibilidade e quando associadas à poluição resultam no aumento da temperatura, ocasionando assim um grande desconforto térmico e gerando as chamadas ilhas de calor urbano (ICU). Arya (2001) definiu ICU como sendo o aumento da temperatura da superfície e do ar de uma determinada área urbana, em relação a uma área rural ou suburbana.

A urbanização quando planejada pode trazer significativos benefícios à população, uma vez que a expansão desordenada compromete a capacidade dos gestores públicos na tomada de decisão, no sentido de oferecer infraestrutura básica. O zoneamento urbano e ambiental pode determinar a melhor forma de uso de ocupação da

terra, de modo a garantir a qualidade de vida da população local e do ecossistema urbano.

As imagens de sensoriamento remoto possibilitam obter informações de usos da terra, de forma a projetar seu controle no futuro. Alguns índices como: NDVI, NBDI, NDBaI e NDWI também são utilizados para caracterizar o uso da terra e estudar as relações entre uso da terra e ICU. Os dados de sensoriamento remoto, juntamente com os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são importantes, pois permitem a confecção de mapas para o acompanhamento da evolução urbana dos municípios, viabilizando um entendimento mais profundo da realidade, podendo auxiliar na tomada de decisão através da análise espacial.

Nos últimos anos muitos estudos tem se voltado a pesquisar o fenômeno das ICU. Um dos primeiros estudos nesse sentido aconteceu em 1964 na área urbana ao sul de Cingapura (NIEUWOLT, 1966). As cidades brasileiras acompanham a tendência de aglomeração nos centros urbanos. Segundo dados do IBGE, do último censo de 2010, mais de 84% da população brasileira vivem em áreas urbanas.

Para entender a dinâmica do processo de urbanização do município de Manaus, se faz necessário, um estudo, no histórico da criação da Zona Franca de Manaus (ZFM). A cidade de Manaus está localizada na região central da maior floresta tropical do mundo na atualidade. De acordo com dados do censo de 2010, Manaus é a cidade mais populosa da região norte (IBGE, 2010). Com a criação da ZFM no ano de 1960, houve um crescimento populacional na região, devido à migração de trabalhadores em busca de oportunidades de emprego. Transformando assim Manaus em um grande polo de concentração de pessoas e atividades da zona norte do país. Em se tratando de um município de tamanha relevância, se faz necessários estudos que possam colaborar com o desenvolvimento da região. O aumento da temperatura de superfície em Manaus foi

constatado pelo estudo de Cavalho et al.(2013), onde verificou ainda o crescimento da área ocupada da cidade em detrimento da área de vegetação.

Uma vez confirmada nesse estudo a ICU, nas áreas de maior concentração urbana, no município de Manaus, espera-se que sejam realizadas ações no sentido de amenizar o desconforto térmico e ainda no sentido de orientar os vetores de uso/ocupação do solo, levando melhorias na qualidade de vida da população do município.

2. OBJETIVOS

2.1 - OBJETIVO GERAL

O objetivo da pesquisa é investigar os impactos das mudanças no uso/ocupação do solo na região de Manaus, no período compreendido entre 1990 a 2009, sobre a temperatura e o padrão espacial das possíveis ICU formadas no município.

2.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Examinar o padrão espacial de uso do solo, quantificando suas mudanças ao longo do período estudado;
- Obter temperaturas de superfície a partir do Landsat 5-TM dos anos de 1990, 1997, 2003 e 2009;
- Obter os índices NDVI, NDWI, NDBI e NDBaI para investigar sua relação com a temperatura;
- Investigar a relação entre temperatura de superfície e uso/ocupação do solo no município de Manaus;

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 - EXPANSÃO URBANA EM MANAUS

Como dito anteriormente, a compreensão da expansão urbana de Manaus, passa, primeiramente, pela criação da Zona Franca de Manaus (ZFM). A ZFM foi estabelecida pela Lei Nº 3.173 de 06 de junho de 1957, como Porto Livre. É um modelo de desenvolvimento econômico implantado pelo governo brasileiro objetivando viabilizar uma base econômica na Amazônia Ocidental, promover a melhor integração produtiva e social dessa região ao país, garantindo a soberania nacional sobre suas fronteiras. A mais bem-sucedida estratégia de desenvolvimento regional, o modelo leva à região de sua abrangência (estados da Amazônia Ocidental: Acre, Amazonas, Rondônia e Roraima e as cidades de Macapá e Santana, no Amapá) desenvolvimento econômico aliado à proteção ambiental, proporcionando melhor qualidade de vida à sua população (SUFRAMA, 2013).

Segundo a Superintendência da Zona Franca de Manaus (2013), após dez anos da criação da ZFM o governo federal por meio do Decreto-Lei Nº 288, de 28 de fevereiro de 1967 ampliou essa legislação e reformulou o modelo, estabelecendo incentivos fiscais por trinta anos para implantação de um polo industrial, comercial e agropecuário na Amazônia. Configurado em quatro fases distintas até chegar a fase atual. A primeira fase de 1967 a 1975 a política industrial de referência no país caracterizava-se pelo estímulo à substituição de importações de bens finais e formação de mercado interno. A segunda fase compreendeu o período de 1975 a 1990, nessa fase, a política industrial de referência no país caracterizava-se pela adoção de medidas que fomentasse a indústria nacional de insumos, sobretudo no Estado de São Paulo. A terceira fase compreendeu os anos de 1991 e 1996. A edição da Lei 8.387 de 30 de dezembro de 1991, estabeleceu profundas mudanças no modelo ZFM. O modelo ZFM foi obrigado a adaptar-se à nova

política industrial de referência do país. Nessa fase, entrou em vigor a Nova Política Industrial e de Comércio Exterior, marcada pela abertura da economia brasileira, redução do Imposto de Importação todo país. A quarta fase compreendeu o período de 1996 a 2002 em que a política industrial de referência do país caracterizava-se por sua adaptação aos cenários de uma economia globalizada e pelos ajustes demandados pelos efeitos do Plano Real. Foi instituído, assim, o atual modelo de desenvolvimento, que engloba uma área física de 10 mil km², tendo como centro a cidade de Manaus e está assentado em incentivos fiscais e extrafiscais, instituídos com objetivo de reduzir desvantagens locacionais e propiciar condições de melhorias do processo de desenvolvimento da área incentivada.

A ZFM compreende três polos econômicos: comercial, industrial e agropecuário. O primeiro teve maior ascensão até o final da década de 80, quando o Brasil adotava o regime de economia fechada. O segundo é considerado a base de sustentação da ZFM. O polo Industrial de Manaus possui aproximadamente seiscentas indústrias de alta tecnologia gerando mais de meio milhão de empregos, diretos e indiretos, principalmente nos segmentos de eletroeletrônicos, duas rodas e químico. Entre os produtos fabricados destacam-se: aparelhos celulares, áudio e vídeo, televisores, motocicletas, concentrados para refrigerantes, entre outros. O terceiro polo o Agropecuário, abriga projetos voltados às atividades de produção de alimentos, agroindústria, piscicultura, turismo, beneficiamento de madeira, entre outras (SUFRAMA, 2013).

O entendimento sobre a ZFM é importante no ponto de vista de esclarecimentos sobre questões fundamentais e peculiares sobre a área em estudo, a partir daí, pode-se concentrar no foco do trabalho e suas discussões. Atribui-se a criação da ZFM o crescimento da população do município de Manaus, que passou de 473.545 habitantes

em 1970 para aproximadamente 1.802.014 habitantes em 2010, e uma porção significativa de 1.792.881 habitantes o que representa 99% da população esta concentrada na área urbana do município (IBGE, 2010).

A economia gerada no Polo Industrial confere a Manaus o 6º maior Produto Interno Bruto (PIB) entre as capitais brasileiras (IBGE, 2010). Para Jesus e Aguiar (2011) se por um lado os ganhos econômicos projetam Manaus como o 6º PIB entre as capitais brasileiras devido ao Polo Industrial, por outro as condições de vida dos residentes nas zonas rurais e a falta de emprego em estados próximos ao Amazonas constituem fator de expulsão rumo à capital amazonense. Tal fato corrobora para um inchaço na área urbana do município, exigindo maior atenção em políticas de planejamento urbano.

De acordo com Correia e Souza (2012), as modificações sucedidas principalmente na superfície do solo, devido a grande expansão de ocupação populacional na cidade de Manaus e substituição das florestas por material de concreto, alteraram o meio ambiente urbano, ocasionando o fenômeno de ilha de calor urbano. Devido a esse elevado crescimento populacional, os centros urbanos, principalmente na região amazônica, estão sofrendo com a falta de planejamento urbano, o deficiente ordenamento territorial e seu errôneo modelo de desenvolvimento.

3.2 – O USO DO SENSORIAMENTO REMOTO EM ESTUDOS DE ILHAS DE CALOR URBANO

3.2.1 - Sensoriamento Remoto

Os sensores de satélites que hoje são modernos e nos auxiliam nos mais diversos campos da ciência, nem sempre foram assim. Para se chegar ao nível dos sensores atuais necessitou-se de muitos estudos. O primeiro registro de um sensor remoto foi uma

fotografia feita a partir de um balão fixo, no ano de 1858, pelo francês Gaspard Félix Tournachon. Segundo Jensen (2009) os primeiros registros do sensoriamento remoto, ocorreu em 350 a.C. quando Aristóteles descreveu a produção de imagens a partir da passagem da luz por um pequeno orifício.

O contexto histórico do processo de sensoriamento remoto decorre da evolução de técnicas que permitem ao homem detectar e registrar várias formas de radiação eletromagnética além da luz visível. As mesmas técnicas evoluem e ampliam em ritmo intenso, por exemplo, o ato de retratar alvos com câmeras digitais em detrimento das analógicas (SOARES, 2008). Mas o que impulsionou o avanço das experiências com sensores remotos foram as guerras mundiais.

Existe uma vasta gama de conceitos para sensoriamento remoto, Moreira (2003) o define como a técnica de utilização de sensores para a captação e registro da energia refletida ou absorvida pelos alvos após exposição à fonte de radiação natural (Sol) ou artificial (do próprio sensor, por exemplo, radar), sem contato direto com os alvos e preparados para terem sensibilidade em determinados comprimentos de onda, diferentes sensores coletam dados nas escalas terrestre (próximo à superfície), aérea (aeronave) ou orbital (satélite).

Outro conceito para sensores remotos é o de Rosa (2005), sensor é um dispositivo capaz de responder à radiação eletromagnética em determinada faixa do espectro eletromagnético, registrá-la e gerar um produto na forma adequada para ser interpretada pelo usuário. A Figura 1 demonstra a obtenção de imagens por sensoriamento remoto orbital bem como os seus elementos.

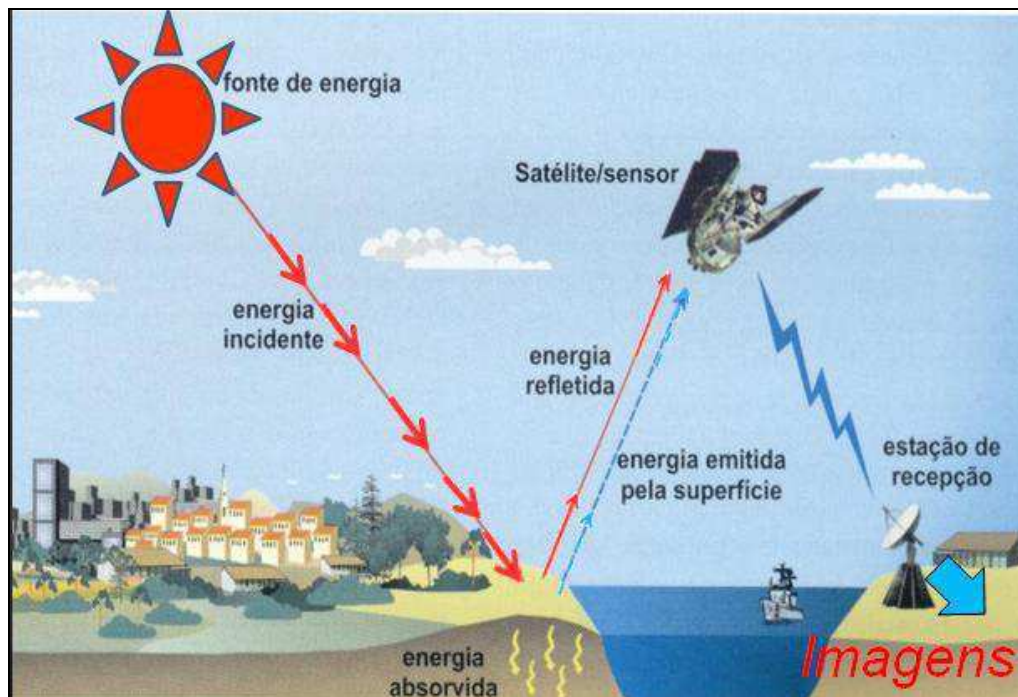


Figura 1: Obtenção de imagens por sensores orbitais
 Fonte: Adaptado de Florenzano.

A obtenção dos dados de sensoriamento remoto dá-se através da energia eletromagnética proveniente do sol que incide sobre a superfície terrestre, sendo refletida, emitida e absorvida. Para Florenzano (2011), a energia eletromagnética pode ser ordenada de maneira contínua em função do comprimento de onda ou da frequência, sendo esta disposição denominada de espectro eletromagnético, conjunto de todas estas radiações, desde os raios gama até as ondas de rádio.

Para Saraiva (2009), o espectro eletromagnético consiste na distribuição da radiação eletromagnética, por bandas, segundo o comprimento de onda e a frequência. Abrangendo desde curtos comprimentos de onda, de alta frequência, a longos comprimentos de onda de baixa frequência. Na região do espectro visível, o olho humano enxerga a energia luz, sendo capaz de distinguir as cores do violeta ao vermelho. A radiação do infra-vermelho é subdividida em três regiões: próximo (0,7-1,3 μm), médio (1,3-4,0 μm) e distante (4,0-1000 μm).

Uma vez compreendido o espectro eletromagnético e o funcionamento dos sensores é importante especificar o sensor utilizado na pesquisa o LANDSAT-5- sensor TM, foi lançado em 1 de março de 1984 . O TM, com exceção da banda 6 (termal) com 120 metros, possui uma resolução de 30 metros, estando acoplado em um satélite de órbita circular, quase polar, sincronizada com o sol e com altitude de 705 km, imageando uma faixa de 185 km de largura. Este sensor revisita o mesmo ponto da superfície do globo em um período de 16 dias. O Quadro 1 apresenta características do sensor TM e suas respectivas bandas.

Quadro 1: Principais características do TM do LANDSAT 5

Satélite	Sensor	Nº Banda	$\lambda(\mu\text{m})$	Resolução(m)
Landsat 5	TM	1	0,45- 0,52	30
		2	0,52-0,60	30
		3	0,63- 0,69	30
		4	0,76-0,90	30
		5	1,55- 1,75	30
		6	10,40-12,50	120
		7	2,08-2,35	30

Fonte: INPE (2013)

3.2.1.1 Processamento digital de imagens

Para se extrair informações das imagens de satélite é necessário que as mesmas passem por processos de correções atmosféricas, radiométricas e geométricas. No processo de aquisição das imagens muitas são as interferências, degradações e distorções. Essa etapa de correção das distorções é conhecida como pré-processamento. Para Crosta (1992) o objetivo principal do processamento digital de imagens é remover o que dificulta a extração de informações das imagens pelo homem.

A existência de distorções sistemáticas introduzidas durante aquisição das imagens é a primeira razão para a realização da correção geométrica que irá tratar, prioritariamente, da remoção dos mesmos. O principal motivo desses efeitos é causado pela rotação da Terra, ou seja, pelo movimento relativo da Terra em relação ao Sol e, conseqüentemente, em relação ao satélite. Para tanto, convém se realizar processo de registro de imagem, que é uma das técnicas de correção geométrica que permite o encaixe da imagem dentro de uma base cartográfica conhecida. A técnica permite a correção de distorções nas imagens aéreas e orbitais atribuindo um sistema de referência conhecido. Assim, este tipo de informação pode ser utilizado em atividades de atualização cadastral, estudo da vegetação, dos recursos hídricos e a determinação de áreas, distâncias e perímetros (SOARES, 2008).

A extração de informações a partir dos dados de sensoriamento remoto pode ser qualitativa, através da observação de imagens realçadas pelo sistema, ou quantitativa, através da utilização de procedimentos de classificação automática, cujas saídas são mapas temáticos e tabelas de áreas associadas a cada classe discriminada na imagem. A classificação se divide em supervisionada e não supervisionada. Segundo Soares (2008) no método da classificação não-supervisionada o algoritmo baseia-se na análise de agrupamentos onde são identificadas no espaço de atributos as nuvens (clusters) formadas por *pixels* de características espectrais similares. Para Crosta (1992), a classificação digital supervisionada, consiste na identificação, por parte do usuário, de alguns dos pixels pertencentes às classes desejadas e no enquadramento automático, por parte do computador, dos demais *pixels* da imagem atribuindo-os a uma daquelas classes, baseando-se em regras estatísticas.

Em um mapa temático, resultante da classificação, os *pixels* classificados são representados por símbolos gráficos ou cores, onde cada cor ou símbolo está associado

a uma classe (área urbana, tipos de florestas, tipos de solo, etc.) previamente definida pelo usuário. As classificações realizadas por um computador, denominada automática, ou por um especialista humano, dita fotointerpretação (SOARES, 2008).

As técnicas de processamento das imagens também permitem a realização de medidas impossíveis de serem obtidas manualmente e possibilitam a integração de vários tipos de dados, devidamente georreferenciados (SARAIVA, 2009).

3.2.2 Aplicação de dados de Sensoriamento Remoto em estudos de ICU e Uso do Solo.

Os dados de sensoriamento remoto na banda do infravermelho termal têm sido utilizadas em vários estudos a nível mundial para avaliar a distribuição espacial das ICU. Os sensores remotos medem a temperatura da superfície, sobre os alvos terrestres (grama, telhados, árvores, estradas) exposta ao sensor do satélite. Portanto, a detecção térmica remota é útil para observar a ICU, referente as superfícies urbanas (KLOK et al., 2012).

As causas para a formação das ICU podem ser identificadas, não somente através da temperatura da superfície, mas também quando se associa à superfície a natureza da cobertura da área analisada (GOMES, 2011). Segundo Ferreira et al. (2005), o estudo do uso/ocupação do solo consiste em conhecer toda forma de utilização do solo por parte do homem ou pela caracterização dos tipos e categorias de vegetação natural que reveste o solo.

Para Klok et al. (2012), superfícies urbanas secas e escuras absorvem a luz solar mais facilmente e se torna mais quente em comparação com as superfícies que são sombreadas e úmidas. Portanto, as características da superfície urbana como a fração de área verde, água e superfícies impermeáveis são fatores importantes na intensidade do ICU. No Quadro 2 é possível verificar os efeitos do balanço de energia sobre a

superfície da terra em comparação com as características urbanas e suburbanas para os estudos de ilhas de calor.

Quadro 2 : Características e efeitos do balanço de energia sobre a superfície terrestre.

Características que contribuem para a formação das ICU	Efeitos sobre o balanço de energia
Falta de vegetação	Reduz a transpiração
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

Fonte: Adaptada de Gomes, 2011.

Segundo Silva et al. (2007) apud Ramos (2013), é necessário o acompanhamento constante da distribuição espacial do uso e ocupação do solo para auxiliar nos estudos de desenvolvimento de determinada região. Foi diante dessa necessidade que o sensoriamento remoto começou a ser utilizado para o monitoramento de fenômenos naturais dinâmicos do meio ambiente, como os da atmosfera, de erosão do solo, de inundação e os antrópicos como desmatamento, queimadas etc.

De acordo com Altman et al. (2009) apud Ramos (2013), o mapeamento do uso e cobertura das terras retrata as atividades humanas que podem significar pressão e impacto sobre os elementos naturais. As classes de uso e cobertura são identificadas, espacializadas, caracterizadas e quantificadas.

O crescimento desenfreado das cidades tem sido uma temática amplamente discutida em várias partes do mundo. Segundo Pöttker et al. (2011), a transformação da paisagem pelo homem, com o desenvolvimento das cidades e a consequente supressão da vegetação nativa, pode causar mudanças climáticas abruptas, como as Ilhas de Calor Urbana–(ICU) afetando o meio ambiente e a qualidade de vida das pessoas. No continente asiático, essa é uma preocupação constante, tendo em vista os altos índices de densidade populacional nas metrópoles, como Xangai e Pequim na China, Seul na Coreia do Sul e Tóquio no Japão. Li et al. (2012) realizaram um estudo em Xangai, usando uma série multi temporal de imagens do LANDSAT associada a banda térmica, para quantificar e investigar a mudança no uso do solo fazendo uma correlação com as ICU. Os resultados obtidos mostraram mudanças drásticas na cobertura do solo, com perdas de terras de cultivo, florestas e arbustos para área urbana e, conseqüentemente, um elevado gradiente de temperatura entre a área urbana e a rural.

Chen et al. (2006) pesquisaram no Delta do Rio das Pérolas (PRD) na província de Guangdong, sul da China, a relação do aumento da temperatura com o crescimento da população, a partir de índices NDVI, NDWI, NDBI e criaram mais um índice o NDBaI (Índice de Nudez do Solo por Diferença Normalizada). Os autores analisaram o comportamento das ICU em escalas regional (PRD) e local (a cidade de Shenzhen). Os resultados demonstraram que o efeito da ICU tornou-se proeminente nas áreas urbanizadas na região de PRD. A distribuição das ICU modificou-se ao longo do estudo, passou de um padrão isolado para extensas superfícies.

Como o efeito da ICU se tornou uma problemática amplamente discutida o interesse em se buscar alternativas para reduzir os seus efeitos pode ser confirmado por diversos autores. Minaki e Amorim (2012) concluíram que a confirmação do

aparecimento das ICU em cidades de diferentes portes, aumentou a preocupação em minimizar seus efeitos sobre as áreas ocupadas e a população afetada.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Originalmente fundada em 1669 como o forte de São José do Rio Negro, foi elevada a vila em 1832 com o nome de *Manaos* em homenagem a nação indígena dos Manaos, sendo transformada legalmente no dia 24 de outubro de 1848 como o nome de Cidade da Barra do Rio Negro. E em 1856 voltou a seu nome atual. Manaus é um município que é a capital do estado do Amazonas e o principal centro financeiro, corporativo e econômico da Região Norte do Brasil.

É uma cidade histórica e portuária, localizada conforme Figura 2 no centro da maior floresta tropical do mundo. Centrada na coordenada 3°08'1''S e 60°18'34''O. Limita-se ao norte com o município de Presidente Figueiredo; ao sul, com Careiro da Várzea e Iranduba; a leste, com Rio Preto da Eva e Itacoatiara e a oeste, com Manacapuru e Novo Airão. Possui uma área de 11.401 km², uma população de 1.802.014 habitantes, destes ocupa a zona urbana 1.792.881 habitantes e na zona rural 9.133 habitantes (IBGE, 2010).

Com clima tropical quente e úmido, temperatura média de 26 °C e período chuvoso de novembro a abril. Possui nas suas proximidades a Reserva Florestal Adolfo Ducke (RFAD), a qual cobre uma área de 100 km² de floresta amazônica primária, pertencente ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), o relevo de planície, com uma altitude de 92 metros acima do nível do mar (IBGE, 2010).

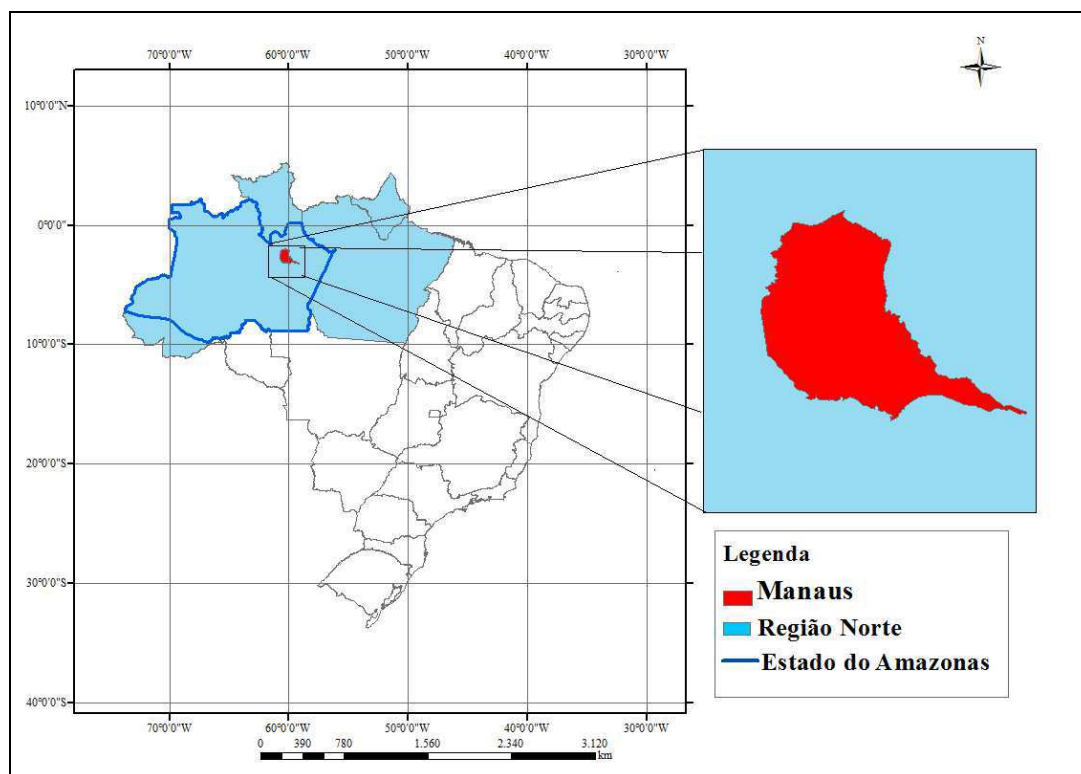


Figura 2:Localização do município de Manaus-AM, no Brasil.

A floresta Amazônica é considerada a maior reserva de água doce do planeta. A rede hidrográfica do estado e de toda região norte é muito rica, composta pelos rios das bacias Amazônica e do Tocantins. Esse bioma apresenta grande diversidade de espécies animais e vegetais, sendo considerada uma das áreas de maior biodiversidade do planeta.

4.2 – DADOS

- Imagens do Sensor TM do satélite Landsat-5, encontram-se listadas no Quadro 3, Todas essas imagens foram adquiridas no *site* do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE,2013.
- Também foi utilizada uma imagem ortorretificada do Landsat-5, do ano de 1992, adquirida no landsat.org.
- Imagem do Google Earth do ano de 2013.
- Dados de temperatura de uma estação meteorológica do INMET.

- Todo processamento foi realizado usando software ERDAS Imagine v.8.5.

Quadro 3: Cenas TM-Landsat-5 utilizadas no estudo.

Órbita/Ponto	Data de passagem
231/062	02/08/1989
231/062	21/08/1990
231/062	21/06/1997
231/062	24/07/2003
231/062	09/08/2003
231/062	30/06/2006
231/062	16/07/2006
231/062	02/09/2006
231/062	04/08/2007
231/062	21/07/2008
231/062	06/08/2008
231/062	10/09/2009
231/062	29/11/2009
231/062	31/08/2011

4.3 - PRÉ- PROCESSAMENTO DAS IMAGENS

Inicialmente, foi feita uma análise das imagens, a fim de identificar as condições das mesmas. Havia 14 imagens após as análises foram selecionadas apenas 5. As imagens foram escolhidas porque tinham melhores condições de identificar alvos na superfície, e pela proximidade da época do ano. Como se trata de um estudo temporal é importante que se tenha as condições de tempo semelhante para o estudo.

Foi identificada presença de nuvens na cena do ano de 2003, foi decidido então criar uma classe para nuvem. Trabalhou-se com sete classes: água, vegetação densa, vegetação, área urbana, solo exposto, solo semi-exposto e nuvem.

Para analisar as mudanças na temperatura e na cobertura de uso do solo, na região, as imagens foram registradas no mesmo sistema de coordenadas UTM (fuso 20)/WGS84. O georreferenciamento se deu com a utilização da funcionalidade do

software Erdas, no qual se denomina *AutoSync-workstation*, que permite a visualização das duas imagens ao mesmo tempo: a georreferenciada e a imagem bruta.

As cenas foram georreferenciadas com o objetivo de realizar a correção geométrica que consiste em relacionar as coordenadas da imagem (linha e coluna) com as coordenadas geográficas de um mapa. Com esse procedimento as imagens se tornam coincidentes no espaço. As imagens foram georreferenciadas (Figura 4) a partir da imagem ortorretificada do ano de 1992, e reamostradas usando o algoritmo do vizinho mais próximo, com o tamanho do pixel 30m por 30m para todas as bandas, incluindo a banda do termal. O erro residual do georreferenciamento foi menor que um *pixel* para todas as imagens.

Foi definido um retângulo que serviu como base para realizar o recorte das imagens, uma vez que a cena era muito maior que a área de interesse. Foi realizada sobre composições coloridas obtidas com as bandas 5, 4 e 3 aplicadas aos canais RGB (Figura 3).

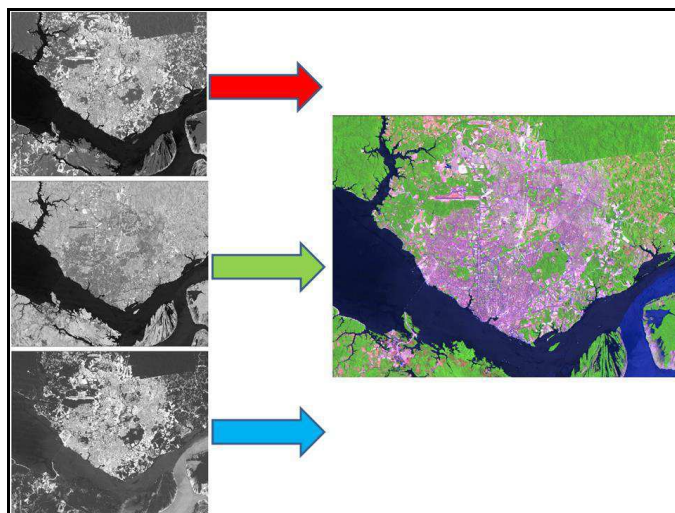


Figura 3: Composição colorida 5(R), 4(G) e 3(B) do LANDSAT 5 sensor TM

4.4 - OBTENÇÃO DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE

As imagens de satélite possibilitam a obtenção da temperatura através da banda termal. A temperatura que é obtida através da imagem de satélite pode ser utilizada para representar a distribuição dos campos de temperatura da superfície, desde que se reconheça o teor de vapor de água que varia ao longo do tempo, devido a mudança nas condições atmosféricas. De acordo com Chen et al. (2006) não é apropriado comparar diretamente a temperatura representada pelas imagens com a temperatura entre vários períodos distintos. Para não recorrer nesse erro, esse estudo, se concentra apenas na intensidade da ICU e seus padrões espaciais em toda a região de estudo sobre as datas de aquisição das imagens.

A intensidade da ICU é medida como a diferença entre a temperatura encontrada dentro da área urbana a temperatura da área rural (Oke, 1987). Uma vez que a região de estudo tem uma porção significativa de Floresta Amazônica, pode-se utilizar a diferença de temperatura entre a zona urbana e a vegetação densa (área rural) como a medida da intensidade ICU. Deste modo, o efeito térmico de ICU pode ser medido através de cada imagem isolada, e em seguida, comparado entre períodos distintos.

Com o auxílio de uma imagem do Google Earth foi possível obter um perfil da temperatura do ano de 2009, em determinados uso/ocupação de solo como estrada, vegetação, vegetação densa, alta densidade, baixa densidade, água e solo. A imagem do Google permitiu a identificação de alvos na superfície.

Foram usados ainda dados de temperatura de uma estação meteorológica do INMET. Utilizado para representar a distribuição temporal da temperatura do ar, anual e a média mensal do período de 1990 a 2009.

O método de recuperação de temperatura das imagens TM são discutidos a seguir.

4.4.1 - Recuperação de temperatura nas imagens TM Landsat 5

Foi aplicada a metodologia de Chen et al. (2002) que propuseram um método de derivar temperatura de superfície em dois passos. A ferramenta que permite fazer esse procedimento no ERDAS é o *Model Maker*.

- Em primeiro lugar, os valores digitais (DNs) de banda 6 são convertidos para a luminância da radiação (RTM6, $\text{mW cm}^{-2}\text{sr}^{-1}$) com a seguinte equação:

$$RTM6 = \frac{V}{255} (R_{\max} - R_{\min}) + R_{\min} \quad (1)$$

onde: V representa o DN band6, e $R_{\max} = 1.896$ ($\text{mW cm}^{-2}\text{sr}^{-1}$), $R_{\min} = 0.1534$ ($\text{mW cm}^{-2}\text{sr}^{-1}$).

- Em segundo, a luminância da radiação é convertida para a temperatura de superfície, em Kelvin, T (K), pela equação 2:

$$T = \frac{k1}{\ln(K2 / (RMT6 / b + 1))} \quad (2)$$

(onde, $K1 = 1260.56\text{K}$ e $K2 = 60.766$ ($\text{mW cm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$), são constantes pré-lançadas na calibração, b representa gama espectral eficaz, quando a resposta do sensor é muito maior que 50%, $b = 1,239$ (μm)).

4.5-DERIVAÇÃO DE NDVI, NDWI, NDBI E NDBaI

O objetivo de se utilizar estes índices é para verificar se é possível observar uma relação direta do aumento na temperatura da superfície com uma diminuição ou aumento nos valores destes índices ao longo dos últimos anos. A ferramenta que permite fazer esse procedimento no ERDAS é o *Model Maker*.

A obtenção desses índices já é uma metodologia validada em vários estudos, com exceção do índice NDBaI, que foi proposto por Zhao e Chen (2005). O NDVI, NDWI (Gao, 1996), NDBI (Zha et al., 2003) e NDBaI são índices que são utilizados para

caracterizar o uso do solo e estudar as relações entre uso do solo e ICU quantitativamente. NDVI na Eq. (3) é utilizado geralmente para expressar a densidade da vegetação (Purevdorj et al., 1998).

$$NDVI = (\rho(banda4) - \rho(banda3)) / (\rho(banda4) + \rho(banda3)) \quad (3)$$

NDWI na equação (4) é um índice de água por diferença normalizada, também chamado de índice de área foliar de água ausente, o que implica o teor de água dentro da vegetação (Gao, 1996; Jackson et al., 2004; Zarco-Tejada et al., 2003; Maki et al., 2004).

$$NDWI = (\rho(banda4) - \rho(banda5)) / (\rho(banda4) + \rho(banda5)) \quad (4)$$

Em que, ρ representa a radiância em unidades de reflectância, band3, band4 e band5 representam as bandas espectrais nas imagens do Landsat.

Outro índice, NDBI (Zha et al., 2003) na equação (5), foi introduzido no presente estudo, o qual é sensível à área construída.

$$NDBI = (d(banda5) - d(banda4)) / (d(banda5) + d(banda4)) \quad (5)$$

Para recuperar o solo nu nas imagens Landsat, um novo índice, o Índice de Nudez do Solo por Diferença Normalizada (NDBaI) na equação (6) foi proposta pelos autores Zhao e Chen (2005), da seguinte forma:

$$NDBaI = (d(banda5) - d(banda6)) / (d(banda5) + d(banda6)) \quad (6)$$

onde, d representa os números digitais relevantes (DNS) do Landsat-TM. O NDBaI foi proposto, analisando as características espectrais de diferentes classes de coberturas do solo. Solos totalmente descobertos (por exemplo, praia, terra nua, e terra em desenvolvimento) distinguem-se nas imagens com $NDBaI > 0$, que também se refere a solo nu primário. Ao mesmo tempo, NDBaI pode ser utilizado para classificar diferentes terras nuas de acordo com diferentes valores de NDBaI (Chen et al., 2006)

De acordo com Chen et al. (2006) esses índices podem ser usados para classificar diferentes classes de cobertura do solo (por exemplo, a vegetação, a água, construída), definindo os valores limites adequados. Os valores do índice variam, para diferentes tipos de cobertura do solo, não é constante, o que terá poucas mudanças em regiões diferentes ou em diferentes condições de clima e precipitação. Às vezes, vários índices são integrados para diferenciar classes de cobertura do solo.

4.6- CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA

A classificação diz respeito a associar os pixels de uma imagem a uma classe (água, vegetação, solo), reunindo em cada classe temática alvos que possuem padrões próximos de tonalidade e textura.

Primeiramente se faz a definição das classes de uso/ocupação do solo, após análise das imagens disponíveis, para se obter a imagem de uso/ocupação do solo foram definidas as classes:

- Urbano – Identificado como sendo todos aglomerados urbanos existentes na cidade, como telhados de imóveis diversos, ruas pavimentadas e asfaltadas;
- Vegetação Densa- Vegetação de maior porte a Floresta Amazônica.
- Vegetação – Vegetação de médio porte que se encontra na imagem.
- Solo Exposto– Solo desnudo;
- Solo semi exposto- áreas desmatadas e estradas vicinais;
- Água – Todos os corpos hídricos presentes na imagem como rios, lagos, lagoas, águas estuarinas e córregos.
- Nuvem- Aglomerados de partículas de água ou gelo que se forma na atmosfera. Presente especificamente na imagem do ano de 2003.

Para este trabalho, foi adotada a classificação supervisionada empregando o algoritmo de classificação Máxima Verossimilhança (MaxVer), que utiliza a média e covariância das amostras computando a probabilidade de um pixel desconhecido pertencer a uma classe definida pelo usuário a partir de um conjunto de valores selecionados previamente (SILVA e PEREIRA, 2007). Com o intuito de se obter um bom resultado na classificação foram obtidas várias amostras de cada classe em diferentes pontos das imagens.

Foram gerados quatro imagens de uso/ocupação do solo, para os anos de 1990, 1997, 2003 e 2009. Posteriormente a este procedimento realizou-se o cálculo das áreas das classes temáticas em hectares e calculada a percentagem.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1- CARACTERIZAÇÃO DO USO/OCUPAÇÃO DO SOLO

A fim de identificar alvos na superfície, foram geradas as composições 543. Com os procedimentos de georreferenciamento, reamostragem e recorte das imagens obteve-se as imagens da Figura 4. Essas imagens que serviram como base para gerar as de uso do solo (Figura 5). Observa-se ainda a presença de nuvem na imagem de 2003 (Figura 4c).

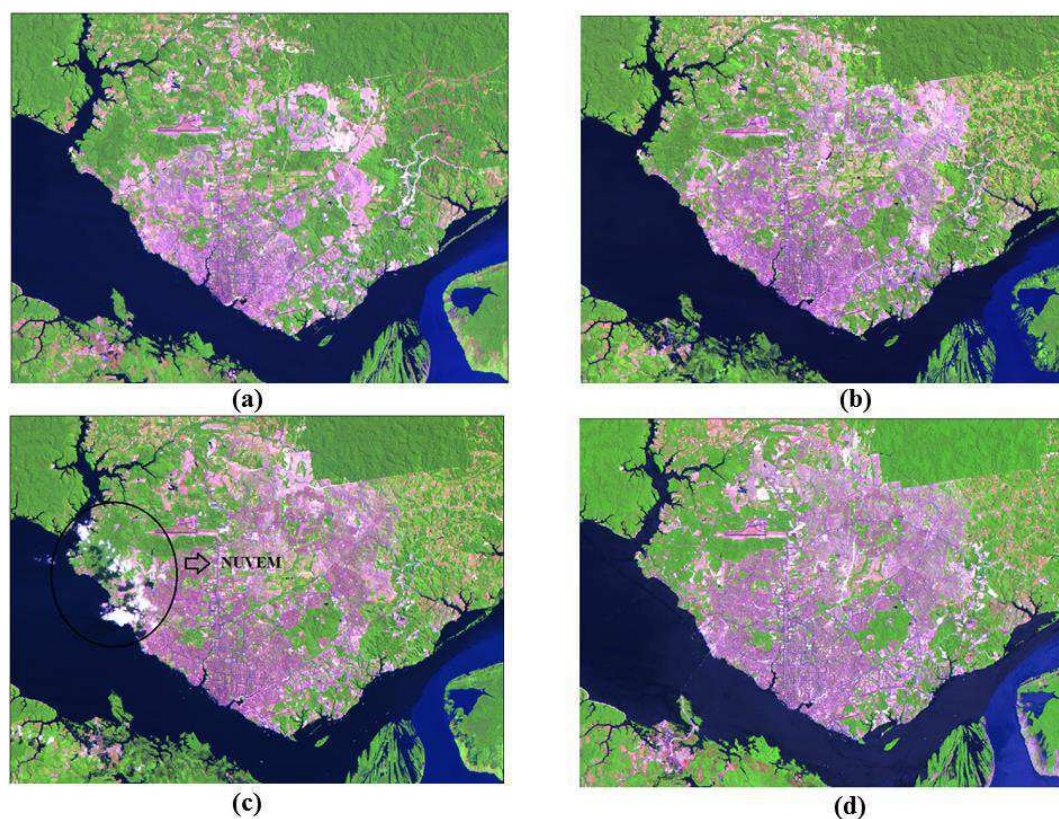


Figura 4: Composição colorida 543-RGB do Município de Manaus. (a) 1990, (b) 1997, (c) 2003 e (d) 2009.

Na Figura 5 e 6, observa-se a caracterização de uso/ocupação do solo e distribuição espacial da temperatura no município. Verifica-se que no ano de 1990, a área ocupada com vegetação era maior, como demonstrado na Tabela 1 e 2. A vegetação

no ano de 1990 era 22,46% da área total da imagem e passou para 16,81% da área total no ano de 2009, tendo mudança deficitária de -25,16% no período.

Tabela 1: Percentual dos diferentes tipos de uso/ocupação do solo no período (1990-2009).

	ÁGUA (%)	VEGETAÇÃO DENSA (%)	VEGETAÇÃO (%)	ÁREA URBANA (%)	SOLO EXPOSTO (%)	SOLO S.E. (%)
1990	25,50	23,95	22,46	17,87	3,59	6,64
2009	26,55	12,32	16,81	25,20	2,68	16,44
Mudança	4,12	-48,56	-25,16	41,02	-25,35	147,59

Tabela 2: Valores absolutos em hectares dos diferentes tipos de uso/ocupação do solo no período (1990-2009).

	ÁGUA Há	VEGETAÇÃO DENSA ha	VEGETAÇÃO ha	ÁREA URBANA ha	SOLO EXPOSTO ha	SOLO S.E. ha
1990	22596,55	21222,45	19899,93	15839,70	3178,54	5880,64
2009	23295,67	10811,79	14748,37	22112,77	2347,29	14422,50

A área urbana tinha alguns espaços como áreas verdes em 1990, esse padrão começa a se diferenciar na imagem de 1997, onde a vegetação começou a dar espaço ao solo exposto e semi exposto, havendo posteriormente, no ano de 2003, aumento na área urbana e, finalmente, no ano de 2009 a área urbana se mostra mais homogênea. A área urbana passa de um padrão espaçado e pontual para um padrão mais uniforme e contínuo.

A área urbana passou de 17,87% da área total da imagem, no ano de 1990 para 25,20% em 2009. O solo semi exposto, que totalizava 6,64% da área total, no ano de 1990 passou a 16,44% no ano de 2009, chegando a uma mudança de cobertura 147,59% no período. Os números da Tabela 1 reforçam este entendimento. Os dados consultados no IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística fornecidos para os anos de

1991, 2000 e 2010 apresenta um aumento da população de 790.513 habitantes ou 78% no período estudado, para Manaus, como mostra a Tabela 3.

Tabela 3: Dados de população do Censo de 1991, 2000 e 2010. Fonte: IBGE (2014).

Município	População (1991) hab	População (2000) hab	População (2010) hab
Manaus	1.011.501	1.435.835	1.802.014

O processo de urbanização em relação ao padrão espacial se dá quase sempre da mesma forma independentemente de sua localização. Primeiramente, se retira a vegetação e dar-se espaço a um solo semi exposto ou exposto para construção de edificações. O solo semi exposto pode ser resultado também de terras agrícolas. GOMES (2011) realizou um estudo sobre a dinâmica da temperatura em resposta as alterações na cobertura e uso do solo utilizando imagens de satélite (1987 e 2011) para a região metropolitana de Brasília-DF, onde observou, a partir do mapa de uso e ocupação do solo, aumento da área urbana e dos corpos hídricos; e redução de área nas classes de solo exposto e vegetação densa.

5.2- VARIAÇÃO DE TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE SOBRE DIFERENTES USOS/OCUPAÇÕES DO SOLO

Para estudar o efeito das atividades humanas sobre o aquecimento, é necessário estudar as mudanças de temperatura da superfície nos diferentes tipos de uso/ocupação do solo. Fazendo as correções necessárias para as condições de atmosfera entre os tempos de aquisição das imagens Landsat.

Como resultado do processamento da metodologia de Chen et al. (2002) obteve-se as imagens de temperatura da superfície mostrados nas Figuras 5(c e d) e 6(c e d). As temperaturas mais altas estão acima dos 40 °C no ano de 2009, o qual apresentou

valores mais elevados de temperatura para as imagens estudadas, uma vez que a temperatura em quase toda a imagem de 2009 esteve acima dos 25 °C. Confirma-se também esse fato na Tabela 4, onde se tem a temperatura do ar mínima, máxima e média dos dias referentes as aquisições das imagens Landsat. A temperatura média do ar para o dia 10/09/2009 foi 29,2 °C e a máxima 37,4 °C. Os centros de alta temperatura foram consistentes com a área urbana, o que pode ser visto comparando as imagens de uso/ocupação do solo com os de temperatura, mostrado na Figura 6. Indicando áreas com potencialidades para formação do fenômeno de ICU em Manaus. As temperaturas mais baixas ficam na classe de água, como esperado.

Tabela 4: Variações da temperatura do ar: máxima, mínima e média, entre os anos de 1990 a 2009.

DATA	MÁXIMA (°C)	MÍNIMA (°C)	MÉDIA (°C)
21/08/1990	33,5	22	26,9
21/06/1997	33,2	21,5	27,4
24/07/2003	33,6	20,8	27,2
10/09/2009	37,4	21	29,2

O padrão da temperatura da superfície nas imagens também se alterou ao longo dos anos, o padrão na imagem de 1990 era disperso e pontual; já na imagem do ano de 2009, esse padrão é predominante sobre toda a cena estudada, ficando de fora apenas a classe água, onde a temperatura é menor, passando assim para um padrão contínuo e mais uniforme. Esse resultado está de acordo com um estudo realizado por Chen et al. (2006) que afirmou que o padrão espacial das ilhas de calor (zonas com temperaturas relativamente elevadas) mudou a partir de um padrão disperso e pontual em 1990, para um padrão mais contínuo de ilhas de calor urbanas em 2000, juntamente com a expansão do sistema urbano regional. Os centros de alta temperatura foram nas áreas

construídas. As classes de solo exposto, semi exposto e área urbana foram mais quentes do que outras áreas.

A Tabela 5 apresenta a diferença de temperatura de superfície entre diferentes classes em (°C); AU-A a área urbana e a água; AU-VD a área urbana e a vegetação densa; AU-V a área urbana e a vegetação; AU-SE a área urbana e o solo exposto; e AU-SSE a área urbana e o solo semi-exposto.

A temperatura da área urbana quando comparada com a temperatura da água sempre demonstra valores mais altos, isso porque se trata dos extremos em temperatura, a água sempre tende a ter a temperatura mais baixa e área urbana possui as temperaturas mais altas, na imagem de 2009 essa diferença chega a 10,9 °C.

Outra grande diferença de temperatura está entre a área urbana e a vegetação densa 8,8°C, como o conceito de ilha de calor urbano é a diferença da temperatura dentro da área urbana com a temperatura rural, que no estudo é representado pela vegetação densa, pode ser confirmada assim a presença de ilhas de calor urbano no município.

Os valores mais baixos estão entre as classes área urbana e solo semi exposto para o ano de 1997 a diferença ficou de 0,1 °C. O que significa dizer que as classes de solo exposto e solo semi-exposto possuem as temperaturas mais altas junto com a área urbana; e as classes de água, vegetação e vegetação densa são as que possuem as temperaturas mais baixas. Na Tabela 5 observamos valores de temperaturas positivos, o que implica que a área urbana em comparação a todas outras classes tem a temperatura mais alta.

Tabela 5: Diferença de temperatura de superfície entre diferentes classes em Manaus (°C). AU-A a área urbana e a água; AU-VD a área urbana e a vegetação densa; AU-V a área urbana e a vegetação; AU-SE a área urbana e o solo exposto; AU-SSE a área urbana e o solo semi-exposto.

DATA	CLASSES				
	AU-A (°C)	AU-VD (°C)	AU-V (°C)	AU-SE (°C)	AU-SSE (°C)
21/08/1990	6,5	4,8	5	3,8	0,5
21/06/1997	6,8	5,7	5	2,2	0,1
24/07/2003	6,9	5	5,1	2,2	2,7
10/09/2009	10,9	8,8	7,3	1,6	1,2
MÉDIA	7,8	6,1	5,6	2,4	1,1

Carvalho et al. (2013) realizaram um estudo no município de Manaus, fazendo uma comparação entre área antropizada de 1998 e 2003 com a supressão da vegetação. Observou que em 1998 a área ocupada na cidade era de 145,74 km² e com 249,28 km² de área verde. Em cinco anos a área antropizada passou para 188,06 km² e a área verde diminuiu para 234,52 km². Estimou que as áreas verdes diminuíram em função da ocupação do solo por aparatos urbanos. Fez uma análise da temperatura com o uso/ocupação do solo onde verificou que as altas temperaturas coincidiam com áreas densamente ocupadas e sem ou com pouca cobertura vegetal. Esses resultados corroboram com os resultados encontrados nessa pesquisa.

Ainda sobre o estudo de Carvalho et al.(2013), a imagem termal LANDSAT de 23 de agosto de 1990 mostrou a temperatura na área urbana de Manaus de 26 °C a 35 °C. As áreas com temperatura de superfície mais amena foram áreas com cobertura vegetal, apresentaram uma variação de temperatura de superfície de 28 °C a 30 °C. A imagem termal LANDSAT de 24 de julho de 2003 mostrou uma variação de temperatura entre 23 °C a 34 °C, sendo identificada uma maior concentração de focos de calor, principalmente nas áreas onde a ocupação do solo é mais intensa. Mostrou ainda que as áreas que aparentam um conforto térmico, isto é, de 23 °C a 26 °C foram onde há

presença de vegetação. Observou que houve aumento na ocupação do solo, principalmente nas zonas centro sul e centro oeste, essas áreas se tornaram mais quentes em relação às outras áreas da cidade, a temperatura de superfície registrada nessa área foi de 27 °C a 34 °C. A imagem mostrou que nas áreas próximas a coberturas vegetais, a temperatura tende a cair se tornando um lugar mais ameno. O mapa térmico da cidade de Manaus em 31 de agosto de 2011 registrou temperatura mínima de 21 °C e máxima de 39 °C.

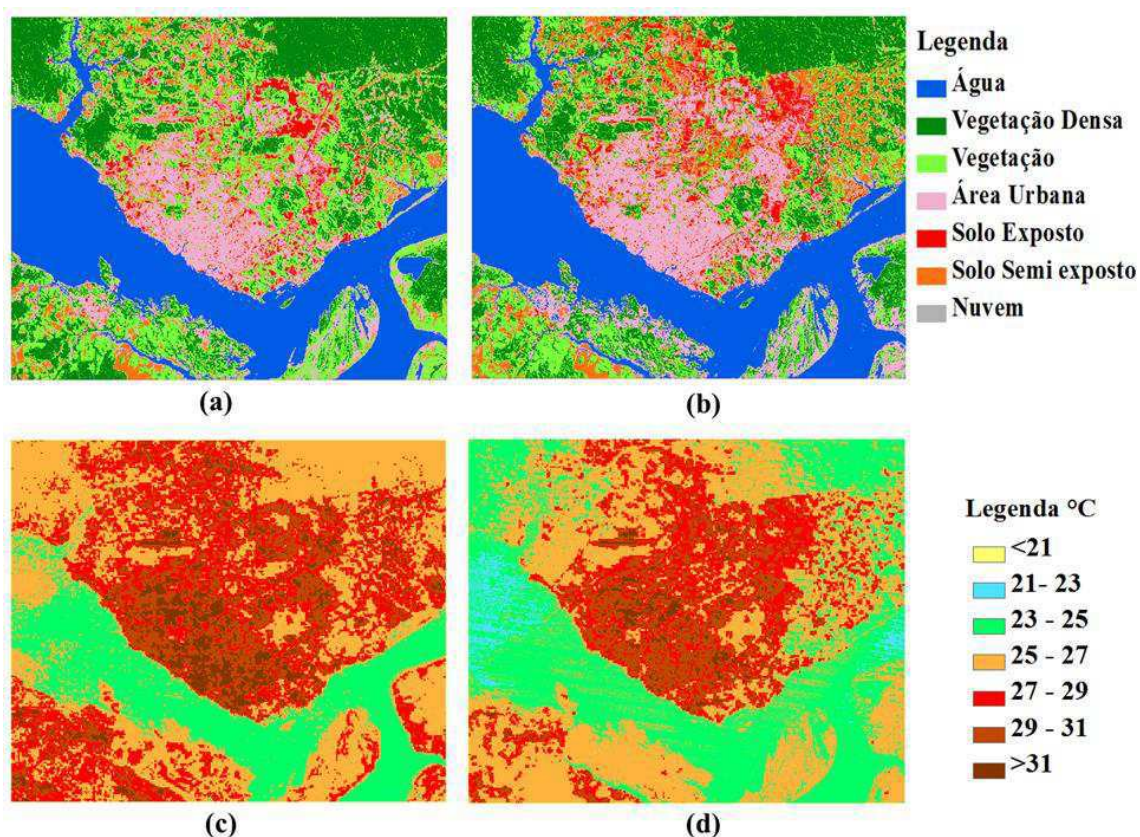


Figura 5: Imagem de uso/ocupação do solo do ano de 1990 (a) e 1997 (b) e distribuição espacial da temperatura, em °C, nos anos de 1990 (c) e (d) 1997.

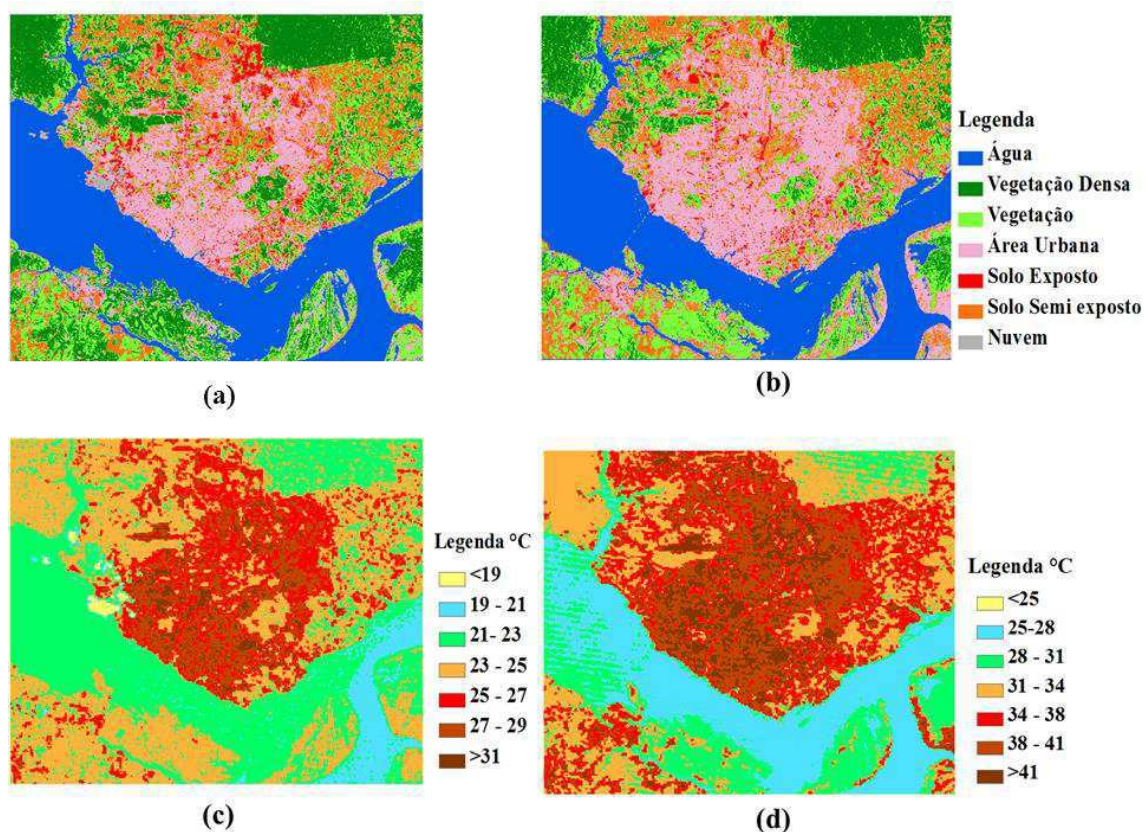


Figura 6: Imagem de uso/ocupação do solo do ano de 2003 (a) e 2009 (b) e Distribuição espacial da temperatura, em °C, nos anos de 2003 (c) e (d) 2009.

A Figura 7 apresenta de forma gráfica o perfil da temperatura de superfície em alguns tipos de uso/ocupação do solo em 2009, obtidas a partir da imagem Landsat com o auxílio de uma imagem do Google Earth. As temperaturas mais altas estão nas áreas de alta densidade de edificações por volta dos 40 °C. Para a vegetação e vegetação mais densa está praticamente na mesma faixa entre 30 a 35 °C. Nas classes definidas como estrada, solo, e alta densidade são onde estão as maiores temperaturas variando em torno de 40 °C.

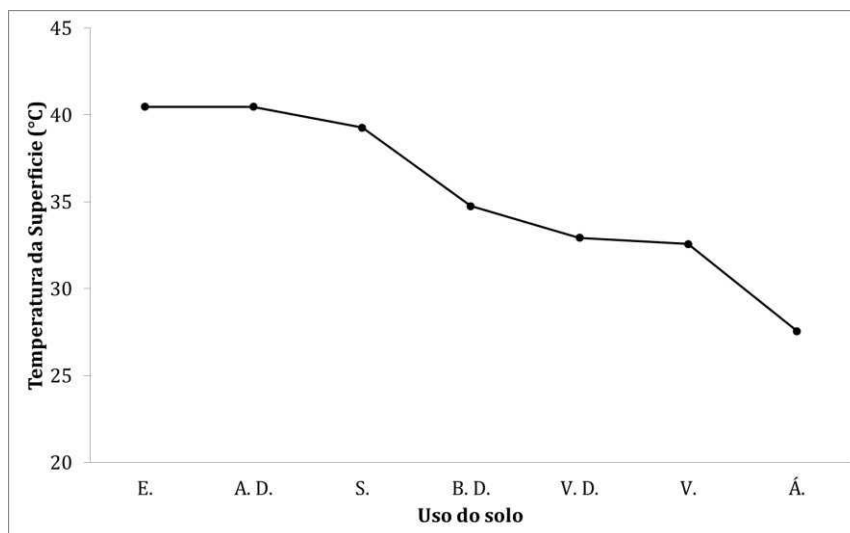


Figura 7: Temperatura média de diferentes tipos de classes de uso do solo para o ano de 2009. E= Estrada, A.D= Alta Densidade de edificações, S.= Solo, B.D.= Baixa Densidade de edificações, V.D.= Vegetação Densa, V.=Vegetação, Á.= Água.

Foram utilizados dados de temperatura do ar obtidas através da estação meteorológica do INMET e mostrados na Figura 8, para examinar a variação sazonal e interanual da temperatura durante o período estudado. A Figura 8 (a) representa a distribuição temporal da temperatura do ar média anual no período de 1990 a 2009, para a cidade de Manaus. Os anos mais quentes foram 1996 e 1997, com valor médio de 28°C. O ano de 1997 foi um ano seco em Manaus e em todo o Brasil, por conta do fenômeno El Niño.

Em 1991, a erupção do Pinatubo, nas Filipinas, expeliu grandes quantidades de aerossóis para a estratosfera, o que causou uma diminuição na temperatura da terra de cerca de 0,5 °C.

Ao longo do período, é possível observar uma tendência crescente na temperatura do ar, indicando que a substituição da vegetação pelas edificações e solo exposto, tem contribuído para a formação de possíveis ICU.

Já na distribuição mensal (Figura 8-b), os meses mais quentes foram os de setembro e outubro, onde a temperatura média fica em torno de 27 °C. Nos meses de janeiro a junho, a temperatura apresenta comportamento constante com valores variando de 25,5 a 26 °C.

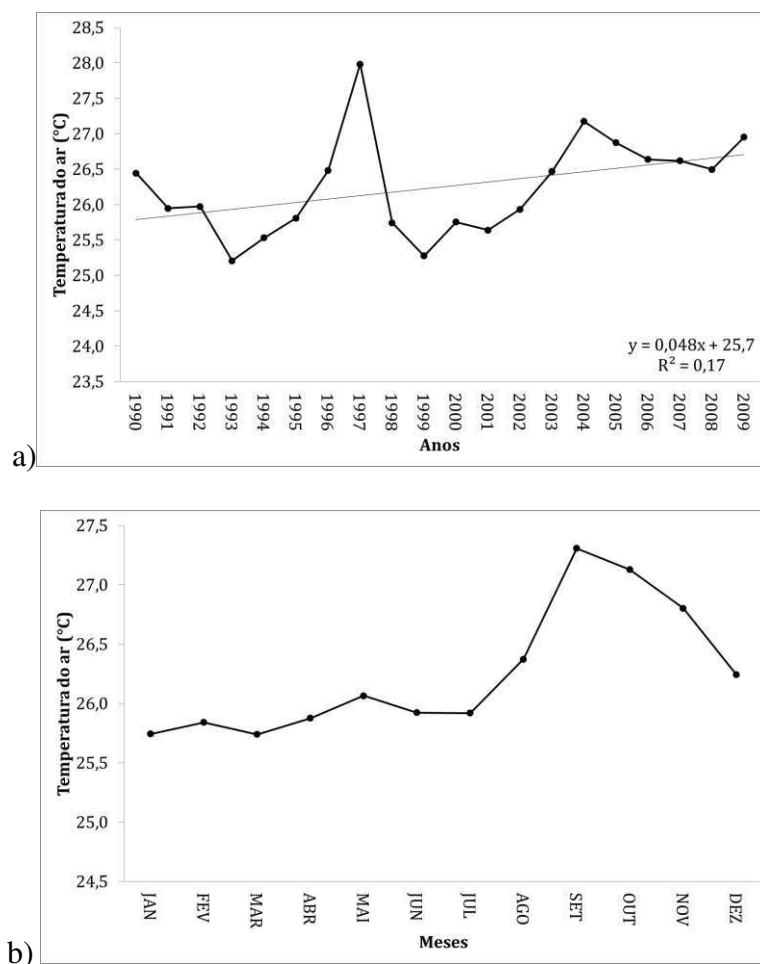


Figura 8: Distribuição temporal da temperatura do ar anual (a) e média mensal (b) de 1990 a 2009, valor médio calculado com dados de estação meteorológica do INMET.

5.3- RELAÇÃO ENTRE TEMPERATURA E OS ÍNDICES (NDWI, NDVI, NDBI E NDBaI)

A partir da geração dos modelos, obteve-se a imagem relativa a cada índice. Na maioria dos estudos esses índices são utilizados para classificação do solo, o que não foi

o objetivo desse trabalho. Nesse estudo o objetivo de se utilizar os índices foi para compara-los com a temperatura a partir dos gráficos de dispersão.

Na Figura 9 pode-se observar o NDVI para Manaus esse índice varia de -1 (corpos hídricos) a 1 (vegetação densa), como esperado os valores acima de 0,65 ficam nas áreas de vegetação, fazendo assim o maior realce nessas áreas. E os valores menores se encontram nas classes de área urbana, água e solo. A Figura 9 mostra ainda que com o passar dos anos o índice de NDVI sofreu um decréscimo em Manaus principalmente na área urbana. Esse resultado é similar ao encontrado por GOMES (2011), que observou um decréscimo no NDVI decorrente de ações antrópicas, quer seja pela retirada da vegetação ou pela substituição da área urbana ou por plantio de culturas.

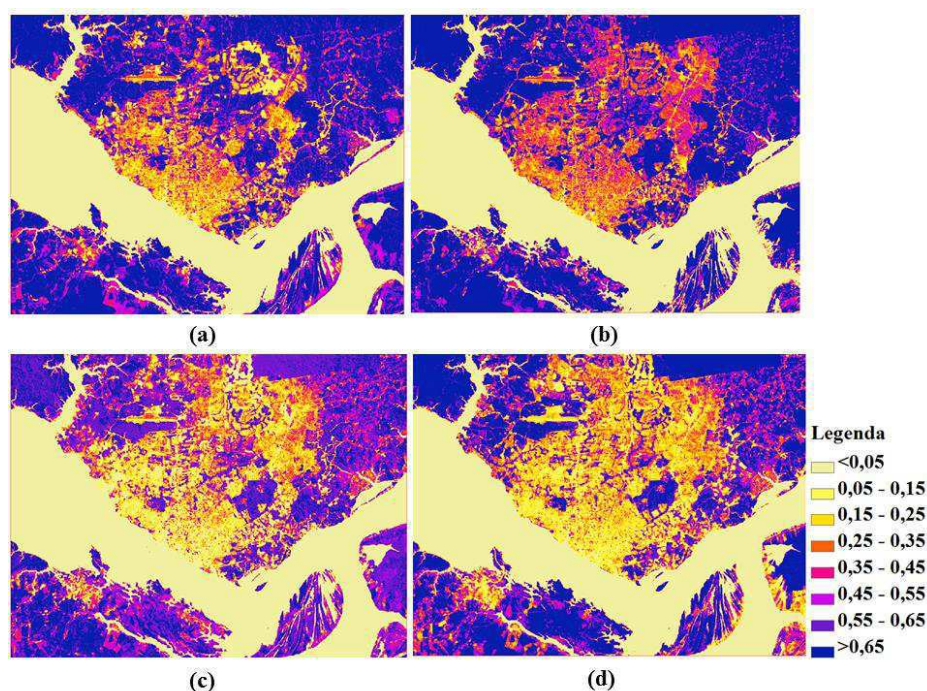


Figura 9: Distribuição espacial do NDVI ao longo do período. (a) 1990, (b) 1997, (c) 2003 e (d) 2009.

A Figura 10 mostra a espacialização do índice de água (NDWI) para Manaus nos anos 1990, 1997, 2003 e 2009. Notam-se os maiores valores nas classes de água e vegetação, e os menores valores nas classes de área urbana e solo. Pode-se observar que

a resposta espectral da vegetação densa é bem parecida com a da água, isso se dá devida ao teor de água da vegetação.

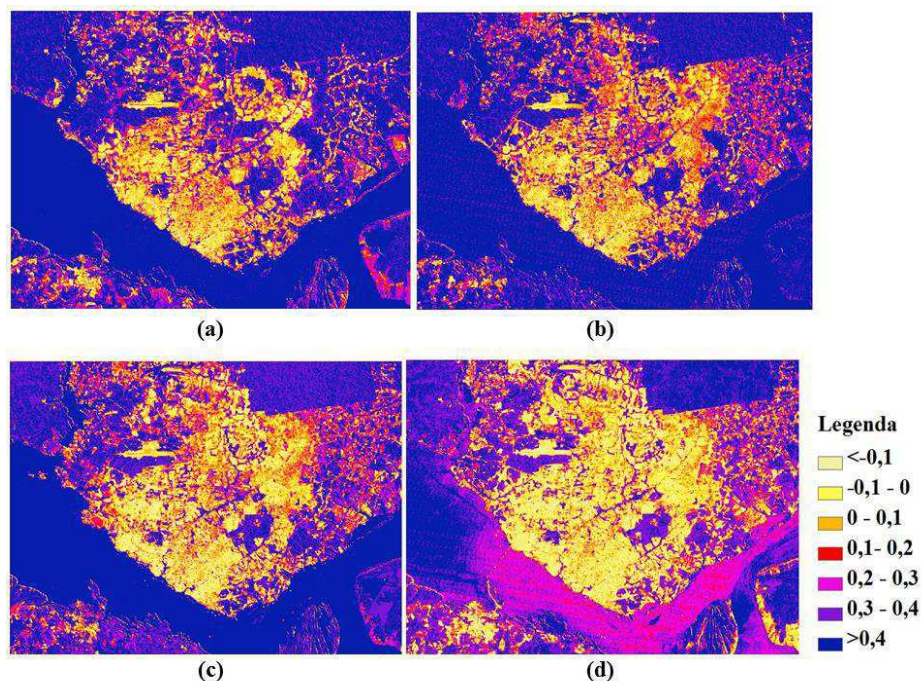


Figura 10: Distribuição espacial do NDWI ao longo do período. (a) 1990, (b) 1997, (c) 2003 e (d) 2009.

O índice de área construída tem valores maiores para área construída e menores valores nas classes de água e vegetação. Como o NDBI e o NDBaI são índices para solo, ambos possuem semelhança na recuperação dessas classes. A Figura 11 mostra que o NDBI caracterizou bem a área urbana e como dentro da área urbana possui solo exposto o índice também tem o valor alto para o solo exposto. Na Figura 11 pode-se ainda acompanhar o processo de expansão da área urbana do município de Manaus e como já confirmado houve o crescimento com o passar do período em estudo.

O índice de diferenciação para o solo exposto (NDBaI) Figura 12, concentra os valores na faixa de valores de -1 à 0. Esse índice é utilizado para diferenciar bem a área urbana do solo, uma vez que as respostas espectrais dessas classes muitas vezes se confundem.

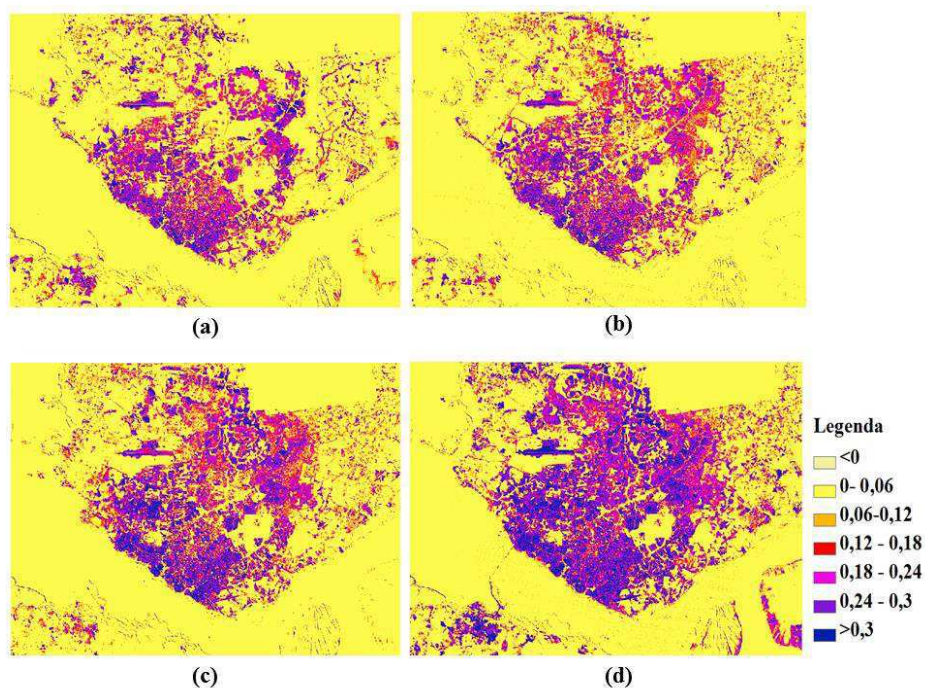


Figura 11: Distribuição espacial do NDBI ao longo do período. (a) 1990, (b) 1997, (c) 2003 e (d) 2009.

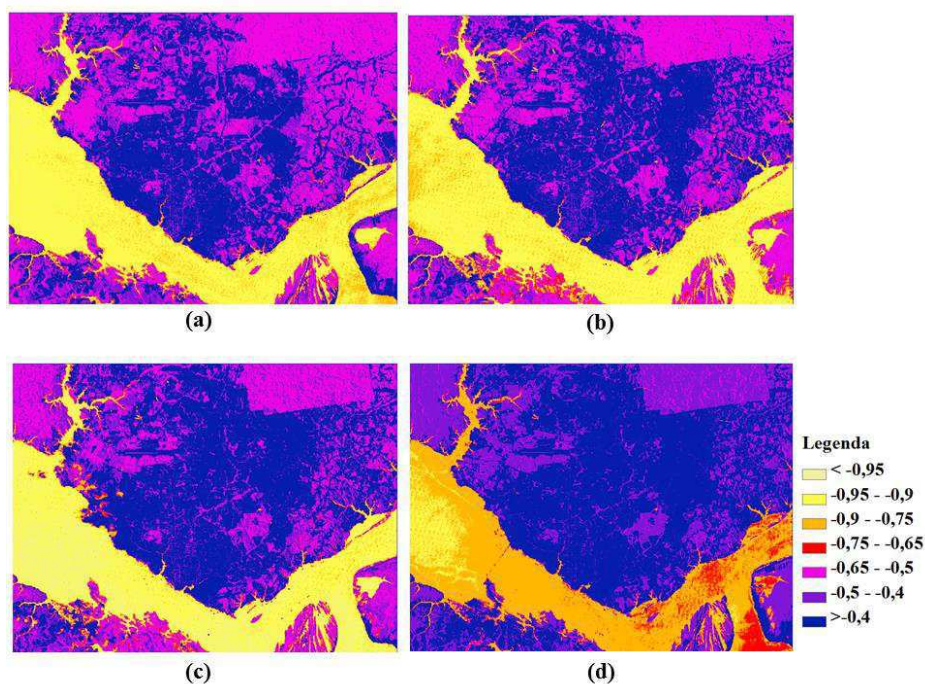


Figura 12: Distribuição espacial do NDBaI ao longo do período. (a) 1990, (b) 1997, (c) 2003 e (d) 2009.

Nesse estudo, os diagramas de dispersão foram utilizados para estudar as relações entre NDVI, NDWI, NDBI e NDBaI e a temperatura quantitativamente. A partir dos

dados de temperatura de superfície obtidos através das imagens de satélite e dos índices gerados podemos observar as relações dos mesmos na Figura 13. As relações entre a temperatura da superfície e o NDBI e NDBaI se comportaram, basicamente, da mesma forma, a reta é ascendente, isso quer dizer que à medida que cresceu a área construída e solo exposto a temperatura também aumentou.

Já com os índices NDVI E NDWI, à medida que diminuiu a vegetação e a água foi constatado o aumento da temperatura. Esse resultado é confirmado por Correia e Souza (2012) no relatório do projeto de pesquisa sobre ilhas de calor na cidade de Manaus, onde realizaram um estudo observacional e de modelagem numérica para identificar e quantificar o fenômeno de ilhas de calor na cidade. Eles afirmaram que em todas as regiões analisadas houve um aumento na temperatura da superfície nos últimos anos. Ao mesmo tempo, também é observada nos índices de vegetação uma tendência de redução destes valores ao longo dos anos avaliados, sugerindo que o aumento de temperatura da superfície na cidade de Manaus está diretamente relacionado com uma diminuição na área verde (árvores) da cidade.

Correia e Souza (2012) afirmaram ainda que seus resultados estavam consistentes com o processo de expansão urbana que Manaus tem sentido na última década, resultante da verticalização da cidade e de obras que têm modificado consideravelmente a paisagem urbana, pela construção de conjuntos habitacionais, praças, ruas e a canalização dos igarapés da rede hidrográfica da cidade. Nestas obras de infraestrutura, usualmente retira-se a vegetação existente nesses igarapés, impermeabilizam o solo, e estreitam os cursos d'água, contribuindo para diminuir a evaporação e evapotranspiração, que por sua vez, diminuirá a umidade relativa do ar, causando alterações microclimáticas espaciais na cidade.

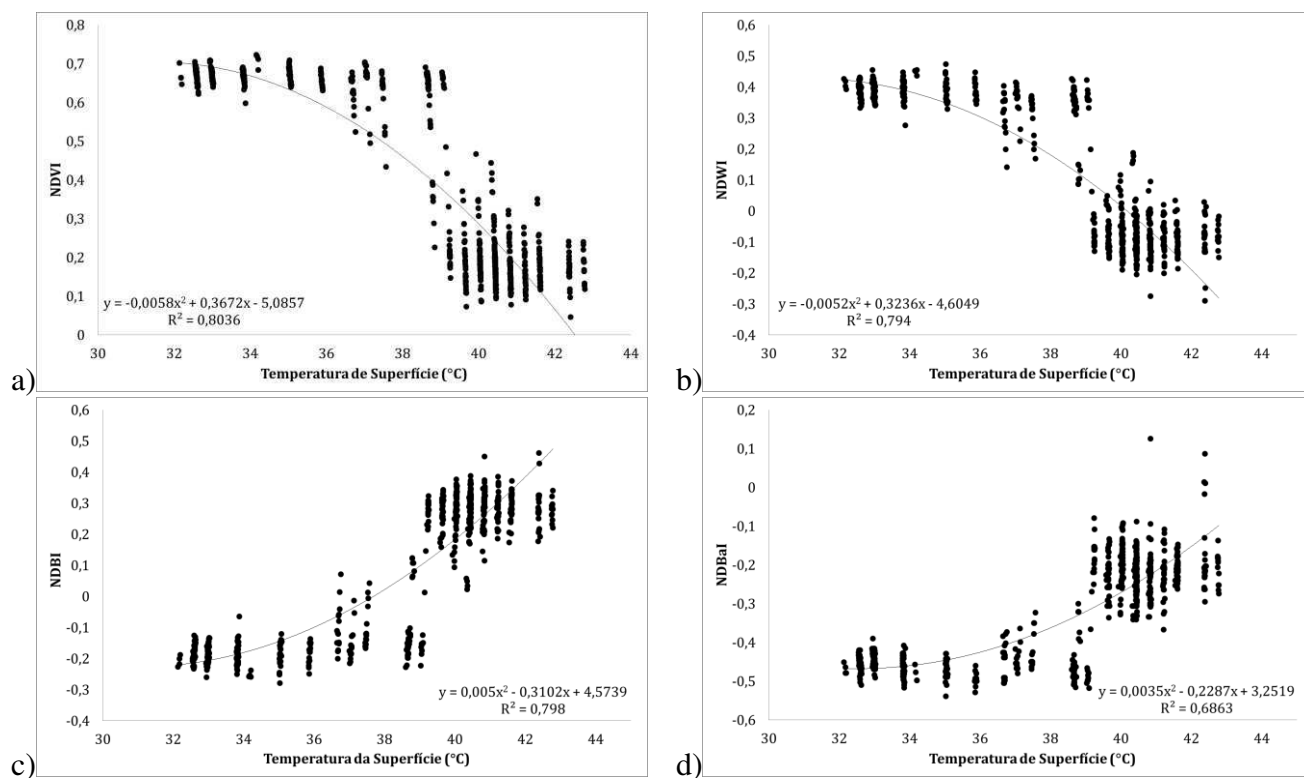


Figura 13: As relações entre temperatura, em °C, e valores médios dos índices. (a) NDVI e da temperatura, (b) NDWI e temperatura, (c) NDBI e temperatura, (d) NDBaI e temperatura.

6. CONCLUSÃO

Evidentemente que as imagens de satélite possuem limitações de uso, por exemplo, as datas de aquisição, nuvens e disponibilidade em geral. Como na imagem de 2003 que apresentava a presença de nuvem.

A expansão urbana tem ocasionado a diminuição das áreas verdes existentes na cidade e também agravos no desconforto térmico criando um ambiente propício para formação das ilhas de calor urbano. A diferença de temperatura entre a área urbana e a vegetação densa foi de 4,8 °C no ano de 1990 e 8,8 °C no ano de 2009. A intensidade da ICU pode ser influenciada por muitos fatores e que pode nem sempre apresentar uma tendência linear com a expansão da área urbana.

A distribuição da ICU foi alterada de um padrão pontilhado para um padrão uniforme e extenso, bem como a área urbanizada se expandiu em Manaus.

Houve uma expansão de 41% na área urbana valores estes que corroboraram com o aumento populacional de 790.513 e/ou de 78% no período, de acordo com dados do IBGE.

A análise quantitativa dos índices NDVI, NDWI, NDBI e NDBaI juntamente com a temperatura, permitiu uma avaliação preliminar das mudanças ambientais, com forte indicativo de alterações no microclima local. A mudança no uso e ocupação do solo contribuiu para o aquecimento, principalmente através dos processos de expansão urbana, solo exposto e semi exposto. O rápido aumento da temperatura de superfície na região de Manaus é o fator mais preocupante dessa pesquisa.

De modo geral, nas áreas densamente ocupadas do município de Manaus, as temperaturas se mostraram mais elevadas em relação às áreas que possuem vegetação, confirmando trabalhos anteriores de que áreas verdes influenciam no comportamento térmico das cidades.

6. REFERÊNCIAS

ALTMANN, A. L.; ECKHARDT, R. R.; REMPEL, C. Evolução temporal do uso e cobertura da terra - estudo de caso no município de Teutônia - RS - Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 61, p. 273-283, 2009.

ARYA, S. P. **Introduction to Micrometeorology**. Academic Press. 420 p. 2001

BRASIL. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE**. Disponível em:<
<http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=pi>> Acesso em 22 de abril de 2013.

BRASIL. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE**. Disponível em: <
<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>> Acesso em 20 de abril de 2013.

BRASIL. Decreto-lei no 3.173, de 6 de Junho de 1957. Disponível em:<
http://www.suframa.gov.br/zfm_historia.cfm> Acesso em 24 de abril de 2013.

BRASIL. Decreto-lei no 8.387, de 30 de Dezembro de 1991. Disponível em:<
http://www.suframa.gov.br/zfm_historia.cfm> Acesso em 24 de abril de 2013.

CARVALHO, D. L. R.; SOARES, C. B. S. S.; SILVA, M. M. Identificação de Ilhas de Calor Urbana na Cidade de Manaus-AM. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE p.0874-0881.

CHEN, Y.; WANG, J.; LI, X. A study on urban thermal field in summer based on satellite remote sensing. **Remote Sensing for Land and Resources**, v. 4, p. 55-59, 2002.

CHEN, X. L.; ZHAO, H. M.; LI, P. X.; YIN, Z. Y. Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. **Remote Sensing of Environment**, v. 104, n. 2, p. 133-146, 2006.

CORREIA, F.W.S.; SOUZA, R.A.F.; **Ilhas de calor na cidade de Manaus: um estudo observacional e de modelagem numérica.** Manaus: UEA, 2012.

CRÓSTA, Á. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto.** ed. rev. Campinas – SP: IG/UNICAMP, 1992, 170p.

FERREIRA, A. B.; SANTOS, C. R.; BRITO, J.L.S.; ROSA, R.; Análise comparativa do uso e ocupação do solo na área de influência da Usina Hidrelétrica Capim Branco I a partir de técnicas de geoprocessamento. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 2997-3004.**

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélites para estudos ambientais.** São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

GAO, BO-CAI. NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote Sensing of Environment**, 58(3), p. 257–266, 1996.

GOMES, L. C. F. **Dinâmica da temperatura da superfície em resposta às alterações na cobertura e uso do solo utilizando técnicas de sensoriamento remoto.** Dissertação (Mestrado em meteorologia). Universidade Federal de Campina Grande–PB, 70p, 2011.

JACKSON, T. J.; CHEN, D.; COSH, M.; LI, F.; ANDERSON, M.; WALTHALL, C., et al.. Vegetation water content mapping using Landsat data derived normalized difference water index for corn and soy beans. **Remote Sensing of Environment**, v. 92,p. 475–482, 2004

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente:** uma perspectiva em recursos terrestres. John R. Jensen; tradução: José Carlos Neves Epiphanyo, *et al.* São José dos Campos - SP: Parêntese, 2009.

JESUS, E. L.; AGUIAR, L. P. P. Expansão urbana em Manaus e conflitos ambientais: o caso tarumã na zona oeste da cidade. In: **IX Encontro da sociedade brasileira de economia ecológica**. Brasília, DF, Brasil, 2011.

KLOK, L.; ZWART, S.; VERHAGEN, H.; MAURI, E. The surface heat island of Rotterdam and its relationship with urban surface characteristics. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 64, p. 23 - 29, 2012.

LI, Y.I.; ZHANG, H.; KAINZ, W. Monitoring patterns of urban heat islands of the fast-growing Shanghai metropolis, China: Using time-series of Landsat TM/ETM+ data. In: **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v.19, p. 127–138. 2012.

MAKI, M.; ISHIAHRA, M.; TAMURA, M. Estimation of leaf water status to monitor the risk of forest fires by using remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, v. 90, p. 441–450, 2004.

MINAKI, C.; AMORIM, M.C.C.T. Características das ilhas de calor em araçatuba/sp: análise de episódios. **Revista Geonorte**, Edição Especial 2, v.2, n.5, p. 279-294, 2012.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 2. ed. rev. 307 p. Viçosa: Ed. UFV, 2003.

NIEUWOLT, S. The urban microclimate of Singapore. **The Journal of Tropical Geography**, v.22, p. 30–37, 1966.

OKE, T. R. **Boundary layer climates**. 2 ed. London: Methuen, 435 p., 1987.

PACHÊCO, A. P.; RIBAS, N. S. Sensoriamento Remoto Aplicado ao Uso da Terra. **Geodésica online**, v. 4, n. 1, p. 34-48, 1998.

POTTKER, G. S., Andrade, Aparecido R. de, Oliveira Filho, Paulo C. de Detecção e quantificação da importância do uso da terra no microclima urbano. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.0807

PUREVDORJ, T. S., TATEISHI, R.; ISHIYAMA, T., HONDA, Y. Relationships between percent vegetation cover and vegetation indices. **International Journal of Remote Sensing**, v.19, p. 3519-3535, 1998.

RAMOS, A.R.D. **Identificação do uso e ocupação das terras no estado do Piauí e sua relação com os eventos extremos de precipitação**. Dissertação de Mestrado em Meteorologia. Universidade Federal de Campina Grande–PB, 67p, 2013.

ROSA, R. **Geotecnologias na Geografia Aplicada**. **Revista do Departamento de Geografia**, 16, 81-90, 2005.

SARAIVA, A.G.S. **Análise multitemporal do uso do solo e dos níveis de degradação das terras no município de Boa Vista-PB utilizando dados de sensoriamento remoto e SIG**. Monografia (Graduação em Geoprocessamento). Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Paraíba. João Pessoa-PB, 98p., 2009.

SILVA, M. L. M.; PEREIRA, G. P. M. Avaliação de algoritmos de classificação supervisionada para imagens do Cbers-2 da Região do Parque Estadual do Rio Doce-MG. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil**, 21-26 abril 2007, INPE, p. 6223-6228.

SILVA, W.S.; VIEIRA. V. C. B. Evolução Multitemporal do uso e cobertura do solo no município de Uruçuí-PI. **Anais II Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica**, João Pessoa - PB –2007.

SOARES, F.U. **Estudo do potencial climático para cana-de-açúcar (*Sacharum ssp.*) no Rio Grande do Sul por meio de geoprocessamento: estudo de caso no município de Jaguari**. Dissertação (Mestrado em Geomática). Universidade Federal de Santa Maria- RS, 75p, 2008.

SUFRAMA. Superintendência da Zona Franca de Manaus. Disponível em:<http://www.suframa.gov.br/zfm_historia.cfm> Acesso em 24 de abril de 2013.

ZARCO-TEJADA, P. J., RUEDA, C. A., & USTIN, S. L. Water content estimation in vegetation with MODIS reflectance data and model inversion methods. **Remote Sensing of Environment**, v. 85, p. 109–124, 2003.

ZHA, Y., GAO, J., NI, S. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v. 24, p. 583–594, 2003.

ZHAO, H. M., CHEN, X. L. Use of normalized difference bareness index in quickly mapping bare areas from TM/ETM+. **Geoscience and Remote Sensing Symposium**, v. 3, p. 1666–1668, 2005.