



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21b/2014/08.15.16.59-TDI

**ANÁLISE DA EXPANSÃO URBANA COM
UTILIZAÇÃO DO MODELO LINEAR DE MISTURA
ESPECTRAL: ESTUDO DE CASO EM ALTAMIRA (PA)
ENTRE 2000 E 2010**

Mayumi Cursino de Moura Hirye

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, orientada pelo Dr. Diógenes Salas Alves, aprovada em 28 de agosto de 2014.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP5W34M/3GRL7KE>>

INPE
São José dos Campos
2014

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

Fax: (012) 3208-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELLECTUAL DO INPE (RE/DIR-204):**Presidente:**

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Membros:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação Observação da Terra (OBT)

Dr. Amauri Silva Montes - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espaciais (ETE)

Dr. André de Castro Milone - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

Dr. Joaquim José Barroso de Castro - Centro de Tecnologias Espaciais (CTE)

Dr. Manoel Alonso Gan - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Dr^a Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

Dr. Plínio Carlos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Maria Tereza Smith de Brito - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Maria Tereza Smith de Brito - Serviço de Informação e Documentação (SID)

André Luis Dias Fernandes - Serviço de Informação e Documentação (SID)



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21b/2014/08.15.16.59-TDI

**ANÁLISE DA EXPANSÃO URBANA COM
UTILIZAÇÃO DO MODELO LINEAR DE MISTURA
ESPECTRAL: ESTUDO DE CASO EM ALTAMIRA (PA)
ENTRE 2000 E 2010**

Mayumi Cursino de Moura Hirye

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, orientada pelo Dr. Diógenes Salas Alves, aprovada em 28 de agosto de 2014.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP5W34M/3GRL7KE>>

INPE
São José dos Campos
2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Hirye, Mayumi Cursino de Moura.

H619a Análise da expansão urbana com utilização do modelo linear de mistura espectral: estudo de caso em Altamira (PA) entre 2000 e 2010 / Mayumi Cursino de Moura Hirye. – São José dos Campos : INPE, 2014.

xix + 161 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m21b/2014/08.15.16.59-TDI)

Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2014.

Orientador : Dr. Diógenes Salas Alves.

1. Landsat . 2. Modelo linear de mistura espectral. 3. Modelo vegetação-impermeabilização-solo. 4. Cobertura da terra. 5. Áreas urbanas. I.Título.

CDU 528.88:911.375.1




Esta obra foi licenciada sob uma Licença [Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

Aprovado (a) pela Banca Examinadora
em cumprimento ao requisito exigido para
obtenção do Título de **Mestre** em
Sensoriamento Remoto

Dr. Diógenes Salas Alves



Presidente / Orientador(a) / INPE / SJCampos - SP

Dra. Cláudia Maria de Almeida



Membro da Banca / INPE / São José dos Campos - SP

Dr. Hermann Johann Heinrich Kux



Membro da Banca / INPE / SJCampos - SP

Dra. Alejandra Maria Devecchi



Convidado(a) / USJT / São Paulo - SP

Este trabalho foi aprovado por:

majoria simples

unanimidade

Aluno (a): *Mayumi Cursino de Moura Hirye*

São José dos Campos, 28 de Agosto de 2014

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Diógenes Salas Alves, pela orientação dedicada, pelas horas de conversas e pelas discussões e provocações.

Ao Dr. Hermann Johan Heinrich Kux, pelas contribuições valiosas, pelo espírito crítico e pela paciência.

Aos professores do INPE, por todo o conhecimento transmitido, em especial ao Dr. João Antonio Lorenzetti, ao Dr. José Carlos Neves Epiphanyo e à Dra. Cláudia Maria de Almeida, pelos ensinamentos fundamentais em sensoriamento remoto, e ao Dr. Camilo Daleles Rennó e ao Dr. Flávio Jorge Ponzoni, pela recepção generosa.

À Banca examinadora, em especial à Dra. Alejandra Maria Devecchi, pelo tempo dedicado a este trabalho e pelas correções e sugestões feitas.

Aos colegas de turma, em especial Ana Paula e Eder, pela companhia nestes anos de pesquisa.

Ao INPE, que por meio de sua estrutura e pessoal, propiciou o desenvolvimento desta pesquisa nas melhores condições.

À Eletronorte, pela cessão de imagens e levantamentos de Altamira, e aos engenheiros Habib Sallum e José Luiz Pettená, por viabilizarem essa aquisição.

A todos os que apoiaram com idéias, conselhos e compreensão da ausência e das faltas e que compartilharam as realizações e conquistas durante os dois anos e meio de trabalho.

E, por fim, aos amigos novos e antigos de Altamira, que vivem no dia a dia as transformações da cidade.

RESUMO

A cidade de Altamira (PA) passou por transformações importantes em seu território desde a década de 1970, quando se acelerou a expansão da fronteira agrícola na Amazônia. Novas formas de ocupação urbana foram justapostas às estruturas urbanas herdadas de períodos anteriores, ao lado da expansão da área urbanizada. Na década de 1970, a população urbana cresceu a uma taxa média de 16% ao ano. No período subsequente, o ritmo de crescimento diminuiu, chegando à média de 3% ao ano, entre 2000 e 2010. Nos anos recentes, a construção da UHE Belo Monte pode ser associada a uma nova fase de transformações na cidade. Neste trabalho, a expansão da cidade de Altamira entre os anos de 2000 e 2010 foi avaliada com base na integração de dados de diversas fontes, incluindo-se imagens do sensor Thematic Mapper (TM), ortofotos e dados coletados em campo. Foi elaborada metodologia para classificação da cobertura da terra em imagens do sensor TM de 2000 e 2010, com a utilização das técnicas de Modelos Lineares de Mistura Espectral e Vegetação-Impermeabilização-Solo (V-I-S). Diagramas triaxiais do modelo V-I-S foram utilizados para caracterizar as transformações dos bairros, indicando que a expansão urbana associou-se ao crescimento de 40% de áreas de solo ou impermeabilizadas em detrimento de áreas de vegetação. A integração de dados foi utilizada para analisar a estrutura da cidade e os processos de transformação. A estrutura é composta por um centro principal e um subcentro de comércio e serviços populares, locais específicos de desenvolvimento industrial e concentração da classe de alta renda; a expansão urbana acompanha as vias principais de acesso regional ao lado de um incipiente processo de deslocamento/expansão do centro para o setor sudoeste. Foram inferidas dinâmicas associadas à mitigação dos impactos da UHE Belo Monte, decorrentes da implantação de novos bairros para a população que será realocada e de parques nas margens dos igarapés Ambé, Altamira e Panelas.

ANALISYS OF URBAN EXPANSION USING LINEAR MIXTURE SPECTRAL MODEL: CASE STUDY IN ALTAMIRA (PA) BETWEEN 2000 AND 2010

ABSTRACT

The city of Altamira (PA) underwent major territorial changes starting in the 1970s, with the acceleration of the agricultural frontier expansion in the Brazilian Amazon. New forms of urban occupation were juxtaposed to urban structures inherited from previous periods at the same time as the city area expanded. During the 1970s, urban population grew at a rate of 16% per year. In subsequent decades, the growth rate decreased, reaching an average of 3% per year between 2000 and 2010. In recent years, the construction of the Belo Monte hydroelectric power plant can be associated with new transformations in the city. In this study, urban expansion in Altamira between 2000 and 2010 is analyzed based on the integration of data from different sources, including TM imagery, orthophotos and field data. A methodology was developed for land cover classification of 2000 and 2010 images of TM sensor, using Linear Spectral Mixture Model and Vegetation-Impervious surface-Soil Model (V-I-S) techniques. Triaxial diagrams of V-I-S model were used to characterize change at the district level, showing that urban expansion in the period of study was associated with a 40% increase in areas of soil or imperviousness at the expense of vegetation cover. Data integration was performed for the identification and analysis of city structure and expansion. It was inferred that the urban structure included one central district and one additional center sheltering popular commerce and services, along with specific settlement for industrial plants and high-income housing; urban expansion took place mostly along regional roads and access corridors, as the main center appeared to expand itself towards the city southwest sector. Urban occupation along Ambé, Altamira, and Panelas creeks were subjected to flooding after Belo Monte plant construction and resulted in the creation of new neighborhoods for displaced dwellers, while new parks are planned to be created in those areas.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 2.1 – Representação do modelo V-I-S.....	11
Figura 2.2 – Bandas mais adequadas para a distinção de materiais de cobertura do solo urbano	15
Figura 2.3 – <i>Scatterplots</i> das componentes 1 e 2, componentes 1 e 3 e componentes 3 e 2.....	19
Figura 2.4 – Modelo de uso do solo a partir da aplicação do MLME com três <i>endmembers</i> (sombra, solo/superfície impermeabilizada e vegetação).....	22
Figura 2.5 – Limite para a detecção de componente, considerando composições variáveis de mistura e diferentes sensores.....	23
Figura 2.6 – Diagrama ternário de classificação do uso e cobertura do solo	24
Figura 2.7 – Trajetória ideal de assentamento urbano na fronteira de ambiente de floresta tropical	25
Figura 3.1 – Fluxograma metodológico.....	29
Figura 3.2 – Localização de Altamira.....	30
Figura 3.3 – População total, população rural, população urbana e grau de urbanização em Altamira em 1970, 1980, 1991, 2000 e 2010.....	31
Figura 3.4 – Taxa de crescimento da população urbana de Altamira, do estado do Pará e do Brasil entre 1970 e 2010.....	32
Figura 3.5 – Expansão da mancha urbana de Altamira de 1911 a 2002	33
Figura 3.6 – Altamira nas imagens do sensor TM na composição RGB das bandas 5, 4 e 3 (a) em 2000 e (b) em 2010	37
Figura 4.1 – Amostras de asfalto (a) pelas curvas espectrais, (b) pelos pixels sobrepostos à imagem do sensor TM de 2010 e (c) pelos pixels sobrepostos às ortofotos de 2010.....	53
Figura 4.2 – Amostras de telha clara e telha escura (a) pelas curvas espectrais, (b) pelos pixels sobrepostos à imagem do sensor TM de 2010 e (c) pelos pixels sobrepostos às ortofotos de 2010	54
Figura 4.3 – Amostras de solo (a) pelas curvas espectrais, (b) pelos pixels sobrepostos à imagem do sensor TM de 2010 e (c) pelos pixels sobrepostos às ortofotos de 2010.....	55

Figura 4.4 – Amostras de vegetação (a) pelas curvas espectrais, (b) pelos pixels sobrepostos à imagem do sensor TM de 2010 e (c) pelos pixels sobrepostos às ortofotos de 2010.....	56
Figura 4.5 – Amostras de água (a) pelas curvas espectrais, (b) pelos pixels sobrepostos à imagem do sensor TM de 2010 e (c) pelos pixels sobrepostos às ortofotos de 2010.....	57
Figura 4.6 – <i>Scatterplots</i> apresentando as respostas das amostras da Tabela 1 para pares de canais da imagem do sensor TM de 2010.....	58
Figura 4.7 – Mapeamento da fração de maior valor (a) do MLME 08, (b) do MLME 09 e (c) do MLME 10	61
Figura 4.8 – Fração solo (a) do MLME 08, (b) do MLME 09 e (c) do MLME 10.....	62
Figura 4.9 – Fração telha escura (a) do MLME 08, (b) do MLME 09 e (c) do MLME 10.....	62
Figura 4.10 – Mapeamento da fração de maior valor (a) do MLME 16, (b) do MLME 17, (c) do MLME 18, (d) do MLME 19, (e) do MLME 20 e (f) do MLME 10	65
Figura 4.11 – Fração asfalto (a) do MLME 17, (b) do MLME 18, (c) do MLME 19, (d) do MLME 20, (e) do MLME 10.....	66
Figura 4.12 – Mapeamento da fração de maior valor (a) do MLME 21, (b) do MLME 22, (c) do MLME 23 e (d) do MLME 24.....	67
Figura 4.13 – Mapeamento do erro (a) do MLME 21, (b) do MLME 22, (c) do MLME 23 e (d) do MLME 24.....	68
Figura 4.14 – MLME 36: (a) mapeamento da fração de maior valor, (b) imagem-erro, (c) fração telha clara, (d) fração solo, (e) fração vegetação e (f) fração água.....	69
Figura 4.15 – Mapeamento da fração de maior valor (a) do MLME 28, (b) do MLME 29 e (c) do MLME 31	70
Figura 4.16 – Imagem-erro (a) do MLME 28, (b) do MLME 29 e (c) do MLME 31	70
Figura 4.17 – Detalhe da área de mata (a) na fração solo do MLME 29, (b) nas ortofotos de 2010 e (c) na fração solo do MLME 10	72
Figura 4.18 – Detalhe da área urbana (a) no mapeamento da fração de maior valor do MLME 29, (b) nas ortofotos de 2010 e (c) no mapeamento da fração de maior valor do MLME 10	72
Figura 4.19 – Detalhe do aeroporto (a) no mapeamento da fração de maior valor do MLME 36, (b) nas ortofotos de 2010 e (c) no mapeamento da fração de maior valor do MLME 10	73

Figura 4.20 – Detalhe da área urbana (a) no mapa de cobertura da terra do MLME 36, (b) nas ortofotos de 2010 e (c) no mapa de cobertura da terra do MLME 10	73
Figura 4.21 – Mapa de cobertura da terra de Altamira em 2000.....	75
Figura 4.22 – Mapa de cobertura da terra de Altamira em 2010.....	76
Figura 4.23 – Detalhe da área rural (a) nas ortofotos de 2010, (b) na imagem do sensor TM em composição RGB das bandas 5, 4 e 3 e (c) no mapa de cobertura da terra de 2010.....	79
Figura 4.24 – Detalhe da área ao redor do campo de futebol municipal (a) das ortofotos de 1999/2000, (b) das ortofotos de 2010, (c) da classe vegetação do mapa de cobertura da terra de 2000 e (d) da classe vegetação do mapa de cobertura da terra de 2010	80
Figura 4.25 – Detalhe do 51° BIS nas ortofotos (a) de 1999 e (b) de 2010 e nos mapas de cobertura da terra (c) de 2000 e (d) de 2010	81
Figura 4.26 – Bairros de Altamira segundo a ocupação em 2010 sobrepostos aos mapas de cobertura da terra (a) de 2000 e (b) de 2010	83
Figura 4.27 – Diagrama triaxial da composição V-I-S (V – Vegetação, I – Impermeabilização, S – Solo) da evolução 2000-2010 (a) do centro e (b) dos bairros de chácaras.....	84
Figura 4.28 – Diagrama triaxial da composição V-I-S (V – Vegetação, I – Impermeabilização, S – Solo) da evolução 2000-2010 dos bairros (a) com mais de 50% dos lotes ocupados e (b) com menos de 50% dos lotes ocupados.....	84
Figura 4.29 – Detalhe dos bairros Jardim França e Mutirão nas ortofotos (a) de 1999 e (b) de 2010 e nos mapas de cobertura da terra (c) de 2000 e (d) de 2010.....	86
Figura 4.30 – Bairros de Altamira segundo a ocupação (a) em 2000 e (b) em 2010	87
Figura 4.31 – Diagramas triaxiais da composição V-I-S dos bairros de Altamira (a) em 2000 e (b) em 2010.....	88
Figura 4.33 – Fotos da ocupação de alto padrão no setor sudoeste.....	91
Figura 4.34 – Fotos da ocupação da avenida Brigadeiro Eduardo Gomes.....	92
Figura 4.36 – Fotos da ocupação do igarapé Ambé	96
Figura 4.37 – Fotos da ocupação do igarapé Altamira	97
Figura 4.38 – Fotos da ocupação do igarapé Panelas	98
Figura 4.39 – Detalhe do mapa de cobertura da terra e estrutura urbana de Altamira em 2010.....	99
Figura 4.40 – Fotos do conjunto habitacional Santa Benedita.....	101
Figura 4.41 – Fotos de loteamentos privados em lançamento em 2013	102

Figura 4.42 – Fotos dos RUCs São Joaquim e Jatobá	104
Figura 4.43 – Localização das intervenções nos igarapés Ambé, Altamira e Panelas.....	105

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
Tabela 2.1 – Níveis I, II e III da biblioteca espectral de materiais urbanos	13
Tabela 3.1 – Imagens de média resolução.....	38
Tabela 3.2 – Imagens de alta resolução.....	39
Tabela 3.3 – Resultados do registro das imagens e ortofotos.....	40
Tabela 3.4 – Radiância espectral, $L_{MIN\lambda}$ e $L_{MAX\lambda}$, em $W/m^2 sr \mu m$	41
Tabela 3.5 – Média da radiância solar exo-atmosférica para as bandas do sensor TM, calculada com o modelo CHKUR - MODTRAN 4.0	42
Tabela 3.6 – Qualificação do mapeamento de acordo com intervalos de valores de <i>Kappa</i>	47
Tabela 4.1 – Amostras selecionadas	52
Tabela 4.2 – Modelos lineares de mistura espectral testados na 1ª e 2ª rodadas.....	60
Tabela 4.3 – Modelos lineares de mistura espectral testados na 3ª, 4ª e 5ª rodadas.....	64
Tabela 4.4 – Síntese dos modelos 10, 36 e 29.....	71
Tabela 4.5 – Avaliação da exatidão dos mapas de cobertura da terra de 2000 e 2010.....	74
Tabela 4.6 – Avaliação da exatidão dos mapas de cobertura da terra de 2000 e 2010, com a eliminação de amostras.....	77
Tabela 4.7 – Matrizes de confusão normalizada para os anos de 2000 e 2010, com a eliminação de amostras	78
Tabela 4.8 – Áreas de vegetação, impermeabilização e solo no perímetro urbano de Altamira, quantificadas a partir dos mapas de cobertura da terra, elaborados considerando as classes propostas no modelo V-I-S (RIDD, 1995) e a identificação do pixel de maior valor das frações calculadas pelo MLME como regra para a atribuição de classes.....	82
Tabela C.1 – Características dos materiais de cobertura, segundo dados dos trabalhos de campo de 2013.....	125
Tabela D.1 – Características da ocupação nos bairros de Altamira, segundo dados dos trabalhos de campo de 2013.....	131
Tabela D.2 – Características da infraestrutura nos bairros de Altamira, segundo dados dos trabalhos de campo de 2013.....	148

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AVIRIS	<i>Airborne Visible Infra Red Imaging Spectrometer</i>
BIS	Batalhão de Infantaria da Selva
DGI/INPE	Divisão de Geração de Imagens / Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
JPL/NASA	<i>Jet Propulsion Laboratory / National Aeronautics and Space Administration</i>
MESMA	Análise de Mistura Espectral com Múltiplos <i>Endmembers</i> (<i>Multiple Endmember Spectral Mixture Analysis</i>)
MLME	Modelo Linear de Mistura Espectral
MNF	Fração Mínima de Ruído (<i>Minimum Noise Fraction</i>)
MaxVer	Máxima Verossimilhança
PBA	Plano Básico Ambiental
REMQ	Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático
RUC	Reassentamento Urbano Coletivo
TM	<i>Thematic Mapper</i>
UHE	Usina Hidrelétrica
UTM	Universal Transversa de Mercator
V-I-S	Vegetação – Impermeabilização – Solo
WGS	Sistema Geodésico Mundial (<i>World Geodetic System</i>)
ZIP	Zona de Interesse Paisagístico
ZEIS	Zona Especial de Interesse Social

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Objetivo	4
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	5
2.1 Estruturação e Expansão das Cidades	5
2.2 Superfícies Impermeabilizadas	10
2.3 Modelo Linear de Mistura Espectral	15
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	29
3.1 Área de Estudo	29
3.2 Trabalhos de Campo	36
3.3 Imagens Utilizadas.....	37
3.4 Pré-processamento.....	39
3.4.1 Registro das Imagens	40
3.4.2 Transformação Radiométrica.....	40
3.5 Cálculo dos Modelos Lineares de Mistura Espectral	42
3.6 Elaboração dos Mapas de Cobertura da Terra.....	44
3.7 Avaliação dos Modelos Lineares de Mistura Espectral e dos Mapas de Cobertura da Terra.....	45
3.8 Análise da Expansão Urbana de Altamira	47
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	51
4.1 Modelos Lineares de Mistura Espectral.....	51
4.2 Mapas de Cobertura da Terra	74
4.3 Expansão Urbana de Altamira entre 2000 e 2010	82
5 CONCLUSÕES.....	107
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	111
APÊNDICE A – Modelo de ficha de campo (material de cobertura).....	121
APÊNDICE B – Modelo de ficha de campo (bairro).....	123
APÊNDICE C – Tabulação dos dados das fichas de materiais de cobertura	125
APÊNDICE D – Tabulação dos dados das fichas de bairros.....	131

1 INTRODUÇÃO

O sensoriamento remoto e as técnicas de interpretação visual e processamento digital de imagens oferecem instrumental para a observação do território e suas transformações ao longo do tempo, em diferentes resoluções espaciais e com definições variadas de objetos temáticos a serem mapeados. Se a disponibilidade de imagens é uma condicionante relevante para a realização das análises, a conjugação de diferentes fontes de dados, por outro lado, tende a produzir resultados mais ricos e menos sujeitos a erros.

As imagens do sensor *Thematic Mapper* (TM) a bordo dos satélites Landsat cobrem, com resolução espacial de 30m, a superfície terrestre e as zonas costeiras desde 1982. Assim, a existência de longas séries temporais com extensa cobertura geográfica torna essas imagens de interesse a uma ampla gama de usuários. A média resolução espacial está associada ao chamado “problema de mistura do pixel” (SHIMABUKURO; SMITH, 1991; LU; WENG, 2004; ADAMS; GILLESPIE, 2006), que tem origem no fato da resolução do pixel ser, muitas vezes, maior que os elementos da cena, o que faz com que o sinal captado pelo sensor seja a mistura da resposta dos alvos presentes na área imageada.

Muitos dos estudos urbanos utilizando o sensoriamento remoto se apoiam no mapeamento de superfícies impermeáveis (“impervious surfaces”) que a rigor, são superfícies que impedem a infiltração da água no solo. Propõe-se neste trabalho utilizar a expressão em português “superfícies impermeabilizadas” e defini-las como “feições construídas pela ação humana através das quais a água não pode se infiltrar no solo” (WENG, 2012). A análise linear de mistura espectral tem sido bastante utilizada para o mapeamento de áreas impermeabilizadas com imagens de média resolução, sendo reportada como uma abordagem eficiente para lidar com o problema de mistura de pixel e com a diversidade de materiais que são encontrados nas áreas urbanas (LU; WENG,

2006; MADHAVAN et al., 2001; LU et al., 2011a, b; KUCK, 2010; PHINN et al., 2002; POWELL et al., 2007; WU; MURRAY, 2003; POWELL; ROBERTS, 2010; WENG et al., 2008; WENG; LU, 2009).

O modelo Vegetação-Impermeabilização-Solo (V-I-S) proposto por RIDD (1995), por sua simplicidade e alto poder explicativo, é muito utilizado em estudos baseados em dados de impermeabilização obtidos por sensoriamento remoto (MADHAVAN et al., 2001; PHINN et al., 2002; WU; MURRAY, 2003; POWELL et al., 2007; POWELL; ROBERTS, 2008; WENG; LU, 2009). As feições comumente encontradas em áreas urbanas (i.e. centro, áreas residenciais de alta densidade, solo exposto etc.) podem ser caracterizadas no diagrama triangular da composição percentual de vegetação, impermeabilização e solo. A agregação dos pixels em unidades espaciais, com lógica, tamanho ou forma adequados aos objetivos pretendidos, e a caracterização de cada unidade espacial em termos da composição V-I-S possibilita a comparação de mudanças no tempo ou entre diferentes cidades.

Extrapolando a mera caracterização do contexto espacial de processos urbanos, a combinação de imagens com dados de outras fontes possibilita a análise da estrutura urbana e explorar as relações que a determinam. Os modelos teóricos que investigam aspectos espaciais das cidades brasileiras relacionam, por exemplo, o processo de urbanização e o de industrialização ou explicam a estrutura das cidades pelo padrão periférico de urbanização, que conjuga a segregação social das camadas populares de menor renda, a autoconstrução das moradias e a precariedade das condições de consumo coletivo.

Villaça (2001), de maneira distinta, entende que as relações no espaço urbano se dão a partir de uma configuração espacial específica, no caso, a segregação das áreas destinadas às classes de alta renda das demais áreas da cidade, que é condição necessária para viabilizar uma situação social de dominação e apropriação desigual do espaço. De seu estudo das metrópoles brasileiras, o

autor concebe que a estrutura urbana, como um todo articulado, é composta por determinados elementos arranjados espacialmente em setores de círculos concêntricos. O mérito dessa abordagem está na capacidade de explicar as formas urbanas – os bairros, as direções de crescimento, a forma da mancha urbana, a verticalização, densidades, vazios urbanos etc. – a partir de sua localização, ou seja, da relação desse ponto com todos os demais pontos do espaço urbano.

Especificamente na Amazônia, a criação e desenvolvimento de núcleos urbanos foram estratégias para a rápida ocupação da região, durante o processo de expansão da fronteira agrícola da Amazônia, intensificado a partir da década de 1970. Nas palavras de Machado (2002), “a expansão da fronteira agrícola se faz num contexto urbano” (MACHADO, 2002, p. 212). A urbanização desempenhou fundamentalmente o papel de “atração dos fluxos migratórios, organização do mercado de trabalho e controle social” (BECKER, 1990, p. 52). Becker (1990) atribui aos núcleos urbanos o papel de *locus* da ação político-ideológica do Estado, da “*preparação* da população para seu papel na sociedade, onde se incorporam os valores dominantes e técnica” (BECKER, 1990, p. 55, grifo da autora). Machado (2002) complementa afirmando que, além de serem o local de fixação da força de trabalho, os núcleos urbanos constituem-se como centros de comércio e serviço, com variados graus de articulação com o campo.

Nesse contexto, Altamira consolidou-se como um centro regional. A construção da rodovia Transamazônica e a criação do Projeto Integrado de Colonização impulsionaram o crescimento da população urbana a uma extraordinária taxa média de 16% ao ano durante a década de 1970 (IBGE, 2013). As novas formas de ocupação urbana foram justapostas às estruturas urbanas herdadas do primeiro momento de expansão da cidade, ocorrido ainda na década de 1940, durante o segundo ciclo de extração da borracha. Atualmente, Altamira passa por outra fase de expansão, causada pela implantação da UHE Belo Monte. A cidade deverá ser

impactada com a chegada de trabalhadores para a obra e migrantes e com os investimentos previstos por força do licenciamento ambiental da obra.

1.1 Objetivo

O objetivo desta pesquisa é mapear e analisar a expansão da cidade de Altamira, no estado do Pará, entre 2000 e 2010, com base na integração de dados de diversas fontes com dados de sensoriamento remoto.

Em termos específicos, pretende-se:

- Elaborar e implementar metodologia para mapear a cobertura da terra na cidade de Altamira em 2000 e 2010, com a utilização do Modelo Linear de Mistura Espectral aplicado a imagens do sensor TM do satélite Landsat 5.
- Representar a cidade de Altamira por meio do modelo Vegetação-Impermeabilização-Solo, proposto por Ridd (1995).
- Analisar a estrutura urbana e a expansão de Altamira em 2000 e 2010, apoiando-se no método proposto por Villaça (2001).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Estruturação e Expansão das Cidades

No Brasil, a urbanização assume características de um processo acelerado e complexo (DAVIDOVICH, 1995). De um país predominantemente rural até a metade do século XX, a maior parte população brasileira ao final desse século passou a morar em cidades, sendo a década de 1960 o ponto de inflexão: em 1960, o grau de urbanização era de 45%, alcançando, ao final da década, 56% e, ao final do século, 81% (IBGE, 2013).

Esse processo foi marcado pela atuação do Estado e ocorreu de forma desigual no tempo e no espaço brasileiro. Em um primeiro momento, de acordo com a periodização proposta por Davidovich (1995), o Estado foi o principal agente para a construção de uma base urbano-industrial, entendida como essencial para o desenvolvimento e modernização do País. A fase seguinte, a partir do final dos anos 1970 e durante a década de 1980, de crises recessivas e transição política limitou o poder de atuação do Estado, que concorreu com a emergência de novas formas de gestão. Mais recentemente, trabalhos como o de Santos (1993) e o do IPEA/IBGE/NESUR-UNICAMP (2000) apontam as evidências da desconcentração da economia brasileira. Nesse contexto, as cidades continuam a crescer, em ritmo mais lento, e passam a desempenhar funções cada vez mais diversificadas, ao mesmo tempo em que aumentam as demandas por integração e articulação entre elas.

A região sudeste concentra o maior contingente de população urbana: a série de dados de 1970 a 2010 mostra que perto da metade da população brasileira reside em cidades do sudeste (IBGE, 2013). No entanto, as maiores taxas de crescimento de população urbana foram registradas nas regiões centro-oeste e norte (IBGE, 2013), em um processo que, conforme aponta Machado (2002), acompanha a abertura das fronteiras agrícolas. Embora existam divergências

quanto à distinção entre rural e urbano (VEIGA, 2003), os dados de população produzidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) considera o perímetro urbano definido em lei para diferenciar a população urbana da rural.

Maricato (2003) aponta que a “grande massa que se instalou nas cidades, o fez por sua própria conta e risco” (MARICATO, 2003, p. 158), dada a falta de alternativas habitacionais via mercado privado (especialmente para as populações de pouca ou nenhuma renda) ou via políticas públicas. A segregação social das camadas populares de menor renda, a autoconstrução das moradias e a precariedade das condições de consumo coletivo são traços definidores do “padrão periférico” de estruturação das cidades, descrito por muitos dos pesquisadores que analisaram o crescimento das cidades brasileiras durante a década de 1970 e as causas de suas desigualdades (RIBEIRO; LAGO, 1995). Esse padrão, utilizado para entender a expansão das metrópoles, opõe o “centro”, onde residem as camadas de maior renda e onde o Estado aloca os investimentos urbanos, à “periferia”, espaços de reprodução precária da força de trabalho. Nesse contexto, o processo central que estrutura as metrópoles brasileiras é a espoliação urbana, entendida como o conjunto de condições precárias a que os trabalhadores têm que se sujeitar para vender sua força de trabalho em uma cidade onde prioridade nenhuma é dada às suas necessidades (BONDUKI; ROLNIK, 1979), como uma forma, em última instância, de extorquir as camadas populares do acesso aos serviços de consumo coletivo (KOWARIK, 1980).

O regime militar criou o Sistema Financeiro da Habitação (SFH) e o Banco Nacional da Habitação (BHN), que, ao lado da promulgação da Lei Federal 6.766 em 1979, que regula o parcelamento do solo urbano, foram, segundo Maricato (1996), estratégicos para a modernização das relações de produção do espaço urbano. Para essa autora, a combinação do investimento público com a ação reguladora do Estado “garantiu a estruturação de um mercado imobiliário

capitalista para uma parcela restrita da população, enquanto que para a maioria restou as opções das favelas, dos cortiços, ou do loteamento ilegal, na periferia sem urbanização, de todas as metrópoles” (MARICATO, 1996, p. 23).

Esse entendimento embasa a caracterização do desenvolvimento urbano brasileiro como excludente e predatório (ROLNIK; KLINK, 2011). Excludente por que relega parte da população às áreas de “transporte precário, saneamento deficiente, drenagem inexistente, dificuldade de abastecimento, difícil acesso aos serviços de saúde, educação e creches, maior exposição à ocorrência de enchentes e desmoronamentos etc.”, onde ainda ela tem “menos oportunidades de emprego (particularmente do emprego formal), menos oportunidades de profissionalização, maior exposição à violência (marginal ou policial), discriminação racial, discriminação contra mulheres e crianças, difícil acesso à justiça oficial, difícil acesso ao lazer” (MARICATO, 2003, p. 152). Predatório, porque a relação “legislação/mercado restrito/exclusão” força a ocupação de áreas frágeis (beira de córregos, encostas dos morros, terrenos sujeitos a enchentes ou outros tipos de riscos, regiões poluídas) ou ambientalmente protegidas – e por isso, desvalorizadas no mercado imobiliário (MARICATO, 2003, p. 154).

Villaça (2001) afirma que a segregação é o processo de estruturação urbana fundamental. O autor se apoia em Castells (1978) para entender a segregação urbana como uma "tendência à organização do espaço em zonas de forte homogeneidade social interna e de forte disparidade social entre elas, entendendo-se essa disparidade não só em termos de diferença como também de hierarquia" (VILLAÇA, 2001, p.148). É importante destacar que a segregação é entendida como uma tendência, portanto um processo não estático, fruto da ação de várias forças atuando em diferentes direções, e que a escala de análise da segregação é a de grandes regiões (ou setores) da cidade, não é de bairros. Assim, uma questão central para o autor é entender por que os bairros de alta

renda tendem a se segregar em uma mesma região da cidade, e não a se espalhar aleatoriamente por toda a cidade.

A conclusão do autor é que a segregação é um “processo necessário para o exercício da dominação social por meio do espaço urbano” na apropriação “das vantagens e desvantagens do espaço construído” (VILLAÇA, 2001, p. 29). Dentre as vantagens, a mais decisiva é a “otimização dos gastos de tempo despendidos nos deslocamentos intra-urbanos, ou seja, a acessibilidade às diversas localizações urbanas, especialmente ao centro urbano” (VILLAÇA, 2001, p. 328).

Em que pese o fato de as cidades brasileiras possuírem como traço marcante o rápido crescimento das camadas populares, para esse autor, a dinâmica de estruturação das cidades é dominada pela localização das camadas de mais alta renda, que “controlam a produção do espaço urbano, dominando equipamentos centrais e não centrais, atraindo-os para sua direção de deslocamento” (VILLAÇA, 2001, p. 313), produzindo para si um espaço urbano que otimiza suas condições de deslocamento. A população de baixa renda ocupa as áreas desprezadas pelas camadas de alta renda, áreas novas na periferia ou mesmo áreas não aptas para a ocupação, como a margem de córregos ou a encosta de morros. É, sobretudo, a proximidade ao local de trabalho (no setor terciário localizado no centro, na indústria ou mesmo junto aos bairros de alta renda) que determina melhores ou piores localizações para as áreas residenciais de baixa renda.

Merece atenção a conceituação que o autor dá para a estrutura, entendendo-a como “um todo articulado de partes que se relacionam, no qual alterações em uma parte, ou em uma relação, acarretam alterações nas demais partes e relações” (VILLAÇA, 2001, p. 327). Assim, além dos bairros residenciais de alta renda, são elementos da estrutura urbana básica as vias regionais e os atrativos naturais do sítio (se existirem). O centro principal, os subcentros de comércio e

serviços e os demais bairros residenciais são elementos secundários, e como tais, determinados pela estrutura básica.

As vias regionais, tanto rodoviárias como ferroviárias, são elementos que influenciam a expansão urbana, na medida em que melhoram, não a proximidade, mas sim a acessibilidade dos terrenos adjacentes à cidade e, em última instância, ao centro. As vias ferroviárias, por necessitarem de estações de parada, tendem a provocar uma expansão urbana rarefeita e menos nucleada. Das rodovias, a indução ao crescimento tende a ser mais forte ao longo daquelas que apresentam maior tráfego e melhores características técnicas. Por outro lado, as restrições naturais do sítio, como serras ou zonas de proteção ambiental, são obstáculos à expansão urbana.

Atrativos naturais do sítio urbano, como orlas marítimas, desempenham papel secundário na atração da expansão urbana. Diferentemente das vias regionais, cuja localização obedece a uma lógica extraurbana, a decisão da urbanização ao longo dessas áreas, em especial de dotação de infraestrutura de transportes, é interna à cidade e obedece a interesses das camadas de alta renda, que ocuparão esses espaços, e de seus agentes imobiliários. O mecanismo de ocupação é distinto, sendo que “a terra tem seu preço elevado não em função de uma acessibilidade que tenha antecedido a demanda – como no caso das vias regionais –, mas em virtude de uma demanda de alta renda que incide sobre terras privilegiadas e bem localizadas, embora com acessibilidade precária” (VILLAÇA, 2001, p. 108).

Segundo Villaça (2001), o modelo de setores de círculo, à semelhança do proposto por Hoyt (1959), apresenta maior poder explicativo dos processos de estruturação das cidades brasileiras, do que o modelo de círculos concêntricos, como o proposto por Burgess (1968). O modelo radial concêntrico se baseia em dois mecanismos para explicar esse padrão de expansão urbana: o histórico, segundo o qual a cidade se expande a partir do seu centro, abrigando os grupos

sociais recém-chegados nas franjas mais externas, que antes eram áreas rurais e que progressivamente vão sendo dotadas de infraestrutura urbana; e o econômico, segundo o qual o mercado de terras se estrutura como um conjunto de leilões por localização, em que as distâncias representam custos e os grupos sociais mais ricos acabam por se localizarem junto aos benefícios e infraestruturas mais importantes, restando aos grupos de menor renda locais normalmente sem tais benefícios e infraestruturas (MARQUES; BITAR, 2002). No modelo concêntrico, o sentido radial se explica pela necessidade de manter o acesso ao centro. Já a localização por setores de círculos é embasada na observação de que determinadas atividades urbanas são espacialmente restritas, ou seja, “a residência de alta renda, as grandes indústrias e o comércio médio e grande são atividades espacialmente minoritárias em face das áreas residenciais de classe média e abaixo da média e das enormes ‘poeiras’ de pequenas indústrias, oficinas e pequeno comércio” (VILLAÇA, 2001, p. 153).

2.2 Superfícies Impermeabilizadas

Muitos dos trabalhos que utilizam o sensoriamento remoto para análises urbanas se baseiam no mapeamento de superfícies impermeáveis (“impervious surfaces”), que, a rigor, são superfícies que impedem a infiltração da água no solo. Assim, elementos construídos, como coberturas e pavimentos, ou feições naturais como afloramentos rochosos, são superfícies impermeáveis, enquanto que solo coberto com vegetação ou solo exposto não compactado são superfícies não-impermeáveis. Propõe-se neste trabalho utilizar a expressão em português “superfícies impermeabilizadas” e defini-las como “feições construídas pela ação humana através das quais a água não pode se infiltrar no solo” (WENG, 2012).

O modelo Vegetação-Impermeabilização-Solo (V-I-S) foi proposto por Ridd (1995) para análises urbanas a partir de dados de sensoriamento remoto. Pretende-se que esse seja um modelo útil para o estudo da morfologia urbana a partir da cobertura do solo, para a parametrização biofísica dos componentes

do ambiente urbano necessária na construção de modelos de fluxo de energia e para a análise do sistema social com base em dados demográficos, de infraestrutura ou qualidade ambiental que possam ser inferidos a partir de imagens de satélite (RIDD, 1995).

Desenvolvido à semelhança do diagrama ternário de areia, argila e silte, o diagrama do modelo V-I-S contém padrões de cobertura de solo, descritas em termos de sua composição percentual de vegetação, impermeabilização e solo (Fig. 2.1). As classes utilizadas no diagrama ternário (i.e., área central comercial, área residencial de alta densidade etc.) foram assim denominadas por terem um significado de entendimento fácil e familiar – do modelo V-I-S não se depreendem classes de uso do solo.

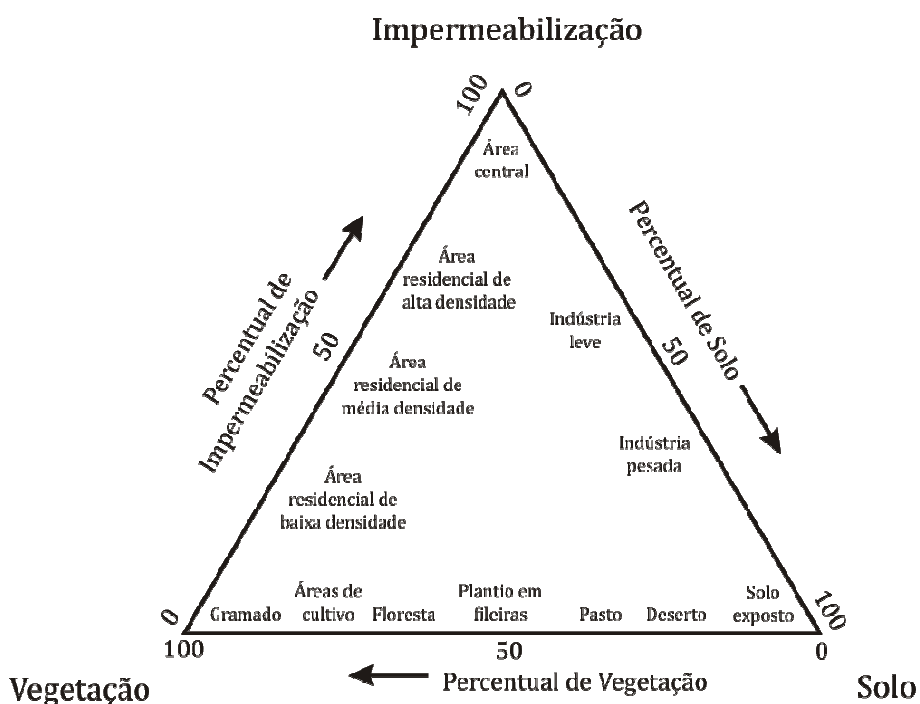


Figura 2.1 – Representação do modelo V-I-S.

Fonte: Ridd (1995).

Ainda que cada pixel de uma imagem possa ser caracterizado a partir da composição de vegetação, impermeabilização e solo, a análise urbana só é possível na agregação dos pixels em unidades espaciais, chamadas pelo autor de

ecounidades. A lógica utilizada para agregar os pixels, assim como o tamanho ou a forma das ecounidades, é dependente dos objetivos da análise pretendida. É a caracterização de cada ecounidade que torna possível a comparação morfológica (mudanças no tempo e entre diferentes cidades) ou a estimativa de indicadores biofísicos ou sociais (RIDDD, 1995). Por ser um modelo simples, mas poderoso, ele é amplamente utilizado em estudos urbanos (WU; MURRAY, 2003; MADHAVAN et al., 2001; PHINN et al., 2002; POWELL et al., 2007; POWELL; ROBERTS, 2008; WENG; LU, 2009).

A composição das áreas impermeabilizadas é complexa e variada. Tomando amostras da área urbana de Santa Bárbara e Goleta, no estado da Califórnia (EUA), Herold et al. (2004) propuseram uma biblioteca com dados espectrais de diversos materiais urbanos, hierarquizada a partir dos níveis I e II da classificação de cobertura e uso do solo proposta por Anderson et al. (1976). O nível I apresenta os quatro principais tipos de cobertura do solo: áreas construídas, vegetação, áreas não-urbanas de solo exposto e corpos d'água. Dos quatro tipos de cobertura do solo, apenas as áreas construídas são o foco da biblioteca espectral proposta. Assim, para os demais tipos, foram definidas classes mais abrangentes no nível II, e para as áreas construídas, foram diferenciados tipos de cobertura do solo baseados em seu uso, função ou outra característica genérica evidente. O nível III subdivide as classes de uso de acordo com as propriedades do material utilizado (Tabela 2.1). No último nível cada material é diferenciado de acordo com características no espectro do visível (cor) ou alguma característica específica. A biblioteca espectral consiste de 4.500 espectros individualizados, categorizados em 108 tipos de cobertura. Os dados foram adquiridos tanto *in situ*, como por meio de medições em laboratório (materiais de cobertura novos), e convoluídos para as 224 bandas espectrais do sensor AVIRIS (*Airborne Visible InfraRed Imaging Spectrometer*, JPL/NASA).

Tabela 2.1 – Níveis I, II e III da biblioteca espectral de materiais urbanos.

Nível I	Nível II	Nível III
1. Áreas Construídas	1.1 Edifícios / coberturas	1.1.1 Telha Composta
		1.1.2 Plástico
		1.1.3 Vidro
		1.1.4 Cascalho
		1.1.5 Metal
		1.1.6 Asfalto
		1.1.7 Telha de Barro
		1.1.8 Cobertura de Betume
		1.1.9 Telha de Madeira
	1.2 Áreas de Circulação	1.2.1 Via de Asfalto
		1.2.2 Via de concreto
		1.2.3 Via de cascalho
		1.2.4 Estacionamento
1.2.5 Linha férrea		
1.3 Infraestrutura de Esportes	1.2.6 Calçada	
	1.2.7 Pintura de via	
	1.3.1 Quadra de Tênis	
	1.3.2 Pista de Atletismo	
	1.3.3 Quadra de Basquete	
2. Vegetação	2.1 Vegetação Verde	
	2.2 Vegetação Não-fotossintética	
3. Áreas não-urbanas de solo exposto	3.1 Solo Exposto	
	3.2 Praia	
	3.3 Afloramento rochosos	
4. Corpos d'água	4.1 Corpo d'água natural ou quase-natural	
	4.2 Piscinas	

Fonte: Herold et al. (2004).

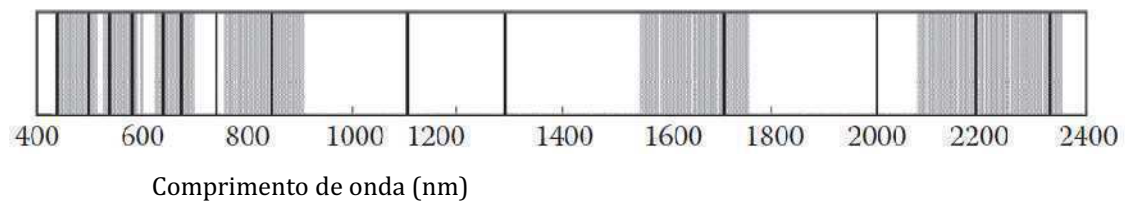
A partir dos dados da biblioteca espectral, os autores concluíram que as características espectrais, mesmo que expressas em mais de duas centenas de bandas, não são capazes de diferenciar inequivocamente determinados materiais. Dentre os materiais da biblioteca espectral, confundem-se: vias de concreto vs. áreas de solo exposto; vias de asfalto vs. telhas compostas,

cobertura de betume ou telhas de cor cinza; telhas de cor cinza vs. telhas compostas ou cobertura de betume; vias de asfalto vs. áreas de estacionamento (HEROLD et al., 2004).

A radiação medida pelos sensores é relacionada não somente com as características do material, mas também depende das características do sensor (i.e. sua resolução espacial e espectral), da geometria de visada e de iluminação no momento do imageamento, de interações da energia eletromagnética com a atmosfera (absorção e espalhamento) e da orientação geométrica dos materiais na superfície, incluindo a topografia (SMITH et al., 1990).

As imagens de média resolução espacial, devido a seu campo de visada instantânea, ou seja, a área imageada pelo sensor a bordo do satélite, apresentam limitações na diferenciação dos alvos. No caso do sensor TM do satélite Landsat 5, cada pixel da imagem equivale a uma área de 30x30m no solo, que pode conter diferentes alvos (como, por exemplo, parte de um telhado, uma árvore e sua sombra). Assim, o sinal captado pelo sensor é a mistura da resposta dos alvos presentes na área imageada. Na literatura, isso é referido como o problema de mistura do pixel (SHIMABUKURO; SMITH, 1991; LU; WENG, 2004; ADAMS; GILLESPIE, 2006) e tem sido estudado desde o início da utilização das imagens Landsat (GILLESPIE et al., 1990). Strahler et al. (1986) abordam essa questão quando propõem a classificação dos modelos em sensoriamento remoto de acordo com sua natureza. Os modelos em que os objetos são menores que a resolução do pixel são chamados de modelos de baixa resolução (*L-resolution models*).

Além da resolução espacial, outra característica das imagens Landsat TM que dificulta a distinção das características dos alvos urbanos é o número restrito das largas bandas posicionadas no espectro do visível (4 bandas) e do infravermelho (2 bandas) (Fig. 2.2).



As linhas pretas marcam as bandas mais adequadas para a distinção de materiais de cobertura do solo urbano; em cinza, as bandas do sensor TM (visível e infravermelho).

Figura 2.2 – Bandas mais adequadas para a distinção de materiais de cobertura do solo urbano.

Fonte: Herold et al., 2007.

Considerando o problema de mistura de pixel e a diversidade de materiais que compõem a cena urbana, as principais técnicas utilizadas no mapeamento de áreas impermeabilizadas com imagens de média resolução são a classificação subpixel (Erdas Imagine), a regressão, a utilização da complementaridade com a fração vegetação e a análise linear de mistura espectral, mais amplamente desenvolvida (WENG, 2012).

2.3 Modelo Linear de Mistura Espectral

Conforme Adams e Gillespie (2006), a análise de mistura espectral pressupõe um modelo físico que tenta prever como e quais materiais no solo serão expressos em imagens espectrais. O modelo é necessariamente uma simplificação, já que por meio de um conjunto limitado de dados espectrais não é possível deduzir todos os atributos dos alvos. A análise de mistura espectral linear considera que a resposta de cada elemento de resolução da imagem (pixel) em qualquer banda espectral é a combinação linear das respostas dos alvos que compõem a unidade de resolução no solo (SHIMABUKURO; SMITH, 1991). Adams e Gillespie (2006) afirmam que a mistura linear é dominante na escala de imageamento do sensoriamento remoto. Outras abordagens da análise de mistura espectral podem considerar a combinação não linear dos alvos, em que se admite a múltipla interação dos fótons que chegam ao sensor (SMITH et

al., 1985; SABOL et al., 1992; ADAMS; GILLESPIE, 2006), ou o arranjo espacial inerente dos pixels, em que são incorporadas as respostas espectrais dos pixels circundantes (SETTLE; DRAKE, 1993; SHI; WANG, 2014).

O modelo linear de mistura espectral (MLME), a grosso modo, pode ser expresso como:

$$V = F_a V_a + F_b V_b + \dots F_n V_n + r, \quad (2.1)$$

Em que: V é o valor medido de determinada propriedade de um pixel misturado; V_a, V_b e V_n são os valores medidos dos componentes da mistura; F_a, F_b e F_n são estimadores dos componentes, e r é o resíduo que inclui erros de medição e contribuições de qualquer componente que não tenha sido considerado.

Duas restrições podem ser aplicadas: a soma-para-unidade, na qual os termos da equação devem somar 1, e a de que os valores dos estimadores devem estar no intervalo entre 0 e 1.

O modelo de mistura espectral compreende, portanto, três elementos principais: os componentes da mistura, também chamados de *endmembers*, o valor dos estimadores desses componentes, que são mapeados como *imagens-fração* e são o resultado buscado com a aplicação do MLME, e o *erro*.

Endmembers podem ser entendidos como *proxies* para os materiais encontrados na superfície. Como tal, eles não têm existência concreta; são um conceito abstrato. O *endmember* vegetação, por exemplo, terá resposta espectral variável dependente da amostra que se tomou pra representar esse material. Em outros termos, Sabol et al. (1992) e Adams e Gillespie (2006) afirmam que existe uma variabilidade espectral natural dos *endmembers*.

A variabilidade espectral do *endmember* é dependente da escala de análise (ADAMS; GILLESPIE, 2006) e é vista de duas maneiras: como variabilidade

intraclasse, ou seja, entre os espectros de uma mesma classe de *endmember*, ou como variabilidade inter-classes, a partir da similaridade entre os espectros de dois ou mais *endmembers* (SOMERS et al., 2011). A variabilidade espectral dos *endmembers* afeta os valores dos estimadores e, portanto, das imagens-fração (ADAMS; GILLESPIE, 2006). Entretanto, Adams et al. (1995) mostram que o impacto é pequeno e não chega a afetar o resultado da classificação com base nas imagens-fração.

Um dos pontos sensíveis da aplicação do MLME é a adequada seleção do número e tipo de *endmembers* e do seu espectro. Adams e Gillespie (2006) afirmam que é interessante utilizar o menor número possível de *endmembers*, pois as soluções para a equação do MLME se tornam instáveis à medida que o número de *endmembers* aumenta, mesmo se forem utilizadas mais bandas espectrais. Conseqüentemente, perde-se a coerência espacial das imagens-fração, já que seus valores flutuam em resposta a variações nos espectros utilizados para gerá-las. Além disso, com o maior número de *endmembers* torna-se cada vez mais provável que algum *endmember* imite a mistura de outros *endmembers*. Uma maneira de minimizar o número de *endmembers* é selecionar os que representem materiais dominantes na cena e que incorporem a maior parte da variabilidade espectral, evitando-se selecionar materiais que ocorram apenas pontualmente. Outra recomendação é evitar *endmembers* que não se misturem a outros. Por exemplo, áreas homogêneas, como áreas de agricultura ou lagos, não são boas escolhas, já que seus pixels representam materiais que não se misturam a outros, a não ser em áreas de nítido contato.

O espectro de cada *endmember* pode ser obtido em bibliotecas espectrais ou em medições de campo, sendo, nesse caso, chamados de *endmembers* de referência. Os *endmembers* da imagem são os obtidos na própria imagem e os *endmembers* virtuais são derivados da imagem, sem que realmente existam na imagem em questão (ADAMS; GILLESPIE, 2006). A utilização de *endmembers* de referência seria a solução ideal, entretanto, é necessário considerar que existem

dificuldades substanciais para corrigir as imagens de satélite radiometricamente para eliminar os efeitos da atmosfera (SETTLE; DRAKE, 1993). Além disso, processos de envelhecimento alteram o material original e existem diferenças regionais na composição das matérias-primas utilizadas na fabricação ou revestimento dos materiais (HEROLD et al. 2007). Soluções híbridas foram propostas, como as de Adams et al. (1995) e Smith et al. (1990), que utilizaram dados espectrais obtidos em campo e em laboratório para calibrar os dados extraídos dos alvos das imagens de satélite, ou a de Powell et al. (2007), que utilizaram tanto *endmembers* de referência como de imagem.

Os trabalhos encontrados na literatura reportam diferentes métodos para a seleção dos espectros de *endmembers* de imagem que serão considerados na equação do MLME. Considerando métodos automáticos de identificação e seleção de *endmembers*, Veganzones e Graña (2008) classificam as abordagens em três grupos: a abordagem por meio da geometria, buscando identificar o volume que contém os dados da imagem; a por meio de computação baseada em reticulados, utilizando o formalismo da teoria de reticulados ou uma abordagem morfológica matemática; e a heurística, que não é formalizada sob um marco teórico rigoroso e que tem como exemplo mais famoso o índice de pureza do pixel (*pixel purity index* - PPI). Os autores argumentam que os métodos baseados em conceitos geométricos são os que possuem embasamento teórico mais sólido, ainda que os pixels de amostras de *endmembers* selecionados não tenham necessariamente um significado físico claro enquanto componente de mistura (VEGANZONES; GRAÑA, 2008) ou correspondam a materiais raros no contexto da imagem (ADAMS; GILLESPIE, 2006).

De maneira não automática, mas utilizando a abordagem pela geometria, podem ser encontrados trabalhos que se apoiam na análise de gráficos bidimensionais (*scatterplots*) para selecionar pixels de amostras de *endmembers* localizados nos extremos do volume que conforma os dados da imagem. Small (2002) utilizou *scatterplots* das componentes 1 e 2, 1 e 3 e 2 e 3 resultantes da transformação

fração de ruído mínima (*minimum noise fraction* - MNF), aplicada para diminuir a dimensionalidade dos dados e a redundância de informação que existe entre as bandas da imagem Landsat ETM+. As análises para a imagem da cidade de Nova York (EUA) mostraram que os pixels misturados estão conformados pelo volume que tem nos vértices dos pixels “puros” de água (baixo albedo), nuvens (alto albedo) e grama (Fig. 2.3).

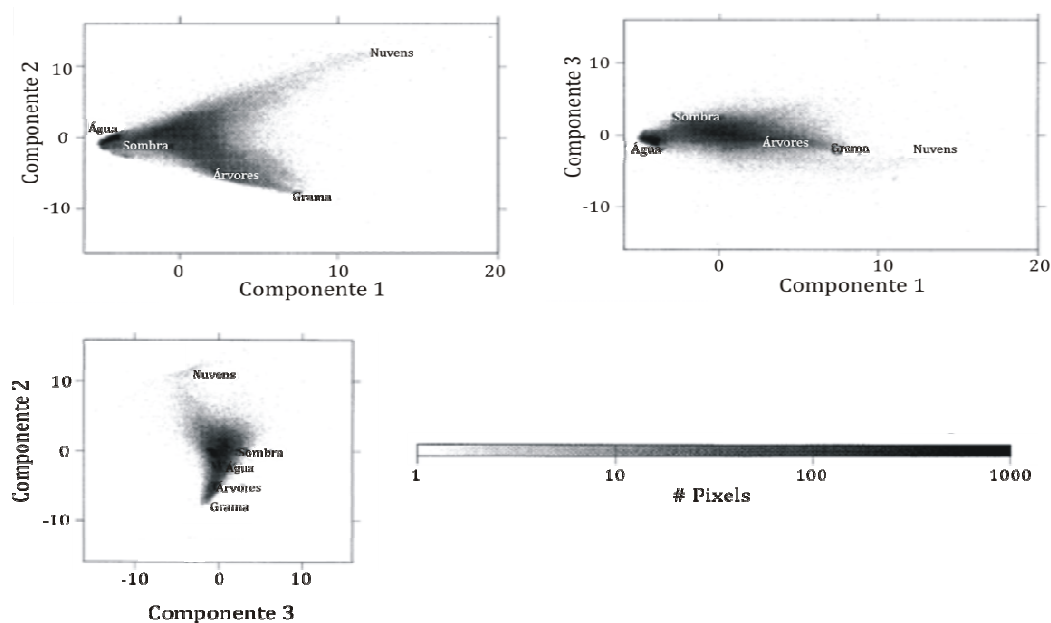


Figura 2.3 – Scatterplots das componentes 1 e 2, componentes 1 e 3 e componentes 3 e 2.

Fonte: Small, 2002.

Esse método de seleção de *endmembers* foi adotado por Wu e Murray (2003), Lu e Weng (2006) e Weng e Lu (2009), que se remetem ao trabalho pioneiro de Smith et al. (1985) para identificar determinados minerais.

Smith et al. (1990) testaram diversos MLMs com composições variadas de pixels selecionados de maneira aleatória a partir de amostras tomadas em campo para o mapeamento de vegetação no semiárido de Owens Valley, no estado da Califórnia (EUA) com imagens multiespectrais. Lu e Weng (2004), em uma combinação entre esse método e o da seleção pela geometria, propuseram a seleção de amostras de maneira iterativa, que compreende: seleção inicial de

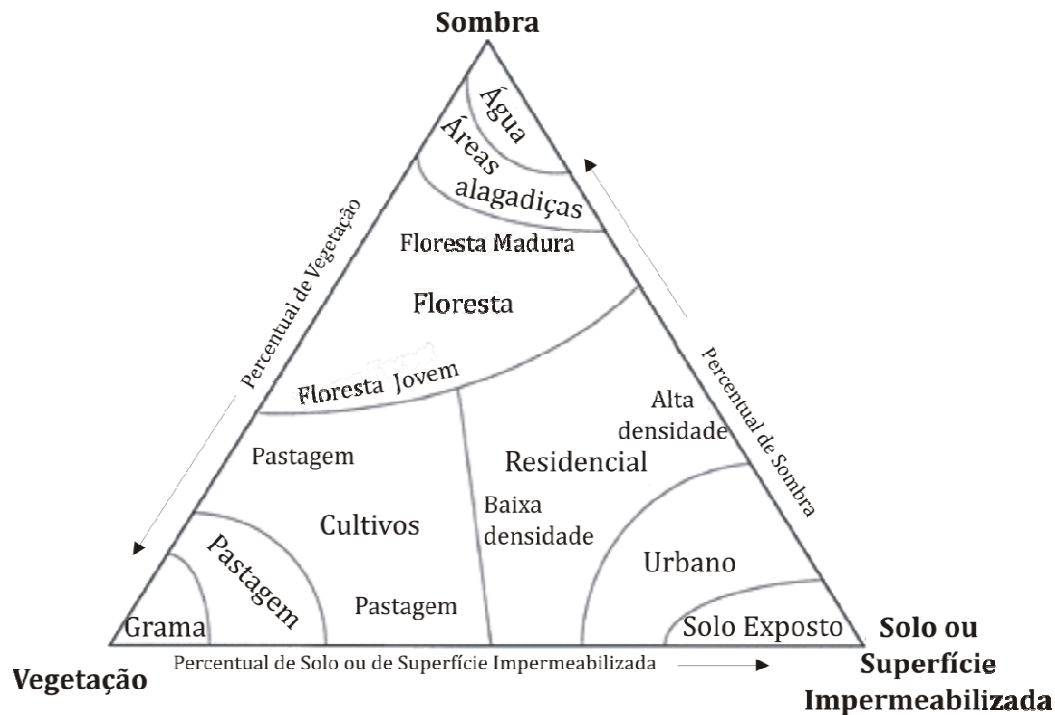
diferentes pixels de amostras para cada *endmember* com auxílio das imagens de alta resolução; refinamento desses pixels, identificando os que estão nos extremos dos *scatterplots* (MNF1 vs. MNF2 e MNF1 vs. MNF3, obtidas pela redução dos dados das imagens do sensor ETM+); avaliação da aplicação do MLME (avaliação visual das imagens-fração resultantes e do valor e distribuição espacial do erro); e novo refinamento. Foram testados MLMEs de três e quatro componentes, em combinações entre os *endmembers* selecionados: sombra, vegetação fotossinteticamente ativa, áreas impermeabilizadas, solo seco e solo escuro. O melhor modelo foi o de três componentes, que combinou sombra, vegetação fotossinteticamente ativa e solo seco.

Reportado como o método mais amplamente explorado (SOMERS et al., 2011), a análise de mistura espectral com múltiplos *endmembers* (*Multiple Endmember Spectral Mixture Analysis* - MESMA) adota uma abordagem diferente das demais ao buscar a seleção não de um espectro extremo que represente cada *endmember*, mas sim de um conjunto de espectros que representem a variabilidade dos materiais que compõem a mistura (POWELL et al., 2007). Isso é possível porque o MESMA não pressupõe que um único modelo de mistura seja aplicado a todos os pixels da imagem. Em um processo iterativo, são testados automaticamente modelos com variações no número de *endmembers* (de dois a quatro, tipicamente) e nos espectros que representam cada *endmember* (uma biblioteca de espectros para o MESMA é composta de centenas de espectros). O melhor modelo para cada pixel é escolhido com base em critérios como: determinação de intervalo que deve conter os valores das imagens-fração, determinação de limite mínimo para a raiz quadrada do erro médio quadrático e análise dos resíduos de bandas contíguas (ROBERTS et al., 1998). Outros procedimentos também foram desenvolvidos para selecionar as amostras de *endmembers* mais representativas que comporão a biblioteca espectral do MESMA (DENNISON et al., 2004; POWELL et al., 2007), utilizando tanto imagens multiespectrais como hiperespectrais .

Adicionalmente, a literatura reporta outras técnicas para a aplicação de MLME em ambientes urbanos, tais como a análise de mistura espectral bayesiana, zona estável de separação (*stable zone unmixing*), separação espectral derivativa (*derivative spectral unmixing*) e análise de mistura espectral baseada em *wavelets* (SOMERS et al., 2011).

Wu e Murray (2003), partindo do pressuposto que as áreas impermeabilizadas não podem ser um *endmember* único devido a sua variabilidade espectral, aplicaram, a imagens do sensor ETM+, MLME com quatro *endmembers*: alto albedo (i.e. concreto, nuvens, areia), baixo albedo (i.e. água e asfalto), vegetação e solo. Como as frações alto albedo e baixo albedo não podem ser diretamente interpretadas como áreas impermeabilizadas, os autores propuseram a adição das duas frações, tomando-se o cuidado de identificar e mascarar previamente os demais alvos não impermeabilizados (i.e. água, areia, nuvens e sombra) para que eles não afetem a estimativa de áreas impermeabilizadas. Outros trabalhos, como o de Lu et al. (2011a, b), Weng e Lu (2009) e Lu e Weng (2006) também utilizaram esses *endmembers* no cálculo do MLME aplicado a imagens multiespectrais.

Nesse sentido, Lu e Weng (2004) argumentam que o modelo V-I-S de Ridd (1995) é de difícil implementação, devido justamente ao componente áreas impermeabilizadas, que, embora fundamental na composição teórica da paisagem, é, na realidade, uma combinação complexa de materiais, de difícil identificação e que varia de acordo com a localidade considerada. Por outro lado, a sombra é um importante componente capturado pelas imagens ópticas, como imagens do sensor ETM+ utilizadas neste trabalho. Assim, o modelo proposto por Lu e Weng (2004) considera nos vértices do diagrama ternário diretamente os *endmembers* utilizados no MLME: sombra; vegetação fotossinteticamente ativa e solo/áreas impermeabilizadas (Fig. 2.4).



O modelo mostra que a composição da paisagem urbana pode ser descrita a partir da combinação linear: sombra, solo/superfície impermeabilizada e vegetação.

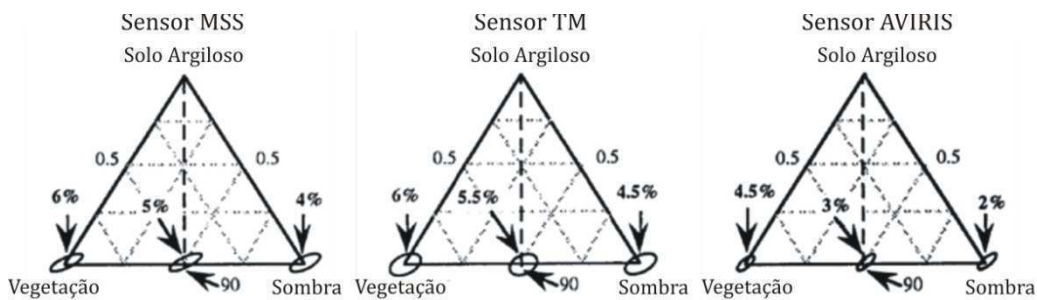
Figura 2.4 – Modelo de uso do solo a partir da aplicação do MLME com três *endmembers* (sombra, solo/superfície impermeabilizada e vegetação).

Fonte: Lu e Weng, 2004.

Com a aplicação do MESMA, Powell et al. (2007) utilizaram uma biblioteca de 664 espectros agrupados em três *endmembers*, áreas impermeabilizadas (78 espectros), solo (289 espectros) e vegetação (297 espectros), que possibilitam a caracterização da diversidade espectral de ambientes urbanos em imagens multiespectrais. Os autores argumentam que o MESMA, ao fornecer um arcabouço metodológico para a modelagem da imagem nessas três frações, possibilita a análise dos ambientes urbanos de acordo com o modelo V-I-S.

Em relação aos resultados do MLME, Adams e Gillespie (2006) advertem que a análise de mistura espectral não tem como objetivo inerente estimar a proporção ou abundância de cada material constituinte da mistura, ainda que isso, sob certas circunstâncias, seja possível. Sabol et al. (1992) realizaram experimento em laboratório para analisar as condições que afetam a estimativa

da abundância dos componentes utilizando a análise linear de mistura espectral. Variações na configuração do instrumento de medição (expressa pela relação ruído-sinal) e nas condições de iluminação dos alvos determinam diferentes limites para a detecção da abundância de determinado componente com a aplicação da equação do modelo linear de mistura espectral. Esses limites também variam de acordo com os componentes da mistura e as bandas espectrais que são utilizadas (Fig. 2.5).



Diagramas com a composição vegetação – sombra– solo argiloso dos experimentos. Os espectros foram medidos em laboratório e consideraram as composições 100% vegetação, 100% sombra e 50% vegetação-50% sombra, e convoluídos para simular a resposta que seria captada pelos sensores MSS, TM e AVIRIS, de acordo com suas resoluções espectrais e a relação sinal-ruído característica. Em cada caso, os círculos na base das representações ternárias mostram a abundância do componente solo argiloso, que não foi considerado na mistura. Os números em negrito representam os limites de detecção de solo argiloso (com 90% de confiança) em cada variação de composição e de simulação de sensor e podem ser interpretados como a proporção mínima em que esse componente deve estar presente na mistura para que seja detectado, ou, como um intervalo de confiança a ser aplicado sobre a real proporção desse componente em relação ao que foi estimado.

Figura 2.5 – Limite para a detecção de componente, considerando composições variáveis de mistura e diferentes sensores.

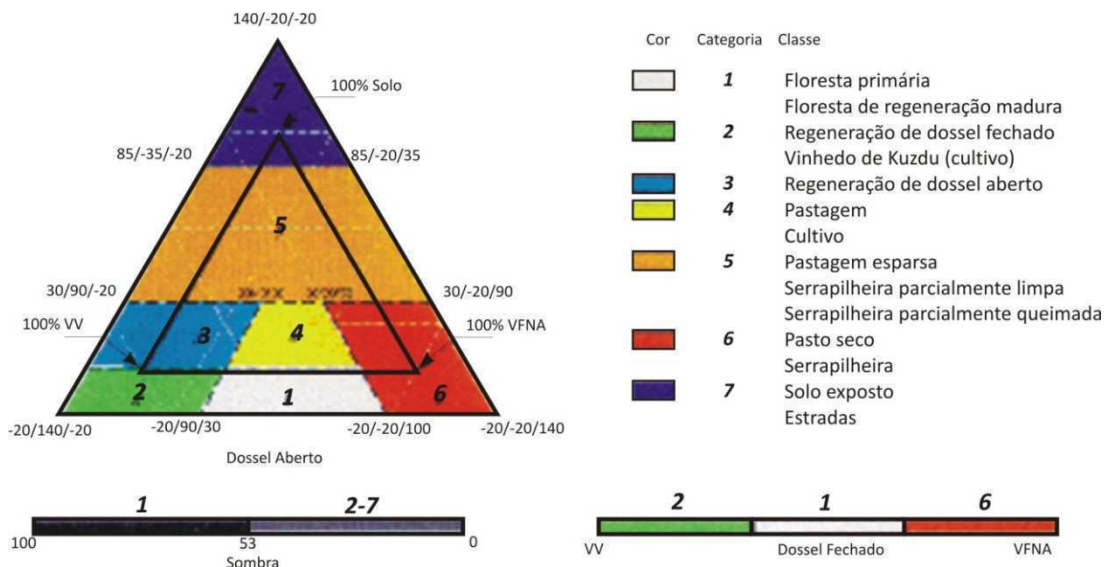
Fonte: Sabol et al. (1992).

Levando-se em consideração que as imagens são tomadas sob variadas condições de mistura, de característica de instrumentos e também de iluminação, em diversos trabalhos as imagens-fração são utilizadas como parte dos dados necessários para a classificação final, sendo tomadas por intervalos de valores, o que ajuda a minimizar as imprecisões.

Kuck (2010) avaliou o mapa de impermeabilização obtido com a aplicação do MESMA em imagens Landsat TM da cidade de Manaus, no estado do Amazonas

(BR). A partir da matriz de confusão considerando intervalos de percentual de impermeabilização obtidos com o MESMA e com a interpretação de imagem de alta resolução do satélite Quickbird e IKONOS, o *Kappa* calculado para a imagem de 2006 foi de 0,62, e para 2001, de 0,59, que indicam uma moderada concordância, segundo a classificação proposta por Landis e Koch (1977).

Adams et al. (1995) adotam faixas de composição percentual de cada *endmember* para definir classes de uso e cobertura da terra para a análise da mudança de uso e cobertura da terra na Amazônia Brasileira a partir de imagens multiespectrais. Ressalta-se que foram utilizados dados espectrais de referência para calibrar as imagens e assim gerar as frações e que as classes de uso e cobertura da terra foram definidas a partir da segmentação dos dados derivados do MLME, baseada em um amplo conhecimento da área de estudo (Fig. 2.6).

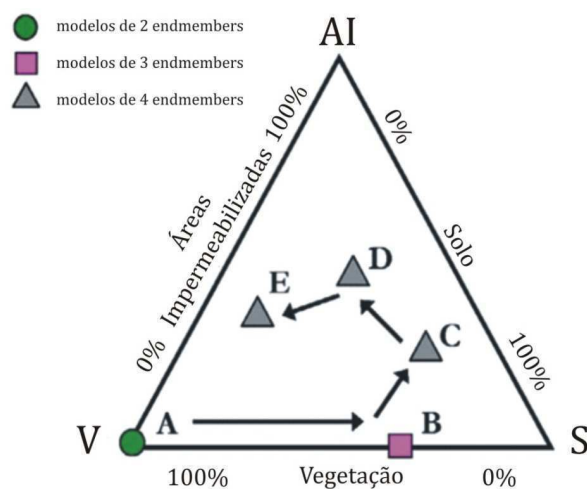


A barra à esquerda representa a separação dos pixels de acordo com a fração sombra: valores dessa fração entre 53 e 100 determinam a categoria 1. A barra colorida à direita divide os valores baixos de sombra (entre 0 e 53) em frações de vegetação fotossinteticamente ativa (VV) e não ativa (VFNA), considerando os pixels com valor entre 0 e 0,02 da fração solo. Os pixels remanescentes são classificados de acordo com o diagrama ternário das frações Solo, VV e VFNA. O triângulo interno engloba valores entre 0 e 1 das frações, o triângulo externo, valores menores que 0 e maiores que 1. Os números em itálico referem-se à categoria de uso e cobertura do solo. Os demais números referem-se aos valores limites das frações que definem cada categoria.

Figura 2.6 – Diagrama ternário de classificação do uso e cobertura do solo.

Fonte: Adams et al. (1995).

Powell e Roberts (2010) impuseram restrições para os estimadores dos componentes, excluindo aqueles cujo valor estivesse abaixo do limite mínimo de 0,10, definido a partir da imprecisão introduzida pela função de transferência de modulação do sensor TM que gerou as imagens utilizadas. As imagens-fração, com as proporções de cada componente de interesse (vegetação, solo e áreas impermeabilizadas), foram obtidas com a aplicação de modelo de múltiplos componentes (MESMA), considerando não só a restrição já mencionada, mas também outros procedimentos inerentes ao MESMA ou definidos de maneira empírica. Para a análise da expansão das áreas urbanas de nove cidades no estado de Rondônia / BR entre 1985 e 2000 e da sua correlação com a população urbana, foi feita uma classificação simplificada, na qual são urbanos os pixels cujo estimador do componente “áreas impermeabilizadas” apresente valor positivo. Para a caracterização da trajetória de evolução urbana com base nessas cidades, as proporções de solo, vegetação e áreas impermeabilizadas foram plotadas no gráfico ternário V-I-S (Fig. 2.7).



As letras indicam o estágio do assentamento urbano, a saber: (A) situação anterior, com cobertura de floresta primária; (B) desflorestamento e surgimento do “campo urbano”, representado pelo aumento da proporção de solo; (C e D) início da urbanização, que é caracterizada pelo aparecimento de áreas impermeabilizadas em proporções variadas; (E) situação final. À medida que o núcleo se consolida, aumenta a proporção de vegetação (arborização urbana ou re-vegetação de áreas abertas).

Figura 2.7 – Trajetória ideal de assentamento urbano na fronteira de ambiente de floresta tropical.

Fonte: Powell e Roberts (2010).

Para classificar o uso do solo na cidade de Indianapolis, estado de Indiana (EUA), a partir de imagens multiespectrais, Lu e Weng (2006) definiram classes com base em faixas de valores de impermeabilização e de densidade populacional (i.e., áreas residenciais de baixa densidade possuem menos de 30% de impermeabilização e uma densidade menor que 500 hab/km²).

Merece destaque o trabalho de Powell et al. (2007), que obteve resultados expressivos para a estimativa das proporções de cada componente, com a utilização do MESMA aplicado a imagens do sensor ETM+ e de uma metodologia específica para selecionar espectros de múltiplas fontes (imagem, campo ou biblioteca espectral). A regressão entre as proporções de vegetação, área impermeabilizada ou solo obtidas com o MLME e com a interpretação da videografia, alcançou R² de 0,90, 0,91 e 0,63, respectivamente, com amostras de 9x9 pixels. Considerando a regressão com dados agregados para 5x5 pixels, os valores de R² são de 0,81 (vegetação), 0,78 (impermeabilização) e 0,28 (solo). Para amostras de 3x3 pixels, os valores obtidos diminuem para 0,73, no caso da vegetação e impermeabilização, e 0,25, para o solo. Para amostras de 1 pixel, a vegetação apresenta R² de 0,53, a impermeabilização 0,36 e o solo, 0,26. Os autores recomendam a escala de 9x9 pixels para a análise dos resultados do MLME.

Outros trabalhos propuseram procedimentos auxiliares ao MLME para melhorar a acurácia dos resultados. Adams et al. (1995) e Smith et al. (1990) utilizaram dados de campo para calibrar as frações derivadas do MLME aplicado a imagens multiespectrais. Sobre a fração de impermeabilização obtida a partir da aplicação de MLME a Lu et al. (2011a) utilizaram imagens de alta resolução Quickbird para estabelecer uma regressão com a fração de impermeabilização, obtida a partir do MLME aplicado a imagens do satélite Landsat, e Lu et al. (2011b) realizaram a fusão dessa fração com dados de radar.

Por fim, o termo de erro da equação do MLME é o resíduo que representa tanto o que não foi modelado com a contribuição dos *endmembers* selecionados como o próprio ruído gerado pelo sistema imageador (SABOL et al., 1992). O resíduo é calculado para cada canal espectral (ou banda) utilizada para caracterizar o *endmember*.

A maneira usual de avaliar o resíduo é pelo valor da raiz quadrada do erro médio quadrático de cada pixel, considerando todas as bandas. Como valor máximo para da raiz quadrada do erro médio quadrático, Roberts et al. (1998) e Powell et al. (2007) adotaram 0,025, e Wu e Murray (2003), 0,020, sem, entretanto, indicar quais os critérios para essa escolha. O erro pode ser espacializado, permitindo a análise das áreas da imagem que não foram modeladas adequadamente ou que apresentam alguma anomalia (ADAMS; GILLESPIE, 2006).

3 MATERIAL E MÉTODOS

As atividades desenvolvidas estão apresentadas no fluxograma (Fig. 3.1) e são descritas nas seções subsequentes.

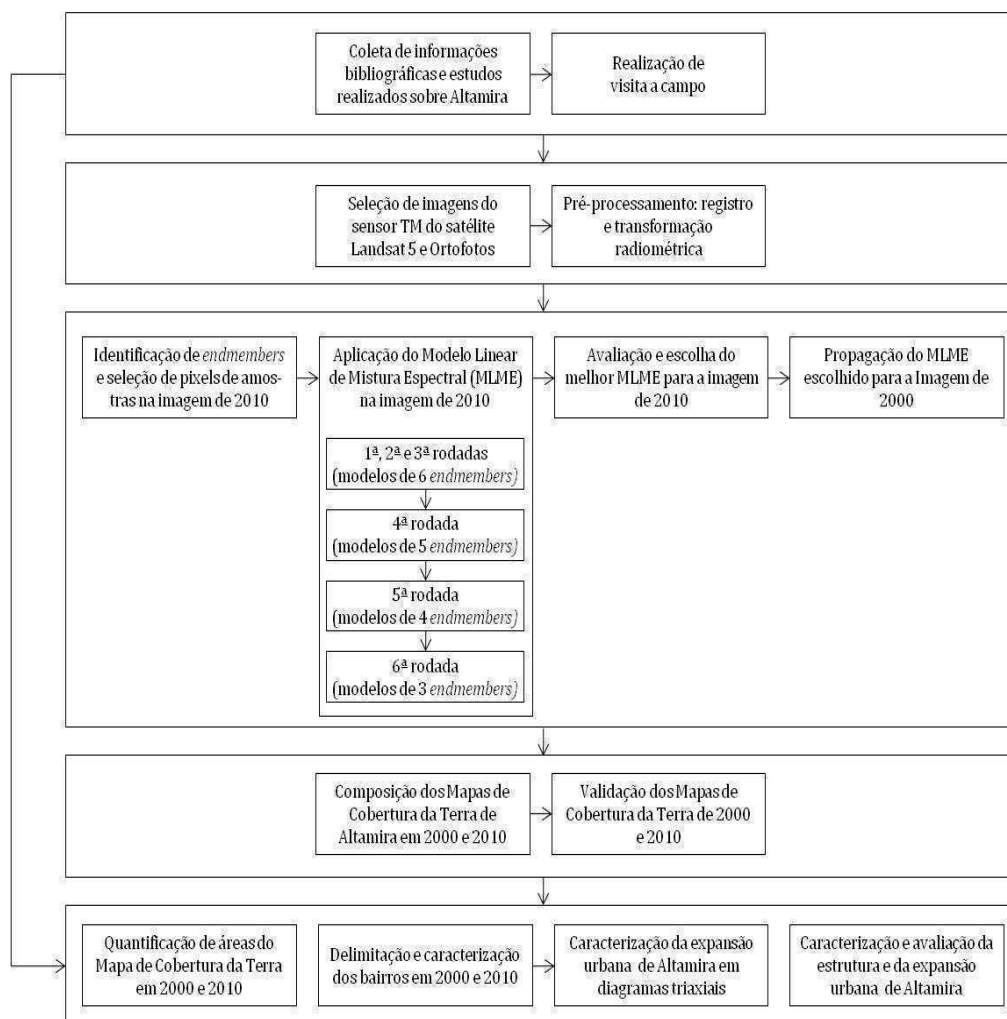


Figura 3.1 – Fluxograma metodológico.

3.1 Área de Estudo

A cidade de Altamira está situada na porção central do estado do Pará, na margem esquerda do rio Xingu (Fig. 3.2). Dista 720 km da capital do estado e constitui-se como um centro sub-regional, subordinado à própria capital Belém, polarizando, por sua vez, as cidades de Anapu, Brasil Novo, Medicilândia, Pacajá,

Porto de Moz, Senador José Porfírio, Uruará e Vitória do Xingu (IBGE, 2008). A BR-320, rodovia Transamazônica, corta a cidade de Altamira, ligando-a a leste à Marabá e a oeste à Itaituba.

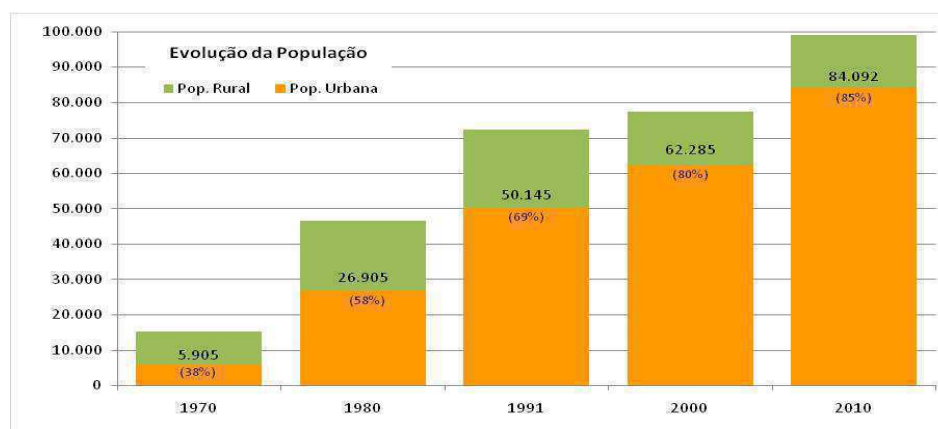


Figura 3.2 – Localização de Altamira.

A ocupação de Altamira data do século XVIII, como um posto avançado para a exploração do interior da Amazônia, empreendida pelos jesuítas. A missão fundada em 1750 pelo padre Johannes Rochus de Hundertpfund, na foz do igarapé Pannels, foi abandonada quando esse padre foi expulso do Brasil. Essa antiga missão foi reconstruída em duas ocasiões, até que em 1883, foi fundada a vila de Altamira junto à foz do igarapé Ambé, para apoiar a exploração da borracha nativa. O município de Altamira foi emancipado de Souzel em 1911. Em 1909, contabilizava-se mais de 100 casas na vila de Altamira (UMBUZEIRO, 2012).

Durante a Segunda Guerra Mundial, a exploração da borracha para abastecer os exércitos aliados teve alguma relevância e propiciou a instalação de algumas atividades e serviços em Altamira, como o Banco de Crédito da Borracha S/A (depois transformado em Banco da Amazônia S/A), o Serviço Especial de Saúde (SESP), além de ensejar a remodelação da rodovia Ernesto Acciolly, ligando Altamira a Vitória do Xingu (UMBUZEIRO, 1988).

Após a década de 1970, esse panorama começou a ser modificado pelas iniciativas do governo federal para a ocupação da Amazônia, e a cidade apresentou um grande crescimento. Os dados estatísticos (IBGE, 2013) apontam que, no período de maior crescimento demográfico da cidade, entre 1970 e 1980, a taxa de crescimento foi de 16,38% a.a.: de 6 mil habitantes em 1970, a cidade passou a abrigar em 1980, cerca de 27 mil pessoas. Atualmente, a população da cidade é de pouco mais de 84 mil habitantes. Apenas no período entre 1991 e 2000, Altamira apresentou crescimento menor que a média do estado. No restante do período, entre 1970 e 2010, seu crescimento superou, inclusive, a média do país (Figs. 3.3 e 3.4).



Obs. A população urbana está apresentada acima das barras dos anos correspondentes; entre parênteses, o grau de urbanização.

Figura 3.3 – População total, população rural, população urbana e grau de urbanização em Altamira em 1970, 1980, 1991, 2000 e 2010.

Fonte: Censos Demográficos 1970, 1980, 1991, 2000 e 2010 (IBGE, 2013).

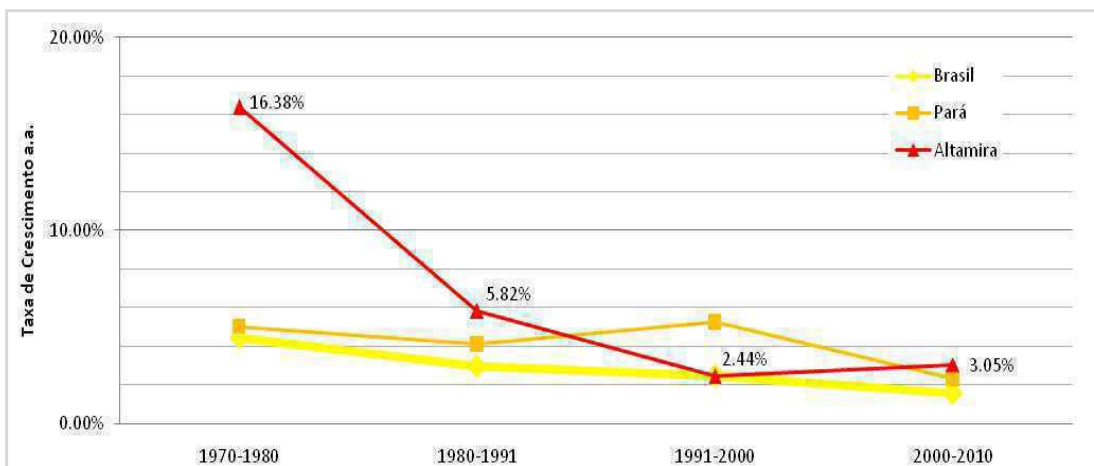


Figura 3.4 – Taxa de crescimento da população urbana de Altamira, do estado do Pará e do Brasil entre 1970 e 2010.

Fonte: Censos Demográficos 1970, 1980, 1991, 2000 e 2010 (IBGE, 2013).

Com o objetivo de “promover a maior integração à economia nacional das regiões compreendidas nas áreas de atuação da SUDENE e da SUDAM” (BRASIL, Decreto-lei nº 1.106/1970), foi instituído em 1970 o Programa de Integração Nacional (PIN). A primeira etapa prevista pelo Decreto-lei 1.106 incluiu a construção da rodovia Transamazônica, marcando a opção definitiva pelo transporte rodoviário em detrimento do transporte fluvial. O decreto ainda reservou a faixa de terra de até 10 km à esquerda e à direita da rodovia para colonização e reforma agrária. Os Projetos Integrados de Colonização (PICs) foram o modelo de ocupação dessas faixas, tendo como objetivo atrair 100 mil famílias com a concessão gratuita de terras (MACHADO, 2002). A resolução n.º 128/72 do INCRA, criou o PIC de Altamira com uma área total de 3.125,200 ha, prevista para o assentamento de 10.060 parcelheiros.

Nesse contexto de mudanças, a cidade de Altamira manteve sua importância como um centro sub-regional, ocupando uma posição estratégica para a circulação do capital e da força de trabalho (representada pelos migrantes). A cidade foi definida como uma rurópolis (instância mais elevada da hierarquia, com capacidade para abrigar, aproximadamente 200.000 pessoas) na hierarquia do PIC e, para atender aos colonos, recebeu investimentos para a expansão dos

serviços e equipamentos públicos. Foram criadas novas áreas de comércio e bancos, assim como novos bairros residenciais.

A partir de 1974, as novas diretrizes de ocupação territorial preconizavam o modelo de “polos de desenvolvimento” que implicou em mudanças na política de terras, favorecendo a grande empresa e colonos selecionados. Altamira recebeu parte da população expulsa das áreas de assentamentos rurais. Durante a década de 1980, a cidade continuou a crescer (taxa média de 5,82% a.a.), resultado da chegada de migrantes atraídos pelas atividades de garimpo em localidades como Ilha Fazenda e Ressaca ou pelas obras da UHE Tucuruí, que se deslocavam pela Rodovia Transamazônica (TECHNUM, 2010). Na década seguinte, o crescimento populacional em Altamira foi pouco expressivo (média de 2,44% a.a.), menor inclusive que a média do estado do Pará, apresentando um ligeiro aumento na década seguinte (média de 3,05 a.a.) (IBGE, 2013). A partir deste período, observa-se o crescimento da mancha urbana para além da ocupação pioneira da margem do Rio Xingu (Fig. 3.5).

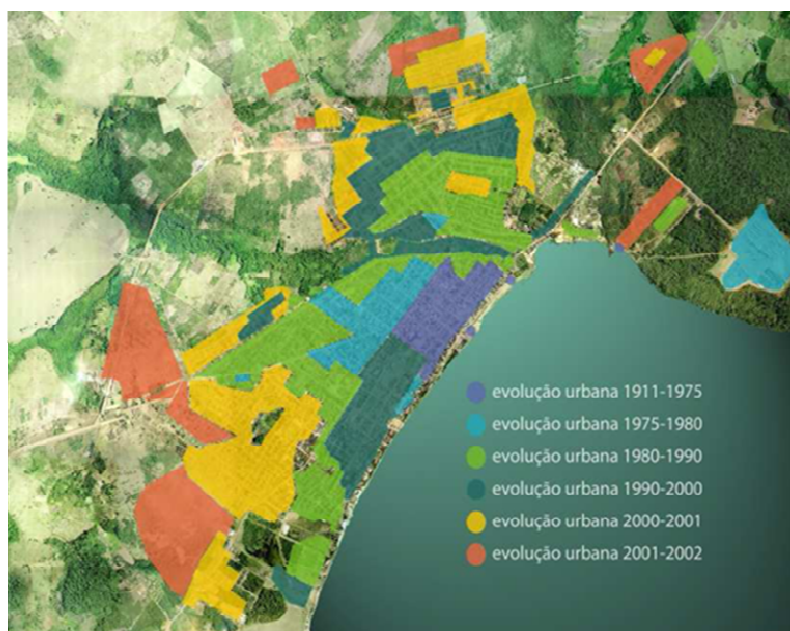


Figura 3.5 – Expansão da mancha urbana de Altamira de 1911 a 2002.

Fonte: Modificado de PREFEITURA MUNICIPAL DE ALTAMIRA (2003),
apud TECHNUM (2010).

A opção para parte da população que se instalou em Altamira foi a ocupação das baixadas e áreas alagadiças, das áreas periféricas da cidade e dos morros (UMBUZEIRO, 1988). Becker (1985) descreve que “novos bairros surgem na periferia urbana habitados por migrantes sem-terra, assalariados urbano-rurais, bem como no centro ou próximo a ele como loteamentos espontâneos ocupados por ex-colonos empregados no setor terciário” (BECKER, 1985, p. 365). Umbuzeiro (1988) relata o aparecimento das “favelas à margem do rio Xingu” (UMBUZEIRO, 1988, p. 23).

Outras formas de expansão da cidade de Altamira foram os assentamentos planejados pela Prefeitura Municipal, pela Prelazia do Xingu e por empresas privadas. No primeiro caso, a maior parte dos assentamentos foi criada durante a época em que cidade estava sob intervenção federal, como “Área de Segurança Nacional” (entre 1971 e 1985) – caso dos bairros SUDAM I (1982), contíguo ao centro, e SUDAM II (1983), junto à avenida Perimetral (LEME ENGENHARIA, 2009). Posteriormente, a ação estatal propiciou o surgimento do bairro Progresso/Mutirão (1997), construído no regime de mutirão próximo à rodovia Transamazônica, e do conjunto habitacional Santa Benedita (2011).

O bairro Aparecida, situado entre os igarapés Ambé e Altamira, teve origem nos loteamentos Nossa Senhora da Aparecida I (1973), II (1984), III (1985) e IV (1987) implantados pela Prelazia do Xingu para evitar a invasão de suas terras (LEME ENGENHARIA, 2009). Atualmente, as áreas mais próximas ao igarapé Ambé, sujeitas a inundações periódicas, encontram-se ocupadas de maneira ilegal. A invasão dos padres é um exemplo dessa ocupação.

As áreas mais próximas do centro e livres de inundação foram loteadas por empreendedores privados. O Jardim Iracema (1974) é reportado como sendo o primeiro loteamento privado. Na década de 1980, foram abertos o Jardim Altamira, Jardim Primavera, Jardim dos Estados e o Jardim Fortaleza. Durante a década de 1990, registra-se a ocupação dos seguintes bairros: Conjunto Alberto

Soares; Jardim Independente I, II e III; Jardim Olimpus; Jardim do Sol; Jardim Uirapuru; Jardim Oriente; Jardim Anhanguera; Jardim Novo Paraíso; Bela Vista e o Parque Ipê (LEME ENGENHARIA, 2009).

A Usina Hidrelétrica (UHE) de Belo Monte no rio Xingu será construída a cerca de 40 km a jusante da cidade (eixo principal) e implicará em alterações na cidade de Altamira. Os principais impactos sobre a estrutura da cidade envolvem a chegada de migrantes e trabalhadores para a obra, a realocação de pessoas e atividades que hoje ocupam a área do futuro lago e sua faixa de segurança e a dinamização geral da economia local. A cidade, como polo sub-regional, deverá receber a maior parte do contingente populacional previsto para ser atraído à região pelas obras de Belo Monte, cerca de 95.000 pessoas (NORTE ENERGIA, 2011).

O empreendedor deverá promover a requalificação urbana de Altamira, com a reconstituição das orlas do Xingu e dos demais igarapés afetados, dotação de sistema de saneamento (esgoto, águas pluviais e lixo) e construção de novos bairros para abrigar as cerca de 4 mil famílias de pessoas realocadas e funcionários mais graduados da obra (NORTE ENERGIA, 2011). Também estão previstos investimentos na saúde, na educação e no fortalecimento da administração pública, além da recomposição, reestruturação ou reparação das atividades e serviços afetados pela obra.

No início de 2010, o órgão federal responsável, IBAMA, concedeu a Licença Prévia para a UHE Belo Monte e com isso as obras puderam ser iniciadas. Em dezembro de 2013, a obra contava com cerca de 28 mil funcionários, e a previsão de início do enchimento do reservatório era o final do ano de 2014 (NORTE ENERGIA, 2014).

3.2 Trabalhos de Campo

Entre os dias 28 de julho e 10 de agosto de 2013, foi realizada uma visita de campo, com o objetivo de reconhecer os bairros de Altamira e coletar dados sobre a cidade.

Foram preparadas fichas para a identificação dos bairros e o levantamento de condições urbanísticas (infraestrutura, condições das habitações e grau de ocupação), condições legais e histórico de ocupação (Apêndice A). Também foram preparadas fichas para a identificação *in loco* dos principais materiais de cobertura da terra e das edificações, para balizar a aplicação do modelo linear de mistura espectral (Apêndice B).

Para obter dados sobre o histórico de ocupação da cidade, foram realizadas entrevistas não-estruturadas. Os entrevistados foram os senhores Rainério Meireles, Secretário Municipal de Planejamento; Antônio Umbuzeiro, autor da edição atualizada de "Altamira e sua História"; Castelo, morador nascido em Altamira no final de 1920; e Luis Antônio da Cunha, presidente da Associação de Defesa do Meio Ambiente e Desenvolvimento da Transamazônica (AMATA), que participa ativamente das questões ligadas ao desenvolvimento urbano na cidade.

Foram feitas visitas para levantamento de dados em escritórios imobiliários (Lúcia Ferreira Consultoria de Imóveis e os stands dos loteamentos em lançamento, Cidade Jardim Residencial, São Francisco e Terras de Bonanza) e lojas de materiais de construção. Por fim, foi feita visita à Câmara dos Vereadores, para obtenção de cópia de legislação de interesse (i.e. Plano Diretor, Leis de Perímetro Urbano etc.).

Foi feito o registro fotográfico dos bairros e também dos materiais de cobertura. Os dados das fichas dos materiais de cobertura e dos bairros foram tabelados e encontram-se nos Apêndices C e D, respectivamente.

3.3 Imagens Utilizadas

Para a geração dos mapas de cobertura da terra de Altamira em 2010 e 200 foram utilizadas as imagens de média resolução do sensor *Thematic Mapper* (TM) a bordo do satélite Landsat 5. Altamira está contida na cena 226/062, sendo que, para os dois anos, foram selecionadas imagens da base de dados da Divisão de Geração de Imagens (DGI/INPE), buscando-se as que apresentassem o mínimo de cobertura de nuvens e que fossem obtidas no mesmo período do ano (Fig. 3.6).

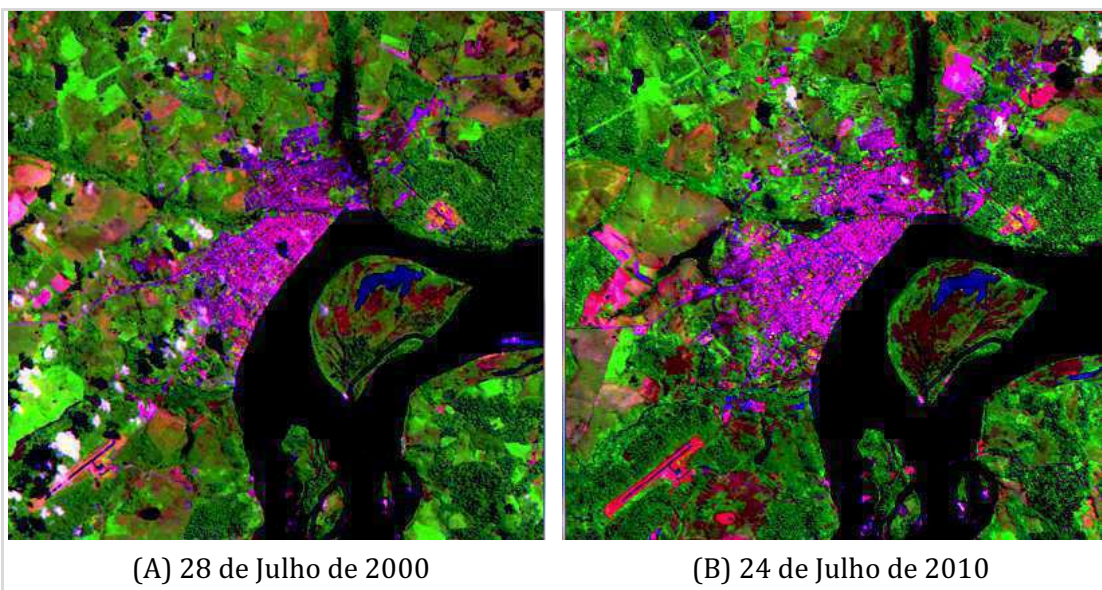


Figura 3.6 – Altamira nas imagens do sensor TM na composição RGB das bandas 5, 4 e 3 (a) em 2000 e (b) em 2010.

Fonte: INPE, 2012.

Como uma regra geral, para modelos de mistura, é vantajoso trabalhar com o maior número possível de canais espectrais: mais dados espectrais contribuem para a maior diferenciação dos materiais (ADAMS; GILLESPIE, 2006; SABOL et al., 1992). Assim, o processamento das imagens foi feito sobre as bandas disponíveis do espectro do visível e do infravermelho, a saber: banda 1 (0,45 - 0,52 μm), banda 2 (0,52 - 0,60 μm), banda 3 (0,63 - 0,69 μm), banda 4 (0,76 - 0,90 μm), banda 5 (1,55 - 1,75 μm) e banda 7 (2,08 - 2,35 μm).

A resolução espacial é de 30m, e as imagens foram disponibilizadas com correção sistemática, ou seja, calibração radiométrica e geométrica com efemérides e dados de calibração de sistema, resultando em um erro de localização absoluta de 1.050m, um erro de localização relativa de 87m e um erro médio de registro entre bandas de 0,3 pixel (CUELLAR, 2003). Os parâmetros e dados de obtenção das imagens são apresentados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Imagens de média resolução.

Imagem	2000	2010
Sensor	<i>Thematic Mapper</i>	<i>Thematic Mapper</i>
Satélite	Landsat 5	Landsat 5
Data	2000-07-28	2010-07-24
Datum Padrão	WGS84	WGS84
Projeção Padrão	UTM	UTM
Reamostragem Padrão	vizinho mais próximo	vizinho mais próximo
ID da cena	L5TM22606220000728	L5TM22606220100724
Revolução	87274	40398
Tempo Central (GMT)	13:19:10	13:32:29
Orientação da Imagem	8.19998	8.19998
Ângulo de Incidência Solar	40.0638	0
Azimute Solar	55.5599	51.6237
Elevação do Sol	49.9362	52.1195

Fonte: INPE, 2012.

As cenas foram recortadas para a área de interesse, compreendida pelas coordenadas de canto superior esquerdo, 355.846,008 E e 9.653.462,980 N, e de canto inferior direito, 370.816,008 E e 9.638.492,980 N, o que resultou em 500x501 pixels para 2010, e 501x501 pixels para 2000.

Adicionalmente, imagens de alta resolução foram utilizadas para a caracterização da área de estudo e para a interpretação e validação dos resultados obtidos. A Tabela 3.2 apresenta as características de cada imagem, de acordo com dados dos órgãos que as disponibilizaram.

Tabela 3.2 – Imagens de alta resolução.

Ano	Tipo	Escala / Resolução	Formato Original	Órgão Cedente
1987	Foto Aérea	1:8.000	Impressas	Eletronorte
1999	Ortofoto	1:8.000	Digital	Eletronorte / CDHU-PA
2005	Imagem de satélite (Quickbird)	0,60m	Digital	IBAMA
2010*	Ortofoto	0,30m	Digital	Eletronorte

(*) Os voos ocorreram em junho e setembro de 2009 e em outubro de 2010. Essas ortofotos são referidas como sendo de 2010.

As ortofotos de 1999 e 2010 foram mosaicadas a partir da localização geográfica e reamostradas com o método de vizinho mais próximo, para um pixel de saída de 60 cm, no software ENVI.

Além disso, todas as imagens de alta resolução, quando necessário, foram reprojetaadas para o sistema adotado neste trabalho, o Universal Transversa de Mercator (UTM), fuso 22, datum WGS-84.

3.4 Pré-processamento

A etapa de pré-processamento tem como objetivo remover os erros sistemáticos das imagens e abrange, fundamentalmente, as operações de correção geométrica e de correção radiométrica, com a calibração do sinal detectado pelo sensor a bordo do satélite (REES, 2001). Para possibilitar a comparação das informações obtidas de imagens diferentes, as imagens de média e alta resolução foram registradas, e as imagens do sensor TM de 2000 e 2010 foram radiometricamente normalizadas, conforme descrito a seguir.

3.4.1 Registro das Imagens

O ajuste posicional entre as imagens de satélite e as ortofotos foi feito utilizando-se o registro de imagem para imagem, por meio do *software* ENVI,

que dispensa a necessidade de pontos de controle obtidos em campo. Trata-se de uma técnica adequada para os estudos, nos quais o interesse é a detecção de mudanças, apresentando a vantagem de eliminar uma das etapas do registro, a da imagem de referência (RICHARDS; JIA, 2006).

Pontos no mosaico de ortofotos de 2010 foram tomados como referência para registrar o mosaico de ortofotos de 1999 e as imagens de satélite do sensor TM de 2010 e Quickbird de 2005. A imagem do sensor TM de 2000 foi registrada com base em pontos da outra imagem do sensor TM, de 2010. Para todos os registros, utilizou-se função polinomial de primeiro grau e a reamostragem pelo método do vizinho mais próximo. Para as imagens de alta resolução, foram tomados 35 pontos, com um erro menor que 3m. Nas de média resolução, foram 20 pontos, com um erro menor que 0,6 pixel (Tabela 3.3).

Tabela 3.3 – Resultados do registro das imagens e ortofotos.

Imagem / Ortofoto	Resolução Espacial	Referência	Nº de Pontos	Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático Total
Quickbird 2005	0,6m	Ortofotos 2010	35	2,5 m
Ortofotos 1999	0,6m	Ortofotos 2010	35	2,6 m
TM 2010	30m	Ortofotos 2010	20	17,7 m
TM 2000	30m	TM 2010	20	13,8 m

3.4.2 Transformação Radiométrica

As imagens do sensor TM foram radiometricamente transformadas, utilizando-se a ferramenta de calibração do *software* ENVI. Os dados de calibração do sensor TM são utilizados para converter os valores de número digital para valores de reflectância no topo da atmosfera (ρ_p), segundo as equações (ITT, 2008):

$$L_{\lambda} = QCAL \left(\frac{LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}}{QCALMAX} \right) + LMIN_{\lambda} \quad , \quad (3.1)$$

Em que: L_λ é a radiância no sensor (em $W/m^2 \text{ sr } \mu\text{m}$); $QCAL$ é o valor de número digital quantizado e calibrado do pixel; $LMAX_\lambda$ é a radiância espectral para $QCAL = QCALMAX$ (em $W/m^2 \text{ sr } \mu\text{m}$), conforme a Tabela 3.4; $LMIN_\lambda$ é a radiância espectral para $QCALMIN=0$ (em $W/m^2 \text{ sr } \mu\text{m}$), conforme a Tabela 3.4; $QCALMAX$ equivale à variação da radiância reescalada em números digitais, sendo que para o sensor TM, $QCALMAX=255$ (em $W/m^2 \text{ sr } \mu\text{m}$).

$$\rho_P = \frac{\pi * L_\lambda * d^2}{ESUN_\lambda * \cos \theta_s} \quad , \quad (3.2)$$

Em que: ρ_P é a reflectância no topo da atmosfera (sem unidade); L_λ é a radiância no sensor (em $W/m^2 \text{ sr } \mu\text{m}$); d é a distância Terra-Sol em unidades astronômicas; $ESUN_\lambda$ é a média da radiância solar exo-atmosférica (em $W/m^2 \text{ sr } \mu\text{m}$), conforme a Tabela 3.X; θ_s é o ângulo solar zenital em graus, conforme a Tabela 3.5.

Tabela 3.4 – Radiância espectral, $LMIN_\lambda$ e $LMAX_\lambda$, em $W/m^2 \text{ sr } \mu\text{m}$.

Banda	Imagens de 1 de Março de 1984 a 4 de Maio de 2003		Imagens após 5 de Maio de 2003	
	$LMIN_\lambda$	$LMAX_\lambda$	$LMIN_\lambda$	$LMAX_\lambda$
1	-1,52	152,10	-1,52	193,0
2	-2,84	296,81	-2,84	265,0
3	-1,17	204,30	-1,17	264,0
4	-1,51	206,20	-1,51	221,0
5	-0,37	27,19	-0,37	30,2
7	-0,15	14,38	-0,15	16,5

Fonte: Chander e Markham (2003).

Tabela 3.5 – Média da radiância solar exo-atmosférica para as bandas do sensor TM, calculada com o modelo CHKUR - MODTRAN 4.0.

Banda	Média da radiância solar exo-atmosférica (em W/m ² sr μm)
1	1957
2	1826
3	1554
4	1036
5	215,0
7	80,67

Fonte: Chander e Markham (2003).

3.5 Cálculo dos Modelos Lineares de Mistura Espectral

As imagens do sensor TM de 2000 e 2010, após registradas e transformadas para reflectância no topo da atmosfera, foram decompostas em imagens-fração, aplicando-se o Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME). As imagens-fração representam proporções aproximadas de cada elemento selecionado para a decomposição, chamados de “*endmembers*” (ADAMS; GILLESPIE, 2006).

Como ponto de partida para a seleção de *endmembers*, adotou-se o modelo V-I-S (Vegetação-Impermeabilização-Solo) proposto por Ridd (1995). A partir da vistoria de campo e da análise das imagens, optou-se por testar também modelos que incorporassem outros *endmembers*, na tentativa de representar melhor a realidade imageada. Assim, neste estudo, as áreas impermeabilizadas foram desagregadas em três *endmembers*, de acordo com os materiais predominantes em Altamira: telha metálica, telha de fibrocimento e asfalto. Além disso, a água foi incorporada como *endmember* nos modelos testados.

Como os *endmembers* são *proxies* dos materiais existentes no solo e em uma imagem podem ser espectralmente variáveis, para cada *endmember* foram selecionadas da própria imagem do sensor TM de 2010 pixels de amostras que podem ser utilizados sem a necessidade de calibração (ADAMS; GILLESPIE, 2006; SABOL et al., 1992).

A solução analítica para o MLME é expressa nos seguintes termos:

$$r_i = \sum_{j=1}^n (a_{i,j} x_j) + e_i \quad , \quad (3.3)$$

Em que: r_i é a reflectância do pixel na banda i ; $a_{i,j}$ é o valor do pixel de amostra do *endmember* j na banda i ; x_j é a fração do *endmember* j ; e e_i é o resíduo na banda i , que inclui erros de medição e contribuições de componentes não considerados.

Não foi imposta nenhuma restrição à equação do MLME, à semelhança da solução adotada por Lu e Weng (2004).

Em uma primeira aproximação, foram selecionados visualmente possíveis pixels de amostras com o auxílio das ortofotos. Sempre que possível, buscou-se um pixel no interior de áreas com a mesma cobertura/material, minimizando assim o deslocamento do pixel devido ao erro de registro entre a imagem de média resolução e a ortofoto. Os espectros tomados da imagem do sensor TM em reflectância de cada pixel foram plotados em gráficos para a análise e escolha final dos pixels que apresentassem comportamento espectral distinto, de forma a testar a diversidade de amostras para representar cada *endmember*.

Foram calculados, no software ENVI, modelos lineares de mistura espectral com número variável de *endmembers* e variações na escolha do pixel de amostra. A composição dos modelos foi feita por sucessivas aproximações, ou seja, a partir da avaliação de um modelo inicial, seus *endmembers* e pixels de amostras foram sendo substituídos nos modelos subsequentes, em uma abordagem semelhante à adotada por Gillespie et al. (1990), Smith et al. (1990) e Lu e Weng (2004).

Os melhores modelos foram reproduzidos na imagem do sensor TM de 2000, utilizando-se o mesmo perfil espectral dos pixels das amostras de 2010, ou seja:

$$a_{i,j(2000)} = a_{i,j(2010)} \quad (3.4)$$

3.6 Elaboração dos Mapas de Cobertura da Terra

Os mapas de cobertura da terra de 2000 e 2010 foram gerados a partir das frações resultantes do melhor MLME, aplicados para a imagem de 2010 e de 2000. As classes dos mapas são: vegetação, áreas impermeabilizadas e solo.

Para a classificação das imagens-fração e a geração dos mapas, utilizou-se o software R, para:

- Desprezar os pixels de cada imagem-fração com valor inferior a 0 ou superior a 1. A esses pixels foi atribuído o valor 0.
- Normalizar as imagens-fração que representam as classes do mapa de cobertura da terra, desprezando-se as demais, conforme descrito em Adams e Gillespie (2006). As imagens-frações de interesse foram recalculadas para que sua soma fosse equivalente a 1.
- Identificar, em cada pixel da cena, a imagem-fração normalizada que possui o maior valor.
- Atribuir como: VEGETAÇÃO, os pixels cujo maior valor seja o da fração de vegetação; SOLO, os pixels cujo maior valor seja o da fração de solo; e IMPERMEABILIZADO, os das frações derivadas dos *endmembers* asfalto, telha metálica ou telha de fibrocimento.
- Aplicar máscara para excluir pixels identificados como água, nuvem ou sombra de nuvem.

As máscaras foram criadas a partir da identificação visual dos pixels correspondentes às feições água, nuvem e sombra de nuvem, utilizando-se a composição banda 7 (R), banda 5 (G) e banda 4 (B) das imagens do sensor TM de 2000 e 2010, que ressaltam, na cor branca, as nuvens, e na cor preta, suas sombras e a água.

3.7 Avaliação dos Modelos Lineares de Mistura Espectral e dos Mapas de Cobertura da Terra

A análise da imagem-erro e das imagens-fração derivadas de cada *endmember* permitiu avaliar se o conjunto escolhido de *endmembers* e seus espectros foram adequados ou, se não, como ele pode ser melhorado. No primeiro caso, foi feita a interpretação da distribuição espacial dos valores de erro e foi calculado a raiz quadrada do erro médio quadrático (REMQ) da imagem-erro. Áreas onde o erro é maior podem indicar uma escolha inadequada de *endmembers*. Já as imagens-fração foram avaliadas pelo contexto da imagem, esperando-se que, nas áreas onde se constata a presença do *endmember* que originou a fração, seus valores estejam no intervalo entre 0 e 1.

Também foi feita a análise visual do mapeamento das frações de maior valor. Nesse caso, para cada pixel foi identificada a fração de maior valor, sendo atribuído a ele o rótulo do *endmember* que deu origem à fração de maior valor. Os valores de cada fração menores que 0 ou maiores que 1 foram desconsiderados. Esse processo é semelhante ao utilizado para gerar os mapas de cobertura da terra, sem a normalização das frações e sem a aplicação da máscara de água, nuvem e sombra de nuvem.

A avaliação de cada mapa de cobertura da terra foi feita com os índices de concordância, Exatidão Global, Exatidão Global Normalizada e *Kappa*, derivados da matriz de confusão, conforme apresentado em Congalton (1991). A matriz de confusão é construída pelo cruzamento do número de amostras por classe do mapa de cobertura da terra e da referência considerada como a “verdade de campo”.

As amostras foram escolhidas aleatoriamente, excluindo-se aquelas localizadas em áreas mascaradas (água, nuvens e sombras de nuvens). O conjunto de 2010 contém 242 amostras, e o de 2000, 192 amostras. Para minimizar o efeito do erro de registro entre as imagens de média resolução e as ortofotos, as amostras

têm tamanho de 3x3 pixels (90m x 90m). A área de cada cobertura do solo em cada amostra foi quantificada de acordo com as ortofotos de 2010 e 1999, sendo que ela foi classificada de acordo com a classe predominante (impermeabilização, solo e vegetação). Para determinar a qual classe de cobertura da terra pertence cada amostra, foi feita a soma dos pixels por classe. Quando houve empate, ou da área de cobertura predominante identificada nas ortofotos ou do número de pixels por classe do mapa de cobertura da terra, a amostra foi eliminada.

A Exatidão Global é calculada pelo quociente entre o número total de amostras que foram classificadas corretamente (valores da diagonal da matriz) e o número total de amostras utilizadas para compor a matriz de confusão.

A Exatidão Global Normalizada é calculada pela média dos valores da diagonal da matriz de confusão normalizada. No *software* Margfit a matriz de confusão original foi recalculada para que a soma de cada coluna e linha seja igual a 1. Dessa forma, a diferença entre o tamanho do conjunto das amostras de 2010 e 2000 é eliminada e os valores das células da matriz de confusão normalizada são diretamente comparáveis. A matriz de confusão normalizada já incorpora os valores fora da diagonal e é, portanto, indicativa dos erros de omissão (a amostra de referência não foi corretamente classificada no mapa) e de comissão (a amostra classificada no mapa não corresponde à referência).

A maior parte dos trabalhos, de acordo com Foody (2002), adota o limite mínimo de 85% de exatidão global para que um mapeamento seja considerado satisfatório. Citando o trabalho de Thomlinson et al. (1999), Foody (2002) adicionalmente recomenda que a exatidão de nenhuma classe (diagonal da matriz de confusão normalizada) seja inferior a 70%.

O *Kappa* incorpora os valores fora da diagonal como um produto, conforme mostra a Equação 3.6:

$$\widehat{K} = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})} , \quad (3.6)$$

Em que: r é o número de classes da matriz; x_{ii} é o número de amostras na linha i , coluna i ; x_{i+} e x_{+i} são os totais marginais da linha i e da coluna i , respectivamente; e N é o número total de amostra.

Sobre o índice *Kappa*, foi aplicado o teste Z para testar se esse índice é significativamente diferente de uma classificação casual.

Uma referência comumente utilizada para a avaliação do *Kappa* é a proposta por Landis e Koch (1977), referente à divisão dos valores de *Kappa* em intervalos que, ainda que arbitrários, mantêm uma nomenclatura consistente para descrever a concordância entre um mapeamento e a referência (Tabela 3.6).

Tabela 3.6 – Qualificação do mapeamento de acordo com intervalos de valores de *Kappa*.

Intervalo de <i>Kappa</i>	Força da Concordância
> 0,00	Pobre
0,00 – 0,20	Frágil
0,21 – 0,40	Razoável
0,41 – 0,60	Moderada
0,61 – 0,80	Substancial
0,81 – 1,00	Quase Perfeita

Fonte: Landis e Koch (1977).

3.8 Análise da Expansão Urbana de Altamira

Os mapas de cobertura da terra foram utilizados para representar a cidade e analisar sua expansão entre 2000 e 2010, pelo cálculo do percentual e da área de vegetação, impermeabilização e solo inserida no perímetro urbano vigente em 2010, estabelecido pela Lei Municipal 2.047, de 28 de Agosto de 2009 (PREFEITURA MUNICIPAL DE ALTAMIRA, Lei nº 2.047/2009).

A partir de dados de campo e da análise das ortofotos, os bairros de Altamira foram classificados de acordo com sua ocupação em:

- Centro, caracterizado como a área de ocupação mais antiga da cidade, abriga a Igreja da Matriz, o mercado municipal, a rodoviária, o cemitério, órgãos públicos (Prefeitura, Câmara dos Vereadores), instituições (Prelazia do Xingu) e a maior concentração de comércio e serviços;
- Bairros com mais de 50% dos lotes ocupados em 2000 e em 2010, identificados pelas ortofotos;
- Bairros com menos de 50% dos lotes ocupados em 2000 e em 2010, identificados pelas ortofotos;
- Chácaras, bairros próximos à mancha urbana de Altamira com lotes de maiores dimensões, com área mínima de 2.500 m², segundo lei municipal que dispõe sobre o parcelamento do solo (PREFEITURA MUNICIPAL DE ALTAMIRA, Lei n° 21.518/200).

Vale notar que essa classificação resulta em mapas diferentes para 2000 e 2010, já que em 2000, determinado bairro poderia estar com menos de 50% dos lotes ocupados, e em 2010, o percentual poderia ser superior a 50%.

A participação percentual de cada componente foi plotada em diagramas tri-axiais, de acordo com a análise proposta por Ridd (1995). Para a caracterização dos bairros, foram feitos dois diagramas tri-axiais com as médias dos percentuais de vegetação, impermeabilização e solo por bairros:

- 1 – a partir dos dados tomados do mapa de cobertura da terra de 2000, por bairros classificados de acordo com sua ocupação em 2000;
- 2 – a partir dos dados tomados do mapa de cobertura da terra de 2010, por bairros classificados de acordo com sua ocupação em 2010.

Para a análise da expansão das áreas urbanizadas, os diagramas ternários foram construídos com dados dos mapas de cobertura da terra de 2000 e 2010, considerando apenas a classificação dos bairros de acordo com a ocupação em 2010. Assim, sobre um mesmo recorte espacial, foi possível captar as transformações em termos dos três componentes.

Os mapas de cobertura da terra, em conjunto com os dados de campo e as extraídas das ortofotos, basearam a descrição da estrutura da cidade e do entendimento das direções e lógicas do processo de expansão urbana, segundo método proposto por Villaça (2001). A estrutura urbana básica é definida pelos bairros residenciais de alta renda, pelas vias regionais e pelos atrativos naturais do sítio. O centro principal, os subcentros de comércio e serviços e os demais bairros residenciais são elementos secundários, e como tais, determinados pela estrutura básica. Para simular os diagramas de setores de círculos propostos por esse autor, a partir do centro (Igreja da Matriz), foram desenhados círculos concêntricos nas distâncias de 0,5km, 1km, 2 km, 3 km, 4km e 5km e raios nas direções N, NE, E, SE, S, SO, O, NO.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Modelos Lineares de Mistura Espectral

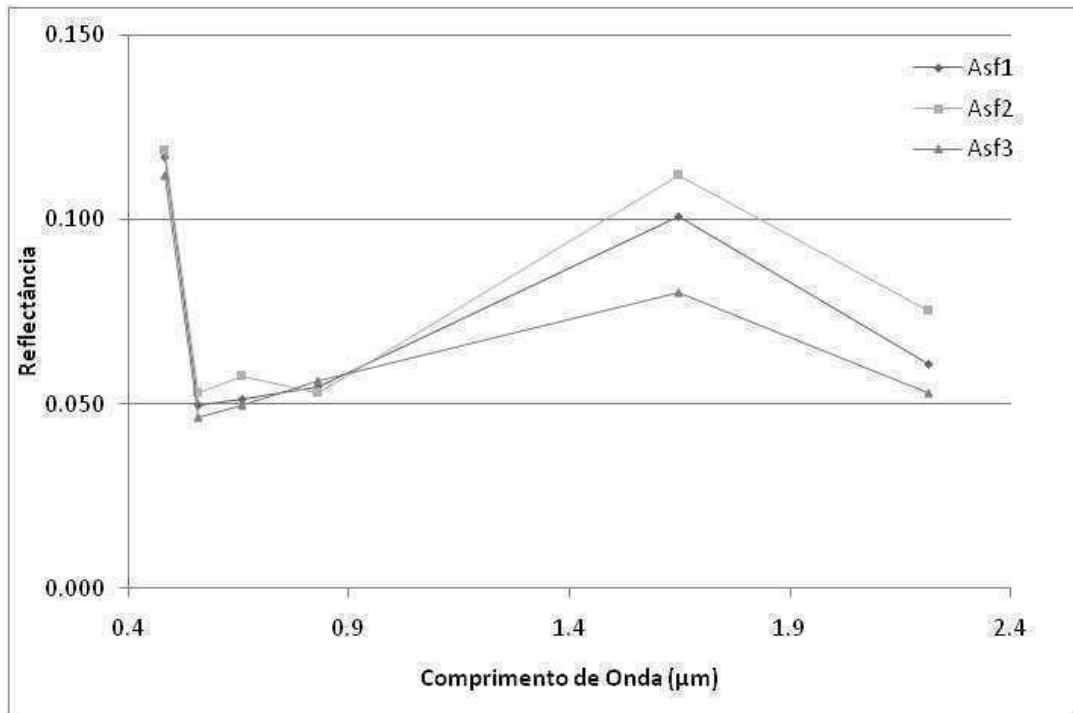
Diferentes combinações de pixels selecionados para representar os *endmembers* asfalto, telha metálica (telha clara), telha de fibrocimento (telha escura), solo, vegetação e água, foram utilizadas para estimar 44 modelos lineares de mistura espectral, de acordo com a Equação 3.3. Os modelos testaram, além do número e tipo de *endmembers*, a variabilidade intraclasse (entre as amostras de um *endmember*) e a incorporação da análise dos *scatterplots* para a seleção de pixels de amostras.

A Tabela 4.1 mostra os pixels de amostras selecionados para representar cada *endmember* e as Figs. 4.1 a 4.5 os apresentam nos gráficos de reflectância, tomada da imagem do sensor TM de 2010, na sobreposição com a imagem do sensor TM de 2010 (registrada, radiometricamente transformada, conforme descrito na Seção 3.3, e apresentada na composição RGB das bandas 5, 4 e 3), e na sobreposição com as ortofotos de 2010.

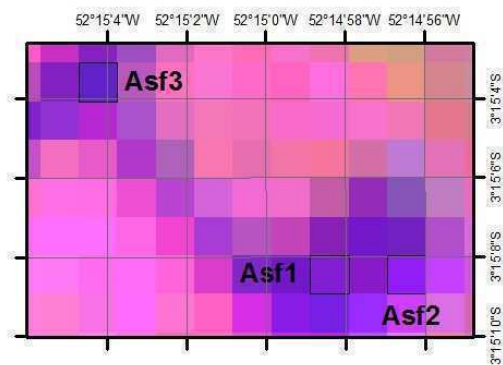
Tabela 4.1 – Amostras selecionadas.

Endmember	Amostra	Descrição
Asfalto	Asf1	Asfalto novo do pátio de aeronaves do aeroporto de Altamira.
	Asf2	Asfalto antigo do pátio de aeronaves do aeroporto de Altamira.
	Asf3	Asfalto novo da pista de pouso e decolagem do aeroporto de Altamira.
Telha Clara	TC1*	Telhado metálico, Armazém Paraíba, no centro da cidade.
	TC2	Telhado metálico, loja e galpão, no centro da cidade.
	TC3*	Telhado metálico, Armazém Paraíba, no centro da cidade.
Telha Escura	TE1	Telhado de fibrocimento de loja e edifício, no centro da cidade.
	TE2	Telhado de fibrocimento de loja e mercado municipal, no centro.
Solo	SoloAgr	Solo de área de cultivo com alguma cobertura vegetal rasteira.
	SoloExtr1	Solo de cor vermelha, em área de extração de argila, na margem da Rod. Ernesto Acioly.
	SoloExtr2*	Solo de cor marrom, em área de extração de argila, na saída para o Aeroporto.
	SoloExtr3*	Solo de cor marrom, em área de extração de argila, na saída para o aeroporto.
Vegetação	VegArb	Vegetação de mata, pertencente ao 51º Batalhão de Infantaria da Selva (BIS).
	VegGrama	Gramado em frente à avenida principal do 51º BIS.
	VegRRur	Vegetação rasteira na área rural de Altamira.
Água	RioCalha	Centro do leito do Rio Xingu.
	RioMargem	Margem do Rio Xingu

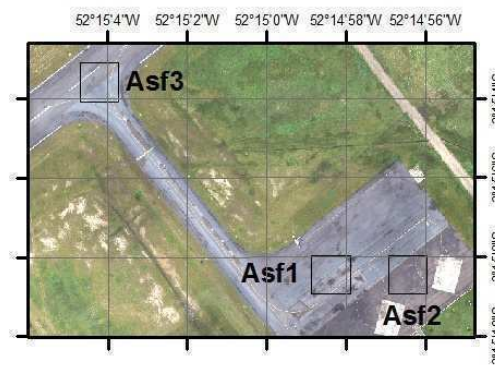
(*) Amostra selecionada em duplicata para compensar um possível deslocamento devido ao erro de registro entre as imagens de média e alta resolução.



(a)

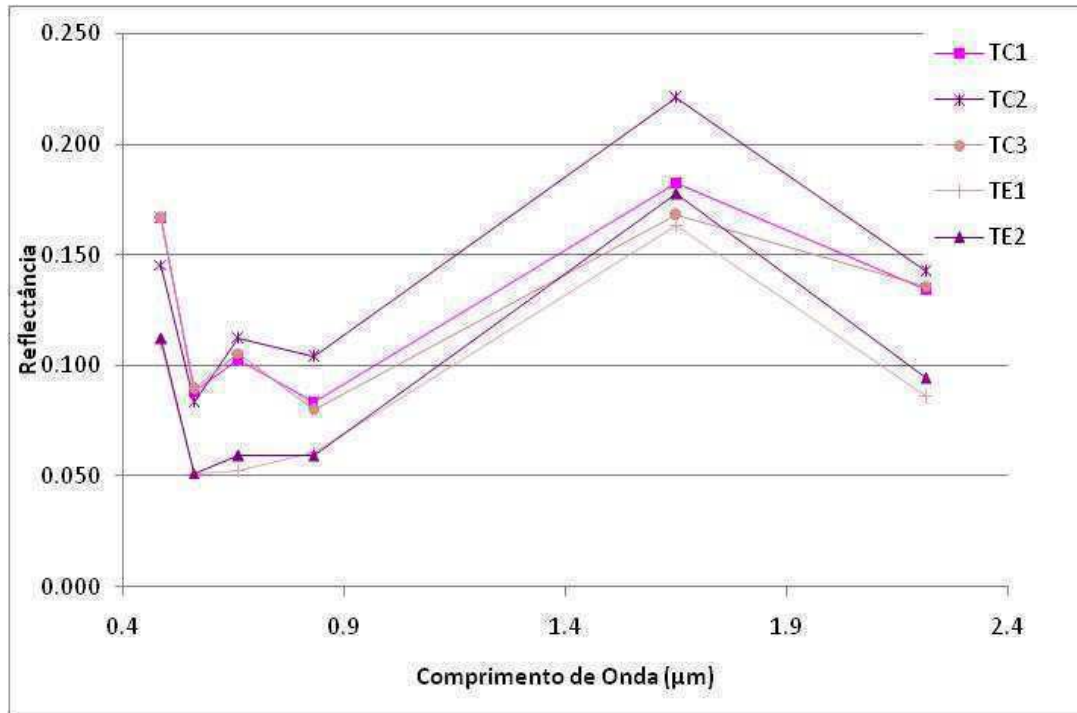


(b)

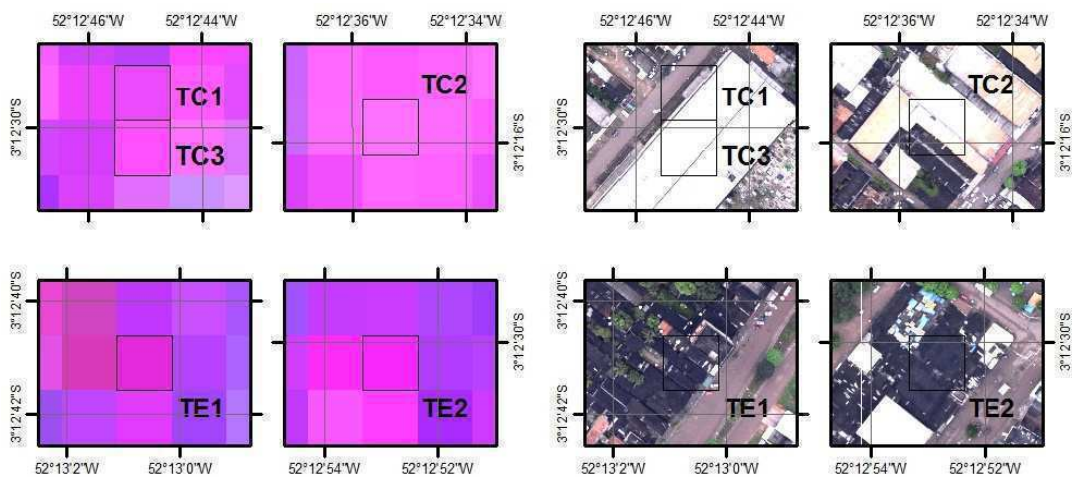


(c)

Figura 4.1 – Amostras de asfalto (a) pelas curvas espectrais, (b) pelos pixels sobrepostos à imagem do sensor TM de 2010 e (c) pelos pixels sobrepostos às ortofotos de 2010.



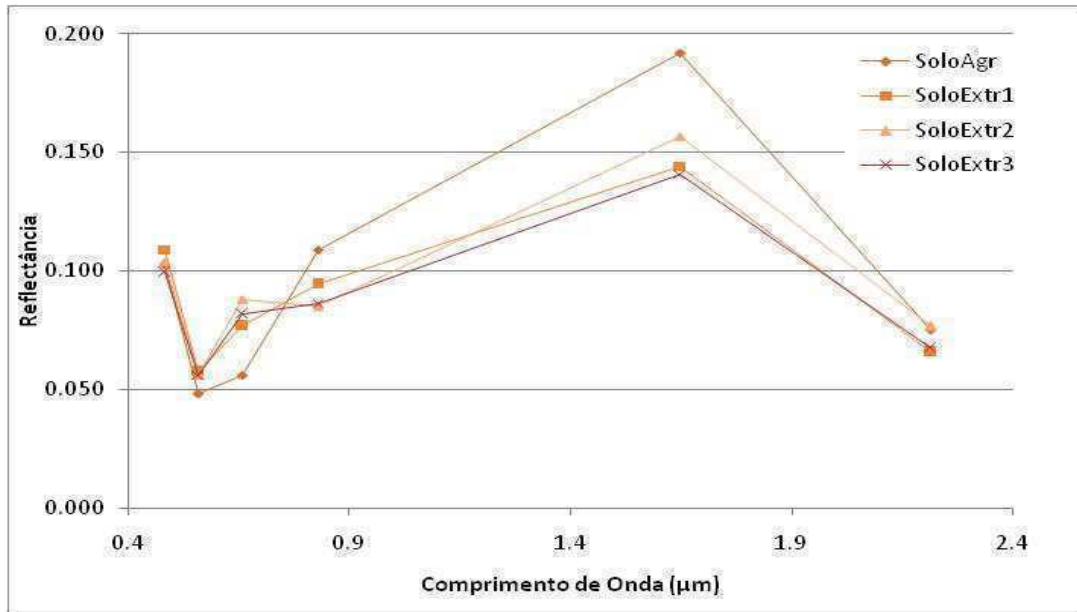
(a)



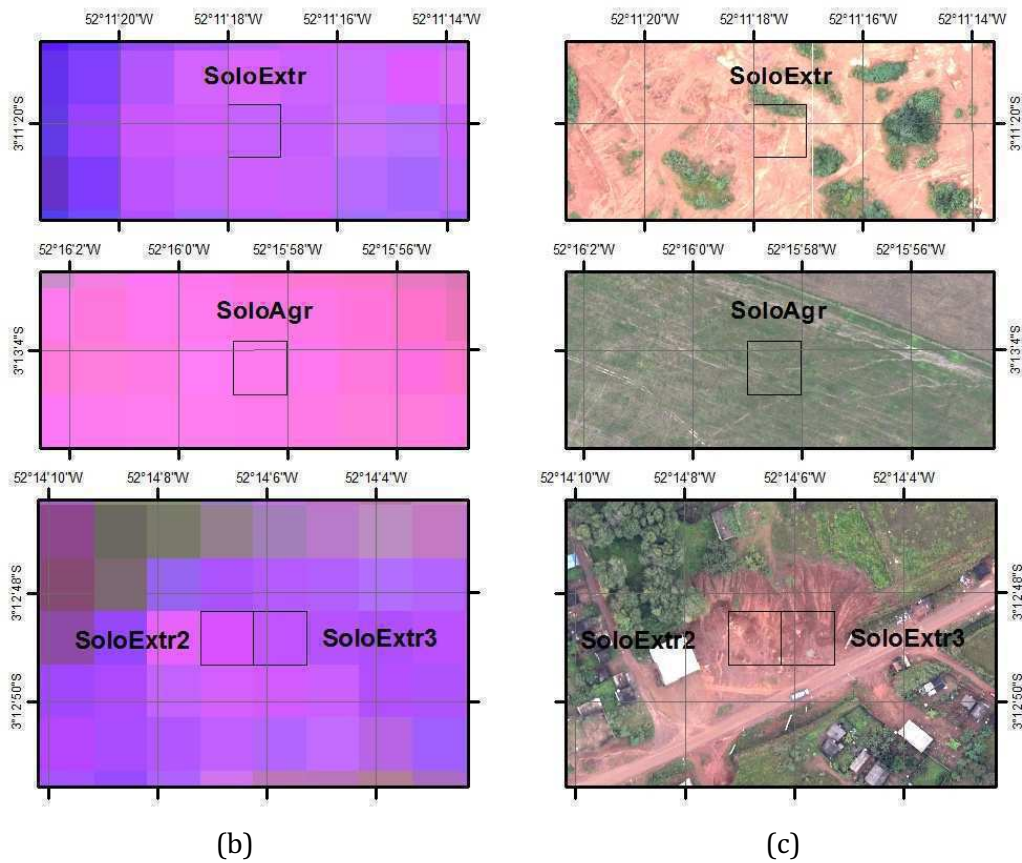
(b)

(c)

Figura 4.2 – Amostras de telha clara e telha escura (a) pelas curvas espectrais, (b) pelos pixels sobrepostos à imagem do sensor TM de 2010 e (c) pelos pixels sobrepostos às ortofotos de 2010.



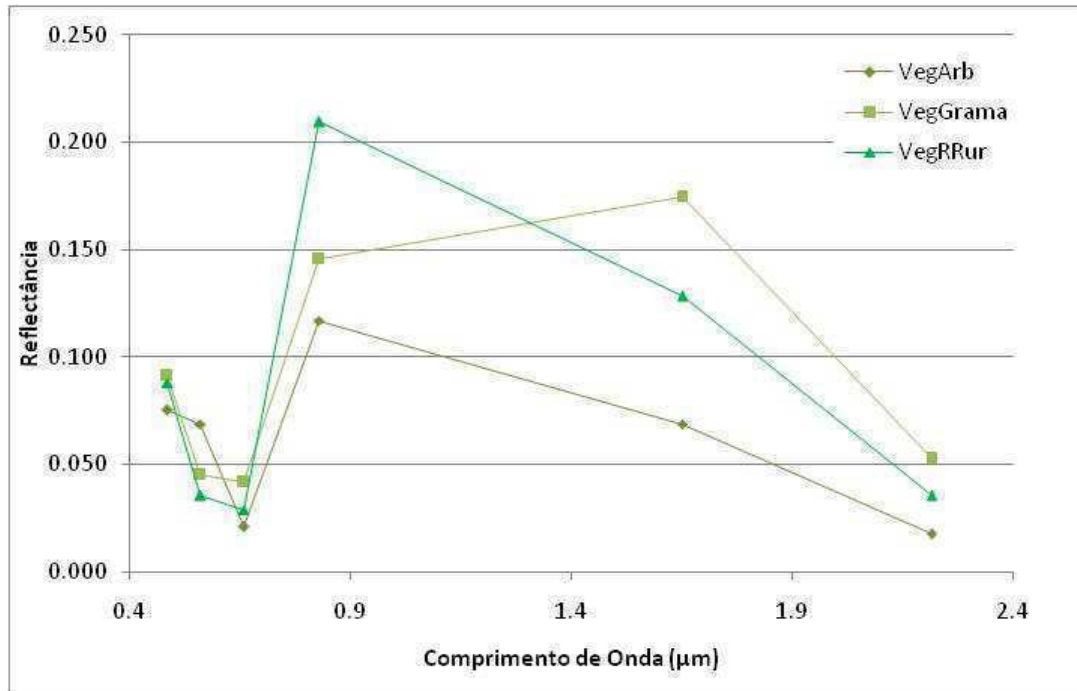
(a)



(b)

(c)

Figura 4.3 – Amostras de solo (a) pelas curvas espectrais, (b) pelos pixels sobrepostos à imagem do sensor TM de 2010 e (c) pelos pixels sobrepostos às ortofotos de 2010.



(a)

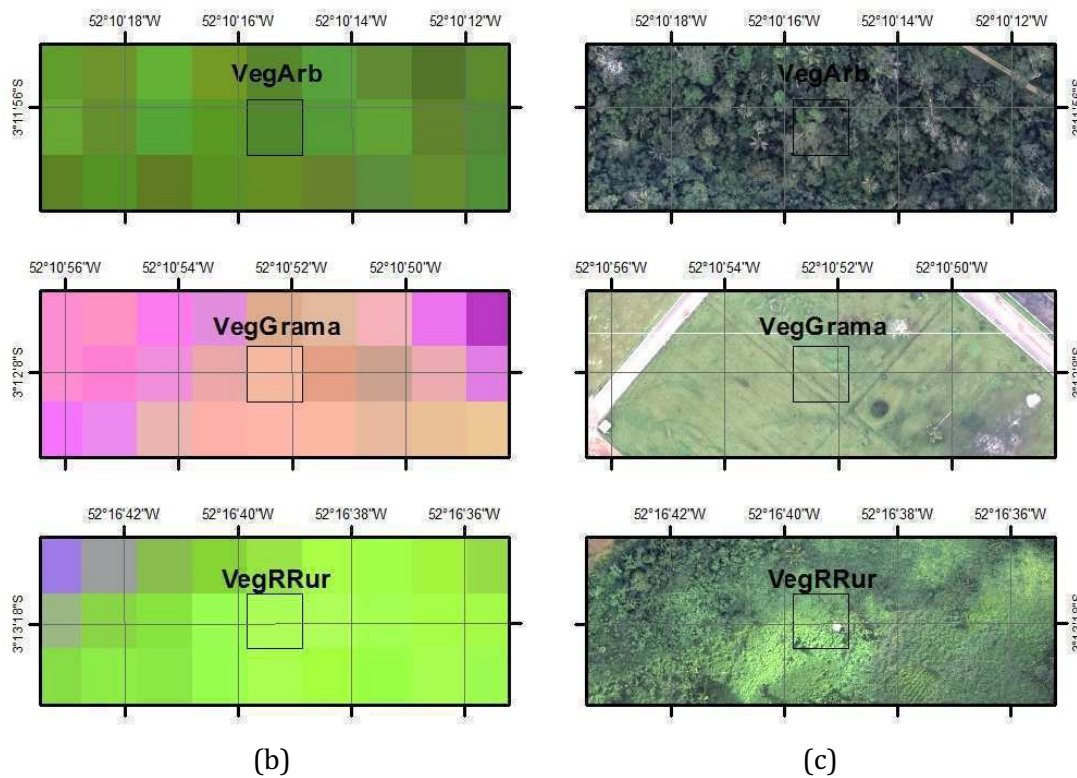
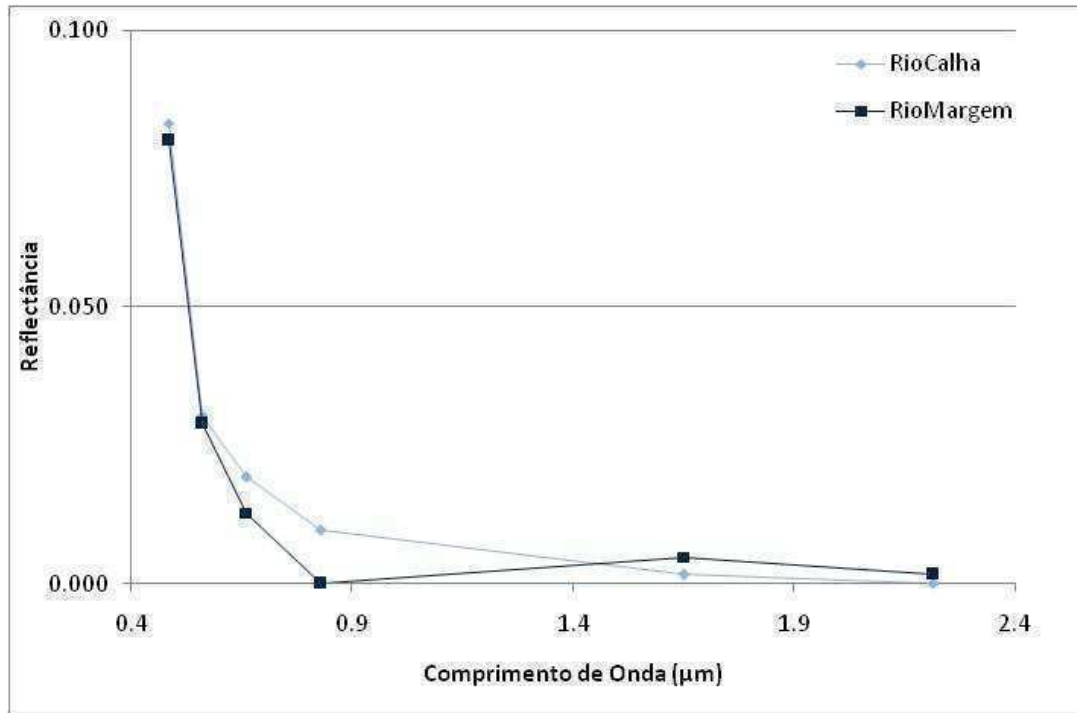
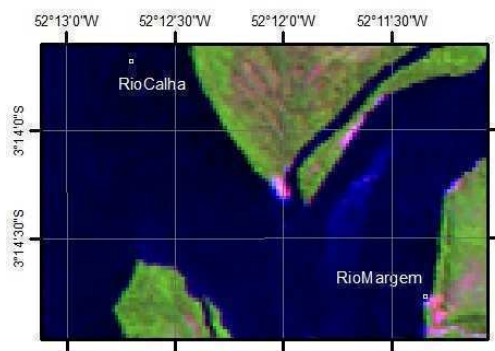


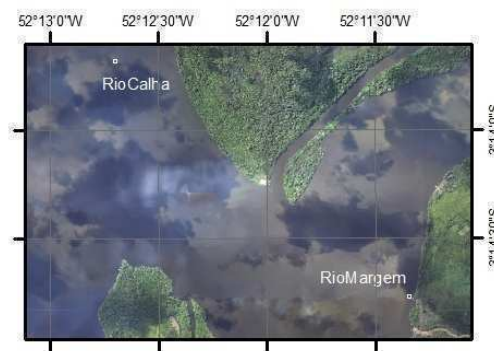
Figura 4.4 – Amostras de vegetação (a) pelas curvas espectrais, (b) pelos pixels sobrepostos à imagem do sensor TM de 2010 e (c) pelos pixels sobrepostos às ortofotos de 2010.



(a)



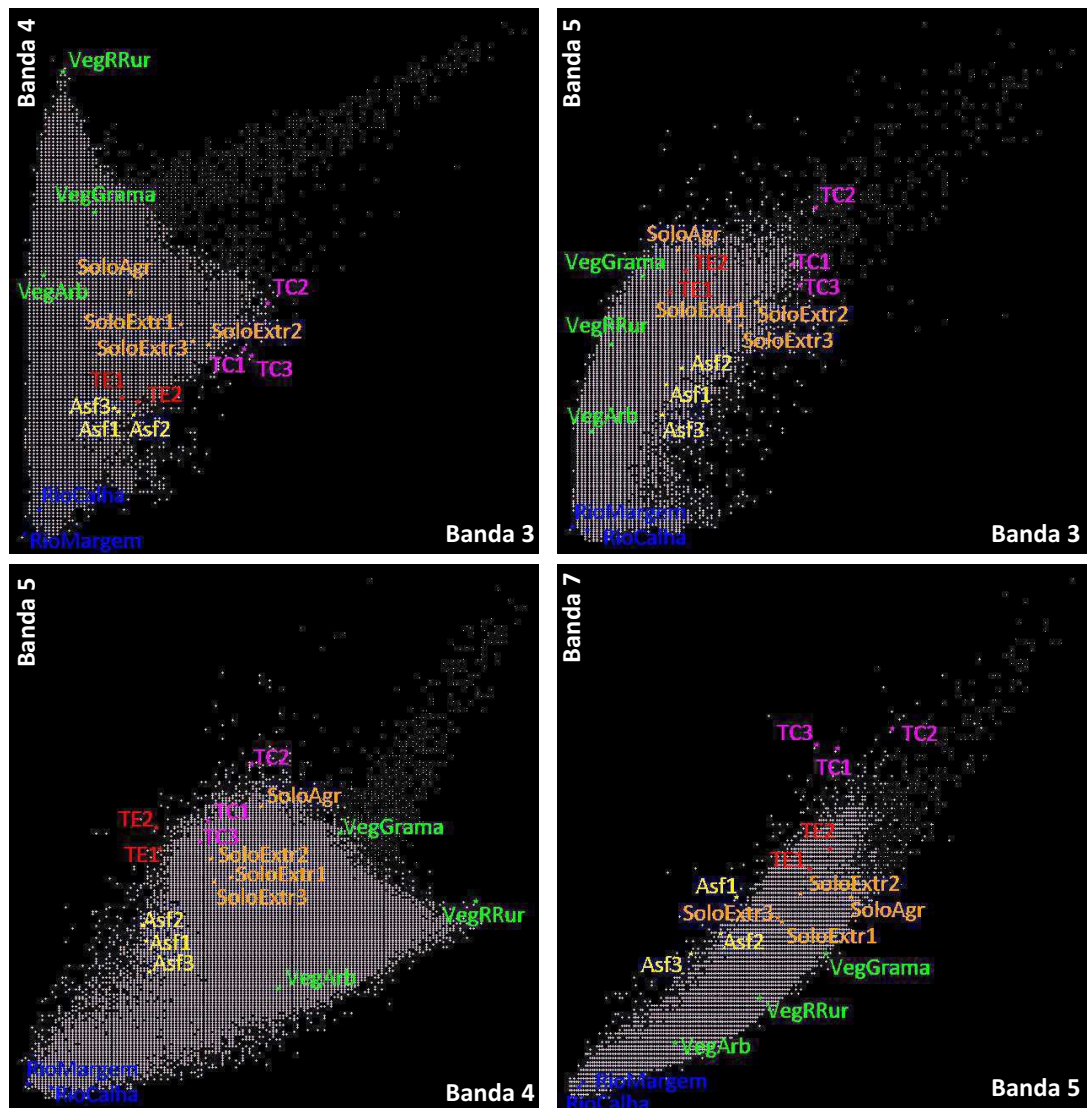
(b)



(c)

Figura 4.5 – Amostras de água (a) pelas curvas espectrais, (b) pelos pixels sobrepostos à imagem do sensor TM de 2010 e (c) pelos pixels sobrepostos às ortofotos de 2010.

Os dados da imagem de 2010 foram plotados nos *scatterplots*, destacando-se as amostras selecionadas (Fig. 4.6). Nesses gráficos, os pixels mais extremos determinam os vértices do volume que contém os dados da imagem.



Os pontos menores correspondem a pixels de nuvens.

Figura 4.6 – *Scatterplots* apresentando as respostas das amostras da Tabela 1 para pares de canais da imagem do sensor TM de 2010.

Nos *scatterplots* é possível observar que:

- na comparação entre as amostras de água, a amostra RioMargem está em posição mais extrema que a RioCalha, devido à diferença que eles apresentaram na resposta da banda 4. No *scatterplot* das bandas 5 e 7, os dois pixels estão próximos, sendo o pixel RioCalha o de posição mais extrema;

- dentre os pixels de vegetação, que apresentam um pico de reflectância na banda 4, o VegRRur é o de posição mais extrema;
- para os materiais impermeabilizantes (asfalto, telha clara e telha escura), na posição mais extrema estão as amostras de telha clara, das quais se destaca a TC2;
- as amostras de solo não apareceram como vértices do volume que contém os dados da imagem. O pixel SoloAgr apareceu em posição mais extrema que os demais pixels de solo e mais próximo dos pixels de vegetação.

Foram organizadas quatro rodadas para a comparação dos modelos, feita de acordo com: i) o valor de *Kappa* calculado a partir do mapa de cobertura da terra resultante de cada modelo (elaborado conforme o procedimento descrito na Seção 3.5); ii) a análise das frações pelo contexto da imagem (nas áreas onde é conhecida a presença do *endmember* que originou a fração, seus valores devem estar no intervalo entre 0 e 1); e, iii) a análise do erro (pelo valor da raiz quadrada do erro médio quadrático e pela distribuição espacial do erro, com a identificação das áreas onde o erro é maior). Adicionalmente, foi analisado o mapeamento da fração de maior valor em cada pixel (realizado conforme descrito na Seção 3.6), que, diferentemente do mapa de cobertura da terra, não considera a máscara de áreas de água, nuvem e sombra de nuvem e nem a normalização das frações de interesse.

As duas primeiras rodadas compararam modelos com seis *endmembers*. Na 1ª rodada, estabeleceu-se uma composição inicial aleatória de amostras para cada um dos *endmembers* (asfalto, telha clara, telha escura, solo, vegetação e água). O MLME 01 e o MLME 02 testaram as amostras de água. Os dois modelos foram comparados e a amostra de água do modelo mais bem avaliado foi mantida na composição do subsequente. Com esse procedimento, os MLMEs 01 a 14 testaram as amostras de asfalto, telha clara, telha escura, solo, vegetação e água (Tabela 4.2).

Tabela 4.2 – Modelos lineares de mistura espectral testados na 1ª e 2ª rodadas.

ENDMEMBER	ASFALTO			TELHA CLARA			TELHA ESCURA		SOLO				VEGETAÇÃO			ÁGUA		REMQU Imagem- erro	Kappa do mapa de cobertura da terra	
	Amostra	Asf1	Asf2	Asf3	TC1	TC2	TC3	TE1	TE2	Solo Extr1	Solo Extr2	Solo Extr3	Solo Agr	Veg RRur	Veg Arb	Veg Gram	Rio Calha			Rio Margem
1ª Rodada																				
1	MLME01	x			x			x		x				x			x		3,1x10 ⁻⁹	0,2358
2	MLME02	x			x			x		x				x				x	2,7x10 ⁻⁹	0,3220
3	MLME03	x			x			x		x					x			x	8,3x10 ⁻⁹	0,4893
4	MLME04	x			x			x		x						x		x	4,2x10 ⁻⁹	0,1578
5	MLME05	x			x			x			x				x			x	8,3x10 ⁻⁹	0,5690
6	MLME06	x			x			x				x			x			x	8,3x10 ⁻⁹	0,5168
7	MLME07	x			x			x					x		x			x	8,6x10 ⁻⁹	0,3408
8	MLME08	x			x				x		x				x			x	8,2x10 ⁻⁹	0,5822
9	MLME09	x				x			x		x				x			x	8,4x10 ⁻⁹	0,1343
10	MLME10	x					x		x		x				x			x	8,0x10 ⁻⁹	0,5822
11	MLME11		x		x				x		x				x			x	12,2x10 ⁻⁹	0,3775
12	MLME12		x				x		x		x				x			x	12,2x10 ⁻⁹	0,3777
13	MLME13			x	x				x		x				x			x	5,8x10 ⁻⁹	0,1493
14	MLME14			x			x		x		x				x			x	5,2x10 ⁻⁹	0,3519
2ª Rodada																				
15	MLME10_TE1	x				x		x			x				x			x	8,3x10 ⁻⁹	0,5754
16	MLME10_SoloExtr1	x				x			x				x		x			x	8,0x10 ⁻⁹	0,4452
17	MLME10_SoloExtr3	x				x						x			x			x	8,0x10 ⁻⁹	0,5052
18	MLME10_SoloAgr	x				x							x		x			x	8,5x10 ⁻⁹	0,2992
19	MLME10_VegRRur	x				x				x				x				x	3,7x10 ⁻⁹	0,3461
20	MLME10_VegGram	x				x				x						x		x	3,9x10 ⁻⁹	0,5364
21	MLME10_RioCalha	x				x				x					x		x		9,7x10 ⁻⁹	0,3101

Os modelos 08 e 10 resultaram em mapas de cobertura da terra de maior *Kappa* (Tabela 4.2). A diferença entre eles é a amostra de telha clara (TC1 e TC3, respectivamente). Elas têm resposta espectral muito semelhante e ocupam, nos *scatterplots*, posições próximas. O MLME 09 considerou o pixel de telha clara TC2, que está posicionado no vértice dos dados da imagem na representação dos *scatterplots*. O mapa de cobertura da terra resultante desse modelo apresentou um *Kappa* de 0,1343. As frações de telha clara dos modelos apresentaram valores semelhantes. As frações solo e telha escura, entretanto, apresentaram diferenças significativas. O MLME 09 estimou para a fração solo valores altos em áreas de mata e, para a fração telha escura, valores altos em áreas de vegetação rasteira (Figs. 4.7 e 4.8).

Apesar de resultarem em mapas de cobertura da terra com o mesmo valor de *Kappa*, o mapa de cobertura da terra elaborado a partir das frações do MLME 08 tem áreas de pastagem mapeadas como telha escura. Essa confusão é menos acentuada no MLME10 (Fig. 4.9), que foi avaliado como o melhor modelo da 1ª rodada.

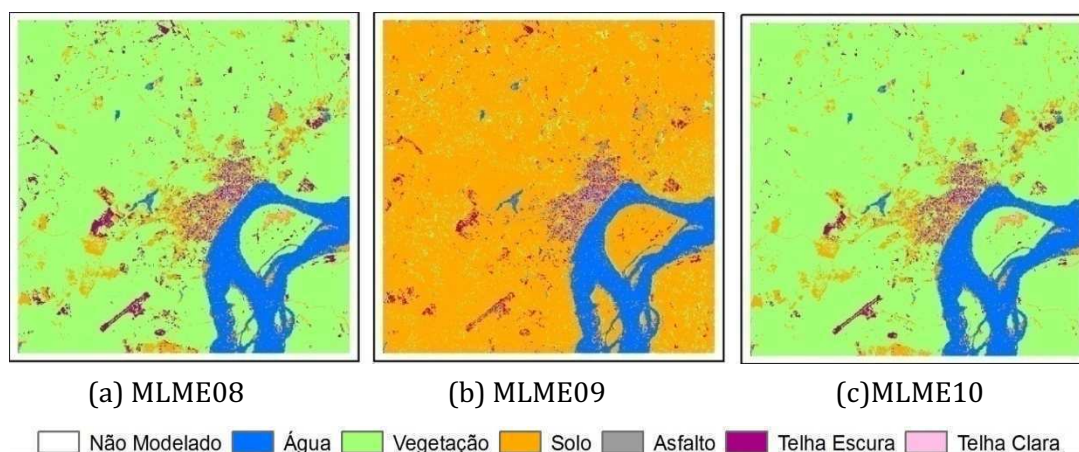


Figura 4.7 – Mapeamento da fração de maior valor (a) do MLME 08, (b) do MLME 09 e (c) do MLME 10.

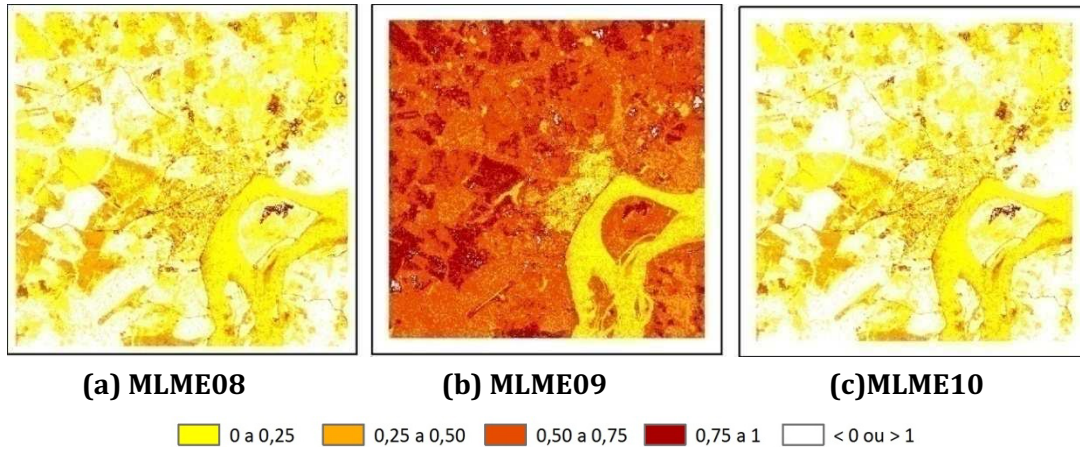


Figura 4.8 – Fração solo (a) do MLME 08, (b) do MLME 09 e (c) do MLME 10.

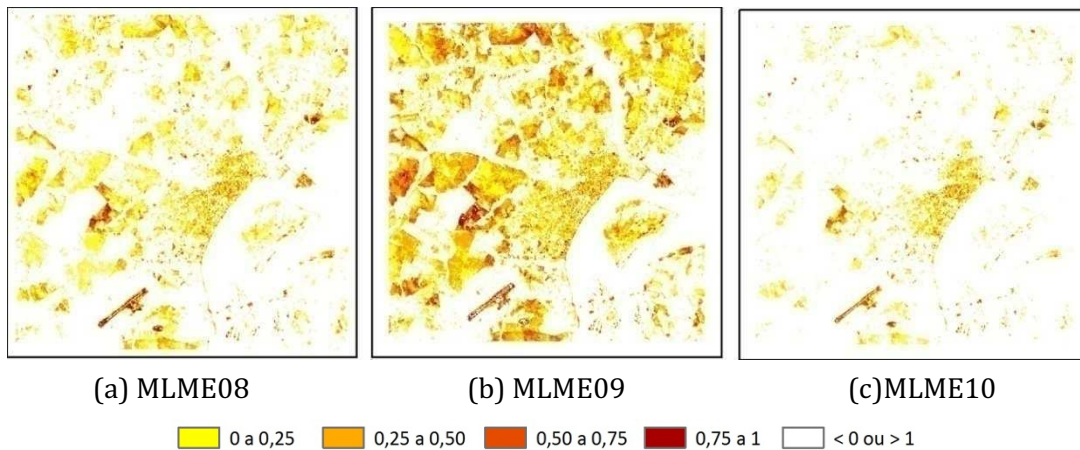


Figura 4.9 – Fração telha escura (a) do MLME 08, (b) do MLME 09 e (c) do MLME 10.

A 2ª rodada de modelos considerou a substituição de uma das amostras de *endmembers* do MLME 10 a cada vez. Nenhum dos modelos da 2ª rodada resultou em valores da raiz quadrada do erro médio quadrático expressivamente menores ou em mapas de cobertura da terra com *Kappa* menor que o MLME 10.

A 3ª rodada explorou a composições de modelos com cinco *endmembers* (MLMEs 16 a 20), a 4ª rodada, os modelos com quatro *endmembers* (MLMEs 21 a 24 e MLME 36) e a 5ª rodada, aqueles com três *endmembers* (MLMEs 25 a 34).

O erro médio quadrático dos modelos com menor número de *endmembers* foi da ordem de 10^{-2} , maior que o dos modelos de seis *endmembers*, da ordem de 10^{-8} (Tabela 4.3). Esse resultado indica que os componentes da mistura que não foram modelados devido à supressão de *endmembers* são, em parte, expressos no erro. O valor de *Kappa* dos mapas de cobertura da terra resultantes não foi superior ao dos modelos com seis *endmembers*.

Tabela 4.3 – Modelos lineares de mistura espectral testados na 3ª, 4ª e 5ª rodadas.

ENDMEMBER	ASFALTO			TELHA CLARA			TELHA ESCURA		SOLO				VEGETAÇÃO			ÁGUA		REMQ Imagem-erro	Kappa do mapa de cobertura da terra	
	Pixel Puro	Asf1	Asf2	Asf3	TC1	TC2	TC3	TE1	TE2	Solo Extr1	Solo Extr2	Solo Extr3	Solo Agr	Veg RRur	Veg Arb	Veg Grama	Rio Calha			Rio Margem
<i>3ª Rodada – 5 endmembers</i>																				
22 MLME16						x		x		x					x			x	0,0108	0,4898
23 MLME17	x							x		x					x			x	0,0120	0,5243
24 MLME18	x					x				x					x			x	0,0068	0,4240
25 MLME19	x					x		x							x			x	0,0023	0,5681
26 MLME20	x					x		x		x					x				0,0103	0,3662
<i>4ª Rodada – 4 endmembers</i>																				
27 MLME21	x							x		x					x				0,0119	0,0885
28 MLME22	x									x					x				0,0131	0,4995
29 MLME23								x		x					x				0,0129	0,5121
30 MLME24										x					x				0,0126	0,5024
31 MLME36						x					x					x		x	0,0050	0,4933
<i>5ª Rodada – 3 endmembers</i>																				
32 MLME25	x									x					x				0,0145	0,2265
33 MLME25_Asf2		x								x					x				0,0147	0,2222
34 MLME25_Asf3			x							x					x				0,0142	0,2216
35 MLME26				x						x					x				0,0145	0,1622
36 MLME26_TC2					x					x					x				0,0168	0,3276
37 MLME27										x					x				0,0141	0,1361
38 MLME28								x							x				0,0169	0,5653
39 MLME29									x						x				0,0169	0,5526
40 MLME30									x						x				0,0166	0,4532
41 MLME31											x				x				0,0169	0,5480
42 MLME32															x				0,0108	0,1334
43 MLME33										x						x			0,0124	0,4797
44 MLME34										x									0,0151	0,3830

Na 3ª rodada, os modelos de cinco *endmembers* (MLME16 a MLME20) excluíram um *endmember* a partir da composição do MLME10, implicando em dois possíveis efeitos (Figs. 4.10 e 4.11): i) o *endmember* excluído foi “compensado” em outra fração, como as áreas de asfalto, que foram mapeadas como rio ou telha escura, ou as áreas de telha escura, mapeadas como solo, ou de solo, mapeadas como vegetação; ii) a exclusão de um *endmember* causou alterações nos valores das frações dos demais *endmembers*, como a fração de asfalto, nos casos em que foram excluídos a telha clara ou a água, ou como a fração solo, nos casos de exclusão dos *endmembers* de valores de reflectância mais baixos (asfalto e água).

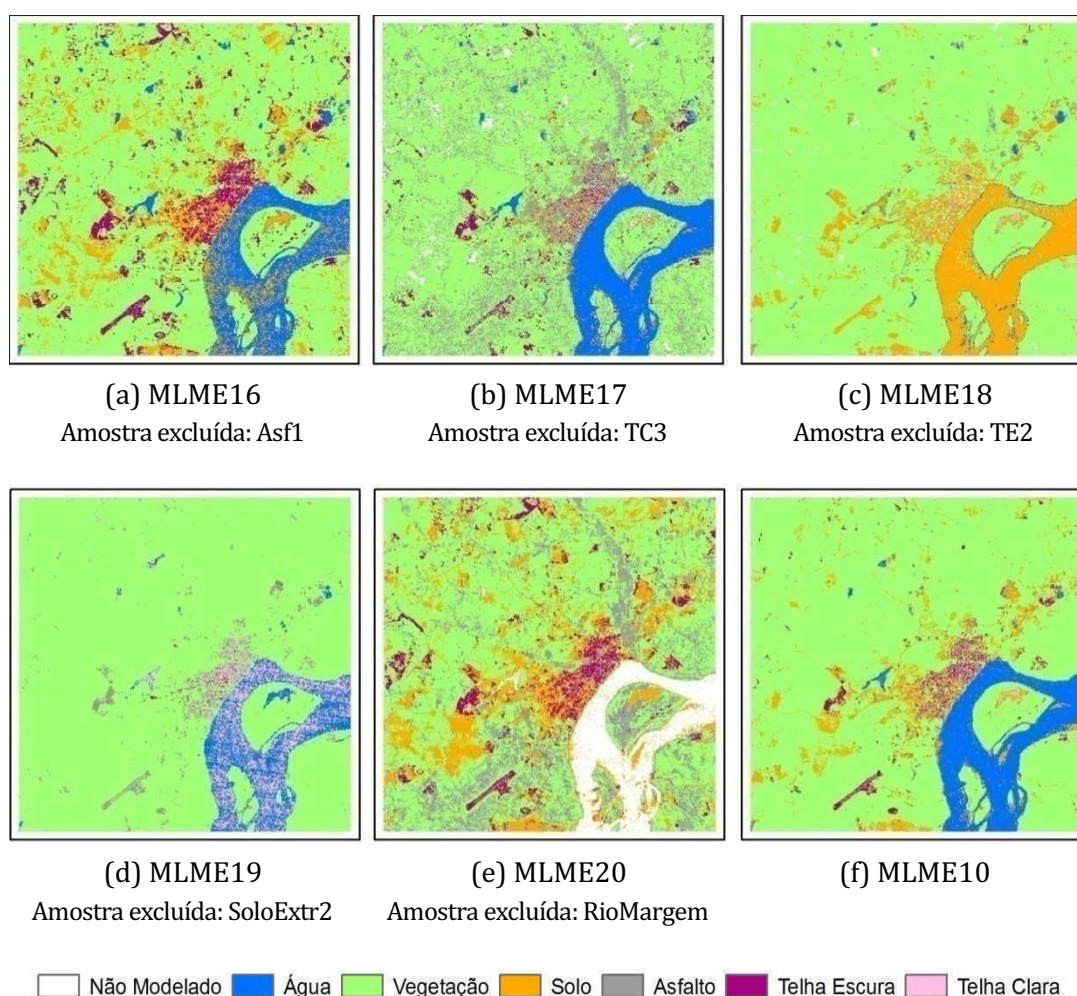


Figura 4.10 – Mapeamento da fração de maior valor (a) do MLME 16, (b) do MLME 17, (c) do MLME 18, (d) do MLME 19, (e) do MLME 20 e (f) do MLME 10.

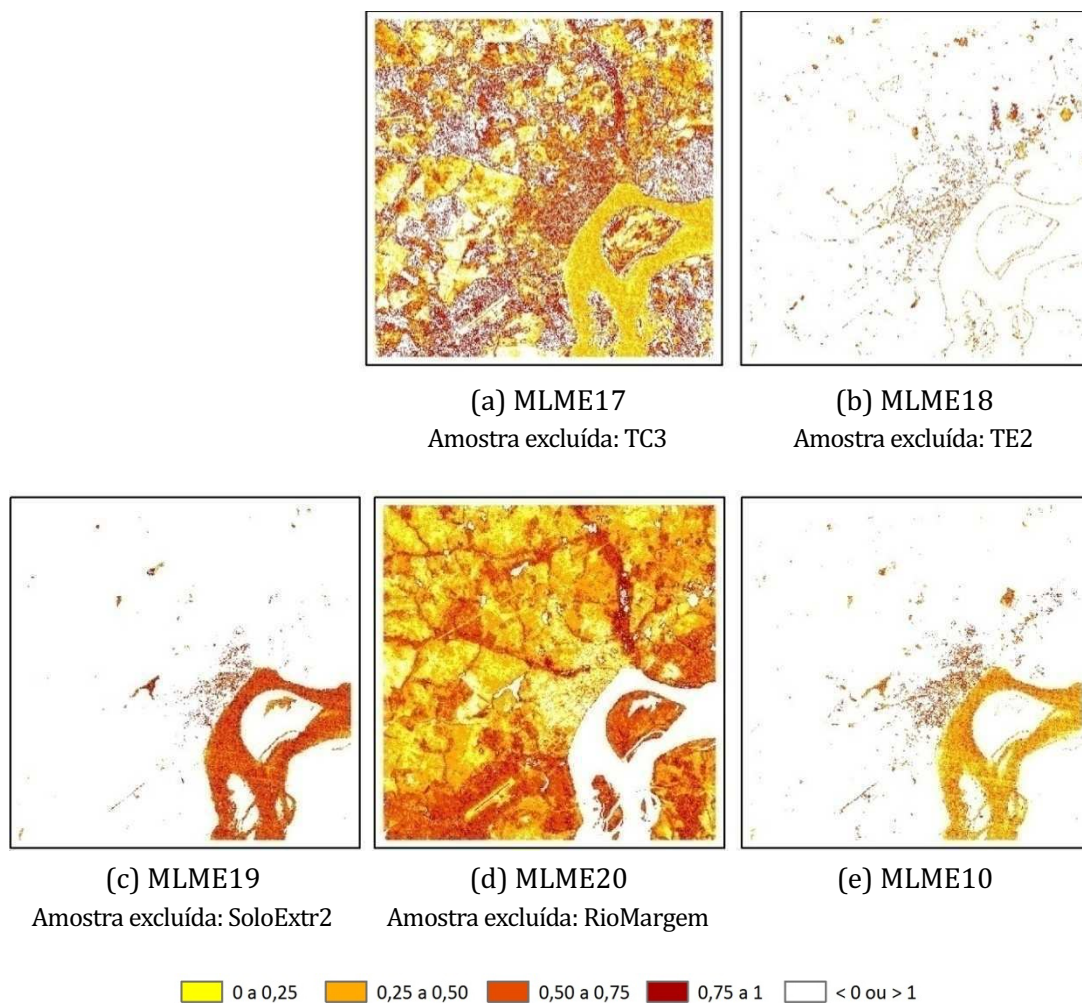
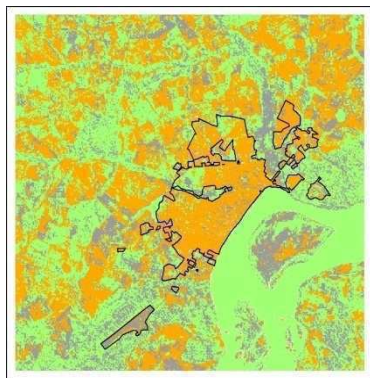


Figura 4.11 – Fração asfalto (a) do MLME 17, (b) do MLME 18, (c) do MLME 19, (d) do MLME 20, (e) do MLME 10.

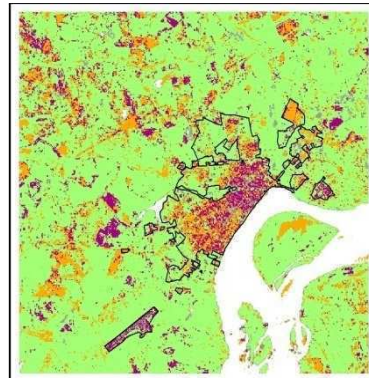
Dos modelos com quatro *endmembers*, foram testadas na 4^a rodada as composições com amostras de dois *endmembers* de materiais impermeabilizantes, em combinação com as amostras de solo (SoloExtr2) e vegetação (VegArb), e a composição que considerou apenas amostra de telha escura, em combinação com as amostras de solo e vegetação, mais a de água (RioMargem). Nesses modelos, foram obtidos os mesmos efeitos dos modelos com cinco *endmembers*: a compensação dos *endmembers* não considerados e a variação dos valores de determinadas frações. A fração derivada da amostra do

endmember de telha escura é a que melhor representou as áreas impermeabilizadas, concentradas na área urbana de Altamira. O MLME21, que não incorpora o *endmember* telha escura, apresentou os maiores valores de erro na área urbana em comparação com o MLME 22, que considerou amostras para os *endmembers* telha escura e asfalto, com o MLME 23, de amostras de telha clara e telha escura, e com o MLME 24, com apenas a amostra de telha escura (Figs. 4.12 e 4.13).



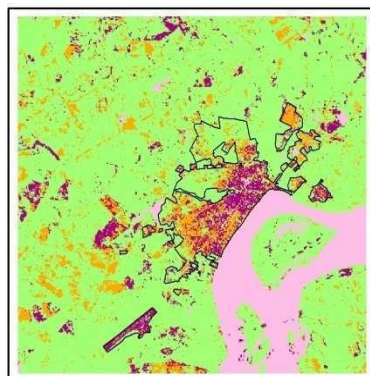
(a) MLME21

Amostras: Asf1, TC3, SoloExtr2 e VegArb



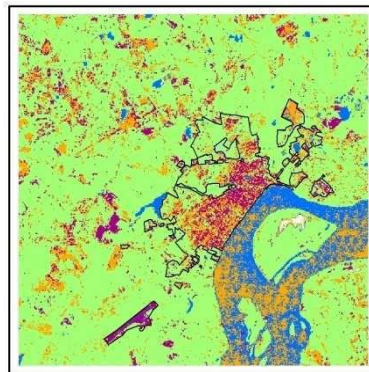
(b) MLME22

Amostras: Asf1, TE2, SoloExtr2 e VegArb



(c) MLME23

Amostras: TC3, TE2, SoloExtr2 e VegArb



(d) MLME24

Amostras: TE2, SoloExtr2, VegArb e RioMargem

Não Modelado
 Água
 Vegetação
 Solo
 Asfalto
 Telha Escura
 Telha Clara

A área urbana de Altamira está delimitada em preto.

Figura 4.12 – Mapeamento da fração de maior valor (a) do MLME 21, (b) do MLME 22, (c) do MLME 23 e (d) do MLME 24.

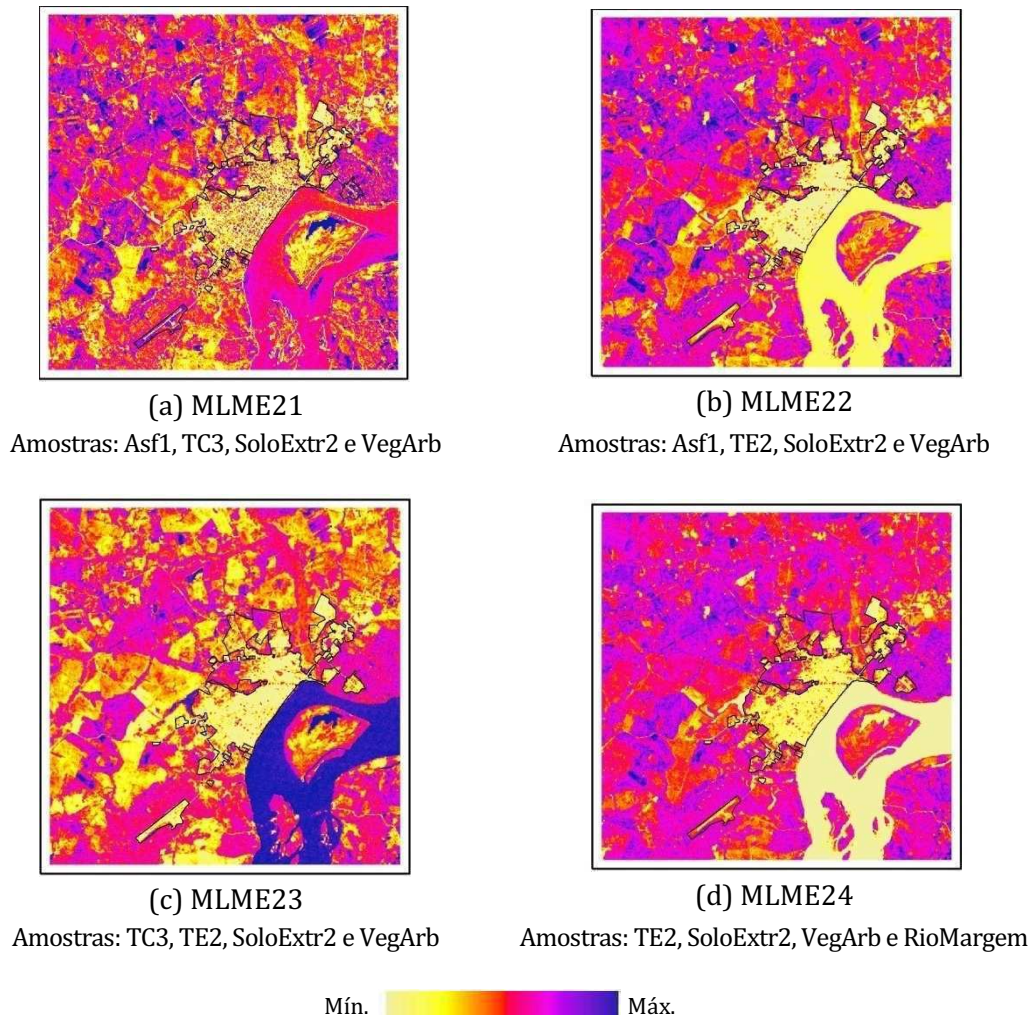


Figura 4.13 – Mapeamento do erro (a) do MLME 21, (b) do MLME 22, (c) do MLME 23 e (d) do MLME 24.

O MLME36 considerou pixels seleccionados pela análise dos *scatterplots* (Fig. 4.6). O modelo foi composto pelos pixels localizados no extremo do volume de dados da imagem: RioMargem, VegRRur e TC2, em conjunto com o pixel mais extremo de solo, o SoloExtr2. O mapa de cobertura da terra obteve um *Kappa* de 0,4933. A análise pelo contexto da imagem mostrou, na fração telha clara, valores de até 0,50 em áreas de vegetação e valores de até 1 na área urbana, o que sugere a sobrestimação desse *endmember* (Fig. 4.14). Embora a raiz quadrada do erro médio quadrático seja similar ao obtido para os modelos de 3,

4 e 5 *endmembers*, observou-se, na distribuição espacial do erro, valores mais elevados na área urbana e áreas de solo e pastagem.

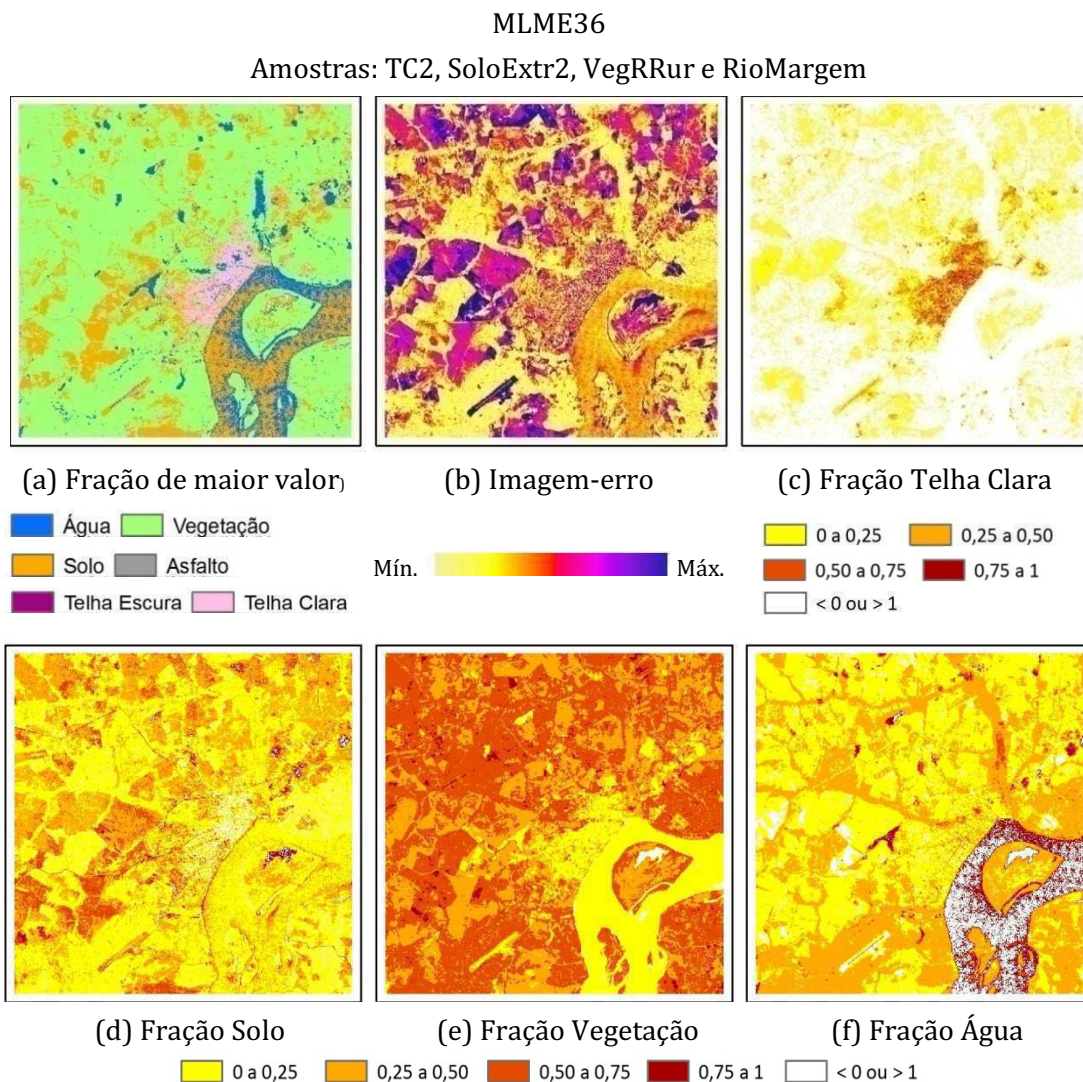


Figura 4.14 – MLME 36: (a) mapeamento da fração de maior valor, (b) imagem-erro, (c) fração telha clara, (d) fração solo, (e) fração vegetação e (f) fração água.

Os modelos com três *endmembers* (MLME 25 a MLME 34) testaram na 5ª rodada combinações entre amostras de asfalto ou telha clara ou telha escura, com amostras dos *endmembers* solo e vegetação. Os valores de *Kappa* mais altos são aqueles dos mapas dos modelos que consideraram a TE1 (MLME 28, *Kappa* de

0,5653) e TE2 (MLME 29, *Kappa* de 0,5526), com SoloExtr2 e VegArb, e do modelo da amostra de SoloExtr3 (MLME 31, *Kappa* de 0,5480), com TE2 e VegArb. Os pixels TE2, SoloExtr2 e VegArb do MLME 29 são os mesmos do MLME 10, de 6 *endmembers*. Os pixels TE1 e TE2, assim como os SoloExtr2 e SoloExtr3, têm resposta espectral semelhante e geraram modelos com valores de frações e erros semelhantes (Figs. 4.15 e 4.16).

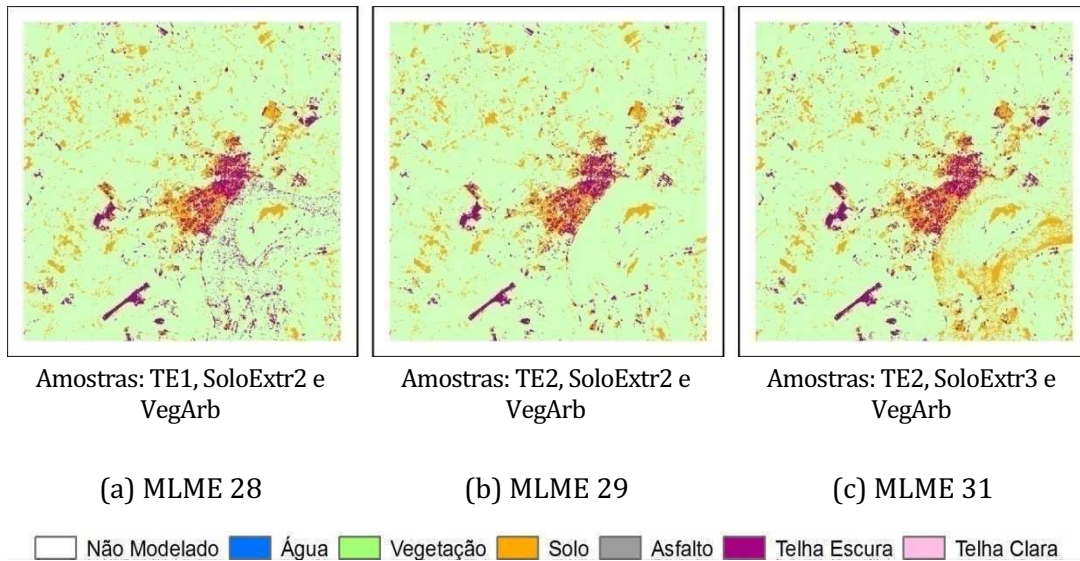


Figura 4.15 – Mapeamento da fração de maior valor (a) do MLME 28, (b) do MLME 29 e (c) do MLME 31.

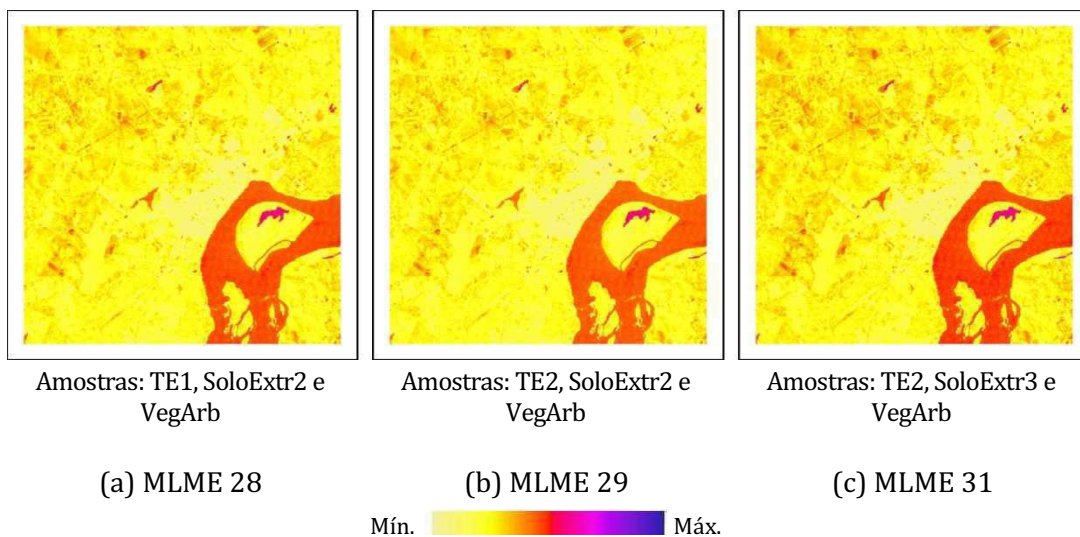


Figura 4.16 – Imagem-erro (a) do MLME 28, (b) do MLME 29 e (c) do MLME 31.

Dos modelos testados, o MLME10 (seis *endmembers*) foi a composição que resultou no mapa de cobertura da terra de maior *Kappa* e na melhor avaliação pelo contexto da imagem. Esse modelo foi comparado ao de quatro *endmembers*, MLME36, cujos pixels foram escolhidos por meio dos *scatterplots*, e ao modelo de três *endmembers*, MLME 29, que simula o modelo V-I-S de Ridd (1995) a partir da eliminação de *endmembers* do MLME 10.

O *Kappa* do mapa de cobertura da terra do modelo com seis *endmembers* foi o maior e a diferença do REMQ desse modelo em relação aos outros dois foi da ordem do milionésimo (Tabela 4.4).

Tabela 4.4 – Síntese dos modelos 10, 36 e 29.

	MLME 10	MLME 36	MLME 29
Nº de <i>endmembers</i>	6	4	3
Composição	Asf1, TC3, TE2, SoloExtr2, VegArb, RioMargem	TC2, SoloExtr2, VegRRur, RioMargem	TE2, SoloExtr2, VegArb
REMQ da imagem-erro	$8 \cdot 10^{-9}$	0,0050	0,0169
<i>Kappa</i> do mapa de cobertura da terra	0,5822	0,4933	0,5526

A utilização de apenas três *endmembers* fez com que os componentes da mistura que não estavam representados fossem incorporados na resposta das frações e do erro, resultando na variação dos valores de determinadas frações e em valores maiores de erro, corroborando o postulado por Sabol et al. (1992) e Adams e Gillespie (2006). A fração solo do MLME 29 apresentou valores de até 0,25 para áreas de floresta, onde não se esperaria que a decomposição espectral retornasse valores válidos (entre 0 e 1) para esse *endmember* (Fig. 4.17). Isso sugere a sobrestimação dos valores dessa fração. No mapa de cobertura da terra foi possível observar a sobrestimação da fração solo na área urbana: áreas onde predomina a vegetação ou materiais impermeabilizantes foram mapeadas como solo (Fig. 4.18).

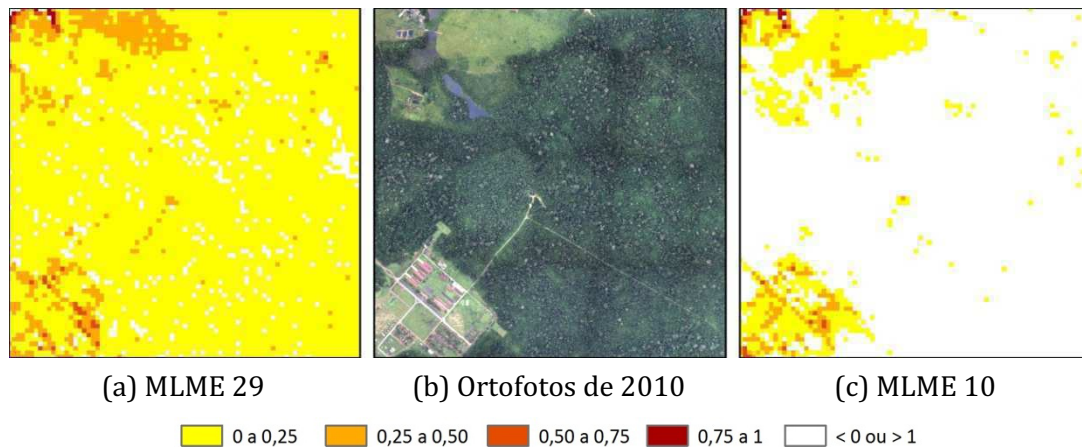


Figura 4.17 – Detalhe da área de mata (a) na fração solo do MLME 29, (b) nas ortofotos de 2010 e (c) na fração solo do MLME 10.

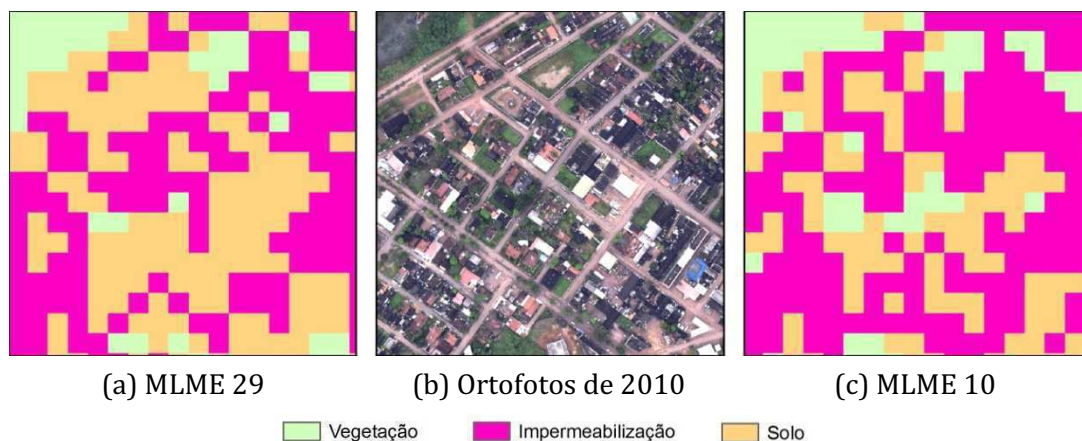


Figura 4.18 – Detalhe da área urbana (a) no mapeamento da fração de maior valor do MLME 29, (b) nas ortofotos de 2010 e (c) no mapeamento da fração de maior valor do MLME 10.

O menor *Kappa* foi aquele do mapa de cobertura da terra do MLME 36, cujos pixels foram escolhidos a partir dos *scatterplots*. Diferentemente dos dois outros modelos, as áreas de solo com baixa cobertura de vegetação rasteira ou grama, como as que circundam a pista do aeroporto de Altamira, foram mapeadas como solo (Fig.4.19). Na área urbana observou-se a sobrestimação da impermeabilização em relação à ortofoto e ao MLME 10 (Fig.4.20).

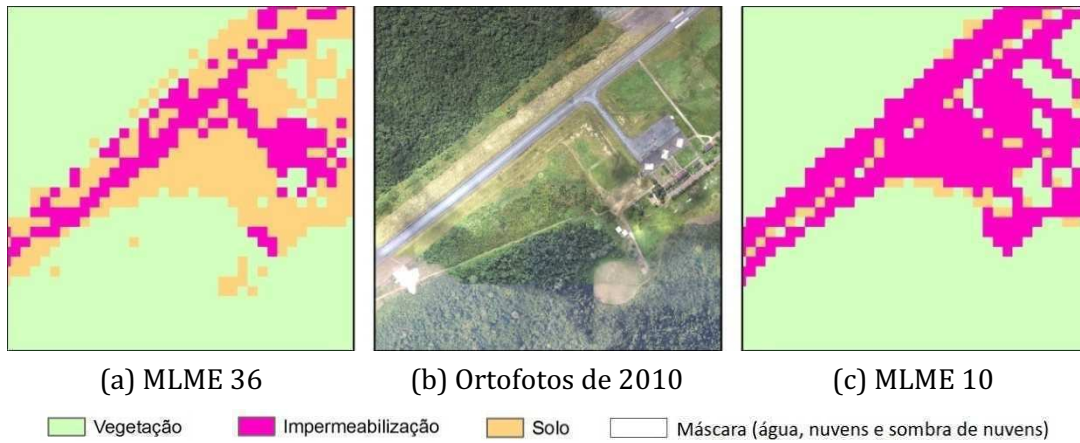


Figura 4.19 – Detalhe do aeroporto (a) no mapeamento da fração de maior valor do MLME 36, (b) nas ortofotos de 2010 e (c) no mapeamento da fração de maior valor do MLME 10.

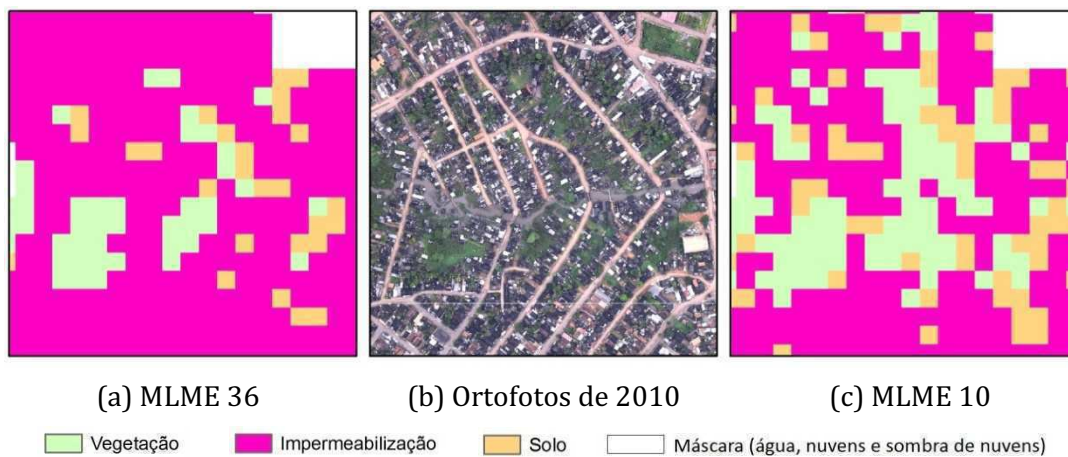


Figura 4.20 – Detalhe da área urbana (a) no mapa de cobertura da terra do MLME 36, (b) nas ortofotos de 2010 e (c) no mapa de cobertura da terra do MLME 10.

A partir da comparação do *Kappa* e da raiz quadrada do erro médio quadrático, bem como da análise visual dos mapas de cobertura da terra, selecionou-se o MLME 10. Esse modelo foi propagado para a imagem de reflectância de 2000, para gerar o mapa de cobertura da terra referente a esse ano.

4.2 Mapas de Cobertura da Terra

A avaliação da concordância entre os mapas de cobertura da terra e as amostras de tamanho 3x3 pixels tomadas da interpretação das ortofotos foi baseada em índices calculados a partir de matrizes de confusão. A exatidão global para o mapa de 2000 foi de 83,8% e, para 2010, 79,8%, respectivamente (Tabela 4.5). Os valores de *Kappa* foram 0,620 para 2000 e 0,582 para 2010, apontando para a concordância substancial do mapa de 2000 com a referência, e uma concordância moderada para 2010, segundo os classificação proposta por Landis e Koch (1977). A incorporação dos erros de omissão e comissão no cálculo da exatidão global normalizada faz com que seus valores sejam menores que a exatidão global, sendo 75,2% para o mapa de 2000 e 71,6% para 2010.

Tabela 4.5 – Avaliação da exatidão dos mapas de cobertura da terra de 2000 e 2010.

	2000	2010
Nº de Amostras	192	242
Exatidão Global	0,838	0,798
<i>Kappa</i>	0,620	0,582
Intervalo de Confiança (95%)	± 0,122	± 0,105
p-Value	8 10 ⁻¹⁴	2 10 ⁻¹⁶
Exatidão Global Normalizada	0,752	0,716

Nos mapas de 2000 e 2010 observou-se que nas áreas rurais predominaram a vegetação e o solo, enquanto, na área urbana, combinação de impermeabilização, solo e, em menor participação, vegetação (Figs. 4.21 e 4.22). A vegetação não é um componente de interesse, de modo que diferenças perceptíveis na imagem do sensor TM entre agricultura, pastagem ou floresta não foram explicitadas com a aplicação do MLME. A utilização de imagens do sensor TM da mesma época buscou evitar que diferenças no ciclo da vegetação afetem o mapeamento. As áreas de solo e de impermeabilização se destacaram da vegetação, que predominou na cena, e configuraram a área urbana, os eixos rodoviários e suas ocupações lindeiras.

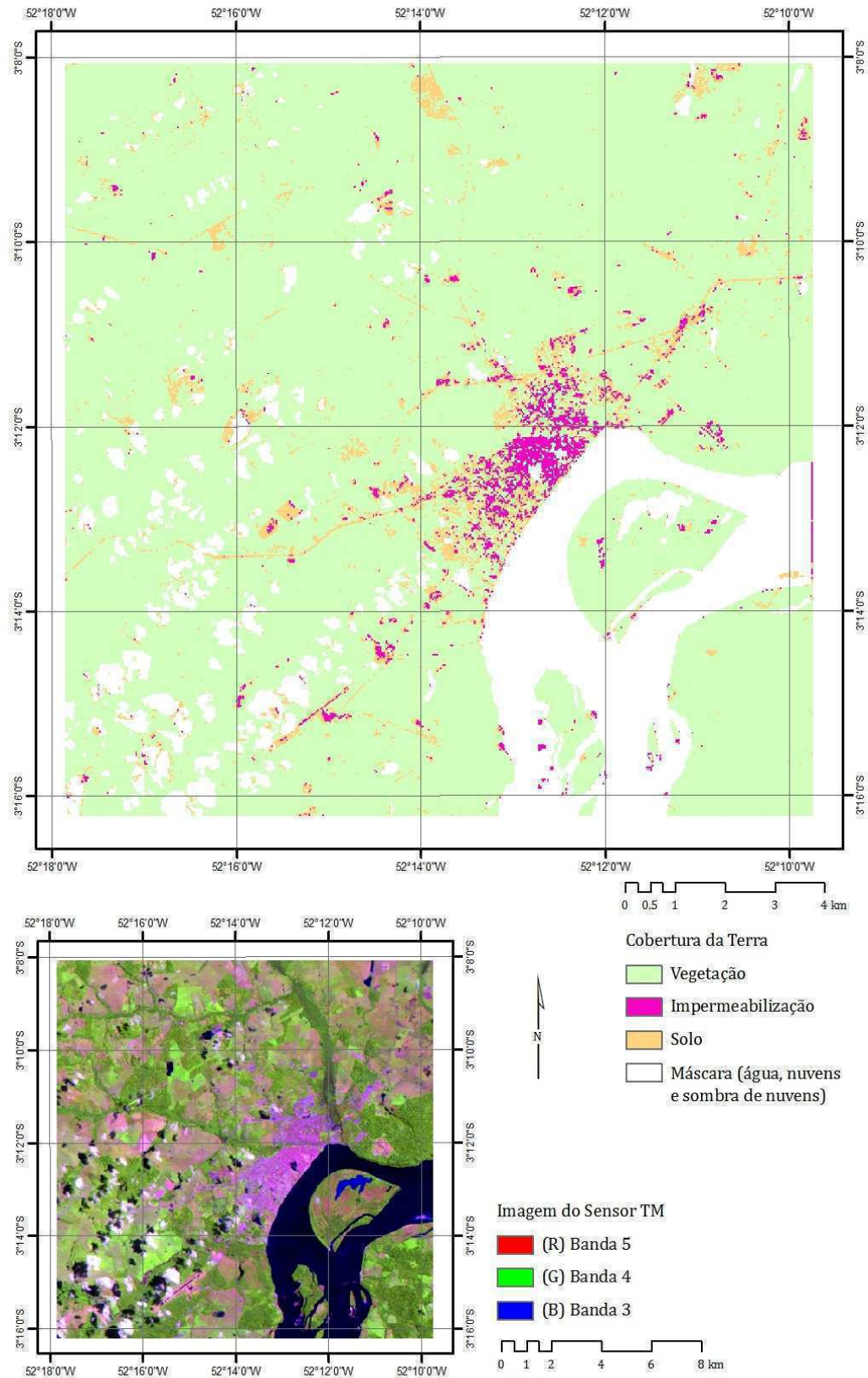


Figura 4.21 – Mapa de cobertura da terra de Altamira em 2000.

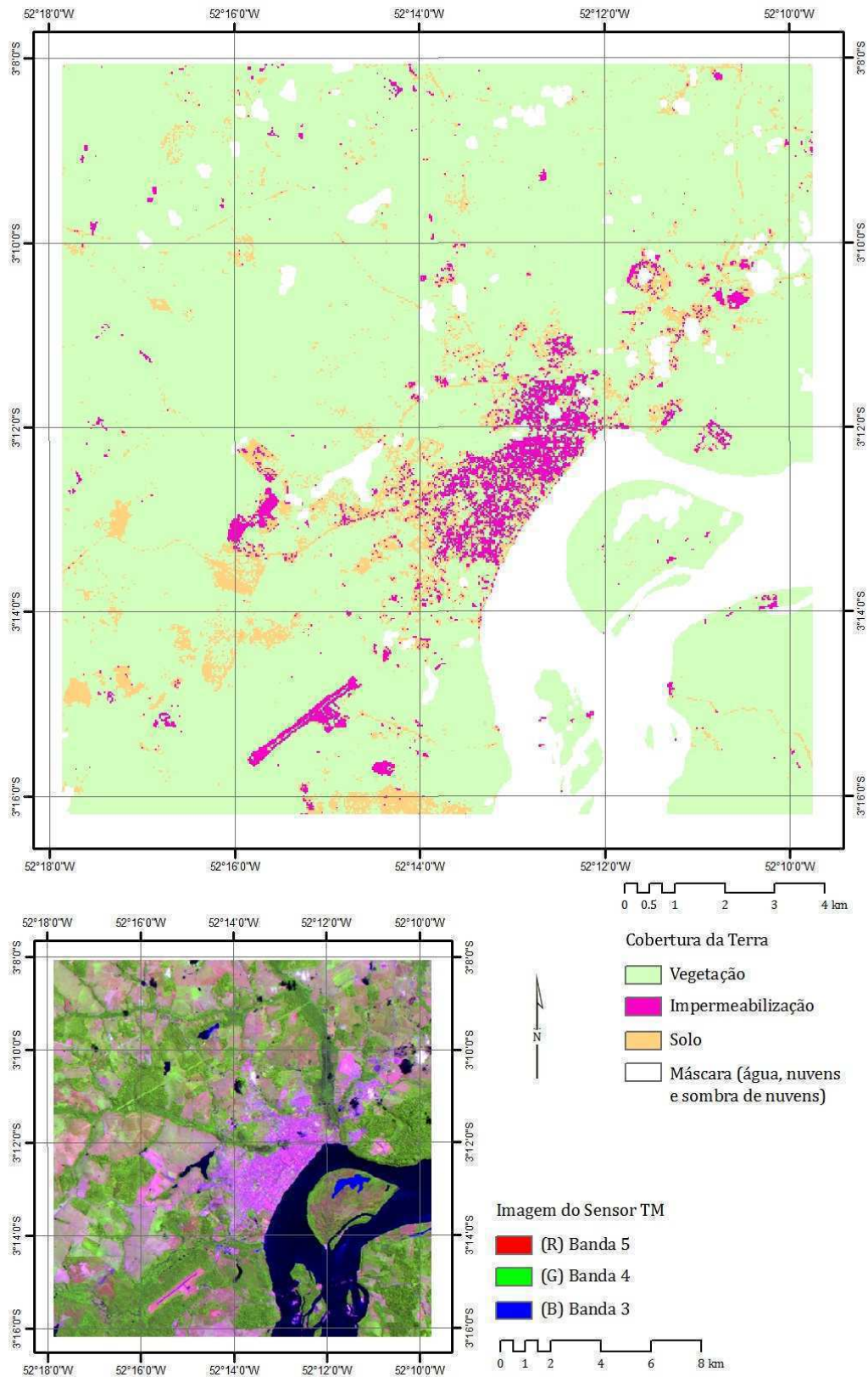


Figura 4.22 – Mapa de cobertura da terra de Altamira em 2010.

A análise das diferenças entre os mapas e as amostras de referência evidenciou determinadas áreas com alguma cobertura vegetal nas ortofotos, enquanto nas imagens do sensor TM (5R, 4G e 3B), essas áreas apareceram com a coloração rosa, que sugere ausência de vegetação. A defasagem temporal entre a imagem do sensor TM e as ortofotos pode explicar as diferenças observadas nas imagens. Assim, as amostras da área rural que apresentaram esse tipo de confusão foram eliminadas e os índices foram recalculados (Tabela 4.6).

Tabela 4.6 – Avaliação da exatidão dos mapas de cobertura da terra de 2000 e 2010, com a eliminação de amostras.

	2000	2010
Nº de amostras	169	193
Exatidão global	0,8521	0,881
<i>Kappa</i>	0,668	0,751
Intervalo de confiança (95%)	± 0,120	± 0,09
p-value	310 ⁻¹⁵	210 ⁻¹⁶
Exatidão global normalizada	0,767	0,852

Com a eliminação de amostras, os dois mapas foram considerados satisfatórios, já que apresentaram exatidão global superior a 85% e a 70%, no caso da exatidão de cada classe (Tabela 4.7), conforme critérios sugeridos por Foody (2002). Os valores de *Kappa* foram classificados como de concordância substancial com a referência, de acordo com a classificação proposta por Landis e Koch (1977). Os três índices, *Kappa*, exatidão global e normalizada, foram superiores para o mapeamento de 2010. A eliminação do viés provocado pelas amostras de classificação duvidosa (49 amostras em 2010 e 23 em 2000) ocasionou a inversão dos índices. Para um nível de significância de 5%, o teste Z mostrou que ambos os mapas são melhores que uma classificação casual.

Como a matriz de confusão normalizada elimina a diferença nos tamanhos das amostras, ela é mais adequada para a comparação entre os mapas. As frações de vegetação e solo para o ano de 2010 apresentaram maior concordância que para

2010, sendo que a fração impermeabilização para o ano de 2000 foi ligeiramente melhor que para 2010 (Tabela 4.7).

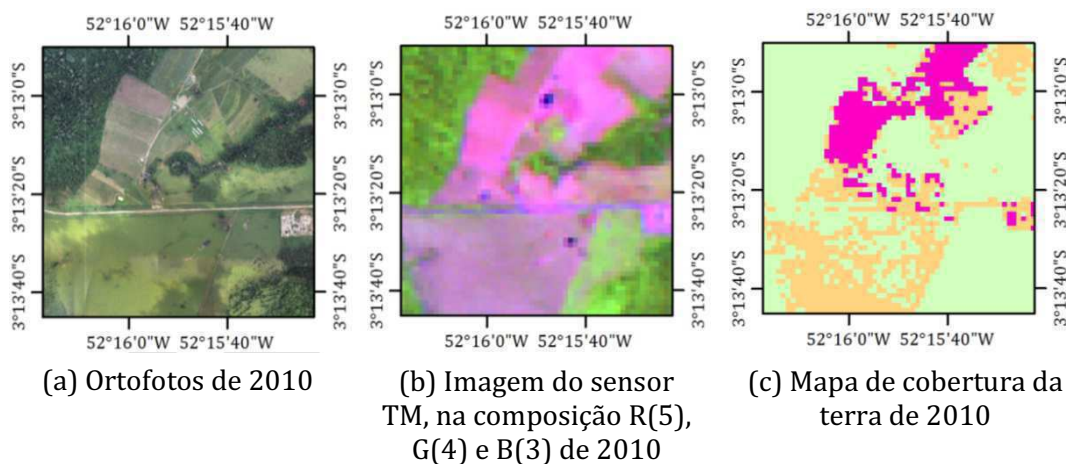
Tabela 4.7 – Matrizes de confusão normalizada para os anos de 2000 e 2010, com a eliminação de amostras.

		Amostras de referência		
		Impermeabilização	Solo	Vegetação
Mapa de cobertura da terra	Ano 2000			
	Impermeabilização	0,8439	0,1531	0,0037
	Solo	0,0461	0,7072	0,2464
	Vegetação	0,1100	0,1397	0,7499
		Amostras de referência		
		Impermeabilização	Solo	Vegetação
Mapa de cobertura da terra	Ano 2010			
	Impermeabilização	0,8320	0,1448	0,0237
	Solo	0,1165	0,8151	0,0687
	Vegetação	0,0515	0,0401	0,9076

A fração solo, como reportado em outros trabalhos (POWELL et al., 2007; KUCK, 2010), foi aquela que apresentou os valores mais baixos na matriz, devido a sua confusão tanto com áreas impermeabilizadas como com áreas de vegetação. Em 2000, a confusão foi mais acentuada com áreas impermeabilizadas. Lu e Weng (2004) e Powell et al. (2007) também reportaram esse tipo de confusão. As rodovias são discerníveis nos mapas e, apesar de serem asfaltadas, foram classificadas como solo. Em parte, essa confusão pode ser explicada pela cobertura de terra sobre o asfalto. Adicionalmente, especula-se que as faixas lindeiras não asfaltadas das rodovias e as larguras estreitas das pistas asfaltadas contribuem para a confusão na classificação. Apenas com dados espectrais não foi possível diferenciar solo de telha de barro, materiais de mesma constituição, o que é um limite para o MLME. Em Altamira as condições dos telhados parecem influenciar na sua detecção: telhas mais antigas e escurecidas foram mapeadas

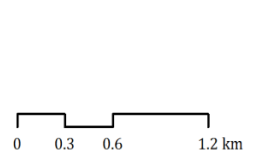
como solo, enquanto que telhas novas e mais brilhantes foram identificadas como impermeabilização.

Áreas preparadas para o plantio ou para a urbanização foram mapeadas ora como solo, ora como área impermeabilizada (Fig. 4.23), o que foi também reportado por Lu e Weng (2004).



Cobertura da Terra

Vegetação Impermeabilização Solo



No canto direito das imagens está o cemitério, mapeado como impermeabilização e solo. No inferior da imagem, a área mapeada como solo aparece coberta de vegetação na ortofoto; a do sensor TM mostra a área preparada para a urbanização (na cor roxa uniforme). No meio está a rodovia Transamazônica, asfaltada, mas mapeada como solo. Acima da Transamazônica, as áreas de solo preparado para agricultura em rosa uniforme na imagem do sensor TM, foram mapeadas como impermeabilização e aparecem na ortofoto já com cultura.

Figura 4.23 – Detalhe da área rural (a) nas ortofotos de 2010, (b) na imagem do sensor TM em composição RGB das bandas 5, 4 e 3 e (c) no mapa de cobertura da terra de 2010.

No interior da cidade, áreas de maior extensão de vegetação rasteira e arbórea foram corretamente mapeadas. Áreas menores de vegetação arbórea no interior nas quadras não foram todas identificadas como vegetação, ao mesmo tempo em que se observou alguma confusão entre áreas impermeabilizadas e de vegetação, sobretudo para o ano de 2000 (Fig. 4.24).

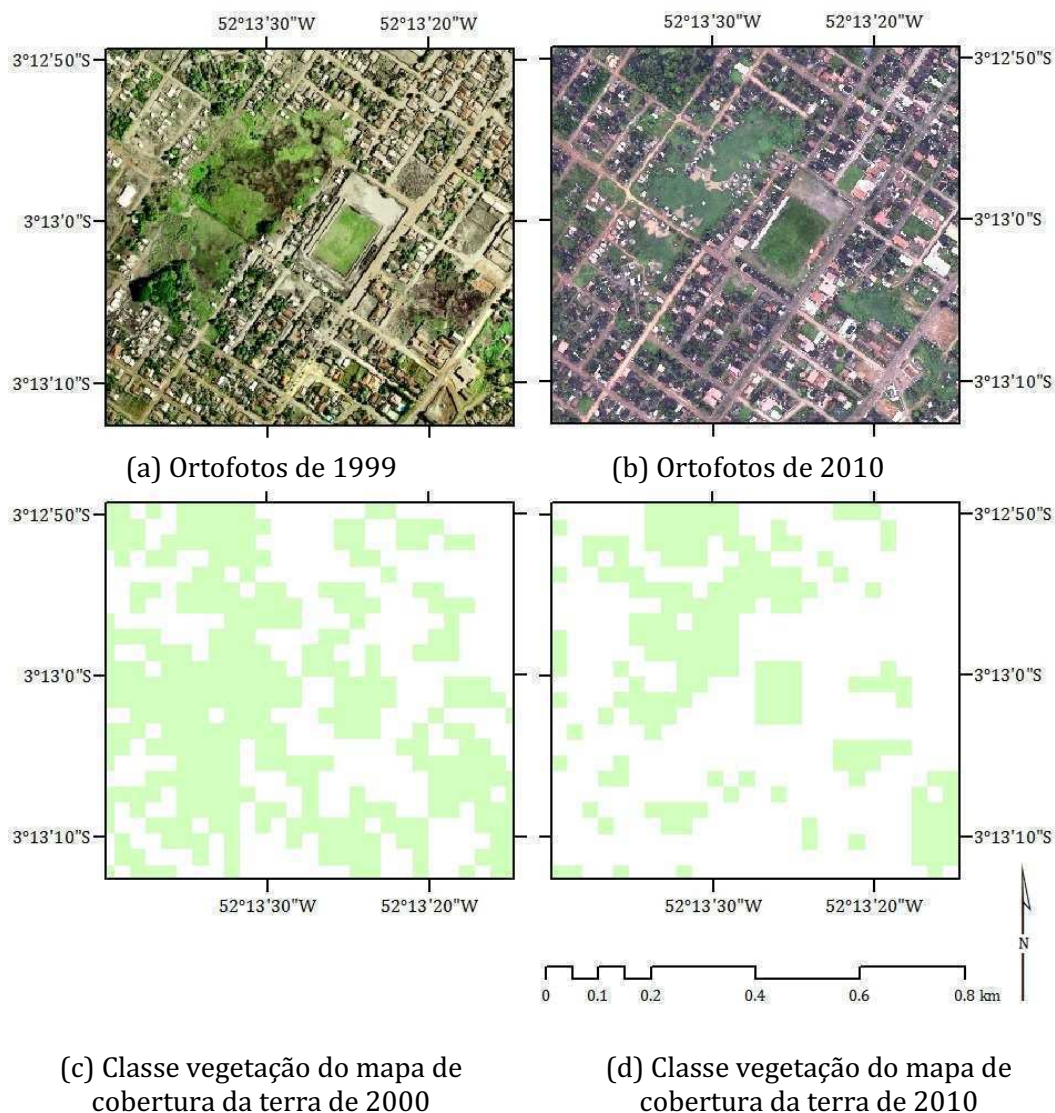


Figura 4.24 – Detalhe da área ao redor do campo de futebol municipal (a) das ortofotos de 1999/2000, (b) das ortofotos de 2010, (c) da classe vegetação do mapa de cobertura da terra de 2000 e (d) da classe vegetação do mapa de cobertura da terra de 2010.

Entre os anos de 2000 e 2010, não houve mudanças no material utilizado nas coberturas das edificações, telhas de fibrocimento e de barro, com menor participação das telhas metálicas. Em alguns casos, houve a reconstrução das edificações, nas quais as coberturas foram eventualmente ampliadas e substituídas. Nota-se o envelhecimento dos materiais, sobretudo telhas de

fibrocimento e asfalto. As mudanças mais significativas (novas construções e o asfaltamento das vias) foram satisfatoriamente captadas pelo MLME (Fig. 4.25).

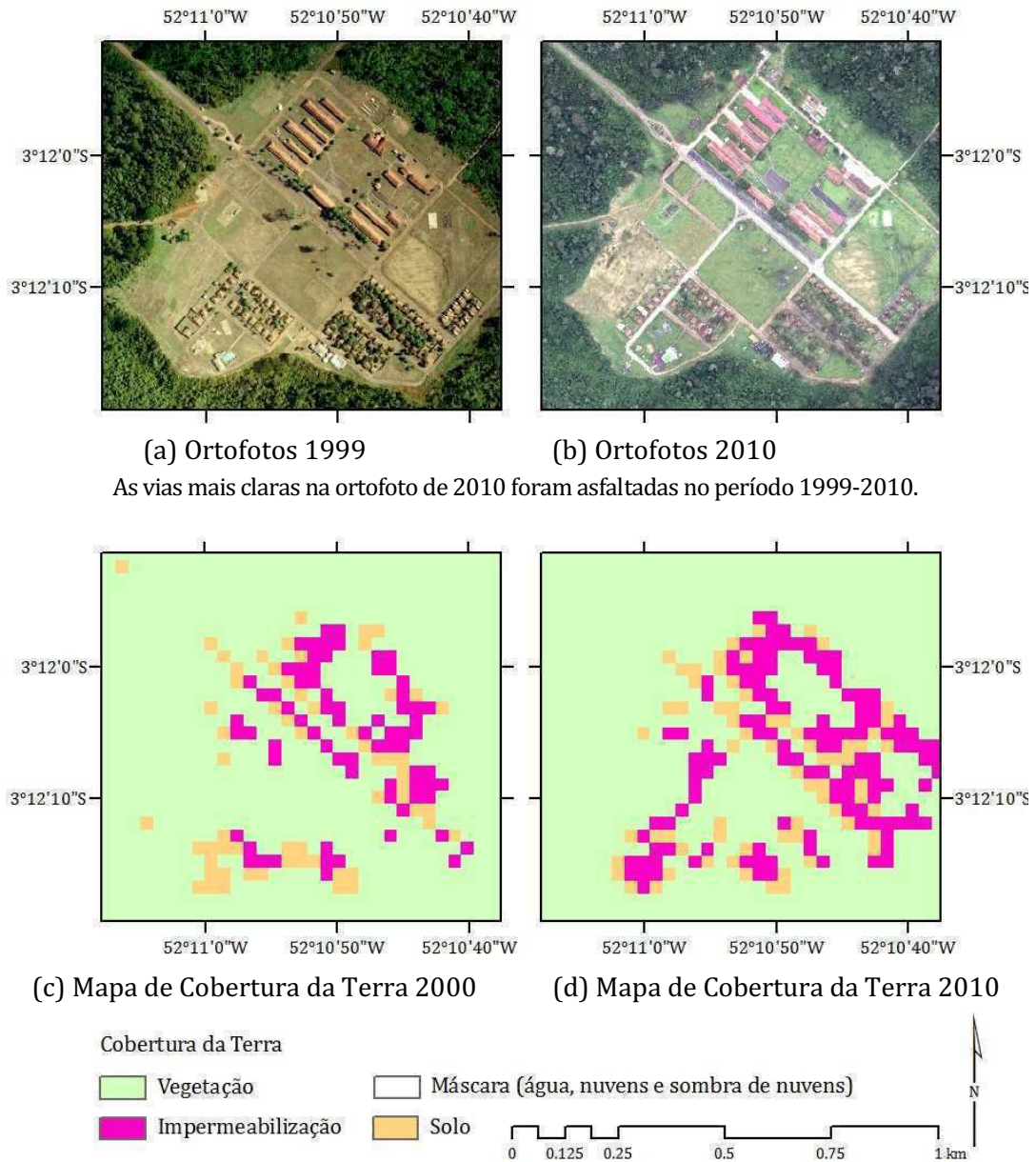


Figura 4.25 – Detalhe do 51° BIS nas ortofotos (a) de 1999 e (b) de 2010 e nos mapas de cobertura da terra (c) de 2000 e (d) de 2010.

4.3 Expansão Urbana de Altamira entre 2000 e 2010

A comparação entre os mapas de cobertura da terra de 2000 e 2010 (Figs. 4.21 e 4.22) é um recurso não apenas para estimar as mudanças de cobertura quantitativamente, mas também para apresentar essas mudanças de forma espacialmente explícita. A análise das mudanças correspondentes a cada classe de cobertura e da expansão urbana, de maneira mais ampla, foi condicionada pela escolha das classes representadas nos mapas e pelo fato de a classificação ser uma primeira aproximação da cobertura da terra, em particular, devido ao critério relativamente simples adotado para atribuição dos pixels às classes Vegetação, Impermeabilização e Solo.

Tomando-se como recorte o perímetro urbano de Altamira vigente em 2010 definido pela Lei Municipal 2.047/2009 (PREFEITURA MUNICIPAL DE ALTAMIRA, Lei nº 2.047/2009), a comparação entre os mapas de cobertura da terra de 2000 e 2010 mostrou o crescimento das áreas impermeabilizadas e de solo e a diminuição das áreas de vegetação (Tabela 4.8). Dos 8.970 ha do perímetro urbano, em 2000, cerca de 920 ha correspondiam a áreas impermeabilizadas ou de solo, e 5.940 ha, a áreas de vegetação. Em 2010, o total de áreas impermeabilizadas ou de solo aumentou para cerca de 1.300 ha, e as áreas de vegetação diminuíram para cerca de 5.560 ha.

Tabela 4.8 – Áreas de vegetação, impermeabilização e solo no perímetro urbano de Altamira, quantificadas a partir dos mapas de cobertura da terra, elaborados considerando as classes propostas no modelo V-I-S (RIDD, 1995) e a identificação do pixel de maior valor das frações calculadas pelo MLME como regra para a atribuição de classes.

Ano	Vegetação		Impermeabilização		Solo		Sem Informação	
	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)
2000	66,2	5.935	3,7	328	6,6	596	23,5	2.109
2010	62,0	5.560	6,1	551	8,3	745	23,5	2.111

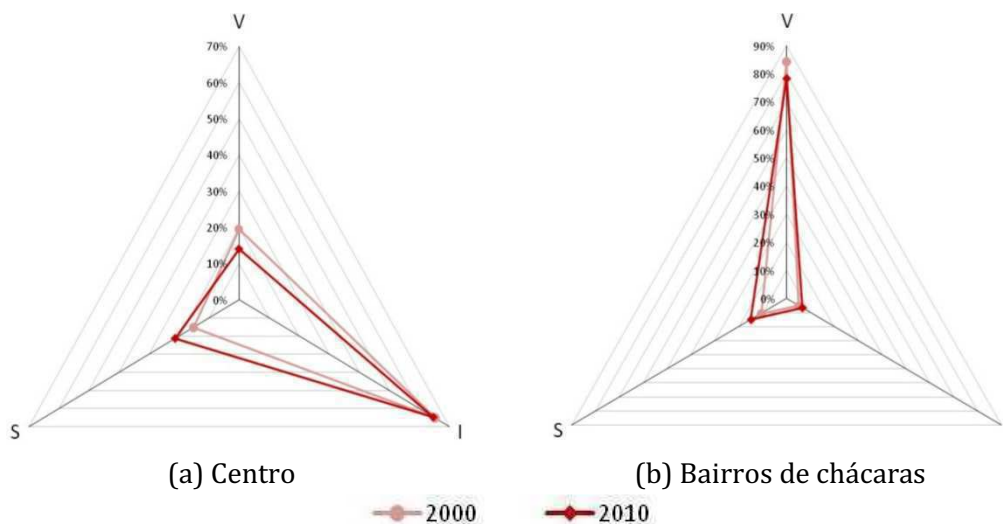


Figura 4.27 – Diagrama triaxial da composição V-I-S (V – Vegetação, I – Impermeabilização, S – Solo) da evolução 2000-2010 (a) do centro e (b) dos bairros de chácaras.

Nesse período, a expansão das áreas urbanizadas de Altamira ocorreu tanto nos bairros com mais de 50% de lotes ocupados em 2010 quanto nos com menos de 50% de lotes ocupados. Na comparação dos diagramas triaxiais de V-I-S, observou-se o aumento das áreas impermeabilizadas e de solo e a diminuição das áreas de vegetação (Fig. 4.28).

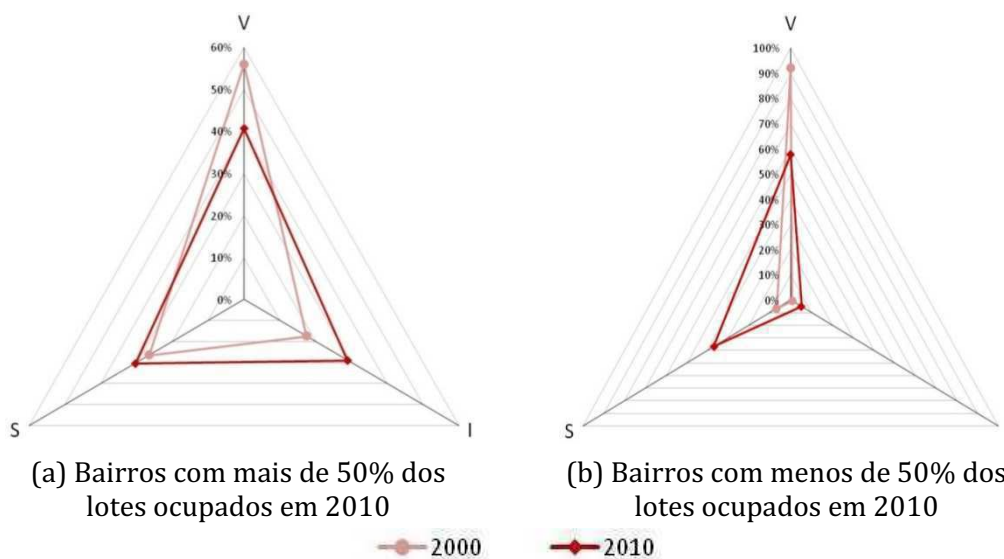
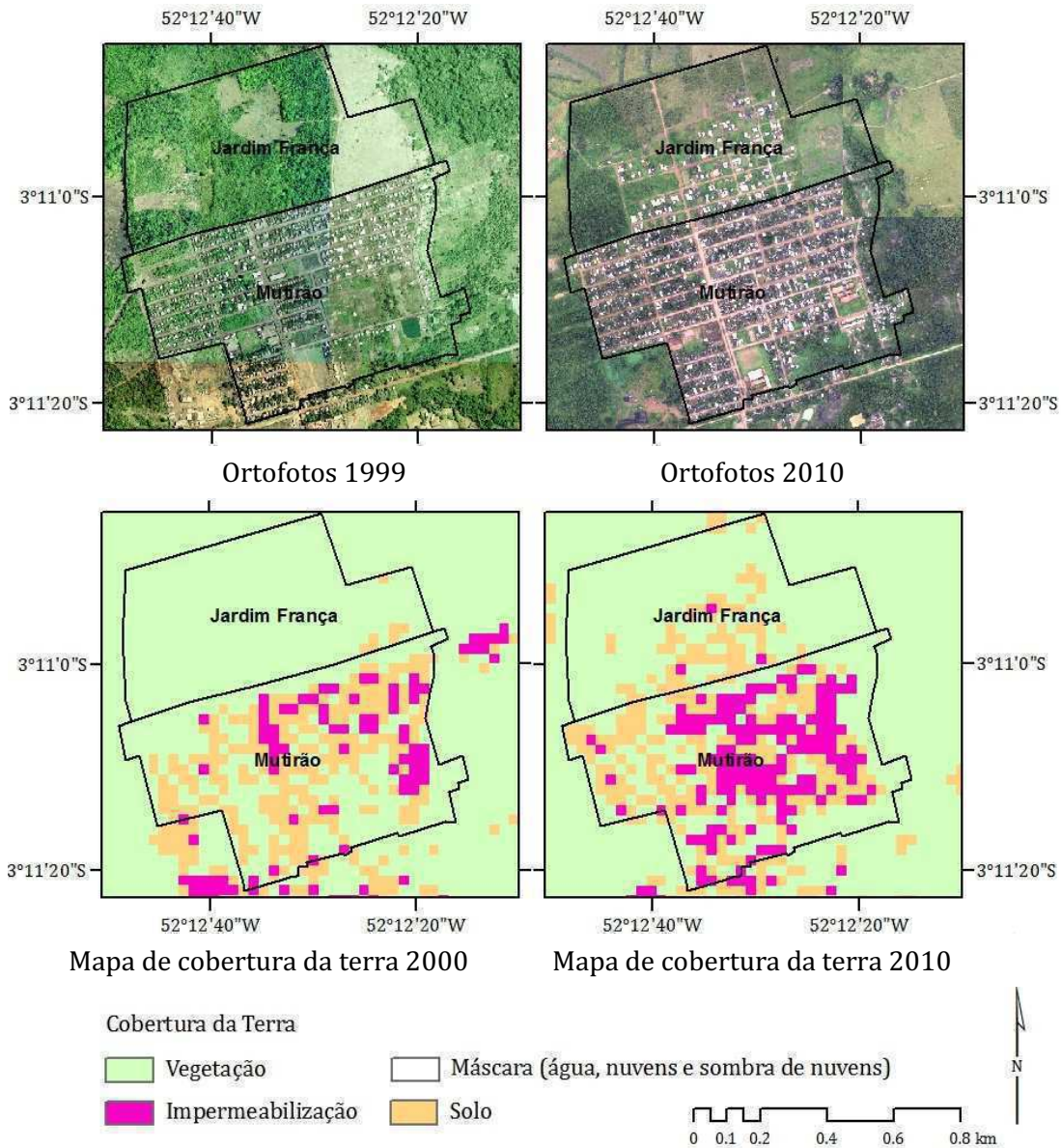


Figura 4.28 – Diagrama triaxial da composição V-I-S (V – Vegetação, I – Impermeabilização, S – Solo) da evolução 2000-2010 dos bairros (a) com mais de 50% dos lotes ocupados e (b) com menos de 50% dos lotes ocupados.

Nas áreas dos bairros com mais de 50% dos lotes ocupados, observou-se entre 2000 e 2010 o aumento da impermeabilização (de 18% para 29%) e a diminuição da componente vegetação (de 56% para 41%), enquanto o percentual de solo apresentou menor variação (de 26% para 31%). A modificação da composição V-I-S refletiu tanto o surgimento de novos bairros como o adensamento das construções em bairros já implantados (Fig. 4.29).

De acordo com a composição de V-I-S, confirmada pelos dados de campo e imagens de alta resolução, os bairros com menos de 50% dos lotes ocupados em 2010 são bairros novos (Fig. 4.29). Em 2000, mais de 90% da área desses bairros era coberta por vegetação e o restante era solo. Em 2010, o percentual de vegetação diminuiu para 58%, o de solo aumentou para 37% e a impermeabilização alcançou 5%.



O bairro Jardim França surgiu no período 2000-2010. No bairro Mutirão, entre 2000 e 2010, observou-se o aumento de lotes ocupados com edificações e o asfaltamento de algumas vias.

Figura 4.29 – Detalhe dos bairros Jardim França e Mutirão nas ortofotos (a) de 1999 e (b) de 2010 e nos mapas de cobertura da terra (c) de 2000 e (d) de 2010.

Os diagramas triaxiais de V-I-S também podem ser utilizados para caracterizar a composição da área urbana. Nesse caso, os bairros de Altamira foram delimitados conforme sua ocupação em cada data (Fig. 4.30).

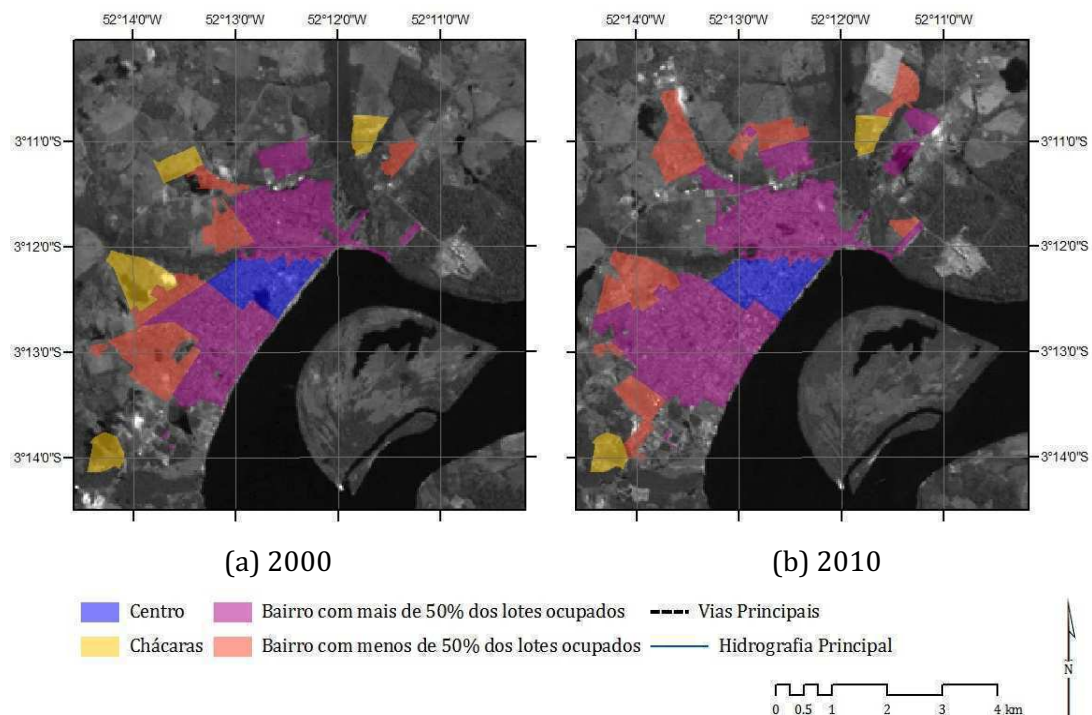


Figura 4.30 – Bairros de Altamira segundo a ocupação (a) em 2000 e (b) em 2010.

As composições dos bairros de Altamira foram semelhantes em 2000 e 2010 (Figura 4.31). Nas duas datas, o centro foi caracterizado pelo alto percentual de impermeabilização (cerca de 70%), e o menor percentual de vegetação e solo. Os bairros que tanto em 2000 como em 2010 se encontravam com mais de 50% dos lotes ocupados apresentaram composição mais equilibrada entre os três componentes, com a participação ligeiramente maior da vegetação. Nos bairros onde os lotes ocupados perfaziam menos de 50% em 2000 e em 2010, a vegetação foi predominante (entre 60 e 70%), seguida do solo (entre 30 e 40%), e com participação bastante reduzida, da impermeabilização (apenas 5%). Os bairros onde predominam as chácaras diferiram dos bairros com menos de 50% dos lotes ocupados pelo percentual superior de vegetação (entre 80 e 90%) e inferior de solo (entre 10 e 15%), com proporção de impermeabilização também baixa.

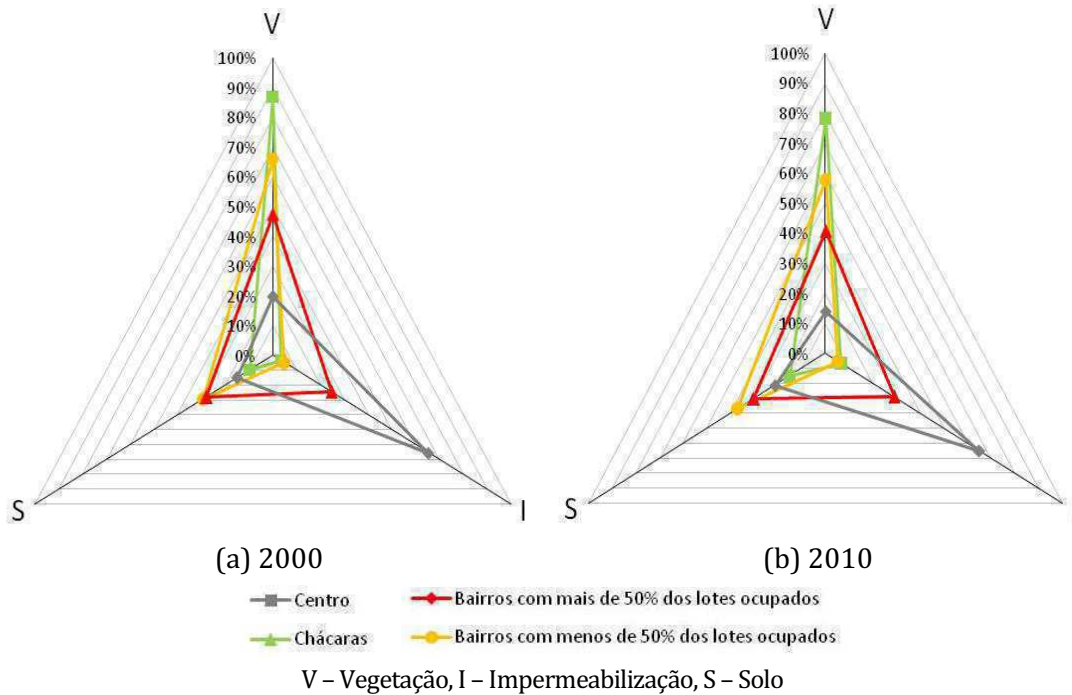


Figura 4.31 – Diagramas triaxiais da composição V-I-S dos bairros de Altamira (a) em 2000 e (b) em 2010.

Para analisar a estruturação da cidade e entender a direção preferencial do crescimento urbano, recorreu-se ao modelo de setores de círculos, proposto inicialmente por Hoyt (1959) e apropriado por Villaça (2001) para sintetizar a estrutura das metrópoles brasileiras. Com a simplificação das formas ou da predominância das atividades, essa síntese reduziu o espaço urbano a seus elementos fundamentais de estruturação (bairros de alta renda, vias regionais e atrativos do sítio) e elementos secundários (centro principal, subcentro de comércio e serviços e demais bairros residenciais).

Dessa maneira, o método proposto por Villaça (2001) propiciou a leitura da estrutura de Altamira, atribuindo às vias BR-230 (Rodovia Transamazônica), PA-150, Rodovia Magalhães Barata, Rodovia Ernesto Aciolly e Av. Tancredo Neves o papel de vias principais que promovem a acessibilidade regional à cidade e, em última instância, ao centro. No centro da cidade, localiza-se a maior

concentração de comércio e serviços, instituições, como Prefeitura e Câmara dos Vereadores, e marcos históricos como a praça da Igreja da Matriz. Villaça (2001) alerta para o fato de que não é a presença dessas atividades que define a localização do centro. A localização “centro” é uma construção simbólica e uma localização que minimiza os deslocamentos de uma determinada classe social (a de renda alta). O deslocamento dessa classe social pode induzir o deslocamento do centro para outra localização, atraindo consigo instituições e atividades.

Neste estudo, o rio Xingu foi entendido como um atrativo natural na cidade, sendo apropriado, em parte, pela camada de mais alta renda, no setor que vai do centro para o sudoeste. Embora existam outros bairros em Altamira onde se verificou a presença da classe de alta renda, no setor centro-sudoeste existe uma concentração maior de residências e serviços (como restaurantes ou o Xingu Praia Clube) voltados para essa camada da sociedade. No sentido centro para o leste, o rio Xingu é historicamente ocupado pelas residências e comércio da população ligada à pesca. Na direção centro-noroeste, formou-se um subcentro comercial, de caráter popular. As indústrias aparecem junto aos demais elementos da estrutura urbana de Altamira nos diagramas-síntese de 2000 e 2010 (Fig. 4.32), como indicadores de diferenciação entre as vias de ligação regional. Segundo Villaça (2001), as indústrias se localizam não de acordo com lógicas urbanas, mas sim ao longo das vias que estabelecem as ligações regionais mais importantes.

Pela margem do rio Xingu, na direção leste, a ocupação urbana é limitada pela área do 51º Batalhão de Infantaria da Selva, que compreende além das instalações administrativas e as vilas residenciais, uma área de florestas primária e secundária, utilizada para exercícios militares.

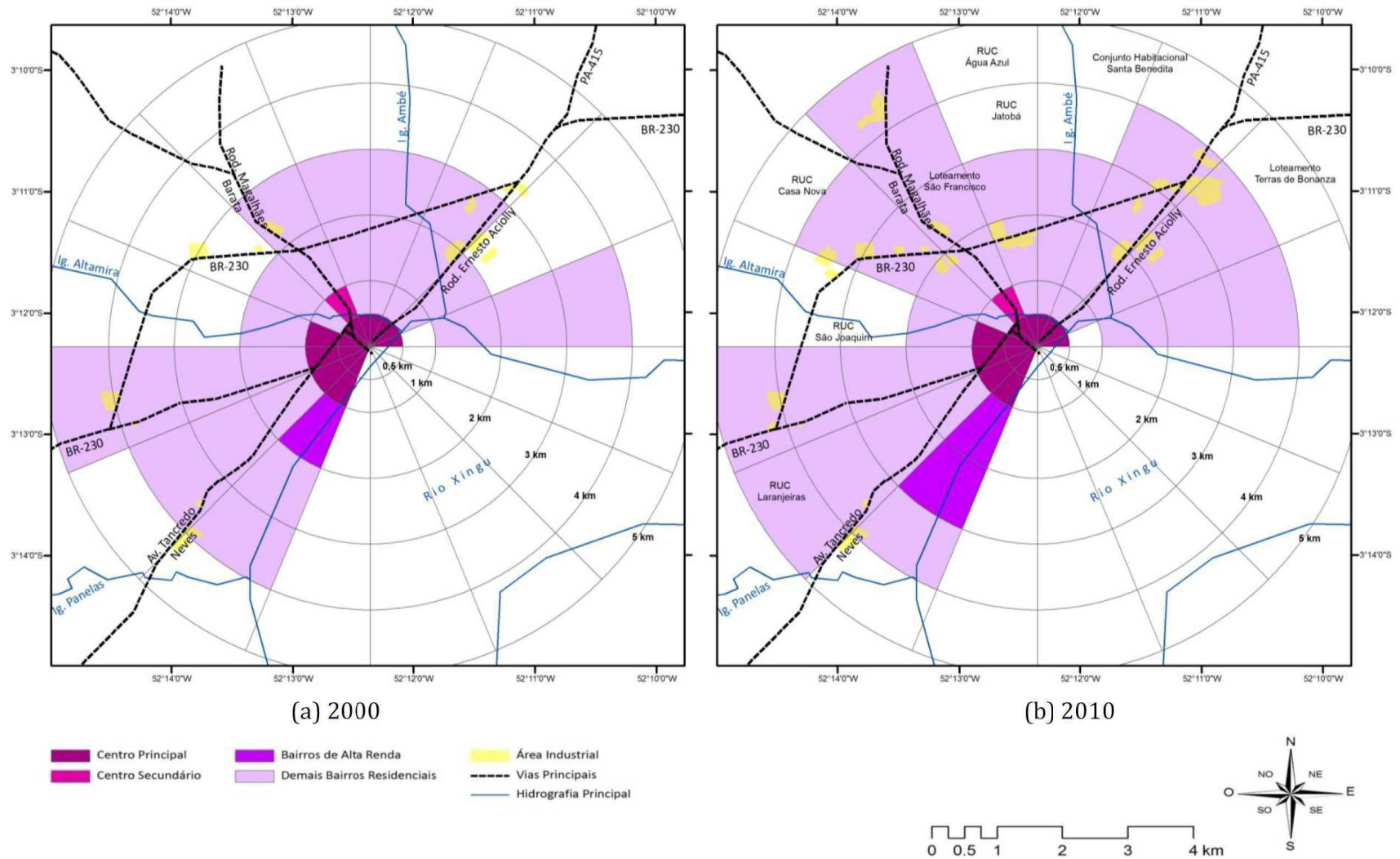


Figura 4.32 – Estrutura urbana de Altamira (a) em 2000 e (b) em 2010, segundo modelo teórico de Hoyt (1959) e Villaça (2001).

Entre 2000 e 2010, a estrutura urbana de Altamira, entendida como os elementos fundamentais que condicionam a localização das atividades na cidade, pareceu haver-se alterado pouco. Constatou-se a expansão dos bairros que concentram a população de alta renda no sentido sudoeste, ao longo da orla do rio Xingu (bairros Esplanada do Xingu, Premem, Jardim dos Estados, Jardim Independente I e II). Essa expansão caracterizou-se pela construção de novas residências em lotes vazios de bairros já abertos e pela abertura de novos condomínios (Fig. 4.33), que poderá desencadear um processo de deslocamento do centro da cidade para esse vetor, de forma semelhante ao descrito por Villaça (2001).



Entrada do condomínio fechado em construção nas proximidades do Xingu Praia Clube (foto de agosto de 2013).



Residências de alto padrão (foto de agosto de 2013).

Figura 4.33 – Fotos da ocupação de alto padrão no setor sudoeste.

De fato, observou-se a instalação de órgãos públicos na avenida Brigadeiro Eduardo Gomes (Hospital Regional, campus da UFPA, Fórum, Promotoria de Justiça, entre outras), via principal da área do antigo aeroporto, que apesar de ser contígua ao centro da cidade, está sendo ocupada de maneira muito lenta (Fig. 4.34).



Vista de trecho da avenida Brigadeiro Eduardo Gomes. A placa à esquerda da foto indica a área onde está sendo construída a sede da Promotoria de Justiça de Altamira (foto de agosto de 2013).



Entrada do Hospital Regional (foto de agosto de 2013).

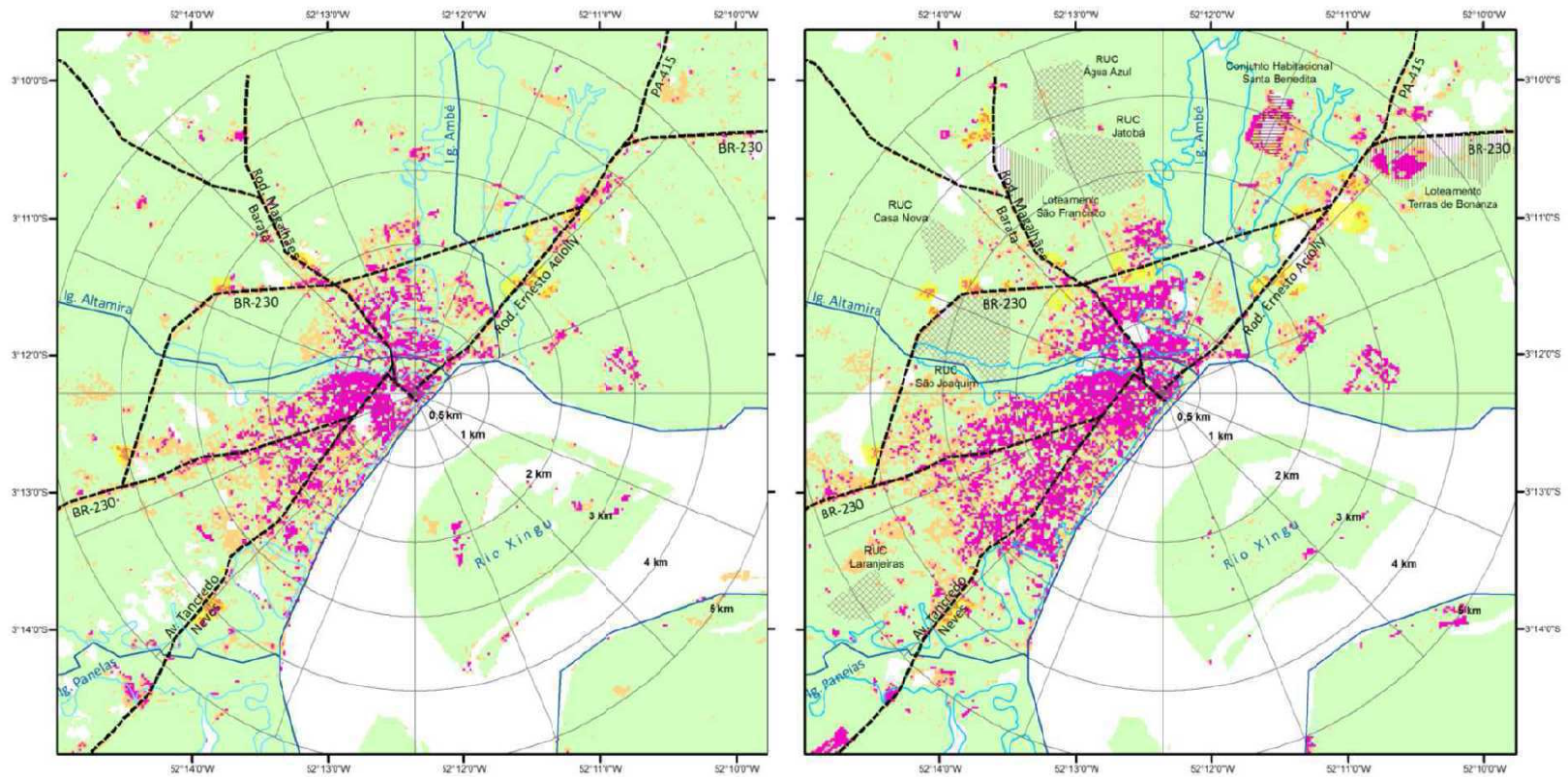


Fundação Hemopa do estado do Pará (foto de agosto de 2013).

Figura 4.34 – Fotos da ocupação da avenida Brigadeiro Eduardo Gomes.

De resto, as mudanças constatadas em Altamira entre 2000 e 2010 foram reflexo apenas da expansão da cidade, condicionada, em parte, pelos elementos estruturais, notadamente as vias principais de acesso. Entre 2000 e 2010, o crescimento da mancha urbana ocorreu mais fortemente nos setores sudoeste, acompanhando a BR-230 (rodovia Transamazônica) e a avenida Tancredo Neves (que liga a cidade ao aeroporto), e noroeste, pela rodovia Magalhães Barata, com a ocupação dos dois lados do trecho da BR-230 nesse setor (Fig. 4.35). Com menor intensidade, a cidade cresceu também no setor nordeste, pelas rodovias Ernesto Aciolly e BR-230.

Nas áreas alagadiças ao longo das margens dos igarapés Ambé, Altamira e Panelas, que serão afetadas pelo reservatório da UHE Belo Monte e pelo estabelecimento da sua área de segurança (áreas abaixo da cota 100m), constatou-se o aumento da ocupação entre 2000 e 2010, em especial na área do igarapé Altamira (Fig. 4.35), que pode ser reflexo da instalação da UHE. Nesse sentido, a população fixaria moradia nesses locais, buscando os benefícios das políticas compensatórias e/ou indenizatórias promovidas pelo empreendedor da obra.



(a) 2000

(b) 2010

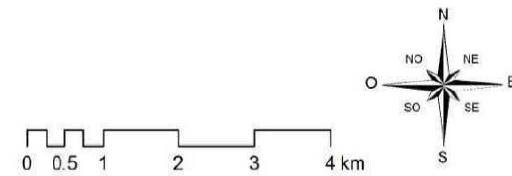
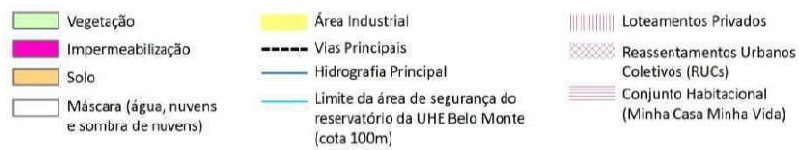


Figura 4.35 – Mapa da cobertura da terra e estrutura urbana de Altamira (a) em 2000 e (b) em 2010. (2001).

Essas são áreas que, por serem alagadiças e constituírem área de proteção permanente, não são aptas à urbanização, sendo enquadradas nas proibições das leis federal (BRASIL, Lei nº 6.766/79) e municipal (PREFEITURA MUNICIPAL DE ALTAMIRA, Lei nº 1.518/2003), que tratam do parcelamento do solo urbano. Até que sejam feitas obras para assegurar o escoamento das águas, essas seriam áreas de descontinuidade da ocupação urbana de Altamira.

Os planos diretores de Altamira proíbem, de maneiras diferentes, a ocupação dessas áreas, seja explicitamente, como no plano aprovado em 1997 (PREFEITURA MUNICIPAL DE ALTAMIRA, Lei nº 1.406/1997), que estabelece que não são passíveis de urbanização e regularização fundiária as ocupações localizadas em áreas públicas de interesse comum, elencando entre essas os leitos de cursos d'água e igarapés, seja destinando essas áreas a usos ambientais, como, por exemplo, no plano de 2003 (PREFEITURA MUNICIPAL DE ALTAMIRA, Lei nº 1.515/2003), que as definiu como Zonas de Interesse Paisagístico (ZIP), na qual se pretende incentivar o uso do solo de interesse ambiental, para a constituição de unidades de conservação, com atividades destinadas à pesquisa científica, turismo monitorado, parques ecológicos, e/ou arqueológicos, ao manejo sustentável, à recuperação e ao reflorestamento das áreas degradadas. O plano diretor aprovado em 2011 (PREFEITURA MUNICIPAL DE ALTAMIRA, Lei nº 2.178/2011), nas áreas dos igarapés, reiterou o zoneamento instituído em 2003. Adicionalmente, estabelece que, no caso das Zonas Especiais de Interesse Social (ZEIS), não é permitida a permanência de edificações em áreas que apresentem risco à saúde e à vida, incluindo-se os terrenos alagadiços e sujeitos à inundação. O plano diretor, entretanto, não define nenhuma ZEIS.

Contudo, a despeito da legislação, a população de baixa renda ocupa de maneira ilegal e precária os alagadiços e as margens dos igarapés, sobretudo Ambé e Altamira. As moradias são de madeira, a circulação é feita por pontes de madeira (“estivas”) e não há infraestrutura de saneamento (Figs. 4.36 a 4.38).



Casas construídas em área periodicamente alagada ao longo do igarapé Ambé. Nota-se que o piso das casas é elevado em relação à via de acesso, que é transitável na época de seca (foto de agosto de 2013).



Casas construídas sobre o igarapé Ambé. O acesso é feito pelas “estivas” (foto de janeiro de 2012).

Figura 4.36 – Fotos da ocupação do igarapé Ambé.



Ocupação na margem do igarapé Altamira. O próprio igarapé é utilizado como via de acesso às moradias (foto de janeiro de 2012).



Ocupação em área periodicamente alagada pelo igarapé Altamira (foto de agosto de 2013).



Ocupação em áreas periodicamente alagadas pelo igarapé Altamira (foto de fevereiro de 2012).

Figura 4.37 – Fotos da ocupação do igarapé Altamira.



Ocupação em área periodicamente alagada pelo igarapé Ambé (foto de agosto de 2013).

Figura 4.38 – Fotos da ocupação do igarapé Panelas.

No mapa de cobertura da terra de 2010, é possível observar duas áreas no setor noroeste que foram mapeadas como solo e impermeabilização (Fig. 4.39). A resposta da imagem do satélite Landsat sugere tratar-se de áreas de solo exposto, enquanto que as ortofotos, com alguma defasagem temporal em relação à imagem de satélite, mostram áreas de vegetação rasteira. Com os dados de campo, essas áreas foram identificadas como o conjunto habitacional Santa Benedita, inaugurado em 2012, e o loteamento Terras de Bonanza, que iniciou as obras de infraestrutura também em 2012.

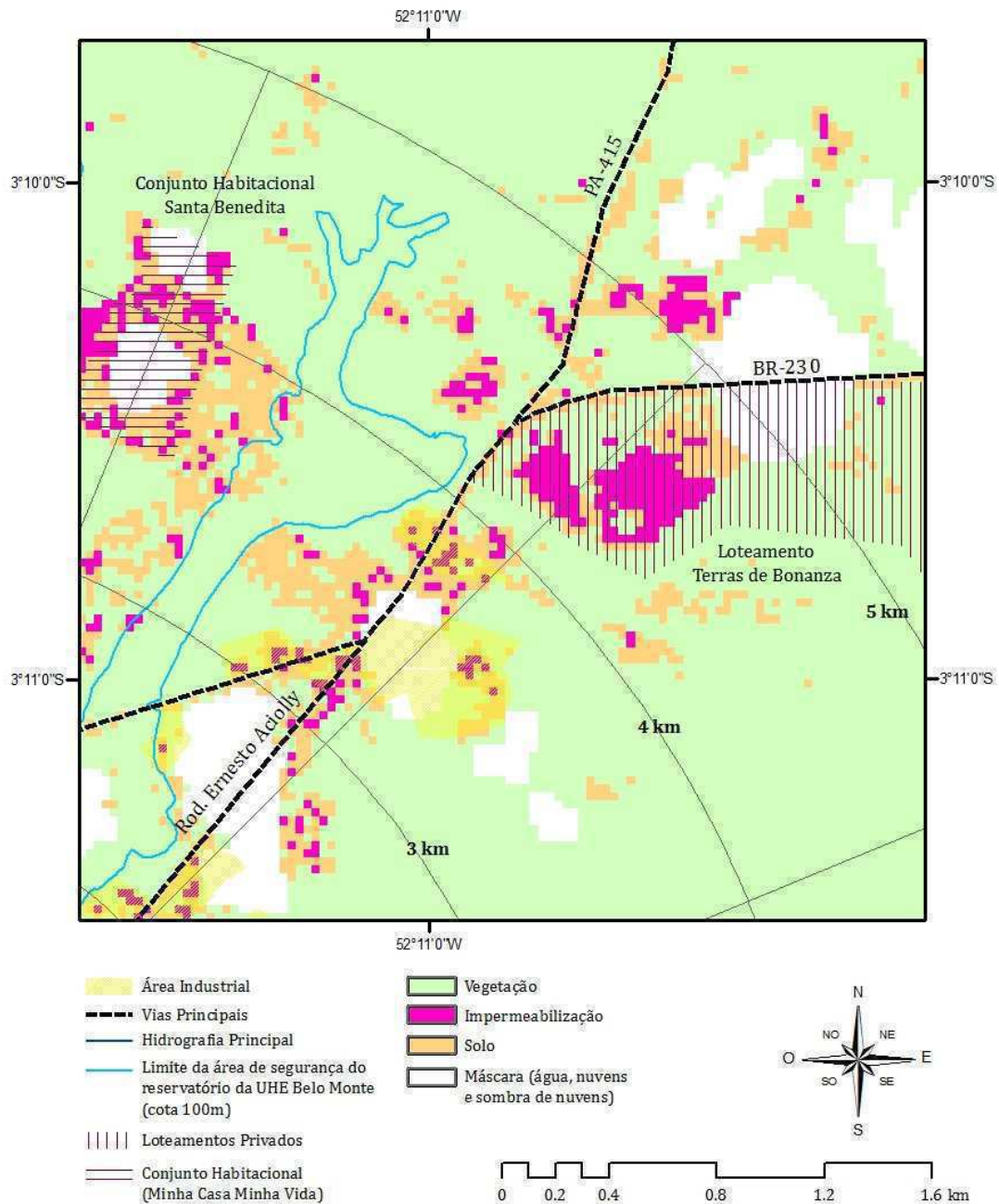


Figura 4.39 – Detalhe do mapa de cobertura da terra e estrutura urbana de Altamira em 2010.

O conjunto habitacional Santa Benedita foi construído com recursos do programa federal Minha Casa Minha Vida, que possui limites máximos para o

custo de produção/aquisição de unidades habitacionais. Para não ultrapassar esse limite, a literatura registra que produtores de habitações do Programa Minha Casa Minha Vida, especialmente aquelas destinadas às famílias com renda até três salários mínimos, comumente adotam como estratégias a redução do custo de construção e/ou a redução do preço da terra, o que tem resultado em conjuntos habitacionais de grande escala, de elementos construtivos padronizados e de localização distante das vias de acesso aos centros de empregos e serviços (MARQUES; RODRIGUES, 2013; CARDOSO; LAGO, 2013). As famílias desse segmento de renda, que não têm alternativas para a aquisição de moradia, arcam com os custos e os tempos maiores de transporte no trajeto casa-trabalho-casa e têm dificuldade no acesso aos serviços e equipamentos básicos. O poder público local, por sua vez, sente a pressão pelo aumento na demanda por investimentos no setor de transporte público, ampliação das redes de abastecimento de água, esgotamento sanitário e rede viária e, em muitos casos, também pela necessidade de implantação de equipamentos de educação e saúde (CARDOSO et al., 2011).

O conjunto habitacional Santa Benedita, com cerca de 1.000 lotes em área de 30 ha e distante 1 km da rodovia Transamazônica (BR-230), via mais próxima de acesso ao centro, é exemplo desse modelo de urbanização (Fig. 4.40). O fato de estar próximo de área que será afetada pela UHE Belo Monte tem contribuído para a melhoria das condições de vida nesse conjunto, na medida em que ele se beneficia dos investimentos em infraestrutura que estão sendo realizados pelo empreendedor da obra. Em 2013, a via de ligação com a rodovia Transamazônica já estava asfaltada e foi construída uma Unidade Básica de Saúde no bairro contíguo, Nova Altamira (Fig. 4.40).



Vista das residências do conjunto habitacional Santa Benedita, em janeiro de 2012, antes de serem ocupadas pelos beneficiários do programa.



Conjunto habitacional Santa Benedita visto a partir da rodovia BR-230, em janeiro de 2012. Na visita de campo de agosto de 2013 a via de ligação que aparece na foto já havia sido pavimentada.



Posto de saúde construído pela NorteEnergia no bairro contíguo ao conjunto habitacional Santa Benedita (foto de agosto de 2013).

Figura 4.40 – Fotos do conjunto habitacional Santa Benedita.

Já o loteamento Terras de Bonanza, com a previsão de cerca de 1.100 novos lotes em uma área de 100 ha, é promovido pela iniciativa privada, assim como outros loteamentos em Altamira. Nos trabalhos de campo de 2013, foram identificados três grandes loteamentos em fase de lançamento, todos em vetores de crescimento ligados às vias principais de acesso (Figs. 4.35 e 4.41). O maior deles, o Residencial Cidade Jardim, está previsto para ser construído em

cinco etapas, somando ao todo 20 mil novos lotes, em uma área de 400 ha, distante 6 km do centro da cidade pela Rodovia Transamazônica, sentido Brasil Novo (sudoeste). Em 2013, as etapas 1 a 3 já estavam sendo abertas e comercializadas (cerca de 2,5 mil lotes em 82,5 ha). No sentido noroeste, na Rodovia Magalhães Barata, está o loteamento São Francisco, com 710 novos lotes em uma área de 38 ha. Esses três empreendimentos privados somam 4,3 mil lotes já lançados em 220 ha de novas áreas urbanizadas.



Vista do loteamento Residencial Cidade Jardim (foto de agosto de 2013).



Loteamento Terras de Bonanza (foto de agosto de 2013).



Loteamento São Francisco (foto de agosto de 2013).

Figura 4.41 – Fotos de loteamentos privados em lançamento em 2013.

Com uma lógica de localização diferente dos empreendimentos privados e também de conjuntos habitacionais, como o Santa Benedita, estão os Reassentamentos Urbanos Coletivos (RUCs) que serão promovidos pelo empreendedor de Belo Monte para receber as cerca de 4.000 famílias que vivem em áreas que serão afetadas pelo reservatório e sua cota de segurança. O projeto urbanístico desses loteamentos prevê ao todo 4.100 lotes, distribuídos em cinco RUCs: 1.286 lotes no RUC São Joaquim (área de 88 ha), 1.041 lotes no RUC Jatobá (área de 93 ha), 453 lotes no RUC Casa Nova (39 ha), 775 lotes no

RUC Água Azul (55 ha) e 545 lotes no RUC Laranjeiras (42 ha) (NORTE ENERGIA, 2014). Em 2013, já havia sido iniciada a construção dos RUCs São Joaquim e Jatobá (Fig. 4.42).

Assim, os impactos diretos da UHE Belo Monte deverão resultar em 316 ha de novas áreas urbanizadas em Altamira. O Plano Básico Ambiental (PBA) recomendou que a escolha das áreas privilegiasse os vazios urbanos e áreas de expansão definidas no Plano Diretor, possuísse acessibilidade e proximidade a equipamentos sociais e estivesse a uma distância máxima de 2 km dos locais de origem da população a ser reassentada (NORTE ENERGIA, 2011). Além disso, os novos loteamentos devem obedecer às condicionantes ambientais (existência de cobertura vegetal e área de preservação permanente junto aos corpos d'água, declividade máxima e características geomorfopedológicas) e às condicionantes urbanísticas (no loteamento e na construção das moradias), devendo também prover infraestrutura completa (pavimentação das vias, drenagem, iluminação pública, abastecimento de água e esgotamento sanitário). Das recomendações feitas no PBA, já é possível constatar que a restrição de distância não foi atendida por todas as áreas adquiridas para a implantação dos RUCs. Entretanto, o órgão ambiental aceitou a argumentação do empreendedor e anuiu a construção dos RUCs.



Local das obras do RUC São Joaquim (agosto de 2013).



Local das obras do RUC Jatobá (agosto de 2013).



Vista da fachada e do interior das casas modelo construídas para a visita dos futuros moradores no RUC Jatobá.

Figura 4.42 – Fotos dos RUCs São Joaquim e Jatobá (NORTEENERGIA, 2013).

Nas áreas que serão desocupadas nos igarapés Ambé, Altamira e Panelas, o PBA prevê a implantação de parques ao longo dos braços do reservatório e nas áreas definidas como de segurança. O uso atual dessas áreas, predominantemente residencial de baixa renda, será alterado com a criação de parques. O parque do igarapé Altamira será mais central e de menor área; já os parques dos igarapés

Ambé e Panelas serão maiores e estarão situados nos limites nordeste e sudoeste da mancha urbana (Fig. 4.43). A localização e a extensão dessas intervenções sugerem formas diferenciadas de apropriação das novas áreas de lazer e contemplação e podem ensejar alterações na dinâmica de expansão da cidade.

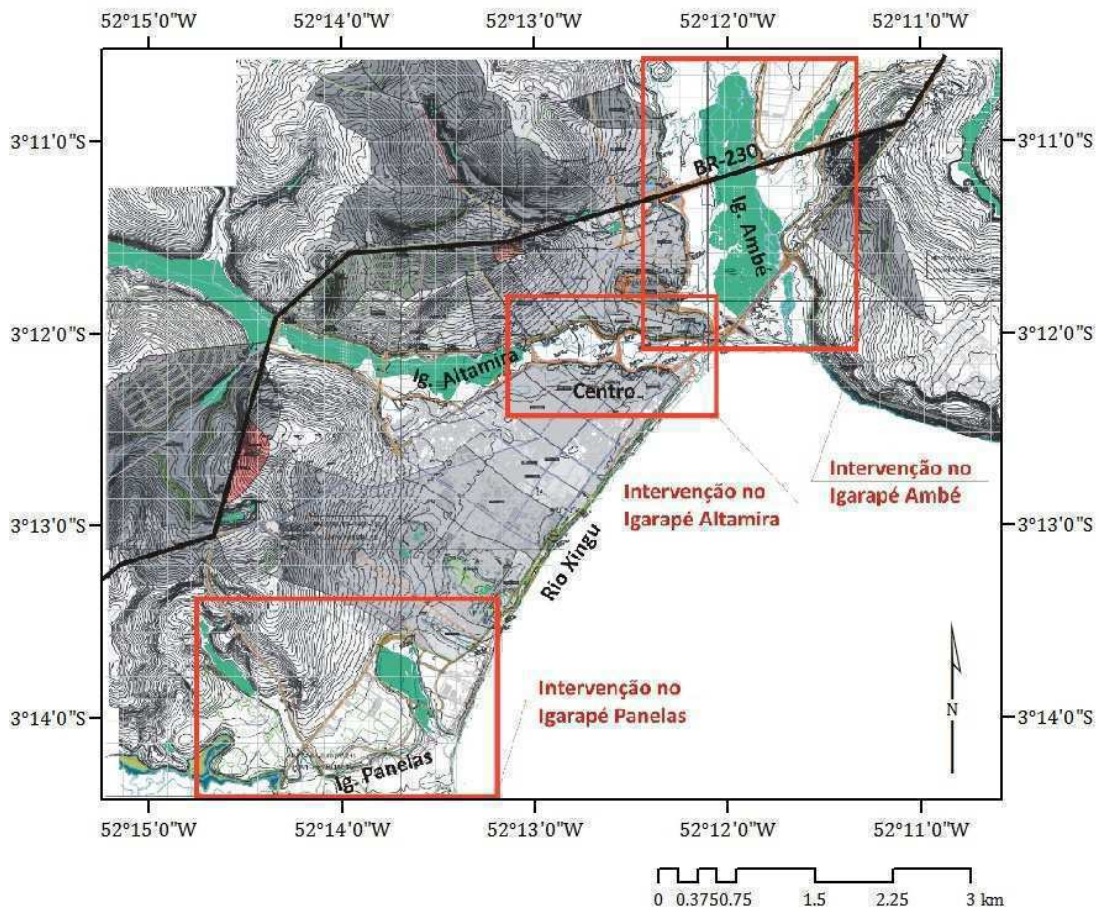


Figura 4.43 – Localização das intervenções nos igarapés Ambé, Altamira e Panelas.

Fonte: Adaptada de NORTEENERGIA, 2013.

5 CONCLUSÕES

Neste trabalho, foi apresentado um método simplificado para elaborar os mapas de cobertura da terra da cidade de Altamira em 2000 e 2010, a partir de imagens-fração estimadas com o modelo linear de mistura espectral aplicado em imagens de média resolução do sensor TM. Os mapas de cobertura da terra foram tomados em conjunto com a interpretação de ortofotos e dados levantados em campo e em bibliografia para caracterizar a expansão da cidade de Altamira entre 2000 e 2010 e analisar os fatores que a condicionam.

Foram estimados 44 modelos, com variações nos *endmembers* e nos pixels de amostras para cada *endmember*. O modelo compreendendo seis *endmembers* – solo de área de extração, vegetação de área florestada, telha de fibrocimento (escura), telha metálica (clara), asfalto e água – foi o que apresentou os melhores resultados segundo avaliação efetuada, que considerou a raiz quadrada do erro médio quadrático da imagem-erro, o contexto das imagens-fração e o índice *Kappa* calculado a partir da matriz de confusão do mapa de cobertura da terra. Os mapas de cobertura da terra de 2000 e 2010 foram obtidos a partir do mapeamento das imagens-fração resultantes do MLME nas classes Vegetação, Impermeabilização e Solo, propostas no modelo V-I-S (RIDD, 1995). O critério aplicado foi o de atribuir a classe de acordo com o pixel de maior valor dentre as imagens-fração.

Áreas de solo apresentaram confusão tanto com áreas impermeabilizadas como com áreas de vegetação, conforme reportado em trabalhos anteriores (LU; WENG, 2004; POWELL et al., 2007; KUCK, 2010). Áreas de solo exposto preparadas para a urbanização foram, por vezes, mapeadas como impermeabilizadas. A confusão entre alvos de resposta espectral semelhante é um limite para a aplicação do MLME, conclusão também de WENG (2012). Isso é particularmente importante na utilização de imagens do sensor TM, de

resolução espectral relativamente grosseira nas regiões do visível e do infravermelho (HEROLD et al., 2004).

Os mapas de cobertura da terra de 2000 e 2010 apresentaram exatidão global superior a 85%, podendo ser considerados satisfatórios conforme critérios sugeridos por Foody (2002). Os valores de *Kappa* indicam que os mapas apresentam concordância substancial com a referência, de acordo com a classificação proposta por Landis e Koch (1977). Para um nível de significância de 5%, o teste Z mostra que ambos os mapas são melhores que uma classificação casual.

Melhores índices de concordância no mapeamento de áreas impermeabilizadas foram obtidos com outras abordagens, como as que utilizam múltiplos *endmembers* (POWELL et al., 2007; POWELL; ROBERTS, 2010; KUCK, 2011), ou como as que requerem dados auxiliares, tais como a regressão entre as frações do MLME com dados de imagens de alta resolução (LU et al., 2011a) ou a fusão com dados de radar (LU et al., 2011b). Outra possibilidade é a adoção de uma escala de menor detalhe, que pode contribuir para minimizar os erros de registro, a influência do sinal de pixels vizinhos e a variância dos dados. Neste trabalho, a análise visual foi feita pela resolução dos pixels da imagem (30m) e a validação, pelo conjunto de 3x3 pixels (90m). Powell et al. (2007) sugerem que a escala adequada de análise seria de 9x9 pixels (270m) e afirmam que a perda de heterogeneidade e especificidade não comprometeria a análise da cidade na escala de bairros.

O solo é um componente crucial para a caracterização de cidades que apresentam um acentuado processo de crescimento ou cidades pouco consolidadas. No primeiro caso, trata-se da existência de muitas áreas de solo exposto preparadas para a urbanização ou construção. No segundo caso, o solo aparece em vias não pavimentadas e em áreas públicas e privadas sem

tratamento paisagístico ou pavimentação. Ambas as descrições são válidas para Altamira.

Na composição V-I-S dos bairros em Altamira, tanto em 2000 como em 2010, aqueles com mais de 50% dos lotes ocupados apresentaram, na média, a mesma proporção de solo, impermeabilização e vegetação. Os bairros com menos de 50% dos lotes ocupados apresentaram menor participação da impermeabilização e maior participação de vegetação. Nas áreas de chácaras, a participação da impermeabilização foi semelhante à dos bairros com menos de 50% dos lotes ocupados, porém com maior proporção de vegetação e menor proporção de solo. Nos bairros na área central, predominou a impermeabilização, com a participação equilibrada entre solo e vegetação. Nas áreas rurais, há o predomínio da vegetação. De maneira geral, a intensificação da ocupação urbana ocorre com a forte diminuição de áreas verdes em favor de áreas de solo ou impermeabilizadas.

A análise da composição V-I-S poderia se beneficiar dos avanços na obtenção e disseminação de imagens de altíssima resolução espacial (menor que 4m), utilizadas para gerar mapas de cobertura da terra em áreas urbanas com maior detalhe espacial e/ou temático (BLASCHKE; KUX, 2005; ALMEIDA, 2010). Outro desdobramento possível seria o desenvolvimento de métodos para a agregação dos pixels em unidades territoriais homogêneas, para substituir a delimitação de bairros realizada a partir dos dados de campo e da interpretação das ortofotos.

O método de análise urbana proposto por Villaça (2001) estabelece determinadas relações entre os elementos urbanos, que puderam ser caracterizadas em Altamira: a expansão da cidade acompanhando os eixos de acessibilidade regional, a concentração da classe de alta renda em um setor da cidade, o sudoeste, ao longo da orla do rio Xingu, entendido como um atrativo natural da cidade, e a localização das indústrias nas vias regionais mais

importantes. Foram também identificados o centro principal e um subcentro de comércio e serviços populares como elementos secundários, além de um incipiente processo de deslocamento ou expansão do centro para o setor sudoeste.

Por outro lado, incidem em Altamira dinâmicas associadas à mitigação dos impactos da Usina Hidrelétrica de Belo Monte. A implantação de novos bairros (RUCs), com lógica própria de localização, e de parques nas margens dos igarapés Ambé, Altamira e Panelas, com a alteração da ocupação atual dessas áreas, deverão influenciar o desenvolvimento da cidade. A análise realizada se deteve na caracterização destes e de outros processos de ocupação urbana (a construção do conjunto habitacional Santa Benedita e a ocupação atual dos igarapés) sem a pretensão de estabelecer relações, que não as espaciais, com a estruturação da cidade.

Cumprir destacar que a teorização proposta por Villaça (2001) foi feita com base em cidades metropolitanas, portanto, mais complexas em termos da estratificação social, dos atores e interesses que interagem no espaço urbano e mesmo do espaço construído. A análise, com as limitações impostas pela metodologia e nível de profundidade do presente estudo, indicou que Altamira, como uma cidade amazônica de tamanho médio, apresenta uma estrutura como a descrita para as metrópoles, e que a expansão da cidade é, em parte, determinada por essa estrutura. No aprofundamento dos estudos, recomenda-se a extensão do período considerado, assim como a descrição mais pormenorizada da ocupação da cidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, J. B.; GILLESPIE, A. R. *Remote sensing of landscapes with spectral images a physical modeling approach*. Cambridge, England: Cambridge University, 2006.

ADAMS, J. B.; SABOL, D. E.; KAPOS, V.; FILHO, R. A.; ROBERTS, D. A.; SMITH, M. O.; GILLESPIE, A. R. Classification of multispectral images based on fractions of endmembers : application to land-cover change in the Brazilian Amazon. *Remote Sensing of Environment*, v. 52, p.137-154, 1995.

ALMEIDA, C. M. Aplicação dos Sistemas de Sensoriamento Remoto por Imagens e o Planejamento Urbano e Regional. *Revista Eletrônica de Arquitetura e Urbanismo (USJT)*, v. 3, p. 98-123, 2010.

ANDERSON, J. R.; HARDY, E. E.; ROACH, J. T.; WITMER, R. E. *A land use and land cover classification scheme for use with remote sensor data*. U.S. Geological Survey (Professional Paper 964), 1976.

BECKER, B. Fronteira e urbanização repensadas. *Revista Brasileira de Geografia*, v. 47, nº 3/4, p.315-426, 1985.

_____. *Amazônia*. São Paulo: Ática, 1990.

BLASCHKE, T.; KUX, H. *Sensoriamento Remoto e SIG avançados - novos sistemas sensores, métodos inovadores*. São Paulo, SP: Oficina de Textos Ltda, 1ª edição, 2005.

BONDUKI, N.; ROLNIK, R. Periferia da Grande São Paulo: reprodução do espaço como expediente de reprodução da força de trabalho. In: Ermínia Maricato. (Org.). *A produção capitalista da casa (e da cidade) no Brasil industrial*. São Paulo: Alfa-Ômega, 1ª edição, 1979.

BRASIL. *Decreto-lei 1.106/1970*. Cria o Programa de Integração Nacional.

_____. *Lei Federal 6.766/1979*. Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano.

BURGESS, E. W. The growth of the city: an introduction to a research project. In: PARK, R. E.; BURGESS, E. W.; MCKENZIE, R. D. *The city*. London/Chicago: The Chicago University Press, 1968.

CARDOSO, A. L.; LAGO, L. C. O programa minha casa minha vida e seus efeitos territoriais. In: CARDOSO, A. L. (org.). *O programa minha casa minha vida e seus efeitos territoriais*. Rio de Janeiro: Letra Capital, 2013.

CARDOSO, A. L.; ARAGÃO, T.; ARAUJO, F. S. Habitação de interesse social: política ou mercado? Reflexos sobre a construção do espaço metropolitano. In: ENCONTRO NACIONAL DA ANPUR, 14., 2011, Rio de Janeiro. Anais do XIV Encontro Nacional da ANPUR. Rio de Janeiro : ANPUR/UFRJ/UFF, 2011.

CASTELLS, M. *La cuestión urbana*. México: Siglo Veintiuno, 1978.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 41, nº 11, p.2674–2677, 2003.

CONGALTON, R. G. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, v. 37, p.35–46, 1991.

CUELLAR, M. Z. *Manual do Usuário da DGI*. Versão 1.08H. Cachoeira Paulista: DGI/INPE, 2003. Disponível em <<http://www.dgi.inpe.br/FTP-pub/docs/ManUsu.pdf>>. Acesso em jun-2013.

DAVIDOVICH, F. R. Considerações sobre a urbanização no Brasil. In: Becker, B. *Geografia e meio ambiente no Brasil*. São Paulo: HUCITEC, 1995.

DENNISON, P.E.; HALLIGAN, K. Q.; ROBERTS, D. A. A comparison of error metrics and constraints for multiple endmember spectral mixture analysis and

spectral angle mapper. *Remote Sensing of Environment*, v. 93, nº 3, p.359–367, 2004.

FOODY, G. M. Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment*, v. 80, nº 1, p.185-201, 2002.

GILLESPIE A.R.; SMITH M. O.; ADAMS, J. B.; WILLIS, S. C.; FISCHER, A. F.; SABOL, D. E. Interpretation of residual images: spectral mixture analysis of AVIRIS images. In: ANUAL JPL AIRBORNE VISIBLE/ INFRARED IMAGING SPECTROMETER (AVIRIS), 2., Pasadena. *Proceedings...* Pasadena: NASA, Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, 1990. p.243–290.

HEROLD, M.; ROBERTS, D. A.; GARDNER, M. E.; DENNISON, P.E. Spectrometry for urban area remote sensing - Development and analysis of a spectral library from 350 to 2400 nm. *Remote Sensing of Environment*, v. 91, nº 3-4, p.304–319, 2004.

HEROLD, M.; SCHIEFER, S.; HOSTERT, P.; ROBERTS, D.A. Applying imaging spectrometry in urban areas. In: QUATTROCHI, D.; WENG, Q. (eds.) *Urban remote sensing*. Boca Raton, FL: Taylor and Francis, p.137-162, 2007.

HOYT, H. The pattern of movement of residential rental neighborhoods. In: MAYER, H. M.; KOHN, C. F. (eds.). *Readings in urban geography*. Chicago: The University of Chicago Press, 1959.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Sistema IBGE de recuperação automática*. Dados dos Censos Demográficos de 1970, 1980, 1991, 2000 e 2010. Disponível em <<http://www.sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em fev-2013.

_____. *Regiões de influência das cidades*, 2007. Rio de Janeiro, 2008.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Catálogo de Imagens. Disponível em <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acesso em jul-2012.

IPEA / IBGE / NESUR-UNICAMP. *Caracterização e tendências da rede urbana do Brasil: desenvolvimento regional e estruturação*. Campinas: Instituto de Economia, Unicamp, 2000.

ITT Visual Information Solutions. *ENVI tutorial*, 2008.

KOVARIK, L. *A espoliação urbana*. Paz e Terra, Rio de Janeiro, 1980.

KUCK, T. N. Análise da impermeabilização da área urbana de Manaus (1987-2006) com o uso do modelo de mistura espectral MESMA. 2010. 96 p. (sid.inpe.br/mtc-m19@80/2010/08.03.13.16-TDI). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2010. Disponível em <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3826LFS>>. Acesso em out-2012.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, v. 33, nº 1, p.159-174, 1977.

LEME ENGENHARIA LTDA. Aproveitamento Hidrelétrico (AHE) Belo Monte – Estudo de Impacto Ambiental (EIA), 2009. Disponível em <<http://licenciamento.ibama.gov.br/Hidreletricas/BeloMonte/EIA/>>. Acesso em out-2012.

LU, D.; WENG, Q. Spectral mixture analysis of the urban landscape in Indianapolis with Landsat ETM+ Imagery. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, v. 70, nº 9, p.1053–1062, 2004.

_____. Use of impervious surface in urban land-use classification. *Remote Sensing of Environment*, v. 102, nº 1-2, p.146-160, 2006.

LU, D.; MORAN, E.; HETRICK, S. Detection of impervious surface change with multitemporal Landsat images in an urban-rural frontier. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 66, nº 3, p.298-306, 2011a.

LU, D.; LI, G.; MORAN, E.; BATISTELLA, M.; FREITAS, C. C. Mapping impervious surfaces with the integrated use of Landsat Thematic Mapper and radar data: a case study in an urban–rural landscape in the Brazilian Amazon. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 66, nº 6, p.798-808, 2011b.

MACHADO, L. A. fronteira Agrícola na Amazônia. In: CHRISTOFOLETTI, A.; BECKER, B. K.; DADIDOVICH, F. R.; GEIGER, P.P. *Geografia e meio ambiente no Brasil*. São Paulo: Hucitec e Annablume, 3ª ed, 2002.

MADHAVAN, B. B.; KUBO, S.; KURISAKI, N.; SIVAKUMAR, T. V. L. N. Appraising the anatomy and spatial growth of the Bangkok Metropolitan area using a vegetation-impervious-soil model through remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, v. 22, nº 5, p.789–806, 2001.

MARICATO, E. *Metrópole na periferia do capitalismo*. São Paulo: Hucitec, 1ª edição, 1996.

_____. Metrópole, legislação e desigualdade. *Estudos Avançados*, v. 48, nº 17, p.151-167, 2003.

MARQUES, E.; BITAR, S. Espaço e grupos sociais na metrópole paulistana. *Novos Estudos*, nº 64, p.123-131, 2002.

MARQUES, E.; RODRIGUES, L. O programa minha casa minha vida na metrópole paulistana: atendimento habitacional e padrões de segregação. *Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais*, v. 15, 2013.

NORTE ENERGIA S.A. *Projeto básico ambiental da Usina Hidrelétrica Belo Monte (PBA)*. Brasília, 2011. Disponível em <http://licenciamento.ibama.gov.br/Hidretricas/BeloMonte/PBA/PBA'sapresentados/VersãoFinal/Setembro_2011versãofinal/>. Acesso em set-2012.

_____. *4º Relatório consolidado de andamento do PBA e do atendimento de condicionantes. UHE Belo Monte*. Brasília, 2013. Disponível em <<http://>

licenciamento.ibama.gov.br/Hidreletricas/Belo Monte/Relatorios Semestrais/>. Acesso em out-2013.

_____. *5º Relatório consolidado de andamento do PBA e do atendimento de condicionantes. UHE Belo Monte*. Brasília, 2014. Disponível em <<http://licenciamento.ibama.gov.br/Hidreletricas/Belo Monte/Relatorios Semestrais/>>. Acesso em mar-2014.

PHINN, S.; STANFORD, M.; SCARTH, P.; MURRAY, A. T.; SHYY, P.T. Monitoring the composition of urban environments based on the vegetation-impervious surface-soil (VIS) model by subpixel analysis techniques. *International Journal of Remote Sensing*, v. 23, nº 20, p.4131-4153, 2002.

POWELL, R.; ROBERTS, D.; DENNISON, P.; HESS, L. Sub-pixel mapping of urban land cover using multiple endmember spectral mixture analysis: Manaus, Brazil. *Remote Sensing of Environment*, v. 106, nº 2, p.253-267, 2007.

POWELL, R. L.; ROBERTS, D. A. Characterizing variability of the urban physical environment for a suite of cities in Rondônia, Brazil, *Earth Interactions Journal*, v. 12, nº 13, p.1-32, 2008.

_____. Characterizing urban land-cover change in Rondônia, Brazil: 1985 to 2000. *Journal of Latin American Geography*, v. 9, nº 3, p.183-211, 2010.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ALTAMIRA. *Lei Municipal 1.406/1997*. Dispõe sobre a revisão do Plano Diretor do Município de Altamira.

_____. *Lei Municipal 1.518/2003*. Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano.

_____. *Lei Municipal 1.515/2003*. Dispõe sobre o Plano Diretor do Município de Altamira.

_____. *Lei Municipal 2.047/2009*. Dispõe sobre o Perímetro Urbano de Altamira.

_____. *Lei Municipal 2.178/2011*. Dispõe sobre o Plano Diretor do Município de Altamira.

REES, W. G. *Physical principles of remote sensing*. Cambridge, England: Cambridge University, 2ª edição, 2001.

RIBEIRO, L. C. Q.; LAGO, L. C. Restructuring in large Brazilian cities: the centre/periphery model. *International Journal of Urban and Regional Research*, USA, v. 19, nº 3, p.369-382, 1995.

RICHARDS, J. A.; JIA, X. *Remote sensing digital image analysis an introduction*. Berlin, Germany: Springer, 4ª edição, 2006.

RIDD, M. K. Exploring a V-I-S (vegetation-impervious surface-soil) model for urban ecosystem analysis through remote sensing: comparative anatomy for cities. *International Journal of Remote Sensing*, v. 16, nº 12, p.2165-2185, 1995.

ROBERTS, D. A.; GARDNER, M.; CHRUCH, R.; USTIN, S.; SCHEER, G. Mapping chaparral in the Santa Monica mountains using multiple endmember spectral mixture models. *Remote Sensing of Environment*, v. 65, p.267-279, 1998.

ROLNIK, R.; KLINK, J. Crescimento econômico e desenvolvimento urbano. *Novos Estudos*, nº 89, p.89-109, 2011.

SABOL, D. E. Jr.; ADAMS J. B.; SMITH M. O. Quantitative subpixel spectral of targets in multispectral images. *Journal of Geophysical Research*, v. 97, p.2659-2672, 1992.

SANTOS, M. *A urbanização brasileira*. São Paulo: Editora Hucitec, 1993.

SETTLE, J. J.; DRAKE, N. A. Linear mixing and the estimation of ground cover proportions. *International Journal of Remote Sensing*, v. 14, nº 6, p.1159-1177, 1993.

- SHI, C.; WANG, L. Incorporating spatial information in spectral unmixing: A review. *Remote Sensing of Environment*, v. 149, p.70–87, 2014.
- SHIMABUKURO, Y. E.; SMITH, J. A. The least-squares mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, nº 29, v. I, p.16-20, 1991.
- SMALL, C. Multitemporal analysis of urban reflectance. *Remote Sensing of Environment*, v. 81, nº 2–3, p.427–442, 2002.
- SMITH, M. O.; JOHNSON, P.E.; ADAMS, J. B. Quantitative determination of mineral types and abundances from reflectance spectra using principal component analysis. *Journal of Geophysical Research*, v. 90, p.C797–C804, 1985.
- SMITH, M. O.; USTIN, S. L.; ADAMS, J. B.; GILLESPIE, A. R. Vegetation in deserts: I. A regional measure of abundance from multispectral images. *Remote Sensing of Environment*, v. 31, p.1–26, 1990.
- SOMERS, B.; ASNER, G. P.; TITS, L.; COPPIN, P. Endmember variability in Spectral Mixture Analysis: A review. *Remote Sensing of Environment*, v. 115, nº 7, p.1603–1616, 2011.
- STRAHLER, A.; WOODCOCK, C. SMITH, J. On the Nature of Models in Remote Sensing. *Remote Sensing of Environment*, v. 20, p.121–139, 1986.
- TECHNUM CONSULTORIA. *Plano Diretor de Altamira - Volume II*. Prefeitura Municipal de Altamira, 2010.
- THOMLINSON, J. R.; BOLSTAD, P. V.; COHEN, W. B. Coordinating methodologies for scaling landcover classifications from site-specific to global: steps toward validating global map products. *Remote Sensing of Environment*, v. 70, p.16–28, 1999.
- UMBUZEIRO, U. M. *Altamira e sua história*. Altamira, Pará: Grupo Cultural, 2ª edição, 1988.

_____. *Altamira e sua história*. Altamira, Pará: Grupo Cultural, 4ª edição, 2012.

VEGANZONES, M. A.; GRAÑA, M. Endmember extraction methods: a short review. In: INTERNATIONAL CONFERENCE, KES 2008, 12. Zagreb, Croatia. *Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems*. Proceedings, Part III. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2008.

VEIGA, José Eli da. *Cidades Imaginárias, o Brasil é menos urbano do que se calcula*. Campinas, SP : Autores Associados, 2003.

VILLAÇA, F. J. M. *O espaço intra-urbano no Brasil*. São Paulo: Studio Nobel Editora, 2ª edição, 2001.

WENG, Q. Remote sensing of impervious surfaces in the urban areas: requirements, methods, and trends. *Remote Sensing of Environment*, v. 117, p.34-49, 2012.

WENG, Q.; LU, D. Landscape as a continuum: an examination of the urban landscape structures and dynamics of Indianapolis City, 1991–2000, by using satellite images. *International Journal of Remote Sensing*, v. 30, nº 10, p.2547-2577, 2009.

WENG, Q.; HU, X.; LU, D. Extracting impervious surfaces from medium spatial resolution multispectral and hyperspectral imagery: a comparison. *International Journal of Remote Sensing*, v. 29, nº 11, p.3209–3232, 2008.

WU, C.; MURRAY, A. T. Estimating impervious surface distribution by spectral mixture analysis. *Remote Sensing of Environment*, v. 84, nº 4, p.493-505, 2003.

APÊNDICE A – Modelo de ficha de campo (material de cobertura)

FICHA DE CAMPO		N°
CARACTERIZAÇÃO DE ALVOS		
Data da Vistoria:		
Fotos		
Localização		
Descrição do Alvo (material construtivo / uso do solo, condições de conservação / manejo, etc.)		
Caracterização do Entorno		
Observações		
Histórico		
Entrevistados		

APÊNDICE B – Modelo de ficha de campo (bairro)

FICHA DE CAMPO		n°	
CARACTERIZAÇÃO DE VIZINHANÇAS			
Data da Vistoria		Bairro / Referência	
Fotos			
Uso do Solo Predominante		Porte do Comércio Existente	
Percentual de Lotes Ocupados		Tamanho Médio dos Lotes	
Percentual Médio de Impermeabilização dos Lotes			
Histórico de Ocupação / Criação			
Situação Fundiária			
Infraestrutura Física			
Água			
Esgoto			
Drenagem			
Rede Elétrica			
Coleta de Lixo			
Sistema Viário - Pavimentação do Lote			
Sistema Viário - Passeio			
Infraestrutura Social			
Equipamentos de Educação			
Equipamentos de Saúde			
Equipamentos de Assistência Social			
Transporte			
Outros			
Aspectos Construtivos das Edificações			
Material Construtivo predominante das Coberturas		Material Construtivo predominante das Paredes	
Observações			
Entrevistados			

APÊNDICE C – Tabulação dos dados das fichas de materiais de cobertura

Tabela C.1 – Características dos materiais de cobertura, segundo dados dos trabalhos de campo de 2013.

Nº do ponto	Data	Localização	Material	Caracterização do entorno	Observações	Histórico de Ocupação
285	02 de agosto de 2013	Xingu Praia Clube	Cobertura de fibrocimento	Quadra de tênis de cimento azul. Campo de futebol gramado. Piscina. Quiosques com telha de fibrocimento. Palco com cobertura de telha de barro.		
331	02 de agosto de 2013	Clube Campestre	Mato baixo	Área em transformação para Loteamento. Represa.		
110	02 de agosto de 2013	Praia do Pajé	Areia branca em área alagada	Praia do Pajé. Igarapé. Painéis. Mata de igapó. Estrada de terra vermelha.		
1107	02 de agosto de 2013	Estrada para o Aeroporto	Água de tom esverdeado	Avenida de ligação para o Aeroporto. Olarias do outro lado da avenida. Mata. Aterro de aprox. 4m		Antiga área de olaria que hoje formou um lago

Tabela C.1 – Características dos materiais de cobertura, segundo dados dos trabalhos de campo de 2013 - Continuação.

Nº do ponto	Data	Localização	Material	Caracterização do entorno	Observações	Histórico de Ocupação
1427	02 de agosto de 2013	Ibiza			A área mudando muito. As feições naturais são pasto e pasto queimado. Muitas casas novas e ruas foram abertas. Não foi possível identificar com certeza os alvos.	
191	02 de agosto de 2013	Clube Campestre	Mata ciliar	Represa. Estrada. Entrada de novo loteamento.		
265	02 de agosto de 2013	Av. Pres. Tancredo Neves	Asfalto	Mata. Entrada para chácaras.		
314	02 de agosto de 2013	Ibiza			A área mudando muito. As feições naturais são pasto e pasto queimado. Muitas casas novas e ruas foram abertas. Não foi possível identificar com certeza os alvos.	
3886	02 de agosto de 2013	Ibiza			A área mudando muito. As feições naturais são pasto e pasto queimado. Muitas casas novas e ruas foram abertas. Não foi possível identificar com certeza os alvos.	

Tabela C.1 – Características dos materiais de cobertura, segundo dados dos trabalhos de campo de 2013 - Continuação.

Nº do ponto	Data	Localização	Material	Caracterização do entorno	Observações	Histórico de Ocupação
444	02 de agosto de 2013	Praia do Pajé	Areia branca em área alagada	Praia do Pajé. Igarapé Panelas. Mata de igapó. Estrada de terra vermelha.		
5003	02 de agosto de 2013	Ibiza			A área mudando muito. As feições naturais são pasto e pasto queimado. Muitas casas novas e ruas foram abertas. Não foi possível identificar com certeza os alvos.	
n1	03 de agosto de 2013	Sudam II	Cobertura de telha metálica verde		Cobertura de quadra poliesportiva da Escola Saint Claire de Figueiredo Ferraz	
n2	03 de agosto de 2013	Uirpuru	Cobertura de telha de fibrocimento		Congregação Cristão do Brasil	
n3	03 de agosto de 2013	Jardim Independent e II	Grama		Gramado. O estádio construído em 1981-1984, na gestão de Edimilson Veras (UMBUZEIRO, 2012). O gramado é desta mesma época (UMBUZEIRO, com. oral, 2013).	
219	04 de agosto de 2013	Centro	Telhado metálico.	Cemitério. Ruas de asfalto.	Armazém Paraíba. Edifício de 50x135m.	Tem no máximo 5 anos de construção.

Tabela C.1 – Características dos materiais de cobertura, segundo dados dos trabalhos de campo de 2013 - Continuação.

Nº do ponto	Data	Localização	Material	Caracterização do entorno	Observações	Histórico de Ocupação
246	04 de agosto de 2013	Centro	Telhado metálico.	Cemitério. Ruas de asfalto.	Armazém Paraíba. Edifício de 50x135m.	Tem no máximo 5 anos de construção.
n6	05 de agosto de 2013	Esplanada do Xingu	Telhado metálico. Pátio de asfalto. Telhado de fibrocimento.	Ruas laterais sem asfalto. Avenida da entrada de pista dupla asfaltada. Fundos com estoque de areia.	Casa de Show Focus.	
4108	05 de agosto de 2013	Esplanada do Xingu	Telhado metálico. Pátio de asfalto. Telhado de fibrocimento.	Ruas laterais sem asfalto. Avenida da entrada de pista dupla asfaltada. Fundos com estoque de areia.	Casa de Show Focus.	
274	06 de agosto de 2013		Telha Metálica verde		Mercado Municipal Moreirão. Três galpões: 2 de 12x54m e um, no centro, de 16x54m.	A construção começou no governo estadual Hélio da Mota Gueiros (1987-1991). Era um só galpão, demolido para a construção dos novos. Os três galpões de hoje começaram a ser construídos em 2008. A inauguração foi em janeiro de 2008.

Tabela C.1 – Características dos materiais de cobertura, segundo dados dos trabalhos de campo de 2013 - Continuação.

Nº do ponto	Data	Localização	Material	Caracterização do entorno	Observações	Histórico de Ocupação
n4	06 de agosto de 2013	Jardim Altamira	Telha de barro		Escola Estadual Ducila. Edifício de 15x55m (medido na ortofoto 2010).	Inaugurada em 2004
275	07 de agosto de 2013	Sítio Jaburu	Telhado de fibrocimento	Área com árvores. 3 galpões cobertos com telhas de fibrocimento.	Área ocupada pela manutenção da Prelazia do Xingu, ICOTEL Engenharia, serralheria e grupo de escoteiros.	Galpões existentes com certeza há mais de 10 anos.
142	07 de agosto de 2013	Beco do Pó (Rua da Peixaria)	Lagoa de água esverdeada e com algas (poluída)	Alagado do Ambé. Casas em palafitas.	Área seca no verão e alagada no inverno.	
666	07 de agosto de 2013	Entrada da Fazenda sr. Maurício Bastazani	Solo exposto. Pasto plantado. Grama.		Prefeito de Altamira entre 1994 e 1996.	
154	08 de agosto de 2013	Rod. Transamazônica	Telhado de zinco. Telhado de fibrocimento.	Solo exposto. Pomar. Mata. Rodovia Transamazônica (não pavimentada).	Serraria do chinês. Das duas serrarias, apenas uma está em funcionamento (galpão menor).	Galpão maior (zinco) construído em 2002. Galpão menor (fibrocimento) construído em 1992.
1206	08 de agosto de 2013	Rod. Transamazônica	Solo exposto	Pátio de antiga serraria		

Tabela C.1 – Características dos materiais de cobertura, segundo dados dos trabalhos de campo de 2013 - Continuação.

Nº do ponto	Data	Localização	Material	Caracterização do entorno	Observações	Histórico de Ocupação
120	08 de agosto de 2013	Rod. Transamazônica	Solo exposto	Pátio de antiga serraria		
749	08 de agosto de 2013	Rod. Transamazônica	Solo exposto	Ocupação de casas em palafitas.	Lagoa seca no verão e cheia no inverno.	
656	08 de agosto de 2013	Bairro Mutirão	Mata ciliar	Serraria e mata na encosta	A mata é mais preservada na outra margem do igarapé e na área fora da propriedade da serraria.	Serraria desativada (apesar de haver o dono e um funcionário no escritório). Galpão de telhado de zinco, construído em 1992. Proprietário (sr. Marcelo) quer lotear a propriedade.
144	08 de agosto de 2013	Rod. Transamazônica	Solo exposto	Ocupação de casas em palafitas.	Lagoa seca no verão e cheia no inverno.	
404	09 de agosto de 2013	Brasília	Telhado metálico amarelo	Praça. Ruas de asfalto.	Ginásio Poliesportivo Municipal.	Reformado na gestão de Domingos Juvenil (2001 a 2004).
776					Não visitado.	
n5	03 de agosto de 2013	Sudam II	Telhado metálico verde	Escola.	Prédio da escola e ginásio têm essa cobertura.	

APÊNDICE D – Tabulação dos dados das fichas de bairros

Tabela D.1 – Características da ocupação nos bairros de Altamira, segundo dados dos trabalhos de campo de 2013.

Data	Bairro	Uso do solo predominante	Comércio	% de lotes ocupados	Tamanho dos lotes	% médio de impermeabilização dos lotes	Histórico de ocupação	Material predominante nas coberturas	Material predominante nas paredes	Observações
04 de agosto de 2013	Açaizal	Residencial	Local	90%	10x30m; 10x40m			Telha de fibrocimento ou barro	Alvenaria ou madeira	Nas proximidades da Igreja da Matriz, existem edificações maiores. Nas proximidades do Igarapé Altamira e no alagado (Baixão doTufi, as casas são de madeira.
07 de agosto de 2013	Alberto Soares	Residencial e comercial (rua principal)	Local	95%	8x12m	90% a 100%		Telha de fibrocimento ou barro	Alvenaria	
07 de agosto de 2013	Altaville I	Residencial	Sem comércio	30%	10x20m	80% a 100%		Telha de barro	Alvenaria	Mais ocupado que as ortofotos de 2010.
07 de agosto de 2013	Altaville II	Residencial	Sem comércio	2%	20x30m	80% a 100%		Telha de barro	Alvenaria	Mais ocupado que as ortofotos de 2010.

Tabela D.1 – Características da ocupação nos bairros de Altamira, segundo dados dos trabalhos de campo de 2013 – Continuação.

Data	Bairro	Uso do solo predominante	Comércio	% de lotes ocupados	Tamanho dos lotes	% médio de impermeabilização dos lotes	Histórico de ocupação	Material predominante nas coberturas	Material predominante nas paredes	Observações
07 de agosto de 2013	Aparecida	Residencial e comercial (ruas principais)	Local	100%	7x10m	variável		Telha de fibrocimento ou barro	Alvenaria ou madeira (minorias)	Edifícios grandes: igreja desde 1985 (cobertura de fibrocimento); colégio (cobertura de metal, desde 2000); ginásio (metal). Área de casas mais precárias ao longo de uma drenagem, no miolo do bairro (mesmo padrão de urbanização).
04 de agosto de 2013	Avenida da Orla	Comercial e residencial	Restaurantes e lazer	90%	15x30m	50%		Telha de barro (residências) e fibrocimento (comércio)		
03 de agosto de 2013	Avenida Perimetral	Comercial e residencial	Grandes lojas e galpões	100%	15mx20m (a profundidade varia cf. o Igarapé Altamira no fundo dos lotes)	100% nas residências e variável nas comerciais (sob as edificações)		Telha de fibrocimento	Alvenaria	Para cruzar o Igarapé Altamira, a prefeitura está construindo uma avenida e tem a intenção de construir prédios de apartamentos nessa avenida para seus funcionários.

Tabela D.1 – Características da ocupação nos bairros de Altamira, segundo dados dos trabalhos de campo de 2013 – Continuação.

Data	Bairro	Uso do solo predominante	Comércio	% de lotes ocupados	Tamanho dos lotes	% médio de impermeabilização dos lotes	Histórico de ocupação	Material predominante nas coberturas	Material predominante nas paredes	Observações
02 de agosto de 2013	Bela Vista	Residencial e comercial	Local	95%	7x10m e 15x20m	80%	Área invadida a partir de 2000.	Telha de fibrocimento	Alvenaria e Madeira	Comércio: padarias, mercadinhos e pequenas lojas.
07 de agosto de 2013	Boa Esperança	Residencial	Local	100%	7x10m	variável (sobre as edificações) / 100% (casas de melhor padrão)		Telha de fibrocimento	Alvenaria	As áreas mais próximas a Olarias são mais precárias.
09 de agosto de 2013	Brasília	Residencial e comercial	Local	80%	10x20m	variável (sobre as edificações)	Bairro existente há pelo menos 20 anos.	Telha de fibrocimento ou barro	Alvenaria ou madeira (minoridade)	

Tabela D.1 - Características da ocupação nos bairros de Altamira, segundo dados dos trabalhos de campo de 2013 - Continuação.

Data	Bairro	Uso do solo predominante	Comércio	% de lotes ocupados	Tamanho dos lotes	% médio de impermeabilização dos lotes	Histórico de ocupação	Material predominante nas coberturas	Material predominante nas paredes	Observações
04 de agosto de 2013	Centro	Comercial e residencial	variado / ruas comerciais centrais	95%	10x40m; 20x40m; 30x40m	90% a 100%		Telha de fibrocimento ou barro ou telha metálica (grandes galpões)	Alvenaria	Ruas predominantemente de comércio e serviços: R. Anchieta (entre Tr. Pedro Gomes e Tr. Lindolfo Aranha); R. Manoel Umbuzeiro (entre Tr. Pedro Gomes e Tr. 10 de Novembro); R. Djalma Dutra (entre Tr. Pedro Gomes e Tr. Tancredo); R. 7 de Setembro (entre Tr. Pedro Gomes e Tr. Cdte. Castilho); Tr. 10 de Novembro (entre R. Manoel Umbuzeiro e R. 7 de Setembro); Tr. Agrário Cavalcante (entre R. Anchieta e R. Djalma Dutra); Tr. Tancredo e Tr. Lindolfo Aranha (entre R. 7 de Setembro e R. Magalhães Barata). Existem prédios residenciais (até 4 andares), galpões e sobrados de uso misto.

Tabela D.1 - Características da ocupação nos bairros de Altamira, segundo dados dos trabalhos de campo de 2013 - Continuação.

Data	Bairro	Uso do solo predominante	Comércio	% de lotes ocupados	Tamanho dos lotes	% médio de impermeabilização dos lotes	Histórico de ocupação	Material predominante nas coberturas	Material predominante nas paredes	Observações
08 de agosto de 2013	Chácaras	Residencial / Lazer		100%	50x400m	variável (sob as edificações)				
02 de agosto de 2013	Cidade Jardim Residencial		Sem comércio	2%	10x20m	30%	Loteamento novo.	Telha de fibrocimento	Alvenaria	Lotes vendidos em 200x a R\$ 125,00. Previsão de 20.000 lotes.
08 de agosto de 2013	Colinas	Residencial / Industrial		100%	10x20m	variável (sob as edificações)		Telha de fibrocimento ou barro	Alvenaria	A ocupação é como a das ortofotos de 2010.
03 de agosto de 2013	COPERFRON	Residencial e comercial	Vinculado à Transamazônica	40%	10x15m	80%		Telha de barro	Alvenaria	
03 de agosto de 2013	Desmembramento Geraldo Alves Soares	Residencial	Sem comércio	50%	10x25m	variável	Desmembramento feito em 2010. Atualmente 50% das 100 casas previstas já foram construídas.	Telha de barro	Alvenaria	São financiados juntamente o lote e a casa.

Tabela D.1 – Características da ocupação nos bairros de Altamira, segundo dados dos trabalhos de campo de 2013 – Continuação.

Data	Bairro	Uso do solo predominante	Comércio	% de lotes ocupados	Tamanho dos lotes	% médio de impermeabilização dos lotes	Histórico de ocupação	Material predominante nas coberturas	Material predominante nas paredes	Observações
03 de agosto de 2013	DNIT (km 4)	Residencial e serviços (escritório do DNIT)	Sem comércio	10% (da área)	40x20m e 40x40m	variável	Vila residencial da época da abertura da Transamazônica (pelo menos 40 anos). Moradores são herdeiros de antigos funcionários do DNIT. Na ativa, são 2 funcionários do DNIT e 4 prestadores de serviços.	Telha de fibrocimento ou barro	Alvenaria e Madeira	Escritório e galpão do DNIT e aproximadamente 40 casas. Segurança apenas para a portaria e escritório. Antigamente havia escola e posto médico. O transporte vem para levar crianças à escola.
02 de agosto de 2013	Dom Lourenzo	Residencial	Sem comércio	60%	12x20m	40%		Telha de fibrocimento ou barro	Alvenaria	Misto de residências de alto padrão (construções novas, maiores e melhores) e médio padrão (telhado de fibrocimento).

Tabela D.1 – Características da ocupação nos bairros de Altamira, segundo dados dos trabalhos de campo de 2013 – Continuação.

Data	Bairro	Uso do solo predominante	Comércio	% de lotes ocupados	Tamanho dos lotes	% médio de impermeabilização dos lotes	Histórico de ocupação	Material predominante nas coberturas	Material predominante nas paredes	Observações
05 de agosto de 2013	Esplanda do Xingu	Comercial, institucional e residencial		60%	15x40m	100% nas avenidas principais		Telha de fibrocimento ou barro	Alvenaria	Grandes equipamentos. Área do antigo aeroporto. Áreas vazias. Galpões. Casas menores, perto da saída para o rio, atrás do INMET (bairro do Muquiço). Parte é o bairro de São Sebastião.
02 de agosto de 2013	Estrada do Sanatório	Residencial (chácaras)	Sem comércio	30%	20x20m e 10x20m (lotes novos), 100x100m (chácaras)	30%	Antiga áreas do Dom lourenzo. Lotes à venda e construções novas.	Telha de fibrocimento	Alvenaria e Madeira (minoría)	Existe uma madeireira, que estava sem atividade no dia da visita.
07 de agosto de 2013	Invasão dos Padres	Residencial	Local	NA	NA	variável (sob as edificações)		Telha de fibrocimento	Madeira	Área alagadiça. Casas em palafitas.

Tabela D.1 – Características da ocupação nos bairros de Altamira, segundo dados dos trabalhos de campo de 2013 – Continuação.

Data	Bairro	Uso do solo predominante	Comércio	% de lotes ocupados	Tamanho dos lotes	% médio de impermeabilização dos lotes	Histórico de ocupação	Material predominante nas coberturas	Material predominante nas paredes	Observações
06 de agosto de 2013	Jardim Altamira	Residencial	Local (nas vias principais)	20% (parte alta) / 70% (parte baixa) / 100% (Ilvalândia)	12x15m / 15x20m	80%		Telha de fibrocimento ou barro	Alvenaria	Conjunto Ilvalândia: casas e urbanização feitas pela prefeitura e doada aos moradores (lotes de 12x15m). Há uma extensão do loteamento sendo aberta perto do Ilvalândia.
08 de agosto de 2013	Jardim França	Residencial e comercial	Local	50%	10x25m	variável (sob as edificações)	Loteamento desde 2007. Proprietário Sr. Paulo.	Telha de fibrocimento ou barro	Alvenaria	Lotes custam entre R\$ 25 mil e R\$ 30 mil. Área mais ocupada que as ortofotos de 2010.
02 de agosto de 2013	Jardim Ibiza	Residencial	Sem comércio	30%	15x25m	50%	Loteamento em ocupação. Aberto há 3 anos.	Telha de barro	Alvenaria	Nas ortofotos de 2010, as ruas não estão todas abertas. Na parte mais alta, as casas são de melhor padrão.
03 de agosto de 2013	Jardim Independente I	Residencial e comercial (ruas principais)	Local	75%	10x20m	80% (sob as edificações)	Existe há 30 anos. O aterro da lagoa foi sendo feito pelos próprios moradores.	Telha de fibrocimento ou barro	Alvenaria e Madeira (minorias)	As áreas que não são alagadiças já estão consolidadas.

Tabela D.1 – Características da ocupação nos bairros de Altamira, segundo dados dos trabalhos de campo de 2013 – Continuação.

Data	Bairro	Uso do solo predominante	Comércio	% de lotes ocupados	Tamanho dos lotes	% médio de impermeabilização dos lotes	Histórico de ocupação	Material predominante nas coberturas	Material predominante nas paredes	Observações
05 de agosto de 2013	Jardim Independente II	Residencial / Serviços (nas vias principais)		90%	10x15m			Telha de fibrocimento ou barro	Alvenaria ou madeira (minorias)	Condomínio fechado de alto padrão sendo construído. Casas em palafitas nas áreas alagadas (Igarapé Panelas e Lagoa)
02 de agosto de 2013	Jardim Independente III	Residencial	Local	95%	15x20m	60%	Loteamento existente há 30 anos	Fibrocimento	Alvenaria e Madeira (minorias)	Existem lotes que foram subdivididos em dois (7,5mx20m)
08 de agosto de 2013	Jardim Primavera	Residencial e comercial (via principal)	Local	90%	12x25m	variável (sob as edificações)	Área aberta há 26 anos.	Telha de fibrocimento	Alvenaria	
03 de agosto de 2013	Jardim Uirapuru	Residencial e comercial (ruas principais)	Grandes galpões e extensão do comércio central	95%	12x15m	80% a 100% nas residências e variável nas comerciais (sob as edificações)	Bairro existente há pelo menos 30 anos.	Telha de fibrocimento ou barro	Alvenaria ou madeira (minorias)	A área incorpora o Jardim dos Estados. Abriga a Polícia Federal, Guarda Civil, Secretaria de Viação e Obras, Garagem da Prefeitura.

Tabela D.1 – Características da ocupação nos bairros de Altamira, segundo dados dos trabalhos de campo de 2013 – Continuação.

Data	Bairro	Uso do solo predominante	Comércio	% de lotes ocupados	Tamanho dos lotes	% médio de impermeabilização dos lotes	Histórico de ocupação	Material predominante nas coberturas	Material predominante nas paredes	Observações
08 de agosto de 2013	Liberdade	Residencial	Sem comércio	60%	12x25m; 6x25m	variável (sob as edificações)	Loteamento existente há 15 anos.	Telha de fibrocimento	Alvenaria ou madeira	
08 de agosto de 2013	Loteamento Bom Sucesso	Residencial	Sem comércio	1%	10x25m	variável (sob as edificações)				
08 de agosto de 2013	Loteamento do Bacana	Residencial	Sem comércio	5%	10x20m	variável (sob as edificações)	Loteamento aberto em 2007.	Telha de fibrocimento	Alvenaria	A parte mais ocupada são as 5 primeiras quadras a partir da Rod. Magalhães Barata (15% dos lotes estão ocupados). A entrevistada pagou R\$5mil pelo lote e tem um contrato de compra e venda.
02 de agosto de 2013	Loteamento Elvira	Residencial	Sem comércio	80%	15x20m e 10x20m	60%	Loteamento novo (não aparece na foto de 2009)	Telha de barro	Alvenaria	Existe um hotel no loteamento (Pôr do Sol)

Tabela D.1 – Características da ocupação nos bairros de Altamira, segundo dados dos trabalhos de campo de 2013 – Continuação.

Data	Bairro	Uso do solo predominante	Comércio	% de lotes ocupados	Tamanho dos lotes	% médio de impermeabilização dos lotes	Histórico de ocupação	Material predominante nas coberturas	Material predominante nas paredes	Observações
03 de agosto de 2013	Loteamento Novo									Em processo de abertura das ruas. Informação de que são 5 mil lotes.
08 de agosto de 2013	Loteamento São Francisco	Residencial	Sem comércio	2%	12x25m		Loteamento sendo aberto desde setembro de 2012. O proprietário das terras é de Altamira (D. Irene Silvério Borges) e o empreendedor é de Goiânia.	Telha de fibrocimento ou barro	Alvenaria	Foram vendidos 204 lotes. Preços: R\$ 56mil (residencial) e R\$124 (comercial na avenida). Foram doadas 4 áreas públicas.

Tabela D.1 – Características da ocupação nos bairros de Altamira, segundo dados dos trabalhos de campo de 2013 – Continuação.

Data	Bairro	Uso do solo predominante	Comércio	% de lotes ocupados	Tamanho dos lotes	% médio de impermeabilização dos lotes	Histórico de ocupação	Material predominante nas coberturas	Material predominante nas paredes	Observações
08 de agosto de 2013	Mutirão	Residencial	Local	95%	10x20m	80% a 100%	Área da prefeitura. Na gestão do prefeito Armindo (1988) foram construídas as casas geminadas perto da UEPA no sistema de mutirão. Entre as ruas 4 e 7 a área foi "dada" ao vereados Dr. Antônio Brito. Entre a rua 4 e a Transama-zônica é área de invasão. O asfalto foi feito na gestão 2000-2004.	Telhado de fibrocimento	Alvenaria ou madeira (minoría)	Existem 3 conjuntos: o do mutirão, um construído pelo Juvenil e outro pelo Armindo. Em 94 o entrevistado pagou R1.450 pela casa onde mora atualmente, tendo vendido a que morava (lote doado pela prefeitura) por R\$ 5.200.

Tabela D.1 – Características da ocupação nos bairros de Altamira, segundo dados dos trabalhos de campo de 2013 – Continuação.

Data	Bairro	Uso do solo predominante	Comércio	% de lotes ocupados	Tamanho dos lotes	% médio de impermeabilização dos lotes	Histórico de ocupação	Material predominante nas coberturas	Material predominante nas paredes	Observações
08 de agosto de 2013	Nova Altamira / São Domingos	Residencial e comercial	Local	100% (parte baixa) 60% (parte alta)	10x15m; 7x10m; 5x10m	variável (sob as edificações)	Invasão há 2 anos	Telha de fibrocimento ou barro (minoria)	Alvenaria ou madeira	Parte será indenizada. Lote hoje R\$23mil, há 2 anos, R\$2mil.
07 de agosto de 2013	Olarias	Residencial	Local			variável (sob as edificações)		Telha de fibrocimento	Madeira	Parte da área é alagadiça com casas em palafitas.
02 de agosto de 2013	Olarias (estrada para o Aeroporto)	extração de barro / fabricação e queima de tijolos / moradias	Sem comércio		250m a 500m	menos de 5%	9 anos de extração. A área aumenta à medida que avança a exploração.	Telhado de palha ou plástico ou telha de fibrocimento (minoria)	Madeira	250 oleiros. Aprox. 30 moradias. Fabricação de tijolos de 3 furos (10x15x23cm). Os trabalhadores não são os donos das olarias.
08 de agosto de 2013	Paixão de Cristo	Residencial e comercial	Local		10x20m	variável (sob as edificações)	Área invadida há 3 / 4 anos	Telha de fibrocimento ou barro	Alvenaria ou madeira (minoria)	Lotes R\$ 8mil.

Tabela D.1 – Características da ocupação nos bairros de Altamira, segundo dados dos trabalhos de campo de 2013 – Continuação.

Data	Bairro	Uso do solo predominante	Comércio	% de lotes ocupados	Tamanho dos lotes	% médio de impermeabilização dos lotes	Histórico de ocupação	Material predominante nas coberturas	Material predominante nas paredes	Observações
02 de agosto de 2013	Parque Ipê	Residencial	Local	90%	15x20m		Loteamento aberto em 1979. Ocupação mais intensa a partir de 2000.	Telha de fibrocimento ou barro	Alvenaria e Madeira (minoría)	Nas ortofotos de 2010, nenhuma rua é pavimentada.
04 de agosto de 2013	Premen	Residencial e comercial	Extensão do comércio central (nas principais vias)	90%	12x30m	90% a 100%	Anterior a 1980.	Telha de fibrocimento ou barro ou metálica	Alvenaria ou madeira (minoría)	Existem trechos onde há a predominância de casas menores (7x15m) e mais precárias. Existem áreas comerciais e de equipamentos. Poucos lotes vagos. Alguns lotes grandes vagos também.
03 de agosto de 2013	Rancho Novo	Residencial / Industrial	Sem comércio	30%	10x20m e 20x20m	variável (sob as edificações)	Rancho novo é anterior a 2001.	Telha de fibrocimento	Alvenaria e Madeira	
07 de agosto de 2013	Rodovia Ernesto Aciolly	Residencial e comercial / serviços	Local e grandes galpões			variável (sob as edificações)		Telha de fibrocimento	Madeira ou alvenaria (grandes edifícios)	Galpões. Motel. Parque de exposições. Frigorífico. Extração de areia/argila (ativa há 2 anos). Casas em palafitas.

Tabela D.1 - Características da ocupação nos bairros de Altamira, segundo dados dos trabalhos de campo de 2013 - Continuação.

Data	Bairro	Uso do solo predominante	Comércio	% de lotes ocupados	Tamanho dos lotes	% médio de impermeabilização dos lotes	Histórico de ocupação	Material predominante nas coberturas	Material predominante nas paredes	Observações
07 de agosto de 2013	Rua da Peixaria	Residencial e comercial	Específico (peixes ornamentais) e local	100%	5x10m; 7x10m	variável (sobre as edificações)		Telha de fibrocimento ou barro (minoria)	Madeira ou alvenaria (em partes e na minoria)	Casas em palafitas. Beco do pó. Extração de areia.
08 de agosto de 2013	Santa Ana	Residencial	Sem comércio	70%	12x25m; 10x25m; 6x25m	variável (sobre as edificações)	A área foi loteada pelo dono, Dr. Paulo, que a deixou para o filho, Belmiro. Loteamento existente há 15 anos.	Telha de fibrocimento ou barro (minoria)	Alvenaria ou madeira	
08 de agosto de 2013	Santa Benedita	Residencial e comercial	Local	100%	7x12m	variável (sobre as edificações)	Conjunto inaugurado há 1 ano	Telha de fibrocimento ou barro	Alvenaria	958 casa - Minha casa, Minha vida. Financiamento R\$51 x 8 anos.

Tabela D.1 – Características da ocupação nos bairros de Altamira, segundo dados dos trabalhos de campo de 2013 – Continuação.

Data	Bairro	Uso do solo predominante	Comércio	% de lotes ocupados	Tamanho dos lotes	% médio de impermeabilização dos lotes	Histórico de ocupação	Material predominante nas coberturas	Material predominante nas paredes	Observações
06 de agosto de 2013	SUDAM I	Comercial e residencial	Local e extensão do comércio central (nas principais vias)	95%	7x15m / 10x15m	80% a 100%		Telha de fibrocimento ou barro	Alvenaria	Baixão do Tufi: área alagada mais precária com casas de madeira, em palafitas e telhado de fibrocimento. 2 grandes áreas vazias. 1 área com edifícios em construção (Residencial Arte Xingu). Áreas predominantemente comerciais: Tr. Pedro Gomes, Av. João Rodrigues e Av. Alacid Nunes.
03 de agosto de 2013	SUDAM II	Residencial e comercial (ruas principais)	Grande porte	90%	10x20m e 7,5x15m	variável (sobre as edificações)			Alvenaria	A área entre a escola na Av. Perimetral e o Igarapé Altamira está mais consolidada (mais ocupada, com praticamente todas as ruas asfaltadas e casas em alvenaria).

Tabela D.1 - Características da ocupação nos bairros de Altamira, segundo dados dos trabalhos de campo de 2013 - Continuação.

Data	Bairro	Uso do solo predominante	Comércio	% de lotes ocupados	Tamanho dos lotes	% médio de impermeabilização dos lotes	Histórico de ocupação	Material predominante nas coberturas	Material predominante nas paredes	Observações
07 de agosto de 2013	Terras de Bonanza	Residencial, comercial / serviços e institucional (previsão)	Grande porte (previsão)	0%	10x25m (residencial); 20x100m (comercial) (previsão)		Loteamento começou a ser aberto (ruas) em outubro de 2012.			Loteamento com 4 milhões de m ² (100 alqueires). Total de 6.615 lotes (1000 lotes da primeira etapa já foram vendidos, o total dessa etapa é 1099 lotes). Valor à vista R\$43 mil ou R\$850 + 200x de R\$336. Previsto shopping, posto Ipiranga, Campus UFPA.
03 de agosto de 2013	Vista Alegre	Residencial	Sem comércio	20%	12x20m; 7x15m		Loteamento sendo implantado. Ruas foram apenas "abertas" e não possuem revestimento ou nivelamento.	Telha de fibrocimento ou barro	Alvenaria	

Tabela D.2 – Características da infraestrutura nos bairros de Altamira, segundo dados dos trabalhos de campo de 2013.

Bairro	Abastecimento de Água	Esgoto	Drenagem de águas pluviais	Energia elétrica	Iluminação pública	Coleta de lixo	Pavimentação	Existência de calçadas	Equipamentos de educação	Equipamentos de saúde	Equipamentos de assistência social	Sistema de transporte público
Açaizal	Poço	Fossa	Sim	Sim	Sim		Sim	Sim (irregular)	Sim			
Alberto Soares	Poço	Fossa	Não	Sim	Sim		Sim (asfalto)	Não	Não	Sim	Não	Não
Altaville I	Poço	Fossa	Não	Sim	Não		Não	Não	Não	Não	Não	Não
Altaville II	Poço coletivo e Rede				Não		Não	Não	Não	Não	Não	Não
Aparecida	Poço	Fossa	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	

Tabela D.2 – Características da Infraestrutura nos bairros de Altamira, segundo dados dos trabalhos de campo de 2013 – Continuação.

Bairro	Abastecimento de Água	Esgoto	Drenagem de águas pluviais	Energia elétrica	Iluminação pública	Coleta de lixo	Pavimentação	Existência de calçadas	Equipamentos de educação	Equipamentos de saúde	Equipamentos de assistência social	Sistema de transporte público
Avenida da Orla			Sim	Sim	Sim		Sim	Sim	Não	Não	Não	Não
Avenida Perimetral	Poço	Fossa	Sim	Sim	Sim		Sim	Irregular	Não	Não	Não	Não
Bela Vista	Poço	Fossa	Parcial (nas ruas pavimentadas)	Sim	Sim		Parcial	Parcial (nas ruas pavimentadas)	Não	Não	Não	Não
Boa Esperança	Poço	Fossa	Parcial (não há nas ruas mais próximas ao bairro Olarias)	Sim	Sim	Sim	Sim	Parcial (nas ruas mais próximas a Olarias, Não há)	Sim	Sim	Não	Não

**Tabela D.2 – Características da Infraestrutura nos bairros de Altamira, segundo dados dos trabalhos de campo de 2013 –
Continuação.**

Bairro	Abasteci- mento de Água	Esgoto	Drenagem de águas pluviais	Energia elétrica	Iluminação pública	Coleta de lixo	Pavimen- tação	Existência de calçadas	Equipamen- tos de educação	Equipamen- tos de saúde	Equipamen- tos de assistência social	Sistema de transporte público
Brasília	Poço coletivo, individual e rede (parcial- mente)	Fossa	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim		Não
Centro	Sim	Fossa	Sim (superfi- cial)	Sim	Sim	Sim	Sim (asfalto e bloquete de concreto)	Sim (irregular)	Sim	Sim	Sim	Sim

Tabela D.2 – Características da Infraestrutura nos bairros de Altamira, segundo dados dos trabalhos de campo de 2013 – Continuação.

Bairro	Abastecimento de Água	Esgoto	Drenagem de águas pluviais	Energia elétrica	Iluminação pública	Coleta de lixo	Pavimentação	Existência de calçadas	Equipamentos de educação	Equipamentos de saúde	Equipamentos de assistência social	Sistema de transporte público
Chácaras			Não	Sim	Sim		Não	Não				
Cidade Jardim Residencial	Caminhão pipa (rede prevista)	Fossa	Prevista	Prevista	Prevista	Prevista	Prevista	Prevista	Não	Não	Não	Não
Colinas	Poço	Fossa	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim
COPERFRON	Poço	Fossa	Não	Sim	Parcial		Não	Não	Não	Não	Não	
Desmembramento Geraldo Alves Soares	Poço coletivo e rede	Fossa	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não

**Tabela D.2 – Características da Infraestrutura nos bairros de Altamira, segundo dados dos trabalhos de campo de 2013 –
Continuação.**

Bairro	Abasteci- mento de Água	Esgoto	Drenagem de águas pluviais	Energia elétrica	Iluminação pública	Coleta de lixo	Pavimen- tação	Existência de calçadas	Equipamen- tos de educação	Equipamen- tos de saúde	Equipamen- tos de assistência social	Sistema de transporte público
DNIT (km 4)		Fossa	Sim	Sim	Não	Sim	Parcial	Não	Não	Não	Não	Não
Dom Lourenzo	Poço	Fossa	Não	Sim	Sim		Não	Não	Não	Não	Não	Não
Esplanda do Xingu		Fossa	Sim	Sim	Sim	Sim	Parcial	Sim (nas ruas pavimenta- das)	Sim	Sim	Sim	
Estrada do Sanatório	Poço	Fossa	Não	Sim	Parcial		Não	Não	Não	Não	Não	Não

Tabela D.2 – Características da Infraestrutura nos bairros de Altamira, segundo dados dos trabalhos de campo de 2013 – Continuação.

Bairro	Abastecimento de Água	Esgoto	Drenagem de águas pluviais	Energia elétrica	Iluminação pública	Coleta de lixo	Pavimentação	Existência de calçadas	Equipamentos de educação	Equipamentos de saúde	Equipamentos de assistência social	Sistema de transporte público
Invasão dos Padres	Poço	Não	Não	Clandestina	Não		Não (apenas a rua principal é asfaltada)	Não	Não	Não	Não	Não
Jardim Altamira	Rede e poço individual (abastecimento intermitente)	Fossa	Parcial (nas ruas pavimentadas, há superficial e coletores)	Sim	Sim (na maior parte)	Sim	Parcial (as ruas do alto não estão pavimentadas)	Não	Sim	Sim	Sim	Sim (pela R. Osório de Freitas)
Jardim França	Poço	Fossa	Não	Parcial (Rede e clandestina)	Não	Sim	Não	Não	Sim	Não	Não	Não
Jardim Ibiza	Poço	Fossa	Não	Sim	Sim	Sim	Parcial	Não	Não	Não	Não	Não

Tabela D.2 – Características da Infraestrutura nos bairros de Altamira, segundo dados dos trabalhos de campo de 2013 – Continuação.

Bairro	Abastecimento de Água	Esgoto	Drenagem de águas pluviais	Energia elétrica	Iluminação pública	Coleta de lixo	Pavimentação	Existência de calçadas	Equipamentos de educação	Equipamentos de saúde	Equipamentos de assistência social	Sistema de transporte público
Jardim Independente I	Poço	Fossa	Sim (superficial com bocas coletoras na Via Oeste)	Sim	Sim	Sim	Parcial (asfalto nas principais e bloquete de concreto)	Sim (irregular nas vias pavimentadas)	Sim (Creche)	Não	Não	Não
Jardim Independente II	Poço	Fossa	Sim (nas vias pavimentadas)	Sim	Sim	Sim	Parcial	Irregular nas vias pavimentadas; nas demais vias não há passeio	Sim	Sim	Sim	Sim
Jardim Independente III	Poço	Fossa	Não	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Jardim Primavera	Poço	Fossa	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim (asfalto e bloquete de concreto)	Sim (irregular)	Sim	Não	Não	Não

Tabela D.2 – Características da Infraestrutura nos bairros de Altamira, segundo dados dos trabalhos de campo de 2013 – Continuação.

Bairro	Abastecimento de Água	Esgoto	Drenagem de águas pluviais	Energia elétrica	Iluminação pública	Coleta de lixo	Pavimentação	Existência de calçadas	Equipamentos de educação	Equipamentos de saúde	Equipamentos de assistência social	Sistema de transporte público
Jardim Uirapuru	Poço	Fossa	Sim (Superficial)	Sim	Sim	Sim	Sim (asfalto nas principais e bloquete de concreto nas demais)	Sim	Sim (Escola Municipal SUDAM II e Escola Adventista)	Sim (Posto de Saúde SUDAM II)	Sim (Núcleo de Assistência do Belo Monte)	Não
Liberdade	Poço	Fossa	Não	Sim	Parcial	Sim	Parcial (nas ruas mais próximas à Transamazônica)	Não	Sim	Não		Não
Loteamento Bom Sucesso												

**Tabela D.2 – Características da Infraestrutura nos bairros de Altamira, segundo dados dos trabalhos de campo de 2013 –
Continuação.**

Bairro	Abasteci- mento de Água	Esgoto	Drenagem de águas pluviais	Energia elétrica	Iluminação pública	Coleta de lixo	Pavimen- tação	Existência de calçadas	Equipamen- tos de educação	Equipamen- tos de saúde	Equipamen- tos de assistência social	Sistema de transporte público
Loteamento do Bacana	Poço	Fossa	Não	Clandes- tina	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Loteamento Elvira	Poço	Fossa	Não	Sim	Parcial		Não	Não	Não	Não	Não	
Loteamento Novo												
Loteamento São Francisco	Poço coletivo e rede de coleta	Fossa	Sim	Sim	Sim		Sim	Não	Não	Não	Não	Não

Tabela D.2 – Características da Infraestrutura nos bairros de Altamira, segundo dados dos trabalhos de campo de 2013 – Continuação.

Bairro	Abastecimento de Água	Esgoto	Drenagem de águas pluviais	Energia elétrica	Iluminação pública	Coleta de lixo	Pavimentação	Existência de calçadas	Equipamentos de educação	Equipamentos de saúde	Equipamentos de assistência social	Sistema de transporte público
Mutirão	Poço	Fossa	Sim	Sim	Sim	Sim	Parcial (asfalto)	Sim (irregular)	Sim	Sim (Hospital construído em 2009)	Não	Não
Nova Altamira / São Domingos	Poço	Fossa	Não	Sim	Não	Sim	Não	Não	Sim	Não		Sim
Olarias	Poço	Não	Não	Rede CELPA e clandestina	Parcial		Parcial (a maioria é sem pavimento)	Não	Não	Não	Não	Não
Olarias (estrada para o Aeroporto)	Poço	Não	Não	Clandestina	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não

Tabela D.2 – Características da Infraestrutura nos bairros de Altamira, segundo dados dos trabalhos de campo de 2013 – Continuação.

Bairro	Abastecimento de Água	Esgoto	Drenagem de águas pluviais	Energia elétrica	Iluminação pública	Coleta de lixo	Pavimentação	Existência de calçadas	Equipamentos de educação	Equipamentos de saúde	Equipamentos de assistência social	Sistema de transporte público
Paixão de Cristo	Poço	Fossa	Não	Rede CELPA e clandestina	Não		Não	Não	Não	Não	Não	Não
Parque Ipê	REDE Parcial / Poço	Fossa	Não	Sim	Sim	Sim	Parcial	Sim	2 escolas (EMEIs)	Posto de Saúde	Não	Sim
Premen	Poço	Fossa	Sim (superficial)	Sim	Sim	Sim	Sim (asfalto e bloquete de concreto)	Sim (irregular)	Sim (escolas, creches, centro de educação e capacitação)	Sim (posto de saúde e hospital)	Sim	
Rancho Novo	Poço	Fossa	Não	Clandestina	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Rodovia Ernesto Aciolly	Poço	Não	Não	Sim	Sim		Sim (asfalto)	Parcial	Não	Não	Não	

**Tabela D.2 – Características da Infraestrutura nos bairros de Altamira, segundo dados dos trabalhos de campo de 2013 –
Continuação.**

Bairro	Abasteci- mento de Água	Esgoto	Drenagem de águas pluviais	Energia elétrica	Iluminação pública	Coleta de lixo	Pavimen- tação	Existência de calçadas	Equipamen- tos de educação	Equipamen- tos de saúde	Equipamen- tos de assistência social	Sistema de transporte público
Rua da Peixaria	Poço	Não	Não	Sim	Sim		Sim (asfalto)	Não	Não	Não	Não	Não
Santa Ana	Poço	Fossa	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Não	Não
Santa Benedita	Poço coletivo e rede ou poço individual	Fossa	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim (creche ainda não aberta)	Sim		Sim

Tabela D.2 – Características da Infraestrutura nos bairros de Altamira, segundo dados dos trabalhos de campo de 2013 – Continuação.

Bairro	Abastecimento de Água	Esgoto	Drenagem de águas pluviais	Energia elétrica	Iluminação pública	Coleta de lixo	Pavimentação	Existência de calçadas	Equipamentos de educação	Equipamentos de saúde	Equipamentos de assistência social	Sistema de transporte público
SUDAM I	Rede	Fossa	Sim (superficial e coletora)	Sim	Sim	Sim	Sim (asfalto e bloquete de concreto)	Sim (irregular)	Sim	Sim	Sim	Sim (pela Av. Perimetral)
SUDAM II	Poço	Fossa	Não	Sim	Parcial	Não	Parcial	Irregular nas vias pavimentadas; nas demais vias não há passeio	Sim	Sim		
Terras de Bonanza	Previsto	Previsto	Previsto	Previsto	Previsto	Previsto	Não há previsão	Previsto	Sim (prevista) - Campus da Faculdade de Medicina da UFPA (área doada)			

**Tabela D.2 – Características da Infraestrutura nos bairros de Altamira, segundo dados dos trabalhos de campo de 2013 –
Continuação.**

Bairro	Abasteci- mento de Água	Esgoto	Drenagem de águas pluviais	Energia elétrica	Iluminação pública	Coleta de lixo	Pavimen- tação	Existência de calçadas	Equipamen- tos de educação	Equipamen- tos de saúde	Equipamen- tos de assistência social	Sistema de transporte público
Vista Alegre	Poço	Fossa	Não	Parcial (Rede CELPA e clandes- tina)	Parcial (apenas em uma rua)		Não	Não	Não	Não	Não	Não