



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
FACULDADE DE ENGENHARIA FLORESTAL
Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais e Ambientais

**USO DE GEOTECNOLOGIAS NO MAPEAMENTO DO USO
DA TERRA E ESTUDO DE FITOFISIONOMIAS EM ÁREAS
ÚMIDAS NA REGIÃO DO MÉDIO ARAGUAIA**

RENER RIBEIRO FERNANDES

CUIABÁ-MT
2012

RENER RIBEIRO FERNANDES

**USO DE GEOTECNOLOGIAS NO MAPEAMENTO DO USO
DA TERRA E ESTUDO DE FITOFISIONOMIAS EM ÁREAS
ÚMIDAS NA REGIÃO DO MÉDIO ARAGUAIA**

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Manzon Nunes

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Mato Grosso, como parte das exigências do Curso de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais para obtenção do título de Mestre.

CUIABÁ-MT
2012

FICHA CATALOGRÁFICA

F363u Fernandes, Renner Ribeiro.
Uso de geotecnologias no mapeamento do uso da terra e estudo de fitofisionomias em áreas úmidas na região do Médio Araguaia / Renner Ribeiro Fernandes. – 2012.
xi, 90 f. : il. color.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Manzon Nunes.
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Engenharia Florestal, Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, 2012.

Inclui bibliografia.

1. Médio Araguaia – Uso da terra – Mapeamento. 2. Fitofisionomias – Planície de inundação. 3. Floresta inundável – Sensoriamento remoto. 4. Fitofisionomias – Áreas úmidas – Médio Araguaia. I. Título.

CDU – 504.064.3:528.8

Ficha elaborada por: Rosângela Aparecida Vicente Söhn – CRB-1/931

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
FACULDADE DE ENGENHARIA FLORESTAL
Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais e Ambientais

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: Uso de geotecnologias no mapeamento do uso da terra o estudo de fitofisionomias em áreas úmidas na região do Médio Araguaia

Autor: Rener Ribeiro Fernandes

Orientador: Gustavo Manzon Nunes

APROVADA EM: 24 de Fevereiro de 2012

Comissão examinadora:



Dr. Thiago Sanna Freire Silva
DSR/INPE



Prof. Drª. Cátia Nunes da Cunha
PPGECB/IB/UFMT



Prof. Dr. Gustavo Manzon Nunes
Orientador- PPGCFA/FENF/UFMT

DEDICATÓRIA

A minha mãe Alzira Campos da Silva e meu pai Aparecido Ribeiro Fernandes pelo amor a mim dedicado. Em especial a minha mãe, que no início de minha caminhada acadêmica (primário) e mesmo com pouca instrução me ensinou as primeiras letras do alfabeto, com as quais formei sílabas, palavras, depois frases, fui estudando, articulando idéias, me formei Técnico, depois Engenheiro e agora estou entregando minha dissertação para obtenção do Título de Mestre.

As minhas irmãs Clarice, Renata e Simone, meus irmãos Rafael e Edmilson, meus sobrinhos (as) Maria Paula, Gabriel, Nathan e Náthália, que constituem a família que tanto amo.

A minha namorada Flaviane Amorim, que sempre esteve ao meu lado me dando carinho e forças durante todos esses anos e com muita paciência soube entender minhas ausências.

Ao meu grande amigo e mestre da agrimensura Francisco Amâncio da Costa por todos os ensinamentos a mim repassados e pela confiança em mim depositada durante todos esses anos.

DEDICO!

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Mato Grosso e à Faculdade de Engenharia Florestal, pela oportunidade e apoio para a conclusão do curso de Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais.

Ao professor Dr. Gustavo Manzon Nunes, pela orientação nesse trabalho, pela confiança e afeto que demonstrou nos decorrer dos anos de Graduação e Pós-Graduação e por me abrir as portas para o estudo das geotecnologias.

À CAPES, pela bolsa de estudos concedida.

Ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Áreas Úmidas (INAU) - Programa Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia - CNPq/MCT pelo apoio financeiro para realização do presente trabalho.

Ao Doutorando Ibraim Fantin do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – IPH/UFRGS, grande amigo e parceiro, pela colaboração na realização desse trabalho.

Ao Dr. Thiago Sanna Freire Silva do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, por toda a atenção a mim concebida e pelas sugestões sempre pertinentes que me auxiliaram no desenvolvimento desse trabalho.

A professora Dr^a. Cátia Nunes da Cunha por todas as sugestões feitas e por fazer parte da banca examinadora.

Aos meus grandes amigos Allan Libanio Pelissari (quero ser igual a você quando crescer Allan!), professor Cyro Matheus Cometti Favalessa, Gela (vulgo Engenheiro Luciano Lanssanova) e Marcelo Dias de Souza (Dr. MDS) por estarem presentes nos momentos de alegria e descontração no decorrer dos anos do curso de Pós Graduação.

Aos meus camaradas Andrielson, Robério e Adailton por toda parceria estabelecida durante esses anos e aprendizados relacionados à geomensura.

Aos amigos do Laboratório de Sensoriamento Remoto e Geotecnologias Fred, Dennis e Ítalo pelas inúmeras discussões nos estudos

relacionados às geotecnologias.

Aos amigos do PPGCFA/UFMT: Joilson (Tico), Luis Thiago (Gueller), Dayane, Douglas, Fabrícia, Cibele, Flávia, Aline e Rejane pelo companheirismo e experiências compartilhadas.

Aos professores do PPGCFA/UFMT que contribuíram para minha formação e obtenção desse título: Sidney Fernando Caldeira, Roberto Antônio Ticle de Melo e Sousa, Joadil Gonçalves de Abreu, Ronaldo Drescher, Maria Corette Pasa, Sidney Vieira, Alberto Dorval, Otávio Peres Filho e Diego Martinez.

Muito obrigado!!!

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO GERAL..... | 1 |
| 2. REFERENCIAL TEÓRICO..... | 3 |
| 2.1. A PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO DO ARAGUAIA | 3 |
| 2.2. FITOFISIONOMIAS DA REGIÃO DO MÉDIO ARAGUAIA | 5 |
| 2.2.1. Campos de Murundus (Varjões)..... | 6 |
| 2.2.2. Cerrado stricto sensu ou sentido restrito (Cerrado típico) | 7 |
| 2.2.2. Cerradão | 8 |
| 2.2.4. Matas de Galeria | 9 |
| 2.2.5. Floresta Inundável (Ipucas)..... | 10 |
| 2.3. BASE DE DADOS | 11 |
| 2.3.1. O Sistema Sensor TM Landsat | 11 |
| 2.3.2. Modelo Digital de Elevação SRTM (<i>Shuttle Radar Topographic Mission</i>).... | 13 |
| 2.4. PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS | 15 |
| 2.4.1. Pré-processamento | 15 |
| 2.4.2. Técnicas de Realce de Imagens | 16 |
| 2.4.3. Técnicas de Classificação | 17 |
| 2.4.3.1. Classificação orientada a objetos..... | 18 |
| 2.4.3.2. Classificação <i>Support Vector Machine</i> (SVM)..... | 19 |
| 2.4.4. Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI) | 21 |
| 2.4.5. Índice de Diferença Normalizada da Água Modificado (MNDWI) | 22 |
| 3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 25 |
| CAPITULO I..... | 32 |
| CLASSIFICAÇÃO ORIENTADA A OBJETOS APLICADA NA | |
| CARACTERIZAÇÃO DO USO E COBERTURA DA..... | 32 |
| TERRA NA REGIÃO DO MÉDIO ARAGUAIA | 32 |
| RESUMO..... | 32 |
| CHAPTER I..... | 33 |
| OBJECT-ORIENTED CLASSIFICATION APPLIED TO THE | |
| CHARACTERIZATION OF USE AND LAND COVER IN THE REGION OF THE | |
| MIDDLE ARAGUAIA | 33 |
| ABSTRACT..... | 33 |
| 1. INTRODUÇÃO | 34 |
| 2. MATERIAL E MÉTODOS..... | 37 |
| 2.1. ÁREA DE ESTUDO..... | 38 |
| 2.2. DEFINIÇÃO DAS CLASSES PARA O MAPEAMENTO | 40 |
| 2.3. BASE DE DADOS..... | 41 |
| 2.4. ANÁLISE E PROCESSAMENTO DOS DADOS..... | 41 |
| 2.4.1. Pré-processamento | 41 |

| | |
|---|-----------|
| 2.4.2. Matemática de Bandas (MNDWI e NDVI) | 42 |
| 2.4.3. Classificação Orientada a Objetos | 42 |
| 2.4.3.1. Segmentação | 42 |
| 2.4.3.2. Classificação | 43 |
| 2.5. VALIDAÇÃO DO MAPEAMENTO | 45 |
| 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 46 |
| 3.1. MATEMÁTICA DE BANDAS ESPECTRAIS..... | 46 |
| 3.2. TESTES DE SEGMENTAÇÃO..... | 47 |
| 3.3. CLASSIFICAÇÃO ORIENTADA A OBJETOS..... | 48 |
| 3.4. VALIDAÇÃO DO MAPEAMENTO | 50 |
| 4. CONCLUSÕES | 54 |
| 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 55 |
| CAPITULO II..... | 59 |
| USO DE GEOTECNOLOGIAS NA ANÁLISE DA OCORRÊNCIA DE UNIDADES FITOFISIONÔMICAS NA REGIÃO DO MÉDIO ARAGUAIA..... | 59 |
| RESUMO..... | 59 |
| CHAPTER II..... | 60 |
| USE OF GEOTECHNOLOGY IN THE ANALYSIS OF THE OCCURRENCE OF PHYTOPHYSIOGNOMIC UNITS IN THE REGION | 60 |
| OF THE MIDDLE ARAGUAIA | 60 |
| ABSTRACT..... | 60 |
| 1. INTRODUÇÃO | 61 |
| 2. MATERIAL E MÉTODOS..... | 63 |
| 2.1. ÁREA DE ESTUDO..... | 64 |
| 2.2. BASE DE DADOS | 64 |
| 2.3. PRÉ-PROCESSAMENTO DOS DADOS..... | 65 |
| 2.3.1. Matemática de Bandas Espectrais MNDWI e NDVI | 65 |
| 2.4. MAPEAMENTO DE UNIDADES FITOFISIONÔMICAS | 66 |
| 2.5. MAPEAMENTO DE ÁREAS INUNDÁVEIS | 68 |
| 2.6. MAPEAMENTO DAS CLASSES DE ALTITUDE E DECLIVIDADE..... | 69 |
| 2.7. VALIDAÇÃO E ANÁLISE DAS RELAÇÕES ESPACIAIS..... | 70 |
| 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 72 |
| 3.1. MAPEAMENTO DAS UNIDADES FITOFISIONÔMICAS | 72 |
| 3.2. MAPEAMENTO DAS CLASSES DE ALTITUDE..... | 73 |
| 3.3. MAPEAMENTO DAS CLASSES DE DECLIVIDADE | 74 |
| 3.4. MAPEAMENTO DAS ÁREAS INUNDÁVEIS..... | 75 |
| 3.5. RELAÇÃO ENTRE AS UNIDADES FITOFISIONÔMICAS, ALTITUDE, DECLIVIDADE E INUNDAÇÃO..... | 76 |

| | |
|--|-----------|
| 4. CONCLUSÕES | 84 |
| 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 85 |
| 4. CONCLUSÕES GERAIS | 90 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| FIGURA 1 - BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ARAGUAIA | 5 |
| FIGURA 2- CAMPO DE MURUNDUS (VARJÕES) LOCALIZADOS NA PLANÍCIE DO ARAGUAIA (FOTO: GUSTAVO NUNES)..... | 6 |
| FIGURA 3 - ESQUEMA GERAL DE UM VARJÃO TÍPICO..... | 7 |
| FIGURA 4- FLORESTAS DE IPUCAS. (A) VISTA EXTERNA; (B) VISTA INTERNA. (FOTOS: GUSTAVO NUNES / BEN HUR MARIMON JUNIOR) | 11 |
| FIGURA 5 – CONFIGURAÇÃO DAS ANTENAS A BORDO DO ENDEAVOUR PARA A MISSÃO SRTM. FONTE: RABUS et al. (2003)..... | 14 |
| FIGURA 6 – ESQUEMA DE CLASSIFICAÇÃO <i>SUPPORT VECTOR MACHINE</i> . FONTE: ADAPTADO DE BURGESS (1998). | 20 |
| FIGURA 7 - FLUXOGRAMA REPRESENTATIVO DAS ETAPAS DE TRABALHO DESENVOLVIDAS..... | 37 |
| FIGURA 8 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO | 38 |
| FIGURA 9 - MÉDIA ANUAL DE FLUTUAÇÃO DO NÍVEL DE ÁGUA (1971-2010) E PRECIPITAÇÃO (1969-1998) DO RIO ARAGUAIA EM SÃO FÉLIX DO ARAGUAIA. FONTE: ANA (2011). | 39 |
| FIGURA 10 - SEQUÊNCIA DOS ALGORÍTMOS E DESCRITORES UTILIZADOS NO PROCESSO DE CLASSIFICAÇÃO | 44 |
| FIGURA 11 - (A) RESULTADOS OBTIDOS PELO ÍNDICE MNDWI. (B) - DETALHE DAS UNIDADES DE VEGETAÇÃO NA IMAGEM NDVI: (A) MATAS DE GALERIA; (B) CERRADO; (C) VARJÃO; (D) IPUCAS E (E) USO ANTRÓPICO..... | 47 |
| FIGURA 12 - RESULTADOS OBTIDOS DE ACORDO COM OS PARÂMETROS DE ESCALA APLICADOS NOS TESTES DE SEGMENTAÇÃO: 250 (A); 200 (B); 150 (C); 100 (D), 50 (E) E 30 (F)..... | 47 |
| FIGURA 13 - MAPA DE USO E COBERTURA DA TERRA RESULTANTE DO PROCESSO DE CLASSIFICAÇÃO ORIENTADA A OBJETOS..... | 49 |
| FIGURA 14 - FLUXOGRAMA APRESENTANDO AS ETAPAS DE PROCESSAMENTO E ANÁLISES DOS DADOS | 63 |
| FIGURA 15 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO | 64 |

| | |
|--|----|
| FIGURA 16 - HIDROGRAMA DO RIO ARAGUAIA EM SÃO FÉLIX DO ARAGUAIA. (A) DATA DE MAIOR CHEIA; (B) DATA DE MAIOR SECA | 66 |
| FIGURA 17 - ESQUEMA DA SOBREPOSIÇÃO TOPOLÓGICA DE CORTE NA OBTENÇÃO DO MAPA DE ÁREAS INUNDÁVEIS..... | 69 |
| FIGURA 18 - MAPEAMENTO DAS UNIDADES FITOFISIONÔMICAS | 72 |
| FIGURA 19 - MAPEAMENTO DAS CLASSES DE ALTITUDE | 74 |
| FIGURA 20 - MAPEAMENTO DAS CLASSES DE DECLIVIDADE..... | 75 |
| FIGURA 21 - MAPEAMENTO DAS ÁREAS INUNDÁVEIS..... | 76 |
| FIGURA 22 - OCORRÊNCIA DAS UNIDADES FITOFISIONÔMICAS PARA AS CLASSES DE ALTITUDE..... | 77 |
| FIGURA 23 - OCORRÊNCIA DAS UNIDADES FITOFISIONÔMICAS PARA AS CLASSES DE DECLIVIDADE | 78 |
| FIGURA 24 - OCORRÊNCIA DAS UNIDADES FITOFISIONÔMICAS EM RELAÇÃO ÀS ÁREAS INUNDÁVEIS | 79 |
| FIGURA 25 - VARJÕES LOCALIZADOS NA PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO. (FOTO: GUSTAVO NUNES) | 79 |
| FIGURA 26 - PERFIL ESQUEMÁTICO PARA A PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO DO MÉDIO ARAGUAIA. A LINHA TRACEJADA REPRESENTA A ALTURA DA INUNDAÇÃO..... | 80 |

1. INTRODUÇÃO GERAL

O Rio Araguaia faz parte da bacia hidrográfica do Araguaia-Tocantins considerada um dos sistemas fluviais de grande importância da América do Sul. Sua área de drenagem inclui duas das maiores regiões fitogeográficas que concentram boa parte da biodiversidade do planeta: a floresta amazônica ao norte e o cerrado brasileiro ao sul (VIEIRA, 2008). Na região do Médio Araguaia encontra-se localizada a Ilha do Bananal, a maior ilha fluvial de mundo, considerada como uma das áreas prioritárias para conservação para o poder público, possuindo um sistema hidrológico que mantém uma grande biodiversidade e dá suporte a um dos mais importantes corredores ecológicos do país (LATRUBESSE e STEVAUX, 2002; AQUINO et al., 2005).

Pesquisas que ofereçam informações confiáveis sobre o mapeamento do uso da terra e o estudo de fatores que influenciam a ocorrência das unidades fitofisionômicas na região do Araguaia ainda são escassas.

O mapeamento do uso da terra é fundamental para direcionar o planejamento e a definição de prioridades por parte do poder público e privado envolvidos na gestão dos recursos naturais (PEREIRA, 1994; BASSEGIO et al., 2006). O estudo de variáveis que influenciam a ocorrência de fitofisionomias fornece suporte como indicador das condições ambientais, das questões relativas ao manejo das paisagens, dos recursos naturais e quanto à definição de habitats de animais silvestres.

Moreira (2011) relata que a utilização das geotecnologias é uma forma eficiente para o estudo desses recursos naturais, como o uso de técnicas de processamento digital de imagens de sensoriamento remoto e de ferramentas poderosas para a realização de operações espaciais, tais como os Sistemas de Informações Geográficas.

Os dados provenientes de sensores remotos constituem ferramentas ideais para organizar informações, planejar ações futuras e criar cenários distintos para análise dos diferentes aspectos da conservação (NUNES, 2008).

As áreas úmidas da bacia do Rio Araguaia constituem uma das áreas com prioridade de pesquisa por parte do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Áreas Úmidas – INAU, através de sua delimitação e caracterização na paisagem. Esta dissertação intitulada “Uso de geotecnologias no mapeamento do uso da terra e estudo de fitofisionomias em áreas úmidas na região do Médio Araguaia” está enquadrada no Projeto 1.03 - Sensoriamento remoto aplicado no mapeamento, análise, classificação e caracterização de áreas úmidas na região do Araguaia-Ilha do Bananal – do INAU. Todos esses trabalhos vem sendo executados pelo Laboratório de Sensoriamento Remoto e Geotecnologias da Faculdade de Engenharia Florestal na Universidade Federal de Mato Grosso.

Considerando a importância de identificar e caracterizar as áreas úmidas na região do Médio Araguaia, e se obter produtos e resultados que permitam o melhor entendimento desse ecossistema e, assim, subsidiar políticas públicas, o objetivo principal dessa pesquisa consiste em realizar o mapeamento do uso da terra e analisar as variáveis que influenciam a ocorrência das unidades fitofisionômicas em um trecho de rio na planície de inundação do Médio Rio Araguaia, por meio de técnicas avançadas de processamento digital de imagens de sensoriamento remoto e análises em Sistemas de Informações Geográficas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. A PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO DO ARAGUAIA

De acordo com Vieira (2008) planície de inundação é um termo utilizado para caracterizar ambientes que apresentam de forma geral, um rio principal cujas águas extravasam periodicamente do canal principal e inundam uma grande variedade de ambientes terrestres e aquáticos (ambientes lênticos).

Uma das mais importantes planícies de inundação brasileira é a do Rio Araguaia. A bacia do Araguaia abrange uma área de drenagem de aproximadamente 386.000 km² localizada inteiramente em território nacional. A precipitação total anual média é de 1.700 mm e a vazão média do Rio Araguaia é de 5.500 m³/s (AQUINO et al., 2005). Sua extensão é de 2.110 km e pode ser dividida em três unidades: Alto, Médio e Baixo Araguaia (LATRUBESSE e STEVAUX, 2002).

Segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, o clima regional é Aw (tropical de verão úmido e período de estiagem no inverno) e, em geral, os valores máximos de vazão ocorrem entre os meses de novembro e abril (LATRUBESSE e STEVAUX, 2002).

O Rio Araguaia é considerado o principal afluente do Rio Tocantins. Os principais afluentes do Rio Araguaia são pela margem direita, os rios: Babilônia, Diamantino, do Peixe, Caiapó, Claro, Vermelho, Crixás-Açu e Formoso; pela margem esquerda, o Rio Cristalino e o Rio das Mortes, que é o seu tributário mais importante (MORAIS, 2002).

Três unidades geomorfológicas compõem o quadro regional: os Patamares do Interflúvio Araguaia-Tocantins, a Depressão do Araguaia e a Planície do Bananal. Localmente, a drenagem tem origem nos Patamares do Interflúvio Araguaia-Tocantins, tanto no Rio Urubu quanto no Rio Dueré, importantes afluentes do Rio Formoso, que se constituem em enxutório dos sedimentos que vão se acumulando na Planície do Bananal, após passarem por estreita superfície rampeada, representada pela Depressão do Araguaia (RADAMBRASIL, 1981).

O Departamento Nacional de Portos e Vias Navegáveis – DNPVN estabeleceu uma primeira divisão para o Rio Araguaia, levando

em consideração aspectos referentes à navegação. Latrubesse e Stevaux (2002) propuseram uma modificação dessa divisão utilizando critérios geomorfológicos, o qual fica estabelecido que a Bacia do Araguaia possa ser dividida em três unidades: alto, médio e baixo Araguaia.

O Alto Araguaia estende-se por 450 km desde a nascente até a cidade de Registro do Araguaia (MT), com uma área de drenagem de 36.400 Km² (MORAIS, 2006).

O Médio Araguaia estende-se por 1.160 Km desde Registro do Araguaia (GO) até Conceição do Araguaia (PA) com uma área de drenagem de 320.290 Km². Esse trecho apresenta planície aluvial bem desenvolvida destacando sedimentos cenozóicos terciários e quaternários (MORAIS, 2006).

Nesse contexto, destaca-se a Planície de inundação do Bananal, uma importante unidade geomorfológica e sedimentar. Esta extensa planície torna-se sazonalmente inundada durante a estação chuvosa, cujo represamento das águas pluviais possivelmente seja condicionado por uma rede de drenagem mal desenvolvida decorrente do baixo gradiente topográfico da área (MORAIS et al., 2005).

A Ilha do Bananal origina-se da bifurcação do canal do Rio Araguaia. O canal secundário recebe o nome de Braço Menor do Rio Araguaia ou Rio Javaés. Ao se bifurcar o rio muda sua direção para o sentido SE – NW. A faixa aluvial neste trecho é estreita, e o rio apresenta 32 meandros alternados com trechos retilíneos. A direção SW – NE é retomada na foz do Rio Cristalino com o Rio Araguaia (MORAIS, 2002).

Os estudos apresentados nessa dissertação foram desenvolvidos em um trecho de rio na planície de inundação do Médio Rio Araguaia. Possui uma área de 194.000 ha localizada entre o município de São Félix do Araguaia e a Ilha do Bananal (Figura 1).

O Baixo curso do Rio Araguaia inicia-se depois da planície do Bananal. Próximo a Conceição do Araguaia. Nesse trecho o Rio entra em área de rochas cristalinas pré-cambrianas e percorre 500 km até a sua confluência com o Rio Tocantins. A planície aluvial praticamente desaparece neste setor. Pequenas cachoeiras e ilhas estão presentes, e o controle estrutural é muito intenso (LATRUBESSE e STEVAUX, 2002).



FIGURA 1 - BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ARAGUAIA

2.2. FITOFISIONOMIAS DA REGIÃO DO MÉDIO ARAGUAIA

A área de estudo da presente dissertação encontra-se situada na região do Médio Araguaia, entre o município de São Félix do Araguaia no estado de Mato Grosso e a Ilha do Bananal no estado do Tocantins. Está inserida no bioma Cerrado e sua paisagem é caracterizada por extensas áreas de Campos de Murundus (Varjão), também manchas de Cerrado típico, Cerradão, Matas de Galeria nas margens dos rios e as Florestas Inundáveis (Ipucas) constituindo fragmentos dispersos pela extensa planície de inundação.

2.2.1. Campos de Murundus (Varjões)

Os primeiros registros sobre a ocorrência, na porção nordeste do estado de Mato Grosso, de extensas áreas de campos pontilhados por pequenas ilhas ou morrotes de terra cobertos com vegetação de cerrado foram feitos por Askew et al. (1970). Essas formações são denominadas pelos moradores da região do Araguaia de Varjão. Entretanto no meio científico, nas literaturas referentes a outras localidades do território brasileiro, elas também são denominadas de Campos de Murundus (MARIMON et al., 2008).

Os Campos de Murundus foram classificados por Oliveira-Filho e Furley (1990) basicamente em três grupos: murundus formados por processos abióticos (solo e água), por processos bióticos (atividade de cupins) e ambos. Nunes da Cunha (1990) e Ponce & Cunha (1993) distinguiram dois tipos: a) os murundus, de menor tamanho, que formariam os “murundus do pantanal”, a partir da ação de fatores bióticos e abióticos; b) os capões, de tamanho bem maior, formados basicamente pela ação do escoamento superficial da água e de uma erosão diferencial.

Na região da Planície do Araguaia, os campos de murundus localizam-se em regiões de extensa planície de inundação, caracterizadas por um relevo plano (Figura 2).



FIGURA 2– CAMPO DE MURUNDUS (VARJÕES) LOCALIZADOS NA PLANÍCIE DO ARAGUAIA (FOTO: GUSTAVO NUNES)

A textura dos solos nas áreas de campo de murundus varia de areno-argilosa a argilosa. Praticamente, todos os murundus na região do Médio Araguaia apresentam um cupinzeiro associado e estão distribuídos em um campo limpo com vegetação predominantemente de gramíneas (Figura 3). No período das chuvas, as áreas de vegetação graminosa e herbácea são cobertas por uma lâmina d'água de altura variável. Já os murundus, cobertos por vegetação arbustivo-arbórea de cerrado, não são atingidos pela água (MARIMON et al., 2008; MARTINS, 2004; RIBEIRO E WALTER, 1998).



FIGURA 3 - ESQUEMA GERAL DE UM VARJÃO TÍPICO.
FONTE: ADAPTADO DE MARIMON et al. (2008).

Ponce e Cunha (1993) relatam que qualquer irregularidade no terreno, independentemente de sua origem, pode determinar uma diferença na elevação e proporcionar um ambiente mais adequado para que espécies vegetais do cerrado se estabeleçam em um campo úmido.

2.2.2. Cerrado stricto sensu ou sentido restrito (Cerrado típico)

As áreas cobertas com cerrado típico, localmente chamadas de capão de cerrado, encontram-se em locais de relevo mais elevado e dificilmente sofrem inundações no período das chuvas. O solo é profundo, bem drenado, ácido e pobre em nutrientes (MARIMON et al. 2008). De acordo com Eiten (1976) esta fitofisionomia ocupa 70% da área total do

bioma Cerrado.

Ribeiro e Walter (1998) caracterizam o cerrado sentido restrito pela presença de árvores baixas, inclinadas e tortuosas, com ramificações irregulares e retorcidas. Os arbustos e sub-arbustos encontram-se espalhados; algumas espécies podem apresentar estruturas subterrâneas perenes (xilopódios), que permitem a rebrota, principalmente após as queimadas. As plantas geralmente apresentam casca com cortiça grossa, fendida ou sulcada, com folhas em geral rígidas e coriáceas.

O cerrado sentido restrito subdivide-se ainda em: cerrado denso, cerrado ralo. As duas primeiras fitofisionomias refletem variações na forma dos agrupamentos e espaçamentos entre os indivíduos lenhosos, seguindo um gradiente decrescente do cerrado denso ao cerrado ralo. (RIBEIRO e WALTER, 1998).

As espécies arbóreas mais características desta formação são: *Acosmium dasycarpum* (amargosinha), *Annona crassiflora* (araticum), *Astronium fraxinifolium* (gonçalo-alves), *Bowdichia virgilioides* (sucupira-preta), *Byrsonima coccolibifolia* e *B. verbascifolia* (murici), *Caryocar brasiliense* (pequi), *Curatella americana* (lixreira), *Dimorphandra mollis* (faveiro), *Hancornia speciosa* (mangaba), *Hymenaea stigonocarpa* (jatobá-do-cerrado), *Qualea grandiflora*, *Q. multiflora* (pau-terra-liso) e *Q. parviflora* (pau-terra-roxo) (ALMEIDA et al., 1998).

2.2.2. Cerradão

O Cerradão é uma fisionomia florestal com aspectos xeromórficos, com árvores tortuosas e de ramificação irregular. É composto por três estratos: o estrato arbóreo (denso, em geral entre 8 e 15 metros de altura), o estrato arbustivo (nítido e não raro denso) e o herbáceo constituído por poucas gramíneas. Embora possam ser perenifólias, muitas árvores apresentam-se caducifólias em determinados períodos na estação seca (RIBEIRO e WALTER, 1998).

Ratter et al. (2003) relatam que esta formação se desenvolve em solos profundos, ligeiramente ácidos, pertencentes à classe dos latossolos. De acordo com a fertilidade do solo, o Cerradão pode ser

classificado como Cerradão distrófico (solos pobres) ou Cerradão Mesofrótico (solos mais ricos, ainda que de fertilidade mediana), cada qual possuindo espécies características adaptadas a esses ambientes.

Na região do Araguaia as áreas de Cerradão podem ser observadas em locais próximos aos rios de grande porte (das Mortes e Araguaia). Nestes locais os pequizeiros (*Caryocar* spp.) formam árvores de grande envergadura e o fruto é muito apreciado pelos moradores locais (MARIMON et al., 2008).

2.2.4. Matas de Galeria

Ribeiro e Walter (2001) definem mata de galeria como a vegetação florestal que acompanha os riachos de pequeno porte e córregos, formando corredores fechados sobre o curso d'água (as galerias). Geralmente, encontram-se encravadas no fundo de vales ou nas cabeceiras de drenagem onde os cursos d'água ainda não escavaram o canal definitivo (RIBEIRO et al., 1983; RIBEIRO e WALTER 1998). A fisionomia quase sempre é circundada por faixas de vegetação não florestal em ambas as margens, havendo uma transição brusca com as formações savânicas e/ou campestres (RIBEIRO e WALTER, 2001).

Essas matas são catalizadoras e mantenedoras da diversidade de espécies, desempenhando importante papel como refúgio natural da abundante fauna do Cerrado durante a estação seca, quando o abrigo, umidade e alimento são escassos nas formações savânicas e campestres. Funcionam como corredores entre reservas, contribuindo para aumentar o seu tamanho efetivo por favorecer o fluxo gênico entre indivíduos da flora e a dispersão de espécies florestais (DIAS, 1992).

Dentre as fitofisionomias do Cerrado, as matas de galeria são as que possuem maior complexidade estrutural e maior biodiversidade proporcional à área que ocupam (cerca de 5% do bioma) (FELFILI, 2005; MENDONÇA et al., 1998). Formam uma rede que parece conectar as florestas Amazônica e Atlântica no sentido noroeste-sudeste, atravessando o Cerrado como se fossem corredores de migração de espécies (RIZZINI, 1979; OLIVEIRA-FILHO e RATTER, 1995).

2.2.5. Floresta Inundável (Ipucas)

No Brasil Central ocorre uma vasta paisagem da depressão inundável do Médio Rio Araguaia, dominada por cerrados e campos hidromórficos. Nessa depressão, ilhas florestais, denominadas regionalmente Ipucas ou Impucas constituem uma das mais interessantes e peculiares formações florestais brasileiras, sendo formadas por fragmentos florestais descontínuos e brejosos, como ilhas de florestas de ocorrência natural em meio aos campos de murundus (SCHAEFER et al., 2009).

Em geral, esta é a primeira fitofisionomia a encharcar na época das chuvas e a última a secar na época seca. São florestas aluviais que representam importantes elementos na drenagem desta planície de inundação, pois estabelecem a ligação entre os rios, lagos e córregos da região (MARTINS et al., 2006).

Schaefer et al. (2009) afirmam que estas formações florestais inundáveis têm estrutura florística peculiar, aparecendo espécies vicariantes do baixo Amazonas e dos rios Xingu e Araguaia. Assim, suas principais características florísticas variam de acordo com sua posição geográfica em que se insere a formação aluvial. A fitofisionomia das Ipucas aparece em forma de pequenas manchas circulares ou ovaladas em meio às paisagens da planície do Médio Araguaia (Figura 4).

Marimon et al. (2008) relatam que o solo das Ipucas é mal drenado e coberto com espessa camada de material vegetal seco e em decomposição (serapilheira). Dentre as principais espécies que ocorrem nestas florestas aluviais destacam-se o *Calophyllum brasiliense* (landi ou guanandi), *Vochysia divergens* (cajerana ou cambará), *Acosmium nitens* (piranheira), *Sclerolobium froesii* (carvoeiro), *Licania kunthiana* e *Licania apetala*.

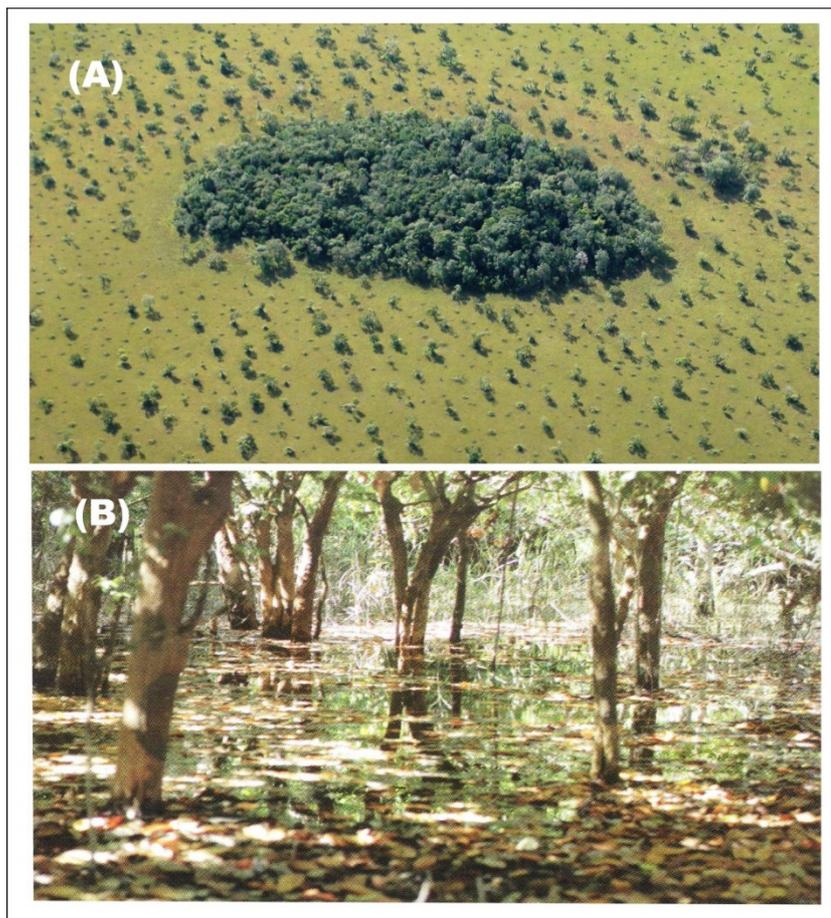


FIGURA 4– FLORESTAS DE IPUCAS. (A) VISTA EXTERNA; (B) VISTA INTERNA. (FOTOS: GUSTAVO NUNES / BEN HUR MARIMON JUNIOR)

2.3. BASE DE DADOS

2.3.1. O Sistema Sensor TM Landsat

O Programa Landsat constitui-se em uma série de satélites desenvolvidos e lançados pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) que em 1967 iniciou o referido programa, sendo que o primeiro satélite da série recebeu inicialmente o nome de ERST-1 (*Earth Resources Technology Satellite – 1*) passando a ser chamado Landsat em janeiro de 1975 (NOVO, 2010; JENSEN, 2009).

Esse programa resultou no lançamento de sete satélites com uma diversidade de sistemas de sensoriamento remoto construídos para adquirir informações dos recursos terrestres (JENSEN, 2009). Os três primeiros satélites fazem parte da primeira geração, tendo como principais sensores, o MSS (*Multispectral Scanner System*) e o RBV (*Return Beam Vidicon*). Em razão de problemas técnicos no RBV, e da superioridade

técnica do instrumento MSS do ponto de vista espectral e radiométrico, o RBV foi muito pouco utilizado. A segunda geração de satélites da série Landsat é composta de outro sensor, o TM (*Thematic Mapper*), sendo mantido o MSS com algumas modificações (MOREIRA, 2011; NOVO 2010). Porém o sensor MSS foi desligado em agosto de 1995, por razões técnicas.

Em 1972, o primeiro satélite da série entrou em operação e em 1999 ocorreu a última atualização, com o lançamento do Landsat 7, que ainda opera, produzindo as imagens SLC-off (MOREIRA, 2011).

O satélite Landsat 5, que leva a bordo os sensores MSS e TM, que contribui para o mapeamento temático da superfície terrestre. Atualmente ele encontra-se fora de operação e está sob observação. A órbita do satélite Landsat 5 é de aproximadamente 98° de inclinação, posicionando-se de forma hélio-síncrona e girando em órbita da Terra a uma altitude de 705 km. Passa sobre uma mesma área da superfície terrestre (resolução temporal) a cada 16 dias e cada imagem cobre uma área de 185 por 185 km (FLORENZANO, 2002).

No Quadro 1 a seguir são apresentados as principais características do sensor TM Landsat 5 e suas aplicações no estudo da vegetação.

QUADRO 1 – CARACTERÍSTICAS DO SENSOR TM-LANDSAT5.

| Banda | Intervalo (µm) | Região do Espectro | Resolução Espacial (m) | Principais Aplicações |
|-------|----------------|--------------------|------------------------|---|
| 1 | 0,45–0,52 | Azul | 30 | Diferenciação solo/vegetação em virtude da absorção de pigmentos das plantas nessa região do espectro/ diferenciação entre espécies decíduas e coníferas. |
| 2 | 0,52–0,60 | Verde | 30 | Permite diferenciar o vigor da vegetação pela maior sensibilidade à reflectância no verde. |
| 3 | 0,63–0,69 | Vermelho | 30 | Diferenciação de espécies de plantas em função da presença de pigmentos da clorofila. Também permite |

| | | | | |
|---|-----------|-----------------------|-----|--|
| | | | | discriminar solo exposto e vegetação. |
| 4 | 0,76–0,90 | Infravermelho Próximo | 30 | Permite avaliar a biomassa da cobertura vegetal, e também mapear corpos d'água devido ao contraste entre a alta reflectância da vegetação no infravermelho e a alta absorção dessa faixa pelas superfícies líquidas. |
| 5 | 1,55–1,75 | Infravermelho Médio | 30 | Permite detectar a umidade da cobertura vegetal, pois essa região do espectro é sensível à presença de água no tecido foliar. |
| 6 | 10,4–12,5 | Infravermelho Termal | 120 | Permite avaliar diferenças de temperatura entre alvos da superfície. |
| 7 | 2,08–2,35 | Infravermelho Médio | 30 | Útil para identificação de áreas sujeitas a alterações hidrotermais. |

FONTE: ADAPTADO DE NOVO (2010).

2.3.2. Modelo Digital de Elevação SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission)

A missão SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) foi um projeto internacional que advém da cooperação entre a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e a NIMA (*National Imagery and Mapping Agency*), o USDD (*United States Department of Defense*) dos Estados Unidos, a DRL (*Deutsche Zentrum für Luft-und Raumfahrt*) da Alemanha e a ASI (*Agenzia Spaziale Italiana*) da Itália (VALERIANO 2004; COSTA, 2008) com o objetivo de gerar um MDE (Modelo Digital de Elevação) de quase toda a terra.

A nave espacial *Endeavour* sobrevoou aproximadamente 80% da superfície terrestre (região contida entre as latitudes 56°S e 60°N) durante 11 dias do mês de fevereiro de 2000 (DEBIASI, 2008). A missão usou o mesmo instrumento utilizado em 1994 no programa *Spaceborne Imaging Radar - C/X - Band Synthetic Aperture Radar* (SIR-C/X-SAR),

porém o arranjo foi projetado para coletar medidas tridimensionais da superfície terrestre através de interferometria. A interferometria é baseada na análise da fase do sinal do radar recebida por duas antenas localizadas em diferentes posições do espaço. Para tanto, a nave foi munida de um mastro de 60m, em cuja extremidade foram instaladas antenas para as bandas C e X (Figura 5), além de melhorados os dispositivos de controle e navegação (DEBIASI, 2008; VALERIANO, 2004).

Do total de dados SRTM, os dados da banda C foram processados pela NASA e os dados da banda X pela DLR na Alemanha e apesar de obtidos com resolução espacial de 1 segundo de arco (aproximadamente 30 m no equador), estão disponíveis com este nível de detalhe apenas para a área dos Estados Unidos. Para os outros países, houve uma reamostragem dos dados para 3 segundos de arco (aproximadamente 90 m) de resolução espacial (GROHMANN et al., 2008; VALERIANO, 2004). O produto final possui precisão vertical global de ± 16 m e horizontal de ± 20 m (RABUS et al., 2003). Para a América do Sul, a precisão vertical é de 6,2 m e a horizontal de 9,0 m (RODRIGUEZ et al., 2006). O produto é georreferenciado ao datum WGS84 em coordenadas geográficas.

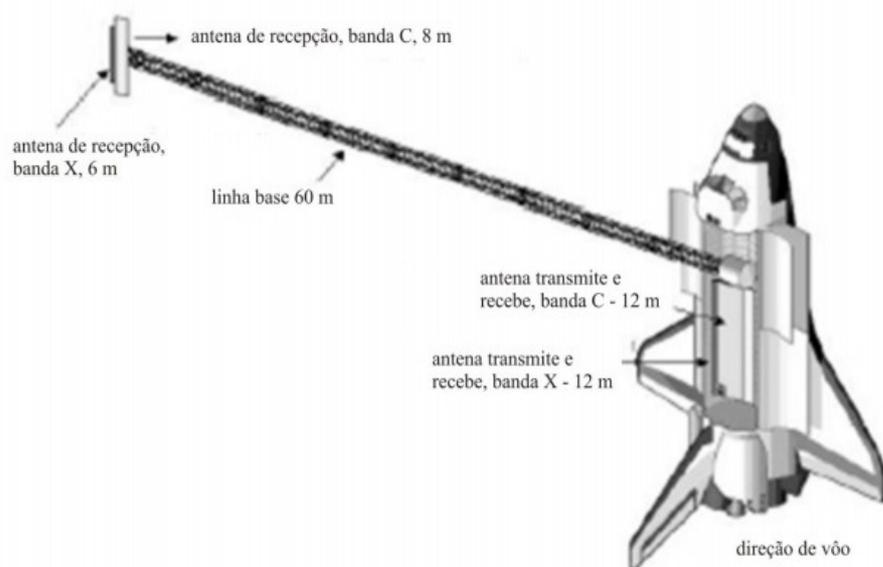


FIGURA 5 – CONFIGURAÇÃO DAS ANTENAS A BORDO DO ENDEAVOUR PARA A MISSÃO SRTM. FONTE: RABUS et al. (2003).

Grohmann et al. (2008) relata que deve-se levar em conta que o resultado das técnicas empregadas na missão SRTM é a geração de Modelos Digitais de Elevação (MDEs), pois os sinais de radar são refletidos, por exemplo, pelo dossel das árvores em áreas densamente florestadas e não pelo terreno subjacente. Os termos Modelo Digital de Terreno (MDT) e Modelo Numérico de Terreno (MNT) devem ser reservados para casos onde o modelo é produzido a partir de valores de altitude do nível do solo, obtidos, por exemplo, em mapas topográficos (curvas de nível), levantamentos por GPS ou por altimetria a laser (LIDAR).

2.4. PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

O termo Processamento Digital de Imagem (PDI) refere-se a um conjunto de técnicas e operações aplicadas sobre uma imagem digital, com o objetivo de facilitar a identificação e extração de informações a partir dela e sua posterior interpretação (CRÓSTA, 1992).

As técnicas de processamento digital de imagem, além de permitirem analisar uma cena nas várias regiões do espectro eletromagnético, também possibilitam a integração de vários tipos de dados (SOUSA, 2003).

Novo (2010) afirma que o processamento digital de imagens pode ser dividido em três etapas distintas: pré-processamento, técnicas de realce e técnicas de classificação.

2.4.1. Pré-processamento

As imagens brutas contêm algumas distorções radiométricas e geométricas que devem ser corrigidas antes de serem usadas nas aplicações. Esta etapa de correção das distorções é conhecida como pré-processamento. A utilização de técnicas de pré-processamento constitui uma das etapas mais importantes do processamento digital (FONSECA, 2000).

A correção radiométrica tem como função minimizar diferenças entre os níveis de cinza registrados por uma matriz de detectores. Estas

diferenças, segundo Novo (2010), decorrem de problemas de calibração dos detectores ou em função da não linearidade da resposta dos detectores a radiância da cena.

Segundo Crósta (1992), para que a precisão cartográfica seja introduzida em uma imagem de sensoriamento remoto, torna-se necessário que estas imagens digitais sejam corrigidas, segundo um sistema de coordenadas. A transformação de uma imagem de modo que ela assuma as propriedades de escala e de projeção de um mapa é, segundo Mather (1987), denominado de correção geométrica.

Essa correção pode ser obtida por técnicas de reamostragem dos pixels, sendo que as mais comuns são: vizinho mais próximo, no qual adota o nível de cinza do pixel (na imagem de ajuste) mais próximo do novo centro; interpolação bilinear, em que adota o valor médio dos quatro pixels (janela de 2x2) mais próximos do novo centro; e a convolução cúbica, que usa o valor médio dos 16 pixels (janela 4x4) mais próximos (IBGE, 2001).

2.4.2. Técnicas de Realce de Imagens

A interpretação de imagens é, muitas vezes, dificultada pelas degradações inseridas nos processos de geração e visualização da imagem. As técnicas de realce visam melhorar a qualidade visual destas imagens e enfatizar alguma característica de interesse para uma aplicação específica (FONSECA, 2000; MATHER, 2004).

Uma imagem vista da forma como é adquirida pelo sensor aparece visualmente com baixo contraste. Segundo Moik (1980), vários fatores estão relacionados a isso, como o desempenho deficiente do sensor, a presença de bruma atmosférica, a má iluminação da cena e as próprias características da cena.

O contraste de uma imagem pode ser avaliado observando-se o seu histograma. O histograma de uma imagem nada mais é do que, um gráfico de barras mostrando o número de pixels na imagem com um dado valor de intensidade versus esse valor, para todos os possíveis valores. Uma imagem apresenta um bom contraste quando o seu histograma

possui as barras razoavelmente distribuídas ao longo de todo o intervalo máximo, sem que haja grandes picos nos valores de claros e escuros (INPE, 1999).

2.4.3. Técnicas de Classificação

A técnica de classificação digital de imagens, segundo Moreira (2011), é o procedimento automatizado através de um algoritmo computacional utilizado para produzir mapas temáticos a partir da separação de todos os pixels da imagem digital em classes ou temas. Esta técnica apresenta como objetivo associar cada pixel da imagem a uma determinada classe que represente o tipo de cobertura do terreno.

De acordo com Crósta (1992) existem duas abordagens na classificação de imagens multiespectrais de sensoriamento remoto. A primeira denominada de classificação supervisionada, onde o usuário identifica alguns dos pixels pertencentes às classes desejadas e deixa ao computador a tarefa de localizar todos os demais pixels pertencentes àquela classe, baseado em alguma regra estatística pré-estabelecida. A segunda abordagem é denominada de classificação não supervisionada, e nela, o computador decide, também com base em regras estatísticas, quais as classes a serem separadas e quais os pixels pertencentes a cada classe.

Novo (2010) relata que um requisito básico para um bom desempenho do classificador supervisionado é que o usuário conheça bem a imagem a ser classificada, para que as amostras de treinamento representem bem as classes que se deseja mapear.

Nos últimos anos, nos estudos envolvendo extração de informações de imagens de sensoriamento remoto têm-se utilizado novos classificadores de imagens digitais, podendo citar como exemplo aqueles que utilizam técnicas baseados em aprendizado de máquina com o uso do classificador não-paramétrico SVM (*Support Vector Machine*) desenvolvido por Vapnik (1995). Outros métodos têm sido testados, como a segmentação multi-resolução e a classificação orientada a objeto. Esta técnica foi desenvolvida para suprir as limitações das técnicas tradicionais de classificação de imagens, baseadas em métodos de classificação por

pixel (NUNES, 2008).

2.4.3.1. Classificação orientada a objetos

Antunes e Luz (2009) relatam que os tradicionais classificadores digitais foram desenvolvidos baseados em características do pixel como unidade primitiva de informações a respeito dos alvos, sendo denominados por esta abordagem de classificadores pixel a pixel, sobretudo voltados a imagens de baixa resolução espacial.

A melhoria da resolução espacial e espectral trazida com o avanço tecnológico evidenciou a dificuldade de aplicação destes classificadores (BLASCHKE e STROBL, 2009). Dada a dificuldade de extração de informações a partir de imagens de alta resolução, têm-se adotado com sucesso uma nova abordagem de processamento digital de imagens, na qual a unidade primitiva de processamento não é mais o pixel, e sim objetos compostos por vários pixels, por esta razão denominada, classificação orientada a objetos (ANTUNES e LUZ, 2009).

A classificação orientada a objetos busca simular técnicas de interpretação visual através da modelagem do conhecimento para a identificação de feições, baseada na descrição de padrões identificadores, tais como cor, textura, métrica, contexto, dentre outros. O sistema possibilita o uso convencional da técnica vizinho mais próximo a partir da assinatura espectral (definida por amostras) além da aplicação de modelos booleanos ou fuzzy que podem ser livremente traçados em um ambiente interativo (CRUZ et. al., 2007).

A classificação orientada a objetos não considera apenas a informação espectral, mas também informação espacial e contextual dos objetos, determinados através de padrões locais na imagem por um grupo de pixels vizinhos. O método utilizado é a segmentação por crescimento de regiões baseada no conhecimento espectral e espacial dos objetos. O algoritmo é baseado na idéia conceitual que a informação semântica requerida para interpretar uma imagem não é representada por pixels simples, mas em significantes imagens objeto e suas relações mútuas. A técnica por crescimento de regiões inicia com um pixel objeto e, a partir

deste, outros pixels são agrupados em objetos maiores (VAN DER SANDE et al., 2003).

A segmentação prévia das imagens e o uso de lógica fuzzy na classificação orientada a objeto aproximam-se do processo cognitivo humano, podendo melhorar significativamente a qualidade de um mapeamento automático como consequência da classificação mais acurada. Deste modo, uma grande parte das informações necessárias para o manejo e conservação dos recursos naturais pode ser extraída das imagens pelo método de classificação orientada a objetos. Os resultados assim obtidos podem ser aplicados em análises de impacto ambiental, monitoramento da cobertura vegetal, estudos de paisagem, dentre outros (CAMPOS, 2005).

2.4.3.2. Classificação *Support Vector Machine* (SVM)

O classificador não-paramétrico SVM (*Support Vector Machine*) foi desenvolvido por Vapnik (1995) e colaboradores (BOSER et al., 1992; CORTES e VAPNIK, 1995). Como principais vantagens do método de classificação SVM pode-se citar: possui teoria bem estabelecida dentro da matemática e estatística, apresenta robustez em dados de grandes dimensões como, por exemplo, imagens de satélite; ótima capacidade de generalização, ou seja, apresenta eficiência para prever dados que não pertençam ao conjunto utilizado no treinamento (SMOLA et al., 2000).

Este sistema de classificação utiliza algoritmos de aprendizagem de máquina, na qual separam as classes com o auxílio de uma superfície de decisão que maximiza a margem entre as classes. Essa superfície é denominada de hiperplano, e os dados de pontos mais próximos ao hiperplano são chamados vetores de suporte (Figura 6). Os vetores de suporte são os elementos críticos do conjunto de treinamento (NASCIMENTO et al., 2009).

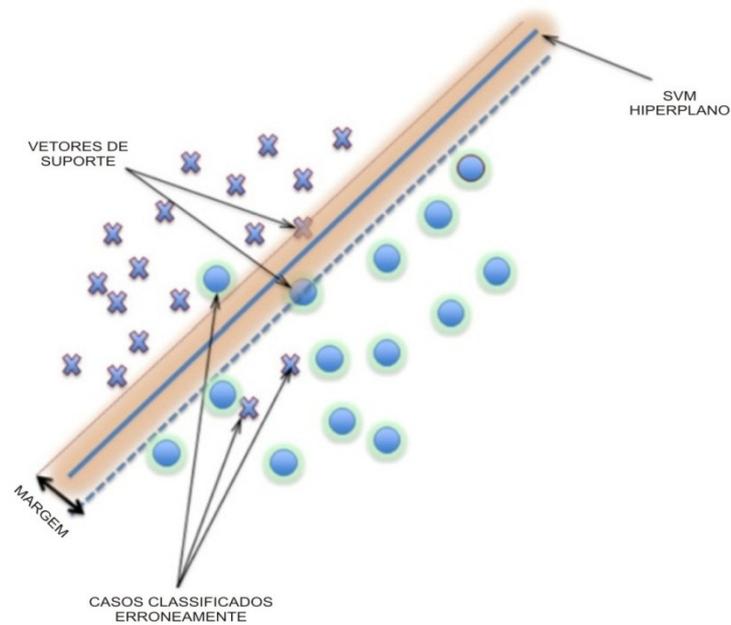


FIGURA 6 – ESQUEMA DE CLASSIFICAÇÃO *SUPPORT VECTOR MACHINE*. FONTE: ADAPTADO DE BURGESS (1998).

Os algoritmos de aprendizagem de máquina têm como objetivo a determinação de limites de decisão que produzam uma separação ótima entre classes por meio da minimização dos erros (VAPNIK, 1995).

Mountrakis et al. (2011) relatam que o SVM ainda é pouco conhecido na comunidade de sensoriamento remoto em geral quando comparado a outros classificadores (por exemplo: árvores de decisão e redes neurais), mas eles podem combinar se não superar o desempenho de métodos já estabelecidos. Os ganhos de seu desempenho parecem bem adequados para aplicações de sensoriamento remoto, quando uma quantidade limitada de dados de referência é muitas vezes fornecido.

Durante a de coleta de amostras de treinamento para o processo de classificação digital, classificadores estatísticos convencionais tais como o algoritmo de classificação por máxima verossimilhança recomenda-se em média 30 amostras por classe, no entanto, recentes estudos mostram que o classificador SVM têm obtido resultados satisfatórios com uma menor quantidade de amostras de treinamentos (MATHER, 2004; PAL e MATHER, 2006).

2.4.4. Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI)

A necessidade de monitorar a vegetação de maneira eficiente e constante levou a comunidade científica à busca de métodos que pudessem relacionar os valores de radiometria de imagens digitais de sensoriamento remoto da superfície terrestre com parâmetros biofísicos (AFFONSO, 2003).

Um dos métodos mais utilizados tem sido o chamado Índice de Vegetação da Diferença Normalizada ou *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). Sua simplicidade e sua relativa alta sensibilidade à densidade da cobertura vegetal tornaram possíveis comparações espaciais e temporais da atividade fotossintética terrestre, bem como o monitoramento sazonal, interanual e variações de longo prazo dos parâmetros estruturais, fenológicos e biofísicos da vegetação em escala global (WANG et al., 2003).

O NDVI foi proposto com o trabalho de Rouse et al., (1973), que encontraram uma relação entre medidas espectrais de duas bandas que melhor resolvia o problema das interferências do solo na resposta da vegetação e que também diminuía as influências da atmosfera e das variações sazonais do ângulo do sol.

O NDVI é expresso pela razão entre a diferença da medida da reflectância nos canais do infravermelho próximo e vermelho e a soma desses canais de acordo com a seguinte equação:

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}}$$

Onde:

ρ_{NIR} = Reflectância da radiação na região do infravermelho próximo;

ρ_{RED} = Reflectância da radiação na região do vermelho.

Conforme Guyot et al. (1989) o dossel da vegetação verde absorve fortemente a radiação solar incidente na região do vermelho

(0,55 – 0,70 μm), devido à presença de alta quantidade de pigmentos de clorofila e de carotenos existentes na folha. Por outro lado, a vegetação verde tem uma alta reflectância na região do infravermelho próximo (0,70 – 1,30 μm), devido às características estruturais das folhas e efeitos fenológicos do dossel.

A energia refletida no vermelho e infravermelho próximo é diretamente relacionada à atividade fotossintética da vegetação, bem como na suposição de que a utilização de duas ou mais bandas espectrais pode, substancialmente, minimizar as principais fontes de ruídos que afetam a resposta da vegetação: (1) variações na irradiância solar; (2) efeitos atmosféricos; (3) contribuições da vegetação não-fotossinteticamente ativa; (4) contribuições do substrato (ex. solo); e (5) efeitos da composição e estrutura do dossel (FERREIRA et al., 2008).

Os valores do NDVI variam no intervalo de -1 e 1 e os valores de NDVI para as áreas com vegetação dependem da sua arquitetura, densidade e umidade variam entre $0,1$ e $0,6$. A vegetação está associada aos valores positivos, e a presença de nuvens e água geralmente está associada a valores negativos de NDVI. Rochas e solos expostos possuem reflectância similares nas duas regiões espectrais utilizadas para o cálculo do NDVI, ocasionando, portanto, valores próximos a zero (HOLBEN, 1986).

2.4.5. Índice de Diferença Normalizada da Água Modificado (MNDWI)

As imagens de sensoriamento remoto tem sido amplamente utilizadas na caracterização e mapeamento dos recursos hídricos. Estas aplicações têm envolvido o delineamento dos corpos d'água usando técnicas de extração de informações temáticas. Existem vários métodos para a extração de informações de água a partir de imagens de sensoriamento remoto, dentre eles ganha-se destaque nos últimos anos Índice de Diferença Normalizada da Água ou *Modification of Normalised Difference Water Index* (MNDWI).

O MNDWI foi proposto por Xu (2006), no qual consiste em uma razão de expressão modificada do NDWI (Índice de Diferença

Normalizada da Água) desenvolvido por McFeeters (1996) para delimitação de feições relacionadas a água. A diferença entre os dois métodos está no ponto em que o NDWI utiliza o canal do infravermelho próximo, já o MNDWI considera o canal do infravermelho médio no processo de razão de bandas espectrais.

No entanto, o NDWI não separa de forma eficiente o solo da água, provocando certa mistura entre as respostas espectrais desses dois alvos. Xu (2006) afirma que o MNDWI amplia consideravelmente relação de contraste entre a água com áreas urbanas, solo exposto e vegetação, aumentando os valores de características da água, que tendem a ser mais positivos, e diminuindo os valores das áreas edificadas, solo exposto e vegetação, que tendem a possuir valores de níveis digitais mais baixos.

O MNDWI pode ser obtido de acordo com a seguinte expressão:

$$\text{MNDWI} = \frac{\rho_{\text{GREEN}} - \rho_{\text{MIR}}}{\rho_{\text{GREEN}} + \rho_{\text{MIR}}}$$

Onde:

ρ_{GREEN} = Reflectância da radiação na região verde;

ρ_{MIR} = Reflectância da radiação na região do infravermelho médio.

De acordo com Xu (2006) o cálculo do MNDWI produz três resultados: a água terá valores mais positivos do que no NDWI, pois possui maior taxa de absorção de radiação eletromagnético na faixa do infravermelho médio em relação ao infravermelho próximo; áreas edificadas apresentarão valores negativos; áreas de solo exposto e vegetação também apresentarão valores negativos, pois o solo possui maior reflectância no infravermelho médio do que no infravermelho próximo

Conseqüentemente, em comparação com o NDWI, o contraste entre corpos d'água e áreas edificadas do MNDWI será consideravelmente ampliado, devido ao aumento dos valores de característica da água e diminuindo os valores das áreas edificadas de positivo para negativo. O maior aumento de água na imagem MNDWI irá resultar na extração mais precisa de corpos d'água em relação a áreas

urbanas, solo exposto e a vegetação, onde apresentarão valores negativos e, portanto, são especialmente suprimidos e até mesmo removidos (XU, 2006).

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFFONSO, A. G. **Caracterização de fisionomias vegetais na Amazônia oriental através de videografia aerotransportada e imagens Landsat7 ETM+**. 2003. 124 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos-SP.

ALMEIDA, S. P.; PROENÇA, C. E.B.; SANO, S. M.; RIBEIRO, J. F. **Cerrado: Espécies Vegetais Úteis**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1998. 464p.

ANTUNES, A. F. B.; LUZ, N. B. Classificação orientada a objetos de imagens Spot-5 com a finalidade de mapeamento do uso da terra. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2009. p. 909-917.

AQUINO, S., STEVAUX J. C.; LATRUBESSE, E. M. Regime hidrológico e aspectos do comportamento morfohidráulico do Rio Araguaia, **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 2, p.29-41, 2005.

ASKEW, G. P.; MOFFATT, D. J.; MONTGOMERY, R. F.; SEARL, P. L. Soil landscapes in northeastern MatoGrosso. **Geographical Journal**, n. 2, v. 136, p. 211-227,1970.

BASSEGIO, J.; CARAMORI, T. B. A.; SORIANE, R. R. SIG para mapeamento do uso do solo, com ênfase nas áreas de cobertura vegetal nativa e recursos hídricos, Alto Coxim, MS. In: 1º SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 1., 2006, Campo Grande. **Anais...**,8 p.

BLASCHKE, T.; STROBL, J. What's wrong with pixels? Some recent developments interfacing remote sensing and GIS. **Interfacing Remote Sensing and Gis**. Disponível em: <http://www.sysdecoitalia.com/index.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=56>. Acesso em: 5 jul. 2010.

BOSER, B.; GUYON, I; VAPNIK, V. N.A training algorithm for optimal margin classifiers. In: ANNUAL WORKSHOP ON COMPUTATIONAL LEARNING THEORY, 5., 1992, Pittsburgh. **Proccedings...** San Mateo, CA: Morgan Kayfmann, p. 144-152, 1992.

BURGES, C.J.C. A tutorial on support vector Machine for pattern recognition. **Data Mining and Knowledge Discovery**, v. 2, n. 2, p. 121–167, 1998.

CAMPOS, M. A. A. **Padrão e dinâmica de Floresta Tropical através de classificação orientada a objeto e da análise da paisagem com imagens Landsat**. 2005. 122 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR.

CORTES, C.; VAPNIK, V. Support vector networks. **Machine Learning**. v. 20, n.3, p. 273-297, 1995.

COSTA, C. A. G. **Avaliação dos dados SRTM através de análise altimétrica e morfométrica de bacias hidrográficas no semi-árido**. 2008. 172 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal do Ceará – Fortaleza.

CRÓSTA, A.P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas:UNICAMP, 1992, 170 p.

CRUZ, C. B. M.; VICENS, R. S.; SEABRA, V. S.; REIS, R. B.; FABER, O. A.; RICHTER, M.; ARNAUT, P. K. E.; ARAÚJO, M. Classificação orientada a objetos no mapeamento dos remanescentes da cobertura vegetal do bioma Mata Atlântica, na escala 1:250.000. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2007. p. 5691-5698.

NUNES DA CUNHA, C. **Estudos florísticos e fitofisionômicos das principais formações arbóreas do Pantanal de Poconé-MT**. 1990. 105 p. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal). Universidade de Campinas – Campinas-SP.

DEBIASI, P. **Ortorretificação de imagens CCD CBERS 2 através da transformação DLT**. 2008. 71 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre.

DIAS, B. F. S. **Fundação Pró-Natureza: alternativas de desenvolvimento dos cerrados: manejo e conservação dos recursos naturais renováveis**. Brasília-DF, IBAMA, 1992. 97 p.

EITEN, G. Delimitação do conceito de Cerrado. **Boletim de Geografia**, n. 249, v. 34, p. 131-140, 1976.

FELFILI, J. M.; CARVALHO, F. A.; HAIDAR, R. F. **Manual para o monitoramento de parcelas permanentes nos biomas Cerrado e Pantanal**. Brasília, Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Florestal, 2005. 54 p.

FERREIRA, L. G.; FERREIRA, N. C.; FERREIRA, M. E. Sensoriamento remoto da vegetação: evolução e estado-da-arte. **Acta Scientiarum Biological Sciences**, n. 4, v. 30, p. 379-390, 2008,

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 97 p.

FONSECA, L. M. G. **Processamento digital de imagens**. São José dos Campos-SP, INPE, 2000, 111p.

GUYOT, G.; GUYON, D.; RIOM, J. Factors affecting the spectral response of forest canopies: a review. **Geocarto International**, v. 4, n. 3, p. 3-18, 1989.

HOLBEN, B. N. Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data. **International Journal of Remote Sensing**, n. 4, v. 7, n. 11, p. 1417-1434, 1986.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Introdução ao processamento digital de imagens**. Rio de Janeiro, 2001, 91p.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Processamento digital de imagem: apostila de curso**. São José dos Campos, 1999, 80 p.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. EPIPHANIO, J.C.N.; FORMAGGIO, A.R.; SANTOS, A.R.; RUDORFF, B.F.T.; ALMEIDA, C.M.; GALVÃO, L.S. (Tradução). São José dos Campos, Ed. Parêntese. 2009, 598p.

LATRUBESSE, E. M.; STEVAUX, J. C. Geomorphology and environmental aspects of the Araguaia fluvial basin, Brazil, **Zeitschrift für Geomorphologie**, v. 129, p. 109-127.2002.

MARIMON, B. S.; MARIMON JUNIOR, B. H.; LIMA, H. S.; JANCOSKI, H. S.; FRANZAK, D. D.; MEWS, H. A.; MORESCO, M. C. **Pantanal do Araguaia – Ambiente e Povo**. Ed. UNEMAT/FAPEMAT, Nova Xavantina, 2008, 95 p.

MARTINS, A. K. E. **Ipucas da planície do Araguaia, estado do Tocantins: ambiente físico de ocorrência, solos e uso da terra**. 2004. 157 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa-MG.

MARTINS, A. K. E.; SCHAEFER, C. E. G. R.; SILVA E.; SOARES, V. P.; CORRÊA, G. R.; MENDONÇA, B. A. F. Relações solo-geoambiente em áreas de ocorrência de ipucas na planície do Médio Araguaia-estado do Tocantins. **Revista Árvore**, n. 2, v. 30, p. 297-310,2006.

MATHER, P.M., **Computer Processing of Remotely-Sensed Images. An Introduction**. 3 ed., Chichester, Ed. John Wiley & Sons, 2004, 170 p.

MCFEETERS, S.K. The use of normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features.**International Journal of Remote Sensing**, v.17, n.7, p.1425-1431, 1996.

MENDONÇA, R. C.; FELFILI, J. M.; WALTER, B. M. T.; SILVA JÚNIOR, M. C.; REZENDE, A. V.; FILGUEIRAS, T. S.; NOGUEIRA, P. E. Flora Vasculare do Cerrado. In: S. M. SANO; S. P.; ALMEIDA (Ed.). **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina, EMBRAPA-CPAC, 1998. p. 289-556.

MOIK, J. G. **Digital processing of remotely sensed images**. Washington: NASA, 1980. 330 p.

MORAIS, R. P. **Mudanças históricas na morfologia do canal do Rio Araguaia no trecho entre a cidade de Barra do Garças (MT) e a foz do Rio Cristalino na Ilha do Bananal no período entre as décadas de 60 e 90**. 2002. 189 p. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal de Goiás – Goiânia.

MORAIS, R. P. **A planície Aluvial do médio Rio Araguaia: processos geomorfológicos e suas implicações geoambientais**. 2006. 178 p. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais). Universidade Federal de Goiás – Goiânia.

MORAIS, R.P. OLIVEIRA, L.G.; LATRUBESSE, E.M.; PINHEIRO, R.C. Morfometria de sistemas lacustres da planície aluvial do médio Rio Araguaia. **Acta Scientiarum (UEM)**, v.27, p.203-213.2005.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. Viçosa-MG, 4ª Ed., Editora UFV, 2011, 422p.

MOUNTRAKIS, G.; IM, J.; OGOLE, C. Support vector Machine in remote sensing: A review. **Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**. v.66, p. 247–259, 2011.

NASCIMENTO, R. F. F.; ALCÂNTARA, E. H.; KAMPEL, M.; STECH, J. L.; NOVO, E. M. L. M.; FONSECA, L. M. G. O algoritmo Support Vector Machine (SVM): avaliação da separação ótima de classes em imagens CCD-CBERS-2. In: XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, **Anais...** Natal, Brasil. p.2079-2086. 2009.

NOVO, E.M.L.M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 4.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2010. 387 p.

NUNES, G. M. **Sensoriamento remoto aplicado na análise da cobertura vegetal das Reservas de Desenvolvimento Sustentável Amanã e Mamirauá**. 2008. 178 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP.

OLIVEIRA-FILHO, A. T.; FURLEY, P. A. Monchão, cocuruto, murundu. **Ciência Hoje**, v. 11, n. 61, p. 60-37, 1990.

OLIVEIRA-FILHO, A. T.; RATTER, J. A. Study of the origin central brazilian forests by the analysis of plant distribution patterns. **Edinburgh**

Jornal of Botany, n. 2, v. 52, p. 1-54, 1995.

PAL, M., MATHER, P.M., Some issues in the classification of DAIS hyperspectral data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 27, n. 14, p. 2895–2916. 2006.

PEREIRA, M. N.; KURKDJAN, M. L. N. O.; PINTO, S. A. F. **Técnicas de Sensoriamento Remoto e de Geoprocessamento para Mapeamento e Análise do Uso da Terra**. São José dos Campos: INPE, 1994, 19 p.

PONCE, V. M.; NUNES DA CUNHA, C. Vegetated earthmounds in tropical savanas of Central Brazil: a synthesis with special reference to the Pantanal do Mato Grosso. **Journal of Biogeography**. v. 20, p. 219-225, 1990.

RADAM-BRASIL. Levantamento de Recursos Naturais. Ministério das Minas e Energia 25, Folha SC-22 Tocantins, 1981.

RABUS, B.; EINEDER, M.; ROTH, R.; BAMLER, R..The Shuttle Radar Topography Mission - a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, v.57, p.241-262,2003.

RATTER, J. A.; BRIDGEWATER, S.; RIBEIRO, J. F. Analysis of the floristic composition of the Brazilian cerrado vegetation III: comparison of the woody vegetation of 376 years. **Edinburg Journal of Botany**, n. 1, v. 60, p. 57-109,2003.

RIBEIRO, J. F.; SANO, S. M.; MACÊDO, J.; SILVA, J. A. **Os principais tipos fitofisionômicos da região do Cerrado**. Planaltina (DF): EMBRAPA – CPAC (Boletim de Pesquisa 21). 1983. 28 p.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As Matas de galeria no contexto do bioma Cerrado. In: RIBEIRO, J. F.; FONSECA, C. E. L.; SOUSA-SILVA, J. C. **Cerrado: caracterização e recuperação de Matas de galeria**. Planaltina-DF. EMBRAPA Cerrados, 2001. p. 27-47.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma cerrado. In: S. M. SANO; S. P.; ALMEIDA (Ed.). In: **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina, EMBRAPA-CPAC, 1998, p. 89-116.

RIZZINI, C. T. **Tratado de fitogeografia do Brasil**. São Paulo, HUCITEC/EDUSP, v. 2, 1979. 375 p.

RODRIGUEZ, E.; MORRIS, C.H.; BELZ, J.E. . A global assessment of the SRTM performance. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.72, p.249-260,2006.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: EARTH

RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM, 3, WASHINGTON, 1973 Washington. **Proceedings**. Washington: National Aeronautics and Space Administration, 1973, p.309-317.

SCHAEFER, C. E. G. R.; MENDONÇA, B. A. F.; FERREIRA JÚNIOR, W. G.; VALENTE, E. L.; CORRÊA, G. R. Relações solo-vegetação em alguns ambientes brasileiros: fatores edáficos e florística. In: MARTINS, S. V. (Ed.) **Ecologia de Florestas Tropicais do Brasil**. Viçosa, Editora UFV, 2009, p. 143-182.

SHIMABUKURO, Y. E.; BATISTA, G. T.; MELO, E. M. K.; MOREIRA, J. C.; DUARTE, V. Using shade fraction image segmentation to evaluate deforestation in Landsat Thematic Mapper images of the Amazon region. **International Journal of Remote Sensing**, n. 3, v. 19, p. 535-541, 1998.

SILVA, B. F.; SALVIANO, A.; ANDRADE, J. B. Áreas degradadas em microbacia de Gilbués-PI utilizando imagens do sensor CCDCBERS-2. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2007. p. 4257-4260.

SKOLE, D.; TUCKER, C. Tropical deforestation and habitat fragmentation in the Amazon: satellite data from 1978 to 1988. **Science**, n. 5116, v. 260, p. 1905-1910, 1993.

SMOLA, A. J.; BARLETT, P.; SCHÖLKOPF, B.; SCHUURMANS, D. **Advances in Large Margin Classifiers**. Cambridge: MIT Press, 2000. 423 p.

SOUSA, C. L. **Avaliação da pressão antrópica sobre a cobertura vegetal nos municípios de Cedro e Solidão (sertão pernambucano) com o uso de imagens TM Landsat e Sistemas de Infomações Geográficas**. 2003. 127 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos-SP.

VALERIANO, M. M. **Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul**. São José dos Campos, INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2004, 72p.

VAN DER SANDE, C. J.; DE JONG, S. M.; DE ROO, A. P. J. A segmentation and classification approach of IKONOS-2 imagery for land cover mapping to assist flood risk and flood damage assessment. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, n. 3, v. 4, p. 217-229, 2003.

VAPNIK, V.N. **The Nature of Statistical Learning Theory**. New York, Springer-Verlag, 1995. 332 p.

VIEIRA, L. C. G. **Padrões ecológicos da comunidade zooplanctônica**

na planície de inundação do Rio Araguaia. 2008. 97 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia-GO.

WANG, Z. X.; LIU, C.; HUETE, A. From AVHRRNDVI to MODIS-EVI: Advances in vegetation index research. **Acta Ecologica Sinica**, v.23, n. 5, p.979-988, 2003.

XU, H. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v.27, n.14, p.3025-3033, 2006.

CAPITULO I

CLASSIFICAÇÃO ORIENTADA A OBJETOS APLICADA NA CARACTERIZAÇÃO DO USO E COBERTURA DA TERRA NA REGIÃO DO MÉDIO ARAGUAIA

RESUMO

O objetivo principal desse capítulo foi utilizar a classificação orientada a objetos em imagens TM-Landsat 5 na caracterização das classes de uso e cobertura da terra em uma área localizada entre o município de São Félix do Araguaia-MT e a Ilha do Bananal-TO. A cena 223/068 adquirida em 05 de setembro de 2010 foi submetida as etapas de pré-processamento: correção radiométrica, atmosférica e geométrica. Em seguida foram geradas duas imagens por meio de matemáticas de bandas espectrais MNDWI e NDVI que foram inseridas no processo de classificação. Para a segmentação foram utilizados os parâmetros de escala 250, 200, 150, 100, 50 e 30, e os algoritmos *assign class* e *nearest neighbor*, bem como descritores de média, área e relação de borda. Uma matriz de confusão foi empregada para avaliar a acurácia da classificação através do índice de concordância Kappa. A exatidão global para o mapeamento foi de 83% com um coeficiente Kappa de 0,72, sendo portanto satisfatórios para o objetivo do trabalho.

Palavras-chave: sensoriamento remoto, classificação digital, MNDWI, NDVI, segmentação.

CHAPTER I

OBJECT-ORIENTED CLASSIFICATION APPLIED TO THE CHARACTERIZATION OF USE AND LAND COVER IN THE REGION OF THE MIDDLE ARAGUAIA

ABSTRACT

The main objective of this chapter was to use object-oriented classification of Landsat 5-TM images in the characterization of classes of use and coverage in an area located between the Sao Felix do Araguaia-MT city and Bananal Island-TO. The scene 223/068 acquired on September 5, 2010 was submitted to the stages of pre-processing: radiometric, atmospheric and geometric. Then, NDVI and MNDWI images were produced using spectral band mathematical operations, and used as inputs for the land cover classification. For the segmentation we used the parameters of scale 250, 200, 150, 100, 50 and 30, and the algorithms *assign class* and *nearest neighbor*, as well as descriptors of mean, area and relation to border. A confusion matrix was used to evaluate the accuracy of the classification using the Kappa index of agreement. The overall mapping accuracy was 83% with a Kappa coefficient of 0.72 and therefore suitable for the research objective.

Key-words: remote sensing, digital classification, mapping, MNDWI, NDVI, segmentation.

1. INTRODUÇÃO

A região do Araguaia e da Ilha do Bananal fazem parte de um complexo mosaico de unidades de paisagem inter-relacionadas, compondo um sistema que regula a mais importante área de ecossistemas aquáticos do cerrado brasileiro. Em função da alta diversidade de espécies e a natureza das áreas inundadas, a faixa fluvial do Araguaia e a Planície do Bananal foram identificadas como áreas prioritárias para conservação por agências nacionais e organizações não-governamentais, enquanto a Convenção Ramsar para Áreas Úmidas declarou o médio Rio Araguaia como uma área Ramsar em 1993 (LATRUBESSE e STEVAUX, 2006).

Estudos que englobam informações confiáveis sobre a distribuição espacial do uso da terra nessa região ainda são escassos, sendo tais iniciativas fundamentais para direcionar o planejamento e definição de prioridades por parte do poder público e privado envolvidos na gestão dos recursos naturais (PEREIRA, 1994; BASSEGIO et al., 2006). Assim, o desenvolvimento de metodologias que auxiliem no monitoramento e ordenamento do uso da terra, são necessários ao modo que o mapeamento dessas áreas sejam reaplicados com a mesma precisão (NUNES, 2008).

A utilização de dados orbitais de sensoriamento remoto é uma forma eficiente para o estudo desses recursos. A identificação das classes de uso e cobertura da terra auxilia na identificação das alterações e no entendimento do modelo de organização da superfície terrestre (MOREIRA, 2001; NOVO, 2010).

Os avanços tecnológicos ocorridos na área de sensoriamento remoto nos últimos anos têm possibilitado a aquisição de informações de forma mais precisa e detalhada. Concomitante ao avanço dos sensores ocorre àquele referente ao desenvolvimento de novas técnicas de classificação digital e análise dos dados que permite gerar uma grande quantidade de informação de forma sistemática e objetiva. Um exemplo desse avanço é a Classificação Orientada a Objetos Geográficas, que segundo Luz et al. (2010) mostram-se eficientes no mapeamento de uso

da terra. A classificação por meio da análise orientada a objetos baseia-se no agrupamento de pixels a partir da segmentação da imagem. Neste método de classificação, a segmentação é o passo preliminar que divide a imagem em objetos homogêneos e contíguos. Segundo Yan et al. (2006), a acurácia da segmentação afeta diretamente o desempenho da classificação.

Na classificação orientada a objetos há a necessidade do uso de algoritmos baseados em um contexto e do processamento de imagens com orientação a objetos (BLASCHKE et al., 2000), em que a unidade primitiva de processamento não é mais o pixel, e sim objetos compostos por vários pixels. Nessa metodologia, a complexidade natural pode ser explorada através de ferramentas de análise espacial baseadas em conceitos de paisagem como um padrão contínuo que pode ser parcialmente decomposto em objetos (BURNETT e BLASCHKE, 2003).

Um dos trabalhos pioneiros com classificação orientada a objetos no Brasil foi o de Antunes (2003). O estudo visou o mapeamento de tipologias vegetais em ambiente ciliar do Rio Paracatu, município de Nova Esperança (PR) a partir do uso de imagens Ikonos. O autor comparou os resultados obtidos por métodos tradicionais de classificação automática baseados em pixels com a classificação orientada a objeto e verificou a superioridade desta. Nessa linha de estudo destacam-se os trabalhos de Pinho (2005), Alves et al. (2009) e Luz et al. (2010).

A classificação orientada a objetos possui a grande vantagem de ser utilizada em conjunto com outras técnicas de processamento digital de imagens, tais como as matemáticas de bandas espectrais: índices NDVI (Índice de Vegetação de Diferença Normalizada) proposto por Rouse et al. (1973) e o MNDWI (Índice de Diferença Normalizada da Água) desenvolvido por Xu (2006). Essas técnicas podem ser inseridas como parâmetros de entrada no processamento dos dados, ampliando ainda mais o grau de informações a serem extraídas na caracterização dos alvos no processo de caracterização de uso e cobertura da terra.

Nesse contexto, este trabalho tem por objetivo o desenvolvimento de uma metodologia para realizar a caracterização do uso da terra em áreas úmidas que envolvem um trecho de rio na planície

de inundação do médio Rio Araguaia localizada entre o município de São Félix do Araguaia no estado de Mato Grosso e a Ilha do Bananal, localizada no estado do Tocantins com o uso de dados provenientes do sensor TM-Landsat 5 processados a partir de algoritmos de classificação orientado a objetos geográficos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

As etapas desenvolvidas neste capítulo, compreendendo os métodos e análises realizadas podem ser observadas na Figura 7.

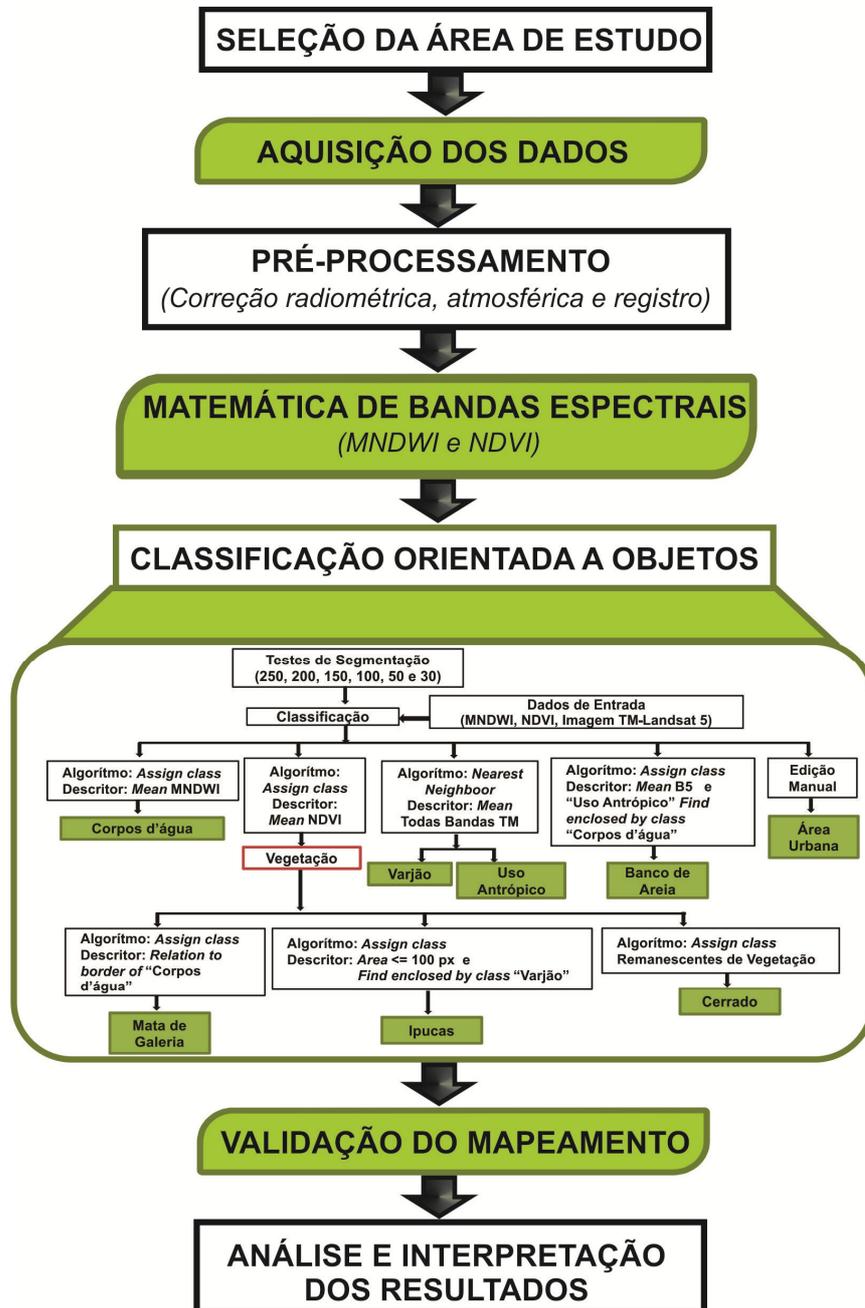


FIGURA 7 - FLUXOGRAMA REPRESENTATIVO DAS ETAPAS DE TRABALHO DESENVOLVIDAS

2.1. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo corresponde às áreas úmidas que envolvem um trecho de rio na planície de inundação do médio Rio Araguaia. Possui uma extensão de 194.000 ha, está localizada entre as latitudes 11°18' e 11°45'S e longitudes 50°51' e 50°23'W, na região do Médio Araguaia, entre o município de São Félix do Araguaia no estado de Mato Grosso e a Ilha do Bananal no estado do Tocantins (Figura 8). A seleção da região de estudo dependeu do número de informações espaciais disponíveis, sendo selecionado um trecho de rio em que se obteve uma imagem com uma menor porcentagem de cobertura de nuvens (<10%).

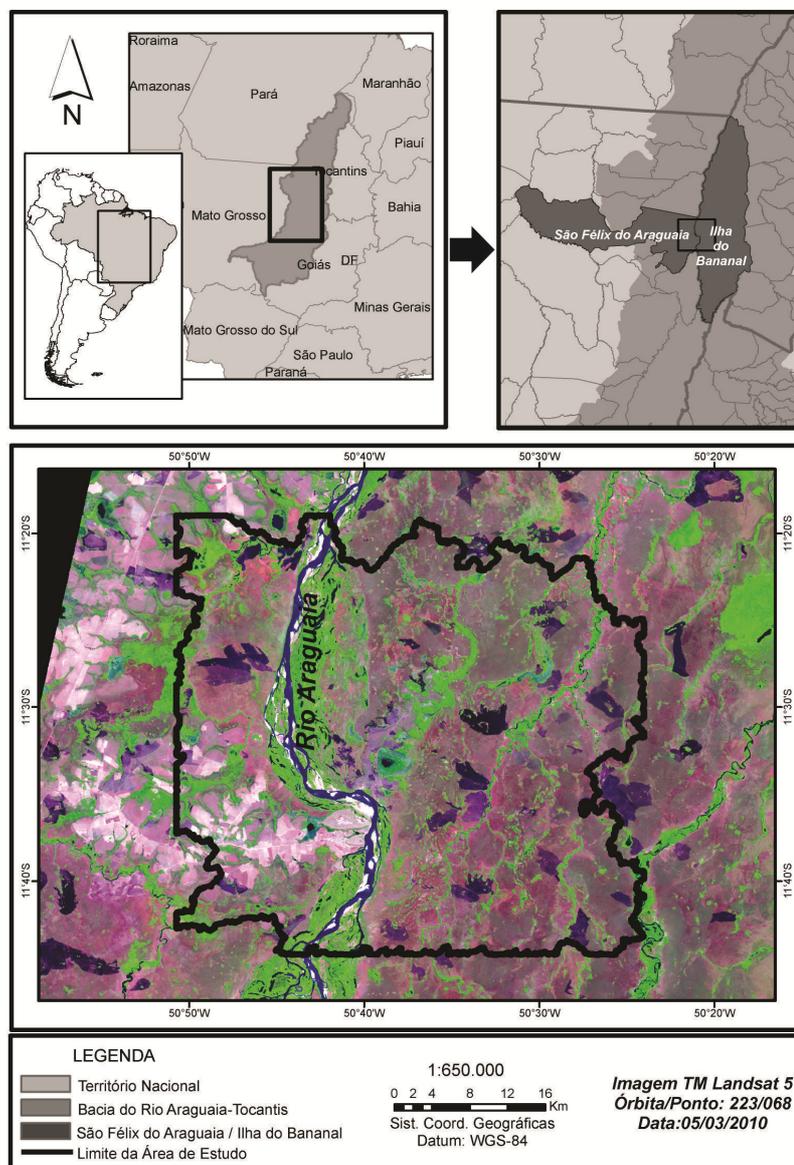


FIGURA 8 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A delimitação da área de estudo foi executada de forma automatizada a partir de um Modelo Digital de Elevação SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) com resolução espacial de 30 metros integrado e processado em um Sistema de Informações Geográficas. A metodologia utilizada nesse processo subdividiu-se em quatro etapas, sendo: preenchimento de depressões (*“fill sinks”*), direção de fluxo (*“flow direction”*), fluxo acumulado (*“flow accumulation”*) e delimitação de bacias (*“Watershed”*) conforme Sobrinho et al. (2010).

Pela classificação de Köppen (1948) o clima é do tipo Aw com temperaturas médias anuais de 24°C. Possui uma precipitação média anual de 1520 mm com período de chuvas entre os meses de outubro a abril (Figura 9), que também são os meses em que o Rio Araguaia apresenta seu maior nível fluviométrico (ANA, 2011).

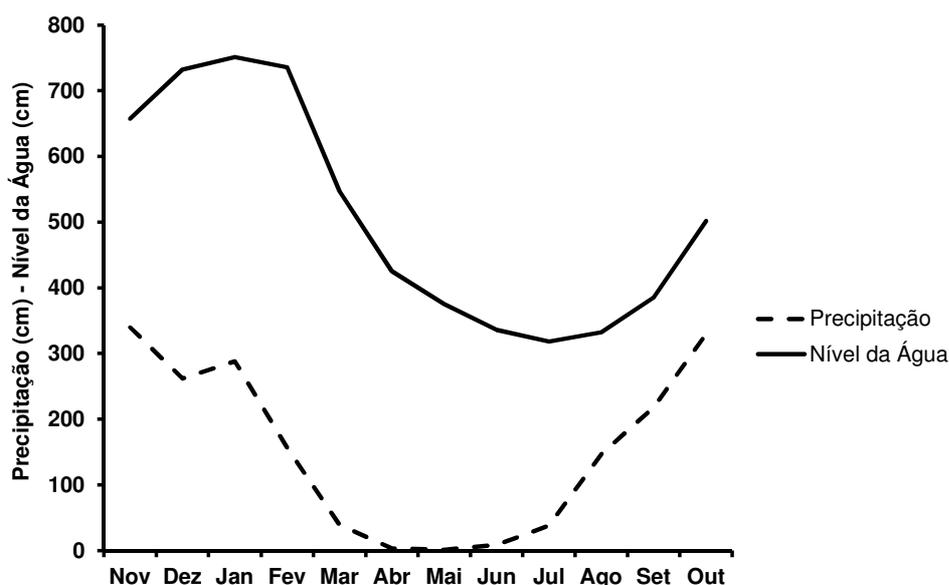


FIGURA 9 - MÉDIA ANUAL DE FLUTUAÇÃO DO NÍVEL DE ÁGUA (1971-2010) E PRECIPITAÇÃO (1969-1998) DO RIO ARAGUAIA EM SÃO FÉLIX DO ARAGUAIA. FONTE: ANA (2011).

O relevo da região é praticamente plano em toda a sua extensão, com pouquíssimos morros residuais isolados (MILESKI, 1994). Compreende as unidades geomorfológicas da Planície do Bananal com formas de acumulação envolvendo Áreas de acumulação inundáveis e de Planície Fluvial (RADAMBRASIL, 1981).

Os solos são caracterizados como sendo do tipo Lateritas Hidromórficas e Podzólico Vermelho-Amarelo distrófico sustentados geologicamente pela Cobertura Sedimentar do Bananal (RADAMBRASIL, 1981).

2.2. DEFINIÇÃO DAS CLASSES PARA O MAPEAMENTO

As classes definidas para o mapeamento são caracterizadas no Quadro 2 de acordo com as definições do RADAM BRASIL (1981), Veloso et al. (1991) e do Sistema de Classificação de Cobertura do Solo (LCCS), versão 2, da FAO (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*; Di Gregório, 2005).

QUADRO 2 – CLASSES UTILIZADAS NO MAPEAMENTO

| Classes | Sub-divisão | RADAM BRASIL (1981) | Veloso et al. (1991) | FAO (2005) |
|-----------------|----------------|---|--|--|
| Cerrado | Cerrado Típico | Savana Arbórea Aberta sem Floresta-de-Galeria | Savana Arborizada | Vegetação Natural |
| | Cerradão | Savana Arbórea Densa | Savana Florestada | Vegetação Natural |
| Mata de Galeria | --- | Savana Arbórea Aberta com Floresta-de-Galeria; Savana Parque com Floresta-de-Galeria. | Savana Florestada com Floresta de Galeria; Savana Arborizada com Mata de Galeria | Vegetação em áreas úmidas |
| Varjão | --- | Savana Parque sem Floresta-de-Galeria; Savana gramíneo-lenhosa sem Floresta-de-Galeria. | Savana Parque | Vegetação Natural |
| Ipucas | --- | --- | --- | Vegetação em Áreas Úmidas |
| Área Urbana | --- | Cidade | --- | Áreas Urbanas (Superfícies artificiais) |
| Banco de Areia | --- | --- | --- | Áreas expostas |
| Uso Antrópico | --- | Agropecuária; Pastagem | --- | Áreas terrestres cultivadas e gerenciadas; Vegetação semi-natural (pastos) |
| Corpos d'água | --- | Rios, Córregos, Lagos e Lagoas | --- | Corpos d'água naturais |

FONTE: RADAM BRASIL (1981); VELOSO et al. (1991) e FAO; DI GREGÓRIO (2005)

2.3. BASE DE DADOS

Nesse estudo foi utilizada uma imagem do sensor TM-Landsat 5, órbita 223, ponto 068, de 05 de setembro de 2010 envolvendo as seguintes bandas espectrais: bandas 1 (0,45 - 0,52 μm), 2 (0,50 - 0,60 μm), 3 (0,63 - 0,69 μm), 4 (0,76 - 0,90 μm), 5 (1,55 – 1,75 μm) e 7 (2,08 – 2,35 μm). Para apoiar o processamento dos dados foram utilizados: Carta da Cobertura Vegetal do Bioma Cerrado/PROBIO - SC-22-Z-C na escala 1:250.000, uma imagem ortorretificada do sensor ETM+ Landsat 223/068 de 19 de outubro de 2000 obtida junto GLCF (*Global Land Cover Facility*) que auxiliou o processo de correção geométrica, imagens ortorretificadas HGR SPOT 5 (Spot Maps) MI 1767 e 1824 e imagens Íkonos disponíveis no software Google Earth Pro.

2.4. ANÁLISE E PROCESSAMENTO DOS DADOS

2.4.1. Pré-processamento

Inicialmente a imagem foi convertida para radiância de acordo com Markham e Barker (1987). Esse procedimento foi realizado banda a banda (total de seis bandas) para a cena TM Landsat 5 utilizada no estudo.

Após esse processo foi aplicada a correção atmosférica na imagem utilizando o FLAASH (*Fast Line – of – Sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes*) que utiliza o código de transferência radiativa MODTRAN (ADLER-GOLDEN et al., 1999; BERK et al., 2002). As radiâncias foram convertidas para reflectâncias na superfície terrestre ($W/(\text{cm}^2.\text{sr}.\text{nm})$).

A correção geométrica foi realizada tendo como base uma imagem ETM+ Landsat 7, georreferenciada e ortorretificada, cuja primeira etapa consistiu na identificação e registro de 25 pontos controle terrestre nas duas cenas. A avaliação da qualidade dos pontos de controle foi feita com base no erro médio quadrático total (RMS), considerando um valor abaixo de 0,50 pixel, adequado para o propósito desse estudo. A posição de cada pixel na imagem foi realocada para sua posição correta na imagem corrigida, mediante a utilização da regressão polinomial de 1º

grau, em que os pixels foram reamostrados pelo método do vizinho mais próximo, tendo como projeção de referência o sistema de coordenadas geográficas (latitude e longitude) e como datum o elipsóide WGS 84.

2.4.2. Matemática de Bandas (MNDWI e NDVI)

A imagem foi submetida a duas técnicas de matemática de bandas espectrais: MNDWI (Índice de Diferença Normalizada da Água Modificada) e NDVI (Índice de Vegetação de Diferença Normalizada).

O índice MNDWI foi aplicado no processo de classificação com o intuito de auxiliar a classificação dos Corpos d'água e foi executado conforme metodologia descrita por Xu (2006) de acordo com a seguinte relação:

$$\text{MNDWI} = (R_{VE} - R_{IVM}) / (R_{VE} + R_{IVM})$$

Onde R_{VE} corresponde a reflectância no canal verde (Banda 2 do sensor TM Landsat) e R_{IVM} que corresponde a reflectância no canal do infravermelho médio (Banda 5 do sensor TM Landsat).

O NDVI auxiliou na determinação das classes de vegetação relacionadas as Ipucas, Matas de Galeria e Cerrado, sendo aplicado conforme a equação proposta por Rouse et al. (1973):

$$\text{NDVI} = (R_{IVP} - R_V) / (R_{IVP} + R_V)$$

Onde R_{IVP} corresponde a reflectância no canal do infravermelho próximo (Banda 4 do sensor TM Landsat) e R_V que corresponde a reflectância no canal vermelho (Banda 3 do sensor TM Landsat).

2.4.3. Classificação Orientada a Objetos

2.4.3.1. Segmentação

Em seguida foi aplicado o processo de segmentação por crescimento de regiões (BAATZ e SCHAPE, 2000) implementado no software *eCognition 8.2*. O processo de segmentação é aplicado através de três parâmetros definidos pelo usuário: escala, forma e compacidade. O parâmetro de escala determina a heterogeneidade máxima permitida

para os objetos da imagem, e seu valor varia de acordo com o tamanho dos objetos resultantes: um parâmetro de escala com valores maiores produzem objetos maiores. O parâmetro de forma é a união dos parâmetros de compacidade e suavidade. O parâmetro compacidade é definido pela razão da área do objeto e o raio da circunferência abrangente. O parâmetro de suavidade expressa o limite entre objetos, onde, quanto mais fractal, maior o índice de forma (EVANS et al., 2010; ESCH et al., 2008). Para a definição da melhor segmentação foram avaliados com base nas médias dos valores das seis bandas espectrais do sensor TM Landsat os seguintes parâmetros de escala: 250, 200, 150, 100, 50 e 30, seguido dos critérios de forma e compacidade definidos como 0.3 e 0.5, respectivamente.

2.4.3.2. Classificação

Como etapa final no processo de caracterização de cobertura da terra foi realizada a classificação orientada a objetos. Foram utilizados como dados de entrada as imagens MNDWI, NDVI e todas as bandas multiespectrais TM-Landsat 5.

A classificação orientada a objetos foi executada utilizando os algoritmos de atribuição de classes (*assign class*) para o mapeamento das classes Corpos d'água, Mata de Galeria, Ipucas, Cerrado e Banco de Areia como base de domínio na imagem a aplicação dos descritores de média (*mean*), área (*area*) e relação de borda (*relation to border of e find enclosed by class*). Para o mapeamento das classes Mata de Galeria, Ipucas e Cerrado foi necessário criar uma classe mãe denominada Vegetação a partir dos valores médios gerados da imagem NDVI. No mapeamento das classes Uso Antrópico e Varjão foi utilizado o algoritmo vizinho mais próximo (*nearest neighbor*) a partir do valor médio de todas as bandas espectrais, e para a classificação da Área Urbana foi utilizada a edição manual (Figura 10).

Após a classificação foi realizada uma reclassificação por meio de edição manual dos dados, com o propósito de corrigir as eventuais falhas do mapeamento das classes de uso de uso e cobertura da terra.

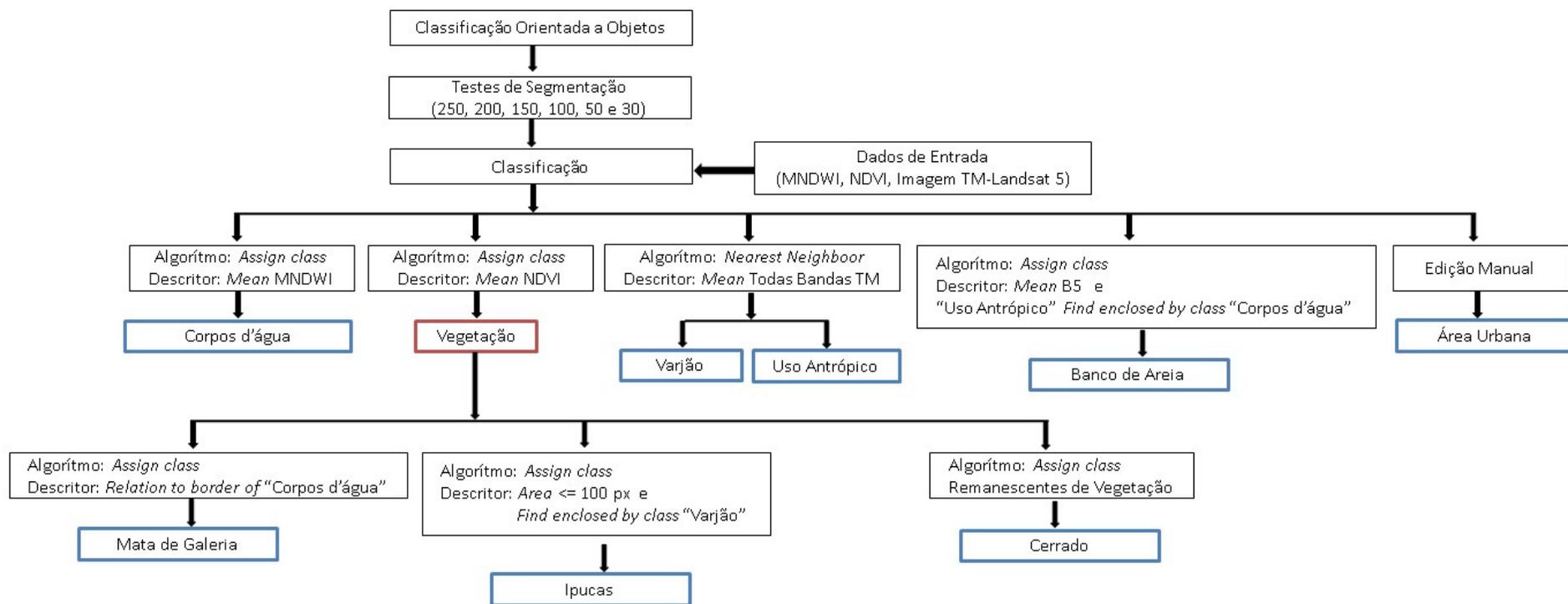


FIGURA 10 - SEGUÊNCIA DOS ALGORÍTMOS E DESCRITORES UTILIZADOS NO PROCESSO DE CLASSIFICAÇÃO

2.5. VALIDAÇÃO DO MAPEAMENTO

Para validação do mapeamento foram realizadas duas campanhas de campo. A primeira foi realizada no mês de outubro do ano de 2010 e a segunda campanha ocorreu no mês de março de 2011. A definição da quantidade mínima de pontos utilizados para validação foi definida conforme relação proposta por Jensen (1996):

$$N = ((4.p.q)/E^2)$$

Onde p = percentual de exatidão esperado; $q = 1 - p$; e E = erro permissível. Para um percentual de exatidão de 90% e um erro admissível de 5%, o número mínimo de pontos utilizados é igual a 144. Optou-se por escolher um número duas vezes maior que esse valor, 288 pontos, aumentando a confiabilidade da validação.

O processo de validação refere-se a um processo de avaliação, por meio de um método independente da qualidade de um produto gerado (JUSTICE et al., 2000). Nesse contexto, mapas ou interpretações produzidos por sensores TM Landsat ou similares, com resolução espacial decimétrica, podem ser validados, por exemplo, por meio de campanhas de campo, fotografias aéreas ou imagens com resolução espacial mais refinada (MORISSETTE et al., 2003). Com base nesses estudos, além dos pontos coletados em campo, foram utilizados como fontes de validação imagens HRG SPOT 5 (2,5m de resolução espacial) do ano de 2009 e imagens Ikonos disponíveis no GoogleEarth Pro.

Na avaliação dos resultados das classificações foram utilizados os coeficientes de Exatidão Global e Kappa gerados a partir da matriz de confusão. A matriz de confusão é uma matriz quadrada de números que expressam a quantidade de unidades amostrais, associada a uma dada categoria durante o processo de classificação efetuado, e à categoria real a que pertencem essas unidades (CONGALTON, 1991). Para conceituar os resultados obtidos pelo coeficiente Kappa foram utilizados os intervalos pré-definidos por Landis e Koch (1977).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. MATEMÁTICA DE BANDAS ESPECTRAIS

As matemáticas de bandas espectrais aplicadas na imagem TM Landsat (MNDWI e NDVI) forneceram uma gama maior de informações para a execução do processo de classificação digital.

A imagem obtida pelo índice MNDWI gerou valores entre os intervalos de -1,09 a 2,45, que possibilitaram o realce dos corpos d'água (Figura 11A). Os intervalos do índice MNDWI que melhor definiram os Corpos d'água foram relacionados diretamente aos valores mais positivos, possuindo a variação de 0,48 a 2,06, que são explicados pela presença da banda 5 (IVM) na equação, gerando assim uma resposta espectral mais sensível a lâmina d'água perante outras classes. Os valores do MNDWI entre 2,07 e 2,45 foram referentes as nuvens. Já os valores entre 0,48 e -1,09 envolveram as demais feições que não apresentaram nenhum realce em relação ao índice MNDWI (área urbana, solo exposto, unidades fitofisionômicas e áreas de uso antrópico).

Já o índice NDVI apresentou valores variando entre -1 a 1, que representaram os valores da vegetação verde sadia presente na área de estudo. No entanto, esse índice possibilitou somente um melhor realce da vegetação referente às classes Matas de Galeria, Ipucas e Cerrado. Os intervalos do índice que definiram os comportamentos para as áreas de Mata de Galeria, Ipucas e Cerrado foram de 0,44 a 0,63. As classes Varjão e Uso Antrópico apresentaram índices NDVI bem similares entre si, dificultando a definição de um intervalo que melhor definisse essas classes (Figura 11B).

Essa difícil distinção entre as áreas de Varjão e Uso Antrópico se deve as suas respostas espectrais que se apresentaram muito similares, o que dificultou a distinção exata de um valor NDVI para cada classe na imagem.

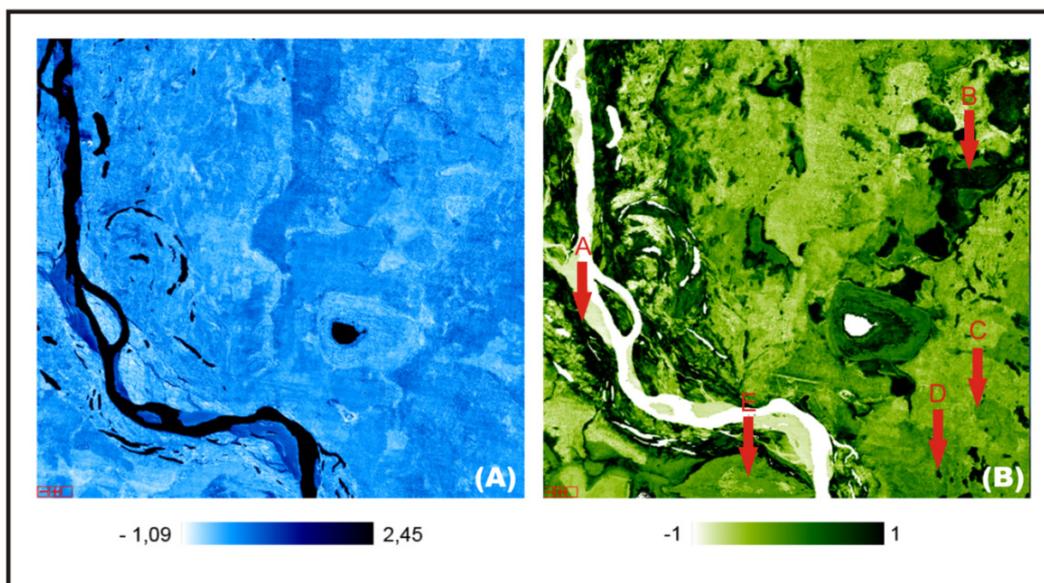


FIGURA 11 - (A) RESULTADOS OBTIDOS PELO ÍNDICE MNDWI. (B) - DETALHE DAS UNIDADES DE VEGETAÇÃO NA IMAGEM NDVI: (A) MATAS DE GALERIA; (B) CERRADO; (C) VARJÃO; (D) IPUCAS E (E) USO ANTRÓPICO

3.2. TESTES DE SEGMENTAÇÃO

Os resultados dos testes de segmentação da imagem, utilizando os parâmetros de escala: 250, 200, 150, 100, 50 e 30 são visualizados na Figura 12.

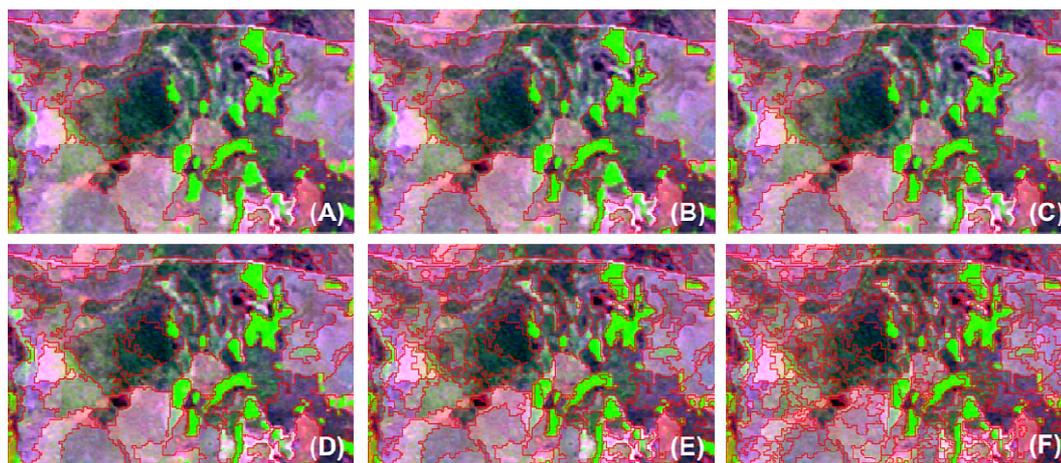


FIGURA 12 - RESULTADOS OBTIDOS DE ACORDO COM OS PARÂMETROS DE ESCALA APLICADOS NOS TESTES DE SEGMENTAÇÃO: 250 (A); 200 (B); 150 (C); 100 (D), 50 (E) E 30 (F)

Optou-se por selecionar o parâmetro de escala que apresentou melhores diferenças visuais significativas no tamanho e na forma dos objetos obtidos referentes às classes de uso e cobertura da terra na área de estudo. De acordo com Pratt (2007), nenhum resultado de segmentação mesmo que aprovado em testes quantitativos será convincente se não satisfizer uma análise realizada pelos olhos humanos, que continua sendo a fonte mais robusta e experiente para a avaliação das técnicas de segmentação.

Como se pode observar nos parâmetros de escala 250, 200 e 150 os resultados obtidos apresentaram maior agregação dos objetos, que pode ocasionar em uma generalização entre as classes, podendo resultar em erros no processo de classificação da imagem e não representarem de forma fidedigna os valores reais. Dessa forma, esses objetos foram considerados inapropriados para o processo de classificação digital da imagem.

Os parâmetros de escala 100 e 50 apresentaram um bom desempenho no processo de segmentação para boa parte das classes de uso e cobertura da terra, no entanto, para a individualização dos objetos relacionados a classe de Ipucas esses parâmetros não apresentaram resultados consistentes. Já o parâmetro de escala 30, que gerou objetos menores, foi o escolhido para a execução do processo de classificação orientada a objetos por ter fornecido um detalhamento mais preciso das classes de uso e cobertura da terra e a conseqüente obtenção de resultados de classificação mais refinados.

3.3. CLASSIFICAÇÃO ORIENTADA A OBJETOS

As classes de uso e cobertura da terra foram obtidas pelo processo de classificação orientada a objetos (Figura 13). Dentre elas, as áreas de Varjão (fitofisionomias de campos de murundus) foi a classe predominante cobrindo 72% da área, seguida pela Mata de Galeria com 9, Cerrado (cerrado típico e cerradão) com 8%, Uso Antrópico (agricultura e pastagem) com 4%, Ipucas (fragmentos naturais de florestas inundáveis) com 3%, Corpos d'água com 3%, Banco de Areia com 1% e Área Urbana com 0,3% (Tabela 1).

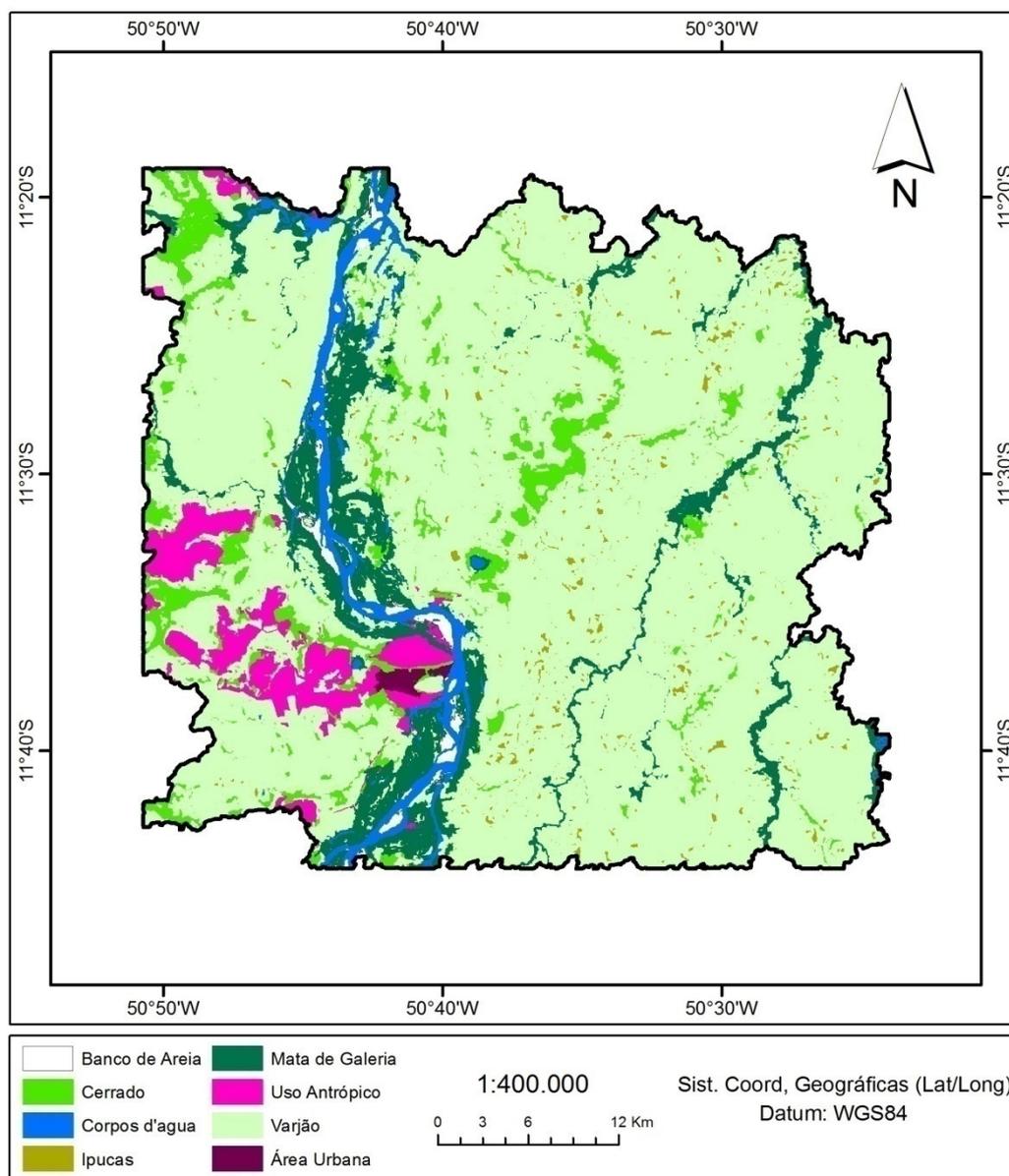


FIGURA 13 - MAPA DE USO E COBERTURA DA TERRA RESULTANTE DO PROCESSO DE CLASSIFICAÇÃO ORIENTADA A OBJETOS

O Varjão corresponde à formação com maior extensão nessa região. Os resultados apresentados corroboram com o estudo de Martins et al. (2002) que elaboraram a classificação fitofisionômica e de uso antrópico para diagnosticar fragmentos florestais naturais em uma área pontual no município de Lagoa da Confusão no estado do Tocantins. Esses autores verificaram que as áreas de varjão foram as que apresentaram as maiores contribuições na composição da paisagem.

TABELA 1 – RELAÇÃO DAS ÁREAS OBTIDAS PARA CADA CLASSE DE USO E COBERTURA DA TERRA

| Classe | Área (ha) | Área (%) |
|-----------------|-----------|----------|
| Varjão | 138.984 | 72 |
| Mata de Galeria | 18.383 | 9 |
| Cerrado | 15.296 | 8 |
| Uso Antrópico | 7.850 | 4 |
| Ipucas | 5.694 | 3 |
| Corpos d'água | 5.426 | 3 |
| Banco de Areia | 1.898 | 1 |
| Área Urbana | 523 | 0,3 |
| Total | 194.054 | 100 |

3.4. VALIDAÇÃO DO MAPEAMENTO

O índice de exatidão global para o mapeamento foi de 83%. De um total de 288 pontos amostrados no processo de validação, 240 pontos foram mapeados corretamente e o valor do coeficiente de concordância Kappa obtido foi de 0,72, considerado como “muito bom” segundo os critérios estabelecidos por Landis e Koch (1977). Um fator que contribui para a diminuição da exatidão global é a transição gradual e complexa das áreas de Cerrado e Varjão para as fitofisionomias adjacentes.

Ao avaliar a matriz de confusão gerada pelo processo de classificação foi observado que as classes apresentaram menor confusão foram Área Urbana e Banco de Areia e as que apresentaram maior confusão foram Varjão e Uso Antrópico. As áreas de Varjão obtiveram pixels classificados erroneamente para as classes Cerrado, Mata de Galeria, Ipucas e Banco de Areia, sendo que o Cerrado foi a classe que apresentou maior confusão com o Varjão. No entanto, o Varjão ainda foi a segunda classe com maior percentual de exatidão no mapeamento com 92%. A classe Uso Antrópico obteve uma maior confusão com as classes Banco de Areia, Varjão, Cerrado e Corpos d'água, na qual os Bancos de Areia compreendem a classe que possui maior confusão com as áreas de Uso Antrópico. Por outro lado, A Classe Área Urbana foi a que demonstrou maior porcentagem de acerto na classificação com 100% de exatidão, que, no entanto esse resultado já era esperado pelo fato dessa

classe ter sido classificada por edição manual (Tabela 2).

TABELA 2 - MATRIZ DE CONFUSÃO EM RELAÇÃO À SEPARABILIDADE DAS AMOSTRAS COM BASE NOS RESULTADOS DA CLASSIFICAÇÃO ORIENTADA A OBJETOS

| | Classificação | | | | | | | | | | |
|------------|-----------------|---------------|--------|---------|--------|-----------------|---------------|----------------|-------------|---------|-------------|
| | Classes | Uso Antrópico | Varjão | Cerrado | Ipucas | Mata de Galeria | Corpos d'água | Banco de Areia | Área Urbana | Total | Omissão (%) |
| Referência | Uso Antrópico | 13 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15 | 32 |
| | Varjão | 5 | 159 | 5 | 1 | 6 | 2 | 1 | 0 | 179 | 8 |
| | Cerrado | 1 | 5 | 17 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 24 | 48 |
| | Ipucas | 0 | 1 | 0 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 16 | 12 |
| | Mata de Galeria | 0 | 4 | 11 | 0 | 20 | 1 | 0 | 0 | 36 | 26 |
| | Corpos d'água | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 9 | 0 | 0 | 10 | 25 |
| | Banco de Areia | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 5 | 20 |
| | Área Urbana | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 0 |
| | Total | 19 | 172 | 33 | 17 | 27 | 12 | 5 | 3 | 288 | -- |
| | Comissão (%) | 13 | 11 | 29 | 6 | 44 | 10 | 20 | 0 | EG= 83% | |
| Acerto (%) | 68 | 92 | 52 | 88 | 74 | 75 | 80 | 100 | K= 0,72 | | |

Resultados semelhantes são apresentados por Santiago & Pereira Junior (2010) no mapeamento de uso e cobertura da terra do

Parque Estadual do Jalapão que possui uma área de 158.000 ha no estado do Tocantins, entretanto esses autores aplicaram em imagens TM Landsat 5 um MLME (Modelo Linear de Mistura Espectral) que fora classificado de forma não supervisionada pelo algoritmo Isoseg. Vale ressaltar que a área de estudo no presente trabalho possui uma área total de 194.000 ha o que tornam satisfatórios os resultados obtidos com os dados do sensor TM Landsat no mapeamento de uso e cobertura da terra com a aplicação da classificação orientada a objetos. Alves et al. (2009) utilizaram a classificação orientada a objetos em imagens TM Landsat no mapeamento da área urbana do município de São José dos Campos no estado de São Paulo, para esses autores há uma grande viabilidade do uso da classificação orientada a objeto no mapeamento de áreas urbanizadas a partir de imagens de média resolução espacial. Deste modo, o estudo demonstrou que esse método de classificação tem um grande potencial para o mapeamento de áreas urbanizadas, não somente com a utilização de imagens de alta resolução espacial, como vem ocorrendo, mas também com a de imagens de média resolução.

A Classificação Orientada a Objetos possui maior aplicação em imagens de alta resolução espacial, no entanto, os resultados aqui apresentados mostram-se satisfatórios para aplicação em imagens de média resolução espacial, tais como as imagens TM Landsat. Isso faz com que ela se torne uma excelente ferramenta a ser utilizada para tomadas de decisão em estudos relacionados ao manejo das paisagens, bem como delimitação de habitats específicos, Podendo citar como exemplo a classificação e delimitação de Ipucas. Pois estas fitofisionomias apresentam uma resposta espectral muito similar aos Varjões e Matas de Galeria, o que dificultaria a sua classificação por outro método de classificação convencional.

Com esses resultados pode-se observar que a Classificação Orientada a Objetos possui muitas potencialidades, dentre as principais destacam-se a segmentação das imagens em mais de uma escala, a classificação com mais de um conjunto de parâmetros, a possibilidade de exploração de atributos espectrais, de textura, geométricos e topológicos para a classificação de segmentos. Permite a elaboração de forma flexível

de regras e processos complexos de classificação e análise de imagens, permitindo inclusive a emulação do raciocínio humano de interpretação de imagens de sensoriamento remoto.

4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos pode-se concluir que:

- O mapeamento do uso da terra pelo processo de Classificação Orientada a Objetos obteve um índice de Exatidão Global de 83% e um coeficiente de concordância Kappa de 0,72; considerado como muito bom para os objetivos do mapeamento, sendo que parâmetro de escala 30 testado no processo de segmentação foi o que propiciou o melhor delineamento classes mapeadas;

- Para o mapeamento realizado o Varjão foi à unidade fitofisionômica de maior extensão na área de estudo;

- A utilização do método de classificação orientada a objetos, as matemáticas de bandas espectrais (MNDWI e NDVI) associadas ao processo de classificação em conjunto com uma segmentação em escala mais refinada demonstrou resultados satisfatórios, sendo que a metodologia utilizada poderá ser replicada para outras áreas com características semelhantes.

- A aplicação de novas técnicas de processamento digital de imagens de sensoriamento remoto no mapeamento do uso da terra, com enfoque especial para a Classificação Orientada a Objetos que apesar de ainda ser pouco difundida, tende a ser uma nova abordagem que tomará frente a inúmeros estudos relacionados a verificação e disposição dos recursos naturais quanto a sua distribuição espacial.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADLER-GOLDEN, S.M.; MATTHEW, M.W.; BERNSTEIN, L.S.; LEVINE, R.Y.; BERK, A.; RICHTSMEIER, S.C.; ACHARYA, P.K.; ANDERSON, G.P.; FELDE, G.; GARDNER, J.; HIKE, M.; JEONG, L.S.; PUKALL, B.; MELLO, J.; RATKOWSKI, A.; BURKE, H. Atmospheric correction for shortwave spectral imagery based on MODTRAN4. **SPIE Proceeding Imaging Spectrometry**, v. 3753, p. 61-69, 1999.

ANA. Agência Nacional das Águas. **HidroWeb: Sistema de Informações Hidrológicas**. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br>. Acesso em: 27 dez. 2011.

ANTUNES, A. F. B. **Classificação de ambiente ciliar baseada em orientação a objeto em imagens de alta resolução espacial**. 2003. 147 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

ALVES, C. D.; PEREIRA, M. N.; FLORENZANO, T. Z.; SOUZA, I. M. Análise orientada a objeto no mapeamento de áreas urbanas com imagens Landsat. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 15, p. 120-141, 2009.

ARAÚJO, E. H. G. **Análise multitemporal de cenas do satélite QuickBird usando um novo paradigma de classificação de imagens e inferências espaciais. Estudo de caso: Belo Horizonte, MG**. 2006. 175 p. Dissertação (Mestrado) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

BAATZ, M.; SCHAPE, A. Multiresolution Segmentation: an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. **Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 58, p. 12-23, 2000.

BERK, A.G.P.; ADLER-GOLDEN, S.M.; RATKOWSKI, A.J.; FELDE, G.W.; ANDERSON, G.P.; HOKE, M.L.; COOLEY, T.; CHETWYND, J.H.; GARDNER, J.A.; MATTHEW, M.W.; BERNSTEIN, L.S.; ACHARYA, P.K.; MILLER, D.; LEWIS, P. Exploiting MODTRAN radiation transport atmospheric correction: the FLAASH algorithm. **SPIE Proceeding Optical Spectroscopic Techniques and Instrumentation for Atmospheric and Space Research**, v. 2, p. 798-803, 2002.

BLASCHKE, T.; LANG, S.; LORUP, E.; STROBL, J.; ZEI, P. Object-oriented image processing in an integrated GIS/remote sensing environment and perspectives for environmental applications. In: CREMERS, A., GREVE, K. (EDS.). ENVIRONMENTAL INFORMATION FOR PLANNING, POLITICS AND THE PUBLIC, 2, MARBURG, 2000. Marburg: Metropolis-Verlag, v. 2, p.555-570.

BURNETT, C.; BLASCHKE, T.A multi-scale segmentation/object relationship modeling methodology for landscape analysis **.Ecological**

Modelling, v. 168, p. 233-249, 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.

DI GREGÓRIO, A. Land Cover Classification System (LCCS), version 2: Classification Concepts and User Manual. **FAO Environment and Natural Resources Service Series**, No. 8 - FAO, Rome, 2005, 208p.

ESCH, T.; THIEL, M.; BOCK, M.; ROTH, A.; DECH, S. Improvement of image segmentation accuracy based on multiscale optimization procedure. **IEEE Geoscience Remote Sensing Letters**, v. 5, p. 463–467, 2008.

EVANS, T. L.; COSTA, M.; TELMER, K.; SILVA, T. S.F. Using Alos/Palsar and Radarsat-2 to Map Land Cover and Seasonal Inundation in the Brazilian Pantanal. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, v. 3, p. 560-575, 2010.

JENSEN, J.R. **Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective**. 2. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1996, 316 p.

JUSTICE, C.; BELWARD, A.; MORISETTE, J.; LEWIS, P.; PRIVETTE, J.; BARET, F. Developments in the 'validation' of satellite sensor products for the study of land surface. **International Journal of Remote Sensing**, v. 21, p. 3383–3390, 2000.

KÖPPEN, W. **Climatologia: conunestudio de los climas de latierra**. Fondo de Cultura Econômica. México. 1948, 479p.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurements of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, p. 159-174, 1977.

LATRUBESSE, E.M.; STEVAUX, J.C. Características físico-bióticas e problemas ambientais associados à planície aluvial do Rio Araguaia. **Revista UnG-Geociências**, v.5, p. 65-73, 2006.

LUZ, N.; ANTUNES, A. F. B.; TAVARES JUNIOR, J. B. Segmentação Multiresolução e Classificação Orientada a Objetos Aplicados a Imagens Spot-5 para o Mapeamento do Uso da Terra. **Revista Floresta**, v. 40, p. 1-12, 2009.

MARKHAM, B.L.; BARKER, L.L. Thematic mapper bandpass solar exoatmospherical irradiances. **International Journal of Remote Sensing**, v.8, p.517-523, 1987.

MARTINS, Y. C. M.; SOARES, V. P.; SILVA, E.; BRITES, R. S. Diagnóstico ambiental no contexto da paisagem de fragmentos florestais naturais "Ipucas" no município de Lagoa da Confusão, Tocantins. **Revista**

Árvore, v. 26, p. 299-309, 2002.

MILESKI, E. **Aspecto da vegetação e do ecossistema da Ilha do bananal. Mapa fitoecológico e indicadores da pressão antrópica.** Brasília: Gráfica da Secretária de Assuntos Estratégicos, 1994. 104 p.

MORISSETTE, J.T.; NICKESON, J.E.; DAVIS, P.; WANG, Y.; TIAN, Y.; WOODCOCK, C.E.; SHABANOV, N.; HANSEN, M.; COHEN, W.B.; OETTER, D.R.; KENNEDY, R.E. High spatial resolution satellite observations for validation of MODIS land products: IKONOS observations acquired under the NASA scientific data purchase. **Remote Sensing of Environment**, v. 88, p. 100-110, 2003.

PINHO, C. M. D. **Análise orientada a objetos de imagens de satélites de alta resolução espacial aplicada à classificação de cobertura do solo no espaço intra-urbano: o caso de São José dos Campos.** 2005. 180 p. Dissertação (Mestrado) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

PRATT, W. **Digital image processing:PIKS scientific inside.** 4. ed. New York: J. Wiley, 2007, 786 p.

RADAM-BRASIL. Levantamento de Recursos Naturais. Ministério das Minas e Energia 25, Folha SC-22 Tocantins, 1981.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM, 3, WASHINGTON, 1973 Whashington. **Proceedings.** Whashington: National Aeronautics and Space Administration, 1973, p.309-317.

SANTIAGO, A. R.; PEREIRA JÚNIOR, A. C. Mapeamento da cobertura da terra dos Parques Estaduais do Jalapão (PEJ), Cantão (PEC) e município de Itaguatins (Tocantins). **Revista Ambiência**, v. 6, p. 109-124, 2010.

SOBRINHO, T.A.; OLIVEIRA, P.T.S.; RODRIGUEIS, D.B.B. Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM. **Revista Engenharia Agrícola**, v.30, p. 46-57, 2010.

VELOSO H. P.; RANGEL-FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal.** Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1991, 123p.

XU, H. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery.**International Journal of Remote Sensing**, v.27, p.3025-3033, 2006.

YAN, G.; MAS, J. F.; MAATHUIS, B.H.P.; XIANGMIN,Z.;VAN DIJK, P.M. Comparison of pixel-based and object-oriented image classification

approaches- a case study in a coal fire area, Wuda, Inner Mongolia, China. **International Journal of Remote Sensing**, v. 27, p. 4039-4055, 2006.

CAPITULO II

USO DE GEOTECNOLOGIAS NA ANÁLISE DA OCORRÊNCIA DE UNIDADES FITOFISIONÔMICAS NA REGIÃO DO MÉDIO ARAGUAIA

RESUMO

O objetivo desse capítulo foi estudar a relação entre as unidades fitofisionômicas da planície de inundação do Médio Araguaia com a altitude, declividade e inundação com o uso de geotecnologias. O trabalho foi realizado em um trecho de rio na planície de inundação do Médio Araguaia, entre o município de São Félix do Araguaia-MT e a Ilha do Bananal-TO. As unidades fitofisionômicas foram mapeadas com a aplicação da Classificação Orientada a Objetos em uma imagem TM-Landsat 5 de setembro de 2010, sendo que as classes de altitude e declividade foram extraídas a partir de um MDE SRTM. Para o mapeamento de áreas inundáveis foi utilizada a classificação *Support Vector Machine* em uma imagem TM-Landsat 5 de março de 2007. Foram mapeadas quatro unidades fitofisionômicas, sendo o Varjão a unidade com maior área de ocorrência, seguido pela Mata de Galeria, Cerrado e Ipucas, respectivamente. O Varjão apresentou maior ocorrência em áreas de baixa altitude e declividade e em áreas inundáveis. A Mata de Galeria ocorre em áreas de média altitude e declividade e em áreas inundáveis e não inundáveis. O cerrado predomina em regiões de baixa altitude com declividade média e em áreas inundáveis e não inundáveis. As Ipucas localizam-se nas áreas de baixa altitude, baixa e média declividade e áreas inundáveis. As análises estatísticas indicaram que a inundação foi o principal fator responsável pela ocorrência das unidades fitofisionômicas para a área de estudo.

Palavras-chave: sensoriamento remoto, geoprocessamento, inundação, altitude, declividade, fitofisionomias.

CHAPTER II

USE OF GEOTECHNOLOGY IN THE ANALYSIS OF THE OCCURRENCE OF PHYTOPHYSIOGNOMIC UNITS IN THE REGION OF THE MIDDLE ARAGUAIA

ABSTRACT

The aim of this chapter was studios at relationship between the of phytophysiological units in the floodplain of the Middle Araguaia with the topography, slope and flood. The study was conducted in an area located off the floodplain of the Middle Araguaia, between the municipality of Sao Felix do Araguaia-MT and Bananal Island-TO. The areas were mapped drives with the application of object-oriented classification of a Landsat 5-TM image of September 2010, the topography and slope classes were derived from a SRTM DEM and the mapping of wetlands has been used to the classification Support Vector Machine in a Landsat TM image of March 2007. Four units were mapped vegetation types, being the Varjão the unit with the largest area of occurrence, followed by the Gallery Forest, Savanna and Ipucas, respectively. Varjão had a higher occurrence in areas of low altitude and slope and wetlands. The Gallery Forest occurs in areas of medium altitude and slope and in areas subject to flooding and not flooding. The savanna predominates in regions of low altitude with a slope and in areas subject to flooding and not flooding. The ipucas have a preference for low-topography, low-and middle slopes and wetlands. Statistical analysis indicated that the flooding was the main factor responsible for the occurrence of phytophysiological units for the study area.

Key-words: remote sensing, geoprocessing, flood, topography, slope, phytophysiologicals.

1. INTRODUÇÃO

A faixa fluvial do Araguaia e a Planície do Bananal são identificadas como áreas prioritárias para conservação por agências nacionais e organizações não-governamentais, enquanto, a Convenção Ramsar para Áreas Úmidas declarou o médio Rio Araguaia como uma área Ramsar em 1993 (LATRUBESSE e STEVAUX, 2006). É considerada uma área com características ambientais singulares entre os ambientes de terras alagáveis e compreende um expressivo ecótono entre Amazônia e Cerrado, no qual explica o vasto mosaico vegetacional ali presente (BRITO et al., 2006).

Em ambientes inundáveis a diversificação de fitofisionomias e sua distribuição têm sido relacionada à inundação e as características topográficas (ARIEIRA e NUNES DA CUNHA, 2006; CUNHA et al., 2007; FANTIN-CRUZ et al., 2010). No entanto, são escassos os estudos relacionados às variáveis que influenciam a ocorrência de unidades fitofisionômicas para a região do Médio Araguaia, destacando-se apenas estudos que abordam fitossociologia em áreas pontuais (MARIMON e LIMA, 1999; BRITO et al., 2006; MARTINS et al., 2008); geomorfologia (CARVALHO e LATRUBESSE, 2004; BAYER, 2002; MORAIS, 2002; MORAIS et al., 2005), ecologia da paisagem (MARTINS et al., 2002), relações solo-geoambiente (MARTINS et al., 2006), e portanto, faz-se necessário a obtenção dessas informações em uma escala regional.

Estas informações são de grande importância para aprofundamento do conhecimento das unidades fitofisionômicas na região do Araguaia e sua potencialidade como indicador das condições ambientais, tanto no que se refere às questões do manejo dos recursos naturais, quanto   proteção do solo e definição de habitats de animais silvestres.

Uma nova perspectiva no estudo destas questões surge com a possibilidade de se trabalhar as relações entre os elementos da paisagem, utilizando esses fatores de forma especializada com o uso de técnicas de sensoriamento remoto associadas a análises em ambientes de Sistemas de Informações Geográficas. Muitos autores têm aplicado

técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento em outros ecossistemas, como por exemplo: Shida e Pivello (2002) utilizaram técnicas de sensoriamento remoto e Sistemas de Informações Geográficas no estudo da relação das classes de uso da terra com os fatores fisiográficos na região de Luiz Antônio e Santa Rita do Passa Quatro no Estado de São Paulo. Ruggiero et al. (2006) estudaram a relação entre solo, vegetação e topografia em uma área de cerrado em diferentes níveis de detalhe, incorporando esses dados em Sistema de Informações Geográficas a fim de analisar a coincidência entre as classes delimitadas em cada um destes temas e detalhamentos. Fantin-Cruz et al. (2010) caracterizaram e quantificaram as unidades fitofisionômicas em mesoescala no pantanal matogrossense com o auxílio de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, estabelecendo relações entre as unidades fitofisionômicas com a intensidade e duração da inundação com a topografia.

Neste contexto, visando contribuir para o conhecimento de fitofisionomias em áreas úmidas na planície de inundação da região do Médio Rio Araguaia essa pesquisa tem como objetivo principal realizar um estudo sobre a ocorrência das unidades fitofisionômicas e suas relações com a inundação e os fatores fisiográficos (altitude e declividade) em um trecho de rio na planície de inundação do Médio Rio Araguaia entre o município de São Félix do Araguaia-MT e a Ilha do Bananal-TO, desenvolvida com o uso de técnicas de processamento digital de imagens de Sensoriamento Remoto e análises em Sistemas de Informações Geográficas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

As etapas que compreendem os pré-processamentos e processamentos digitais, além das análises que foram realizadas neste capítulo podem ser visualizadas na Figura 14.

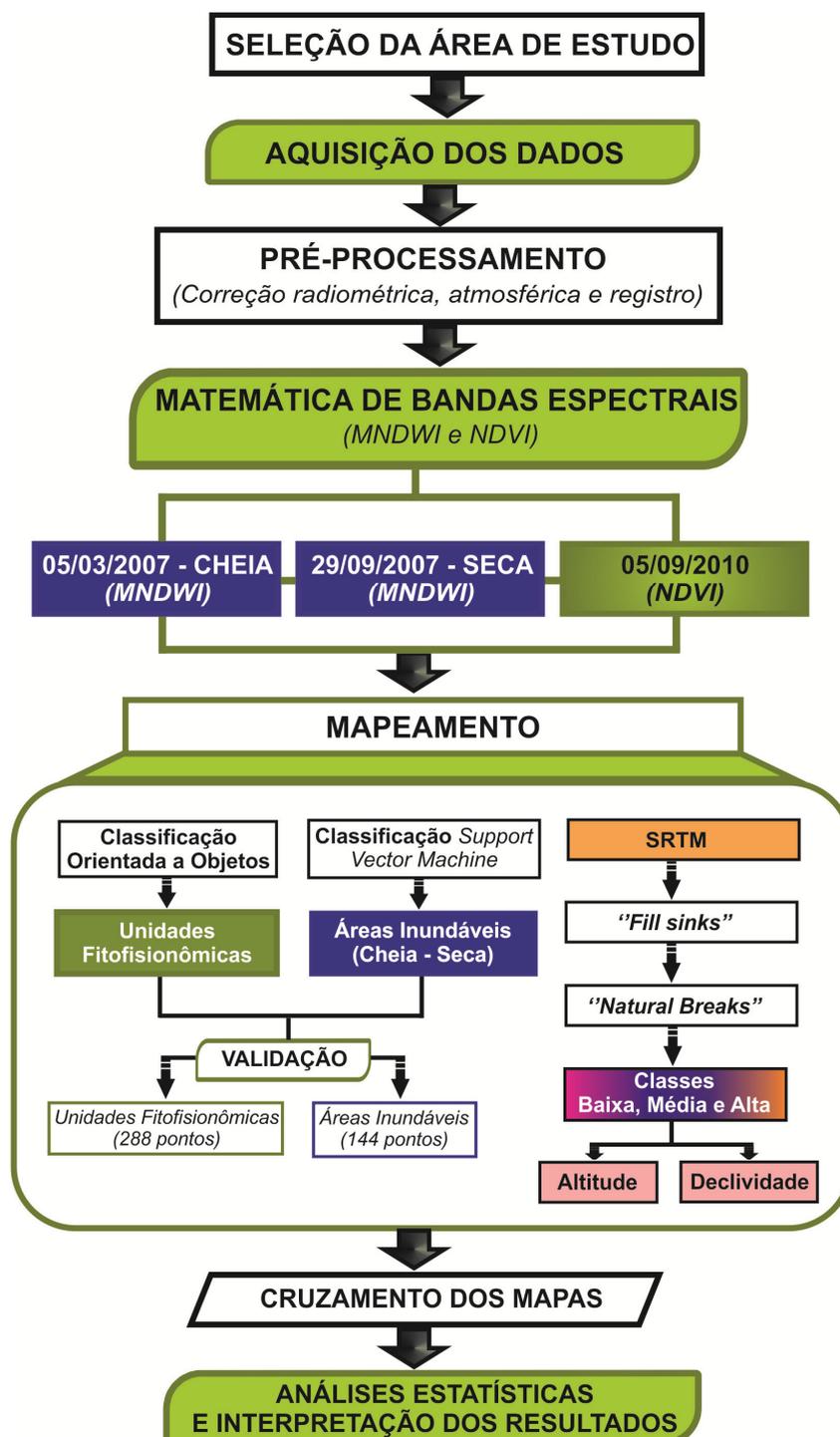


FIGURA 14 - FLUXOGRAMA APRESENTANDO AS ETAPAS DE PROCESSAMENTO E ANÁLISES DOS DADOS

2.1. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo corresponde às áreas úmidas que envolvem um trecho de rio na planície de inundação do médio Rio Araguaia. Possui uma extensão de 194.000 ha e está localizada entre as latitudes 11°18' e 11°45'S e longitudes 50°51' e 50°23'W, na região do Médio Araguaia, entre o município de São Félix do Araguaia no estado de Mato Grosso e a Ilha do Bananal no estado do Tocantins (Figura 15).

Para um melhor entendimento dos critérios utilizados na seleção da área de estudo, bem como sua caracterização, essas informações encontram-se detalhadas no Capítulo I dessa dissertação.

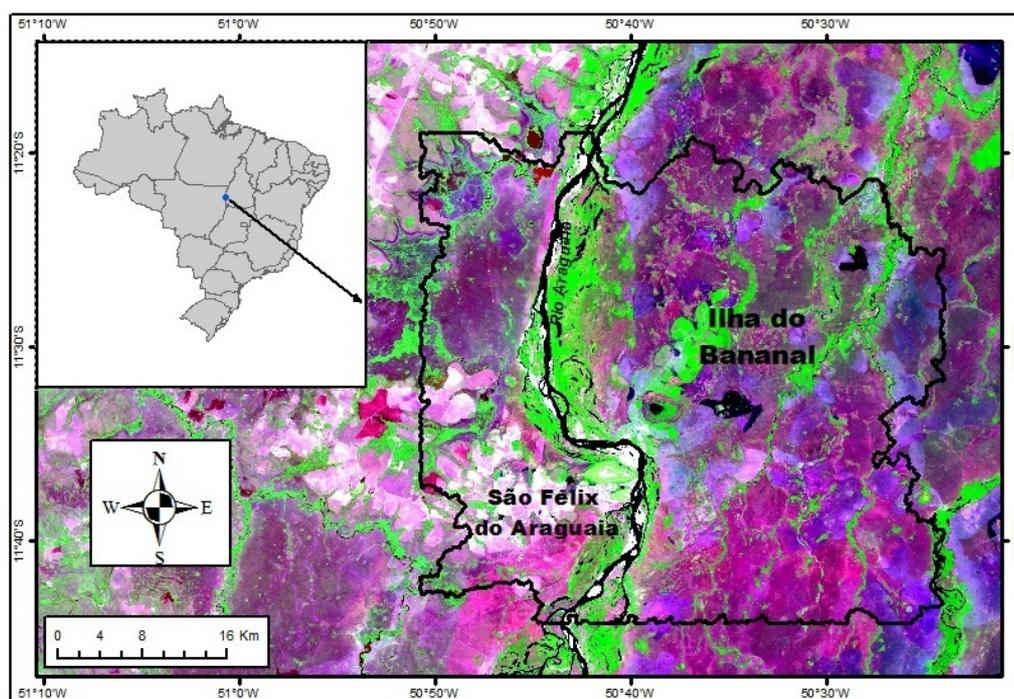


FIGURA 15 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.2. BASE DE DADOS

No desenvolvimento desse estudo foram utilizados os seguintes dados:

- Imagem do sensor TM-Landsat 5, órbita 223, ponto 068, de 5 de setembro de 2010; 05 de março de 2007 (período de cheia) e 29 de setembro de 2007 (período de seca) envolvendo as seguintes

bandas espectrais: bandas 1 (0,45 - 0,52 μm), 2 (0,50 - 0,60 μm), 3 (0,63 - 0,69 μm), 4 (0,76 - 0,90 μm), 5 (1,55 - 1,75 μm) e 7 (2,08 - 2,35 μm);

- Imagem georreferenciada e ortorretificada do sensor ETM+ Landsat 7 cena 223/068 de 19/10/2000 obtida junto ao GLCF (*Global Land Cover Facility*) que auxiliou o processo de correção geométrica;

- Imagens ortorretificadas HGR SPOT 5 (Spot Maps) MI 1767 e 1824;

- Imagens Íkonos disponíveis no software Google Earth Pro.

- Carta da Cobertura Vegetal do Bioma Cerrado/PROBIO - SC-22-Z-C na escala 1:250.000;

- MDE (Modelo Digital de Elevação) da missão SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) com resolução espacial de 30 metros. Todos os processamentos efetuados para a geração do MDE foram conduzidos pela JPL (*Jet Propulsion Laboratory*) e obtidos na página eletrônica de seu grupo de pesquisa em áreas úmidas (wetlands.jpl.nasa.gov).

2.3. PRÉ-PROCESSAMENTO DOS DADOS

As etapas de pré-processamento (Correção radiométrica, atmosférica e registro) foram aplicadas a todas as imagens TM Landsat utilizadas no estudo. Para maiores detalhes ver o Capítulo I dessa dissertação.

2.3.1. Matemática de Bandas Espectrais MNDWI e NDVI

As datas que ocorreram a maior cheia e seca na região foram as que condiziam com a disponibilidade de dados sem a ocorrência de nuvens. As datas escolhidas para a cena TM-Landsat 5 que envolve a área de estudo foram 5 de março de 2007 (cheia) e 29 de setembro de 2007 (seca). Estas foram definidas após a análise da série histórica dos dados hidrológicos disponibilizados pela Agência Nacional das Águas (ANA) através do posto 26350000 localizado em São Félix do Araguaia-

MT. A altura da lâmina d'água variou de zero a 916 cm para o período de maior cheia e zero a 267 cm para o período de maior seca (Figura 17).

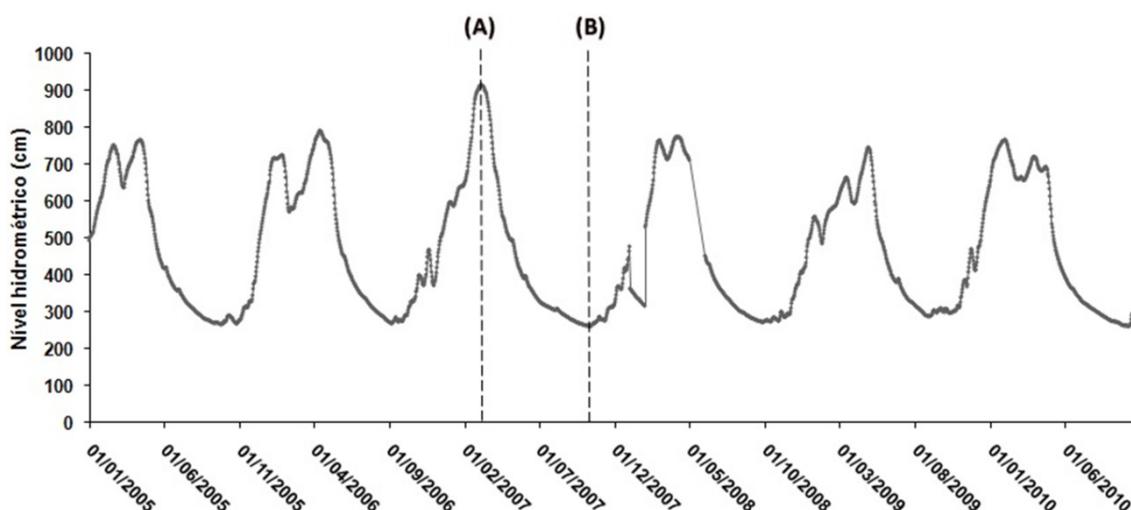


FIGURA 16 - HIDROGRAMA DO RIO ARAGUAIA EM SÃO FÉLIX DO ARAGUAIA. (A) DATA DE MAIOR CHEIA; (B) DATA DE MAIOR SECA

As imagens do ano de 2007 foram submetidas a técnica de matemática de banda espectral denominada MNDWI (Índice de Diferença Normalizada na Água). O índice MNDWI foi aplicado no com o objetivo de auxiliar a classificação das áreas inundáveis e foi executado conforme metodologia proposta por Xu (2006), descrita no Capítulo I dessa dissertação.

Na imagem de 2010 foi aplicado o índice NDVI (Índice de Vegetação de Diferença Normalizada) que auxiliou a elaboração do mapa de unidades fitofisionômicas, que delimitou as classes de vegetação relacionadas as Ipucas, Matas de Galeria e Cerrado sendo aplicado conforme a equação proposta por Rouse et al. (1973), descrita no Capítulo I dessa dissertação.

2.4. MAPEAMENTO DE UNIDADES FITOFISIONÔMICAS

Para o mapeamento das unidades fitofisionômicas foi utilizada a Classificação Orientada a Objetos e optou-se por escolher uma imagem compatível com a data mais próxima possível da primeira campanha de campo, realizada em Novembro de 2010, sendo portanto escolhida uma

imagem do sensor TM-Landsat de 5 de setembro de 2010. Foram utilizados como dados de entrada no processo de classificação uma imagem NDVI, uma imagem MNDWI e as demais bandas espectrais (1, 2, 3, 4, 5 e 7) do sensor TM-Landsat 5. Na segmentação foi utilizado um parâmetro de escala definido como 30, compacidade 0,5 e suavidade 0,5. Os algoritmos *assign class* e *nearest neighbor*, bem como descritores de média, área e relação de borda foram os padrões empregados na classificação.

As unidades fitofisionômicas definidas para o mapeamento são caracterizadas no Quadro 3 de acordo com as definições do RADAM BRASIL (1981), Veloso et al. (1991) e do Sistema de Classificação de Cobertura do Solo (LCCS), versão 2, da FAO (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*; Di Gregório, 2005).

QUADRO 3 – CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDADES FITOFISIONÔMICAS

| Classes | Sub-divisão | RADAM BRASIL (1981) | Veloso et al. (1991) | FAO (2005) |
|-----------------|----------------|---|--|---|
| Cerrado | Cerrado Típico | Savana Arbórea Aberta sem Floresta-de-Galeria | Savana Arborizada | Vegetação Natural |
| | Cerradão | Savana Arbórea Densa | Savana Florestada | Vegetação Natural |
| Mata de Galeria | --- | Savana Arbórea com Floresta-de-Galeria; Savana com Parque Floresta-de-Galeria. | Savana Florestada com Floresta de Galeria; Savana Arborizada com Mata de Galeria | Vegetação em áreas úmidas |
| Varjão | --- | Savana Parque sem Floresta-de-Galeria; Savana gramíneo-lenhosa sem Floresta-de-Galeria. | Savana Parque | Vegetação Natural |
| Ipucas | --- | --- | --- | Vegetação em Áreas Úmidas |
| Outras Classes | --- | Cidade; Agropecuária Pastagem; Rios, Córregos, Lagos e Lagoas | --- | Áreas Urbanas (Superfícies artificiais); Áreas expostas; Áreas terrestres cultivadas e gerenciadas; Vegetação semi-natural (pastos); Corpos d'água naturais |

FONTE: RADAM BRASIL (1981); VELOSO et al. (1991) e FAO (2005)

2.5. MAPEAMENTO DE ÁREAS INUNDÁVEIS

Para o mapeamento das áreas inundáveis foi utilizado o classificador não-paramétrico *Support Vector Machine* (SVM) desenvolvido por Vapnik (1995) e colaboradores (BOSER et al., 1992; CORTES e VAPNIK, 1995). Inicialmente foi efetuada a seleção das amostras de treinamento para implementação do algoritmo de classificação SVM. Mather (2004) relata que para os classificadores estatísticos convencionais tais como o algoritmo de classificação por máxima verossimilhança recomenda-se 30 amostras por classe. Recentes estudos mostram que o classificador SVM têm obtido resultados satisfatórios com uma menor quantidade de amostras de treinamentos (PAL e MATHER, 2006). Para este estudo, foram utilizadas 20 amostras representativas de cada classe, distribuídas aleatoriamente.

Na execução do classificador SVM foi utilizado o software de processamento digital de imagens Envi 4.8, tendo como base as imagens MNDWI. Foi escolhida como parâmetro de entrada a função de base radial, que é uma das funções mais comumente aplicadas em dados provenientes do sensoriamento remoto, como pode ser observado nos trabalhos de Pal e Mather (2004) e Foody e Mathur (2004). O parâmetro de penalidade foi fixado em seu valor máximo de 100, obrigando todos os pixels das amostras de treinamento convergir para uma classe. O nível de pirâmide foi definido como zero, fazendo com que a imagem seja processada com resolução espacial completa. Para o valor gamma na função Kernel foi especificado como 0,167. O limiar de probabilidade de classificação foi aplicado como zero, limitando todos os pixels da imagem a obter exatamente o rótulo de uma classe, não permanecendo nenhum pixel sem ser classificado.

Nesse processo foram definidas duas classes: áreas inundáveis e áreas não inundáveis, sendo computados para esse estudo somente os resultados obtidos pela classe de áreas inundáveis com o uso da imagem do período de cheia.

O mapeamento das áreas inundáveis foi obtido por meio da sobreposição topológica de corte (*erase*) para os valores de inundação

obtidos entre as imagens do ano de 2007 no período de cheia e seca, ou seja, foi realizada a subtração entre a classificação gerada entre a imagem de cheia e seca, obtendo-se assim, somente a área inundável para a área de estudo (Figura 18).

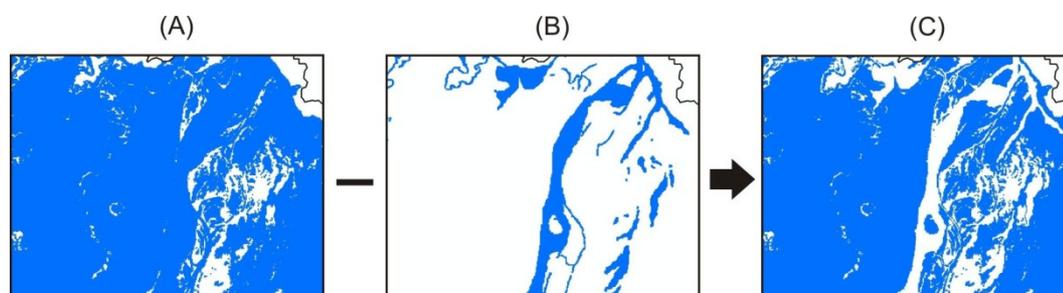


FIGURA 17 - ESQUEMA DA SOBREPOSIÇÃO TOPOLÓGICA DE CORTE NA OBTENÇÃO DO MAPA DE ÁREAS INUNDÁVEIS. (A) CHEIA; (B) SECA E (C) ÁREA INUNDÁVEL.

2.6. MAPEAMENTO DAS CLASSES DE ALTITUDE E DECLIVIDADE

Para o mapeamento das classes de altitude e declividade foi utilizado o Modelo Digital de Elevação SRTM, que inicialmente foi submetido à remoção de depressões espúrias. As depressões espúrias ou *sinks* são considerados impedimentos ao escoamento superficial, quando da aplicação de modelos chuva-vazão, modelos sedimentológicos e de poluentes de origem difusa (MENDES e CIRILO, 2001). Esse processo consiste na utilização dos valores mais consistentes que estão adjacentes a essas depressões, sendo utilizados como parâmetros de entrada no processo de interpolação, preenchendo essas pequenas depressões que possam ser originadas erroneamente no processo de criação do MDE.

No mapeamento da altitude e declividade foram definidas três classes: baixa, média e alta, nas quais foram delimitadas segundo análise do histograma de frequência das cotas altimétricas do MDE. Como na área de estudo a altitude exibe valores baixos na maior parte das regiões, foi utilizado um intervalo entre as classes de acordo com a distribuição da ocorrência da altitude e declividade à partir do método de aproximação denominado “Quebra Natural” (*Natural Breaks*) desenvolvido por Jenks (1977). Este método ajusta os limites das classes de acordo com a

distribuição dos dados, identificando pontos de quebra entre as classes, utilizando uma análise estatística que se baseia na variabilidade dos dados, que minimiza a soma da variância dentro de cada uma das classes. Este método encontra agrupamentos e padrões inerentes aos dados, diferenciando áreas entre si (SALLUN et al., 2007).

Para obtenção dos dados de declividade foi utilizada a função *slope* disponível na extensão *Spatial Analyst* do software ArcGIS 9.3 aplicada no MDE SRTM.

2.7. VALIDAÇÃO E ANÁLISE DAS RELAÇÕES ESPACIAIS

Para validação dos mapeamentos das unidades fitofisionômicas e das áreas inundáveis foram utilizados um total de 288 e 144 pontos, respectivamente. Foram realizadas duas campanhas de campo, na primeira campanha, realizada no período de seca, mês de Novembro de 2010, os pontos foram coletados *in loco*, já na segunda campanha, realizada no período de cheia, março de 2011, foi realizado um levantamento aéreo que possibilitou uma maior abrangência para coleta dos pontos de validação. Além dos pontos coletados em campo, foram utilizados como fontes de validação imagens HRG SPOT 5 (2,5m de resolução espacial) do ano de 2009 e imagens Íkonos disponíveis no Google Earth Pro (JUSTICE et al., 2000; MORISETTE et al., 2003).

Na avaliação dos resultados das classificações foram utilizados os coeficientes de Exatidão Global e Kappa gerados a partir da matriz de confusão (CONGALTON, 1991). Para conceituar os resultados obtidos pelo coeficiente Kappa foram utilizados os intervalos pré-definidos por Landis e Koch (1977).

Na análise das relações espaciais foi utilizado o Sistema de Informações Geográficas (SIG) Idrisi Andes, onde o mapa de unidades fitofisionômicas foi cruzado com o mapa de áreas inundáveis, altitude e declividade aos pares.

Cada cruzamento obteve como resultado uma tabela de contingência, que apresentou a área de intersecção entre as classes cruzadas, nas quais cada mapa foi considerado como uma variável. A

associação entre essas variáveis foi verificada utilizando teste de Qui-quadrado (X^2). Para os valores de X^2 significativos foram calculados o coeficiente de correlação de Cramer (Φ). Este coeficiente varia de zero a um e foi utilizado como o indicativo de associação entre as variáveis analisadas.

Os cruzamentos que apresentaram os maiores valores de Φ para cada conjunto de mapas temáticos foram analisados quanto à porcentagem de contribuição de cada classe para o valor do X^2 final, com base na diferença entre o observado e o esperado (quanto maior a diferença entre esperado e observado, maior a porcentagem de contribuição da classe e, portanto, maior associação entre as variáveis).

Em cada cruzamento foi realizado uma análise da frequência relativa das classes de altitude, declividade inundação dentro de cada unidade fitofisionômica. Esses dados serviram como critério para a confec o de um perfil esquemático para melhor representa o da ocorrência das unidades fitofisionômicas para essa região.

O método de análise descrito foi o mesmo seguido por Shida e Pivello (2002), Ruggiero et al. (2006) e Fantin-Cruz et al. (2010).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. MAPEAMENTO DAS UNIDADES FITOFISIONÔMICAS

As unidades fitofisionômicas foram obtidas pelo processo de classificação Orientada a Objetos (Figura 18). Dentre elas, as áreas de Varjão (fitofisionomias de campos de murundus) foi a classe predominante cobrindo 72% da área, seguida pela Mata de Galeria com 9%, Cerrado (cerrado típico e cerradão) com 8%, Ipucas (fragmentos naturais de florestas inundáveis) com 3%. As demais classes que não estão relacionadas com propósito desse estudo correspondem a 8% (Tabela 3).

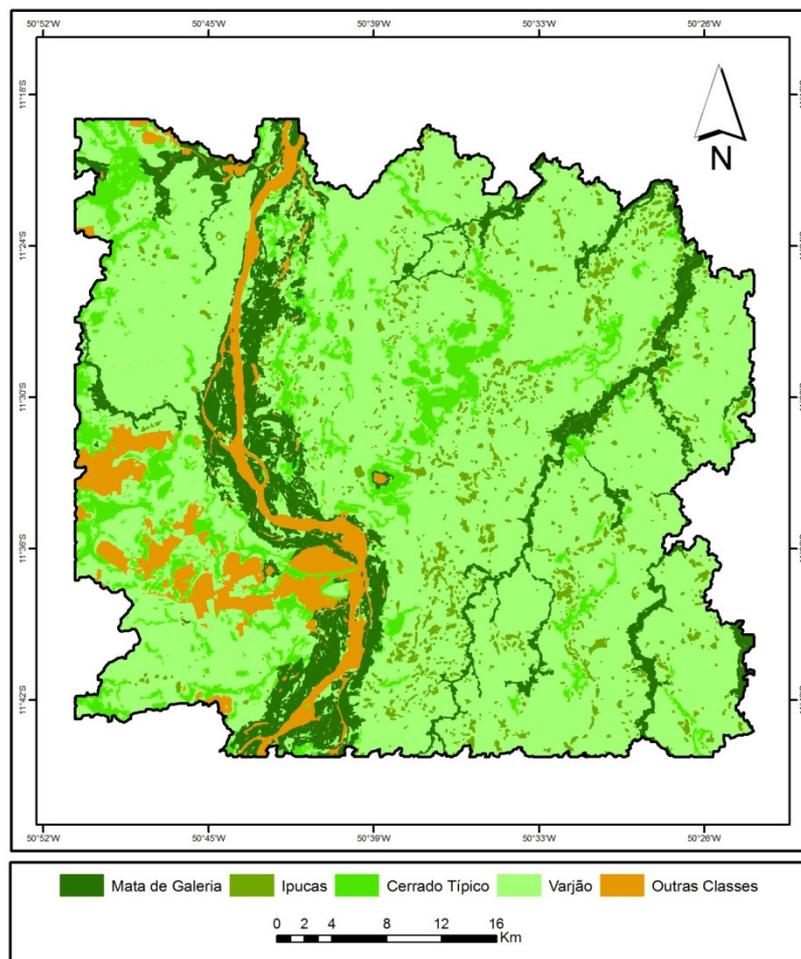


FIGURA 18 - MAPEAMENTO DAS UNIDADES FITOFISIONÔMICAS

TABELA 3 – RELAÇÃO DAS ÁREAS OBTIDAS NO PROCESSO DE CLASSIFICAÇÃO ORIENTADA A OBJETOS

| Classe | Área (ha) | Área (%) |
|-----------------|-----------|----------|
| Varjão | 138.984 | 72 |
| Mata de Galeria | 18.383 | 9 |
| Cerrado | 15.296 | 8 |
| Ipucas | 5.694 | 3 |
| Outras Classes | 15.697 | 8 |
| Total | 194.054 | 100 |

De um total de 288 pontos amostrados no processo de validação, 240 pontos foram mapeados corretamente e o valor do coeficiente de concordância Kappa obtido foi de 0,72, considerado como “muito bom” segundo os critérios estabelecidos por Landis e Koch (1977). O mapeamento das unidades fitofisionômicas obteve um índice de Exatidão Global de 83%, sendo considerados satisfatórios para o propósito desse estudo.

3.2. MAPEAMENTO DAS CLASSES DE ALTITUDE

O mapeamento das classes de altitude, representando a superfície topográfica da área de estudo foi realizado após a análise do histograma das cotas altimétricas obtidas pelo MDE SRTM (Figura 19).

A área de estudo possui uma altitude média de 192 m onde a menor altitude obtida foi de 182 m e a maior de 306 m, com um desvio padrão entre as cotas altimétricas de 5 m. A altitude diminui em direção ao norte onde está localizada a foz do Rio Araguaia.

A maior parte da área (61%) encontra-se em altitudes inferiores a 192 m (baixa altitude), seguido por 192 a 203 m em 35% da área (média altitude) e 4% em altitudes superiores a 203 m (alta altitude).

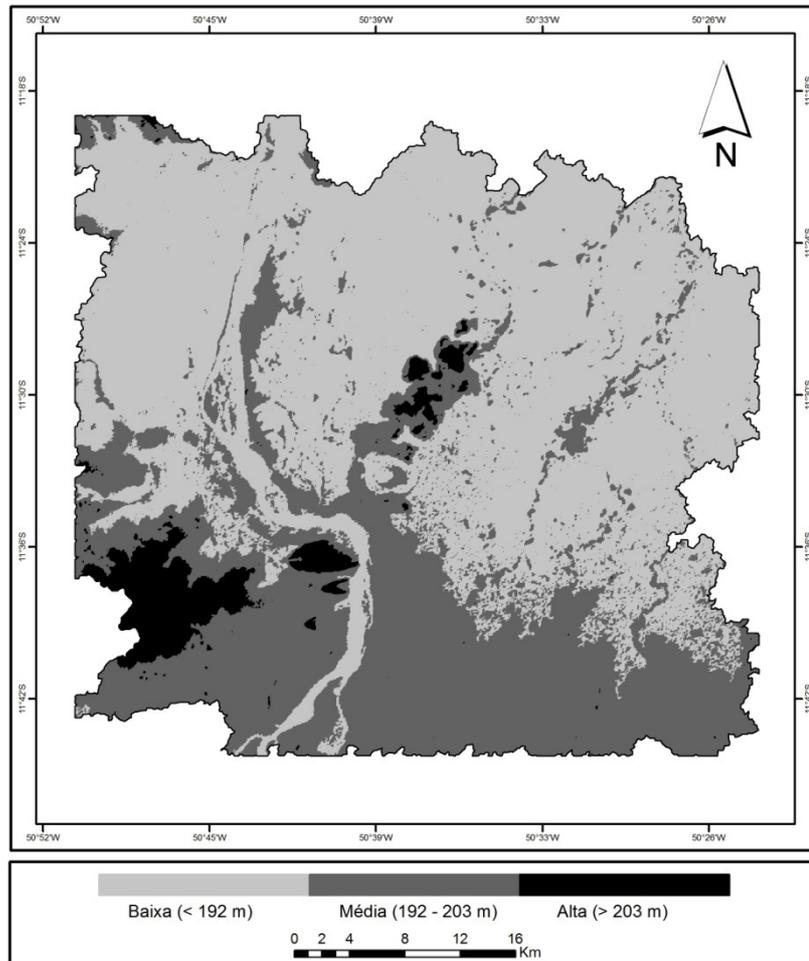


FIGURA 19 - MAPEAMENTO DAS CLASSES DE ALTITUDE

3.3. MAPEAMENTO DAS CLASSES DE DECLIVIDADE

Foi observado no mapeamento das classes de declividade que a região possui um relevo praticamente plano em toda a sua extensão com declividades que variam de 0 a 2,0%. A maior parte da área de estudo (56%) possui declividade baixa (0-0,48%); 39% da área apresenta declividade média (0,48-2,0%); e apenas 5% possui declividade alta, sendo superiores a 2,0% (Figura 20).

A porção leste da área de estudo é mais plana que a porção oeste, que possui maiores declividades. Na porção leste encontra-se a Ilha do Bananal que abrange boa parte das áreas consideradas como de baixa declividade, na qual essa superfície favorece a ocorrência da planície de inundação na região do Médio Araguaia.

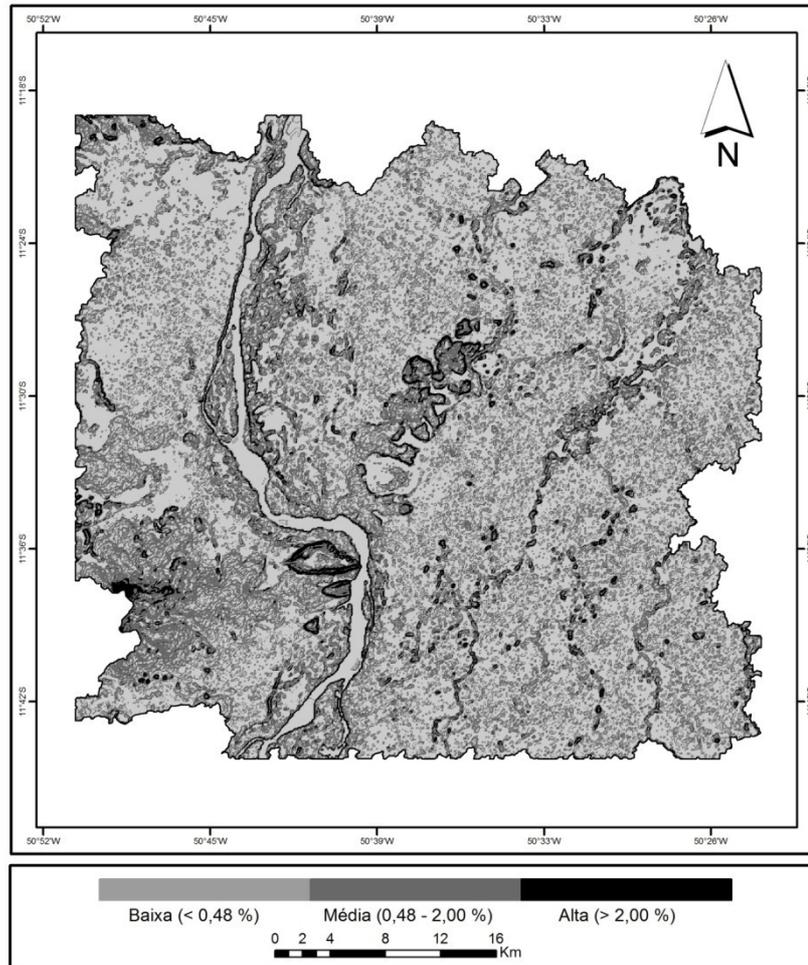


FIGURA 20 - MAPEAMENTO DAS CLASSES DE DECLIVIDADE

3.4. MAPEAMENTO DAS ÁREAS INUNDÁVEIS

O mapeamento das áreas inundáveis na região obtido pelo processo de classificação *Support Vector Machine* com o auxílio da técnica MNDWI obteve uma exatidão global de 81,25% e um coeficiente de concordância Kappa de 0,59 este valor segundo Landis e Koch (1977) representa boa qualidade. Nesses resultados foi verificado que 66,3% corresponde a classe de áreas inundáveis e 33,7% as áreas não inundáveis (Figura 21).

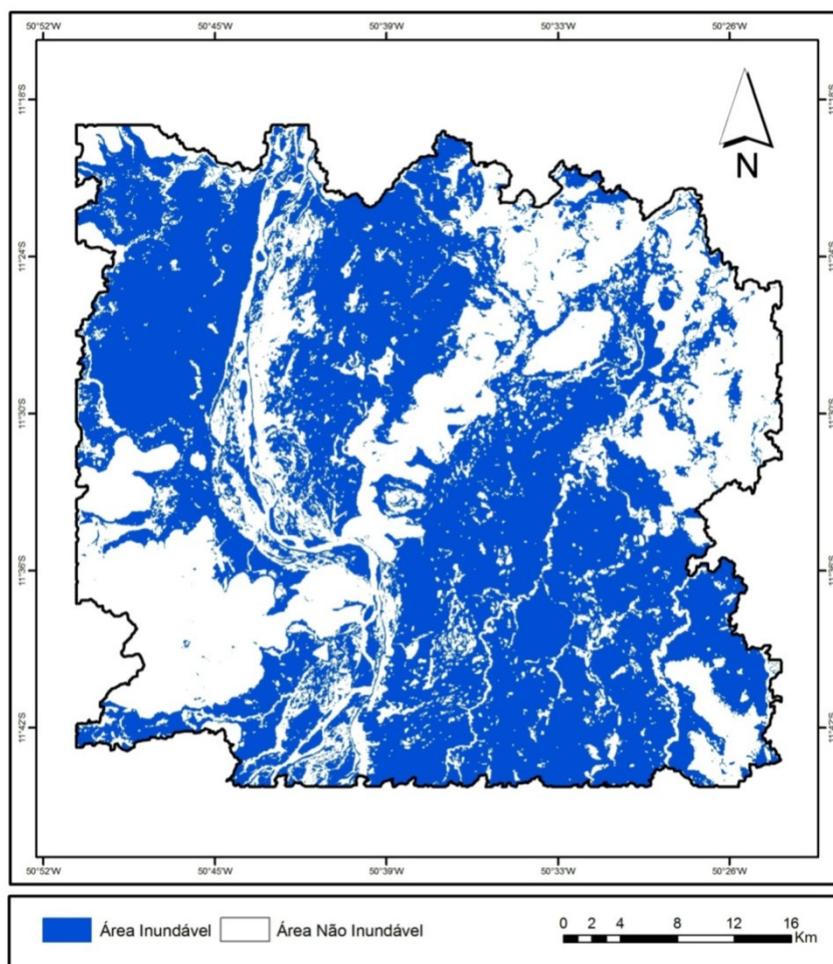


FIGURA 21 - MAPEAMENTO DAS ÁREAS INUNDÁVEIS

Do total das áreas inundáveis foi verificado que 29,6% encontram-se no município de São Félix do Araguaia e 70,4% na planície de inundação da Ilha do Bananal, que justifica sua grande importância ecológica no que se refere ao elevado grau de ocorrência de áreas úmidas, ocasionadas pela espacialização dessas áreas inundáveis durante o período de cheia na região.

3.5. RELAÇÃO ENTRE AS UNIDADES FITOFISIONÔMICAS, ALTITUDE, DECLIVIDADE E INUNDAÇÃO

Com os mapeamentos realizados foi possível efetuar as associações temáticas que resultou em uma tabela de contingência, na qual foi analisada a distribuição relativa das classes de altitude, declividade e de inundação dentro de cada unidade fitofisionômica.

Na Figura 22 pode-se visualizar a análise das classes de

altitude entre as fitofisionomias. O Cerrado apresentou maior ocorrência entre as classes de baixa altitude (46%) e média altitude (44%), o Varjão e as Ipucas se localizam na classe de baixa altitude com 67% e 59%, respectivamente, e as Matas de Galeria apresentaram maior frequência na classe de média altitude (59%).

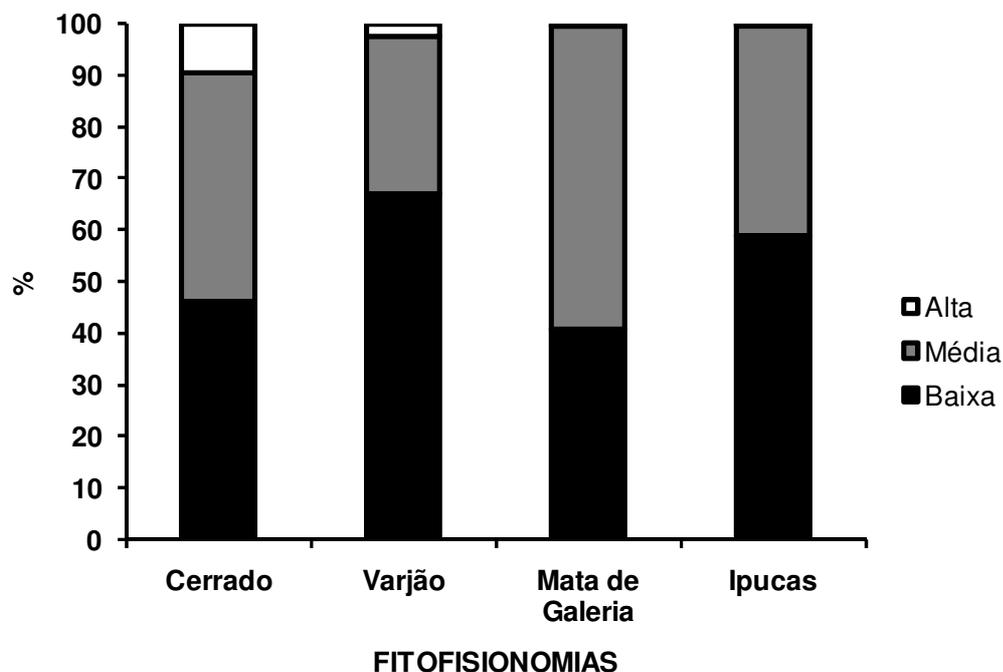


FIGURA 22 - OCORRÊNCIA DAS UNIDADES FITOFISIONÔMICAS PARA AS CLASSES DE ALTITUDE

Na análise entre as classes de declividade foi verificado que o Cerrado e a Mata de Galeria possuem maior ocorrência na classe de média declividade com 49% e 54%, o Varjão ocorre na classe de baixa declividade (62%), respectivamente, e as Ipucas apresentaram uma maior frequência entre as classes de baixa declividade (45%) e média declividade (46%) como se pode observar na Figura 23.

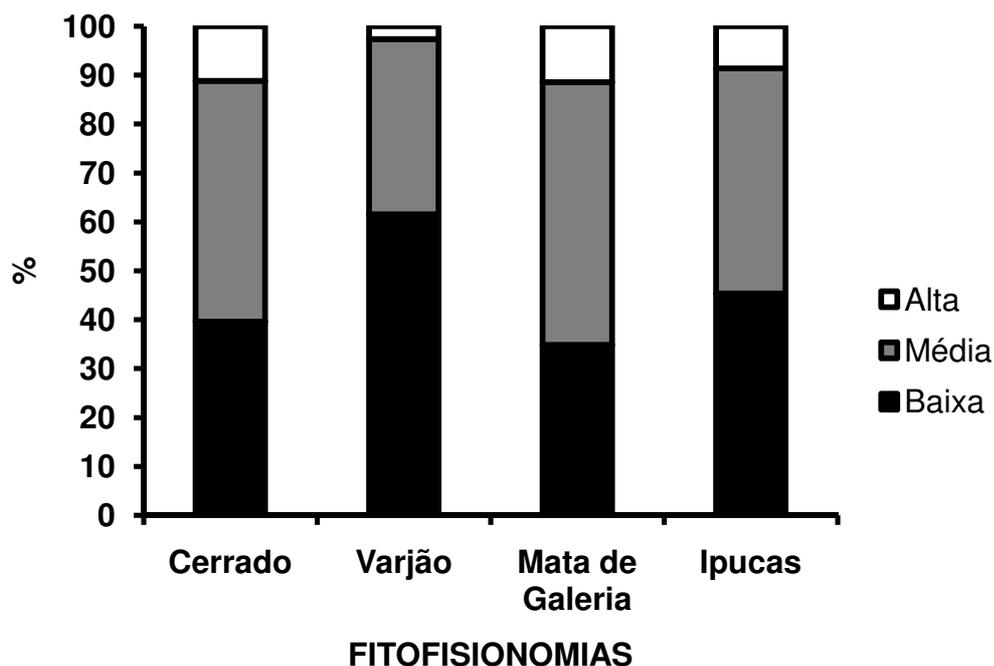


FIGURA 23 - OCORRÊNCIA DAS UNIDADES FITOFISIONÔMICAS PARA AS CLASSES DE DECLIVIDADE

Na análise da ocorrência das unidades fitofisionômicas entre as classes de inundação, as fitofisionomias que apresentaram um certo equilíbrio entre as áreas inundáveis e não inundáveis foram o Cerrado e a Mata de Galeria, sendo que o Cerrado apresentou 49% de áreas inundáveis e 51% para áreas não inundáveis. Para Mata de Galeria foi verificado que 51% envolve a classe de áreas inundáveis e 49% são áreas não inundáveis. Já as Ipucas apresentaram uma maior ocorrência nas áreas inundáveis com 63%.

O percentual relativo referente às áreas inundáveis para as Ipucas pode estar sendo subestimado, pois se esperava um maior percentual para suas áreas inundáveis. Durante o processo de classificação digital as Ipucas apresentaram uma resposta espectral similar às demais fitofisionomias analisadas, o que resultou em certa confusão entre essa classe e as demais fitofisionomias em alguns locais na área de estudo. Esse fato está diretamente relacionado com a escala de trabalho abordada e poderia ser solucionado em estudos futuros utilizando imagens com uma maior resolução espacial, na qual proporcionaria uma

gama maior de informações e melhor diferenciação entre as fitofisionomias.

O Varjão com 73% foi a fitofisionomia que apresentou maior frequência relativa em relação às áreas inundáveis (Figura 24). Esses resultados foram naturalmente verificados durante o processo de validação de campo para o mapeamento da inundação, onde os Varjões apresentaram-se cobertos por uma lâmina d'água variável ao longo da planície de inundação (Figura 25).

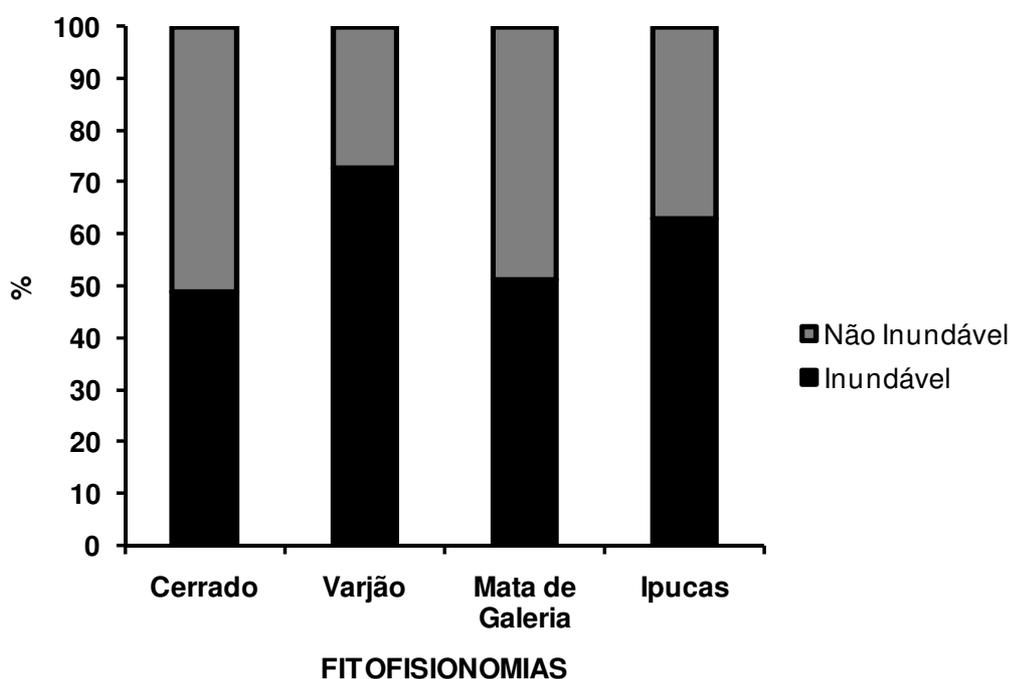


FIGURA 24 - OCORRÊNCIA DAS UNIDADES FITOFISIONÔMICAS EM RELAÇÃO ÀS ÁREAS INUNDÁVEIS



FIGURA 25 - VARJÕES LOCALIZADOS NA PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO. (FOTO: GUSTAVO NUNES)

Com bases nessas análises, a maior ocorrência para cada unidade fitofisionômica é apresentada no Quadro 4. Os resultados da relação entre as unidades fitofisionômicas com a altitude, declividade e inundação são evidenciados no perfil esquemático para a área de estudo (Figura 28).

QUADRO 4 – MAIOR OCORRÊNCIA DAS UNIDADES FITOFISIONÔMICAS EM RELAÇÃO À ALTITUDE, DECLIVIDADE E INUNDAÇÃO

| Fitofisionomias | Variáveis | | |
|-----------------|---------------|---------------|---------------------------|
| | Altitude | Declividade | Inundação |
| Cerrado | Baixa e Média | Média | Inundável e Não Inundável |
| Varjão | Baixa | Baixa | Inundável |
| Mata de Galeria | Média | Média | Inundável e Não Inundável |
| Ipucas | Baixa | Baixa e Média | Inundável |

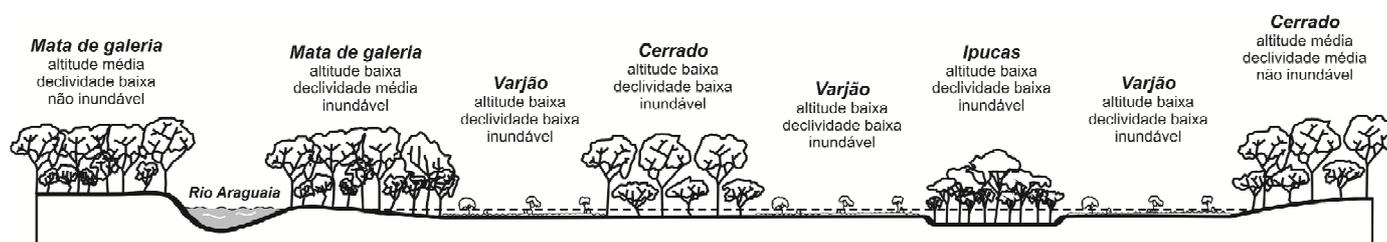


FIGURA 26 - PERFIL ESQUEMÁTICO PARA A PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO DO MÉDIO ARAGUAIA. A LINHA TRACEJADA REPRESENTA A ALTURA DA INUNDAÇÃO.

A tabulação cruzada para todos os mapas se mostraram significativamente associados e correlacionados, com valores de X^2 significativos ao nível de 1% de probabilidade (Tabela 4). Portanto, a independência entre os fatores é muito pouco provável e as unidades fitofisionômicas dependem da altitude, declividade e inundação para sua ocorrência.

TABELA 4 – VALORES DE QUI-QUADRADO (X^2) OBTIDOS DOS TRÊS CRUZAMENTOS, GRAUS DE LIBERDADE (GL) E O COEFICIENTE DE CRAMER (Φ).

| Cruzamentos | X^2 | GL | Φ | p |
|------------------------------|-------|----|--------|--------|
| Fitofisionomia x Altitude | 9631 | 6 | 0,16 | < 0,01 |
| Fitofisionomia x Declividade | 10053 | 6 | 0,17 | < 0,01 |
| Fitofisionomia x Inundação | 6554 | 4 | 0,19 | < 0,01 |

No cruzamento das unidades fitofisionômicas com a altitude, declividade e inundação os Varjões sempre foram responsáveis pela maior significância do X^2 . Essa contribuição dos varjões que elevam o grau de associação da vegetação com a altitude, declividade e inundação é evidente e esperada, pois os varjões foram predominantes em todas as classes analisadas.

No entanto, o coeficiente de associação V de Cramer mostra que as associações ou dependências entre as unidades fitofisionômicas e esses fatores analisados, embora sejam significativas, sua associação é baixa, e seguem a ordem de importância: inundação ($\Phi=0,19$), declividade ($\Phi=0,17$) e altitude ($\Phi=0,16$).

Com esses resultados, verifica-se que a inundação é a principal variável que influencia a ocorrência das unidades fitofisionômicas em relação aos demais fatores analisados (altitude e declividade) para essa região.

A inundação atua como macro fator determinante da estrutura e do funcionamento de ecossistemas alagáveis através de alterações sazonais das propriedades físicas, químicas e biológicas destes sistemas (JUNK et al., 1989 e NEIFF, 1990). Damasceno-Junior et al. (2005) relatam que a inundação sazonal pode produzir muitos efeitos nas comunidades de plantas. Ela pode diminuir a taxa de crescimento das árvores, alterar o metabolismo de espécies lenhosas, o que influencia na morfologia dos indivíduos e na sua riqueza, estrutura e ocorrência.

Os aspectos relacionados a seus atributos, tais como a magnitude, duração e frequência da inundação são de grande interesse na ecologia, pois afetam a habilidade da biota se adaptar a determinadas

condições ambientais. A variabilidade da magnitude da inundação determina o grau de conectividade entre os sistemas rio-planície bem como entre os compartimentos dentro da planície. Além disso, promove a transferência de matéria, nutrientes e organismos (Tockner et al., 1999), por fluxos horizontais entre os sistemas. Já a duração da inundação na planície limita a distribuição de espécies vegetais conforme sua tolerância ao tempo da inundação (CUNHA e JUNK, 2001).

Resultados semelhantes aos apresentados nesse trabalho foram encontrados por Fantin-Cruz et al. (2010) ao analisarem a ocorrência de unidades fitofisionômicas e suas relações com a inundação (intensidade e duração) e a topografia em um sítio de amostragem (SALD) de 5 x 5 km, na região do pantanal norte mato-grossense. Esses autores verificaram que a cota topográfica influencia, mas não determina a ocorrência das unidades fitofisionômicas para aquela região e concluíram que as unidades fitofisionômicas são influenciadas especialmente pela intensidade da inundação ($\Phi = 0,2$), duração da inundação ($\Phi = 0,15$) e topografia ($\Phi = 0,13$).

Como justificativa para o baixo grau de associação apresentado entre as variáveis analisadas no presente estudo é passível de afirmar que os fatores fisiográficos (altitude e declividade) e hidrológicos (inundação) analisados possuem uma parcela de contribuição no desenvolvimento de fitofisionomias em uma dada região. Portanto, não poderão ter um maior grau de associação, pois a ocorrência e o desenvolvimento das unidades fitofisionômicas dependem também dos fatores edáficos e biológicos, e ainda, demais variáveis fisiográficas e climáticas que não foram abordadas no presente estudo.

Estudos envolvendo a relação de unidades fitofisionômicas com os fatores edáficos foram abordados por Ruggiero et al. (2006) que realizaram um estudo da relação entre fitofisionomias com a topografia e o solo em uma área de cerrado, esses autores verificaram que os cruzamentos que apresentaram os maiores valores de Φ com a vegetação foram os mapas de solos ($\Phi = 0,54$). Zeilhofer e Schessl (2000) mostraram que além da inundação, os tipos de solo, principalmente a sua estrutura, apresentam efeito significativo na

ocorrência das unidades fitofisionômicas no Pantanal. Shida e Pivello (2002) estudaram a relação das classes de uso da terra com a declividade, solos e a geomorfologia na região de Luiz Antônio e Santa Rita do Passa Quatro no estado de São Paulo, esses autores concluíram que a ocupação das terras na região estudada foi significativamente influenciada pelas variáveis estudadas, especialmente o tipo de solo ($\Phi = 0,3$), seguido da geomorfologia ($\Phi = 0,25$) e declividade ($\Phi = 0,16$).

Vale ressaltar ainda a possibilidade de se analisar em trabalhos futuros outras variáveis relacionadas a fisiografia, citando como exemplo o trabalho de Bispo et al. (2010) que estudaram a relação entre a ocorrência de fitofisionomias do Parque Nacional de Brasília (PNB) e as variáveis morfométricas (elevação, declividade, orientação de vertentes, curvatura vertical e curvatura horizontal) envolvendo estimativas da ocorrência de unidades fitofisionômicas por meio de estatísticas multivariadas. Tais análises indicaram as fitofisionomias podem ser separadas com base nas condições topográficas do terreno. As variáveis morfométricas mais importantes na distinção entre os tipos vegetacionais foram a elevação, a declividade e a orientação de vertente.

4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos e discussões pertinentes pode-se concluir que:

- A utilização de dados TM-Landsat 5 no mapeamento de fitofisionomias e das áreas de inundação, bem como o MDE SRTM interpolado para 30 m na extração de variáveis fisiográficas (altitude e declividade) podem gerar mapeamentos em escala de 1:80.000 a 1:100.000, demonstrando um grande potencial no estudo da distribuição das fitofisionomias existentes.

- Com a utilização da Classificação Orientada a Objetos aplicada em dados TM-Landsat 5 (setembro-2010) e o uso adicional do NDVI foi possível a discriminação de quatro unidades fitofisionômicas (Varjão, Mata de Galeria, Cerrado e Ipucas) com uma exatidão temática considerada muito boa segundo os conceitos de Landis e Koch (1977).

- O uso do classificador *Support Vector Machine* aplicado ao MNDWI gerado com dados TM-Landsat 5 (março-2007) no mapeamento da inundação mostrou-se eficiente com uma exatidão avaliada como boa de acordo com os conceitos de Landis e Koch (1977).

- O erro relacionado com a associação da fitofisionomia de Ipucas em áreas não inundada e inundadas mostra que é necessário o uso de dados de alta resolução para a sua correta diferenciação evitando assim a confusão com outras classes.

- O Varjão foi a unidade fitofisionômica predominante na área de estudo e a classe responsável pela maior significância nas análises estatísticas.

- A ocorrência das quatro fitofisionomias (Varjão, Mata de Galeria, Cerrado e Ipucas) na região estudada foi significativamente influenciada pela altitude, declividade e inundação; sendo que a inundação foi a variável analisada que mais influencia a distribuição da vegetação.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADLER-GOLDEN, S.M.; MATTHEW, M.W.; BERNSTEIN, L.S.; LEVINE, R.Y.; BERK, A.; RICHTSMEIER, S.C.; ACHARYA, P.K.; ANDERSON, G.P.; FELDE, G.; GARDNER, J.; HIKE, M.; JEONG, L.S.; PUKALL, B.; MELLO, J.; RATKOWSKI, A.; BURKE, H. Atmospheric correction for shortwave spectral imagery based on MODTRAN4. **SPIE Proceeding Imaging Spectrometry**, v. 3753, p. 61-69, 1999.

MENDONÇA, R. C.; FELFILI, J. M.; WALTER, B. M. T.; SILVA JÚNIOR, M. C.; REZENDE, A. V.; FILGUEIRAS, T. S.; NOGUEIRA, P. E. Flora Vascular do Cerrado. In: S. M. SANO; S. P.; ALMEIDA (Ed.). **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina, EMBRAPA-CPAC, 1998. p. 289-556.

ANA. Agência Nacional das Águas. **HidroWeb: Sistema de Informações Hidrológicas**. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br>. Acesso em: 27 dez. 2011.

ARIEIRA, J.; NUNES DA CUNHA, C. Fitossociologia de uma floresta inundável monodominante de *Vochysiadivergens*Pohl (*Vochysiaceae*), no Pantanal Norte, MT, Brasil. **Acta botânica brasileira**. v.20, n.3, p.569-580, 2006.

BAYER, M. **Diagnóstico dos processos de erosão/assoreamento no planície aluvial do Rio Araguaia, entre Registro do Araguaia (GO) e Cocalinho (MT)**. 2002.137p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

BERK, A.G.P.; ADLER-GOLDEN, S.M.; RATKOWSKI, A.J.; FELDE, G.W.; ANDERSON, G.P.; HOKE, M.L.; COOLEY, T.; CHETWYND, J.H.; GARDNER, J.A.; MATTHEW, M.W.; BERNSTEIN, L.S.; ACHARYA, P.K.; MILLER, D.; LEWIS, P. Exploiting MODTRAN radiationtransportatmosphericcorrection: the FLAASH algorithm. **SPIE Proceeding Optical Spectroscopic Techniques and Instrumentation for Atmospheric and Space Research**, v. 2, p. 798-803, 2002.

BISPO, P. C.; VALERIANO, M. M.; KUPLICH, T. M. Relação entre as variáveis morfométricas extraídas de dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) e a vegetação do Parque Nacional de Brasília. **Acta Botanica Brasileira**. v. 24, p.96-103, 2010.

BOSER, B.; GUYON, I; VAPNIK, V. N. A training algorithm for optimal margin classifiers. In: Annual Workshop on Computational Learning Theory, 5., 1992, Pittsburgh. **Proceedings...**SanMateo, CA: Morgan Kayfmann, p. 144-152, 1992.

BRITO, E. R.; MARTINS, S. V.; OLIVEIRA-FILHO, A. T.; SILVA, E.; SILVA, A. F. Estrutura fitossociológica de um fragmento natural de floresta inundável em área de orizicultura irrigada, município de Lagoa da Confusão, Tocantins. **Revista Árvore**, v. 30, n. 5, p.829-836, 2006.

CARVALHO, T. M.; LATRUBESSE, E. M. Aplicação de modelos digitais do terreno (MDT) em análises macrogeomorfológicas: o caso da bacia hidrográfica do Araguaia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 5, n. 1, p.85-93, 2004.

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.

CORTES, C.; VAPNIK, V. Support vector networks. **Machine Learning**. v. 20, n.3, p. 273-297, 1995.

CUNHA, C.N.; JUNK, W.J. Distribution of woody plant communities along the flood gradient in the Pantanal of Poconé, MatoGrosso. Brazil. **International Journal of Ecology and Environmental Sciences**. v. 27, p. 63–70, 2001.

CUNHA, C.N.; JUNK, W.J; LEITÃO-FILHO, H.F. Woody vegetation in the Pantanal of MatoGrosso, Brasil: a preliminary typology. **Amazoniana**, v.19, p.59-184. 2007.

DAMASCENO-JUNIOR, G.A.; SEMIR, J.; SANTOS, F.A.M.; LEITÃO-FILHO, H.F; Structure, distribution of species and inundation in a Riparian Forest of Rio Paraguai, Pantanal, Brazil. **Flora**, v.200, n.2, p.119-135, 2005.

DI GREGÓRIO, A. Land Cover Classification System (LCCS), version 2: Classification Concepts and User Manual. **FAO Environment and Natural Resources Service Series**, No. 8 - FAO, Rome, 2005, 208p.

FANTIN-CRUZ, I.; GIRARD, P.; ZEILHOFER, P.; COLLISCHONN, W.; CUNHA, C.N. Unidades fitofisionômicas em mesoescala no Pantanal Norte e suas relações com a geomorfologia. **Biota Neotropica**. v.10, n.2, p.31-38, 2010.

FANTIN-CRUZ, I.; PEDROLLO, O.; CASTRO, N. M. R.; GIRARD, P.; ZEILHOFER, P.; HAMILTON, S. K. Historical reconstruction of floodplain inundation in the Pantanal (Brazil) using neural networks. **Journal of Hydrology**. v. 399, p.376-384, 2011.

FOODY, G. M.; MATHUR, A.A Relative Evaluation of Multiclass Image Classification by Support Vector Machine. **IEEE Transactions on Geoscience And Remote Sensing**, v. 42, n.6, p. 1335-1343, 2004.

JENKS, G.F. **Optimal data classification for choropleth maps: Occasional Paper**. n. 2, Departament of Geography, University Kansas, 1977, 24 p.

JET PROPULSION LABORATORY – JPL. Wetlands data – Global Data

Elevation Model. Acesso em: 06 jun. 2010. Disponível em: <http://wetlands.jpl.nasa.gov/data/index.html>

JUNK, W. J.; BAILEY, P. B.; SPARKS, R. E. The flood pulse concept in river–floodplain systems. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 106, p. 110–127, 1989.

JUSTICE, C.; BELWARD, A.; MORISETTE, J.; LEWIS, P.; PRIVETTE, J.; BARET, F. Developments in the validation of satellite sensor products for the study of land surface. **International Journal of Remote Sensing**, v. 21, p. 3383–3390, 2000.

KÖPPEN, W. **Climatologia: conunestudio de los climas de latierra**. Fondo de Cultura Econômica. México. 1948, 479p.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurements of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, p. 159-174, 1977.

LATRUBESSE, E. M.; STEVAUX, J. C. Características físico-bióticas e problemas ambientais associados à planície aluvial do Rio Araguaia. **Revista UnG-Geociências**, v. 5, p. 65-73, 2006.

MARIMON, B. S.; LIMA, E. S. Caracterização fitofisionômica e levantamento florístico preliminar no Pantanal dos Rios Mortes-Araguaia, Cocalinho, MT, Brasil. **Acta Botanica Brasileira**, v. 15, n. 2, p. 213-229, 2001.

MARKHAM, B. L.; BARKER, L. L. Thematic mapper bandpass solar exoatmospherical irradiances. **International Journal of Remote Sensing**, v. 8, p. 517-523, 1987.

MARTINS, A. K. E.; SCHAEFER, C. E. G. R.; SILVA, E.; SOARES, V. P.; CORRÊA, G. R.; MENDONÇA, B. A. F. Relações solo-geoambiente em áreas de ocorrência de ipucas na planície do Médio Araguaia – Estado de Tocantins. **Revista Árvore**, v. 30, n. 2, p. 297-310, 2006.

MARTINS, S. V.; BRITO, E. R.; OLIVEIRA-FILHO, A. T.; SILVA, A. F.; SILVA, E. Floristic composition of two wetland forests in araguaian plain, state of Tocantins, Brazil, and comparison with other areas. **Revista Árvore**, v. 32, n. 1, p. 129-141, 2008.

MARTINS, Y. C. M.; SOARES, V. P.; SILVA, E.; BRITES, R. S. Diagnóstico ambiental no contexto da paisagem de fragmentos florestais naturais “Ipucas” no município de Lagoa da Confusão, Tocantins. **Revista Árvore**, v. 26, p. 299-309, 2002.

MATHER, P. M., **Computer Processing of Remotely-Sensed Images. An Introduction**. 3 ed., Chichester, Ed. John Wiley & Sons, 2004, 170 p.

MENDES, C. A. B., CIRILO, J. A. **Geoprocessamento em recursos**

hídricos: princípios, integração e aplicação. Porto Alegre: ABRH, 2001, 536 p.

MILESKI, E. **Aspecto da vegetação e do ecossistema da Ilha do bananal. Mapa fitoecológico e indicadores da pressão antrópica.** Brasília: Gráfica da Secretária de Assuntos Estratégicos, 1994. 104 p.

MORAIS, R. P. **Mudanças históricas na morfologia do canal do Rio Araguaia no trecho entre a cidade de Barra do Garças (MT) e a foz do Rio Cristalino na Ilha do Bananal no período entre as décadas de 60 e 90.** 2002. 189 p. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal de Goiás – Goiânia

MORAIS, R.P. OLIVEIRA, L.G.; LATRUBESSE, E.M.; PINHEIRO, R.C. Morfometria de sistemas lacustres da planície aluvial do médio Rio Araguaia. **Acta Scientiarum (UEM)**, v.27, p.203-213, 2005.

MORISSETTE, J.T.; NICKESON, J.E.; DAVIS, P.; WANG, Y.; TIAN, Y.; WOODCOCK, C.E.; NEIFF, J.J. Large rivers of South America: toward the new approach. **Verhandlungen des International en VereinLimnologie**, v.26, p.167–180, 1996.

NEIFF, J.J., Ideas for an ecological interpretation of the Paraná. **Interciencia** 156, p. 424–441, 1990.

PAL, M., MATHER, P.M. Some issues in the classification of DAIS hyperspectral data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 27, p.2895–2916, 2006.

PAL, M.; MATHER, P. M. Assessment of the effectiveness of support vector Machine for hyperspectral data. **Future Generation Computer Systems**, v. 20, n. 7, p. 1215–1225, 2004.

RADAM-BRASIL. Levantamento de Recursos Naturais. Ministério das Minas e Energia 25, Folha SC-22 Tocantins, 1981.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM, 3, WASHINGTON, 1973 Whashington. **Proceedings**. Whashington: National Aeronautics and Space Administration, 1973, p.309-317.

RUGGIERO, P.G.C., PIVELLO, V.R., SPAROVEK, G., TERAMOTO, E. & PIRES NETO, A.G. Relação entre solo, vegetação e topografia em área de cerrado (Parque Estadual de Vassununga, SP): como se expressa em mapeamentos? **Acta Botânica Brasileira**, v.20, n.2, p.383-394, 2006.

SALLUN, A. E. M.; SUGUIO, K.; SALLUN-FILHO, W. Geoprocessamento para cartografia do alogrupo Alto Rio Paraná (SP, PR e MS). **Revista Brasileira de Cartografia**. v. 59, n. 3, p.289-299, 2007.

SHIDA, C. N.; PIVELLO, V. R. Caracterização fisiográfica e de uso das terras da região de Luiz Antônio e Santa Rita do Passa Quatro, SP, com o uso de sensoriamento remoto e SIG. **Investigaciones Geográficas**, v. 49, p.27-42, 2002.

SOBRINHO, T.A.; OLIVEIRA, P.T.S.; RODRIGUEIS, D.B.B. Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM. **Revista Engenharia Agrícola**, v.30, p. 46-57, 2010.

TOCKNER, K.; PENNETZDORFER, D.; REINER, N.; SCHIEMER, F.; WARD, J.V. Hydrological connectivity and the exchange of organic matter and nutrients in a dynamic river–floodplain system (Danube, Austria). **Freshwater Biology**, v. 41, n. 23, p. 521–535, 1999.

VAPNIK, V.N. **The Nature of Statistical Learning Theory**. New York, Springer-Verlag, 1995.332 p.

VELOSO H. P.; RANGEL-FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1991, 123p.

XU, H. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v.27, p.3025-3033, 2006.

ZEILHOFER, P. & SCHESSL, M. Relationship between vegetation and environmental conditions in the Northern Pantanal of Mato Grosso, Brazil. **Journal of Biogeography**, v.27, n.1, p.59-168, 2000.

4. CONCLUSÕES GERAIS

Confrontando os resultados obtidos referentes às análises do mapeamento das classes de uso e cobertura da terra e o estudo da ocorrência de unidades fitofisionômicas na região da planície de inundação do Médio Rio Araguaia, conclui-se que:

- A utilização do método de Classificação Orientada a Objetos e o algoritmo *Support Vector Machine*, as matemáticas de bandas espectrais (MNDWI e NDVI) associadas ao processo de classificação em conjunto com uma segmentação em escala mais refinada demonstrou resultados satisfatórios, sendo que a metodologia utilizada poderá ser replicada para outras áreas com características semelhantes, principalmente localizadas na região da Bacia do Araguaia-Tocantins;

- Resultados melhores podem ser obtidos através da aplicação da Classificação Orientada a Objetos em dados ópticos com uma maior resolução espacial integrados com dados radar, que proporcionariam maiores informações e definiriam melhor as classes mapeadas, podendo citar como exemplo o Varjão e Uso Antrópico, que apresentaram certa confusão nos resultados referentes ao índice NDVI, que por essa razão foram mapeados através do algoritmo *nearest neighbor*.

- Com relação as variáveis analisadas (altitude, declividade e inundação) no estudo da ocorrência das unidades fitofisionômicas (Varjão, Mata de Galeria, Cerrado e Ipucas) pode-se concluir que estas foram significativamente influenciadas pela altitude, declividade e inundação; sendo que a inundação foi a variável analisada que mais influencia a ocorrência das fitofisionomias. O Varjão foi a unidade fitofisionômica predominante na área de estudo e a classe responsável pela maior significância nas análises estatísticas.

- Em estudos futuros relacionados a análise da ocorrência de unidades fitofisionômicas recomenda-se a utilização dos fatores edáficos e demais variáveis morfométricas que podem ser extraídas com o uso de Modelos Digitais de Elevação envolvendo estimativas da ocorrência de fitofisionomias por meio de estatísticas multivariadas, tais como funções discriminante de primeira ordem.