



Ministério da
Ciência e Tecnologia



sid.inpe.br/mtc-m19/2010/12.01.16.33-TDI

CARACTERIZAÇÃO DE TRAJETÓRIAS DE PADRÕES DE OCUPAÇÃO HUMANA NA AMAZÔNIA LEGAL POR MEIO DE MINERAÇÃO DE DADOS

Érika Akemi Saito

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto,
orientada pelas Dras. Leila Maria Garcia Fonseca, e Maria Isabel Sobral Escada,
aprovada em 16 de dezembro de 2010.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/38MM2TL>>

INPE
São José dos Campos
2011

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

Fax: (012) 3208-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

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

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

Membros:

Dr^a Inez Staciarini Batista - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

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

Dr^a Regina Célia dos Santos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

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

Dr. Ralf Gielow - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Dr. Wilson Yamaguti - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)

Dr. Horácio Hideki Yanasse - Centro de Tecnologias Especiais (CTE)

BIBLIOTECA DIGITAL:

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

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

Deicy Farabello - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

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

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

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Vivéca Sant´Ana Lemos - Serviço de Informação e Documentação (SID)



Ministério da
Ciência e Tecnologia



sid.inpe.br/mtc-m19/2010/12.01.16.33-TDI

CARACTERIZAÇÃO DE TRAJETÓRIAS DE PADRÕES DE OCUPAÇÃO HUMANA NA AMAZÔNIA LEGAL POR MEIO DE MINERAÇÃO DE DADOS

Érika Akemi Saito

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto,
orientada pelas Dras. Leila Maria Garcia Fonseca, e Maria Isabel Sobral Escada,
aprovada em 16 de dezembro de 2010.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/38MM2TL>>

INPE
São José dos Campos
2011

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Saito, Érika Akemi .
Sa21c Caracterização de trajetórias de padrões de ocupação humana
na Amazônia Legal por meio de mineração de dados / Érika
Akemi Saito . – São José dos Campos : INPE, 2011.
xxvi+132 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m19/2010/12.01.16.33-TDI)

Tese (Doutorado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional
de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2010.

Orientadoras : Dras. Leila Maria Garcia Fonseca, e Maria Isa-
bel Sobral Escada.

1. Amazônia . 2. Desmatamento. 3. Ocupação humana. 4. Mi-
neração de dados espaciais. I.Título.

CDU 528.85 (811)

Copyright © 2011 do MCT/INPE. Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida, armazenada em um sistema de recuperação, ou transmitida sob qualquer forma ou por qualquer meio, eletrônico, mecânico, fotográfico, reprográfico, de microfilmagem ou outros, sem a permissão escrita do INPE, com exceção de qualquer material fornecido especificamente com o propósito de ser entrado e executado num sistema computacional, para o uso exclusivo do leitor da obra.

Copyright © 2011 by MCT/INPE. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, microfilming, or otherwise, without written permission from INPE, with the exception of any material supplied specifically for the purpose of being entered and executed on a computer system, for exclusive use of the reader of the work.

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

Dr. Camilo Daleles Rennó



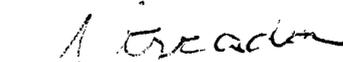
Presidente / INPE / SJC Campos - SP

Dra. Leila Maria Garcia Fonseca



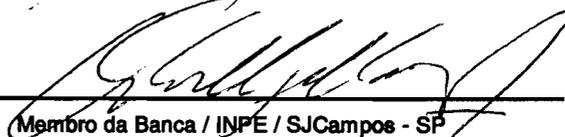
Orientador(a) / INPE / SJC Campos - SP

Dra. Maria Isabel Sobral Escada



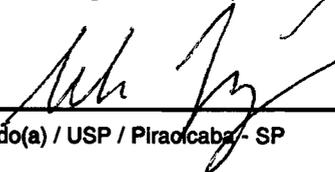
Orientador(a) / INPE / SJC Campos - SP

Dr. Antonio Miguel Vieira Monteiro



Membro da Banca / INPE / SJC Campos - SP

Dr. Silvio Ferraz



Convidado(a) / USP / Piracicaba - SP

Aluno (a): Érika Akemi Saito

São José dos Campos, 16 de dezembro de 2010

“Nossa maior fraqueza está em desistir. O caminho mais certo de vencer é tentar mais uma vez”.

Thomas Alva Edson

A meus pais e irmãos Márcio, Milton e Ingrid...

AGRADECIMENTOS

Neste espaço venho expressar meus agradecimentos a todos que de alguma forma contribuíram com este trabalho.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais que me proporcionou o acesso ao conhecimento necessário para o meu crescimento científico.

Às orientadoras Dra. Leila Maria Garcia Fonseca e Dra. Maria Isabel Sobral Escada pela paciência, dedicação, orientação e por enriquecerem meu trabalho com suas importantes considerações.

Ao Thales Sehn Korting pela gentileza, ao reconhecido esforço e disposição a desenvolver os recursos imprescindíveis para a realização deste trabalho.

Aos membros da banca examinadora por terem aceitado o convite, dispondo de seu precioso tempo e conhecimento para analisar este trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao INPE que me concederam a bolsa de mestrado e possibilitou a minha dedicação exclusiva à pesquisa.

Agradeço a meus pais e irmãos pelo apoio emocional, pela compreensão durante todas as minhas ausências. Aprendi que a ausência fortalece laços e que mesmo distantes nossos pensamentos permanecem juntos.

Aos meus amigos em especial àqueles que considero minha “família joselita”, obrigada pelo companheirismo, vocês foram a minha fonte de ânimo, são a família que Deus me permitiu escolher. Por fim, agradeço a Deus por me amparar diante das dificuldades me oferecendo força e perseverança para concluir este trabalho e a oportunidade de aprender e progredir.

RESUMO

A Amazônia brasileira é conhecida por sua diversidade ecológica, social e pelo seu grande potencial econômico. As atividades humanas nessa região têm contribuído com a intensificação do processo de desmatamento, onde áreas de florestas são substituídas por outros tipos de cobertura e usos da terra como pecuária, mineração, diferentes tipos de agricultura. Desse modo, o monitoramento da floresta e análise da dinâmica da paisagem é fundamental para o planejamento e ordenamento territorial que visem à conservação dos recursos naturais. Dentro deste contexto, o objetivo deste trabalho é utilizar técnicas de mineração de dados e métricas da paisagem para identificar e analisar padrões de desmatamento associados aos diferentes tipos e trajetórias de padrões de ocupação humana em duas escalas na Amazônia Legal. O estudo utilizou dados de desmatamento do projeto de Monitoramento da Floresta Amazônica por Satélite (PRODES), INPE, de 1997 a 2006 agrupados em triênios. O tamanho das células de 50 km foi definido, a partir de análises de sensibilidade, para representar os principais padrões de desmatamento encontrados na Amazônia Legal. Para a escala local, correspondendo à região do Baixo Tapajós, o tamanho de célula de 10 km foi definido de forma empírica. Definidas as tipologias de padrões de desmatamento, mapas de padrão de ocupação são gerados e, a partir destes, pôde-se observar a predominância dos padrões lineares e difusos. Esses padrões são associados aos estágios iniciais de ocupação, ligados à expansão de frentes de desmatamento ou às ocupações pouco dinâmicas, como as ocupações ribeirinhas, desenvolvendo atividades extrativistas ou agricultura de subsistência. Com base na combinação dos mapas de padrões, trajetórias de ocupação foram geradas para o período de 1997 a 2006. Três principais trajetórias foram identificadas: de expansão, de consolidação e regiões sem alteração. As áreas com trajetória de consolidação estão próximas ou circundadas pelas áreas com trajetória indicativa de expansão. As regiões com trajetória de ocupação em expansão coincidem com as áreas de fronteira agropecuária, ativas a partir de 2000, e que invadem as áreas da floresta intacta ou regiões com ocupação ainda incipiente. Além disso, três frentes de expansão do desmatamento foram observadas: no sudeste do Pará em direção à Terra do Meio, no norte do Mato Grosso, em direção a Santarém, no eixo da rodovia BR-163 e, no sul do estado do Amazonas. A análise dos padrões de desmatamento associados às diferentes formas de ocupação e usos da terra contribui para agregar conhecimento aos dados de desmatamento, podendo subsidiar estudos que envolvem a modelagem ambiental e o ordenamento territorial, além de subsidiar o desenvolvimento de políticas públicas para a Amazônia.

CHARACTERIZATION OF HUMAN OCCUPATION TRAJECTORIES PATTERNS IN THE AMAZON THROUGH DATA MINING

ABSTRACT

The Brazilian Amazon is known for its ecological and social diversity, and its large economic potential. Human activities in this region have contributed to the intensification of deforestation where forest areas are replaced by other cover types to establish different land uses types such as cattle ranching, mining, and logging. Thus forest monitoring and analysis is essential to support public policies and regional planning looking forward to a sustainable development and conservation. The objective of this dissertation is to use data mining techniques and landscape ecology metrics to identify and analyze deforestation patterns associated to different types of human occupation patterns trajectories at two scales in the Amazon. The study uses deforestation data of the Amazon Forest Monitoring by Satellite (PRODES), INPE, from 1997 to 2006, grouped in periods of three years. The cell size of 50 km was defined, based on sensitivity analysis, to represent the main deforestation patterns found in the Amazon region. For the local scale, corresponding to the Baixo Tapajós region, the cell size of 10 km was defined empirically. After defining the types of deforestation patterns, occupation patterns maps were generated and, from these, one could observe the predominance of linear and diffuse patterns. These patterns are associated with early stages of occupation, related to the expansion of deforestation frontiers or non dynamic occupations types, as the occupations along rivers, developing activities such as extrativism or subsistence agriculture. Based on the combination of pattern maps the occupation trajectories were tracked for the period from 1997 to 2006 and three major paths were identified: expansion, consolidation and regions without changes. Areas that presented consolidation trajectories were near or surrounded by areas of expansion trajectories. The regions with the expansion trajectories coincided with areas of active agricultural frontier from 2000, invading intact forest areas or regions with incipient occupation. Moreover, three expansion frontiers of deforestation were observed: in southeast Pará toward the Terra do Meio region (Iri River), in the north of Mato Grosso region, into direction of the Santarém, along BR-163 road and in the south region of Amazonas state. The analysis of deforestation patterns associated with different forms of occupation and land use contributes to add information to the deforestation data and may support studies that involve environmental modeling and planning, in addition to subsidize the development of public policy for the Amazon.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 2.1 - Padrões de desmatamento.....	11
Figura 2.2 - Padrões espaciais de desmatamento na Amazônia Brasileira	13
Figura 2.3 - Diagrama do sistema minerador GeoDMA.....	17
Figura 3.1 - Área de estudo I	21
Figura 3.2 - Área de estudo II	23
Figura 3.3 - Distribuição de comunidades ribeirinhas visitadas em pesquisa de campo no Rio Tapajós jun/jul-2009.....	23
Figura 3.4 - Fluxograma de atividades.	26
Figura 3.5 - Tamanho de células	29
Figura 3.6 - Exemplo de amostras do teste de sensibilidade das métricas da paisagem. (Continua).....	30
Figura 3.6 - Exemplo de amostras do teste de sensibilidade das métricas da paisagem. (Conclusão).....	31
Figura 3.7 - Efeito do tamanho da célula na identificação do padrão	33
Figura 3.8 - Métricas extraídas pelo GeoDMA e armazenadas como atributos das células.....	34
Figura 3.9 - Exemplo de trajetória de ocupação.....	36
Figura 4.1 - Métrica MPS para todos os padrões de desmatamento destacando o padrão consolidado.	40
Figura 4.2 - Métrica MPS para todos os padrões de desmatamento.	41
Figura 4.3 - Métrica ED para todos os padrões de desmatamento.	43
Figura 4.4 - Métrica MPFD.....	45
Figura 4.5 - Métrica AWMPFD para todos os padrões de desmatamento.....	47
Figura 4.6 - Métrica MPAR para todos os padrões de desmatamento. ...	49
Figura 4.7 - Métrica MSI para todos os padrões de desmatamento.....	51
Figura 4.8 - Métrica AWMSI para todos os padrões de desmatamento... ..	53
Figura 4.9 - Métrica PSSD para todos os padrões de desmatamento.	55

Figura 4.10 - Métrica PSCOV para todos os padrões de desmatamento.	57
Figura 4.11 - Coeficientes Kappa gerados pelo método de validação cruzada de Monte Carlo.....	59
Figura 5.1 - Árvore de decisão da área de estudo I.....	62
Figura 5.2 - Mapa de padrão de ocupação para o desmatamento até 1997 - área de estudo I.....	65
Figura 5.3 - Mapa de padrão de ocupação para o desmatamento até 2000 - área de estudo I.....	66
Figura 5.4- Mapa de padrão de ocupação para o desmatamento até 2003 - área de estudo I.....	67
Figura 5.5 - Mapa de padrão de ocupação para o desmatamento até 2006 - área de estudo I.....	68
Figura 5.6 - Frequência dos padrões de ocupação - área de estudo I.....	69
Figura 5.7 - Padrão de ocupação consolidado - 2006.....	71
Figura 5.8 - Padrão de ocupação difuso - 2006.....	73
Figura 5.9- Padrão de ocupação espinha de peixe - 2006.....	75
Figura 5.10 - Padrão de ocupação geométrico regular - 2006.....	76
Figura 5.11 - Padrão de ocupação multidirecional desordenado - 2006.....	77
Figura 5.12 - Padrão de ocupação linear - 2006.....	79
Figura 5.13 - Floresta -1997 e 2006.....	80
Figura 5.14 – Mapa de trajetória de 1997 a 2006.....	81
Figura 5.15 - Gráfico da trajetória de ocupação de 1997-2006 da área de estudo I.....	82
Figura 5.16 - Frequência de trajetória de 1997 a 2006/Sem mudança.	84
Figura 6.1 - Árvore de decisão da área de estudo I - região do DFS-BR 163.	86
Figura 6.2 - Mapa de padrão de ocupação para desmatamento até 1997- área de estudo II.....	89
Figura 6.3 - Mapa de padrão de ocupação para desmatamento até 2000 - área de estudo II.....	90

Figura 6.4 - Mapa de padrão de ocupação para desmatamento até 2003 - área de estudo II.....	91
Figura 6.5 - Mapa de padrão de ocupação para desmatamento até 2006 - área de estudo II.....	92
Figura 6.6 - Gráfico de freqüência dos padrões de ocupação - área de estudo II.	93
Figura 6.7 - Padrão de ocupação consolidado - 2006 - área de estudo II.	94
Figura 6.8 - Padrão de ocupação difuso 2006 - área de estudo II.	95
Figura 6.9 - Padrão de ocupação geométrico regular 2006 - área de estudo II.	97
Figura 6.10 - Padrão de ocupação multidirecional desordenado 2006 - área de estudo II.	98
Figura 6.11 - Padrão de ocupação linear 2006 - área de estudo II.	99
Figura 6.12 - Floresta - 2006 - área de estudo II.....	100
Figura 6.13 - Exemplo da questão de escala.	101
Figura 6.14 - Exemplo de células com tamanhos variados.	102
Figura 6.15 - Mapa de trajetória de ocupação 1997-2006 – área de estudo II.	103
Figura 6.16- Gráfico de trajetória de ocupação 1997-2006 – área de estudo II.	104

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
Tabela 3.2 – Tipologia de padrão de desmatamento associados à ocupação humana na Amazônia Legal.	27
Tabela 5.1 – Avaliação dos mapas de ocupação- área de estudo I.	63
Tabela 5.2 – Matriz de confusão - 1997 – área de estudo I.	63
Tabela 5.3 – Matriz de confusão - 2000 – área de estudo I.	64
Tabela 5.4 – Matriz de confusão - 2003 – área de estudo I.	64
Tabela 5.5 – Matriz de confusão - 2006 – área de estudo I.	64
Tabela 5.6 – Proporção de área desmatada para cada padrão de ocupação – área de estudo I.	70
Tabela 6.1– Avaliação dos mapas de ocupação- área de estudo II.	86
Tabela 6.2 – Matriz de confusão do mapa de ocupação de 1997.	87
Tabela 6.3 – Matriz de confusão do mapa de ocupação de 2000.	87
Tabela 6.4 – Matriz de confusão do mapa de ocupação de 2003.	87
Tabela 6.5 – Matriz de confusão do mapa de ocupação de 2006.	88
Tabela 6.6 – Proporção de incremento de desmatamento para cada padrão de ocupação – área de estudo II.	93

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AM	Amazonas
AWMPFD	<i>Area Weight Mean Patch Fractal Dimension</i>
AWMSI	<i>Area Mean Shape Index</i>
BR	Rodovia Federal
CBERS	Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres
CCD	<i>Charge Coupled Device</i>
CPRM	Companhia de Pesquisa e recursos minerais
DETER	Sistema de Detecção de Desmatamentos em Tempo Real
DFS	Distrito Florestal Sustentável
DMC	<i>Disaster Monitoring Constellation</i>
DEGRAD	Mapeamento da Degradação florestal na Amazônia Brasileira
DPI	Divisão de Processamento de Imagens
ED	<i>Edge Density</i>
FLONA	Floresta Nacional
FUNAI	Fundação Nacional do Índio
GeoDMA	<i>Geographical Data Mining Analyst</i>
GTI	Grupo de Trabalho Interministerial
ha	Hectares
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMBIO	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Km	quilômetros
KDD	<i>Knowledge Discovery in Databases</i>
LEGAL	Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MPEG	Museu Paraense Emílio Goeldi
MPFD	<i>Mean Patch Fractal Dimension</i>
MPS	<i>Mean Patch Size</i>
MSI	<i>Mean Shape Index</i>
MT	Mato Grosso
NumP	Número de manchas
PA	Pará
%LAND	<i>Percent Land</i>
PIN	Programa de Integração Nacional
PRODES	Monitoramento da Floresta Amazônica por Satélites
PROTERRA	Programa de Redistribuição de Terras e de Estímulo à Agroindústria do Norte e Nordeste
PSCOV	<i>Patch Size Coefficient of Variation</i>
PSSD	<i>Patch Size Standart Deviation</i>
RESEX	Reserva Extrativista

SIG	Sistema de Informação Geográfica
SIPAM	Sistema de Proteção da Amazônia
SOM	Mapas Auto-Organizáveis
SPVEA	Superintendência para o Plano de Valorização Econômica da Amazônia
SUDAM	Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia
TE	<i>Total Edge</i>
TM	<i>Thematic Mapper</i>
UC	Unidade de Conservação
UFPA	Universidade Federal do Pará

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Área total da paisagem
a_{ij}	Área da mancha
e_{ik}	Comprimento (m) total das bordas na paisagem entre os tipos de classe i e k ; incluindo as manchas da fronteira representando a borda que envolve a mancha i .
i	1,...,m ou m' tipos de manchas (classes)
j	1,...,m ou m' tipos de manchas (classes)
m	Número de tipos de manchas (classes) presente na paisagem, excluindo a borda da paisagem se estiver presente
m'	Número de tipos de manchas (classes) presente na paisagem, incluindo a borda da paisagem se estiver presente
$n_i = n$	Número de manchas da paisagem em relação ao tipo de classe da mancha i
P_i	Proporção de paisagem ocupada pelo tipo (classe) de mancha i
p_{ij}	Perímetro (m) das manchas ij

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivo	4
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	5
2.1 Processo de ocupação na Amazônia	5
2.2 Processo de desmatamento na Amazônia	8
2.3 Dados de desmatamento do PRODES	9
2.4 Padrões de desmatamento na Amazônia.....	10
2.5 Métricas da Paisagem	13
2.6 Mineração de dados espaciais: GeoDMA	15
2.6.1 <i>Geographical Data Mining Analyst</i> (GeoDMA)	16
3 METODOLOGIA	21
3.1 Área de estudo I	21
3.2 Área de Estudo II.....	22
3.3 Materiais.....	24
3.4 Metodologia.....	26
3.4.1 Aquisição dos dados de desmatamento.....	26
3.4.2 Definição da tipologia de ocupação para o teste de sensibilidade	27
3.4.3 Definição do tamanho da célula para a Amazônia Legal	29
3.4.4 Definição de Tipologia para as áreas de estudo.....	33
3.4.5 Mineração de dados.....	33
3.4.6 Avaliação dos mapas de padrões de ocupação	35
3.4.7 Definição de trajetórias de ocupação	35
4 DEFINIÇÃO DO TAMANHO DE CÉLULA PARA ANÁLISE DA PAISAGEM NA AMAZÔNIA LEGAL.....	39
5 RESULTADOS - ÁREA DE ESTUDO I.....	61
5.1 Tipologia de ocupação	61
5.2 Árvore de decisão	61
5.3 Mapas de padrão de ocupação	62
5.3.1 Padrão consolidado.....	70
5.3.2 Padrão difuso	72
5.3.3 Padrão espinha de peixe.....	74
5.3.4 Padrão geométrico regular	76
5.3.5 Padrão multidirecional desordenado	76
5.3.6 Padrão Linear.....	78
5.3.7 Floresta	79
5.4 Trajetórias de Padrão de Ocupação.....	80
6 RESULTADOS - ÁREA DE ESTUDO II.....	85
6.1 Tipologia de ocupação	85

6.2	Árvore de decisão	85
6.3	Mapas de padrão de ocupação	86
6.3.1	Padrão consolidado.....	94
6.3.2	Padrão difuso	95
6.3.4.	Padrão geométrico regular	96
6.3.5	Padrão multidirecional desordenado	98
6.3.6	Padrão linear	99
6.3.7	Floresta	100
6.3.8	Padrões de desmatamento e escalas de análise	101
6.4	Trajetórias de padrão de ocupação.....	102
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÃO.....	105
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	111
	APÊNDICE A - MÉTRICAS DA PAISAGEM	119
	APÊNDICE B - MEDIANA PARA CADA PADRÃO DE DESMATAMENTO .	125
	APÊNDICE C - TIPOLOGIA DE PARÃO DE OCUPAÇÃO DA ÁREA DE	
	ESTUDO I	129

1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui o maior bioma de floresta úmida do mundo, a Amazônia, conhecida por sua diversidade biológica e riquezas naturais, sendo um patrimônio ambiental, econômico e social, habitada por diversos grupos étnicos. No entanto, o desmatamento vem preocupando a sociedade de maneira geral, devido aos aspectos negativos que podem ocorrer como a redução da biodiversidade, mudanças no regime hidrológico e alterações climáticas.

O desmatamento da floresta Amazônica está associado aos sistemas de produção antrópicos que substituem a floresta por outros tipos de cobertura da terra, como áreas de pastagem destinadas à pecuária, diferentes tipos de agricultura, mineração, e exploração madeireira.

De acordo com Becker (2005), a fronteira de expansão econômica e demográfica no território amazônico acompanhado pelo desmatamento nos anos de 1970 era sustentada por incentivos fiscais e migração induzida pelo governo. A autora considera que a fronteira de expansão atual é comandada por madeireiras, pecuaristas e sojicultores, que utilizam recursos próprios, não sendo mais uma expansão subsidiada pelo governo. A partir de 2000, as frentes se localizaram principalmente em três regiões, uma que parte de São Felix do Xingu em direção ao rio Iriri, outra que parte da região norte do Mato Grosso pela rodovia Cuiabá-Santarém (BR-163); e por último, uma que parte do Norte do Mato Grosso e de Rondônia em direção ao sul do Amazonas.

Diante dos aspectos negativos do desmatamento, o monitoramento da floresta amazônica é fundamental para o planejamento e ordenamento territorial. Desde 1988 o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), por meio do Sistema de Monitoramento da Floresta Amazônica por Satélite (PRODES) estima taxas anuais de desmatamento e produz grandes quantidades de dados

da Amazônia Legal disponibilizados em bancos de dados digitais (INPE, 2008). A taxa média anual de desmatamento até 2006 estava em torno de 25.400 km², e reduziu para cerca de 7.400 km² em 2009 (INPE, 2010a). De acordo com o INPE (2010a), cerca de 458.971 km² da floresta já foram desmatados e substituídos por outros tipos de cobertura da terra.

Atualmente, a produção de bases de dados digitais como as bases de dados de desmatamento do INPE (PRODES, DETER, DEGRAD), dados do censo agropecuário (IBGE), dados demográfico (IBGE), entre outros, tem aumentado muito. Diante deste fato surge a problemática do que fazer com esses dados armazenados, como analisá-los e utilizar todo o volume de dados disponível desse patrimônio digital em benefício das instituições e da comunidade (GOLDSCHMIDT e PASSOS, 2005).

Mesmo com o acesso livre aos dados de desmatamento do PRODES na internet, os mesmos têm sido pouco explorados. Com esses dados é possível analisar e identificar os padrões de desmatamento relacionando-os com as diferentes formas de ocupação humana e os principais usos da terra. Este tipo de análise é importante, não apenas para agregar conhecimento aos dados de desmatamento, mas também para subsidiar o planejamento do território tendo em vista o uso sustentável e a conservação dos recursos naturais.

Por outro lado, a análise de grandes quantidades de dados espaciais muitas vezes torna-se inviável sem o uso de ferramentas computacionais adequadas para auxiliar na interpretação e no relacionamento dos dados com os processos de interesse. Por exemplo, os diferentes tipos de padrões espaciais de desmatamento podem ser identificados e analisados utilizando técnicas de mineração de dados e métricas da ecologia da paisagem (SILVA et al. 2005, 2008). Diferentes tipos de padrões (corredor, difuso, espinha de peixe e geométrico) são definidos e caracterizados usando atributos de forma e área,

onde os objetos analisados são os polígonos de desmatamento, causado por diferentes agentes e formas de ocupação da terra.

Em estudos em que se deseja ter uma visão global do processo de desmatamento na Amazônia Legal, a análise baseada em células, que são polígonos de desmatamento agregados em unidades maiores, é mais adequada do que a baseada em objetos (polígonos de desmatamento) (AZEREDO et al., 2008).

Na abordagem por células a área de estudo é subdividida em pequenas áreas regulares (LANG e BLASCHKE, 2009). Assim, cada célula é uma unidade de análise que será associada a um padrão de desmatamento utilizando um conjunto de métricas da paisagem, sem considerar a sua associação ao conceito de conservação da ecologia da paisagem tradicional. O conjunto de métricas utilizado é diferente daquele usado na abordagem por objeto explorada por Silva et al. (2008). Nesta abordagem o tamanho das células depende da escala do fenômeno estudado.

A hipótese desse trabalho é que, a partir de técnicas de mineração de dados e de métricas da paisagem, é possível identificar padrões e trajetórias de padrão de ocupação humana na Amazônia utilizando uma série temporal de dados de desmatamento do PRODES. Para isto, tipologias de padrão de desmatamento associados às distintas formas de ocupação humana nessas duas escalas, são construídas.

Com este trabalho pretende-se responder perguntas como: quais os principais padrões de ocupação nas regiões estudadas? É possível estabelecer uma única tipologia de ocupação para as diferentes escalas de análise? É possível estabelecer um conjunto único de métricas da paisagem para identificar determinado padrão de ocupação nas diferentes escalas? Como evoluem e

quais as principais trajetórias dos padrões de ocupação nas diferentes escalas da Amazônia?

A idéia é que a análise proposta nesse trabalho permita agregar novos conhecimentos aos dados de desmatamento já existentes e, assim, contribuir para uma melhor compreensão da dinâmica da paisagem, e subsidiar ações de fiscalização, ordenamento territorial e formulação de políticas públicas.

1.1. Objetivo

O principal objetivo deste trabalho é utilizar técnicas de mineração de dados e métricas da paisagem para identificar e analisar padrões de desmatamento associados aos diferentes tipos e trajetórias dos padrões de ocupação humana em duas diferentes escalas na Amazônia Legal, com dados de desmatamento do PRODES para os anos de 1997, 2000, 2003 e 2006.

Dois áreas de estudos foram definidas, de acordo com a escala: 1) na escala regional foi estudada uma região da Amazônia Legal englobando grande parte do estado do Pará e a região de fronteira com os estados do Mato Grosso e Amazonas; 2) na escala local foi analisada uma porção do Distrito Florestal Sustentável da BR-163 (PA). A escolha destas regiões se deu pelo fato destas regiões apresentarem grandes modificações na paisagem apresentando diferentes estágios e históricos de ocupação.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta seção apresenta a fundamentação teórica de alguns temas que são relevantes para o desenvolvimento deste trabalho como: o processo de ocupação na Amazônia, processo de desmatamento na Amazônia, Sistema de Monitoramento da Floresta Amazônica por Satélite (PRODES), padrões de desmatamento na Amazônia, métricas da paisagem, mineração de dados espaciais: GeoDMA.

2.1 Processo de ocupação na Amazônia

As primeiras iniciativas de ocupação do território da Amazônia ocorreram entre os anos de 1500 e 1840 pelos portugueses. Outras iniciativas foram as missões jesuíticas e a implantação de colônias agrícolas, que não obtiveram sucesso em função da resistência de povos indígenas e das doenças tropicais que atingiram os colonos. Nesta fase inicial, a floresta sofreu pouca modificação. No entanto, as populações indígenas foram as mais prejudicadas, reduzindo de 3 milhões de índios para cerca de 150 mil (SALATI, 1990).

Na primeira metade do século XIX, entre 1840 e 1910, ocorreu a intensificação da extração e industrialização da borracha. Muitos migrantes nordestinos direcionaram-se para a região amazônica em busca de melhores condições de vida, fugindo da seca no Nordeste brasileiro (OLIVEIRA, 1983; LUI e MOLINA, 2009). A exploração gumífera aumentou o fluxo de capital e de pessoas, principalmente para as cidades de Manaus e Belém, representando uma esperança para o progresso da região amazônica (OLIVEIRA, 1983).

A queda da exportação de borracha e a falta de êxito para levantar a economia da região levaram ao declínio econômico da região. Nesta fase os impactos sociais foram mais drásticos que os impactos ambientais. A pressão exploratória na região amazônica associada ao aumento populacional até

então, não foram suficientes para provocar grandes modificações na paisagem (OLIVEIRA, 1983; LUI e MOLINA, 2009).

Nos anos 50, durante o governo de Getúlio Vargas, a Amazônia foi considerada uma região problema devido ao chamado “vazio demográfico”, que precisava ser integrada ao restante do país (OLIVEIRA, 1983). A floresta era vista como um obstáculo e a ocupação planejada era considerada um fator importante para o desenvolvimento e inserção socioeconômica da região, a partir da ordenação territorial rural, da urbanização, assegurando a soberania sobre o território amazônico (OLIVEIRA, 1983; HOGAN et al., 2008).

A criação da Superintendência para o Plano de Valorização Econômica da Amazônia (SPVEA) em 1953, que foi substituída pela Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM) em 1966, foi uma das primeiras ações do Governo no sentido de criar condições para ocupar a região Amazônica e integrá-la às outras regiões brasileiras.

Adotando a estratégia de ocupar a região amazônica com a construção de rodovias como tentativa para atrair contingente populacional (BECKER, 1977), a SPVEA iniciou a abertura da rodovia Belém-Brasília finalizada em 1960 que possibilitou a ligação por via terrestre entre a região amazônica e a região Centro-Sul do país, dando início ao novo fluxo de migração, principalmente por nordestinos. A construção de estradas e a desapropriação das faixas de 100 km ao longo das rodovias federais permitiram a ocupação das áreas de floresta, pouco povoadas, contribuindo para a alteração do padrão de ocupação, que antes ocorria preferencialmente nas margens dos rios (OLIVEIRA, 1983).

Na década de 1970, o governo criou o Programa de Integração Nacional (PIN) que transformou o espaço geográfico amazônico com a construção de rodovias como a Transamazônica (BR-230), Cuiabá-Santarém (BR-163), Cuiabá-Porto

Velho (BR-364), Porto Velho-Manaus (BR-319). A implantação das rodovias alterou o padrão de circulação e do povoamento da Amazônia em que as conexões fluviais foram substituídas por conexões transversais das estradas que cortaram os vales dos grandes afluentes e a floresta, reduzindo o tempo e as distâncias das viagens (BECKER, 2001).

Com o objetivo de reforçar a estratégia de desenvolvimento regional do norte brasileiro foi lançado o Programa de Redistribuição de Terras e de Estímulo à Agroindústria no Norte e Nordeste (PROTERRA). Em parte, este programa foi impulsionado pelos conflitos sociais que necessitavam de reforma agrária no nordeste brasileiro (KOHLHEPP, 2002). Assim, foram destinadas quantias significativas de recursos para financiar o projeto de ocupação ao longo da rodovia Transamazônica, de acordo com o modelo do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA).

Com as ações do governo que permitiram a integração rodoviária, foram disponibilizados recursos para atrair o fluxo migratório e povoar a Amazônia. Sampaio e Costa (2009) consideram que a integração nacional gerou grande impacto socioeconômico como resposta ao processo migratório desordenado, que conduziu à apropriação ilegal de terras públicas, ao crescimento desorganizado urbano, o crescimento dos conflitos sociais e as más qualidades de vida local como a falta de saneamento básico e a carência médica.

No final dos anos 80 e nos anos 90, o Governo Federal deixou de ser a força mais atuante no processo de transformação da paisagem amazônica dando espaço para os agentes privados (LUI e MOLINA, 2009).

De acordo com Becker (2004), a partir do final da década de 90 surgiram as novas fronteiras de expansão do desmatamento em frentes localizadas. Becker (2004, 2005) pondera que as atuais regiões de fronteira são impulsionadas por atores com capital privado, indicando três importantes frentes de expansão:

uma que parte do norte do Mato Grosso em direção a Santarém pela BR-163, a segunda que parte de São Félix do Xingu em direção ao Iriri (PA) e a terceira que parte do norte do Mato Grosso e de Rondônia em direção ao sul do Amazonas. Essas frentes podem ser observadas nas análises dos dados do desmatamento realizadas por Escada (2010) para o período de 1997 a 2009.

O tópico seguinte descreve o processo e causas de desmatamento na Amazônia.

2.2 Processo de desmatamento na Amazônia

De acordo com Ferreira et al. (2005) o processo de desmatamento na Amazônia geralmente inicia com a abertura oficial ou clandestina de estradas que permitem a expansão territorial e a ocupação irregular de terras para explorar as madeiras nobres. Após esta fase, com a derrubada da floresta, a agricultura familiar e pastagens são implantadas.

As causas do desmatamento na Amazônia são múltiplas e reflete um enredado conjunto de atores sociais e de interesses diversos que tornam a fronteira uma região de buscas de oportunidades, de geração de capital, mas também de tensão e conflito (CASTRO, 2005).

Os agentes e forças que atuam no desmatamento variam conforme a região, os grandes e médios fazendeiros são um dos maiores responsáveis pelo desmatamento, no entanto, os pequenos produtores quando concentrados podem ser forças atuantes importantes (FEARNSIDE, 2006).

Muitos consideram a pecuária como a principal atividade econômica responsável pelo aumento do desmatamento; porque ela ocupa extensas áreas (FEARNSIDE, 1991; MARGULIS, 2003; CASTRO, 2005).

Segundo Margulis (2003), o desmatamento permite obter de certo modo algum lucro econômico favorecendo os madeireiros e os agentes intermediários que convertem a floresta nativa em pastagens valorizando a terra. Posteriormente chegam grandes fazendeiros capitalizados oriundos de outras regiões do Brasil atraídos principalmente pelo baixo valor da terra.

O governo têm se empenhado para conter o desmatamento no Brasil. As principais estratégias adotadas são o monitoramento e a repressão por meio de multas e fiscalização que devem ser conduzidas junto com a compreensão dos aspectos sociais, econômicos e políticos, buscando soluções para o problema através de reformas políticas (FEARNSIDE, 2005).

O PRODES e o Sistema de Detecção de Desmatamentos em Tempo Real (DETER), desenvolvidos pelo INPE, são exemplos bem sucedidos de programas de ação do governo brasileiro que tem como finalidade o monitoramento da floresta Amazônica para, juntamente com o Ministério do Meio Ambiente e o IBAMA (Instituto Brasileiro de Meio Ambiente), estabelecer ações para o combate e fiscalização do desmatamento.

2.3 Dados de desmatamento do PRODES

O PRODES é um sistema desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) criado em 1988, que fornece estimativas anuais de taxas de desmatamento e dados espaciais de áreas desmatadas por corte raso para a Amazônia Legal (INPE, 2008; 2010a). O mapeamento é realizado no período de agosto de um determinado ano a julho do ano seguinte. A área mínima mapeada é de 6,25 hectares.

O PRODES usa imagens adquiridas pelos satélites Landsat, DMC e CBERS, nas resoluções espaciais de 30, 32 e 20 metros, respectivamente (PRODES, 2008b).

Para a geração dos dados de desmatamento é feita a seleção e georreferenciamento das imagens orbitais, em seguida é aplicado o modelo linear de mistura espectral. As imagens fração-sombra ou solo obtidas com o modelo de mistura são segmentadas e classificadas. Posteriormente é feita a edição manual (CÂMARA et al., 2006; INPE, 2010a). No final do processo de mapeamento, são disponibilizados em um banco de dados espacial mapas anuais de desmatamento e estimativas anuais de taxas de desmatamento por meio de dados tabulares.

2.4 Padrões de desmatamento na Amazônia

A Amazônia brasileira tem experimentado diferentes fases e atividades econômicas que se desenvolveram, na maioria das vezes, concomitantemente, como a extração de borracha, agricultura familiar, expansão de rodovias, de empresas interessadas na pecuária, agricultura mecanizada, extração de madeira e mineração e desenvolvimento urbano (PEDLOWSKI et al., 1997; ASNER et al., 2002).

As formas de ocupação e atividades econômicas estão associadas aos diferentes atores sociais presentes na Amazônia. Vários estudos têm sido realizados com o objetivo de associar os padrões de desmatamento observados em imagens de sensoriamento remoto aos diferentes padrões de ocupação (ESCADA, 2003).

Husson et al. (1995) propõem as seguintes tipologias de padrões de desmatamento: geométrico, corredor, espinha de peixe, difuso, fragmentos e ilha (Figura 2.1). Mertens e Lambin (1997) têm usado esta mesma tipologia na análise dos padrões de desmatamento no sul de Camarões identificando os padrões corredor, difuso e ilha.

Ewers e Laurance (2006) simplificaram essa tipologia em dois grupos; (1) desmatamentos causados por pequenos produtores (que inclui pequenos agricultores, assentamentos rurais e fazendeiros tradicionais) e (2) desmatamentos provocados por produtores em grande-escala (fazendas industrializadas ou grandes empresários).

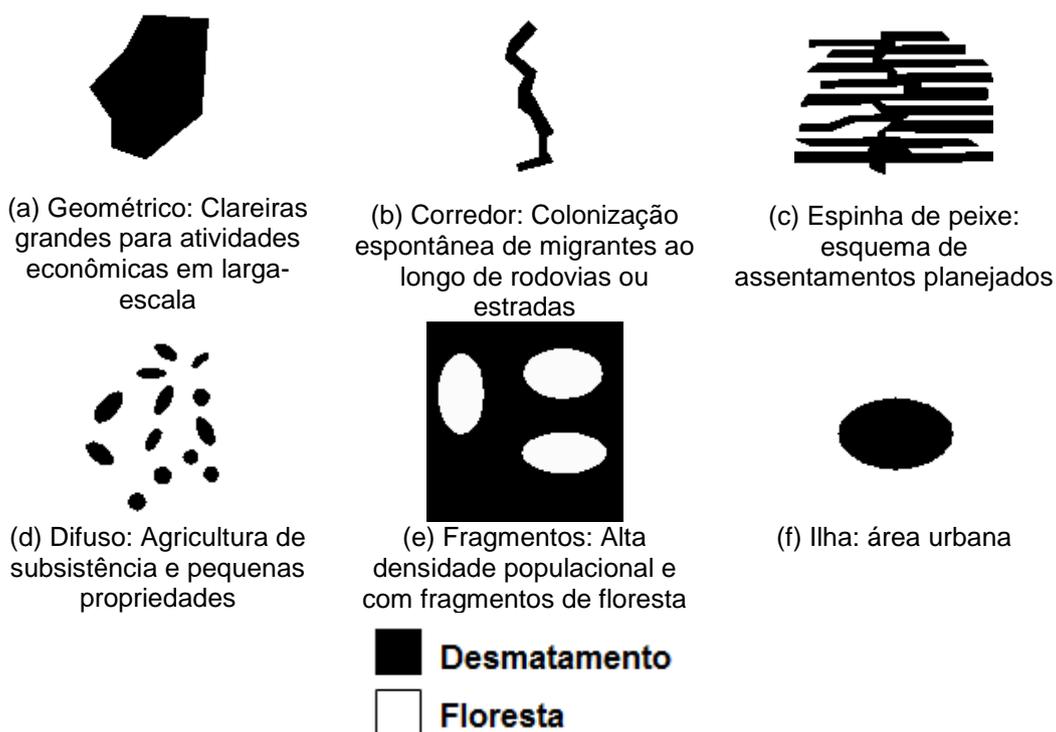


Figura 2.1 - Padrões de desmatamento.
Fonte: Adaptado de Mertens e Lambin (1997).

Oliveira Filho e Metzger (2006) consideram que os principais padrões de desmatamento na região do estado do Mato Grosso podem ser definidos de acordo com o tamanho e a distribuição espacial das áreas de clareira, como: espinha de peixe, assentamentos independentes ou corredor e grandes propriedades ou geométrico.

Segundo Batistella e Moran (2005) e Oliveira Filho e Metzger (2006), o padrão espinha de peixe encontrado na região amazônica é comum em programas de

assentamento do INCRA, principalmente em Rondônia e na rodovia Transamazônica.

A distribuição espacial das estradas e dos programas de colonização são variáveis importantes nos processos de transformação da paisagem amazônica (LUI e MOLINA, 2009), muitas vezes gerando padrões de desmatamento do tipo linear ou corredor.

O padrão de assentamento independente é composto por pequenas propriedades distribuídas irregularmente e ocupada por famílias que se estabeleceram independentemente dos programas de governo (OLIVEIRA FILHO e METZGER, 2006).

De acordo com Oliveira Filho e Metzger (2006) o padrão de desmatamento de grandes propriedades ou geométrico no Mato Grosso é caracterizado por grandes áreas desmatadas maiores que 10 km², que equivale a 1000 ha. Silva et al. (2008) definiram cinco padrões de desmatamento na Terra do Meio (PA): 1) padrão linear que se caracteriza por clareiras abertas ao longo de estradas; 2) padrão irregular pequeno e isolado, associados a pequenas fazendas; 3) padrão irregular, associado a pequenas fazendas que utilizam mão-de-obra familiar e de terceiros; 4) padrão irregular médio associados às fazendas médias e; 5) padrão geométrico regular grande (> 900 ha = 9km²) localizado em regiões isoladas e associados às grandes fazendas.

A Figura 2.2 apresenta alguns exemplos de padrões espaciais de desmatamento, identificados na Amazônia Brasileira, usando os dados do PRODES, que serão analisados neste trabalho.

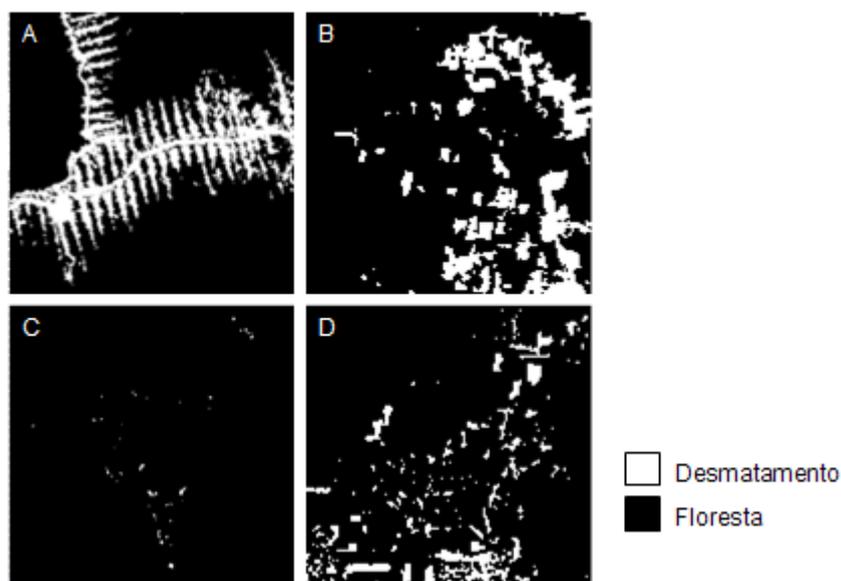


Figura 2.2 - Padrões espaciais de desmatamento na Amazônia Brasileira: (a) padrão de espinha de peixe, (b) padrão geométrico, (c) padrão difuso (d) paisagem híbrida, com clareiras de grandes propriedades misturadas com pequenas propriedades. Dados espaciais de desmatamento acumulado PRODES até 1997.

2.5 Métricas da Paisagem

A ecologia da paisagem é uma área de estudo que envolve análise da interação entre o padrão espacial da paisagem e o processo ecológico, evidenciando as causas e efeitos da heterogeneidade espacial em uma série de escalas. O termo ecologia da paisagem foi introduzido pelo biogeógrafo alemão Carl Troll em 1939, decorrente da tradição europeia na geografia regional e da ciência florestal, estimulado pelo desenvolvimento de técnicas de fotografia aérea (TURNER et al., 2001).

Uma paisagem pode ser considerada como um mosaico heterogêneo composto por unidades homogêneas segundo algumas características. (FORMAN, 1995; FARINA, 1998; METZGER, 2001).

Um elemento importante na ecologia da paisagem é a escala que permite uma ligação do padrão com a dinâmica da paisagem, auxiliando na compreensão da

complexidade dos padrões e dos processos pertencentes à paisagem (FARINA, 1998). Na cartografia, a escala é utilizada no dimensionamento de mapas, tratando-se de uma medida que relaciona o objeto real e o seu desenho representado em uma superfície plana, no caso o mapa.

Em ecologia da paisagem uma escala fina ou detalhada refere-se ao padrão de uma pequena área, onde a diferença entre a realidade e o mapeado é pequena. A escala ampla ou escala grosseira refere-se ao padrão de uma grande área, onde a diferença entre o tamanho do mapa e o tamanho real é grande (FORMAN, 1995; TURNER et al., 2001).

O método mais comum para identificar os padrões da paisagem é extrair informações destes padrões utilizando variáveis. Tais variáveis são denominadas de métricas da paisagem ou índices da paisagem (FROHN, 1998). As métricas de paisagem são ferramentas importantes no estudo e monitoramento dos padrões, na análise de mudanças na estrutura da paisagem e no relacionamento dos padrões aos processos de mudança (HUANG et al., 2005; MUSICK e GROVER, 1991).

Análises utilizando as métricas da paisagem permitem compreender a distribuição espacial da estrutura da paisagem, dinâmica da paisagem incluindo avaliações com relação as áreas de desmatamento (MERTENS e LAMBIN, 1997; FERRAZ et al., 2005; EWERS e LAURANCE, 2006; METZGER et al., 2009).

Os estudos em ecologia da paisagem atualmente usam Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para processar, integrar e analisar as informações. Os programas computacionais desenvolvidos para aplicações em análise da paisagem podem utilizar como dados de entrada os dados *raster*, grades celulares, e dados vetoriais. Nas análises baseadas no formato *raster*, uma paisagem é dividida em uma grade de células quadradas ou hexagonais

de mesmo tamanho. O tamanho da grade celular determina a resolução dos dados a serem mapeados. No formato vetorial, as linhas são definidas a partir de conjuntos de coordenadas (linha, colina) que definem os limites dos polígonos. Os polígonos podem ser de tamanho e forma variáveis, mas a unidade mínima da resolução equivale ao tamanho mínimo do padrão que pode ser mapeado.

Os dados em formato *raster* são popularmente mais difundidos em análises de paisagem, em grande parte porque o seu processamento pode ser mais rápido e utilizar métodos mais simples, além disso, as imagens de satélite já estão nesse formato (TURNER et al., 2001).

2.6 Mineração de dados espaciais: GeoDMA

Muitas vezes o volume de dados ultrapassa a capacidade humana de interpretar e utilizar completamente toda a informação gerada. Para tratar de problemas relacionados com grandes volumes de dados, sistemas baseados em mineração de dados têm sido desenvolvidos (NEVES et al., 2001; LI e WANG, 2005).

Os sistemas de mineração de dados usam algoritmos que exploram os dados e descobre padrões de interesse, oferecendo informações que sejam compreensíveis e úteis ao usuário dos dados (HAND et al., 2001, MAINON e ROKACH, 2010).

No caso de dados espaciais, a mineração envolve a aplicação de ferramentas computacionais para revelar padrões de interesse em objetos e eventos distribuídos no espaço geográfico e no tempo. Esses padrões podem incluir, além dos atributos não espaciais, propriedades espaciais tais como atributos de forma e extensão de polígonos que representam, por exemplo, o desmatamento e as relações espaço-temporais entre os objetos e eventos de interesse (MILLER e HAN, 2009).

Uma base de dados espaciais armazena objetos que são representados por elementos que podem possuir relacionamento espacial entre si. Os dados espaciais carregam informações topológicas e/ou informação de distância e muitas vezes são organizadas por índices de estrutura espacial e são acessadas por métodos específicos (HAN et al., 1997).

Os dados de entrada nos sistemas de mineração de dados espaciais podem ser complexos, e muitas vezes dinâmicos, diferentemente das bases de dados convencionais da mineração de dados clássica, pois inclui objetos como pontos, linhas e polígonos (LI e WANG, 2005; SHEKHAR et al., 2003).

A próxima seção apresenta uma descrição do sistema de mineração de dados espaciais, GeoDMA, que está em desenvolvimento na Divisão de Processamentos de Imagens (DPI) do INPE.

2.6.1 *Geographical Data Mining Analyst (GeoDMA)*

Korting et al. (2008) desenvolveu no INPE um sistema de mineração de dados espaciais conhecido por *Geographical Data Mining Analyst (GeoDMA)*. O sistema GeoDMA inicialmente foi baseado no protótipo do sistema de mineração de dados proposto por Silva et al. (2008) e, a partir de então, esse sistema evoluiu incluindo diversas ferramentas para armazenamento, processamento, visualização e análise de dados temporais. O sistema funciona como um *plugin* para o aplicativo TerraView, que manipula e visualiza dados armazenados em bancos de dados geográficos, e é implementado na Linguagem C++, baseado na biblioteca TerraLib (INPE, 2007; KORTING et al., 2008).

Os dados de entrada do GeoDMA podem ser imagens, objetos e grade celular. O GeoDMA possui ferramentas para segmentação, extração e seleção de

atributos, treinamento, classificação, visualização e validação. A Figura 2.3 apresenta o diagrama do sistema GeoDMA (KORTING et al., 2008).

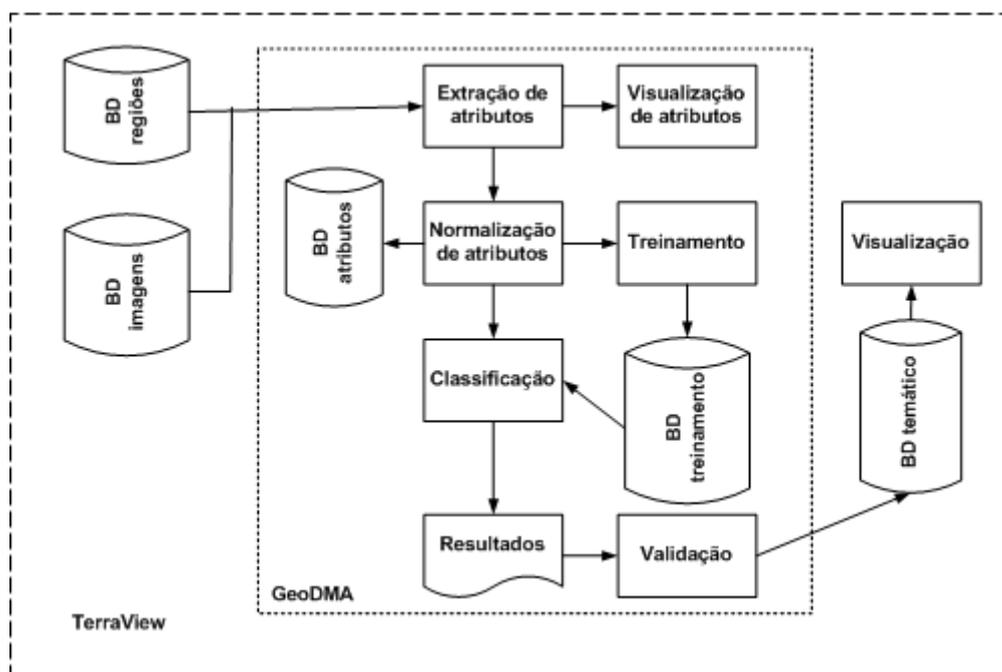


Figura 2.3 - Diagrama do sistema minerador GeoDMA.
 Fonte: Adaptado de KORTING et al. (2010).

Os módulos de processamento do GeoDMA são descritos a seguir:

- 1) Módulo de Extração de Atributos: Realiza a extração de atributos considerando imagens e objetos como entrada. Características espectrais (média por banda, variância de cada banda e textura) podem ser extraídas, assim também como atributos espaciais (área, perímetro, dimensão fractal, circularidade), os quais são calculados e armazenados em tabelas no banco Terralib;

- 2) Módulo de Visualização dos atributos: permite realizar a análise exploratória do conjunto de atributos selecionados, por meio da visualização do espaço de atributos em gráficos de dispersão, mostrando a separabilidade das classes;

- 3)Módulo de Normalização de atributos: Os atributos são normalizados para que estes tenham o mesmo grau de importância no processo de mineração de dados;
- 4)Módulo de Treinamento: Um conjunto de amostras de cada classe de interesse é selecionado para gerar o modelo de classificação. Na análise multitemporal pode-se trabalhar com um mesmo conjunto de amostras de treinamento para classificar toda a série temporal de dados;
- 5)Módulo de Classificação: três algoritmos para classificação estão disponíveis até o momento: o algoritmo supervisionado de árvore de decisão versão C4.5, redes neurais e o algoritmo não supervisionado de Mapas Auto-Organizáveis (SOM);
- 6)Módulo de Validação: no módulo de validação é possível obter a matriz de confusão entre os dados de treinamento e os dados classificados, apresentando o potencial do classificador para identificar as classes de interesse. O resultado desta etapa é a própria matriz de confusão e o índice de concordância Kappa. O GeoDMA também apresenta a validação cruzada pelo Método de Monte Carlo. O método de Monte Carlo é uma técnica que utiliza experimentos aleatórios para a solução de modelos matemáticos e análise de problemas complexos na tentativa de simular um sistema real com base na teoria das grandes amostras (RUBISTEIN, 1981; ALMEIDA et al., 2010). No caso do GeoDMA, foram realizadas combinações aleatórias de amostras de treinamento e amostras teste. Fang et al. (2007) recomendam que o número de amostras de teste e treinamento sejam iguais para que se reduza a variabilidade estatística, assim, o conjunto de amostras teste e treinamento é dividido sendo selecionado amostras aleatoriamente. No final dessa etapa, o GeoDMA apresenta as árvores de decisão, os

valores de coeficiente Kappa e a sua estimativa média. A partir da distribuição dos valores de Kappa é possível determinar um intervalo de credibilidade onde são desprezados 2,5% dos valores maiores e menores, garantindo que 95% dos resultados estejam dentro de determinado intervalo.

7) Visualização: a interface do TerraView permite a visualização dos dados de saída em diferentes classes, ou temas, de acordo com os resultados obtidos na classificação.

Algumas métricas da paisagem, utilizadas por Silva et al. (2008), foram implementadas no GeoDMA como perímetro, área, shape, frac, círculo e contig. Para viabilizar a abordagem de classificação por célula, as métricas de manchas da paisagem utilizadas por Azeredo et al. (2008) também foram implementadas. Essas métricas foram agrupadas em índices de mancha/área, índices borda, índices de tamanho e forma (MCGARIGAL et al., 1995; ELKIE et al., 1999). As formulações e descrição dessas métricas estão no Apêndice A.

3 METODOLOGIA

3.1 Área de estudo I

A área de estudo I compreende uma porção da Amazônia Legal (Figura 3.1), englobando grande parte do estado do Pará e a região de fronteira com os estados do Mato Grosso e Amazonas.

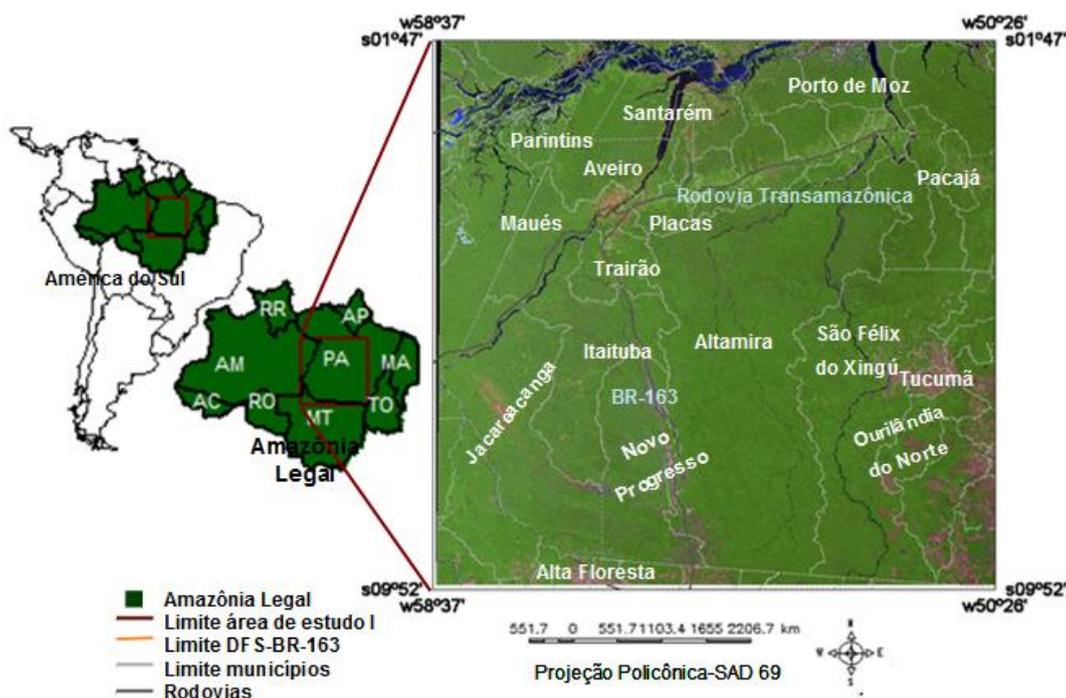


Figura 3.1 - Área de estudo I - Composição colorida (5R4G3B) sensor TM/Landsat 2000.

Esta região possui, dentro de seus limites, 22 unidades de conservação ambiental, 25 terras indígenas, assentamentos rurais criados pelo INCRA, importantes eixos rodoviários (Rodovia Transgarimpeira PA-080, Cuiabá-Santarém BR-163, Transamazônica BR-230) que ligam a região norte a outras regiões do país, permitindo o escoamento das produções agrícolas e fluxos populacionais.

A região apresenta clima equatorial, o tipo de solo predominante são os Argisolos Vermelho-Amarelo e algumas regiões apresentando diferentes Neossolo e Latossolo (IBGE, 2005a).

Na área de estudo são encontradas parte das três regiões consideradas como as novas frentes de desmatamento: 1) parte do município de São Félix do Xingu, no sudeste do Pará em direção ao rio Iriri, conhecida como Terra do Meio; 2) parte do extremo norte do Mato Grosso e sul do Pará, seguindo pela rodovia BR-163; e 3) parte do norte de Mato Grosso e de Rondônia em direção ao sul do Amazonas (BECKER, 2005).

3.2 Área de Estudo II

A área de estudo II (Figura 3.2) está contida na área de estudo I e compreende a região dos municípios de Santarém, Aveiro, Belterra, Juruti, Prainha, Rurópolis, Altamira, Uruará e Trairão e parte das rodovias Transamazônica e BR-163. Em junho-julho de 2009 foi realizado trabalho de campo, onde foram visitadas algumas comunidades ribeirinhas em trechos das duas margens do Rio Tapajós-PA nos municípios de Santarém, Belterra, Aveiro, Rurópolis e Itaituba. Mais informações sobre o trabalho de campo nesta região podem ser obtidas em Amaral et al. (2009).

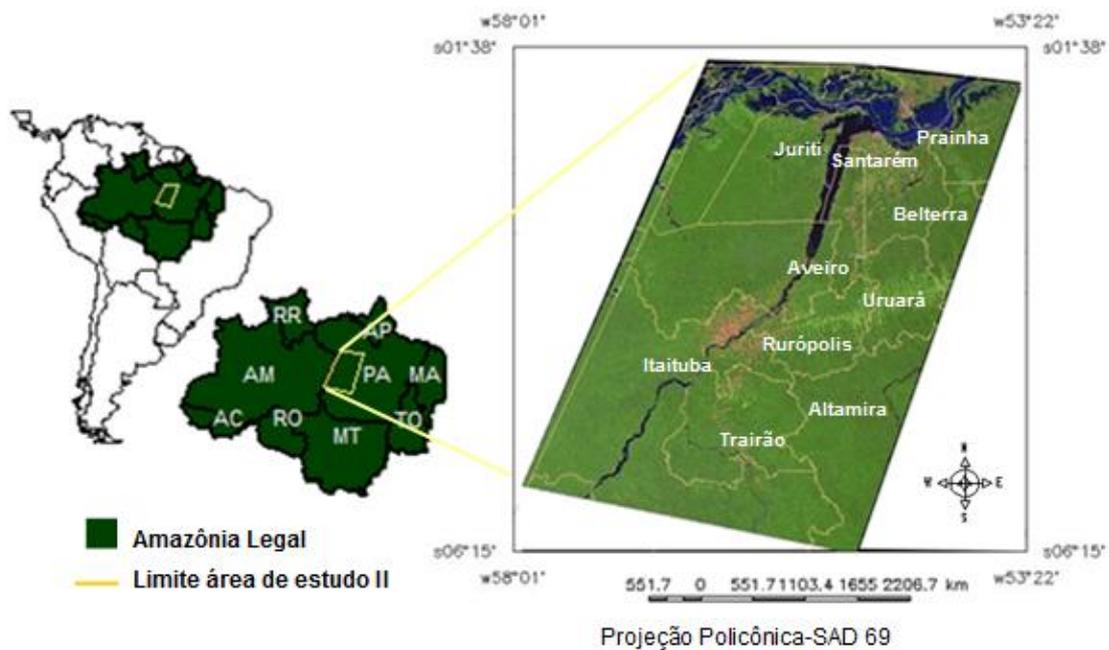


Figura 3.2 - Área de estudo II - Composição colorida (5R4G3B) sensor TM/Landsat.

A Figura 3.3 apresenta a distribuição das comunidades ribeirinhas visitadas no trabalho de campo.

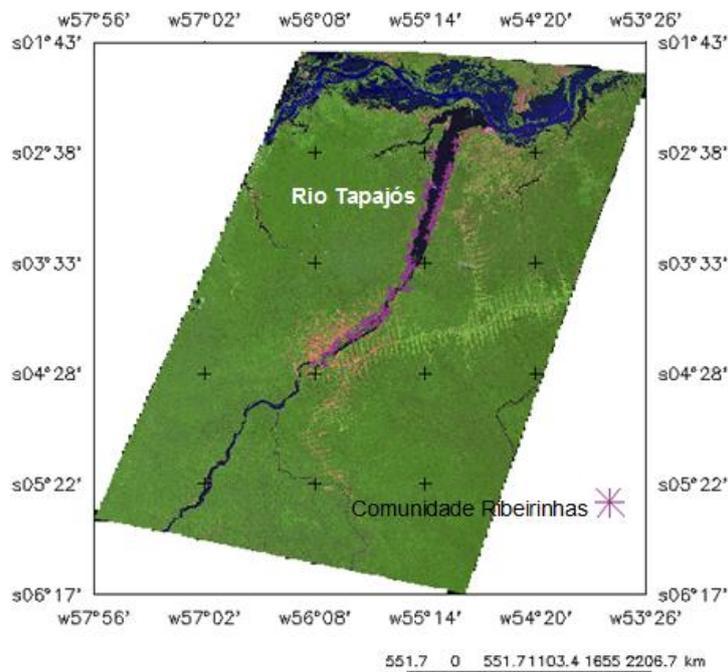


Figura 3.3 - Distribuição de comunidades ribeirinhas visitadas em pesquisa de campo no Rio Tapajós jun/jul-2009.

De acordo com EMBRAPA (2003), a região oeste do Pará caracteriza-se por apresentar clima equatorial e está sob domínio de uma tipologia florestal, sendo predominante a formação Floresta Ombrófila Densa e solos pertencentes às classes dos Argissolos e Latossolos.

A BR-163 margeia grande parte da porção oeste da FLONA do Tapajós. Ao longo dessa rodovia a paisagem e as formas de ocupação são bastante heterogêneas. Podem ser observadas no planalto próximo a Santarém até o vale do Jamanxin alterações antrópicas relacionadas com a agricultura, principalmente com o cultivo de soja no planalto Santareno, a pecuária e extrativismo da madeira e mineral (ESCADA et al., 2008).

A região do Baixo Tapajós compreende principalmente os municípios de Santarém, Itaituba, Belterra, Aveiro e Rurópolis, Placas, Em grande parte dessa região, o uso da terra predominante é a agricultura familiar de subsistência, na área de influência da Transamazônica a pecuária de leite e de corte, é o principal uso da terra (ESCADA et al., 2008).

3.3 Materiais

Para análise de padrões de desmatamento foram utilizados dados do PRODES (INPE, 2010) referentes ao período de 1997 a 2006. Dessa base de dados foram gerados mapas de desmatamento acumulado de 1997, 2000, 2003 e 2006.

Para auxiliar nas análises dos resultados foram utilizados os seguintes dados apresentados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1- Dados auxiliares para análise de resultados.

Dados	Ano	Fonte
Limites de áreas indígenas	2010	Fundação Nacional do índio (FUNAI)
Limites da área de influência da rodovia BR-163, limites da área militar, limites da reserva garimpeira do Tapajós	2003	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2003), Agência de Desenvolvimento da Amazônia (ADA) e ao Consórcio das instituições públicas federais responsáveis pelo ZEE BR-163.
Rede hidrográfica Amazônia Legal, limite da Amazônia Legal, limites estaduais, limites municipais	2005	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2005b).
Dados de campo com a localização de comunidades ribeirinhas ao longo do Rio Tapajós e povoamentos	2009	AMARAL et al., 2009
Limite de lotes de imóveis rurais de Mojui-Santarém	2005	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA, 2005)
Áreas de soja na região de Santarém	2010	<i>The Nature Conservancy</i> (TNC, 2010)

Para armazenamento e análise dos dados espaciais, foram utilizados os Sistemas de Informações Geográficas: SPRING versão 4.3.3 (CÂMARA et al., 1996) e o TerraView versão 3.5 (INPE, 2010b). Para realizar testes de sensibilidade foi utilizado o *plugin* do ArcGIS 9.2 (ESRI, 2006), *Patch Analyst 4* ((Elkie et al., 1999). Para a mineração de dados, foi utilizado o *Geographic Data Mining Analyst- GeoDMA* (INPE, 2007; KORTING, et al., 2009), *plugin* do TerraView.

3.4 Metodologia

A Figura 3.4 esquematiza os procedimentos realizados neste trabalho, que foram divididos nas seguintes etapas: 1) aquisição dos dados de desmatamento; 2) análise de sensibilidade para escolha do tamanho das células a serem utilizadas no processo de mineração; 3) definição de tipologia de ocupação baseada nos mapas de desmatamento para as áreas de estudo; 4) mineração de dados; 5) avaliação dos mapas gerados e análise de resultados; 6) definição e análise de trajetórias de ocupação. As próximas seções descrevem, em detalhes, cada etapa.

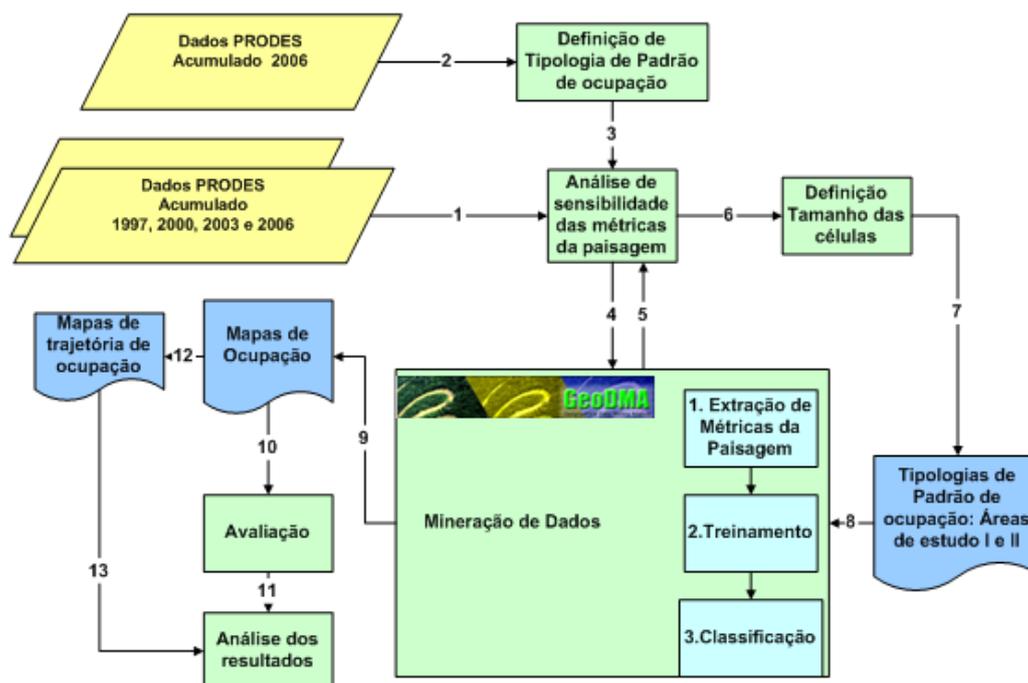


Figura 3.4 - Fluxograma de atividades.

3.4.1 Aquisição dos dados de desmatamento

Para armazenar os dados e criar um projeto, um banco de dados foi criado no SPRING (Câmara et al., 1996). Os mapas de desmatamento do PRODES de 1997 a 2006 foram armazenados e as classes de desmatamento foram

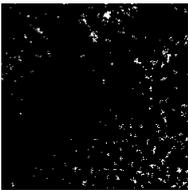
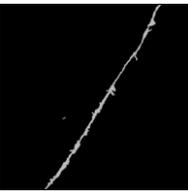
reagrupadas a partir de uma rotina do LEGAL (Câmara et al., 1996), gerando assim mapas com classes de desmatamento até 1997; 2000, 2003 e 2006.

Após a reclassificação, os mapas de desmatamentos foram convertidos para o formato vetorial e recortados de acordo com os limites das áreas de estudo. Para cada área de estudo foi criado um banco de dados no TerraView.

3.4.2 Definição da tipologia de ocupação para o teste de sensibilidade

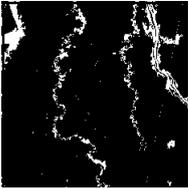
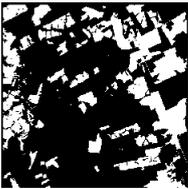
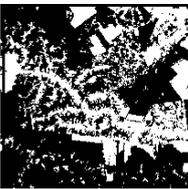
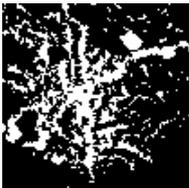
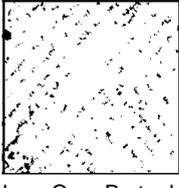
Nesta etapa foi realizada a associação do arranjo espacial de desmatamento a um padrão de ocupação. A seleção de padrões de desmatamento baseou-se na análise dos padrões nos dados do PRODES, para a região da Amazônia Legal, e em padrões descritos na literatura (Mertens e Lambin, 1997; Ewers e Laurance, 2006; Oliveira Filho e Metzger, 2006; Escada, 2003). Os oito padrões são apresentados na Tabela 3.2 onde uma breve descrição de cada padrão e de sua semântica é apresentada.

Tabela 3.2 - Tipologia de padrão de desmatamento associados à ocupação humana na Amazônia Legal.

PRODES 2007- Amazônia Legal	Padrão de Desmatamento	Descrição Escala 1:100.000	Semântica Padrão de Ocupação
 Xapuri - AC	Difuso	-Manchas pequenas, isoladas; -Forma variada, irregular; -Baixa a média densidade; -Distribuição uniforme.	-Áreas de ocupação espontânea; -Pequenos, médios estabelecimentos rurais; -Atividades econômicas: agricultura de subsistência, pequena pecuária; -Estágio inicial de ocupação.
 Jacareacanga-PA	Linear	-Manchas médias e grandes; - Manchas de forma alongada dispostas ao longo vias de acesso; - Baixa densidade.	-Ocupação ao longo de estradas e vias de acesso; -Pequenos e médios estabelecimentos rurais; -Atividades econômicas: agricultura familiar, pecuária. -Estágio inicial a intermediário de ocupação.

(Continua)

Tabela 3.2- Continuação.

PRODES 2007- Amazônia Legal	Padrão de Desmatamento	Descrição Escala 1:100.000	Semântica Padrão de Ocupação
 Novo Ariapunã-AM	Multidirecional ordenado	-Manchas pequenas isoladas dispostas ao longo dos rios; -Baixa densidade.	-Ocupação ribeirinha; -Pequenos e médios estabelecimentos rurais; -Atividades econômicas: agricultura e pecuária de subsistência, pesca; -Estágio inicial a intermediário de ocupação.
 Nova Maringá-MT	Geométrico regular	-Manchas médias a grandes e isoladas; -Forma geométrica regular; -Baixa a média densidade.	- Médios e grandes estabelecimentos rurais. -Atividades econômicas : agricultura, principalmente monoculturas de grãos e pecuária de média a larga escala; -Estágio intermediário de ocupação.
 Placas-PA	Espinha de Peixe	-Manchas grandes alongadas e lineares com ramificações semelhantes à vértebra de peixe; -Média densidade.	-Áreas de projeto de Assentamento rural do INCRA; -Pequenos e médios estabelecimentos rurais; -Atividades econômicas: agricultura familiar, pequena pecuária; - Estágio intermediário de ocupação.
 Rio Branco-AC	Multidirecional desordenado	-Manchas pequenas, médias e grandes; -Manchas de formas variadas, irregulares, complexidade elevada; -Média, alta densidade; -Multidirecional.	-Pode haver concentração fundiária; -Pequenos, médios e grandes estabelecimentos rurais; -Atividades econômicas: agricultura, pecuária, extração madeireira; -Estágio intermediário de ocupação, muitas vezes espontânea.
 Apuí- AM	Ilha	-Manchas pequenas, médias e grandes em geral, ligadas a estruturas lineares representadas por vias de acesso e rios; -Manchas homogêneas; -Baixa, média a alta densidade.	-Manchas urbanas. -Estágio avançado de ocupação.
 Jarú, Ouro Preto do Oeste, - RO	Consolidado	-Manchas grandes e contínuas de desmatamento; -Forma variada; -Densidade baixa e áreas pequenas de remanescentes florestais; -Manchas compactas.	-Concentração fundiária; -Pequenos, médios e grandes estabelecimentos rurais; - Atividades econômicas: agricultura, pecuária de pequena a larga escala, extração madeireira, empresários; -Esgotamento da floresta; - Fragmentação florestal; -Estágio avançado de ocupação.

 **Desmatamento**

 **Floresta**

3.4.3 Definição do tamanho da célula para a Amazônia Legal

O objetivo desta análise é definir um tamanho adequado de célula, ou seja, a extensão da área de uma unidade de análise, para a construção da tipologia de padrões de ocupação a ser utilizada na fase de mineração e classificação dos padrões nas áreas de estudo.

Baseados nas dimensões e nos arranjos espaciais das feições de interesse, cinco tamanhos de células foram analisados. Para preservar as principais características espaciais dos padrões estudados e assim poder compará-los, o mesmo ponto central (mesma coordenada geográfica) para todas as células foi mantido, como mostra a Figura 3.5.

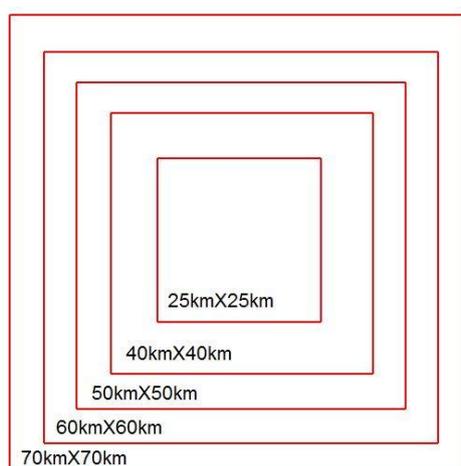


Figura 3.5 - Tamanho de células.

Foram selecionadas 10 amostras para cada um dos oito padrões de desmatamento e cinco tamanhos de célula, totalizando 400 amostras.

A Figura 3.6 apresenta exemplos de amostras utilizadas no teste de sensibilidade.

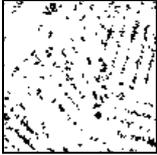
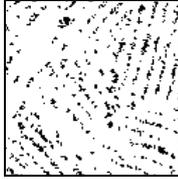
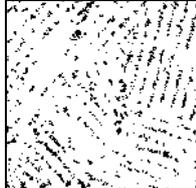
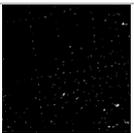
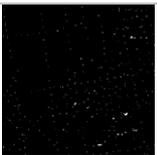
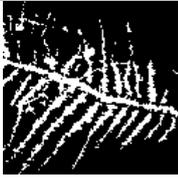
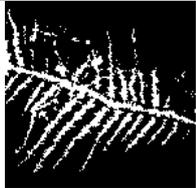
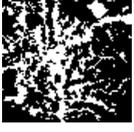
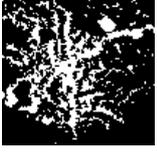
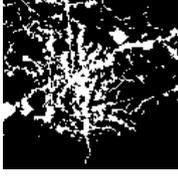
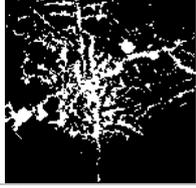
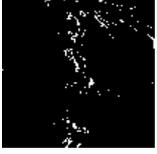
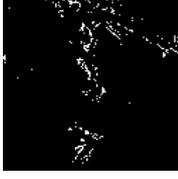
Padrão de desmatamento	25kmX25km	40kmX40km	50kmX50km	60kmX60km	70kmX70km
Consolidado					
	aI	aII	aIII	aIV	aV
Difuso					
	bI	bII	bIII	bIV	bV
Espinha de peixe					
	cI	cII	cIII	cIV	cV
Geométrico					
	dI	dII	dIII	dIV	dV
Ilha					
	eI	eII	eIII	eIV	eV
Multidirecional ordenado					
	fI	fII	fIII	fIV	fV
Multidirecional desordenado					
	gI	gII	gIII	gIV	gV

Figura 3.6 - Exemplo de amostras do teste de sensibilidade das métricas da paisagem.
(Continua)

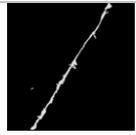
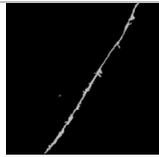
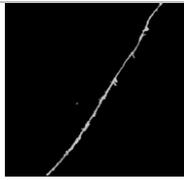
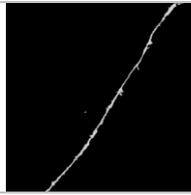
Padrão de desmatamento	25kmX25km	40kmX40km	50kmX50km	60kmX60km	70kmX70km
Linear					
	hI	hII	hIII	hIV	hV
					

Figura 3.6 - Exemplo de amostras do teste de sensibilidade das métricas da paisagem. (Conclusão)

Para as 400 amostras foram calculadas nove métricas da paisagem no *Patch Analyst 4* (Elkie et al., 1999) sendo elas: *Mean Patch Size* (MPS), *Edge Density* (ED), *Mean Patch Fractal Dimension* (MPFD), *Area Weight Mean Patch Fractal Dimension* (AWMPFD), *Mean Perimeter-Area Ratio* (MPAR), *Mean Shape Index* (MSI), *Area Weight Mean Shape Index* (AWMSI), *Patch Size Standart Deviation* (PSSD) e *Patch Size Coefficient of variation* (PSCOV). A formulação dessas métricas podem ser verificadas no Apêndice A.

A partir dos resultados gerados foram construídos *box plots* apresentando os valores mínimo, máximo, primeiro quartil, mediana e terceiro quartil. Dentre estas estatísticas, a mediana é utilizada para a comparação entre fenômenos de mesmo tipo. A mediana é o valor que ocupa exatamente o meio de uma série de termos dispostos em ordem crescente ou decrescente; o primeiro quartil e o terceiro quartil abrangem 25% e 75% respectivamente dos termos da série de valores (MOREIRA, 1968).

Após a análise individual de cada tamanho de célula e cada padrão de desmatamento, o *software* GeoDMA foi utilizado para fazer a mineração dos dados e a classificação das células considerando os padrões definidos na etapa anterior. Foram utilizadas 5 amostras de treinamento de cada padrão para cada um dos tamanhos de células testados para realizar a classificação. A

avaliação foi feita utilizando a simulação de Monte Carlo, onde foram realizadas 300 iterações; o simulador escolhe amostras aleatórias de treinamento e as demais são amostras teste. São geradas 300 árvores de decisões e baseado em seu desempenho na classificação são obtidos os valores de coeficiente Kappa. O tamanho da célula que apresentou o melhor desempenho foi selecionado no estudo de caso.

Para a análise na escala de maior detalhe a escolha da resolução foi feita visualmente baseada no trabalho de Azeredo et al. (2008). Quando a célula é muito grande, ela torna-se heterogênea incorporando vários padrões de desmatamento, isso pode dificultar a discriminação do padrão. A Figura 3.7A apresenta uma célula com área de 50 km x 50 km, onde vários padrões podem ser identificados. A Figura 3.7C apresenta uma célula de 5 km x 5 km onde ocorre à descaracterização do padrão geométrico regular, com perda de informações, devido a quebra dos polígonos de desmatamento.

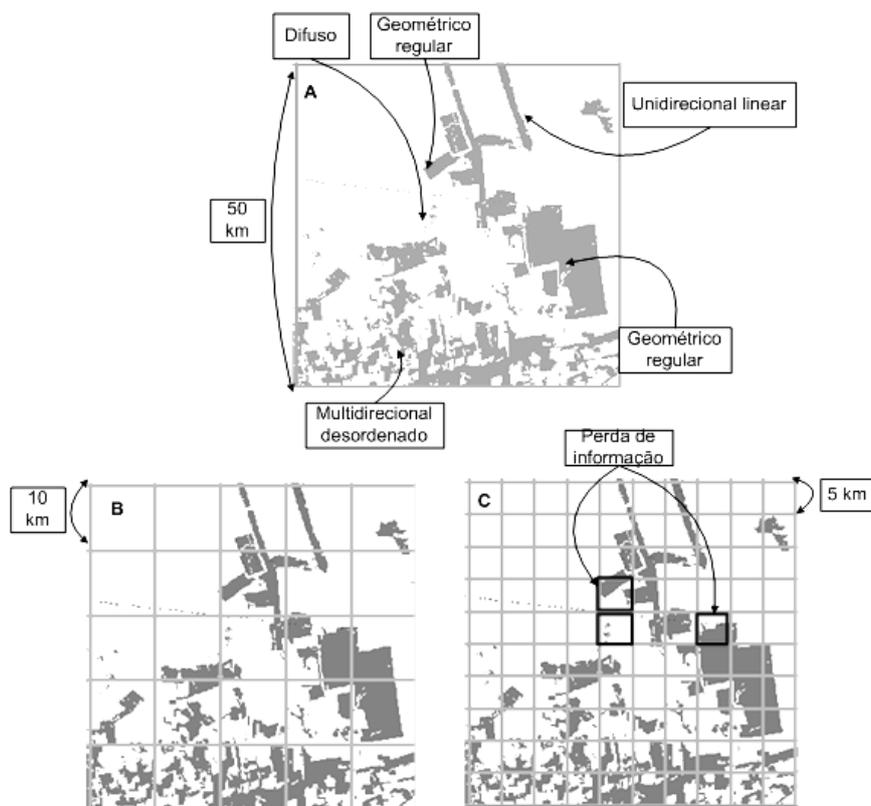


Figura 3.7 - Efeito do tamanho da célula na identificação do padrão: (A) mistura de diferentes padrões; (B) boa discriminação dos padrões; (C) célula muito pequena perdendo informação sobre o arranjo espacial do padrão.

3.4.4 Definição de Tipologia para as áreas de estudo

Após a definição do tamanho das células foi elaborada uma tipologia para cada uma das áreas de estudo adaptada da tabela 4.1. Devido à diferença no tamanho das células e a área de abrangência das áreas de estudo, nem todos os padrões foram incluídos e alguns ajustes foram realizados.

3.4.5 Mineração de dados

O processo de mineração, no contexto deste trabalho, inicia-se com a criação do espaço celular no aplicativo TerraView. A mineração, realizada no aplicativo GeoDMA, constituiu-se de três etapas: 1) extração de métricas da paisagem para cada conjunto de polígonos de desmatamento delimitado pela célula; 2)

seleção de amostras de treinamento; 3) classificação das células, utilizando um algoritmo de árvore de decisão C4.5 onde são definidos os limiares das métricas que distinguem as classes.

Durante a etapa de extração de atributos pode-se optar por normalizá-los, de forma que todos os atributos tenham o mesmo nível de importância no processo de mineração. As métricas são extraídas e armazenadas como novos atributos das células em tabelas não-espaciais como mostra a Figura 3.8.

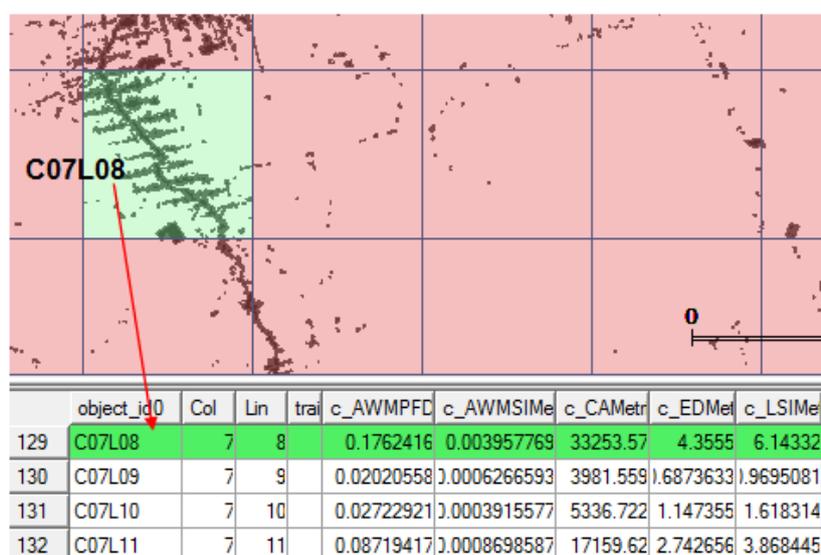


Figura 3.8 - Métricas extraídas pelo GeoDMA e armazenadas como atributos das células.

Amostras de treinamento foram selecionadas no conjunto de dados de todos os anos analisados. Como resultado, obtém-se uma árvore de decisão com as métricas que melhor discriminaram os padrões, e são gerados mapas de padrões de ocupação para cada ano analisado. Esses mapas podem ser analisados separadamente e/ou podem ser combinados para gerar um mapa com as principais trajetórias de ocupação.

3.4.6 Avaliação dos mapas de padrões de ocupação

A validação dos resultados foi feita a partir de células sorteadas aleatoriamente e distribuídas por toda a área de estudo, representando cerca de 90 células (25% do total) para a área de estudo I e 130 células (8% do total) para área de estudo II excluindo-se aquelas utilizadas no treinamento. As células foram classificadas visualmente por um fotointérprete que considerou na atribuição de classes, o padrão predominante da célula analisada. Esta classificação foi utilizada como referência na avaliação dos mapas de padrões. Em seguida, foi utilizada matriz de confusão, onde os resultados obtidos da classificação com o GeoDMA foram confrontados com a classificação visual. A partir desta análise é possível obter o coeficiente estatístico Kappa (HUDSON e RAMM, 1987; CONGALTON e GREEN, 1999).

Dados auxiliares como os limites e datas de criação das terras indígenas (FUNAI, 2010), unidades de conservação, projetos de assentamento do INCRA, entre outros, foram usados para analisar e avaliar qualitativamente os resultados obtidos.

3.4.7 Definição de trajetórias de ocupação

A partir dos resultados obtidos na classificação as trajetórias de mudanças dos padrões ocorridas no período de 1997 a 2006 foram analisadas, obtendo-se, assim, a dinâmica de ocupação nas regiões estudadas.

Neste trabalho, as trajetórias de mudança definidas foram as de consolidação e expansão. As trajetórias de consolidação se caracterizam pela mudança, no período de tempo analisado, de um estágio de ocupação inicial (geométrico regular) ou intermediário (multidirecional desordenado ou espinha de peixe) para um estágio intermediário (multidirecional desordenado ou espinha de peixe) ou avançado (consolidado). Nessas trajetórias há intensificação do

desmatamento em áreas que já apresentavam em 1997 algum tipo de ocupação.

O processo de expansão representa as novas frentes de desmatamento e correspondeu às células que apresentaram áreas de floresta intacta em 1997 ou padrão difuso ou linear em 1997 e, em algum momento, apresentou outro de padrão de ocupação. A Figura 3.9 apresenta exemplos de trajetórias de consolidação e de expansão. Células que não apresentaram mudanças foram mapeadas como floresta ou não-mudança.

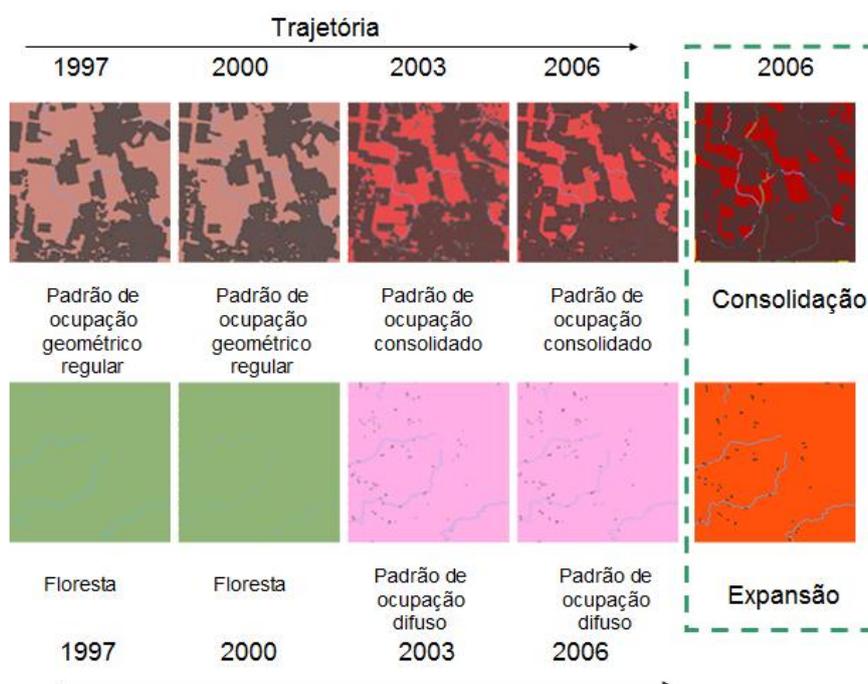


Figura 3.9 - Exemplo de trajetória de ocupação.

Dados vetoriais de terras indígenas, delimitados pela FUNAI foram usados na avaliação dos resultados. No entanto, muitas áreas estavam ou ainda estão em processo de regularização, mas foi considerado o fato de terem sido declaradas como terras indígenas. Foram utilizados também os limites das unidades de conservação, entretanto, essas unidades foram criadas em

diferentes momentos, algumas FLONAs dessa região foram criadas entre as décadas de 1960 e 1990, as RESEXs Riozinho do Anfrísio e Verde para Sempre foram criadas em 2004 e a RESEX Arapiuns-Tapajós em 1998 e o Distrito Florestal sustentável da BR-163 foi criado em 2006.

Nas próximas seções serão apresentados os resultados desta dissertação.

4 DEFINIÇÃO DO TAMANHO DE CÉLULA PARA ANÁLISE DA PAISAGEM NA AMAZÔNIA LEGAL

De acordo com a metodologia descrita na seção 3.4.2, os valores das medianas para cada métrica da paisagem e para cada tamanho de célula, considerando o conjunto amostral, foram calculados e são apresentados nas Tabelas B.1, B.2 e B.3 do Apêndice B.

A partir das métricas, os diagramas de *box plots* para cada tamanho de célula e padrão de desmatamento, foram construídos. A métrica MPS (Figura 4.1) estima o tamanho médio dos polígonos de desmatamento. Os maiores valores de MPS foram obtidos com o padrão de desmatamento consolidado. Para esse padrão o valor de MPS diminuiu conforme aumentou o tamanho da célula, pois foram agregados polígonos pequenos resultando no decréscimo do tamanho médio dos polígonos.

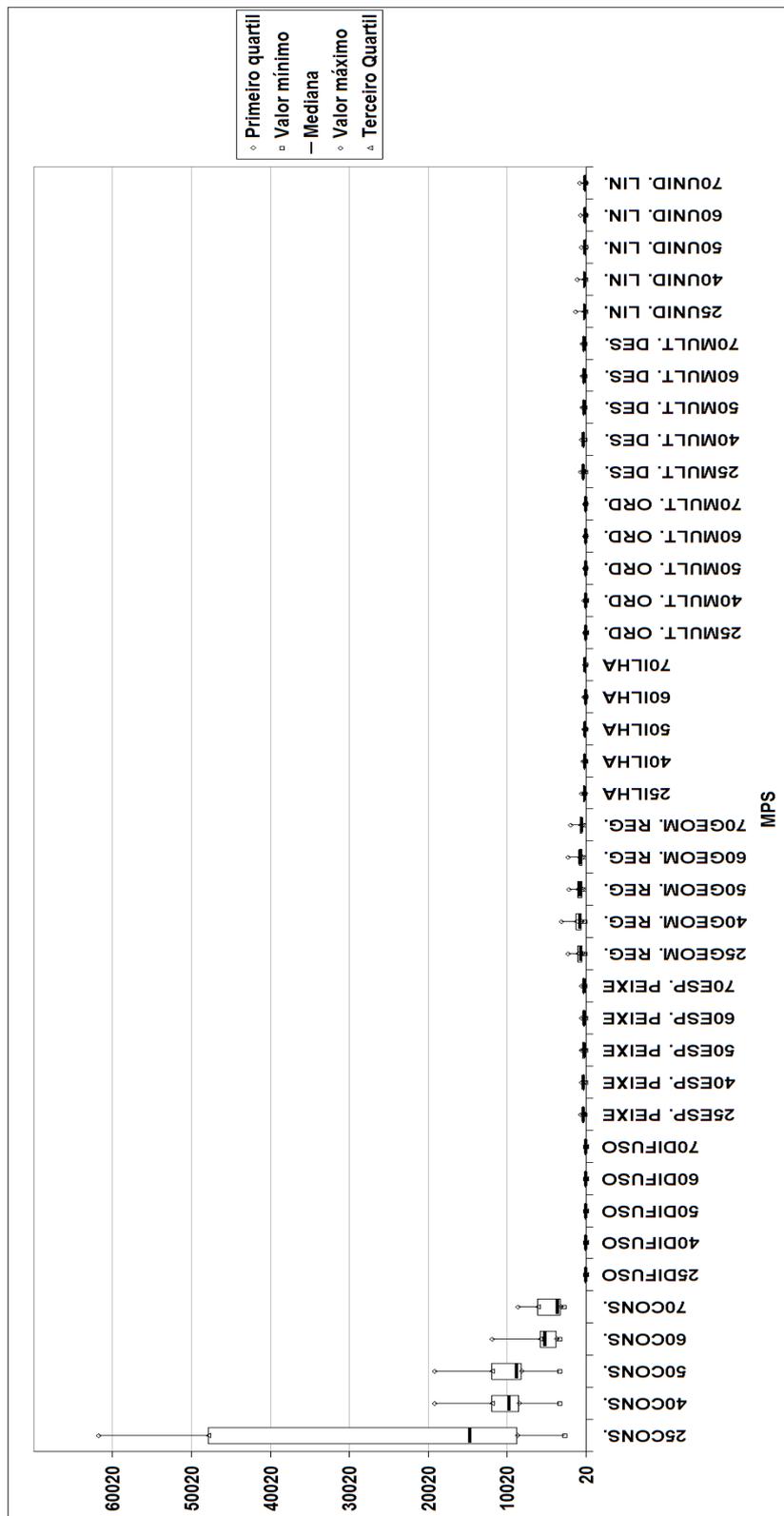


Figura 4.1 - Métrica MPS para todos os padrões de desmatamento destacando o padrão consolidado.

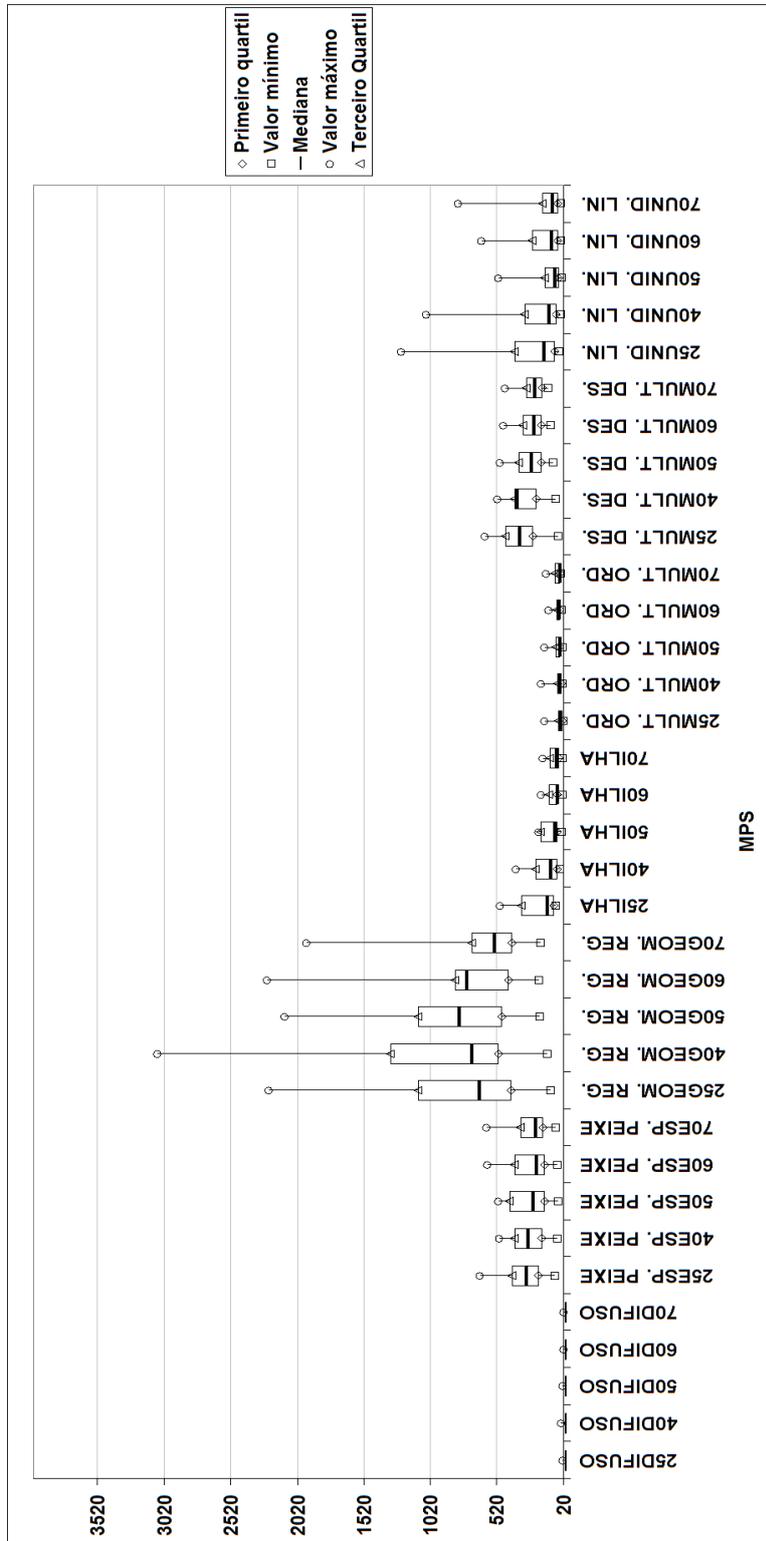


Figura 4.2 - Métrica MPS para todos os padrões de desmatamento.

O menor valor de mediana de MPS foi identificado no padrão difuso (Figura 4.2). Verificou-se que o MPS apresentou valores de mediana distintos para cada padrão de desmatamento. No padrão geométrico regular aumentou até o tamanho de 40 km e depois decresceu. A partir desse valor, polígonos menores de desmatamento foram incluídos, reduzindo o tamanho médio. No padrão multidirecional ordenado o valor da mediana do MPS decresce até o tamanho de 50 km, estabilizando-se a partir deste tamanho. Os padrões difuso e multidirecional ordenado apresentaram pouca variação em relação à mudança do tamanho de célula.

Segundo Fitzsimmons (2003), a métrica MPS é afetada pela presença de pequenas manchas que são agregadas quando o tamanho da célula aumenta, o que também foi observado nesta análise. No padrão multidirecional ordenado o valor da mediana do MPS decresce até o tamanho de 50 km, estabilizando-se a partir deste tamanho. Os padrões difuso e multidirecional ordenado apresentaram pouca variação em relação à mudança do tamanho de célula.

A métrica ED (Densidade de Borda) apresentada na Figura 4.3, mostra valores de mediana distintos para a maioria dos padrões de desmatamento, e similares padrões ilha, espinha de peixe e multidirecional desordenado.

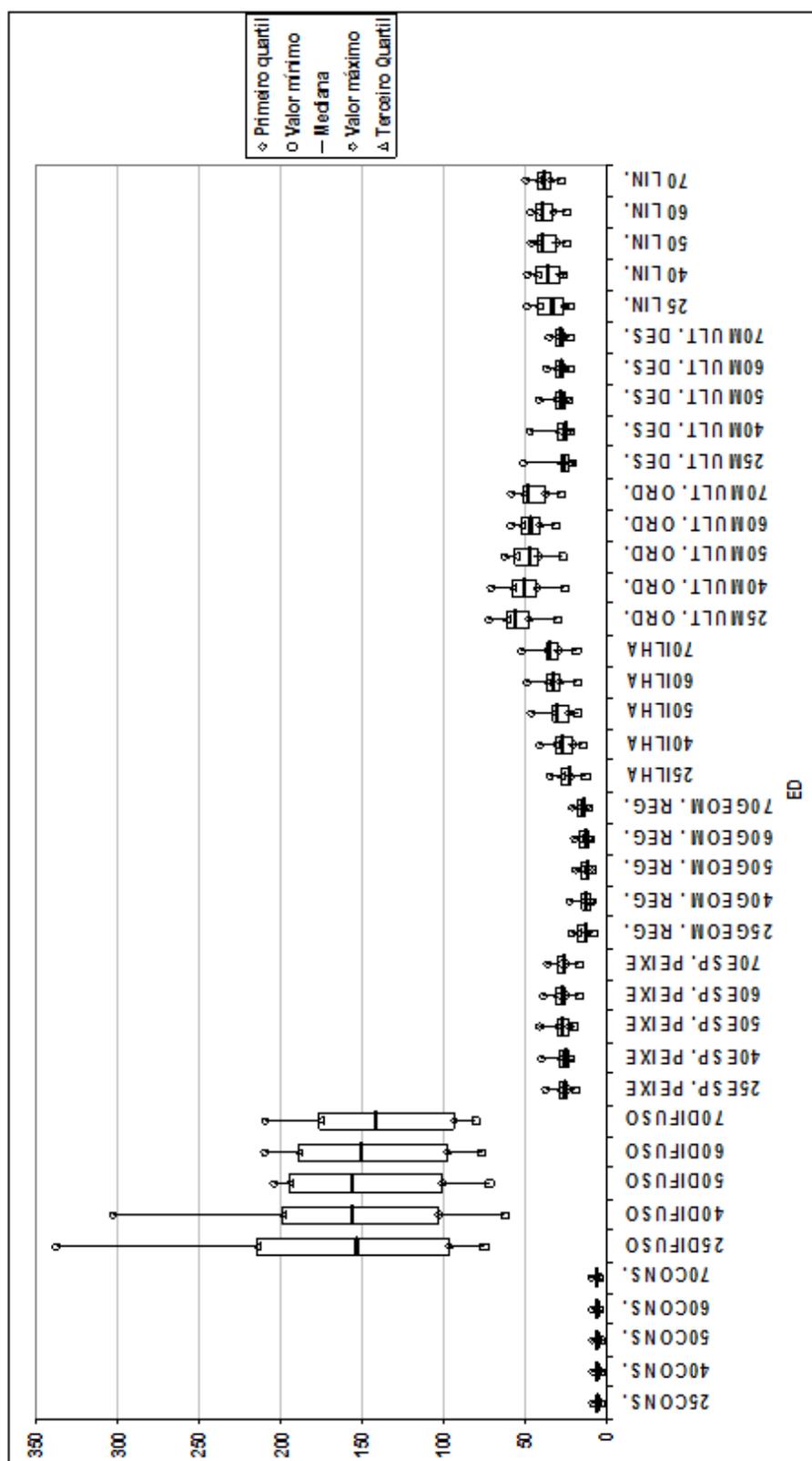


Figura 4.3 - Métrica ED para todos os padrões de desmatamento.

O padrão que apresentou maior densidade de borda foi o padrão difuso. Embora as manchas de desmatamento sejam pequenas, se considerarmos dois polígonos quadrados com lados medindo 1 km e 10 km, o valor de ED será igual a 40 m/ha para o primeiro e 4 m/ha para o segundo. Desse modo, polígonos grandes possuem valores menores de ED do que polígonos pequenos. Isto pode ser observado no padrão consolidado que apresentou a menor densidade de borda por conter poucas e grandes manchas. Por outro lado, a variação da mediana foi pequena em relação ao tamanho das células no caso do consolidado. Observou-se que, de forma geral, os valores de ED foram distintos para cada padrão de desmatamento, sendo um indicativo de que essa métrica é útil para diferenciar os padrões.

Estes resultados são consistentes com os de Huang et al. (2006), que verificaram que a métrica ED, que mede densidade de borda, é sensível para a diferenciação dos padrões.

A mediana da métrica MPFD (Figura 4.4), que mede complexidade de forma, apresentou menor valor para o padrão geométrico regular, sendo distinto dos demais padrões de desmatamento apresentando valores entre 1,22 e 1,24. Nos padrões difuso, espinha de peixe e ilha o valor dessa métrica praticamente não alterou com o tamanho da célula, provavelmente porque as amostras de cada padrão analisadas apresentaram homogeneidade quanto a complexidade de forma mesmo variando o tamanho da célula.

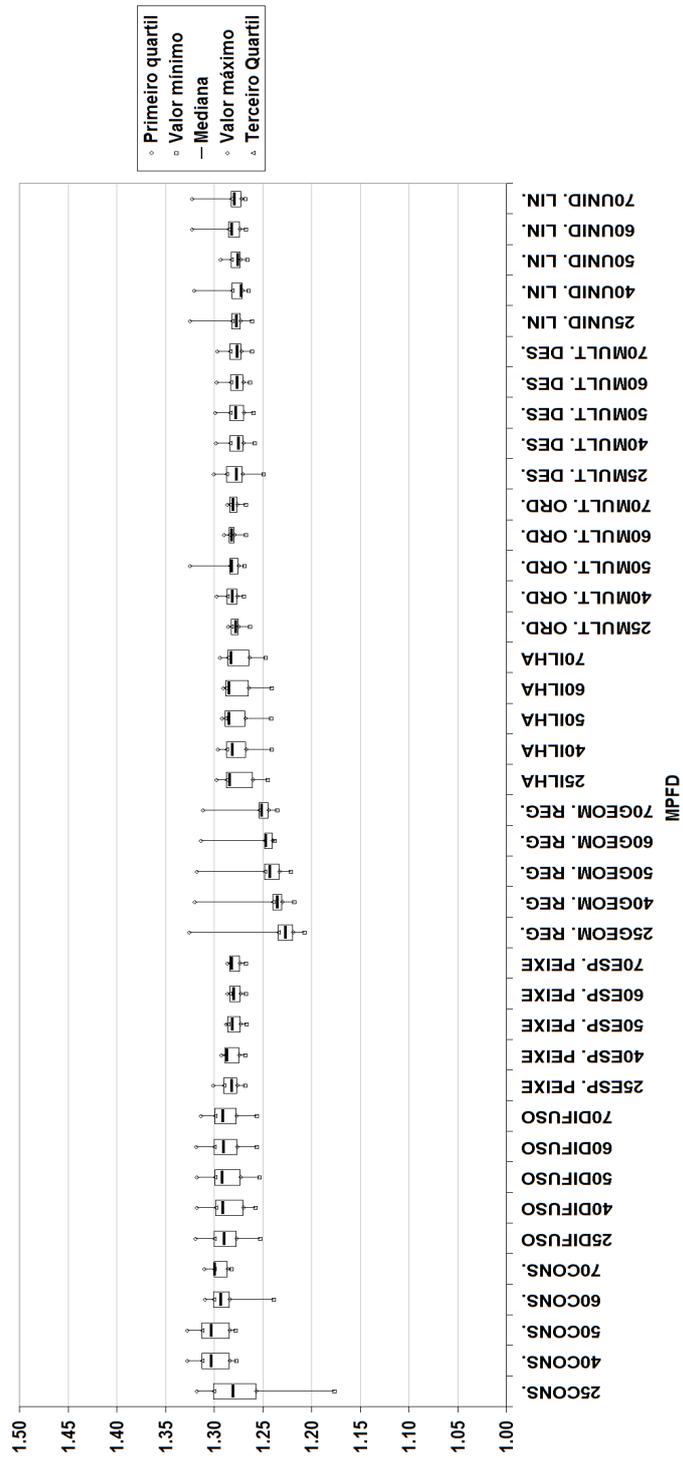


Figura 4.4 - Métrica MPFD.

O padrão geométrico regular apresentou os menores valores de MPFD, seguido do padrão difuso. Isso pode ser explicado devido ao fato de suas manchas terem formas mais regulares próximas a retângulos ou círculos, podendo ser distinguido dos outros padrões. Os maiores valores obtidos foram dos padrões multidirecional desordenado, espinha de peixe, por apresentarem polígonos com forma mais complexas e irregulares em comparação com os padrões consolidado, difuso, geométrico e linear que possuem polígonos com formas mais simples.

O AWMPFD (Figura 4.5) é uma métrica de forma que indica a complexidade dos polígonos. Valores baixos de AWMPFD indicam forma regular e pouco complexa, mantendo-se próximo de 1. O valor desta métrica aumenta quando as formas tornam-se mais complexas, como nos padrões multidirecional desordenado e espinha de peixe. Com relação ao tamanho da célula esta métrica mostrou ser independente, haja vista que não houve muita variação de AWMPFD dêem relação ao tamanho da célula, em todos os padrões. No entanto, a métrica AWMPFD pode ser uma métrica interessante para distinguir os padrões geométrico regular e difuso dos demais padrões.

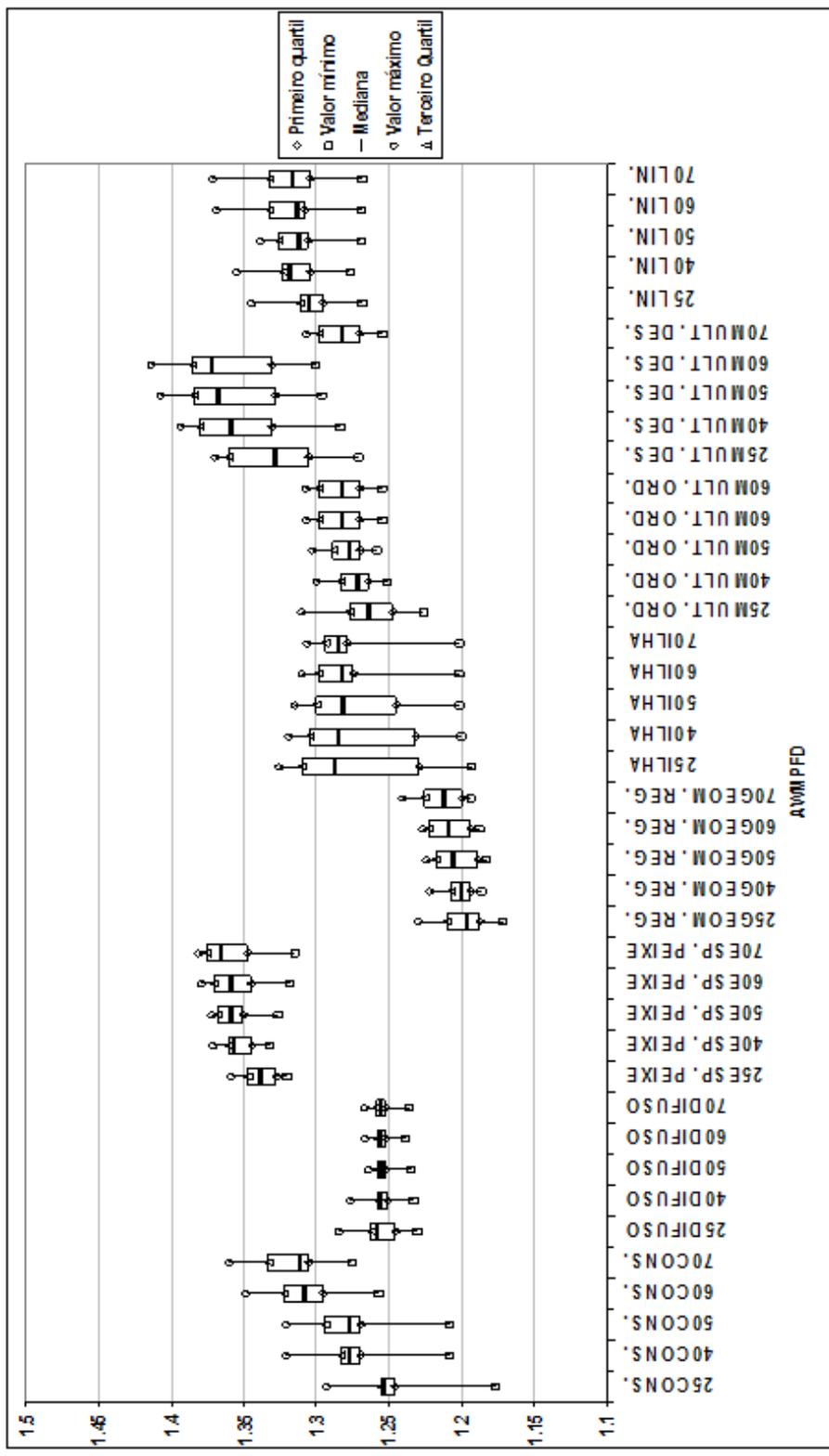


Figura 4.5 - Métrica AWMPFD para todos os padrões de desmatamento.

A mediana da métrica MPAR (Figura 4.6), que mede a complexidade da forma dos polígonos e apresenta valores menores para formas mais regulares, foi maior para o padrão consolidado. O menor valor apresentado foi para o padrão geométrico regular que apresenta polígonos com forma mais regular do que os demais padrões. O padrão difuso apresentou valores altos também, pois, embora apresente polígonos com forma regular, sua pequena área faz com que a relação perímetro/área resulte em valores altos. O padrão que se destaca dos demais é o geométrico, cujo valor aumenta, conforme o tamanho da célula aumenta, tornando-se mais heterogêneo.

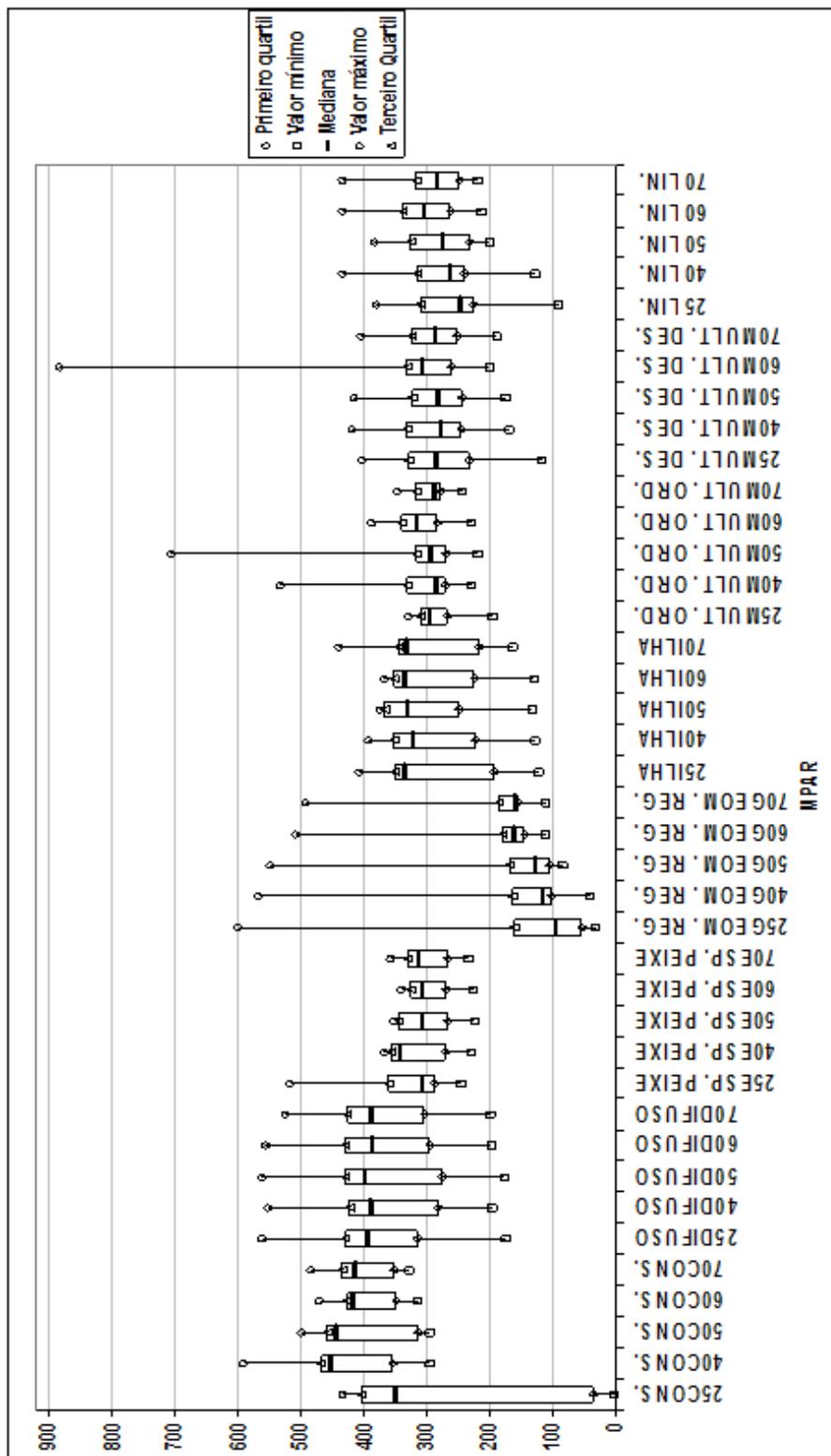


Figura 4.6 - Métrica MPAR para todos os padrões de desmatamento.

Na mediana da métrica MSI (Figura 4.7), que também mede a complexidade da forma o padrão consolidado foi maior em todos os tamanhos de célula, em razão da complexidade dos polígonos de desmatamento. Os menores valores de MSI foram encontrados para os padrões difuso e geométrico regular, sendo que não houve variação em relação ao tamanho da célula. As manchas nestes padrões tem forma menos complexas e mais simples próximas a círculos ou retângulos como mostra as Figuras 3.6b (I, II, III, IV, V) e Figuras 3.6d (I, II, III, IV, V)). Quando o tamanho da célula aumenta surgem manchas com forma mais variadas justificando o aumento do valor de MSI.

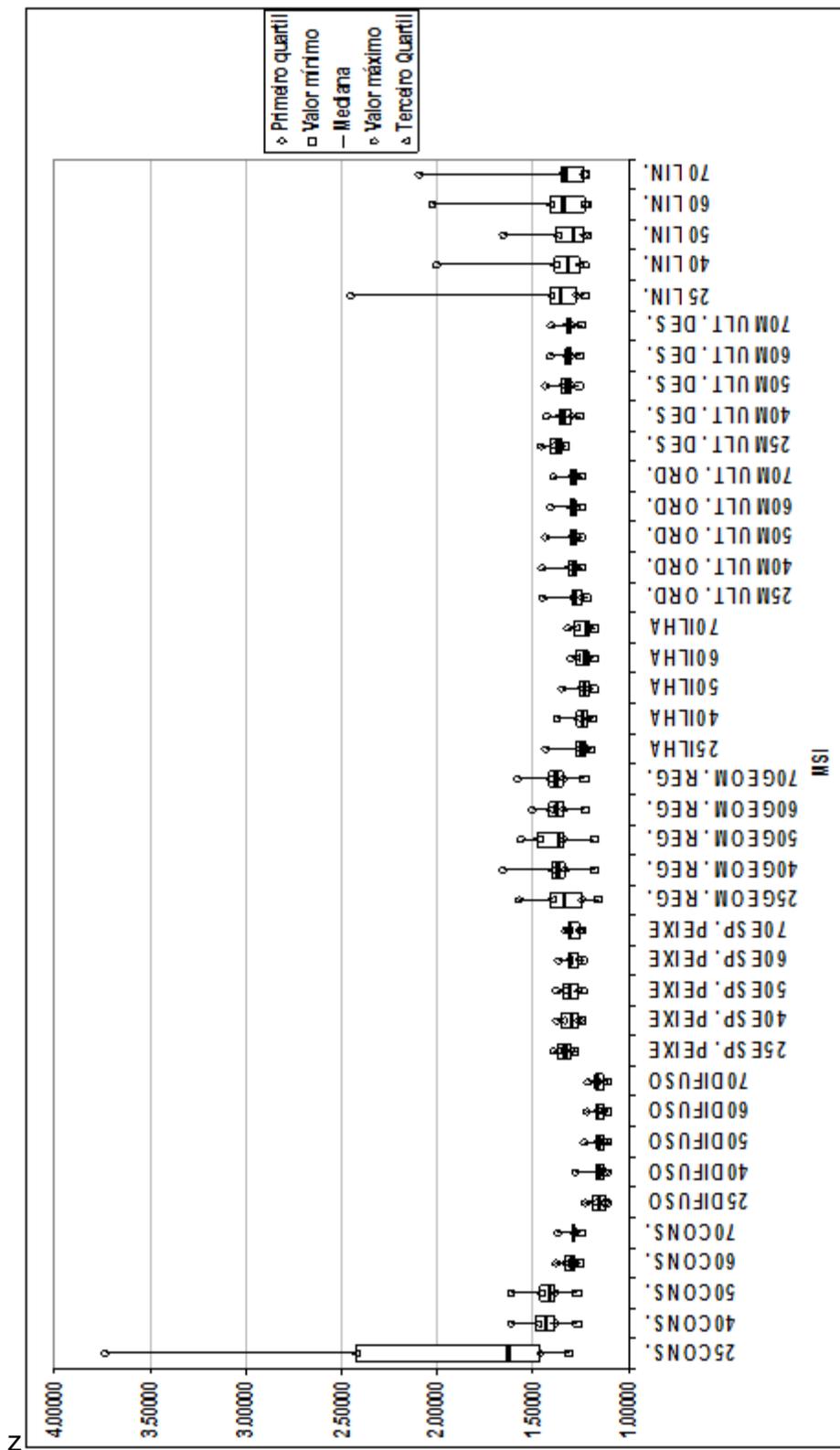


Figura 4.7 - Métrica MSI para todos os padrões de desmatamento.

A mediana da métrica AWMSI (Figura 4.8) aumentou com o aumento do tamanho da célula em todos os padrões de desmatamento. A métrica AWMSI está associada à irregularidade das manchas. Para o padrão consolidado o seu valor aumentou, pois com a ampliação da célula o número de manchas irregulares aumentou.

Os menores valores de AWMSI são encontrados para os padrões difuso e geométrico regular, pois apresenta manchas com formas próximas de retângulos e/ou círculos. Conforme aumenta a complexidade da forma das manchas aumenta-se o valor de AWMSI, como pode ser observado nos padrões multidirecional desordenado, espinha de peixe, consolidado, multidirecional ordenado e linear. Com relação ao tamanho das células, a tendência geral encontrada foi de aumento nos valores de AWMSI quando as células aumentaram de tamanho, indicando que células de menores dimensões são mais homogêneas e, portanto, mais adequadas para discriminar diferentes padrões.

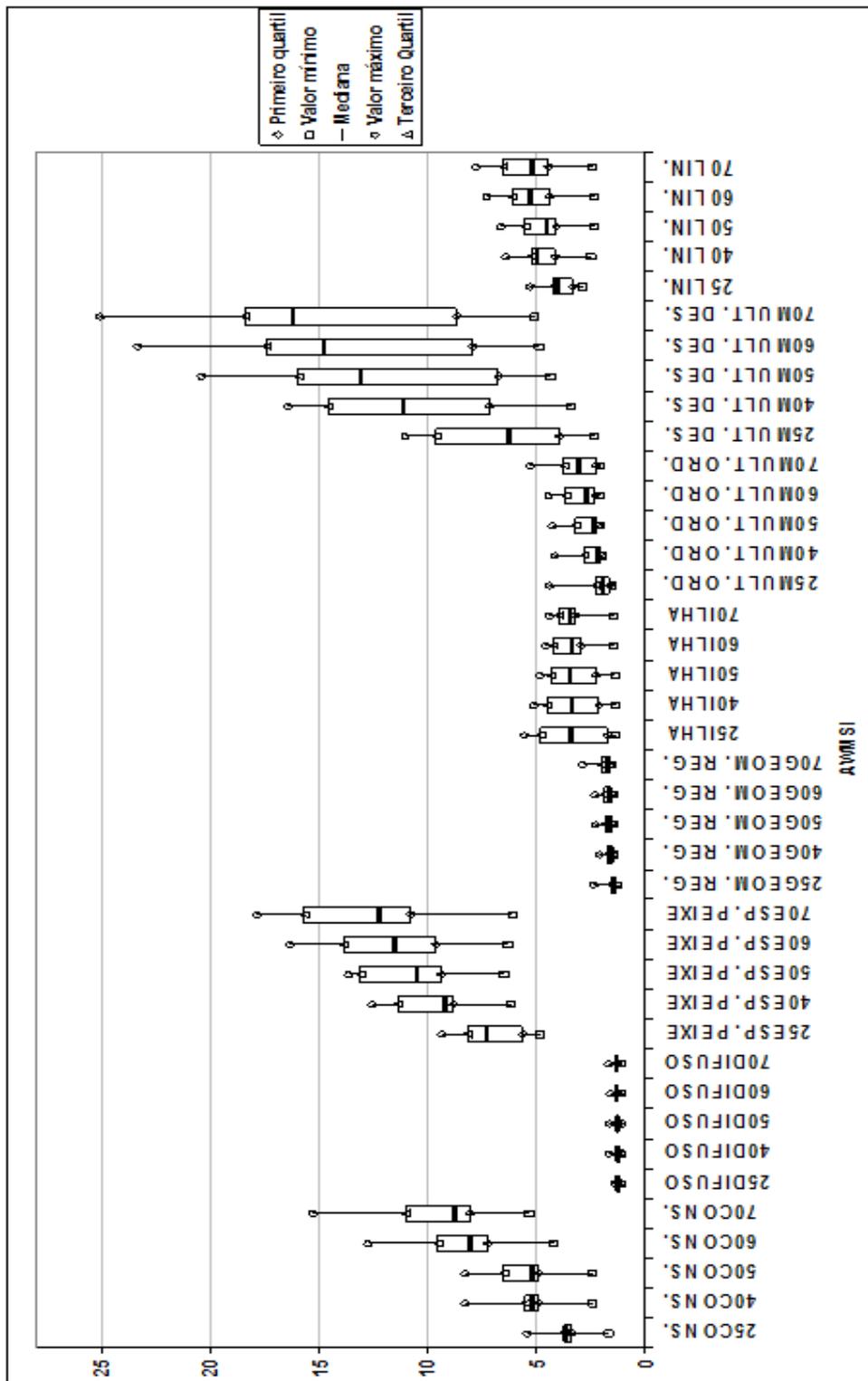


Figura 4.8 - Métrica AWMSI para todos os padrões de desmatamento.

O PSSD é uma medida de desvio padrão da área das manchas. É igual a zero quando todas as manchas são do mesmo tamanho ou quando há uma única mancha na paisagem.

O maior valor do PSSD foi observado no padrão consolidado (Figura 4.9), que apresenta uma variabilidade alta no tamanho das manchas de desmatamento. Para os padrões consolidado, multidirecional desordenado e espinha de peixe o valor dessa métrica aumentou conforme aumentou o tamanho da célula, indicando um aumento na heterogeneidade na área dos polígonos.

O menor valor de PSSD foi encontrado no padrão difuso, que apresenta pouca variação no tamanho das manchas, apresentando maior uniformidade não só em relação ao tamanho, mas também a forma.

Observou-se que para alguns padrões como o difuso, consolidado e espinha de peixe os intervalos de valores de PSSD são distintos indicando que essa PSSD pode ser importante para distinguir os padrões de desmatamento.

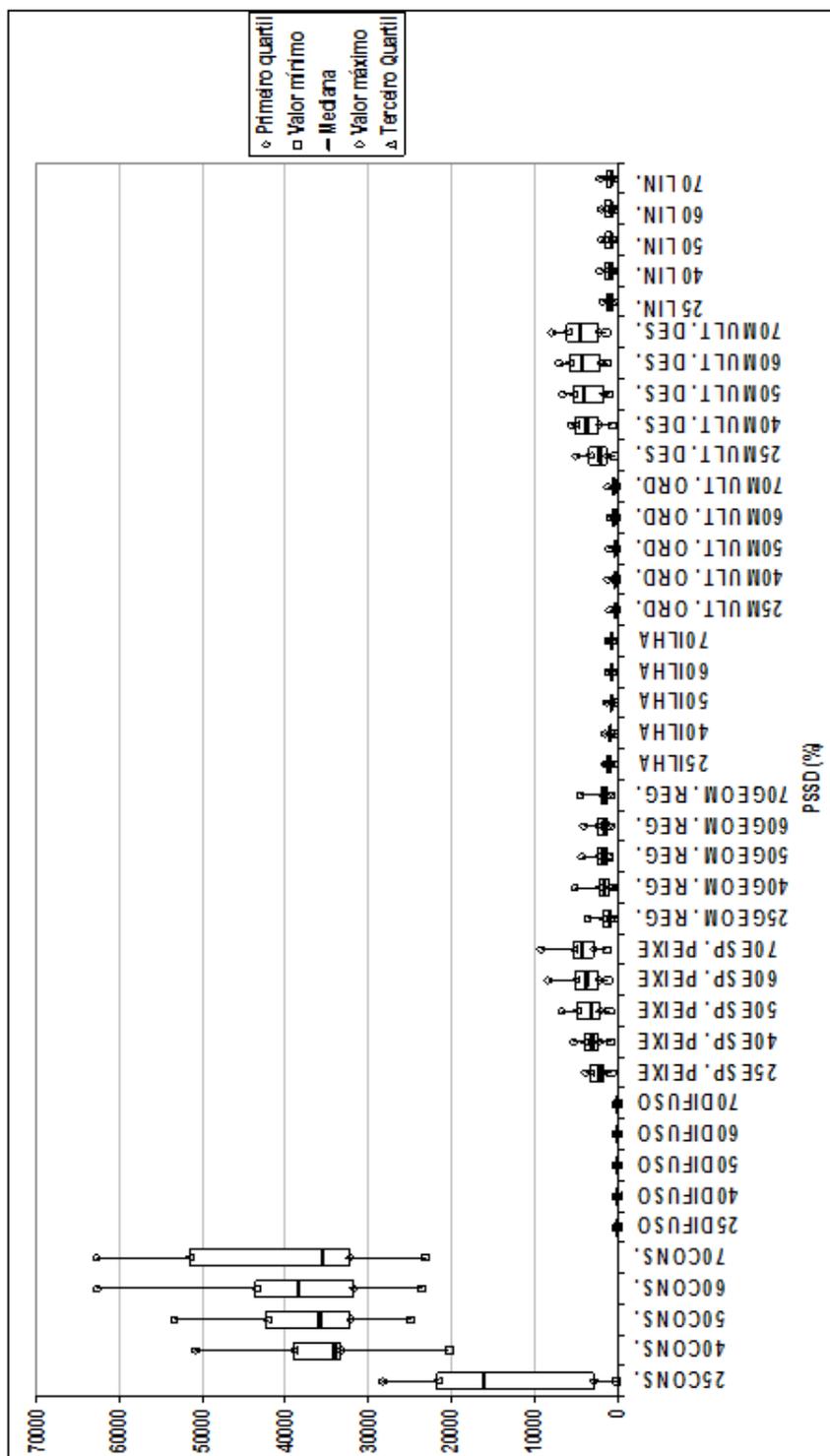


Figura 4.9 - Métrica PSSD para todos os padrões de desmatamento.

A métrica PSCOV (Figura 4.10) mede a variabilidade do tamanho em relação ao tamanho médio. Ao aumentar-se o tamanho da célula verificou-se que houve uma maior variação na área das manchas de desmatamento, portanto, uma maior heterogeneidade dos polígonos. Dessa forma, o menor valor de mediana da métrica PSCOV encontrado foi no padrão de desmatamento difuso, onde a paisagem é mais homogênea. Os maiores valores de mediana foram para os padrões multidirecional desordenado e espinha de peixe, por apresentarem maior variação da forma dos polígonos e, portanto, uma paisagem mais heterogênea. Nos padrões de desmatamento ilha e multidirecional ordenado não há muita variação nos tamanhos das células.

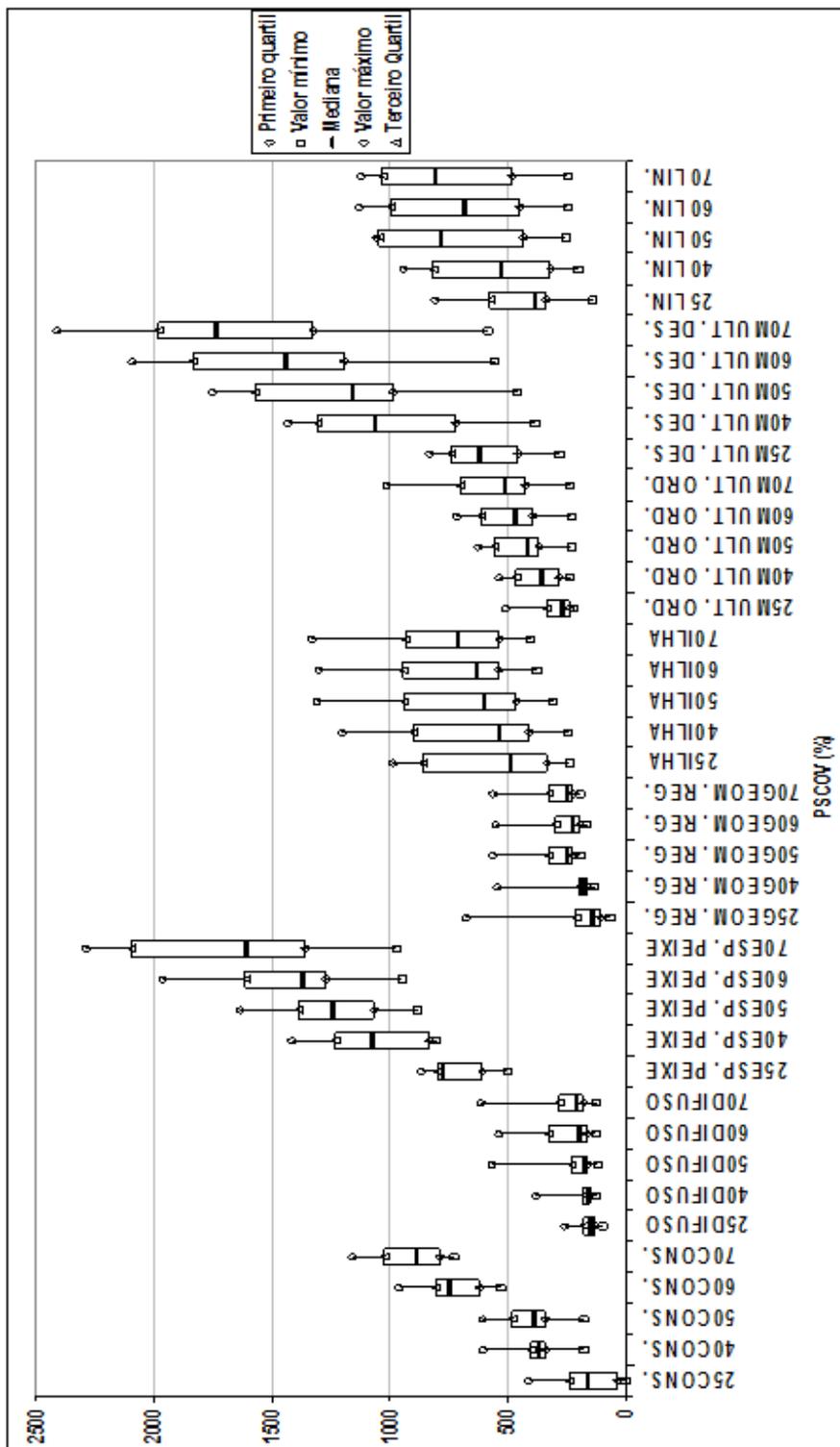


Figura 4.10 - Métrica PSCOV para todos os padrões de desmatamento.

As métricas utilizadas não se comportaram da mesma forma para todos os padrões de desmatamento. No entanto, na maioria dos padrões de desmatamento, as métricas AWMSI, MSI, MPAR, MPFD, AWMPFD, ED, MPS, e PSSD variaram pouco. Wu et al. (2000) observaram que algumas métricas, como por exemplo a ED e a MPS, exibem padrões similares nos vários tamanhos de célula. Pode-se dizer que quando os valores das métricas têm pouca variação em relação ao aumento ou redução do tamanho da janela, estas são robustas, ou seja, a caracterização dos padrões usando estas métricas independe da escala de estudo.

As métricas da paisagem ED, MPS e PSSD apresentaram valores de mediana distintos. Esta diferença nos valores é indicativa de que estas métricas sejam importantes para discriminar os padrões analisados. Outras métricas tais como AWMSI, MSI, MPFD e AWMPFD demonstraram ser também relevantes para identificar os diferentes tipos de padrões. Por exemplo, estas últimas métricas permitem distinguir os padrões difuso e geométrico regular de padrões que possuem complexidade espacial maior, como, por exemplo, a espinha de peixe e o multidirecional desordenado.

Como a formulação matemática dos pares de métricas MSI e MPFD e AWMSI e AWMPFD são similares, elas apresentaram o mesmo comportamento em relação aos valores de mediana. O mesmo foi concluído por WU (2004).

Para completar essa análise, a validação cruzada pelo método de Monte Carlo foi realizada usando as amostras aleatórias e o algoritmo C4.5. Esse algoritmo gerou árvores de decisão para classificar os diferentes padrões de desmatamento. Observou-se que as métricas mais selecionadas foram: MPS, AWMSI, AWMPFD, ED, PSCOV e PSSD.

A partir dos valores da distribuição dos valores do coeficiente Kappa, gerados pelo método de validação cruzada de Monte Carlo, o intervalo de credibilidade

foi definido; 2,5% dos valores altos e 2,5% dos valores baixos foram desprezados e o *box plot* foi construído (Figura 4.11).

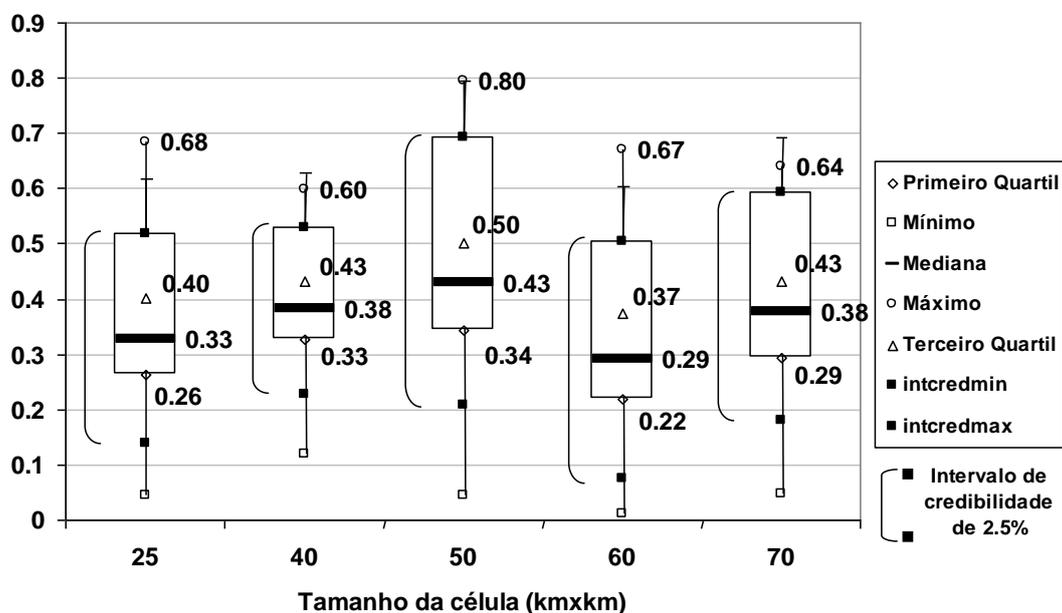


Figura 4.11 - Coeficientes Kappa gerados pelo método de validação cruzada de Monte Carlo.

O maior intervalo de credibilidade pode ser observado na célula de 50 km, com valores de Kappa entre 0,21 e 0,69, apresentando também o maior valor de mediana 0,43. A partir dos maiores valores de credibilidade e da mediana para o tamanho de célula de 50 km x 50 km, este foi selecionado para ser utilizado nas classificações da área de estudo I.

5 RESULTADOS - ÁREA DE ESTUDO I

5.1 Tipologia de ocupação

A tipologia de ocupação definida para a área de estudo I é um subconjunto da tipologia da tabela 3.2 e inclui os seguintes padrões: consolidado, difuso, espinha de peixe, geométrico regular, multidirecional desordenado e linear. A descrição dos padrões e de sua semântica podem ser encontrada no Apêndice C.

Com base na tabela de tipologia foram selecionadas as amostras dos padrões de desmatamento para a obtenção da árvore de decisão, utilizada posteriormente para a classificação das células. A sessão seguinte apresenta a árvore de decisão obtida e os atributos selecionados e utilizados na classificação.

5.2 Árvore de decisão

A Figura 5.1 apresenta a árvore de decisão gerada pelo algoritmo C4.5 para a classificação dos padrões de desmatamento em todos os anos analisados para a área de estudo I. O algoritmo selecionou as seguintes métricas da paisagem: %LAND, PSSD, PSCOV, MPS, MSI, AWMSI, LSI, AWMPFD e MPAR. Observou-se que para discriminar os padrões que apresentaram estrutura e configuração espacial mais complexa como espinha de peixe e multidirecional desordenado, foi necessário usar várias métricas da paisagem. O mesmo ocorreu com os padrões linear e geométrico regular que apresentaram uma maior heterogeneidade dos polígonos de desmatamento nas células. Os padrões com estrutura e arranjo espacial mais simples como o difuso, consolidado e floresta foram discriminados com apenas dois atributos, um de área e outro de forma.

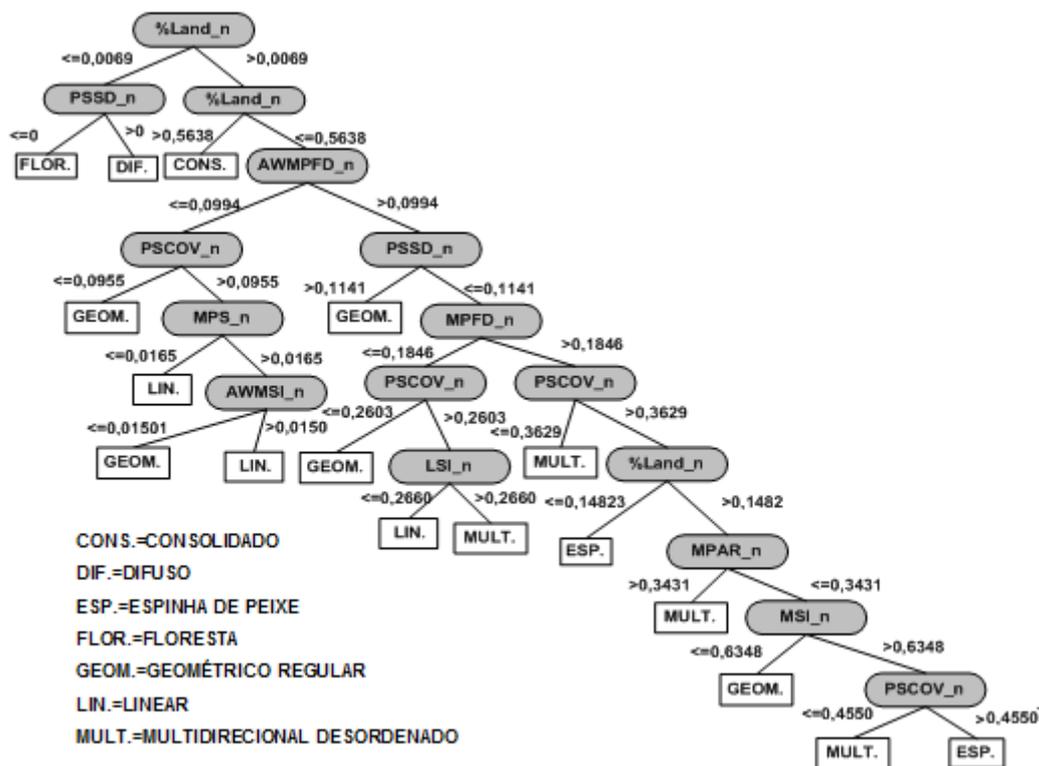


Figura 5.1 - Árvore de decisão da área de estudo I.

As métricas AWMSI, MSI, MPFD, AWMPFD, PSSD foram selecionadas apresentando melhor capacidade de discriminar os padrões de desmatamento. Esse resultado é consistente com os resultados obtidos nos testes de tamanho de célula.

5.3 Mapas de padrão de ocupação

Um mapa de padrão de ocupação para cada período de desmatamento foi elaborado contendo as sete classes definidas na tipologia. Para avaliação da classificação foram sorteadas aleatoriamente 90 células distribuídas na região de estudo, considerando o mesmo conjunto de amostras em todos os anos analisados. Essas células foram classificadas visualmente por um fotointérprete que considerou na atribuição de classes, o padrão predominante da célula analisada. Esta classificação foi utilizada como referência na avaliação dos

mapas de padrões. A Tabela 5.1 apresenta os valores de Kappa de acordo com Hudson e Ramm (1987) e Congalton e Green (1999).

Tabela 5.1 – Avaliação dos mapas de ocupação- área de estudo I.

Mapa de Ocupação	$\hat{\kappa}$
1997	0,76
2000	0,67
2003	0,57
2006	0,48

Os mapas de ocupação apresentaram valores do coeficiente Kappa entre 0,48 e 0,76, sendo o maior valor obtido na classificação de 1997. As células analisadas são heterogêneas, pois, diferentemente das células escolhidas no teste de sensibilidade, as células da área de estudo foram delimitadas sistematicamente, de forma que uma célula poderia conter polígonos de mais de um padrão.

As Tabelas 5.2, 5.3, 5.4 e 5.5 apresentam as matrizes de confusão. Observou-se que a maior confusão ocorreu principalmente entre os padrões espinha de peixe e multidirecional desordenado, principalmente no ano de 2006, pois são padrões que possuem estrutura espacial mais complexa que os outros padrões, dificultando a identificação de tais padrões, havendo a necessidade de alguma métrica que permita calcular o arranjo espacial de padrões com estrutura complexa.

Tabela 5.2 – Matriz de confusão - 1997 – área de estudo I.

1997	REFERÊNCIA								N
	CONS.	DIF.	ESP.	GEOM.	MULT.	LIN.	FLOR.		
CONS.	3	0	0	0	0	0	0	0	3
DIF.	0	24	0	0	2	0	0	0	26
ESP.	0	0	5	2	1	0	0	0	8
GEOM.	0	0	0	13	1	0	0	0	14
MULT.	0	0	0	2	8	1	0	0	11
LIN.	0	5	0	3	0	15	0	0	23
FLOR.	0	0	0	0	0	0	5	0	5
N	3	29	5	20	12	16	5	0	90

Tabela 5.3 – Matriz de confusão - 2000 – área de estudo I.

2000	REFERÊNCIA								
CLASSIFICAÇÃO		CONS.	DIF.	ESP.	GEOM.	MULT.	LIN.	FLOR.	N
	CONS.	3	0	0	0	1	0	0	4
	DIF.	0	20	0	0	0	0	0	20
	ESP.	0	0	4	1	2	0	0	7
	GEOM.	0	2	1	14	1	1	0	19
	MULT.	0	0	1	3	7	2	0	13
	LIN.	0	7	0	2	0	13	0	22
	FLOR.	0	0	0	0	0	0	5	5
N	3	29	6	20	11	16	5	90	

Tabela 5.4 – Matriz de confusão - 2003 – área de estudo I.

2003	REFERÊNCIA								
CLASSIFICAÇÃO		CONS.	DIF.	ESP.	GEOM.	MULT.	LIN.	FLOR.	N
	CONS.	3	0	1	3	2	0	0	9
	DIF.	0	16	0	0	0	0	0	16
	ESP.	0	0	4	0	5	1	0	10
	GEOM.	0	1	0	12	2	0	0	15
	MULT.	0	0	0	3	9	0	0	12
	LIN.	0	10	0	4	0	11	0	25
	FLOR.	0	0	0	0	0	0	3	3
N	3	27	5	22	18	12	3	90	

Tabela 5.5 – Matriz de confusão - 2006 – área de estudo I.

2006	REFERÊNCIA								
CLASSIFICAÇÃO		CONS.	DIF.	ESP.	GEOM.	MULT.	LIN.	FLOR.	N
	CONS.	3	0	0	0	0	0	0	3
	DIF.	0	15	0	0	0	9	0	24
	ESP.	1	0	4	0	0	0	0	5
	GEOM.	1	0	1	11	6	3	0	22
	MULT.	3	0	8	3	6	3	0	23
	LIN.	0	0	1	0	0	10	0	11
	FLOR.	0	0	0	0	0	0	2	2
N	8	15	14	14	12	25	2	90	

Os padrões geométrico regular, linear e multidirecional desordenado apresentaram confusão em sua identificação, isto ocorre, pois em alguns casos em uma mesma célula pode apresentar uma grande heterogeneidade de polígonos, ou que apresentam-se em estágio de transição para outro padrão, que dificultam a identificação do padrão de ocupação ocorrendo confusão durante a classificação.

Foi realizada também uma avaliação das amostras obtendo-se o coeficiente de concordância Kappa de 0,64.

Os mapas de padrão de ocupação obtidos são apresentados nas figuras 5.2, 5.3, 5.4 e 5.5.

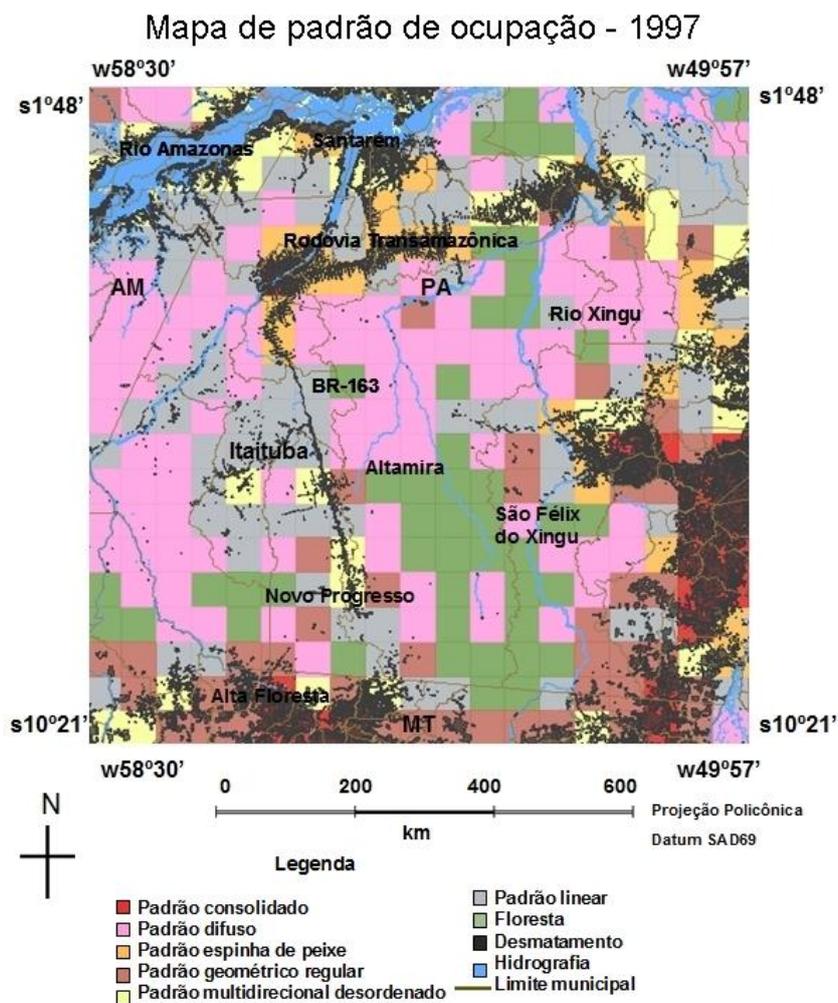


Figura 5.2 - Mapa de padrão de ocupação para o desmatamento até 1997 - área de estudo I.

Mapa de padrão de ocupação - 2000

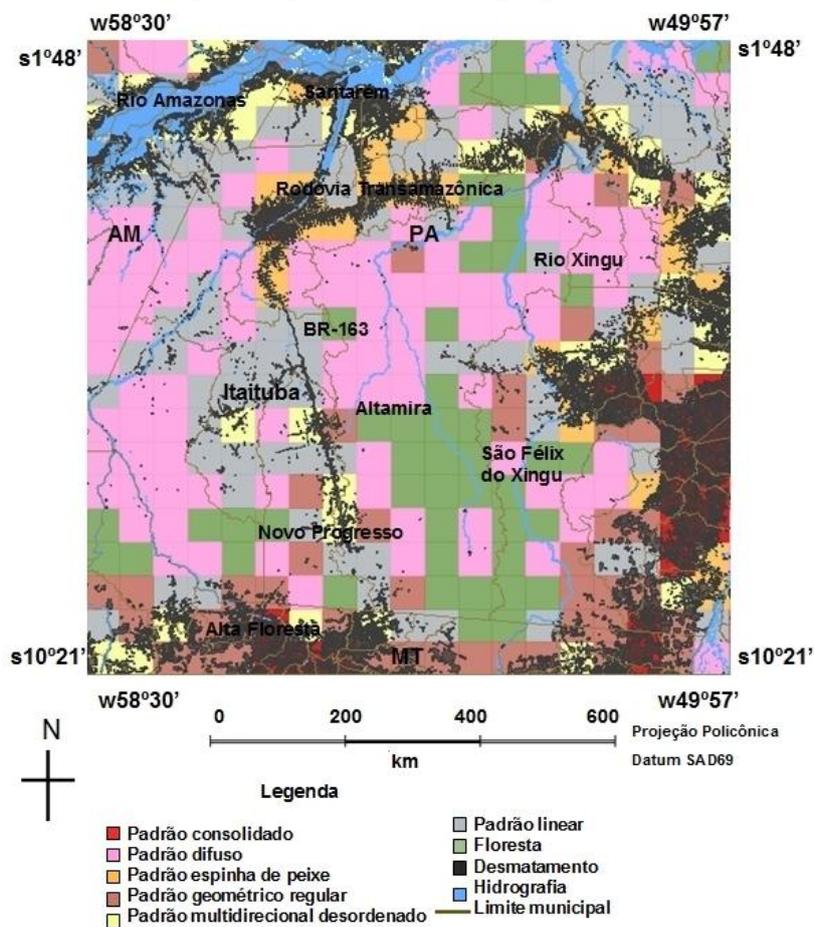


Figura 5.3 - Mapa de padrão de ocupação para o desmatamento até 2000 - área de estudo I.

Mapa de padrão de ocupação - 2003

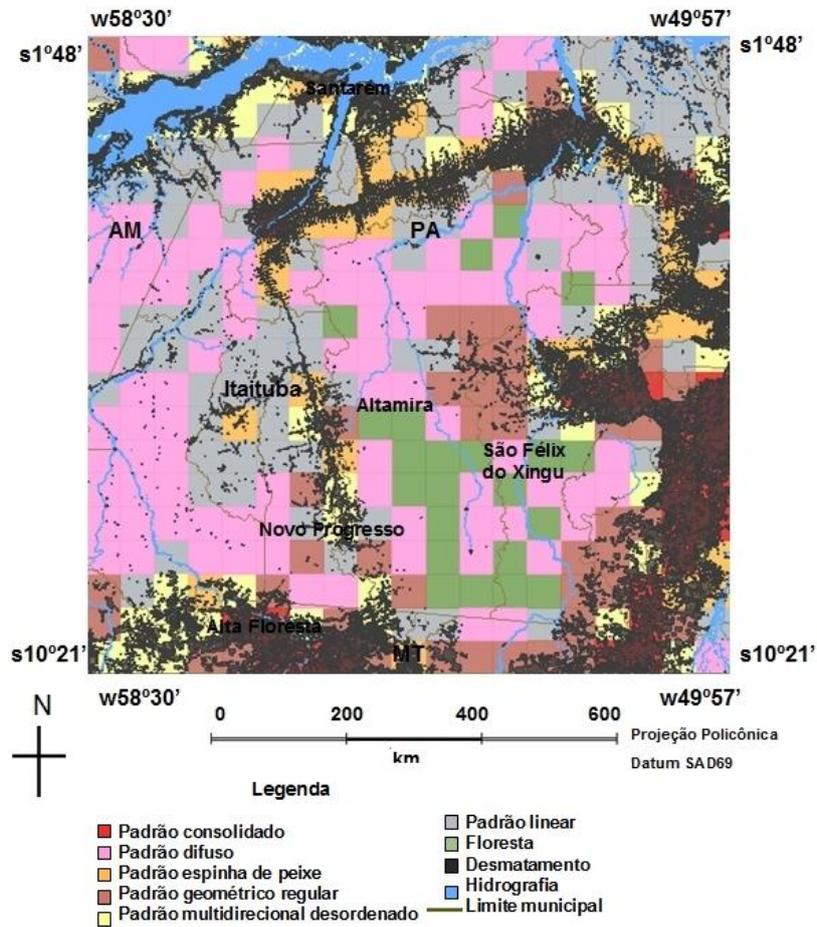


Figura 5.4- Mapa de padrão de ocupação para o desmatamento até 2003 - área de estudo I.

Mapa de padrão de ocupação - 2006

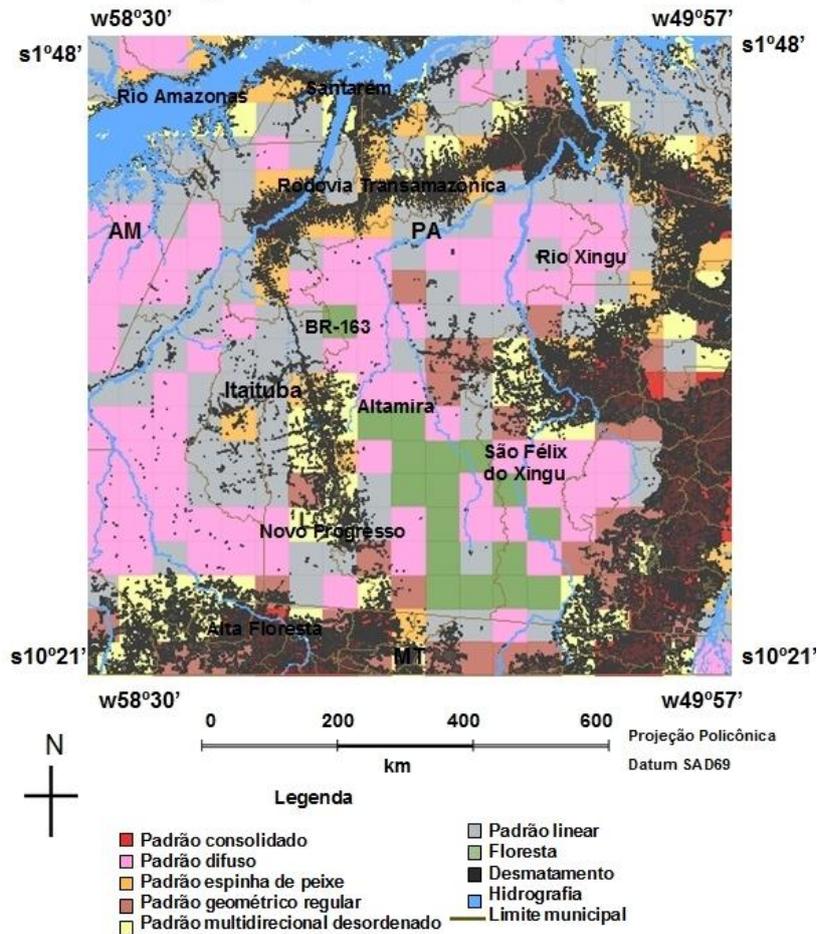


Figura 5.5 - Mapa de padrão de ocupação para o desmatamento até 2006 - área de estudo I.

A Figura 5.6 apresenta a freqüência de cada padrão de ocupação. O padrão difuso foi o mais freqüente variando entre 23% a 28% do total de 361 células no período de 1997 a 2006. Em 2006 a maior freqüência apresentada foi do padrão linear (29%). Os padrões difuso e linear estão associados aos estágios iniciais de ocupação ou as ocupações pouco densas e pouco dinâmicas como a das populações ribeirinhas. O aumento do padrão linear de 18% para 29% no período de análise indica a expansão da ocupação nas margens das estradas, principalmente.

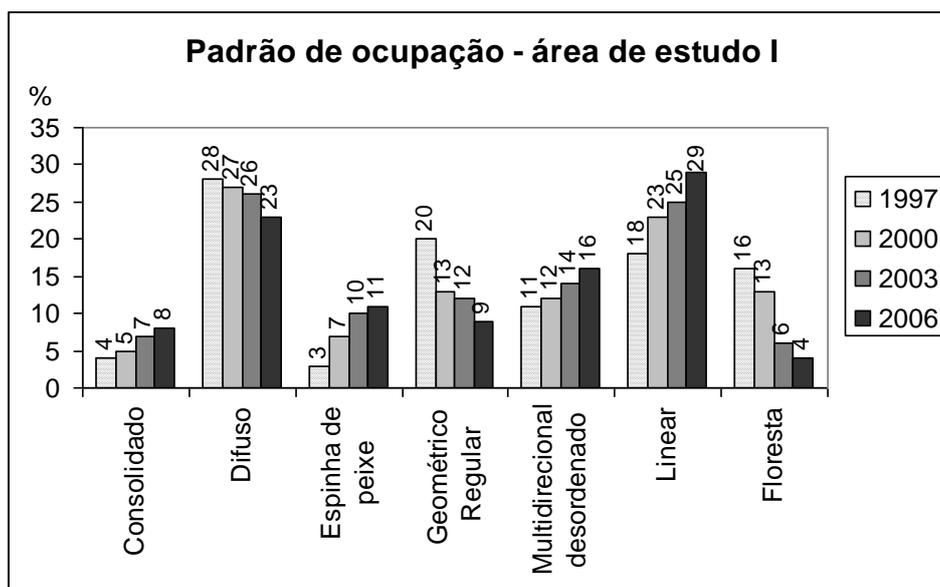


Figura 5.6 - Frequência dos padrões de ocupação - área de estudo I.

Os padrões de ocupação que tiveram sua área aumentada durante o período analisado foram o consolidado (de 4% para 8%), espinha de peixe (de 3% para 11%), multidirecional desordenado (de 11% para 16%) e linear (de 18% para 29%). Os padrões que tiveram redução em sua área corresponderam as células classificadas como padrão difuso (de 28% para 23%) e geométrico regular (de 20% para 9%), e além das áreas de florestas (de 16% para 4%). As células mapeadas com esses padrões podem ter evoluído para outros padrões mais consolidados, enquanto as células com floresta que apresentaram desmatamento no período de análise são áreas de ocupação nova, associadas as frentes de expansão de desmatamento nas regiões de fronteira agropecuária.

Ainda que os padrões difuso e linear tenham sido mais freqüentes em todos os anos analisados, não foram os que apresentaram maior dinâmica de desmatamento. Calculando-se o incremento de área desmatada (Tabela 5.6) para cada padrão observa-se que o consolidado foi o que apresentou maior percentual de desmatamento que variou entre 34% a 43% nos períodos

analisados. O padrão que apresentou menor percentual de desmatamento (0,02%) foi o padrão difuso, esse padrão é associado em parte às populações ribeirinhas presentes em áreas de difícil acesso ou ocupação em Terras Indígenas, reservas extrativistas e FLONAs.

Tabela 5.6 – Proporção de área desmatada para cada padrão de ocupação – área de estudo I.

Padrão de ocupação	1997-2000 (%)	2000-2003 (%)	2003-2006 (%)
Consolidado	19,46	43,78	34,97
Difuso	0,15	0,13	0,02
Espinha de peixe	30,78	28,29	10,09
Geométrico regular	19,22	0,19	10,61
Multidirecional desordenado	19,67	26,58	38,21
Linear	10,72	1,03	6,1

A análise dos mapas de padrões de ocupação foi realizada tomando como base o mapa de ocupação de 2006. Essa análise é apresentada e discutida nas seções seguintes.

5.3.1 Padrão consolidado

De um modo geral, o padrão de ocupação consolidado foi identificado na fronteira administrativa entre os estados do Pará e Mato Grosso, abrangendo principalmente os municípios de Paranaíta, Alta Floresta, Carlinda, Colíder, Nova Canaã do Norte, Novo Mundo, Nova Guarita, Peixoto de Azevedo (Figura 5.7A), Santana do Araguaia, e Vila Rica (Figura 5.7D) que são áreas de ocupação mais antiga, com uma alta proporção de áreas desmatadas. O padrão de ocupação consolidado ocorreu na região da Rodovia Transamazônica (Figura 5.7E), sendo uma região de assentamentos criados pelo INCRA.

Os municípios (ou parte deles) do Sudeste do Pará como São Félix do Xingu, Tucumã, Parauapebas, Canaã dos Carajás, Água Azul do Norte, Xinguara, Ourilândia do Norte, Rio Maria, Bannach, Pau d' Arco, Redenção, Cumaru do

Norte e Santa Maria das Barreiras foram classificados como consolidado (Figura 5.7C e 5.7D). Grande parte desses municípios teve sua história de ocupação iniciada nas décadas de 70 e 80, ligadas as atividades econômicas como mineração, pecuária, exploração madeireira, e a criação de infraestrutura como implantação de rodovias e a criação de projetos de colonização. Devido à intensa dinâmica nos processos de mudança de cobertura da terra, essas áreas apresentaram em 2006, uma proporção muito pequena de remanescentes florestais.

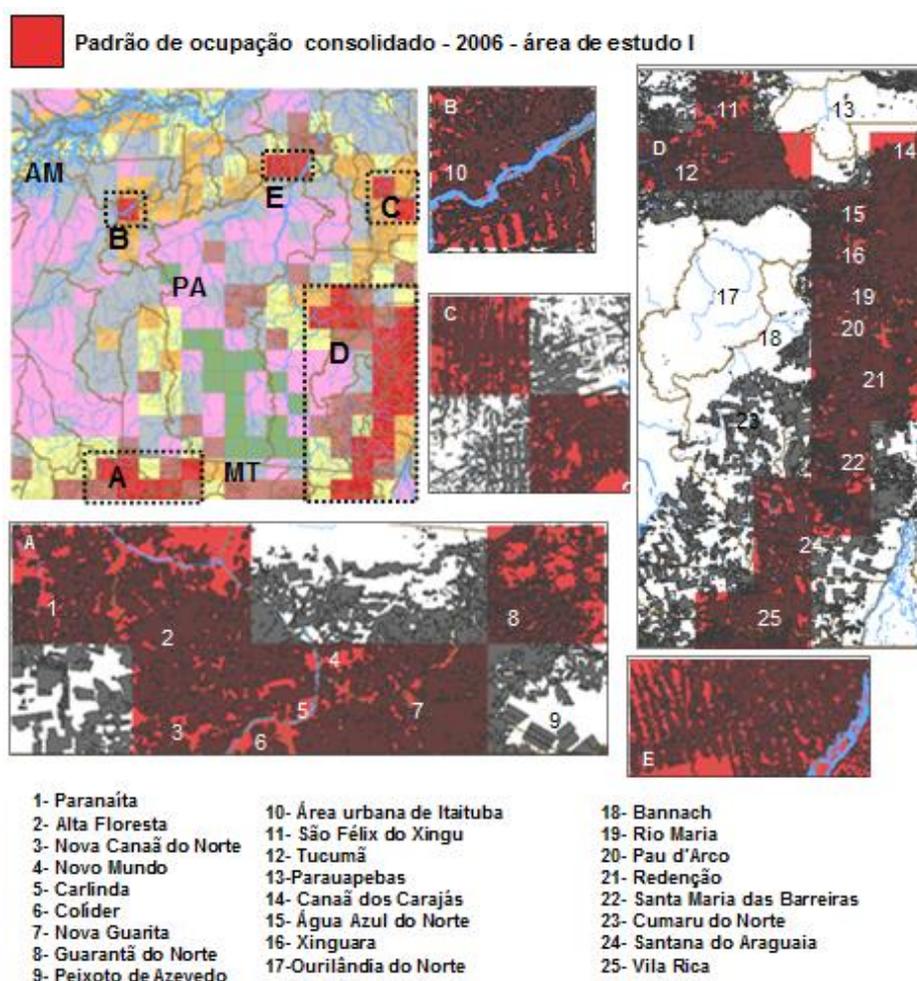


Figura 5.7 - Padrão de ocupação consolidado - 2006.

O padrão consolidado foi identificado também na região urbanizada de Itaituba (Figura 5.7B). A sede do município localiza-se nas margens do Rio Tapajós e

da rodovia Transamazônica. A região no entorno da sede apresenta um processo de ocupação antigo sendo mencionada nos relatos de Coudreau em sua expedição pelo Tapajós em 1895 (COUDREAU, 1977). As principais atividades econômicas praticadas são a mineração, pecuária e extração madeireira.

5.3.2 Padrão difuso

O padrão de ocupação difuso (Figura 5.8) está associado aos estágios iniciais de ocupação ou formas de ocupação pouco dinâmicas, cujo agente principal são pequenos produtores rurais, população ribeirinha extrativista e grupos indígenas. Este padrão foi detectado em regiões próximas a rios, Terras Indígenas e Unidade de Conservação (UC). O padrão de ocupação difuso incluiu grandes áreas de florestas que apresentaram pequenos polígonos de desmatamento distribuídos de forma esparsa.

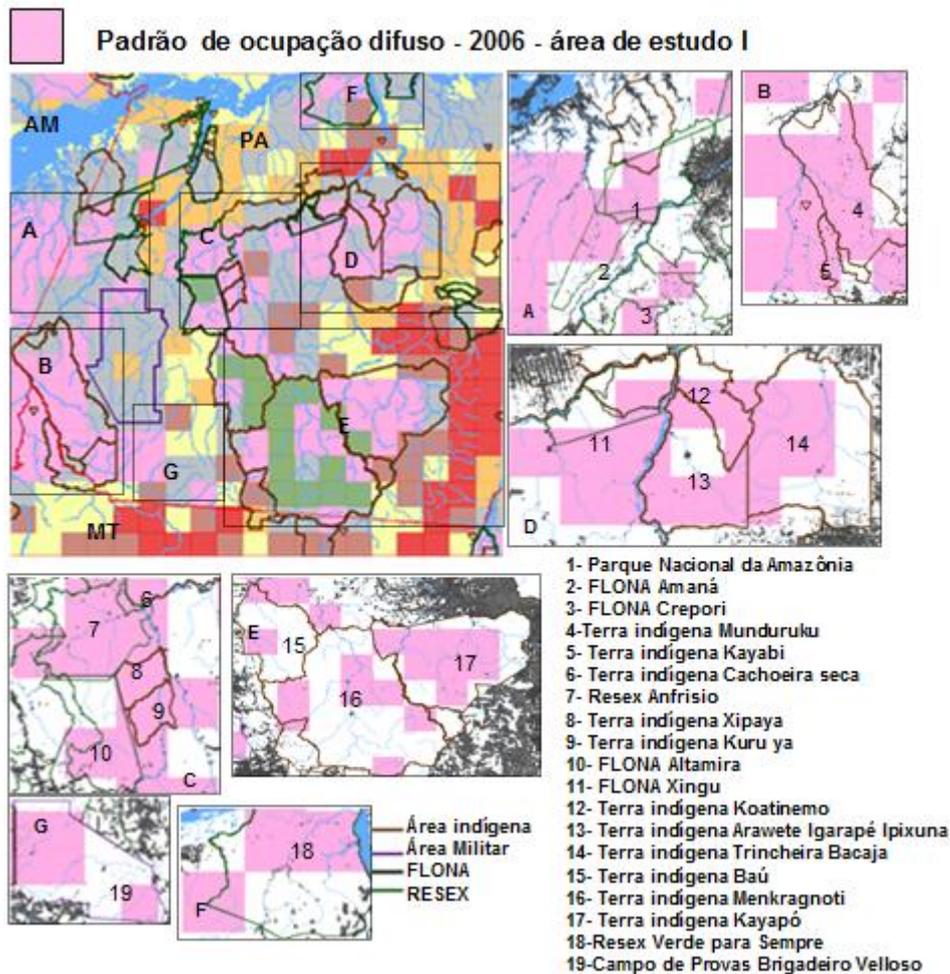


Figura 5.8 - Padrão de ocupação difuso - 2006.

Na Figura 5.8A observa-se que o padrão difuso foi mapeado dentro dos limites do Parque Nacional da Amazônia no município de Itaituba-PA. Nas Figuras 5.8B, 5.8C, 5.8D e 5.8E, o padrão difuso foi mapeado dentro dos limites das Terras Indígenas, e das FLONAs como a de Altamira (Figura 5.8C) e do Xingu (Figura 5.8D). A ocorrência desse padrão nas áreas indígenas pode ser devido à abertura de clareiras pequenas para agricultura do tipo itinerante (SHUBART, 1983). Esse padrão está associado também a processos de ocupação não planejados, como invasão de terras da União, de Terras Indígenas e de Unidades de Conservação.

5.3.3 Padrão espinha de peixe

O padrão espinha de peixe foi identificado na BR-163 e na Transamazônica (Figura 5.9) onde se encontram projetos de assentamento criados pelo programa de reforma agrária do INCRA na década de 70. A estrutura espacial característica da espinha de peixe é resultante da abertura de vias de acesso que ligam os assentamentos com outras localidades tendo como eixo principal uma rodovia (SAMPAIO e COSTA, 2009).

Na Figura 5.9A observa-se que o padrão detectado representa os assentamentos do INCRA nos municípios de Trairão, Rurópolis, Placas, Uruará, Medicilândia, Altamira e Santarém; na Figura 5.9B são apresentadas as áreas de assentamentos pertencentes ao município de Anapu e Pacajá. E a Figura 5.9C ilustra os assentamentos na região de Novo Repartimento, São Félix do Xingu e Marabá.

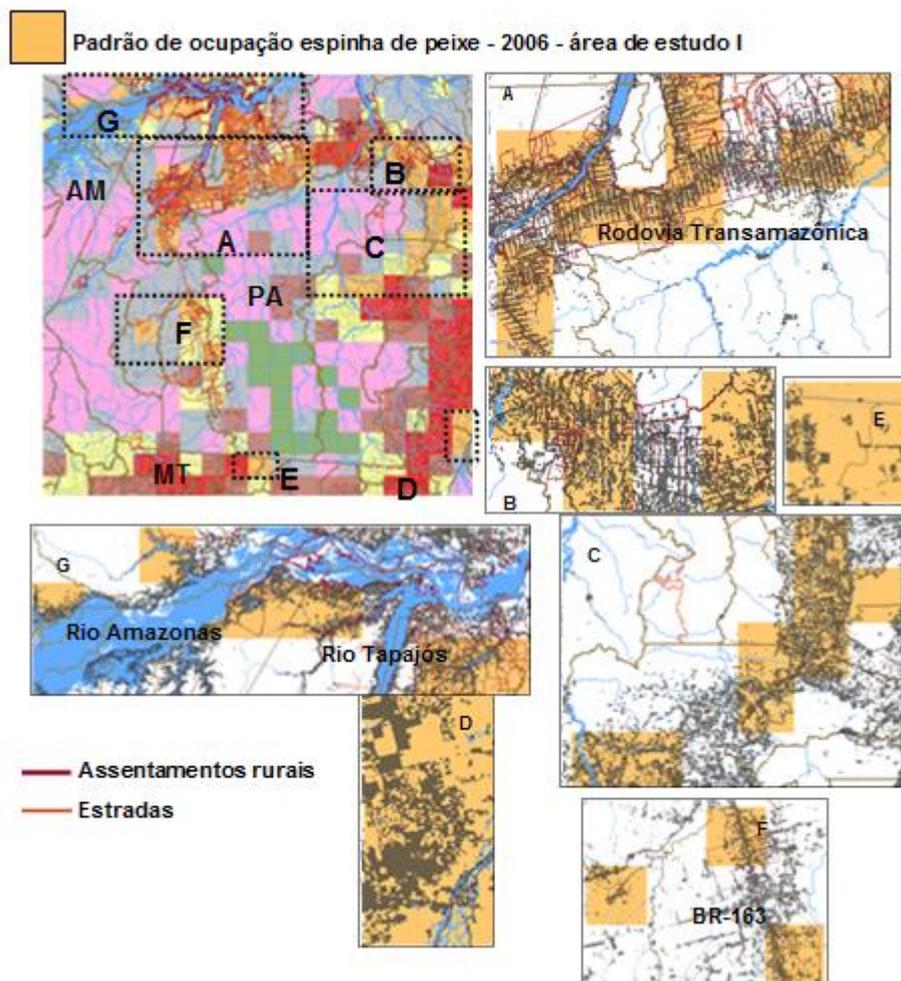


Figura 5.9- Padrão de ocupação espinha de peixe - 2006.

Nas Figuras 5.9D, 5.9E, 5.9F, e 5.9G pode-se observar alguns erros de classificação, em que o classificador não conseguiu distinguir o padrão espinha de peixe de outros padrões, principalmente do padrão multidirecional desordenado. Isto ocorreu porque as métricas utilizadas no GeoDMA medem atributos de forma e de área, e não do arranjo espacial dos polígonos, sendo este o principal elemento que distingue os dois padrões. A confusão com outros padrões pode ter ocorrido devido à heterogeneidade dos polígonos de desmatamento nas células de 50 km.

5.3.4 Padrão geométrico regular

O padrão geométrico regular (Figura 5.10) foi identificado principalmente na região norte de Mato Grosso na fronteira com o Pará e na região próxima a São Félix do Xingu (Figura 5.10D), Vitória do Xingu (Figura 5.10E). Estas regiões se caracterizam pela presença de grandes propriedades destinadas à pecuária e/ou à produção de produtos agrícolas em larga escala.

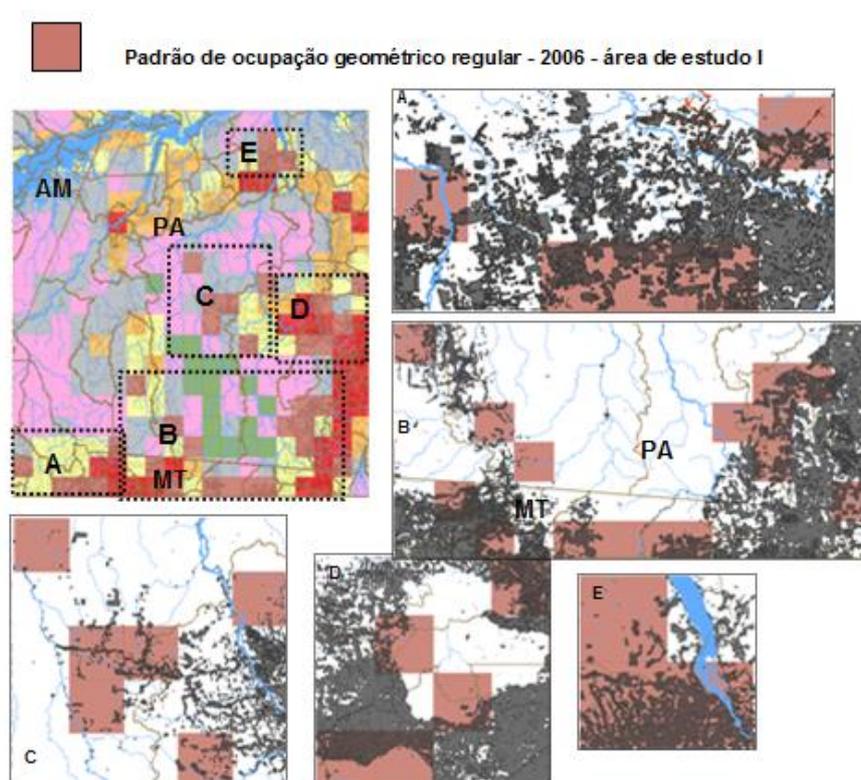


Figura 5.10 - Padrão de ocupação geométrica regular - 2006.

5.3.5 Padrão multidirecional desordenado

O padrão multidirecional desordenado foi identificado na região oeste do estado do Pará na fronteira com o estado do Amazonas, nas margens do Rio Amazonas e na região do Rio Tapajós (Figura 5.11A). Esse padrão, nessa

região, é decorrência do processo de ocupação espontâneo, pouco recente, ao longo dos rios, que pode ter iniciado com um padrão difuso ou linear.

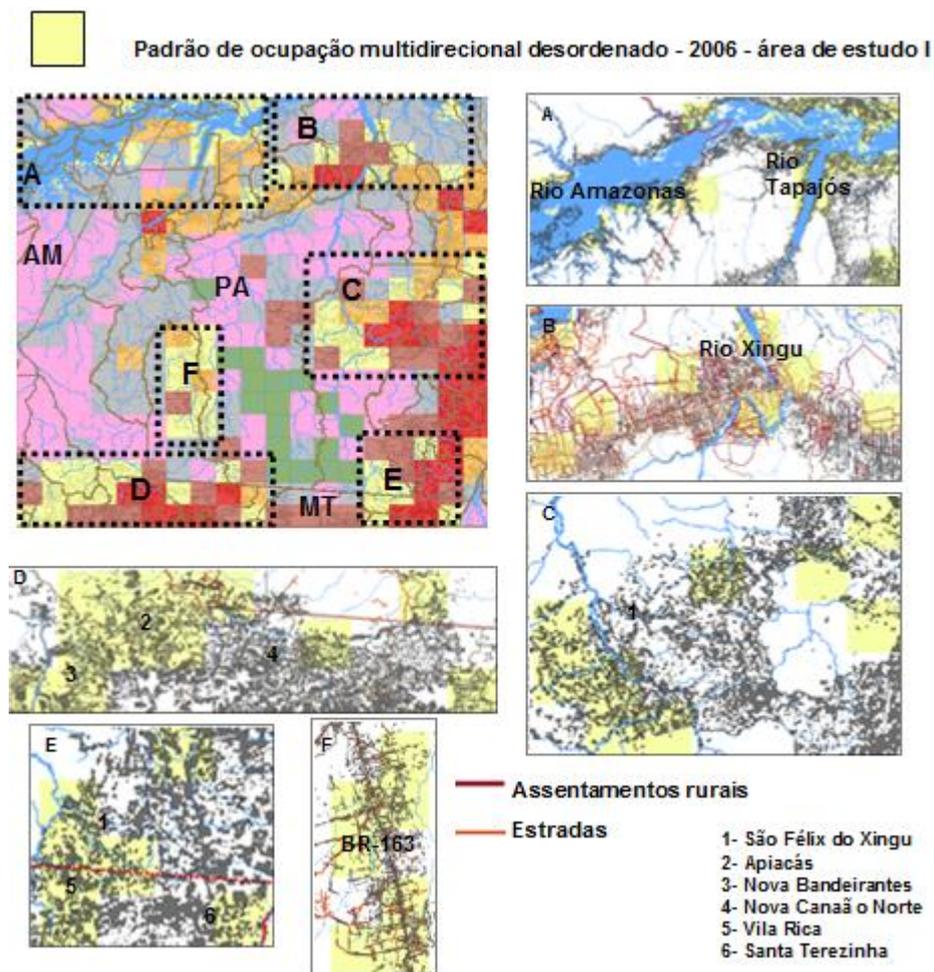


Figura 5.11 - Padrão de ocupação multidirecional desordenado - 2006.

Também foi identificado o padrão de ocupação multidirecional desordenado próximo das áreas de assentamento do INCRA, no município de Porto Moz no eixo da Rodovia Transamazônica, próximo do Rio Xingu.

Nas regiões entre os estados do Pará e Mato Grosso o padrão de ocupação multidirecional desordenado foi identificado nos municípios de Apiacás, Nova Bandeirantes, Nova Canaã do Norte, Vila Rica, Santa Terezinha e em São Félix do Xingu (Figuras 5.11C, 5.11D e 5.11E). As células localizadas no eixo

principal e nas estradas vicinais da Rodovia BR-163, na região do município de Novo Progresso, foram classificadas como padrão multidirecional desordenado (Figura 5.11F), entretanto, esse padrão se assemelha com espinha de peixe. Pode ter ocorrido confusão entre estes dois padrões devido à grande semelhança dos polígonos de desmatamento no que se refere ao tamanho e a forma.

5.3.6 Padrão Linear

O padrão linear pode ser encontrado próximo ou ao longo de estradas e rios (Figura 5.12). Esse padrão representa estágios iniciais ou áreas de ocupação pouco dinâmicas ao longo de rios e de estradas. Esse padrão está associado à ocupação ribeirinha, e também às áreas de expansão da fronteira agropecuária.

A Figura 5.12C mostra trechos da BR-163 e da Rodovia Transgarimpeira PA-080, classificadas como padrão linear, onde a ocupação ocorreu ao longo da estrada, e até 2006 não havia se expandido. Na Figura 5.12A é apresentado o trecho da Rodovia Transamazônica que apresenta esse padrão, entre as sedes dos municípios de Itaituba e Jacareacanga, seguindo para o Sul do Estado do Amazonas. Nesse trecho há várias Unidades de Conservação, que restringem o acesso e a ocupação da região.

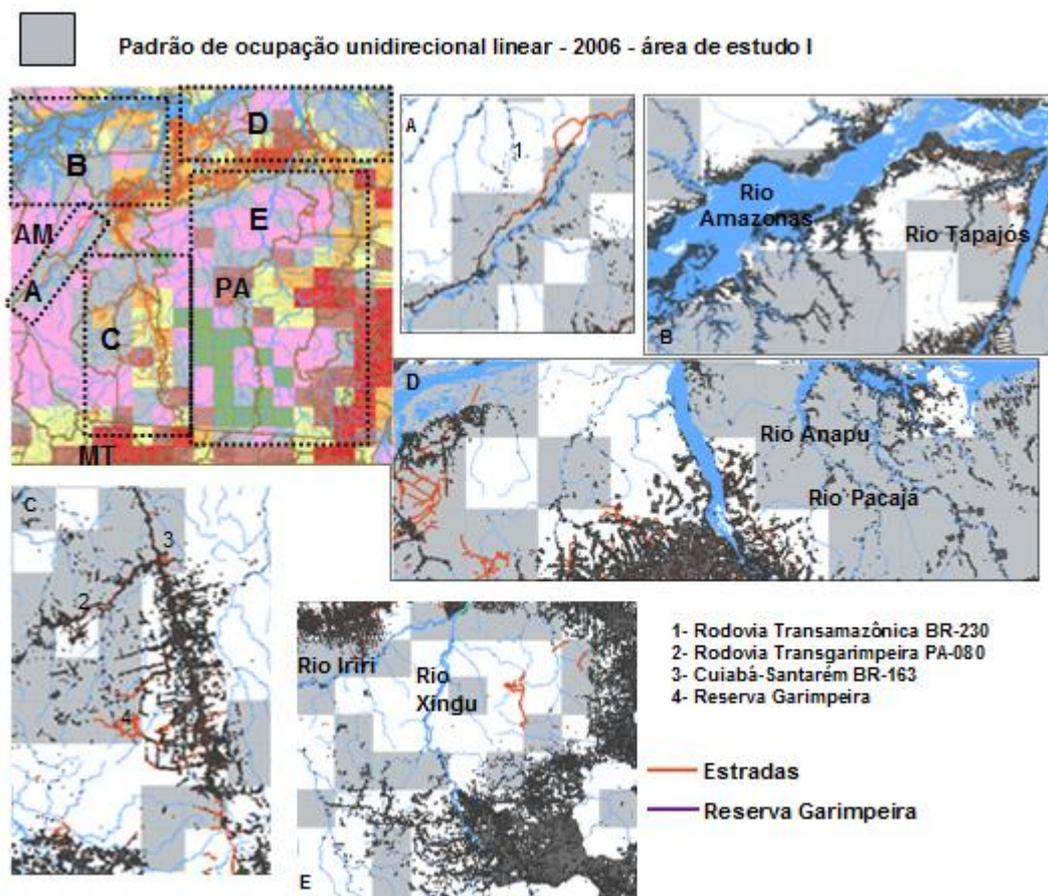


Figura 5.12 - Padrão de ocupação linear - 2006.

5.3.7 Floresta

Para o período de análise poucas células contendo floresta intacta foram identificadas. No ano de 1997 as células com floresta se localizaram nos limites da área militar na Serra do Cachimbo-PA (Figura 5.13A) e nas terras indígenas como Koatinemo, Arawete Igarapé Ipixuna, Bacajá (Figura 5.13C), Menkragnoti, Baú, Kayapó (Figura 5.13,B) as áreas de floresta também mantiveram-se preservadas até 2006. Na Figura 5.13D é apresentada a Resex Verde para Sempre que possui em seus limites áreas com floresta, no entanto, em 2006 a área apresentou o padrão difuso (Figura 5.13F), provavelmente devido às atividades relacionadas com a agricultura de subsistência.

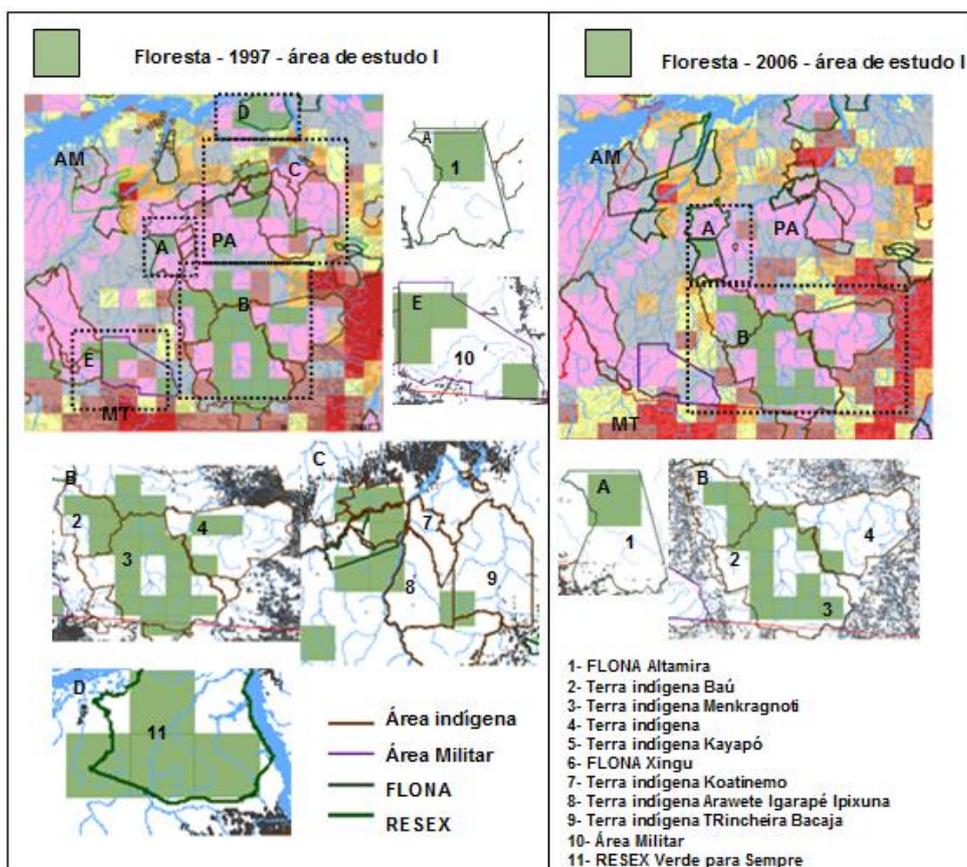


Figura 5.13 - Floresta -1997 e 2006.

5.4 Trajetórias de Padrão de Ocupação

Considerando a dinâmica do processo de ocupação entre 1997 a 2006 um mapa de trajetórias foi elaborado indicando as áreas onde ocorreram mudanças de padrões. Foram definidas quatro trajetórias: consolidação, expansão, sem mudança e floresta. A Figura 5.14 mostra as principais trajetórias observadas no período.

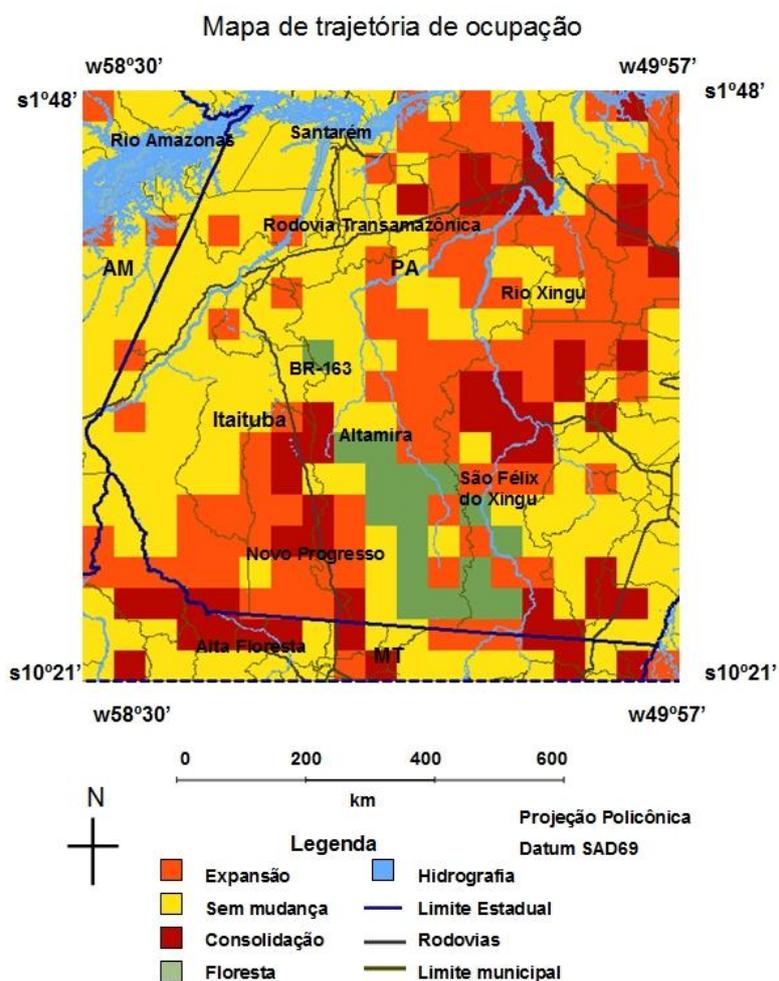


Figura 5.14 – Mapa de trajetória de 1997 a 2006.

A Figura 5.15 mostra que, considerando o total de 361 células, 43% apresentaram algum tipo de mudança, 14% (49 células) foram classificadas como trajetória de consolidação e 29% foram classificadas como trajetória de expansão (Figura 5.15). Esse resultado indica que a região convive com regiões em diferentes estágios de ocupação.

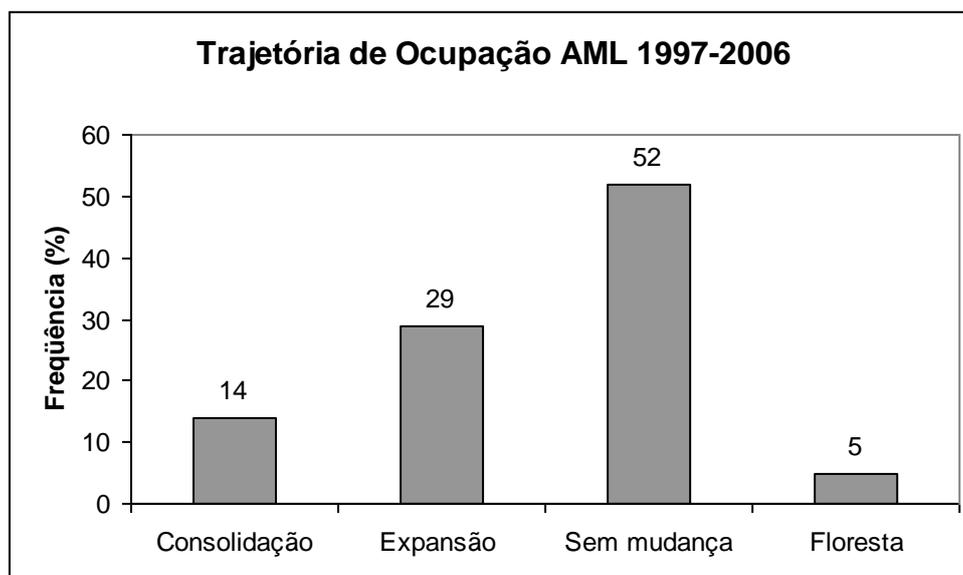


Figura 5.15 - Gráfico da trajetória de ocupação de 1997-2006 da área de estudo I.

Na Figura 5.14 nota-se que a trajetória de consolidação apresentada na região de Novo Progresso decorre da ocupação que se iniciou no eixo da BR-163, antes de 1997, e evoluiu para estágios mais avançados de ocupação. Pode-se observar também o processo de consolidação na região dos assentamentos criados pelo INCRA na década de 1970 na região da rodovia Transamazônica, nos municípios de Altamira, Vitória do Xingu, Uruará e na região dos municípios de Portel e Pacajá. O processo de consolidação também pode ser visto na região entre os estados do Mato Grosso e Pará, principalmente nos municípios de Apicás, Alta Floresta e Vila Rica e também nas regiões de São Félix do Xingu e Marabá.

Observa-se que 29% das células apresentaram trajetórias de expansão (Figura 5.15), ocorrendo principalmente na região nordeste e sudoeste do estado do Pará, nos municípios de São Félix do Xingu, Altamira, Novo Progresso, Jacareacanga, Porto de Moz, Portel, Peixoto de Azevedo, e Apicás, no estado do Mato Grosso. Essas são as regiões descritas por Becker (2005) como áreas

de nova fronteira agropecuária da Amazônia. Nessas áreas, a cultura de soja e a pecuária se expandiram contribuindo para a indução da fronteira agrícola que é representada pelas três frentes de expansão do desmatamento, descritas por Becker (2005) e identificadas nesse trabalho.

A região a oeste do Rio Xingu, que abrange os municípios de São Félix do Xingu e Altamira é uma região de fronteira ativa, que teve seu início no final da década de 1990, sendo induzida pelo capital privado atraído principalmente pelo valor da terra e pela proximidade com uma cadeia de mercado da pecuária em estruturação na região sudeste do Pará (Américo et al., 2010; Escada et al., 2005).

Os tipos de propriedades predominantes dessa região são as grandes fazendas com tamanhos que podem variar entre 2500 a 3000 ha (25 a 30 km²) (CASTRO et al., 2004); com a presença de pequenos agricultores que praticam agricultura familiar e de subsistência em lotes de 50 a 300 ha (0,5 km a 3 km²), populações ribeirinhas e populações indígenas (ESCADA et al., 2005; Silva et al, 2008) .

Pode-se observar no mapa de trajetórias que as áreas de consolidação muitas vezes estão próximas ou circundadas pela trajetória indicativa de expansão. Padrão similar foi encontrado por Alves (2001) que indica que o processo intenso de desmatamento tende a ocorrer em regiões vizinhas às áreas em que a floresta já foi derrubada.

Das células que não apresentaram mudanças, 31% foram classificadas como padrão difuso, 23% como linear, 16% como multidirecional desordenado, 15% como geométrico regular e 6% como espinha de peixe (Figura 5.16). Essas proporções indicam que a região apresenta uma grande diversidade de processos, dinâmicas e estágios de ocupação, que precisam ser consideradas durante o planejamento e ordenamento territorial.

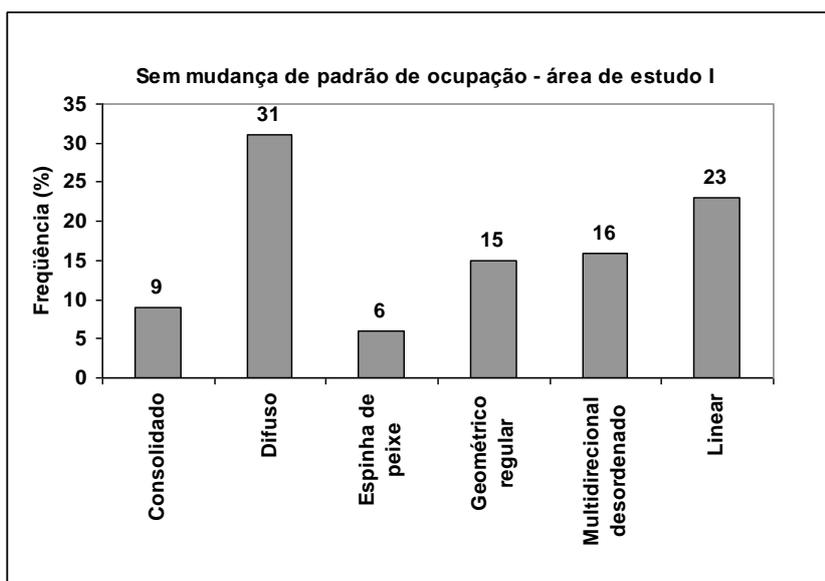


Figura 5.16 - Frequência de trajetória de 1997 a 2006/Sem mudança.

Considerando as células de florestas, apenas 5% (Figura 5.15) do total mantiveram-se preservadas em 2006, sendo estas localizadas na FLONA Altamira, e nas terras indígenas Baú, Menkragnoti e Kayapó. De acordo com o Instituto Raoni (2005) que atua na proteção destas reservas indígenas, fatores como a baixa densidade populacional, e a eficiente proteção contra a invasão, tornam essas áreas efetivas com relação aos propósitos de conservação. De modo geral, a maior parte das Terras Indígenas manteve o mesmo padrão de ocupação no período estudado.

6 RESULTADOS - ÁREA DE ESTUDO II

6.1 Tipologia de ocupação

A tipologia de ocupação para a área de estudo II, região do Baixo Tapajós, também é um subconjunto da tipologia definida na tabela 3.2 e é apresentada no Apêndice D. Para esta área os seguintes padrões foram observados: consolidado, difuso, geométrico regular, multidirecional desordenado e linear. Para análise de padrões nessa escala foram utilizadas células de 10 km X 10 Km. Esse tamanho foi definido de forma empírica, baseada na análise dos polígonos de desmatamento. Na célula de 10 km alguns padrões parecem ser mais homogêneos do que nas células de 50 km. O padrão espinha de peixe não é representado nessa escala, apresentando-se fracionado e sendo representado pelo padrão linear.

6.2 Árvore de decisão

A Figura 6.1 apresenta a árvore de decisão gerada pelo algoritmo C4.5, que selecionou as métricas de forma e de borda como PSSD, AWMPFD e ED, para classificar os padrões de ocupação. A árvore gerada apresentou menor número de ramificações do que a da área de estudo I e menor número de métricas. Isso ocorreu principalmente devido a dois fatores: a maior homogeneidade dos polígonos de desmatamento nas células de 10 km X 10 km, e a definição de um menor número de classes.

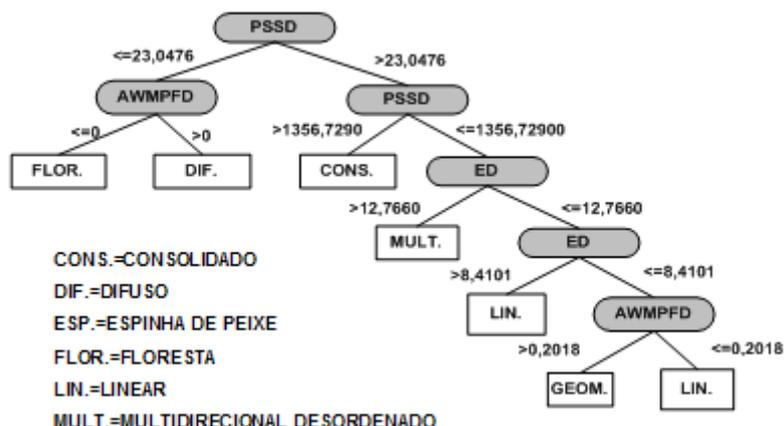


Figura 6.1 - Árvore de decisão da área de estudo I - região do DFS-BR 163.

O algoritmo de classificação, com base nas amostras de treinamento, definiu os atributos que melhor separam as classes e o valor limiar dos atributos que permite distinguir uma classe da outra.

6.3 Mapas de padrão de ocupação

Para compreender o processo de ocupação da região do DFS-BR-163 foi elaborado um mapa de ocupação para cada período de desmatamento acumulado considerando seis classes: consolidado, difuso, geométrico regular, multidirecional desordenado, linear e floresta.

Os mapas de ocupação foram avaliados e a Tabela 6.1 apresenta os valores de coeficiente Kappa para todos os anos analisados, baseado na interpretação de 130 células selecionadas aleatoriamente.

Tabela 6.1– Avaliação dos mapas de ocupação- área de estudo II.

Mapa de Ocupação	\hat{K}
1997	0,96
2000	0,94
2003	0,91
2006	0,87

Os valores de coeficiente Kappa foram entre 0,87 e 0,96 apresentando confusão principalmente entre os padrões linear e multidirecional desordenado e geométrico regular, como pode ser observado nas Tabelas 6.2, 6.3, 6.4 e 6.5 que apresentam as matrizes de confusão.

Tabela 6.2 – Matriz de confusão do mapa de ocupação de 1997.

1997	REFERÊNCIA							
	CONS.	DIF.	GEOM.	MULT.	LIN.	FLOR.	N	
CLASSIFICAÇÃO	CONS.	2	0	0	0	0	0	2
	DIF.	0	25	0	0	0	0	25
	GEOM.	0	0	1	0	1	0	2
	MULT.	0	0	0	5	0	0	5
	LIN.	0	0	0	2	32	0	34
	FLOR.	0	0	0	0	0	62	62
N	2	25	1	7	33	62	130	

Tabela 6.3 – Matriz de confusão do mapa de ocupação de 2000.

2000	REFERÊNCIA							
	CONS.	DIF.	GEOM.	MULT.	LIN.	FLOR.	N	
CLASSIFICAÇÃO	CONS.	2	0	0	0	0	0	2
	DIF.	0	25	0	0	2	0	27
	GEOM.	0	0	1		1	0	2
	MULT.	0	0	0	6	1	0	7
	LIN.	0	0	0	1	33	0	34
	FLOR.	0	0	0	0	0	58	58
	N	2	25	1	7	37	58	130

Tabela 6.4 – Matriz de confusão do mapa de ocupação de 2003.

2003	REFERÊNCIA							
	CONS.	DIF.	GEOM.	MULT.	LIN.	FLOR.	N	
CLASSIFICAÇÃO	CONS.	3	0	0	0	0	0	3
	DIF.	0	28	0	0	0	0	28
	GEOM.	0	0	1		1	0	2
	MULT.	0	0	0	6	5	0	11
	LIN.	0	0	1	1	33	0	35
	FLOR.	0	0	0	0	0	51	51
	N	3	28	2	7	39	51	130

Tabela 6.5 – Matriz de confusão do mapa de ocupação de 2006.

2006	REFERÊNCIA							
		CONS.	DIF.	GEOM.	MULT.	LIN.	FLOR.	N
CLASSIFICAÇÃO	CONS.	6	0	0	0	0	0	6
	DIF.	0	31	0	0	0	0	31
	GEOM.	0	0	1	0	1	0	2
	MULT.	0	0	0	4	6	0	10
	LIN.	0	1	3	1	32	0	37
	FLOR.	0	0	0	0	0	44	44
	N	6	32	4	5	39	44	130

Para a área de estudo II foi realizada uma avaliação quanto ao sistema minerador obtendo-se o coeficiente Kappa de 0,88.

Os mapas de padrões de ocupação para cada período de desmatamento são apresentados nas figuras 6.2, 6.3, 6.4 e 6.5.

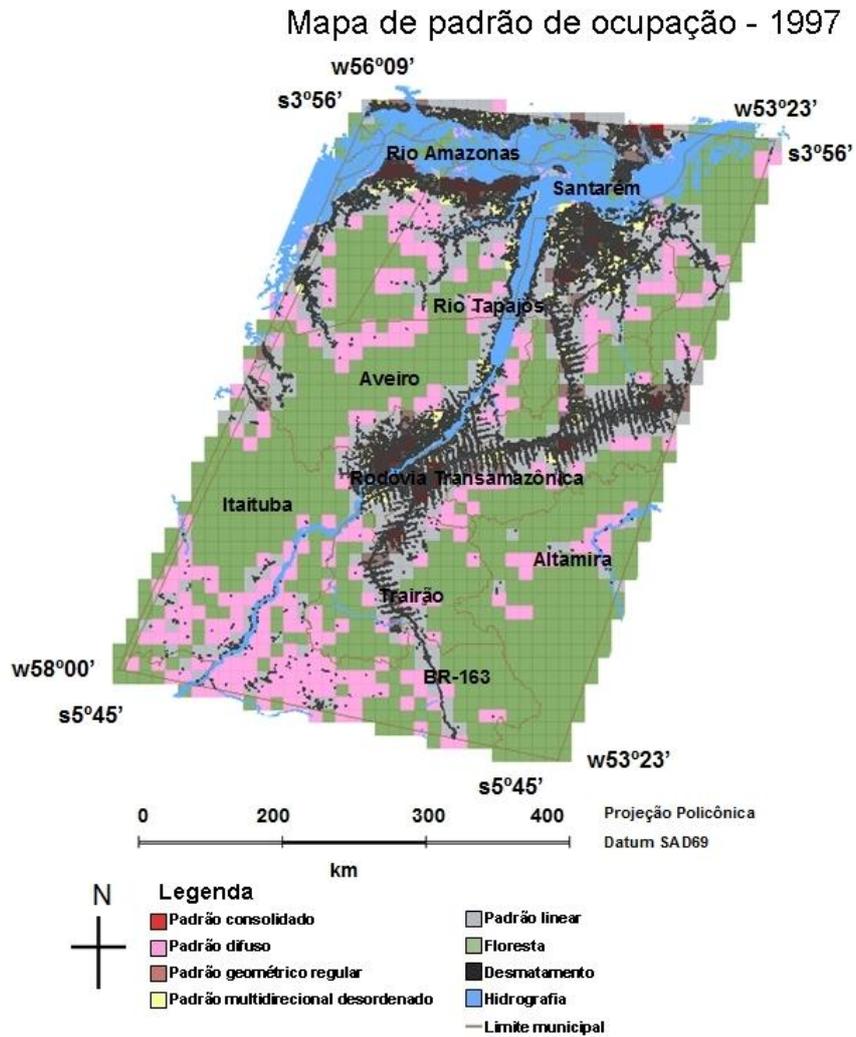


Figura 6.2 - Mapa de padrão de ocupação para desmatamento até 1997- área de estudo II.

Mapa de padrão de ocupação - 2000

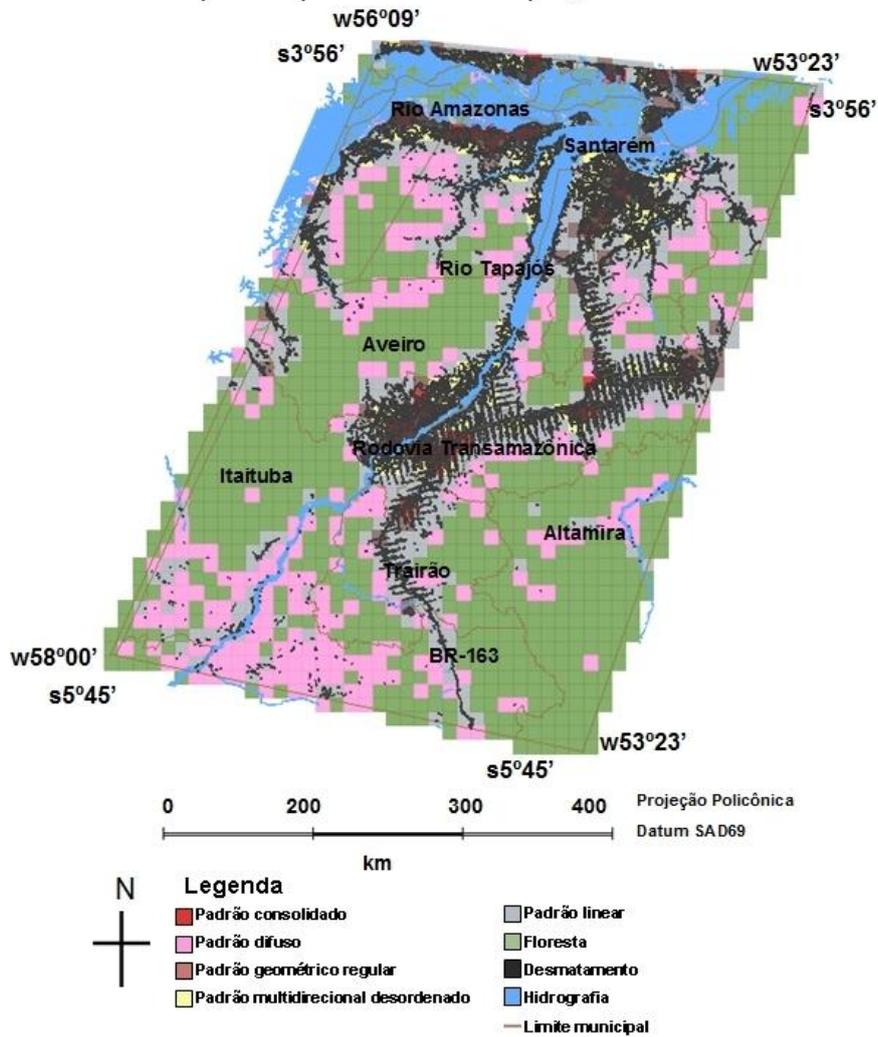


Figura 6.3 - Mapa de padrão de ocupação para desmatamento até 2000 - área de estudo II.

Mapa de padrão de ocupação - 2003

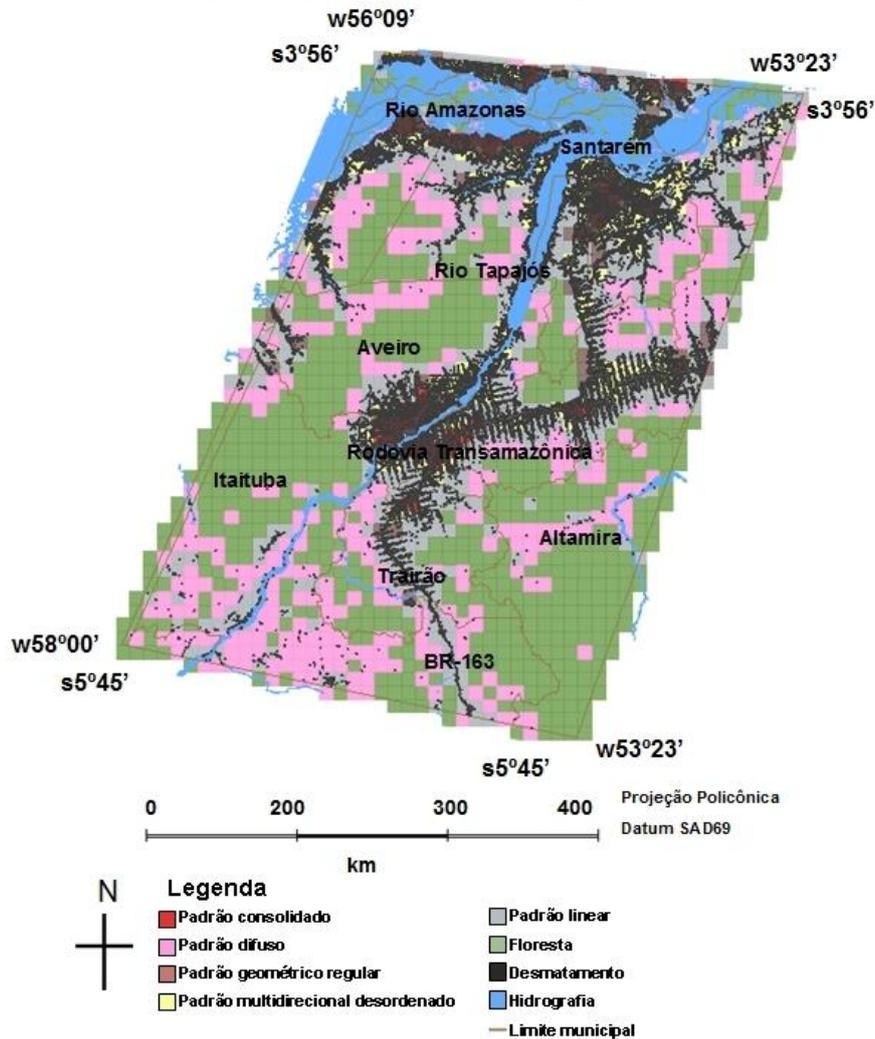


Figura 6.4 - Mapa de padrão de ocupação para desmatamento até 2003 - área de estudo II.

Mapa de padrão de ocupação - 2006

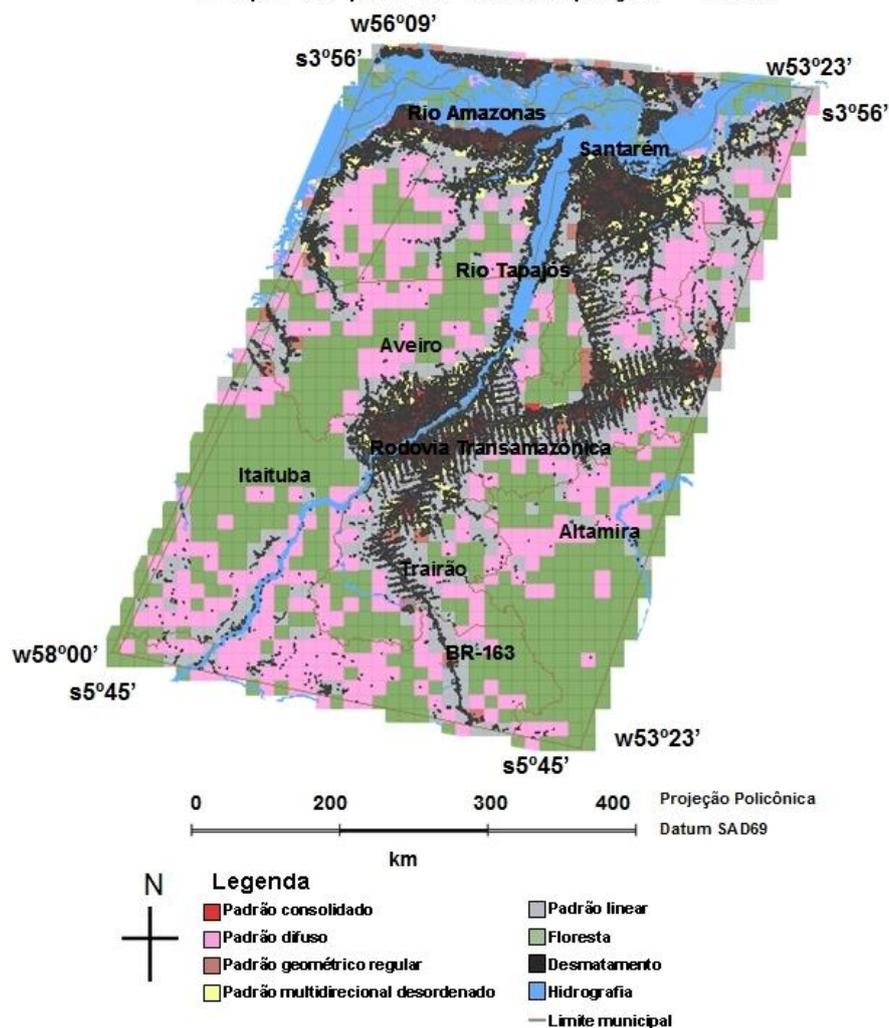


Figura 6.5 - Mapa de padrão de ocupação para desmatamento até 2006 - área de estudo II.

A classe floresta foi a mais freqüente em todos os anos avaliados reduzindo de 49% a 35% (Figura 6.6). As áreas identificadas com os padrões de ocupação consolidado, difuso, multidirecional desordenado e linear aumentaram ao longo do tempo, enquanto que o padrão de ocupação geométrico regular não variou. Os principais padrões encontrados foram o linear e o difuso. Esses padrões estão associados à ocupação ao longo de rios e de estradas. Essa uma região conta com rios extensos, como o Rio Tapajós e o Rio Amazonas e com

processos de ocupação de mais de 300 anos, como é o caso da região do Baixo Tapajós (COUDREAU, 1977).

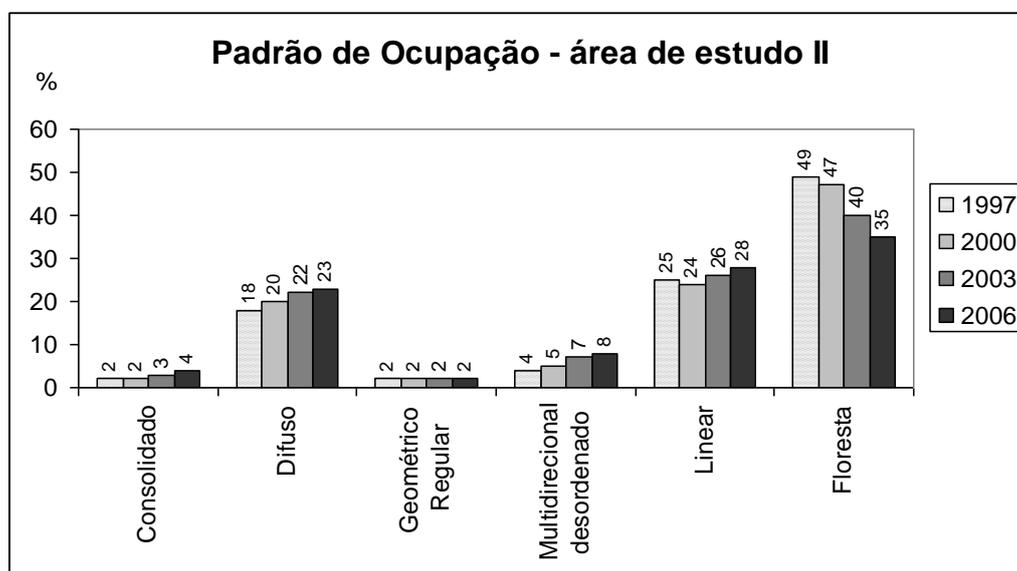


Figura 6.6 - Gráfico de freqüência dos padrões de ocupação - área de estudo II.

Observando a Tabela 6.6 verifica-se que o padrão que apresentou maior incremento de desmatamento foram os padrões multidirecional desordenado (37% a 53%) e consolidado (30% a 50%), mostrando que essa região se caracteriza mais pela intensificação do desmatamento em áreas já desmatadas do que pela expansão. Os padrões que apresentaram menor incremento de desmatamento foram o difuso (0,3% a 3%) e o geométrico regular (0,9% a 2%).

Tabela 6.6 – Proporção de incremento de desmatamento para cada padrão de ocupação – área de estudo II.

padrão de ocupação	1997-2000 (%)	2000-2003 (%)	2003-2006 (%)
Consolidado	39,24	30,86	50,98
Difuso	3,36	0,30	3,18
Geométrico regular	2,24	1,79	0,90
Multidirecional desordenado	41,00	53,20	37,09
Linear	14,16	13,85	7,84

Os itens que seguem apresentam algumas análises realizadas a partir dos mapas de padrões de ocupação.

6.3.1 Padrão consolidado

O padrão de ocupação consolidado foi identificado na região dos municípios de Juruti, Óbidos, Santarém e Itaituba. Na região de Santarém ao cruzar a área de ocupação consolidada com os lotes de propriedades rurais observa-se uma grande sobreposição entre as classes dos dois mapas (Figura 6.7B). Nessa região houve processo de concentração de terras e muitas das propriedades começaram a produzir soja a partir do final da década de 1990 (GTI, 2006).

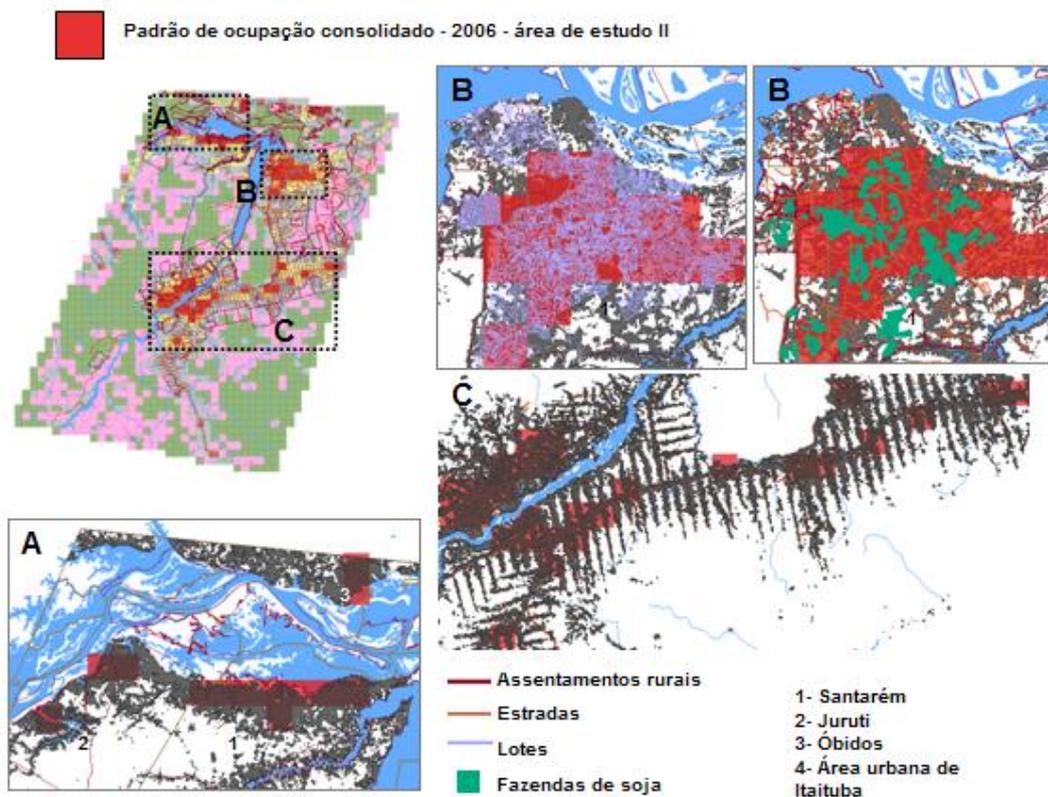


Figura 6.7 - Padrão de ocupação consolidado - 2006 - área de estudo II.

A região do entorno da área urbana de Itaituba também apresenta padrão consolidado, assim como algumas regiões de assentamentos rurais criados pelo INCRA ao longo da Rodovia Transamazônica na década de 70. Pode-se observar que o padrão consolidado ocorre em áreas com maior adensamento populacional, principalmente na região de Santarém e ao longo da rodovia Transamazônica.

6.3.2 Padrão difuso

Assim como na resolução de 50 km, o padrão de ocupação difuso foi identificado na região de terras indígenas como o Brinco das Moas e Rio Maró; dentro de Unidades de conservação como as RESEX do Tapajós e Anfrísio, das FLONAs Tapajós, Itaituba II e Altamira, próximo a rios sendo indicativo da presença de população ribeirinha, extrativistas, e de projetos de assentamentos criados pelo INCRA. O mapa da Figura 6.8 destaca essas áreas.

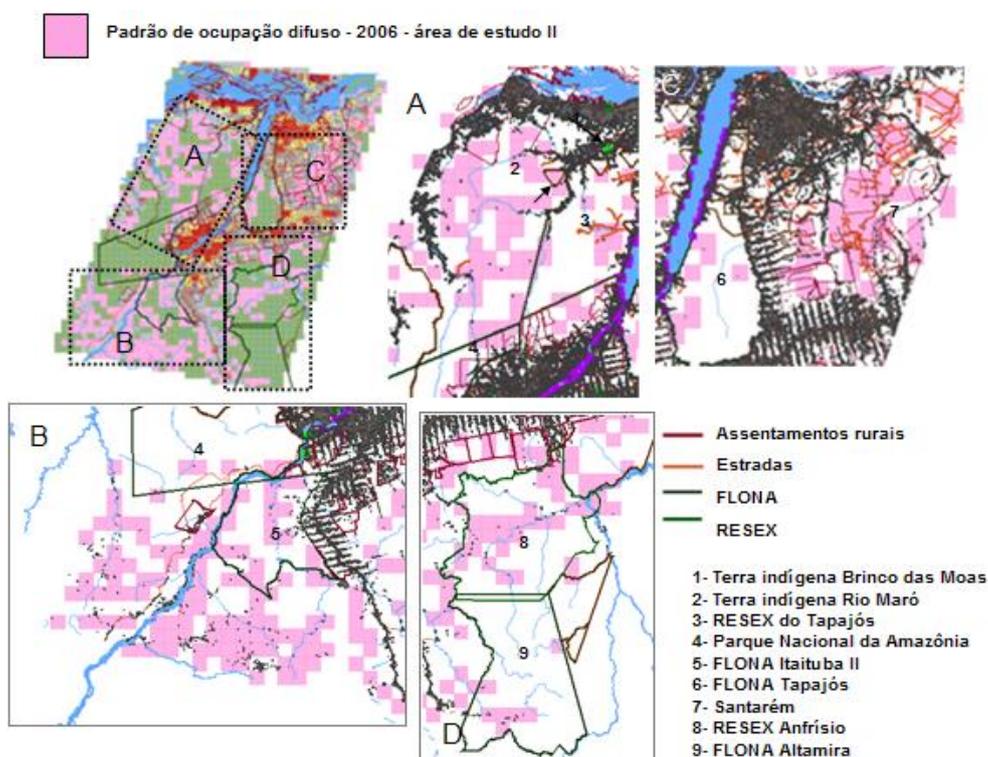


Figura 6.8 - Padrão de ocupação difuso 2006 - área de estudo II.

O padrão difuso identificado dentro dos limites da FLONA Tapajós (Figura 6.8C) está associado a famílias que vivem em comunidades dentro da FLONA e que praticam a agricultura itinerante com a derrubada da floresta para cultivo de pequenas áreas, seguido de abandono (COHENCA, 2007).

6.3.4. Padrão geométrico regular

O padrão geométrico regular teve pouca ocorrência na região analisada aparecendo principalmente nas proximidades das rodovias BR-163 e Transamazônica, próximo a Trairão, Itaituba, Rurópolis e Uruará (Figuras 6.9C, e 6.9B). Esse padrão foi identificado em um número reduzido de células porque nessa região predominam as áreas de Projeto de Assentamento do INCRA e de ocupação ribeirinha. As poucas regiões com fazendas grandes localizam-se na região de Belterra e Santarém. Entretanto, essas regiões foram classificadas predominantemente como de padrão consolidado, pois são áreas cuja ocupação ocorreu há bastante tempo. Na Figura 6.9A são apresentados os erros de classificação, onde é possível notar que o padrão multidirecional desordenado foi confundido com o padrão geométrico regular.

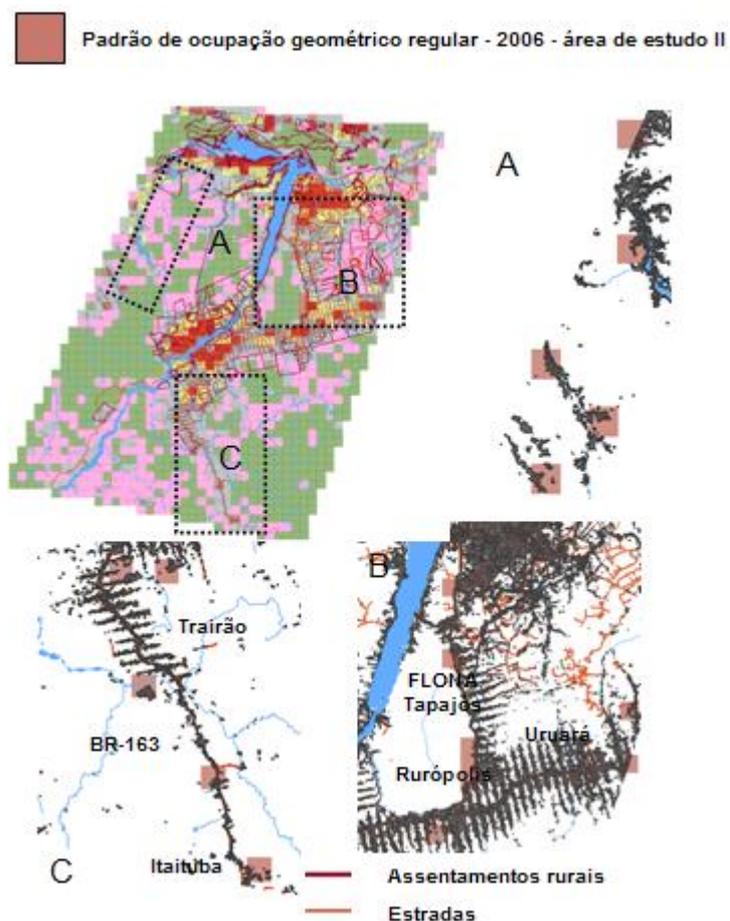


Figura 6.9 - Padrão de ocupação geométrico regular 2006 - área de estudo II.

Em algumas regiões da FLONA Tapajós foram identificadas algumas áreas com padrão geométrico regular principalmente na região de planalto próxima ao limite com as vicinais da rodovia Transamazônica. Isto pode ser indício de invasão como relatado no trabalho de Cohenca (2007) que ao analisar a distribuição de polígonos de desmatamento ocorrido entre 1997 e 2005 observou que 81,9% deles tinham tamanho menor que 3 ha permitido pelo IBAMA a ser desmatado. Os polígonos restantes maiores que 8 ha (0,08 km²), eram desmatamentos ilegais causado por fazendeiros interessados em expandir suas terras na região da FLONA.

6.3.5 Padrão multidirecional desordenado

As células classificadas como padrão multidirecional desordenado se concentraram próximas a rede hidrográfica, e na região da rodovia Transamazônica e no município de Santarém (Figura 6.10). São áreas com mais de 40 anos de ocupação, muitas delas com mais de 200 anos, como é o caso das margens do Rio Tapajós.

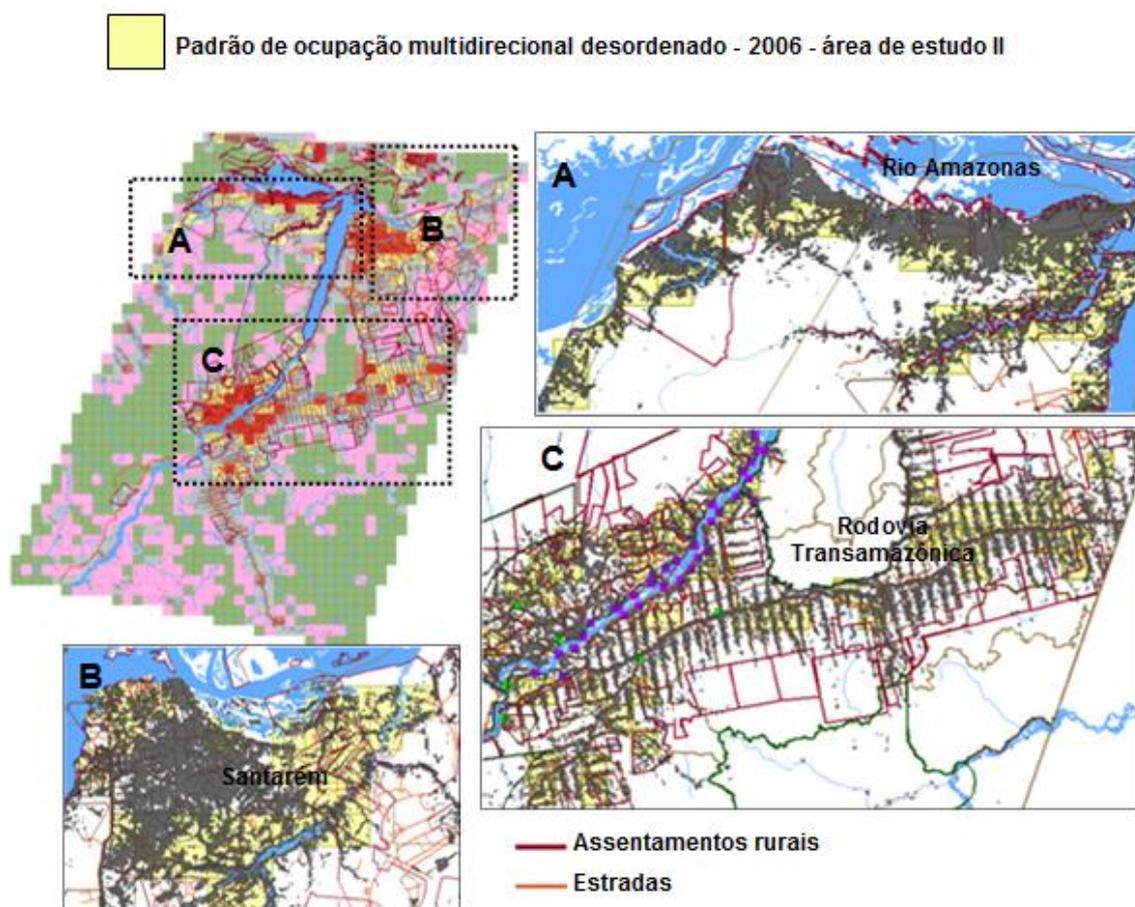


Figura 6.10 - Padrão de ocupação multidirecional desordenado 2006 - área de estudo II.

6.3.6 Padrão linear

O padrão linear é parte do padrão espinha de peixe que é resultado da implantação dos projetos de assentamento do INCRA. Nessas áreas a principal atividade desenvolvida é a agricultura familiar de subsistência. Na Figura 6.11 pode-se observar a presença desse padrão ao longo de vias de acesso de assentamentos agrícolas, próximos da Rodovia Transamazônica e ao longo da BR-163.

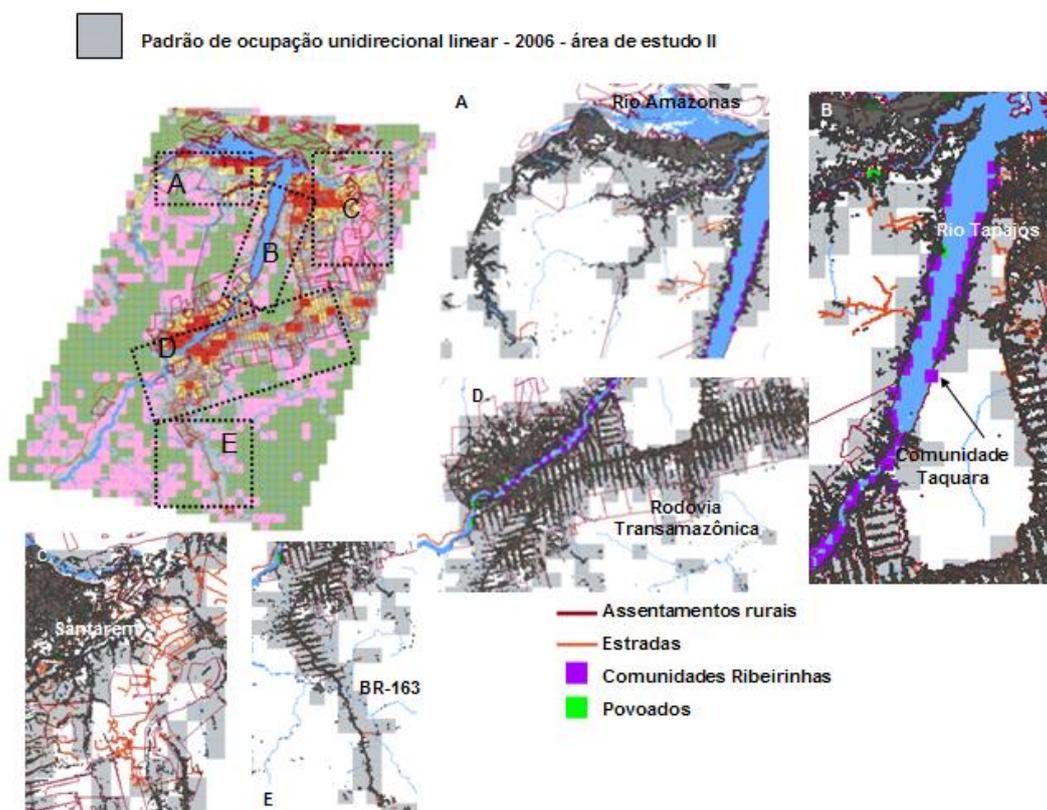


Figura 6.11 - Padrão de ocupação linear 2006 - área de estudo II.

6.3.7 Floresta

As áreas de floresta (Figura 6.12) que se mantiveram preservadas no período 1997-2006 se localizam nos limites das FLONAs Tapajós, Altamira, dentro de RESEXs como do Tapajós e Anfrísio, na região do Parque Nacional da Amazônia e na Terra indígena Andir-Marau.

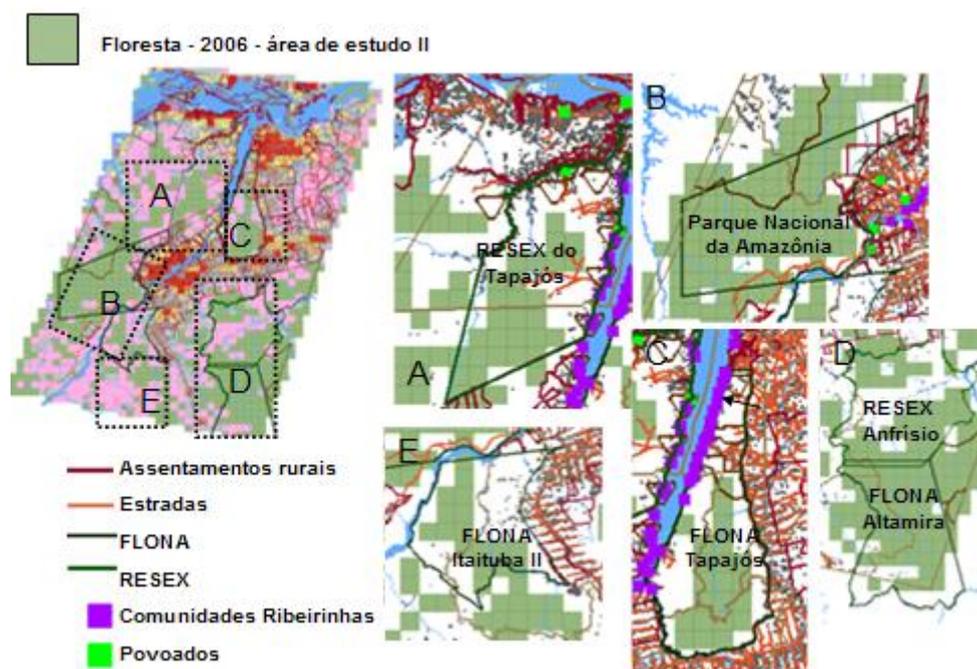


Figura 6.12 - Floresta - 2006 - área de estudo II.

O incentivo para a utilização sustentável dos recursos naturais nas áreas de UC pode ter sido um fator importante na preservação das florestas. Na FLONA Tapajós, de acordo com analista ambiental do IBAMA Daniel Cohenca, vem sendo aplicadas iniciativas e investimentos para diminuir a prática da agricultura baseada em corte e queima. As comunidades dessa região tem apoio técnico e estímulos para desenvolvimento de atividades agroflorestais tentando direcionar as famílias a depender menos da agricultura e buscar outras atividades como o extrativismo, produção de óleos essenciais, mel, móveis artesanais e artesanatos (COHENCA, 2007).

6.3.8 Padrões de desmatamento e escalas de análise

Considerando a questão da escala como, pode-se verificar que a célula de 10 km permite um maior detalhamento do espaço possibilitando discriminar melhor os padrões de ocupação do que as células de 50 km. A Figura 6.13^a mostra um exemplo de célula de 50 km e de 10 km na RESEX Arapiuns/Tapajós. No entanto, quando se deseja analisar padrões que possuem uma estrutura e configuração mais ampla como o padrão de espinha de peixe (Figura 6.13B), as células de 50 km, embora mais heterogêneas, são mais adequadas. As células de 50 km permitem incluir o padrão espinha de peixe como um todo, enquanto que as células de 10 km desmembram esse padrão descaracterizando-o.

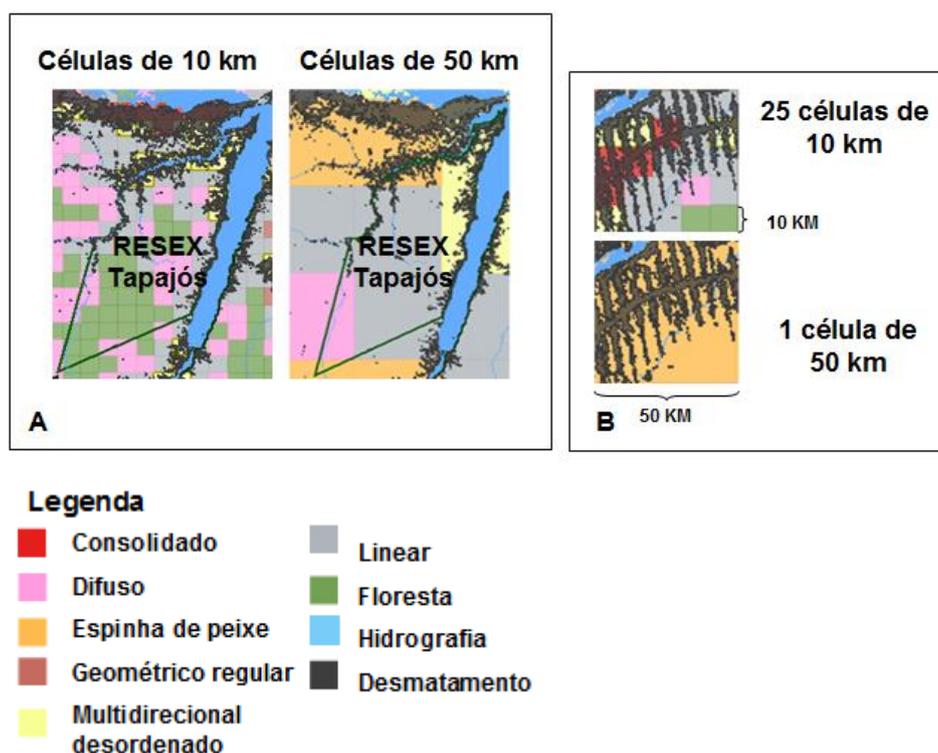


Figura 6.13 - Exemplo da questão de escala.

A definição do tamanho de célula depende do tipo de processo que se deseja analisar, sendo que para uma análise local, mais detalhada a resolução mais

finas é mais adequada, enquanto para estudos mais amplos pode-se optar por um tamanho de célula maior. Em ambos os casos, deve-se lembrar que a escolha de uma resolução pode favorecer a identificação de determinados padrões de ocupação, e desfavorecer a identificação de outros.

Uma análise mais adequada poderia ser feita a partir de células que se adaptam ao tamanho do padrão a ser identificado, formando um mosaico de células de tamanhos heterogêneos (Figura 6.14).

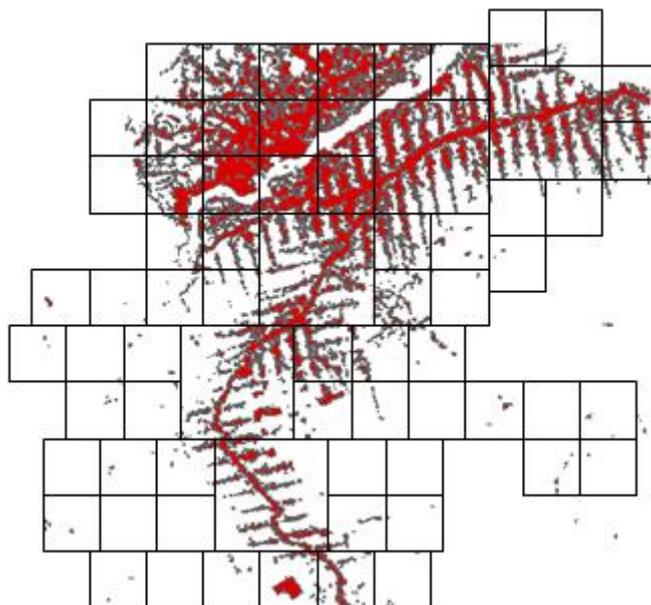


Figura 6.14 - Exemplo de células com tamanhos variados.

Por fim, o desmatamento na Amazônia é um processo multiescalar e dinâmico; e a partir de várias escalas de análise é possível aprender sobre as trajetórias, magnitude do desmatamento e uso da terra (Moran et al.,2008).

6.4 Trajetórias de padrão de ocupação

Para compreender a dinâmica do processo de ocupação entre 1997 a 2006 foi elaborado um mapa de trajetórias de modo a identificar alterações nos tipos de

padrão de ocupação. Para isso, foram definidas três trajetórias: consolidação, expansão, sem mudança e áreas de floresta (Figura 6.15).

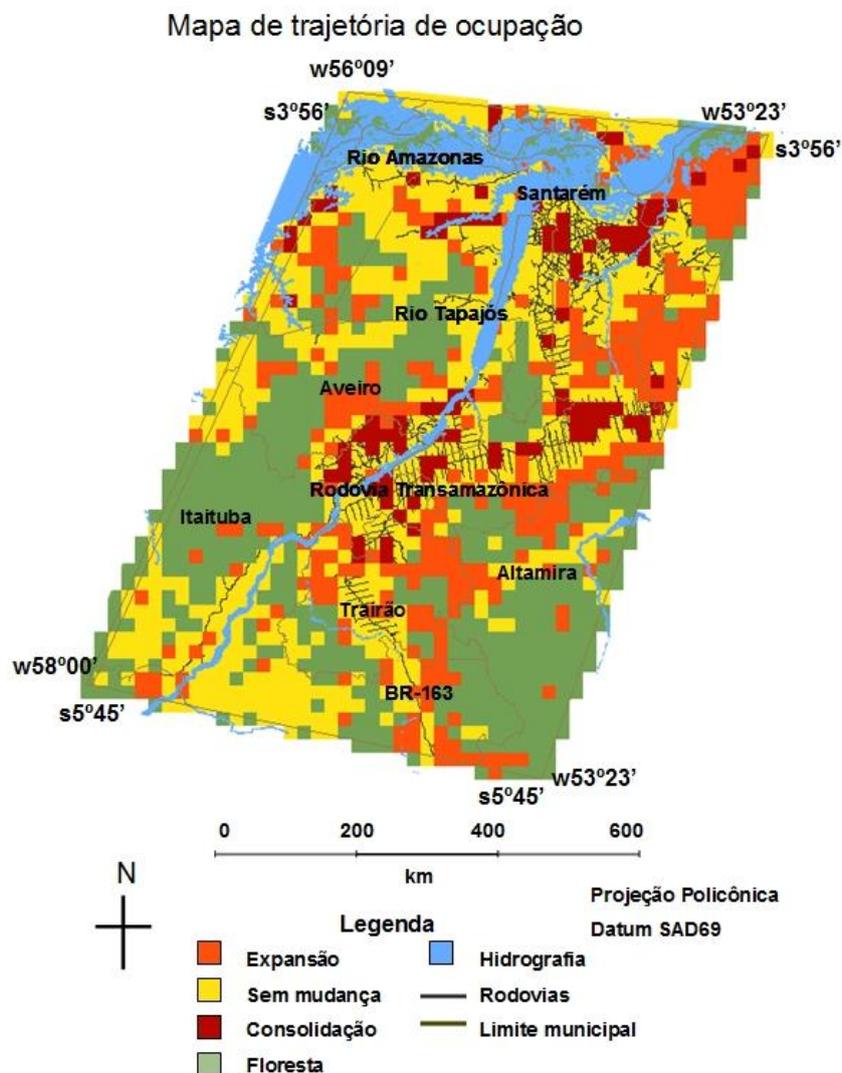


Figura 6.15 - Mapa de trajetória de ocupação 1997-2006 – área de estudo II.

O gráfico da figura 6.16 mostra que a principal trajetória das células da área de estudo é de não mudança, que somada às áreas de floresta somam 74% da área. Entretanto, cerca de 20% das células apresentaram trajetórias de expansão e como era de se esperar, ocorreram próximas as estradas e vias de acesso avançando em direção a floresta, como pode ser observado na BR-163 e Rodovia Transamazônica. A trajetória de ocupação ocorrida no período de

1997 a 2006 mostra que apenas 6% das células apresentaram trajetórias de consolidação (Figura 6.16). Destas, a maior parte se localizou na região de Santarém, Itaituba, Rurópolis e nas margens do Rio Arapiuns, afluente do Tapajós, regiões de ocupação da década de 70 e anteriores a essa data.

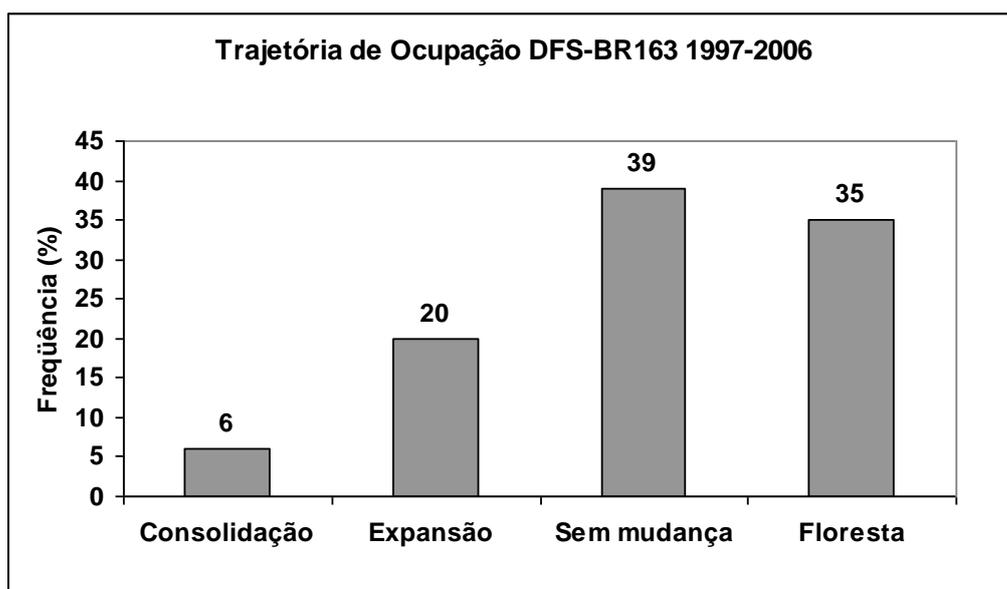


Figura 6.16- Gráfico de trajetória de ocupação 1997-2006 – área de estudo II.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÃO

O GeoDMA demonstrou ser uma ferramenta útil para extração de padrões a partir dos dados de desmatamento do PRODES, obtidos por sensoriamento remoto. O sistema demonstrou ser capaz de detectar e classificar diferentes tipos de padrões estabelecendo trajetórias de ocupação associadas aos principais agentes causadores do desmatamento.

Métricas como ED, MPS e PSSD apresentaram valores distintos na análise para a definição do tamanho de células, influenciando na escolha do tamanho para a análise na escala mais ampla. Na análise de sensibilidade a resolução espacial de 50 km mostrou ser melhor para a classificação dos padrões de desmatamento. Entretanto, ao dividir a área de estudo em células de 50 km, muitas apresentaram mistura de padrões, afetando o desempenho do classificador. A decisão de qual tamanho de célula adotar depende do tipo de informação que se deseja extrair e da escala do processo que se pretende mapear, podendo requerer uma análise mais ampla ou mais detalhada da paisagem.

As métricas ED, MPS, PSSD, AWMSI, MSI, MPFD e AWMPFD foram as que melhor identificaram os diferentes tipos de padrão de ocupação, com células de tamanho de 50 km X 50 km e 10 km X 10 km.

Uma importante contribuição da análise de sensibilidade das métricas é que esta forneceu indicativos de que métricas da paisagem como ED, MPAR, PSCOV e PSSD são importantes na distinção dos padrões de desmatamento. Essas métricas não estavam implementadas no GeoDMA e, a partir desses resultados, foram incluídas nesse sistema.

As tipologias definidas nas duas escalas foram similares, pois a área de estudo II estava contida na área de estudo I. Porém, ambas as tipologias são subconjuntos da tipologia mais ampla, definidas para toda a região da Amazônia Legal.

Com a aplicação da metodologia proposta obteve-se mapas de padrão de ocupação para os anos de 1997, 2000, 2003 e 2006. A maior parte dos padrões mapeados nas áreas de estudo está associada aos estágios iniciais ou pouco dinâmicos de ocupação. Esses padrões estão relacionados com as formas de ocupação ribeirinha, com a produção familiar de subsistência e extrativista. Esses padrões estão associados às formas espontâneas de ocupação que abriram três importantes frentes de desmatamento na área de estudo, uma no norte do Mato Grosso, uma na região de Novo Progresso (PA) no entorno da BR-163 e outra na região de São Félix do Xingu, no interflúvio entre os Rios Xingu e Iriri.

Os padrões de ocupação associados aos estágios mais avançados de ocupação, como o padrão consolidado, espinha de peixe, multidirecional desordenado, tenderam a aumentar durante o período de análise na área de estudo I, de 18% para 35%, enquanto as áreas de florestas foram reduzidas entre 1997 a 2006, de 16% para 4%.

Com relação aos padrões de ocupação foram encontrados os seguintes padrões nas áreas de estudo:

- Padrão de ocupação consolidado: associado às áreas de ocupação da década de 70 ou 80, próximas do arco de desmatamento ou no entorno de núcleos populacionais maiores como Santarém, Altamira Itaituba, São Félix do Xingu, Redenção, Alta Floresta, entre outros. Nessas áreas as principais atividades econômicas são a pecuária (Itaituba, porção sudeste do Pará, norte do Mato Grosso e

Transamazônica), a agricultura familiar (Transamazônica), e a produção de grãos (Santarém e norte do Mato Grosso).

- Padrão de ocupação difuso: associado a estágios iniciais de ocupação cujos agentes principais são os pequenos produtores rurais que praticam agricultura de subsistência e itinerante. Esse padrão foi encontrado em regiões próximas a rios em ocupações esparsas como as dos Rios Xingu e Iriri, em terras indígenas e em Unidades de Conservação. É o padrão de ocupação que apresentou menor taxa de desmatamento em todos os períodos analisados em ambas as áreas de estudo analisadas;
- Padrão espinha de peixe: Foi identificado na BR-163, nas proximidades com a rodovia Transamazônica e, principalmente na Transamazônica onde se encontram projetos de assentamento rurais criados pelo INCRA na década de 70, onde pequenos e médios agricultores praticam agricultura familiar e pecuária de subsistência;
- Padrão de ocupação geométrico regular: Foi identificado na região norte do estado do Mato Grosso na fronteira com o Pará e na região próxima a São Félix do Xingu. Estas regiões se caracterizam pela presença de grandes estabelecimentos rurais destinados à pecuária e a produção em grande escala de produtos agrícolas;
- Padrão de ocupação multidirecional desordenado: Foi mapeado na região próxima ao Rio Amazonas e Tapajós, no estado do Pará e na fronteira com o estado do Amazonas. Nessas duas regiões o padrão corresponde à ocupação ribeirinha mais antiga, muitas vezes próxima as comunidades com mais de 100-200 anos (Amaral et al, 2009). Esse padrão pode ser encontrado também, nas proximidades do Rio Xingu (São Félix do Xingu) e Novo Progresso, que são áreas que foram ocupadas de forma espontânea e próximas das áreas de assentamento do INCRA e de adensamentos populacionais;

- Padrão de ocupação linear: É um padrão associado a estágios iniciais de ocupação, identificado nas proximidades de estradas, principalmente nos ramais secundários e ortogonais as rodovias como a Cuiabá-Santarém BR-163, Transgarimpeira PA-080, e Transamazônica e de rios como o Amazonas, Tapajós, Xingu e Iriri. São padrões que decorrem da ocupação pouco densa e pouco dinâmica ao longo dos rios e das estradas de mais difícil acesso.

Com relação às trajetórias dos padrões, foram identificados três tipos: trajetórias de expansão, de consolidação e regiões em que não tiveram alteração no tipo de padrão de ocupação. As áreas com trajetória de consolidação muitas vezes estão próximas ou circundadas pela trajetória indicativa de expansão. As regiões com trajetória de expansão coincidem com as três áreas de fronteira agropecuária mencionadas anteriormente. A análise de trajetória nos permite avaliar as regiões com relação a sua dinâmica, auxiliando na diferenciação dos espaços geográficos e possibilitando aos tomadores de decisão planejar políticas e ações diferenciadas para cada região.

As áreas preservadas de floresta foram encontradas nos limites de unidades de conservação como FLONAS e RESEX e dentro de terras indígenas. Mesmo estas áreas sendo consideradas como de proteção, elas sofreram no decorrer do tempo com invasões ilegais de fazendeiros, garimpeiros, madeireiras, sem terras como as terras indígenas Menkragnoti e Apyterewa.

Até o ano analisado (2006), constatou-se que a paisagem sofreu mudanças em razão do processo de desmatamento promovido por diferentes agentes sociais na Amazônia e em razão da abertura de novas frentes de expansão. O entendimento de como o desmatamento pode modificar a paisagem, a identificação dos processos e a descrição da trajetória de ocupação pode

fornecer uma base de informação aos gestores nas decisões que envolvem o uso da terra e na implementação de políticas públicas para fiscalização e ordenamento territorial da Amazônia.

A Amazônia não é um “vazio” demográfico ou cultural. Hoje, é uma terra que abriga povos de várias regiões do Brasil. A proporção de células (4%) de 50 km em 2006 que não apresentam nenhum tipo de ocupação evidencia esse fato. Assim, devem-se considerar principalmente as populações indígenas, caboclas que conhecem as características dessa região. Para um desenvolvimento da região Amazônica compatível com a conservação; é imprescindível aprender a complexidade dessa região a partir do conhecimento de seus habitantes que se adaptaram a variabilidade existente em cada região constituindo uma riqueza de valor histórico e cultural que deve ser explorada com responsabilidade (Moran, 1990).

O homem se inseriu na paisagem amazônica, e não o contrário. Cabe ao homem saber respeitar os limites em relação ao uso das áreas de floresta. No futuro, ao invés de trajetórias de ocupação relacionadas ao desmatamento, espera-se que sejam traçadas trajetórias de ocupação relacionadas com a recuperação dos remanescentes florestais e manejo sustentável, enfim, as trajetórias relacionadas com formas de uso sustentáveis que incorporam práticas ligadas à conservação da floresta Amazônica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, C.A.; VALERIANO, D. M.; ESCADA, M. I. S.; RENNÓ, C. D. Estimativa de área de vegetação secundária na Amazônia Legal Brasileira. **Acta Amazônica**, v. 40, n. 2, p. 289-302, 2010.

ALVES, D. S. O processo de desmatamento na Amazônia. Modelos e cenários para a Amazônia: o papel da ciência. **Parcerias Estratégicas**, n. 12, p.259-275, set. 2001.

AMARAL, S.; ANDRADE, P. R.; ESCADA, M. I. S.; ANDRADE, P. R.; ALVES, P. A.; PINHEIRO, T. F.; PINHO, C. M. D.; MEDEIROS, L. C. C.; SAITO, É. A.; RABELO, T. N. **Da canoa à rabeta**: estrutura e conexão das comunidades ribeirinhas no Tapajós (PA). Pesquisa de Campo Jun/Jul de 2009. São José dos Campos: INPE, 2009. 30 p. (INPE-16574-RPQ/827). Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2009/09.11.18.27>>. Acesso em: 03 dez. 2010.

AMÉRICO, M.C.S ; VIEIRA, I.C.G.; ARAÚJO, R. A.S ; VEIGA, J.B. A pecuária como elemento central na reestruturação do território na Amazônia: o caso da rodovia PA-279 e da Terra do Meio no Pará. (No prelo). In: ARAÚJO, R.; LENÁ, P. **Desenvolvimento sustentável e sociedades na Amazônia**. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2010.

ASNER, G. P.; KELLER, M.; PEREIRA, R.; ZWEEDE, J. C. Remote sensing of selective logging in Amazonia assessing limitations based on detail field observations, Landsat ETM+, and textural analysis. **Remote Sensing of Environment**, v. 80, p. 483-496, 2002.

AZEREDO, M.; ESCADA, M. I. S.; CÂMARA, G. **Mineração de dados espaciais utilizando métricas de paisagem**. São José dos Campos: INPE, 2008. Relatório final da disciplina CAP-359.

BATISTELLA, M.; MORAN, E. F. Dimensões humanas do uso e cobertura das terras na Amazônia: uma contribuição do LBA. **Acta Amazônica**, v. 35, n. 2, 2005, p. 239-247.

BECKER, B. K. **A implantação da rodovia Belém-Brasília e o desenvolvimento regional**. Rio de Janeiro: IGEO/UFRJ, 1977.

BECKER, B, K. Revisão das políticas de ocupação da Amazônia: é possível identificar modelos para projetar cenários? **Parcerias Estratégicas**, v. 6, n. 12, p. 135-158, 2001.

BECKER, B. K. **Amazônia**: geopolítica na virada do III milênio. Rio de Janeiro: Garamond, 2004. 172 p. (ISBN 85-7617-042-6)

BECKER, B. K. Geopolítica da Amazônia. **Estudos Avançados**, v. 19, n. 53, p. 71-86, 2005.

CÂMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U.M.; GARRIDO, J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics**, v. 20, n.3, p. 395-403, 1996.

CÂMARA, G.; VALERIANO, D. M.; SOARES, J. V. **Metodologia para o cálculo da taxa anual de desmatamento na Amazônia Legal**. São José dos Campos: INPE, set. 2006, 24 p.

CASTRO, E. R.; MONTEIRO, R.; CASTRO, C. C. Atores sociais na fronteira mais avançada do Pará: São Félix do Xingu e a Terra do Meio. **Núcleo de altos estudos amazônicos**, out. 2004. 68 p. Disponível em: <<www.ufpa.br/naea/gerencia/ler_publicacao.php?id=252>>. Acesso em out. 2010.

CASTRO, E. Dinâmica socioeconômica e desmatamento na Amazônia. **Novos cadernos NAEA**, v.8, n. 2, p.5-39, dez. 2005, ISSN 1516-6481.

COHENCA, D. Evolução anual de desmatamento na Floresta Nacional do Tapajós de 1997 a 2005. In: Anais do XIII Simpósio de Sensoriamento Remoto, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 6653-6660.

CONGALTON, R. G.; GREEN, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices**. New York: Lewis Publishers, 1999, 137p.

COUDREAU, H. **Viagem ao Tapajós**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1977, 162 p.

ELKIE, P.C.; REMPEL, R.S.; CARR, A.P. **Patch Analyst user's manual: a tool for quantifying landscape structure (NWST Technical Manual TM-002)**. Thunder Bay, Ontario: Ontario Ministry of Natural Resources, Northwest Science & Technology, 1999, 22 p.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Dados do Zoneamento **Ecológico-econômico da área de influência da Rodovia BR-163, 2003**. Disponível em: <<<http://zeebr163.cpatu.embrapa.br/index.php#>>>. Acesso em: out. 2010.

ESCADA, M. I. S. Evolução de padrões de uso e cobertura da terra na região Centro-Norte de Rondônia. 2003. 264 p. (INPE-10209-TDI/899). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2003. Disponível em: <<<http://urlib.net/sid.inpe.br/jeferson/2003/06.30.13.31>>. Acesso em: 03 dez. 2010.

ESCADA, M. I. S.; VIEIRA, I. C. G.; KAMPEL, S. A.; ARAÚJO, R.; VEIGA, J. B.; AGUIAR, A. P. D.; VEIGA, I.; OLIVEIRA, M.; PEREIRA, J. L. G.; CARNEIRO-FILHO, A.; FEARNSIDE, P. M.; VENTURIERI, A.; CARRIELLO, F.; THALES, M.; CARNEIRO, T. S.G.; MONTEIRO, A. M.; CÂMARA, G. Processos de ocupação nas novas fronteiras da Amazônia (o interflúvio do Xingu/Iriri). **Estudos Avançados**, v. 19, n.54, p.9-23, 2005

ESCADA, M. I. S.; AMARAL, S.; RENNÓ, C. D.; PINHEIRO, T. F. **Levantamento do uso e cobertura da terra e da rede de infra-estrutura no distrito florestal da br-163**. São José dos Campos: INPE, 2009. 52 p. (INPE-15739-RPQ/824). Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2009/04.24.14.45>>. Acesso em: 03 dez. 2010.

ESCADA, M. S. **Análise da Expansão da fronteira agropecuária da Amazônia 1997 a 2009**. VII Seminário técnico científico de análise dos dados do desmatamento. Brasília, 2010. disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes/seminario2010/INPE_GEOMA_maio_2010.pdf.>> Acesso em: nov. 2010.

ESRI. ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **ArcGIS Professional GIS for the desktop**, versão 9.2, 2006.

EWERS, R. M.; LAURANCE, W. F. Scale-dependent patterns of deforestation in the Brazilian Amazon. **Environmental Conservation**, v. 33, n.3, p. 203-211, 2006.

FANG, C.; WEN, H.; YIRONG, W.; POTTIER, E. The comparison of the V-Fold and the Monte-Carlo cross validation to estimate the number of clusters for the fully polarimetric SAR data segmentation. **IEEE**, p. 2485-2486, 2007.

FARINA, A. **Principles and methods in landscape ecology**. New York: Chapman & Hall Ltda., 1998, 235 p. ISBN (0 412 73040 5)

FEARNSIDE, P. M. Desmatamento e desenvolvimento agrícola na Amazônia Brasileira. In: **Amazônia: A fronteira agrícola 20 anos depois**. Belém: Museu paraense Emílio Goeldi, p. 207-222, 1991.

FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia brasileira: história, índices e conseqüências. **Megadiversidade**, v. n. 1, p. 113-123, jul. 2005.

FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. **Acta Amazônica**, v. 36, n. 3, p 395-400, 2006.

FERRAZ, S. F. B.; VETTORAZZI, C. A.; THEOBALD, D. M.; BALLESTER, M. V. R. Landscape dynamics of Amazonian deforestation between 1984 and 2002 in central Rondônia, Brazil: assessment and future scenarios. **Forest ecology and management**, v. 204, p. 67-83, 2005.

FERREIRA, L., F.; VENTICINQUE, E.; ALMEIDA, S. O desmatamento na Amazônia e a importância das áreas protegidas. **Estudos Avançados**, v. 19, n. 53, p.159-166, 2005.

FITZSIMMONS, M. Effects of deforestation and reforestation on landscape spatial structure in boreal Saskatchewan, Canadá. **Forest Ecology and Management**, n.174, p. 577-592, 2003.

FORMAN, R. T. T. **Land mosaics: the ecology of landscapes and regions**. Cambridge: Cambridge University Press, 1995, 632 p. ISBN (0 521 47462 0).

FROHN, R. C. **Remote Sensing for landscape ecology: New metrics indicators for monitoring, modeling, and assessment of ecosystems**. Boca raton: Lewis Publisher, 1998, 99 p.

FUNDAÇÃO NACIONAL DO ÍNDIO (FUNAI).. **Dados espaciais de terras indígenas**, 2010. Disponível em: <<<http://www.funai.gov.br/>>>. Acesso em: out. 2010.

GOLDSCHMIDT, R.; PASSOS, E. **Data mining um guia prático**. Rio de janeiro: Elsevier, 2005, 261 p. ISBN (85-352-1877-7).

GRUPO DE TRABALHO INTERMINISTERIAL. **Plano de desenvolvimento regional sustentável para a área de influência da rodovia BR-163 Cuiabá-Santarém**. Brasília: Coordenação da Casa Civil da Presidência da República, jun. 2006, 184 p.

HAND, D.; MANNILA, H.; SMYTH, P. Principles of data mining. USA: Massachusetts Institute of Technology, 2001, 546 p. ISBN (0-262-08290-X)

HOGAN, D. J.; D'ANTONA, A. O.; CARMO, R. L. Dinâmica demográfica recente da Amazônia. In: BATISTELLA, M.; MORAN, E. F.; ALVES, D. S. **Amazônia: natureza e sociedade em transformação**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 304 p., 2008. ISBN (978-85-314-1126-7)

HUANG, C.; GEIGER, E. L.; KUPFRE, J. A. Sensitivity of landscape metrics to classification scheme. **International Journal of Remote Sensing**, v. 27, n. 14, p. 2927-2948, 20 jul. 2006.

HUDSON, W. D.; RAMM, C. M. Correct formulation of the Kappa coefficient of agreement. **Photogrammetric Engineering e Remote Sensing**, v. 53, n.4, p.421-422, 1987.

HUSSON, A.; FONTÈS, J.; JEANJEAN, H.; MIQUEL, C.; PUIG, H.; SOLIER, C. Study of forest non-forest interface: Tipology of fragmentation of tropical forest. **TREES Series B**, Research Report n.2, European Commission, EUR 16291 EN, 1995.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mapas interativos**, 2005a. Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/>>. Acesso em: fev. 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mapeamento de unidades territoriais**, 2005b. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/default_prod.shtm#TOPO>>. Acesso em: set. 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA (INCRA). **Dados de assentamentos de reforma agrária**, 2005.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Dados do SPRING**, 2006. Disponível em: <<<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/banco.html>>>. Acesso em: out. 2010;

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **GeoDMA, Geographical Data Mining Analyst**, 2007. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/geodma/?lingua=portugues>>. Acesso em: Jan. 2009.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Relatório PRODES 2008**, 2008. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/prodes/Relatorio_Prodes2008.pdf>. Acesso em: Fev. 2009.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Banco de dados PRODES**, 2010a. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/prodesdigital/prodes.php>>. Acesso em: Jan. 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **TerraView**, 2010b. Disponível em: <<<http://www.dpi.inpe.br/terraview/php/dow.php?body=Dow>>>. Acesso em: Jul. 2010.

INSTITUTO RAONI. **Controle dos limites das reservas contra invasões ilegais**. 2005. Disponível em: <<<http://www.raoni-institute.org/index2.php?lang=pt&page=reservation>>> Acesso em: out. 2010.

KOHLHEPP, G. Conflitos de interesse no ordenamento territorial da Amazônia brasileira. **Estudos avançados**, v. 16, n. 45, p. 37-61, 2002. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON DATA MINING WORKSHOPS - ICDMW '08, 2008, Pisa, Italy. **Proceedings...** Pisa: IEEE, 2008.

KORTING, T. S.; FONSECA, L. M.; ESCADA, M. I. S.; CÂMARA, G. GeoDMA- Um sistema para mineração de dados de sensoriamento remoto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009, p. 7813-7820 DVD, on-line. ISBN (978-85-17-0004-7).

LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da Paisagem com SIG**. Tradução, KUX, H. São Paulo: Oficina de textos, 2009, 424 p. ISBN 978-85-86238-78-9.

LI, D.; WANG, S. **Concepts, principles and applications of spatial data mining and knowledge discovery**. Beijing: ISSTN, aug. 27-29, 2005. 13 p.

LUI, G. H.; MOLINA, S. M. G. Ocupação humana e transformação das paisagens na Amazônia brasileira. **Amazônica - Revista de antropologia**, v. 1, n. 1, 2009. Disponível em: <<<http://www.periodicos.ufpa.br/index.php/amazonica/article/view/156/229>>>. Acesso em: set. 2010.

MAINON, O; ROKACH, L. **Data mining and knowledge discovery handbook**. 2. ed. New York: Springer, 2010, 1285 p. ISBN (978-0-387-09822-7)

MCGARIGAL, K.; MARKS, B. J. FRAGSTATS: **Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure**. Washington: United State Department of

Agriculture, 132 p., ag. 1995. (Pacific Northwest Research Station General Technical Report PNW-GTR-351).

MARGULIS, S. **Causas do desmatamento na Amazônia Brasileira**. Brasília: Banco Mundial, 2003, 100 p., ISBN (85-88192-10-1).

MERTENS B.; LAMBIN, E. F. Spatial modeling of deforestation in southern Cameroon. Spatial disaggregation of diverse deforestation processes. **Applied Geography**, v. 17, n.2, p. 143-162, 1997.

MILLER, H. J.; HAN, J. Geographic data mining and knowledge Discovery an overview. In: MILLER, H. J.; HAN, J. **Geographic data mining and knowledge discovery**. 2. ed. London: Taylor and Francis, 2009, 443 p. ISBN (978-1-4200-7397-3).

MORAN, E. F. **A ecologia humana das populações da Amazônia**. Petrópolis: Vozes, 1990, 367 p. ISBN (85-326-0297-5).

MORAN, E. F.; BRONDÍZIO, E.; BATISTELLA, M. Trajetórias de desmatamento e uso da terra na Amazônia brasileira: uma análise multiescalar. In: BATISTELLA, M.; MORAN, E. F.; ALVES, D. S. **Amazônia: natureza e sociedade em transformação**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 304 p., 2008. ISBN (978-85-314-1126-7)

MOREIRA, J.S. A. **Elementos de estatística**. São Paulo: Editora Atlas, 170 p., 1968.

MUSICK, H. B.; GROVER, H. D. Image textural measures as indices of landscape pattern. In: TURNER, M. G.; GARDNER, R. H. (eds.). **Quantitative methods in landscape ecology**. New York: Springer-Verlag, p. 77-103, 1991.

NEVES, M. C.; FREITAS, C. C.; CÂMARA, G. **Mineração de dados em grandes bancos de dados geográficos**. São José dos Campos: INPE, nov. 2001, 34 p.

OLIVEIRA, A. E. Ocupação Humana. In: SALATI, E. **Amazônia: desenvolvimento, integração e ecologia**. São Paulo: Brasiliense, 1983, 327 p.

OLIVEIRA FILHO, F. J. B.; METZGER, J. P. Threshold in landscape structure for three common deforestation patterns in the Brazilian Amazon. **Landscape Ecology**, n. 21, p. 1061-1073, 2006.

PEDLOWSKI, M. A.; DALE, V. H.; MATRICARDI, E. A. T.; SIVA FILHO, E. P. Patterns and impacts of deforestation in Rondônia, Brazil. **Landscape and urban planning**, n. 38, p. 149-157, 1997.

RUBISTEIN, R. Y. **Simulation and the Monte Carlo method**. Canada: John Wiley & Sons, 1981, 282 p. (ISBN 0-471-08917-6).

SALATI, E. Modificações da Amazônia nos últimos 300 anos: suas conseqüências sociais e ecológicas. In: BRITO, S. S. **Desafio amazônico o futuro da civilização dos trópicos**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1990, 247 p. ISBN (85-230-0298-7).

SAMPAIO, L. S.; COSTA, R. G. C. Estradas e suas relações sociambientais. In: PORRO, R. (ed.). **Alternativa agroflorestal na Amazônia em transformação**. Brasília: Embrapa informação tecnológica, 2009, 825 p. ISBN (978-85-7383-455-0)

SHUBART, H. O. R. Ecologia e utilização das florestas. In: SALATI, E. **Amazônia: desenvolvimento, integração e ecologia**. São Paulo: Brasiliense, 1983, 327 p.

SILVA, M. P. S.; CÂMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; VALERIANO, D. M.; ESCADA, M. I. S. Mining patterns of change in remote sensing image databases. In: Workshop dos Cursos de Computação Aplicada do Inpe, 5. (WORCAP), 2005, São José dos Campos. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. CD-ROM, On-line. Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/hermes2@1905/2005/10.03.07.12>>. Acesso em: 03 dez. 2010.

SILVA, F. C.; KORTING, T. S.; FONSECA, L. M. G.; ESCADA, M. I. S. Deforestation pattern characterization in the Brazilian Amazonia. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13. (SBSR), 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 6207-6214. CD-ROM; On-line. ISBN 978-85-17-00031-7. Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.18.01.06>>. Acesso em: Fev. 2009.

SILVA, M. P. S.; CÂMARA, G.; ESCADA, M. I. S.; SOUZA, R. C. M. Remote-sensing image mining: detecting agents of land-use change in tropical forest areas. **International Journal of Remote Sensing**, v.29, n.16, p. 4803-4822, ag. 2008.

THE NATURE CONSERVANCY (TNC). **Dados de áreas de soja no município de Santarém**, 2010.

TURNER, M. G.; GARDNER, R. H.; O'NEILL, R. V. **Landscape ecology: in the theory and practice, pattern and process**. New York: Springer-Verlag, 2001, 401 p. ISBN (0-387-95122-9).

WU, J.; JELINSKI, D. E.; LUCK, M.; TUELLER, P. T. Multiscale analysis of landscape heterogeneity: scale variance and pattern metrics. **Geographic Information Sciences**, v. 6, n.1, p. 6-19, 2000.

WU, J.; Effects of changing scale on landscape pattern analysis: scaling relations. **Landscape ecology**, v. 19, p. 125-138, 2004.

APÊNDICE A - MÉTRICAS DA PAISAGEM

Índices de mancha/ área

- Número de manchas (NumP): número total de manchas na paisagem. $NumP \geq 1$ sem limite. NumP=1 quando a paisagem possui unicamente uma mancha que corresponde ao tipo de classe de interesse.

$$NumP = n_i \quad (A.1)$$

- *Percent LAND* (%LAND): porcentagem de paisagem desmatada, $0 < \%LAND \leq 100$. %LAND=0 para paisagens sem desmatamento.

$$\%LAND = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{A} (100) \quad (A.2)$$

- *Class Area* (CA): é uma medida da composição da paisagem representada pela soma de áreas de todos os fragmentos de determinada classe em hectares (ha). $CA > 0$;

$$CA = \sum_{j=1}^n a_{ij} \left(\frac{1}{10.000} \right) \quad (A.3)$$

O valor de CA aproxima-se de 0 quando há poucas manchas da classe na paisagem.

Índices de Borda

- *Total Edge* (TE): é a soma de todas as bordas das manchas, ou seja, soma dos perímetros das manchas. $TE \geq 0$, em metros. TE=0 quando não há nenhuma mancha na paisagem.

$$TE = \sum_{k=1}^m e_{ik} \quad (\text{A.4})$$

- *Edge Density* (ED): quantidade de borda em relação à área de paisagem dado em metros por hectare. $ED \geq 0$, ED=0 quando não há nenhuma classe com borda na paisagem.

$$ED = \frac{\sum_{k=1}^m e_{ik}}{A} (10.000) \quad (\text{A.5})$$

Índices de Tamanho

- *Mean Patch Size* (MPS): média do tamanho da mancha dado em hectares (ha), sendo MPS>0.

$$MPS = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{n_i} \left(\frac{1}{10.000} \right) \quad (\text{A.6})$$

- *Patch Size Standart Deviation* (PSSD): desvio padrão das áreas das manchas. $PSSD \geq 0$, dado em hectares. PSSD=0 quando todas as manchas são do mesmo tamanho ou quando há uma única mancha na paisagem.

$$PSSD = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n \left[a_{ij} - \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{n_i} \right]^2}{n_i}} \left(\frac{1}{10.000} \right) \quad (A.7)$$

- *Patch Size Coefficient of variation* (PSCOV): é o coeficiente de variação das manchas. $PSCOV \geq 0$ dado em porcentagem. Este é o coeficiente de variação da população, e não o coeficiente de amostra variação. Mede a variabilidade do tamanho relativo em relação a média de tamanho.

$$PSCOV = \frac{PSSD}{MPS} (100) \quad (A.8)$$

Índices de forma

- *Landscape Shape Index* (LSI): mede a complexidade de forma das manchas, $LSI \geq 1$ sem limite. $LSI = 1$ quando a paisagem consiste de uma única mancha com forma circulas ou retangular.

$$LSI = \frac{\sum_{k=1}^m e_{ik}}{2\sqrt{\pi \circ A}} \quad (A.9)$$

- *Mean Patch Fractal Dimension* (MPFD): mede a dimensão fractal média das manchas. $1 \leq MPFD \leq 2$, mede a irregularidade ou complexidade de forma da mancha.

$$MPFD = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left(\frac{2 \ln p_{ij}}{\ln a_{ij}} \right)}{n_i} \quad (A.10)$$

MPFD se aproxima de 1, para manchas com formas muito simples, como círculos ou retângulos, e tende para 2 para manchas de formas mais complexas.

- *Area Weight Mean Patch Fractal Dimension (AWMPFD)*: dimensão fractal da mancha média ponderada pela área das manchas na paisagem;

$$AWMPFD = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[\left(\frac{2 \ln p_{ij}}{\ln a_{ij}} \right) \left(\frac{a_{ij}}{A} \right) \right] \quad (A.11)$$

$1 \leq AWMPFD \leq 2$, mede a irregularidade ou complexidade da forma da mancha. AWMPFD aproxima-se de 1 para manchas com forma mais simples, como círculos ou retângulos e aproxima-se de 2 quando as manchas possuem forma mais complexa.

- *Mean Perimeter-Area Ratio (MPAR)*: é a razão do perímetro médio pela área de cada mancha dividido pelo número de manchas na paisagem. $MPAR \geq 0$ e é dado em m/ha. Este índice mede a complexidade do polígono.

$$MPAR = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \frac{p_{ij}}{a_{ij}}}{n_i} \quad (A.12)$$

- *Mean Shape Index (MSI)*: é a média da razão do perímetro pela raiz quadrada da área dividido pelo número de manchas;

$$MSI = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left(\frac{p_{ij}}{2\sqrt{\pi \circ a_{ij}}} \right)}{n_i} \quad (A.13)$$

Não há unidade e $MSI \geq 1$. $MSI=1$ quando todas as manchas são circulares ou retangulares (dado vetorial).

- *Area Weight Mean Shape Index (AWMSI)*: é a razão entre o perímetro e a raiz quadrada da área, ponderado pela área da mancha de modo que as manchas maiores pesam mais do que os menores, sendo que $AWMSI \geq 1$;

$$AWMSI = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[\left(\frac{p_{ij}}{2\sqrt{\pi \cdot a_{ij}}} \right) \left(\frac{a_{ij}}{A} \right) \right] \quad (A.14)$$

AWMSI=1 se todas as manchas são circulares ou retangulares. Esse índice aumenta conforme a complexidade dos polígonos aumenta, ou seja, conforme as formas tornam-se mais irregulares.

APÊNDICE B - MEDIANA PARA CADA PADRÃO DE DESMATAMENTO

Tabela B.1 - Mediana das métricas MPS e ED para cada tamanho de célula e tipo de padrão de desmatamento.

Padrão de desmatamento	Mediana				
	<i>Mean Patch Size (MPS>0)</i>				
	Tamanho de célula (km)				
	25	40	50	60	70
CONSOLIDADO	14729,89	9762,92	9762,92	5200,10	3589,93
DIFUSO	4,90	4,71	4,93	5,22	6,33
ESPINHA DE PEIXE	303,68	288,29	251,62	228,43	235,14
GEOMÉTRICO REG.	653,44	712,59	806,87	748,04	541,86
ILHA	145,78	119,76	89,66	68,92	73,92
MULT. ORD.	42,35	51,43	54,54	55,78	53,35
MULT. DES.	354,20	369,00	265,52	246,63	237,02
UNID.LINEAR	173,55	133,05	88,95	114,56	106,84
	<i>Edge Density (ED≥0)</i>				
	Tamanho de célula (km)				
	25	40	50	60	70
	CONSOLIDADO	5,40	5,18	5,18	5,71
DIFUSO	152,88	156,08	156,15	150,41	141,16
ESPINHA DE PEIXE	24,96	24,83	26,67	26,54	25,29
GEOMÉTRICO REG.	12,26	12,12	11,14	12,00	13,49
ILHA	22,37	27,22	30,31	32,51	34,13
MULT. ORD.	55,65	50,48	46,66	46,01	47,74
MULT. DES.	25,82	25,06	27,24	27,54	28,15
UNID.LINEAR	32,91	35,69	39,12	38,93	38,14

Tabela B.2 - Mediana das métricas MPFD, AWMPFD, MPAR para cada tamanho de célula e tipo de padrão de desmatamento.

Padrão de desmatamento	Mediana				
	<i>Mean Patch Fractal Dimension (1≤MPFD≤2)</i>				
	Tamanho de célula (km)				
	25	40	50	60	70
CONSOLIDADO	1,28	1,30	1,30	1,29	1,30
DIFUSO	1,28	1,29	1,29	1,29	1,29
ESPINHA DE PEIXE	1,28	1,29	1,28	1,28	1,28
GEOMÉTRICO REG.	1,23	1,23	1,24	1,25	1,25
ILHA	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28
MULT. ORD.	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28
MULT. DES.	1,28	1,27	1,28	1,28	1,28
UNID.LINEAR	1,28	1,27	1,27	1,28	1,28
Padrão de desmatamento	<i>Area Weight Mean Shape Index (1≤AWMPFD≤2)</i>				
	Tamanho de célula (km)				
	25	40	50	60	70
CONSOLIDADO	1,25	1,28	1,28	1,31	1,31
DIFUSO	1,26	1,26	1,26	1,26	1,26
ESPINHA DE PEIXE	1,34	1,36	1,36	1,36	1,37
GEOMÉTRICO REG.	1,20	1,20	1,21	1,21	1,21
ILHA	1,29	1,28	1,28	1,28	1,28
MULT. ORD.	1,26	1,27	1,28	1,28	1,28
MULT. DES.	1,33	1,36	1,37	1,37	1,37
UNID.LINEAR	1,31	1,32	1,31	1,31	1,32
Padrão de desmatamento	<i>Mean Perimeter-Area Ratio (MPAR≥0)</i>				
	Tamanho de célula (km)				
	25	40	50	60	70
CONSOLIDADO	349,65	452,82	452,82	418,96	413,53
DIFUSO	393,97	388,16	397,95	386,34	388,70
ESPINHA DE PEIXE	308,71	342,59	305,50	306,93	313,64
GEOMÉTRICO REG.	94,55	115,89	127,44	162,06	160,33
ILHA	334,19	321,45	330,38	335,14	332,02
MULT. ORD.	294,49	285,28	292,87	316,43	287,15
MULT. DES.	285,34	277,85	281,65	306,46	287,04
UNID.LINEAR	246,35	261,65	275,07	304,82	284,18

Tabela B.3 - Mediana das métricas MSI, AWMSI, PSSD e PSCOV para cada tamanho de célula e tipo de padrão de desmatamento.

Padrão de desmatamento	Mediana				
	<i>Mean Shape Index (MSI\geq1)</i>				
	Tamanho de célula (km)				
	25	40	50	60	70
CONSOLIDADO	1,63	1,43	1,43	1,29	1,28
DIFUSO	1,15	1,15	1,15	1,16	1,17
ESPINHA DE PEIXE	1,33	1,29	1,31	1,31	1,30
GEOMÉTRICO REG.	1,33	1,37	1,36	1,37	1,38
ILHA	1,24	1,24	1,23	1,23	1,22
MULT. ORD.	1,28	1,29	1,29	1,29	1,28
MULT. DES.	1,37	1,34	1,32	1,31	1,30
UNID.LINEAR	1,35	1,32	1,28	1,34	1,33
Padrão de desmatamento	<i>Area Weight Mean Shape Index (AWMSI\geq1)</i>				
	Tamanho de célula (km)				
	25	40	50	60	70
CONSOLIDADO	3,63	5,20	5,20	8,02	8,71
DIFUSO	1,27	1,25	1,25	1,33	1,32
ESPINHA DE PEIXE	7,26	9,20	10,47	11,50	12,20
GEOMÉTRICO REG.	1,42	1,54	1,62	1,65	1,72
ILHA	3,40	3,35	3,45	3,38	3,44
MULT. ORD.	1,91	2,22	2,36	2,66	3,00
MULT. DES.	6,27	11,12	13,06	14,76	16,16
UNID.LINEAR	3,98	4,93	4,81	5,29	5,20
Padrão de desmatamento	<i>Patch Size Standart Deviation (PSSD\geq0)</i>				
	Tamanho de célula (km)				
	25	40	50	60	70
CONSOLIDADO	15990,97	34046,05	35898,40	38356,33	35561,27
DIFUSO	7,82	8,12	11,13	13,68	16,06
ESPINHA DE PEIXE	1988,60	3034,03	3155,25	3617,49	4193,71
GEOMÉTRICO REG.	882,23	1474,81	1653,75	1490,99	1428,70
ILHA	938,28	823,11	685,83	640,38	647,21
MULT. ORD.	121,15	175,68	231,16	235,74	324,90
MULT. DES.	2000,19	3629,26	3928,83	4185,95	4403,70
UNID.LINEAR	845,25	744,89	620,25	669,80	689,75

(Continua)

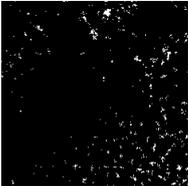
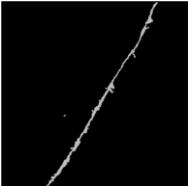
Tabela B.3 - (Continuação)

Padrão de desmatamento	<i>Patch Size Coefficient of variation (PSCOV≥0)</i>				
	Tamanho de célula (km)				
	25	40	50	60	70
CONSOLIDADO	159,02	367,04	367,04	743,84	887,02
DIFUSO	147,84	161,11	173,49	196,04	207,93
ESPINHA DE PEIXE	773,52	1072,69	1236,87	1368,21	1604,95
GEOMÉTRICO REG.	141,89	178,20	213,13	226,43	246,72
ILHA	485,93	534,93	595,30	632,30	710,00
MULT. ORD (HIDROG).	266,53	354,35	414,81	466,46	510,80
MULT. DES.	619,85	1057,72	1158,06	1442,48	1735,02
UNID.LINEAR	381,65	526,73	768,57	678,79	806,00

APÊNDICE C - TIPOLOGIA DE PARÃO DE OCUPAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO I

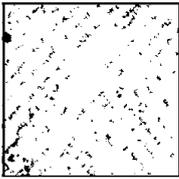
Tabela C.1 apresenta a tipologia de ocupação da área de estudo I na qual os seguintes padrões foram encontrados: consolidado, difuso, espinha de peixe, geométrico regular, multidirecional desordenado e linear.

Tabela C.1 - Tipologia de padrão desmatamento associados à ocupação humana para área de estudo I.

PRODES 2007- Amazônia Legal	Padrão de Desflorestamento	Descrição Escala 1:100.000	Semântica Padrão de Ocupação
 Xapuri - AC	Difuso	-Manchas pequenas, isoladas; -Forma variada, irregular; -Baixa a média densidade; -Distribuição uniforme.	-Áreas de ocupação espontânea; -Pequenos estabelecimentos rurais; -Atividades econômicas: agricultura e pecuária de subsistência, silvicultura, pesca e extração madeireira; -Estágio inicial de ocupação.
 Jacareacanga-PA	Linear	-Manchas médias e grandes; - Manchas de forma alongada dispostas ao longo de hidrografia ou vias de acesso; - Baixa densidade.	-Ocupação ribeirinha; -Ocupação ao longo de estradas e vias de acesso; -Pequenos e médios estabelecimentos rurais; -Atividades econômicas: agricultura familiar, pecuária, pesca. -Estágio inicial a intermediário de ocupação.
 Nova Maringá-MT	Geométrico regular	-Manchas médias a grandes e isoladas; -Forma geométrica regular; -Baixa a média densidade.	- Médios e grandes estabelecimentos rurais. -Atividades econômicas : agricultura, principalmente monoculturas de grãos e pecuária de média a larga escala, extração madeireira, empresários; -Estágio intermediário de ocupação.
 Placas-PA	Espinha de Peixe	-Manchas grandes alongadas e lineares com ramificações semelhantes à vértebra de peixe; -Média densidade.	-Áreas de projeto de Assentamento rural do INCRA; -Pequenos e médios estabelecimentos rurais; -Atividades econômicas: agricultura familiar, pequena pecuária; - Estágio intermediário de ocupação.

(Continua)

Tabela C.1 - (Continuação).

PRODES 2007- Amazônia Legal	Padrão de Desflorestamento	Descrição Escala 1:100.000	Semântica Padrão de Ocupação
 <p>Rio Branco-AC</p>	Multidirecional desordenado	<ul style="list-style-type: none"> -Manchas pequenas, médias e grandes; -Manchas de formas variadas, irregulares, complexidade elevada; -Média, alta densidade; -Multidirecional. 	<ul style="list-style-type: none"> -Pode haver concentração fundiária; -Pequenos, médios e grandes estabelecimentos rurais; -Atividades econômicas: agricultura, pecuária, extração madeireira; - Estágio intermediário de ocupação, muitas vezes espontânea.
 <p>Jarú, Ouro Preto do Oeste, - RO</p>	Consolidado	<ul style="list-style-type: none"> -Manchas grandes e contínuas de desmatamento; -Forma variada; -Densidade baixa e áreas pequenas de remanescentes florestais; -Manchas compactas. 	<ul style="list-style-type: none"> -Concentração fundiária; -Pequenos, médios e grandes estabelecimentos rurais; - Atividades econômicas: agricultura, pecuária de pequena a larga escala, empresários; -Esgotamento da floresta; - Fragmentação florestal; -Estágio avançado de ocupação.

 Desmatamento

 Floresta

APÊNDICE D - TIPOLOGIA DE PADRÃO DE OCUPAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO II

A Tabela D.1 apresenta a tipologia de ocupação para a área de estudo II, região do Baixo Tapajós com os seguintes padrões: consolidado, difuso, geométrico regular, multidirecional desordenado e linear.

Tabela D.1 - Tipologia de padrão desmatamento associados à ocupação humana para área de estudo II.

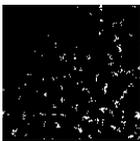
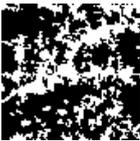
PRODES 1997- Amazônia Legal (célula 10 km)	Padrão de Desmatamento	Descrição Escala 1:100.000	Semântica Padrão de Ocupação
	Difuso	-Manchas pequenas, isoladas; -Forma variada, irregular; -Baixa a média densidade; -Distribuição uniforme.	-Áreas de ocupação espontânea; -Pequenos estabelecimentos rurais; -Atividades econômicas: agricultura e pecuária de subsistência, silvicultura, pesca e extração de madeira; -Estágio inicial de ocupação, ou ocupação pouco dinâmica.
	Linear	-Manchas médias e grandes; - Manchas de forma alongada dispostas ao longo dos rios ou das vias de acesso; - Baixa densidade.	-Ocupação ribeirinha; -Ocupação ao longo de estradas e vias de acesso; -Pequenos e médios estabelecimentos rurais; -Atividades econômicas: agricultura familiar, pecuária, pesca. -Estágio inicial a intermediário de ocupação.
	Geométrico Regular	-Manchas médias a grandes e isoladas; -Forma geométrica regular; -Baixa a média densidade.	- Médios e grandes estabelecimentos rurais. -Atividades econômicas: agricultura, principalmente monoculturas de grãos e pecuária de média a larga escala; -Estágio intermediário de ocupação.
	Multidirecional desordenado	-Manchas pequenas, médias e grandes; -Manchas de formas variadas, irregulares, complexidade elevada; -Média, alta densidade; -Multidirecional.	-Pode haver concentração fundiária; -Pequenos, médios e grandes estabelecimentos rurais; -Atividades econômicas: agricultura, pecuária, extração madeireira; - Estágio intermediário de ocupação, com início muitas vezes espontâneo.

Tabela D.1 - (Continuação).

PRODES 1997- Amazônia Legal (célula 10 km)	Padrão de Desmatamento	Descrição Escala 1:100.000	Semântica Padrão de Ocupação
	Consolidado	<ul style="list-style-type: none"> -Manchas grandes e contínuas de desmatamento; -Forma variada; -Densidade baixa e áreas pequenas de remanescentes florestais; -Manchas compactadas de desmatamento. 	<ul style="list-style-type: none"> -Concentração fundiária; -Pequenos, médios e grandes estabelecimentos rurais; - Atividades econômicas: agricultura, pecuária de pequena a larga escala, empresários; -Esgotamento da floresta; - Fragmentação florestal; -Estágio avançado de ocupação.
<p> Desmatamento</p> <p> Floresta</p>			