

**MUDANÇAS NO USO E COBERTURA DO SOLO NA
FRONTEIRA AGRÍCOLA DA AMAZÔNIA OCIDENTAL,
BACIA DO JI-PARANÁ – RONDÔNIA**

LAÍS DE CARVALHO HANADA

Engenheiro Agrônomo

Orientadora: Profa. Dra. MARIA VICTORIA RAMOS BALLESTER

Dissertação apresentada à Escola Superior de
Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São
Paulo, para obtenção do título de Mestre em Ecologia
de Agroecossistemas.

P I R A C I C A B A

Estado de São Paulo – Brasil

Setembro - 2004

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Hanada, Laís Carvalho

Mudanças no uso e cobertura do solo na fronteira agrícola da Amazônia Ocidental
Bacia do Ji-Paraná – Rondônia / Laís Carvalho Hanada. - - Piracicaba, 2004.
74 p. : il.

Dissertação (mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2004.
Bibliografia.

1. Bacia hidrográfica 2. Biodiversidade 3. Cobertura do solo 4. Desmatamento
5. Ji-Paraná, Rio 6. Rondônia 7. Uso do solo I. Título

CDD 634.98

Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor

**Aos meus pais, Maria Inês e Carlos Hanada,
pelo carinho, compreensão e apoio**

**Ao meu querido Vinícius Maia Costa (Vico),
pela paciência e enorme carinho**

Dedico

AGRADECIMENTOS

Aos meus orientadores, Maria Victoria Ballester e Reynaldo Luiz Victoria, pela oportunidade, orientação e paciência na realização deste trabalho;

Ao comitê de orientação, Carlos Alberto Vettorazzi e Jean Paul Metzger, pelo apoio e pelas preciosas sugestões bastante enriquecedoras para o desenrolar do projeto;

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela concessão da bolsa de estudo, assim como os recursos de reservas técnicas;

Aos meus queridos amigos do Laboratório de Geoprocessamento e Isótopos Estáveis do CENA que me conquistaram no decorrer dessa tese, cada um com seu jeitinho e experiência de vida. Agradeço a vocês: Cátia, Nei, Willian, Zé Má, Vânia, Michelle, Santiago, Fátima, Adriana (Colombiana), Sérgio, Daniel, André, Vânia Korman, Gabi.

Ao colega André Toledo pela ajuda no trabalho de campo, que foi de extrema importância para o andamento do projeto e ao escritório regional do LBA-NASA em Rondônia pelo apoio, em especial a Keila.

À Dra. Maria Isabel Escada, ao Prof. Dr. Luiz Martinelli (Zebu) e à Roberta Valente pela atenção recebida e sugestões;

Marina e Marisol (Hering), agradeço pela ajuda e companherismo na finalização do trabalho, sem vocês os últimos dias seriam mais árduos;

Ao SEDAM, em especial ao Dr. Cláudio Fernandes pela ajuda e esclarecimentos;

À minhas grandes amigas que estiveram ao meu lado, Marina Fleury e Flávia; nas alegrias, tristezas e desesperos, Ah, pra você também Fabi, minha inesquecível e inacreditável amiga (Agradeço a todas de coração!);

À minha família querida, Maria Inês de Carvalho e Silva Hanada, Carlos Noboru Hanada, Carlinhos e Marisa, Elisa e meu querido recém-cunhadinho Lineu e, à você Mink.

Aos funcionários da Biblioteca Central, especialmente Eliana e Silvia, pela paciência nas correções deste documento;

A todos aqueles que direta e indiretamente contribuíram para a execução deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	x
RESUMO.....	xii
SUMMARY.....	xiv
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	5
2.1 Áreas desmatadas na Amazônia.....	5
2.2 Causas do desmatamento.....	9
2.3 Consequências do desmatamento.....	11
2.4 Ecologia da Paisagem.....	12
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	14
3.1 Localização e descrição da área de estudo.....	14
3.2 Mapeamento do uso e cobertura do solo da bacia do Ji-Paraná.....	16
3.2.1 Pré-processamento das imagens: correção geométrica.....	16
3.2.2 Método de classificação.....	19
3.2.3 Verificação da acurácia do mapa de uso e cobertura da terra de 2001.....	20
3.2.4 Avaliação das mudanças espaciais e temporais no uso e cobertura do solo.....	24
3.2.5 Fatores físicos e antrópicos analisados.....	25
3.2.6 Reclassificação dos Mapas Temáticos e Análise via Tabulação Cruzada.....	27
3.2.7 Análise Estatística.....	32
3.2.8 Caracterização da paisagem bacia do Ji-Paraná através Índices da Paisagem	34
4 RESULTADOS.....	36

4.1 Série histórica de uso e cobertura do solo da bacia do Ji-Paraná.....	36
4.1.1 Acurácia da classificação.....	36
4.1.2 Mudanças espaciais e temporais na cobertura do solo: áreas totais por classe..	38
4.1.3 Mudanças de uso e cobertura do solo por categoria na bacia do Ji-Paraná.....	41
4.1.4 Tabulação cruzada.....	43
4.1.5 Métricas da paisagem.....	46
4.1.6 Análise Estatística: Desmatamento x Fertilidade e distância das estradas.....	52
5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	53
6 CONCLUSÕES.....	64
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65

LISTA DE FIGURAS

	Página
1 Evolução temporal da taxa média de desmatamento na Amazônia (km ² .ano ⁻¹) e nos quatro estados brasileiros mais desflorestados (INPE 2003).....	6
2 Mapa das áreas desmatadas na Amazônia legal brasileira até 1999, com destaque para a localização do arco do desmatamento (Fonte: IBAMA 1999.....	8
3 Localização da área de estudo. Destaque: Bacia do rio Ji-Paraná – Rondônia.....	14
4 Classes de uso e cobertura do solo da Bacia do Ji-Paraná – 2002.....	18
5 Curvas de comportamento espectral das classes de uso e cobertura do solo da bacia do Ji-Paraná, como exemplo, a cena 230_068 do ano de 1996.....	19
6 Pontos de controle obtidos na bacia do rio Ji-Paraná no ano de 2002.....	21
7 Desenho esquemático da “Rosa dos Ventos”. Método utilizado para aquisição de informações das coordenadas geográficas e registro fotográfico do ponto de controle no campo.....	22
8 Amostragem de 1041 perfis de solo coletados em Rondônia – SIGTERON.....	26
9 Mapa de saturação de bases (a); Mapa da área tampão de 15 km das principais estradas (b).....	28
10 Mapa de uso e cobertura do solo da bacia do Ji-Paraná (c).....	29
11 Mapa resultante da tabulação cruzada entre as variáveis: Saturação de bases(V%), da área tampão de 15 km das principais estradas e do mapa de uso e cobertura do solo do ano de 2001 da bacia do Ji-Paraná.....	30

12 Fluxograma da metodologia que será utilizada para analisar determinados fatores que influenciaram o processo de desmatamento na bacia do rio Ji-Paraná/RO.....	31
13 Visualização das 24 áreas amostrais (10 x 10km) selecionadas aleatoriamente nos anos de 1986, 1992, 1996 e 2001.....	33
14 Mapas de uso e cobertura do solo: bacia do rio Ji-Paraná, ano de 1986 (a) e ano de 1992 (b).....	39
15 Mapas de uso e cobertura do solo: bacia do rio Ji-Paraná, ano de 1996 (c) e ano de 2001 (d).....	40
16 Porcentagem de floresta nativa na bacia do Ji-Paraná entre os anos de 1986, 1992, 1996 e 2001.....	47
17 Porcentagem de áreas de agrícolas (agropastoril) na bacia do rio Ji-Paraná entre os anos de 1986, 1992, 1996 e 2001.....	48
18 Porcentagem de áreas em regeneração na bacia do Ji-Paraná entre os anos de 1986, 1992, 1996 e 2001.....	48
19 Densidade de borda da classe floresta na bacia do Ji-Paraná entre os anos de 1986 e 2001.....	49
20 Densidade de borda da classe agropastoril entre os anos de 1986, 1992, 1996 e 2001 na bacia do Ji-Paraná.....	50
21 Comparação entre taxas de desmatamento para estado de Rondônia obtidas pelo INPE e na bacia do Ji-Paraná – RO.....	54
22 Localização dos projetos de colonização do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), no estado de Rondônia entre 1970 e 1990.....	56

LISTA DE TABELAS

	Página
1 Participação dos estados de Mato Grosso, Pará e Rondônia no desmatamento da Amazônia brasileira, entre 1998 e 2000 (INPE, 2002).....	8
2 Valores do Índice Kappa e respectivos desempenhos da classificação.....	24
3 Matriz de confusão da classificação de imagens Landsat-7/ETM+, da bacia do Ji-Paraná (RO), referente a 2001.....	37
4 Índice Kappa para cada classe de uso e cobertura do solo, para 2001.....	37
5 Uso e cobertura do solo na bacia do rio Ji-Paraná, nos anos de 1986, 1992, 1996 e 2001.....	38
6 Substituição da classe Floresta para classe Agropastoril e Regeneração nos intervalos de 1986-1992, 1992-1996 e 1996-2001 para toda bacia da Ji-Paraná....	41
7 Substituição da classe Regeneração para classe Agropastoril e Floresta nos intervalos de 1986-1992, 1992-1996 e 1996-2001 para toda bacia da Ji-Paraná....	42
8 Substituição da classe Agropastoril para classe Regeneração e Floresta nos intervalos de 1986-1992, 1992-1996 e 1996-2001 da Ji-Paraná.....	42
9 Áreas das regiões obtidas através da tabulação cruzada – ano 2001.....	43
10 Distribuição das áreas florestas na bacia do Ji-Paraná no ano de 2001.....	45
11 Distribuição das áreas florestas na bacia do Ji-Paraná no ano de 2001.....	45
12 Distribuição das áreas agropastoris na bacia do Ji-Paraná no ano de 2001.....	46
13 Área média dos fragmentos florestais nas diferentes paisagens localizadas na bacia do Ji-Paraná e Desvio padrão.....	51
14 Área média dos fragmentos Agropastoris nas diferentes paisagens localizadas na bacia do Ji-Paraná e Desvio padrão.....	52

15 Taxa de desmatamento (km ² ano ⁻¹) no estado de Rondônia nos períodos estudados neste trabalho	
16 Porcentagem de floresta nativa na bacia do Ji-Paraná entre os anos de 1986, 1992, 1996 e 2001.....	53
16.Taxa de desmatamento na bacia do rio Ji-Paraná, Rondônia.....	54
17 Incremento de habitantes na Bacia do Ji-Paraná entre os anos de 1960 a 2000 (IBGE_2000).....	60

MUDANÇAS NO USO E COBERTURA DO SOLO NA FRONTEIRA AGRÍCOLA DA AMAZÔNIA OCIDENTAL, BACIA DO JI-PARANÁ, RONDÔNIA

Autora: LAIS DE CARVALHO HANADA

Orientadora: MARIA VICTORIA RAMOS BALLESTER

RESUMO

A Amazônica apresenta a maior área contínua de floresta tropical do planeta, com uma extensão aproximada de 7 milhões de km², sendo a maior área localizada em território brasileiro (67,8%). Com toda essa extensão esta região apresenta características geomorfológicas e climáticas distintas. A porção brasileira da Amazônia, conhecida como Amazônia Legal brasileira, vem passando por várias transformação de sua cobertura vegetal nas três últimas décadas. Este processo é o resultado de um complexo produto da implementação de infraestrutura, de fatores econômicos, de políticas governamentais, de características ambientais e culturais, resultando em altas taxas de desmatamento. Mudanças no uso e cobertura do solo podem afetar diversos processos ecológicos como, por exemplo, a biodiversidade, a ciclagem de nutrientes, ciclo das águas, entre outros. A bacia do rio Ji-Paraná, localizada no estado de Rondônia, é um exemplo típico deste padrão de desmatamento na Amazônia ocidental.

Esta região foi objeto da instalação dos principais programas de colonização do Governo Federal a partir da década de 70 e concentra, atualmente, mais de 60% da população rodoniense. Com o intuito de analisar a dinâmica da paisagem foi produzida uma série temporal do uso e cobertura do solo da bacia do Ji-Paraná (1986, 1992, 1996 e 2001) com base na classificação digital de imagens de satélite Landsat-7, sensor ETM+ e Landsat-5, sensores TM e MSS. Com o intuito de compreender a influência de alguns fatores ambientais e antrópicos, tais como fertilidade do solo, relevo e distância das estradas, sobre o processo de desmatamento na bacia foi realizada a análise geográfica dos fatores em questão por tabulação cruzada, e calculados Índices da paisagem (área das classes, tamanho médio dos fragmentos e densidade de borda) para a caracterização nos diferentes regiões resultantes da tabulação cruzada.. Os resultados da análise da mudança no uso e cobertura do solo mostraram que ocorreu uma perda de 15.313 km² (20%) de floresta. Com relação às áreas em regeneração foi observada uma prática de reuso das mesmas, apontando uma tendência do Estado de não possuir muitas áreas em regeneração em estádios mais avançados (acima de 15 anos). Os projetos de colonização, a fertilidade do solo e a distância das principais vias de acesso foram fatores significativos para explicar a dinâmica do desmatamento na bacia. As áreas para fins agrícolas estavam localizadas, principalmente, em regiões com saturação de bases superior a 50%, sendo apenas 3,6% destas em regiões com baixa fertilidade do solo. As métricas da paisagem mostram uma inversão da matriz ao longo do tempo, a qual inicialmente era formada majoritariamente por floresta e, posteriormente, dominada por áreas agrícolas. As regiões que sofreram primeiramente essa conversão estão em regiões localizada a uma distância de até 15 km das estradas principais, mostrando a influência das mesmas no processo de conversão de matriz. As regiões que apresentaram baixa fertilidade do solo, não levando em consideração o fator estrada, a matriz era composta por vegetação nativa até o ano de 2001.

LAND USE AND LAND COVER CHANGES IN THE AMAZONIAN FRONTIER, JI-PARANÁ RIVER BASIN – RONDÔNIA - BRAZIL

Author: LAIS DE CARVALHO HANADA

Adviser: MARIA VICTORIA RAMOS BALLESTER

SUMMARY

The Amazonian basin presents the biggest continuous area of tropical rain forest in the world, with an approach extension of 7 million km², the biggest area located in Brazilian territory (67.8%). With all this extension this region presents distinct geomorphologic and climatic characteristics. The Brazilian portion of the Amazônia, known as Brazilian Legal Amazônia, comes passing for some transformation of its vegetal covering in the three last decades. This process is the result of a complex product of the implementation of infrastructure, economic factors, governmental politics, of ambient and cultural characteristics, resulting in high taxes of deforestation. Land use and land cover change can affect diverse ecological processes as, for example, biodiversity, the cycles of nutrients, cycle of waters, among others. The Ji-Paraná basin is located in the State of Rondônia, is a typical example of this standard of deforestation in the Amazônia occidental. This region was object of the installation of the main programs of settling of the Federal Government from the decade of 70 and concentrates,

currently, more than 60% of the rodoniense population. A spatiotemporal variation in land cover was produced (1986, 1992, 1996 and 2001) on the basis of the digital classification of images of Landsat-7 satellite, sensor ETM+ and Landsat-5, sensors. With intention to understand the influence of some drives of tropical deforestation like soil fertility, roads distance and settlements in the basin were carried through the geographic analysis of the factors in question for cross tabulation, and calculated Landscape Index (percentage area, average size of patches and density of edge) for the characterization in the different resultant regions of the cross tabulation. The results of the analysis of land use and land cover change had shown that basin lost 15,313 km² (20%) of the original forest. About regrowth areas was observed one of reuses of the same ones, pointing a trend of the State not to possess many areas in regeneration in more advanced stadiums (above of 15 years). The projects of settling, the soil fertility and distance of the main roads been significant factors to explain the dynamics of the deforestation in the basin. The agricultural areas for agricultural were located, mainly, in rich soils, being only 3,6% of these in regions with low soil fertility. The landscape metric showed an inversion of the matrix to the long one of the time. The regions that had suffered this conversion first are in regions located to a distance of up to 15 km of the main roads, showing the influence of the same ones in the process of matrix conversion. The regions that had presented low soil fertility, not taking in consideration the factor road, the first one was composed for native vegetation until the year of 2001.

1 INTRODUÇÃO

Comparado ao início do desenvolvimento da agricultura, por volta de 10.000 anos atrás, o período entre 1850 e 1990 representa uma pequena fração temporal. Porém, nesse curto espaço de tempo as áreas cultivadas no planeta dobraram de tamanho. Metade destas áreas aumentaram nos últimos 90 anos e, especificamente, nas regiões tropicais este processo ocorreu nos últimos 50 anos (Houghton, 1994).

A Amazônia apresenta a maior área contínua de floresta tropical do planeta. Dependendo dos fatores considerados para demarcação da área, tais como bacia hidrográfica, ecossistemas ou regiões administrativas, a extensão pode variar de 4-7 milhões de km² (Fearnside, 1997). Se levarmos em consideração o limite administrativo, a Amazônia Legal brasileira apresenta uma área de 5.217,423 km², sendo esta composta pelos estados do Pará, Amazonas, Acre, Amapá, Rondônia, Roraima, Mato Grosso, Tocantins e Maranhão. Segundo dados da Agência Nacional de Águas (ANA) a bacia Amazônica apresenta, aproximadamente, 6.153,200 km². Quando nos referimos a esta bacia, estamos nos aludindo a uma extensa área, com diferentes históricos de ocupação bem como características geomorfológicas e climáticas distintas (Becker, 1997). Portanto, diferentes regiões devem ser caracterizadas e analisadas individualmente.

As mudanças no uso e cobertura do solo na Amazônia são resultado de políticas governamentais que redundaram no estabelecimento de infraestrutura (rede hidroelétrica, urbana e de transporte, estabelecimento de assentamentos rurais, pólos industriais, fazendas e empresas agropecuárias), de fatores econômicos, bem como das características ambientais e culturais (Moran et al, 1994; Turner et al, 1996, Geist e Lambin, 2002). A ação destes fatores, combinada ou separadamente, tem como

consequência elevadas taxas de desmatamento. Porém, a importância de cada um destes fatores no processo de desmatamento varia muito entre nações e regiões (Geist e Lambin, 2002).

As atividades humanas na paisagem resultam na conversão da cobertura vegetal nativa, perda de tipos de cobertura e fragmentação dessas áreas (Saunders et al., 2002). O processo de fragmentação é considerado uma das maiores ameaças para os ecossistemas, tanto em termos de biodiversidade, funcionamento e conservação dos recursos naturais. Os efeitos da fragmentação alteram, diretamente, a diversidade e composição da biota, além de afetar os processos ecológicos como os ciclos de nutrientes, a polinização e a dispersão de sementes (Laurance et al., 1997a). A fragmentação também afeta a dinâmica da floresta, podendo causar aumento brusco na mortalidade de árvores devido a mudanças microclimáticas (Laurance et al., 1997b).

A conversão de habitats contínuos em áreas fragmentadas, pela remoção da vegetação, resultam em mudanças drásticas nas características estruturais e funcionais dos mesmos. Estas mudanças alteram a diversidade e a composição da biota, além de afetar os processos ecológicos, como dispersão de sementes, polinização e ciclo de nutrientes. Estudos indicam que a fragmentação modifica a dinâmica da floresta e formação de clareiras suscetíveis ao efeito de borda. Segundo Murcia (1995), o efeito de borda é definido como uma zona ecótono, resultado da interação de ecossistemas, o florestal e os adjacentes, separados por uma transição abrupta. As bordas podem afetar os organismos que habitam a floresta através das mudanças causadas nas condições bióticas e abióticas.

O efeito de borda nos fragmentos florestais é significativamente influenciado pela vegetação do entorno. Mesquita et al. (1999), estudando diferentes distâncias e tipos de vegetação encontrados nas bordas dos fragmentos florestais da Amazônia, verificaram que a mortalidade de árvores dentro dos fragmentos teve uma variação significativa. O gênero *Vismia* (principalmente, espécies *V. guianensis*, *V. japurensis* e *V. cayennensis*) foi mais eficiente do que o gênero de *Cecropia*. (principalmente, espécie *C. sciadophylla* e *C. purpurascens*) com relação à mortalidade de árvores nos fragmentos florestais, principalmente devido a sua arquitetura. Alguns dos motivos do

aumento na mortalidade de árvores nos fragmentos florestais são as mudanças microclimáticas e o aumento da turbulência dos ventos perto das bordas da floresta (Laurance, 1997b).

Para entender como os processos de conversão dos ecossistemas naturais, especialmente em regiões como a Amazônia que estão sofrendo grande pressão de desenvolvimento, irão afetar o funcionamento da biosfera em escalas locais, regionais e até mesmo globais, o mapeamento do uso da terra é de extrema importância. Por outro lado, para um melhor planejamento do uso e cobertura destas áreas é necessário conhecer os fatores que levam a este desmatamento para assim tomar decisões adequadas para a região.

A ocupação da Amazônia tornou-se prioridade máxima a partir de 1964, época do regime militar, fundamentado na doutrina de segurança nacional (Becker, 1997). No Estado de Rondônia os primeiros projetos integrados de colonização foram implantados a partir de 1970, destinados à população de baixa renda (Diegues, 1993). Uma das áreas que sofreu forte impacto dos programas do Governo Federal é a Amazônia Ocidental, principalmente os estados de Mato Grosso, Pará e Rondônia. A intervenção Federal nessas regiões, acentuada a partir da década de 70, através de investimentos em infraestrutura e implantação de programas de colonização, proporcionou um crescente fluxo migratório para as mesmas.

Os programas de colonização assim estabelecidos pelo governo brasileiro resultaram em um fluxo de migrantes para diversos estados da Amazônia Legal, inclusive para Rondônia, oriundos de outras partes do país, principalmente da região Sul. Muitos colonizadores chegaram na região sem capital para investir e as terras eram utilizadas para subsistência (Pedlowski et al., 1997; Diegues, 1999). O aumento populacional ocorreu acompanhado de mudanças no uso e cobertura do solo, acarretando efeitos diretos e indiretos sobre os ecossistemas. Alguns efeitos referem-se à perda de biodiversidade (Laurance et al., 1997a) decorrente dos efeitos relacionados com o processo de fragmentação das áreas de floresta e a alterações nos ciclos da água (Gash, 1996) e nutrientes, como por exemplo o aumento de emissões de CO₂ pela queima de biomassa. Outros estudos apontam que as áreas em processo de regeneração

e os solos são consideradas possíveis sumidouros de carbono (Powell et al., 2004; Salimon et al., 2004, Houghton, 2003; Camargo, et al., 1999; Fearnside, 1996; Houghton, 1994).

Diante dessas questões este trabalho teve três objetivos:

1) Construir uma série histórica de 15 anos (1986, 1992, 1996 e 2001) de uso e cobertura do solo com a finalidade de analisar as mudanças na bacia do rio Ji-Paraná, Rondônia

2) Analisar como alguns fatores físicos (fertilidade do solo e relevo) e antrópicos (distância da estrada principal) afetaram o processo de desmatamento na região,

3) Analisar características estruturais da paisagem, através de índices da paisagem, nas regiões que apresentam distintas características de solo, relevo e distância das estradas na bacia e relacionar os mesmos com os fatores físicos e antrópico

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Áreas desmatadas na Amazônia

Dos países que apresentam florestas tropicais no mundo, o Brasil é, provavelmente, o melhor monitorado em relação às taxas de desmatamento (Laurance e Albernaz, 2002). Porém, no tocante às estimativas da Amazônia há discrepâncias entre diferentes autores, devido à inconsistência de definições e do estabelecimento de critérios como: inclusão/exclusão do cerrado, classificação de florestas secundárias, inclusão de áreas alagadas por represas, além dos problemas relacionados com a resolução das imagens de satélites (Skole e Tucker, 1993; Fearnside, 1993; Fearnside, 2001).

Skole e Tucker (1993), utilizando dados do sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) a bordo do satélite NOAA, estimaram que, em 1978, a área desmatada na bacia Amazônica brasileira era de 78.000 km² e, em 1988, de 230.000 km². Se fossem incluídos os efeitos de borda de 1 km, definidos por Murcia (1995) como formação de uma zona ecótone resultado da interação entre os ecossistemas florestal e adjacentes, estes valores passam para 208.000 e 588.000 km², respectivamente. Dados obtidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) a partir de imagens Landsat/TM, apontam que a área desmatada era de 377.500 km² até o final de 1988, e de 551.782 km² em 1998 (INPE, 2000). Estes resultados apresentam algumas discrepâncias devido às diferenças nas estimativas das áreas de florestas secundárias, distintas estratificações da floresta, cerrado e água. Como consequência, os valores das áreas desmatadas variam muito de acordo com o sensor e a metodologia empregada.

Um dos estudos mais completos da evolução temporal da taxa de desmatamento na Amazônia é o Projeto de Estimativa de Deflorestamento da Amazônica Brasileira (PRODES), desenvolvido pelo INPE. Como pode ser observado na Figura 1, a taxa média de desmatamento para a região foi 21.050 km².ano⁻¹ no período entre 1978-1988, seguido por um declínio nos anos seguintes. Entre 1988-1989 a taxa de desmatamento foi de 17.770 km².ano⁻¹ e entre 1989-1990 de 13.730 km².ano⁻¹. No período de 1992-1994 observou-se aumento da taxa para 14.896 km².ano⁻¹. Entre 1994-1995 observa-se um pico, 29.059 km².ano⁻¹, e uma redução no período seguinte (1995-1996) para 18.161 km².ano⁻¹, com oscilações nos períodos subsequentes. No período entre os anos de 2001-2002 novamente foi observado um novo pico de 25.476 km².ano⁻¹ (INPE, 2003).

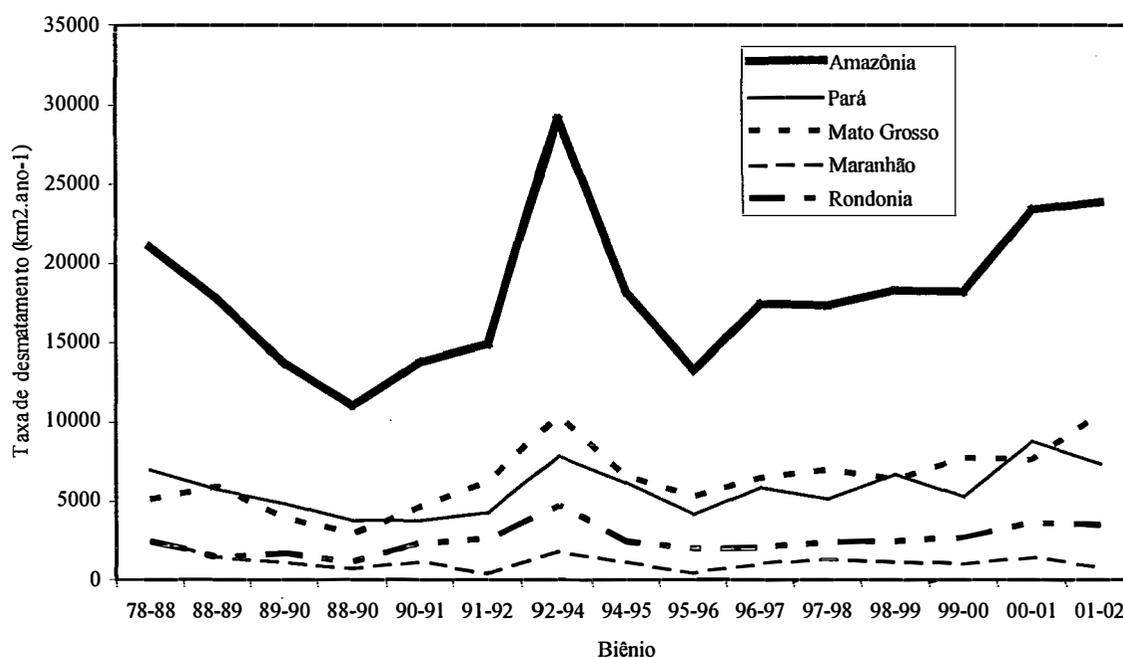


Figura 1 - Evolução temporal da taxa média de desmatamento na Amazônia brasileira (km².ano⁻¹) e nos quatro estados brasileiros mais desflorestados (INPE 2003)

Quando comparado o desmatamento da Amazônia com o histórico político-econômico do Brasil, nas décadas de 70 e 80, o aumento na taxa de desmatamento foi considerável, estando associado aos incentivos dos planos de desenvolvimento para a região Norte definidos pelo governo federal, que incluíam a implantação de projetos de colonização, construção de estradas, etc (Fearnside 2000, Fujisaka et al.,1996). O declínio da taxa de desmatamento no período de 1987 a 1991, é explicado por alguns autores como resultado da recessão econômica sofrida em todo país (Fearnside, 2002; Laurance e Albernaz, 2002). O pico observado na taxa de desmatamento entre 1994-1995, está associado ao período em que o país passava por uma fase de estabilidade da moeda devido ao Plano Real, com abertura de créditos para novos investimentos o que pode ter causado este aumento (Fearnside, 2000; Fearnside, 2002).

Espacialmente, a distribuição do desmatamento na Amazônia é muito heterogênea, concentrando-se, principalmente, nos estados do Maranhão, Pará, Mato Grosso e Rondônia, conhecida com arco do desmatamento (Figura 2). Os estados do Mato Grosso, Pará e Rondônia são responsáveis por mais de 85% das áreas desmatadas (Tabela 1). Alguns fatores que levaram a estas elevadas taxas foram os incentivos fiscais nos estados do Pará e Mato Grosso, o crédito rural em Rondônia, além de investimentos em rodovias associadas a grandes projetos de colonização, como a BR-364 e a Transamazônia.

O programa de investimentos POLONOROESTE, desenvolvido no início da década de 80, destinou áreas da região centro-oeste para melhoria da rede de transporte regional, consolidação dos assentamentos rurais, proteção dos territórios indígenas, etc. Os estados mais favorecidos por esse programa foram os do Mato Grosso e Rondônia. Entretanto, os resultados nestes estados foram diferentes (Machado, 1998). No Mato Grosso, a colonização foi majoritariamente particular, enquanto em Rondônia instalaram-se fundamentalmente os projetos de colonização oficial. A diferenciação entre ambos tipos de colonização resulta da disparidade no grau de controle exercido sobre os fluxos migratórios. A colonização privada limita o acesso de migrantes, pois é necessário capital para obtenção e investimento de terra. Por outro lado, a colonização oficial constitui frente pioneiras no processo de colonização, com a distribuição de terras pelo governo (Machado, 1998).

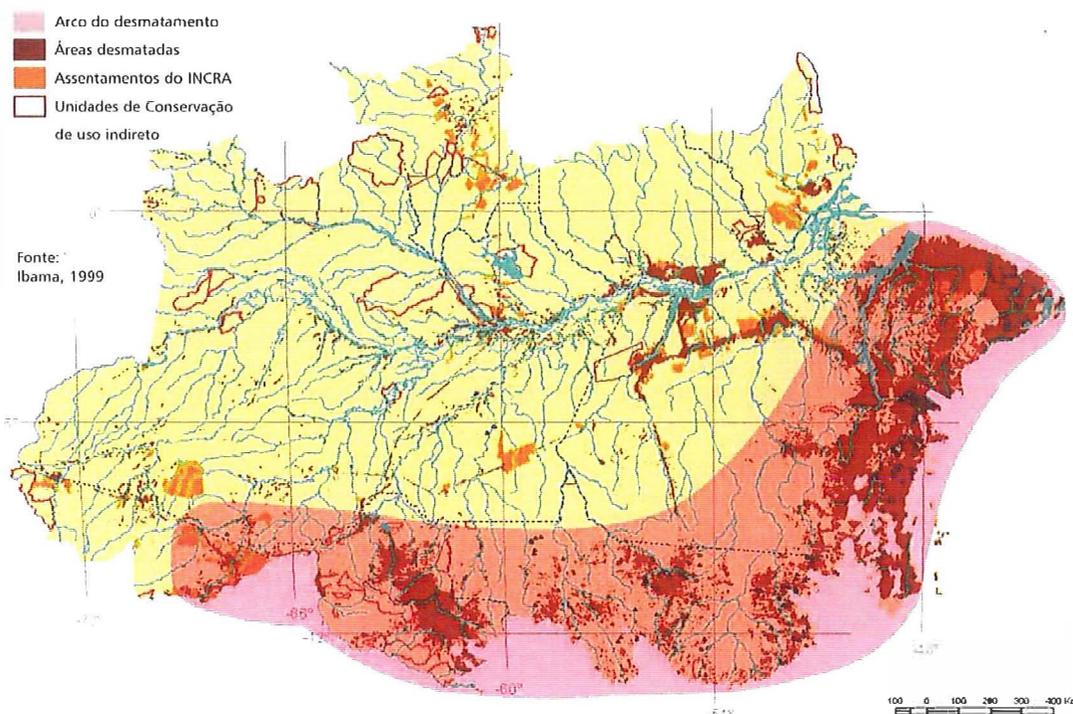


Figura 2 - Mapa das áreas desmatadas na Amazônia legal brasileira até 1999, com destaque para a localização do arco do desmatamento (Fonte: IBAMA 1999)

Tabela 1. Participação dos estados de Mato Grosso, Pará e Rondônia no desmatamento da Amazônia brasileira, entre 1998 e 2000 (INPE, 2002)

Estados/ Região	1998		1999		2000	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Mato Grosso (MT)	6,4	37,2	6,9	40,3	6,3	34,9
Pará (PA)	5,8	33,5	5,1	29,6	6,6	36,6
Rondônia (RO)	2,0	11,8	2,5	13,6	2,4	13,6
Outros Estados Amazônicos	3,0	17,5	2,8	16,5	2,7	14,9
Total (Amazônia Legal)	17,3	100,0	17,0	100,0	18,2	100,0

2.2 Causas do desmatamento

Diversos fatores econômicos, sociais, políticos, ambientais e culturais colaboram no processo de desmatamento. Compreender estes fatores é de extrema relevância para prever situações futuras e, desta forma, desenvolver propostas coerentes para o melhor desenvolvimento econômico e social, visando um menor impacto ambiental na região.

Geist e Lambin (2001 e 2002), analisaram 152 estudos de caso sobre desmatamento em diferentes continentes incluindo Ásia, África e América Latina. O objetivo deste estudo era relacionar o processo de desmatamento com suas principais causas. Os autores agruparam os estudos de caso e identificaram quatro causas: expansão agrícola, extração de madeira, estabelecimento de infraestrutura e outros fatores (qualidade do solo, topografia, fragmento florestal, etc). Verificaram que os trabalhos analisavam o desmatamento de três formas. A primeira, ou causa de fator único, atribui o processo de desmatamento a um único fator como o crescimento populacional ou a troca de cultivo. A segunda, causa cadeia lógica, o desmatamento ocorre em duas fases: primeiro ocorre corte seletivo de madeira, e depois o abandono e entrada dos produtores para produção agrícola. A terceira forma é a causa concomitante que diferentemente das duas primeiras formas, os fatores ocorrem independentemente, considerando múltiplos fatores, como processos econômicos, sociais, políticos, infraestrutura, características físicas, etc. Os autores afirmam que o desmatamento pode ser melhor explicado quando se consideram fatores múltiplos do que quando se analisa um único fator.

A análise da associação do desmatamento com as características da terra (qualidade do solo, topografia, fragmentação florestal), fatores biofísicos (fogo, seca, enchentes, etc.) e fatores sociais (guerra, revolução, etc.) nos 152 estudos acima citados indicou que apenas 52 (34% do total) avaliaram estes aspectos. Entre estes, os fatores biofísicos, foram considerados os mais relevantes no continente Africano, enquanto os fatores relacionados com as características da terra, estavam os mais associados com o desmatamento na América Latina.

Para Pfaff (1996), quando a densidade populacional é uma variável explanatória única, ela tem uma correlação significativa no desmatamento. Entretanto, quando incluímos outras variáveis relacionadas ao desmatamento no modelo de uso da terra, a densidade populacional não tem o mesmo efeito significativo. Isto sugere que ao analisar apenas a densidade populacional para explicar o desmatamento pode omitir outras variáveis importantes.

Laurance et al. (2001) avaliando alguns fatores antrópicos e biofísicos na taxa de desmatamento na Amazônia Brasileira. As forças analisadas neste estudo incluíram: densidade populacional, tamanho da população urbana, distância linear das rodovias pavimentadas e não pavimentadas e de rios navegáveis à floresta, severidade da estação seca, fertilidade do solo, áreas alagáveis e profundidade do solo. Os resultados indicaram que os fatores que mais influenciaram no desmatamento foram: densidade populacional, distâncias das rodovias e severidade do clima seco. Já os fatores que menos influenciaram foram: fertilidade do solo, áreas alagáveis e profundidade do solo.

Pfaff (1999), analisou todos os municípios da Amazônia brasileira através de um modelo econômico de uso da terra para o período de 1978-1988, relacionando o desmatamento com alguns fatores entre os quais: custo de transporte (densidade de estradas pavimentadas, não pavimentadas, densidade de rios) e densidade populacional relacionando-os com a taxa de desmatamento. Os resultados apontaram que as características da terra (qualidade do solo e tipo de vegetação) e o custo de transporte eram significantes para explicar as taxas de desmatamento.

Com intuito de compreender melhor o processo de desmatamento na região central do estado de Rondônia, Alves et al. (1999), com base em uma série histórica (1985 -1995) de imagens Landsat-TM5, verificaram que as áreas mais desmatadas encontraram-se nos projetos de assentamentos próximos à BR 364. Mais de 50% do desmatamento ocorreu a uma distância de 12,5 km desta estrada principal (BR 364).

Roberts et al, (2002), através da análise de uma série histórica 1975 a 1999 de Landsat 5-TM, observaram diferenças significativas no uso e cobertura do solo entre três áreas localizadas na parte central de Rondônia (Ariquemes, nordeste de Ji-Paraná e Luiza). Tanto em Ariquemes como no nordeste de Ji-Paraná, os autores atribuíram a

aceleração nas taxas de desmatamento, principalmente, aos novos assentamentos, a fatores econômicos e infraestrutura (construção de estradas). Entretanto, outros fatores podem ter contribuído para estas diferenças regionais como, por exemplo, a fertilidade do solo.

A análise espacial realizada na região de Ouro Preto (Rondônia), através do modelo DELTA (significado em inglês: Dynamic Ecological – Land Tenure Analysis) que integra sub-modelos sócio-econômico e ecológico, permitiu simular cenários com a finalidade de analisar o processo de difusão da colonização, a mudança no uso do solo e a liberação do carbono (Dale et al., 1993). Através de entrevistas feitas com os proprietários de terra na região estudada, os autores demonstraram que o sucesso ou fracasso dos mesmos estava relacionado com o tamanho do lote, a distância do centro comercial e o tempo de permanência na terra. Analisando conjuntamente os resultados observacionais (entrevistas) e modelados, os autores concluíram que a mudança do uso do solo em Ouro Preto d'Oeste é uma função do tamanho do lote, histórico do uso do solo, qualidades iniciais do solo e escolha do uso (para cultura perene, cultura anual ou pasto).

2.3 Consequências do desmatamento

A mudança no uso e cobertura do solo na Amazônia através do desmatamento tem mostrado afetar diversos processos ecológicos. A perda da biodiversidade é resultado da diminuição das áreas nativas e da mudança no padrão da paisagem. Mudanças no uso e cobertura do solo mudam o padrão da vegetação e, indiretamente, afetam o fluxo e a sobrevivência das espécies (Dale, 1994). Estudos relacionados com os efeitos da fragmentação florestal podem alterar a dinâmica da floresta, causando aumento nas taxas de mortalidade de árvores, resultado das mudanças microclimáticas e aumento da turbulência dos ventos próximos às bordas da floresta (Laurance et al., 1997b). O corte seletivo pode alterar a estrutura da floresta e aumentar sua inflamabilidade devido à grande quantidade de resíduos vegetais que são abandonados após o corte e, que na época de seca, são excelente combustível (Nepstad, 1997). Além

disto, a queima de biomassa em grandes proporções tem alterado as emissões de carbono para atmosfera. Esta alteração leva ao aumento de gases do efeito estufa, podendo ter implicações no clima regional e global.

2.4 Ecologia da Paisagem

A ecologia da paisagem apresenta duas abordagens principais, uma geográfica e outra ecológica. A primeira estuda a influência do homem sobre a paisagem e a gestão do território. Por outro lado, a abordagem ecológica enfatiza a importância do contexto espacial sobre os processos ecológicos, bem como a importância destas relações em termos de conservação biológica (Metzger, 2001).

O termo ecologia da paisagem foi utilizado pela primeira vez por Carl Troll, geógrafo alemão, em 1939, que considerou Ecologia da Paisagem como a união entre Geografia e Biologia. Para Rbisser, 1987 (citado por Turner, 1987) a ecologia da paisagem é uma ciência básica para o desenvolvimento, manejo, conservação e planejamento da paisagem. A paisagem é avaliada por diversos ângulos, permitindo que seus processos ecológicos sejam estudados em diferentes escalas temporais e espaciais.

Segundo Turner (1989) é extremamente difícil analisar os processos ecológicos como sucessão ecológica, interação das espécies, dispersão, dinâmica dos nutrientes sem considerar a dinâmica espacial da paisagem.

As três características da paisagem que devem ser consideradas são: estrutura, função e alteração (Forman e Godron, 1986). A estrutura é definida como a relação espacial entre diferentes ecossistemas ou elementos presentes na paisagem como: a distribuição de energia, dos materiais e espécies em relação ao tamanho, forma, número, tipo e configuração dos ecossistemas. A função diz respeito à interação entre os elementos espaciais, ou seja o fluxo de energia, materiais e organismos dos ecossistemas componentes. Finalmente, a alteração está relacionada com as mudanças na estrutura e função do mosaico ecológico ao longo do tempo. Portanto, a capacidade de quantificar a estrutura da paisagem é pré-requisito para o estudo da função e das alterações de uma paisagem (McGarigal e Marks, 1995).

As atividades humanas na paisagem resultam na conversão da cobertura da terra, perda de tipos de cobertura e fragmentação dessas áreas (Saunders, 2002). O processo de fragmentação é considerado uma das maiores ameaças para os ecossistemas, tanto em termos de biodiversidade como de recursos naturais. Os efeitos da fragmentação alteram, diretamente, a diversidade e composição da biota, além de afetar os processos ecológicos como os ciclos de nutrientes, a polinização e a dispersão de sementes. A fragmentação também afeta a dinâmica da floresta, podendo causar aumento brusco na mortalidade de árvores devido às mudanças microclimáticas (Laurance, 1997b).

O desmatamento afeta a diversidade biológica de três formas: pela destruição do habitat, o isolamento dos fragmentos e efeito de borda (Skole e Turcker, 1993). O impacto do desmatamento estende-se além da área diretamente limpa, devido ao efeito de borda e o impacto da fragmentação (Laurance et al., 1997a). Entre 1978 e 1988 a área total desmatada na floresta amazônica foi de 230.000,00 Km². Porém a área total afetada pelo desmatamento foi de 588.000,00 Km², computando os efeitos de borda de um km nas áreas adjacentes (Skole e Tucker, 1993).

De acordo com Forman e Godron, (1986) as paisagens possuem uma estrutura comum e fundamental, sendo compostas por fragmentos, matriz e corredor. Os fragmentos são superfícies não lineares, que estão inseridos na matriz, variam de tamanho, forma, tipo de heterogeneidade e limites. Os fragmentos podem ser naturais ou podem ter surgido como resultado de ações antrópicas. A matriz é o elemento com maior extensão e conectividade, apresentando grande influência no funcionamento dos outros ecossistemas (Forman e Godron, 1986). Em determinadas paisagens, a matriz é de fácil reconhecimento. Porém, em outras a matriz não está óbvia. A designação de matriz depende principalmente do fenômeno considerado. Portanto, a definição de uma matriz na paisagem estudada também dependerá da escala do investigador (McGarigal, 1995).

As métricas da paisagem são utilizadas para caracterizar a heterogeneidade espacial, fornecendo uma base de apoio para descrevê-la. Algumas métricas quantificam a composição, relacionado com a abundância e variedade dos tipos de fragmentos da paisagem. Outras descrevem a configuração, ou seja a distribuição física e espacial das manchas da paisagem.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e descrição da área de estudo

Com uma área de drenagem 75.400 km² e descarga média anual de 700m³.s⁻¹, a bacia do rio Ji-Paraná está localizada na porção leste do estado de Rondônia, entre os paralelos 8°02'32'' e 12°59'50'' de Latitude Sul e os meridianos 60°04'56'' e 63°16'30'' de Longitude Oeste do meridiano de Greenwich (Figura 3), em uma das regiões com maiores taxas de desmatamento na Amazônia.

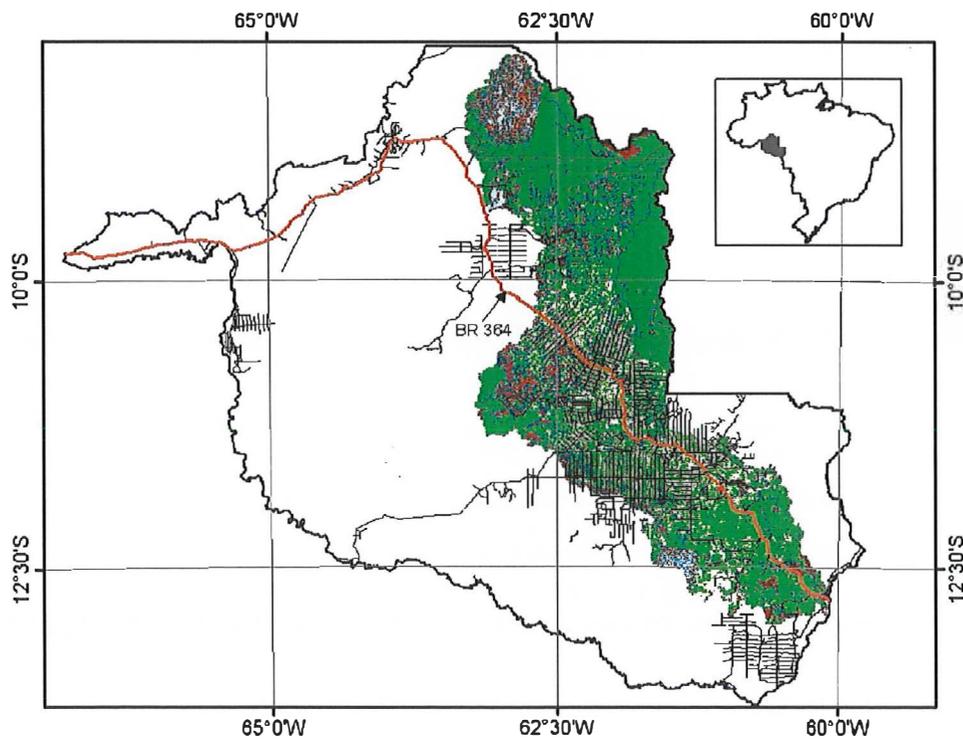


Figura 3 - Localização da área de estudo. Destaque: Bacia do rio Ji-Paraná – Rondônia

O clima da região, segundo a classificação de Koppen, é caracterizado como tropical quente e úmido, do tipo Awi, apresentando um regime pluviométrico bastante intenso com média anual em torno de 2.200 mm (RONDÔNIA, 2002). A estação chuvosa estende-se de novembro a maio e de junho a agosto ocorre a estação seca. A temperatura média anual é de 25,2°C e umidade relativa anual de 85% (Fujisaka et al., 1996).

O relevo da bacia do Ji-Paraná é formado por superfícies tabulares com algumas áreas de agrupamentos de morros e colinas. Ao longo de toda sua extensão as altitudes variam entre um mínimo de 75 e um máximo de 600 metros, com declividade média de 0,62 graus (Ballester et al., 2003). As unidades de solos predominantes na bacia são: Latossolos e Podzólicos, correspondendo 46% e 24% da área da bacia de drenagem, respectivamente (Ballester et al., 2003). A distribuição destes solos é heterogênea, estando os mais férteis localizados, majoritariamente, na parte central.

Na Amazônia brasileira, uma das principais causas do desmatamento tem sido a substituição da floresta tropical em áreas de pastagem para a pecuária. A principal prática de conversão consiste na derrubada e queima, mecanismo que inicialmente enriquece a superfície do solo em cátions provenientes da biomassa vegetal queimada e transferida para o mesmo na forma de cinzas (Kauffman et al., 1998; Markewitz et al., 2001). Este tipo de processo é comumente observado em Rondônia, e especificamente na bacia do Ji-Paraná, onde a ocupação resultou em uma pecuária bovina extensiva como principal atividade econômica (Marconato, 2002). A área de estudo é habitada por 60 % da população rondoniense, cerca de 830000 habitantes (IBGE, 2000). Entre os municípios de maior urbanização estão Ji-Paraná, Vilhena e Pimenta Bueno (Marconato, 2001).

3.2 Mapeamento do uso e cobertura do solo da bacia do Ji-Paraná

Os mapas de uso e cobertura do solo da bacia de drenagem do rio Ji-Paraná foram obtidos através do processamento digital das imagens orbitais dos satélites Landsat sensor Multispectral Scanner System (MSS), Landsat-5, sensor Thematic Mapper (TM); e Landsat-7, sensor Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+). As cenas referentes aos anos de 1986, 1992, 1996 e 1999 foram adquiridas junto ao “Centro de Informações sobre Florestas Tropicais Úmidas” - Tropical Rain Forest Information Center (TRFIC) da Universidade do estado de Michigan, Estados Unidos da América. As imagens de 2001 foram cedidas pela Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental de Rondônia (SEDAM). Para a cobertura de toda área da bacia do Ji-Paraná foram utilizadas as seguintes cenas (órbita-ponto): 229-069; 230-038; 230-068; 231-066; 231-067; 231-068 e 232-066 para cada um dos respectivos anos. Todas as imagens foram selecionadas para o período de seca, correspondente aos meses de julho a setembro, devido à menor incidência de cobertura de nuvens neste período.

Para a confecção do mapa do ano de 1986 foram utilizadas de duas cenas Landsat-5 MSS, órbitas-ponto 231-066 e 229-069, que fazem parte das áreas menos alteradas da bacia no referido ano, sendo a classe predominante nas duas imagens a floresta.

Cada uma das imagens foi processada separadamente. Posteriormente foi construído um mosaico para cada data, tendo como produto final o mapa temático para cada ano analisado. Todos os procedimentos de pré-classificação, classificação e pós-classificação foram realizados no Processador de Imagens ERDAS-IMAGINE, versão 8.5.

3.2.1 Pré-processamento das imagens: correção geométrica

As 28 cenas Landsat referentes aos anos de 1986, 1992, 1996 e 2001 foram geometricamente corrigidas com relação às imagens de 1999, já georreferenciadas e

utilizadas como referência. As cenas relativas ao ano de 1999 foram adquiridas como produto do tipo 1G, isto é, imagens corrigidas geométrica e radiometricamente. Os erros geométricos destes produtos são de aproximadamente de 30 metros, sendo esta acurácia atingida pelo uso de pontos de controle obtidos no campo (Ballester et al., 2003). O modelo utilizado na correção geométrica foi o polinomial de primeiro grau, com reamostragem através do método de interpolação do vizinho mais próximo para os níveis de cinza. Este processo é comumente adotado em estudos ambientais por não alterar significativamente o valor de nível de cinza das células (Jensen, 1996).

O processo de georreferenciamento (imagem-imagem) envolveu três etapas. Primeiramente, identificaram-se pontos de controle comuns entre a imagem a ser georreferenciada e a de referência. Os pontos de controle foram obtidos nas intersecções de estradas e, na ausência destas, nas confluências de rios. A projeção utilizada foi Universal Transversa de Mercator (UTM), fuso 20 e *datum* WGS 84. O controle de qualidade da correção geométrica foi avaliado através do Erro Médio Quadrático (root-mean-square error, EMQ) (Eq. 1) sendo considerada uma boa correlação quando o mesmo era menor que uma célula (30 m).

$$\text{EMQ} = \sqrt{(x' - x \text{ orig})^2 + (y' - y \text{ orig})^2} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

x orig e y orig são as coordenadas originais e

x' e y' são as coordenadas estimadas.

Os valores médios do EMQ para as sete imagens foram: 0,72 célula (21,6m) para 2001; 0,81 célula (24,3m) para 1996; 1,15 célula (34,5m) para 1986; e 0,92 célula (27,6m) para 1999.

A classes de uso e cobertura do solo foram definidas através do mapa temático do ano de 1999 e pelas observações realizadas no campo. Foram estabelecidas seis classes, a saber:

a) **Floresta Nativa:** Floresta Ombrófila Densa (Floresta Pluvial Tropical) e Floresta Ombrófila Aberta (Faciações da Floresta Ombrófila Densa) (figura 4A)

b) **Agropastoril:** Área coberta por gramíneas utilizadas para pecuária ou áreas com gramíneas e espécies pioneiras (pastos sujos) e áreas utilizadas para plantação de culturas anuais (soja, milho, arroz, etc), perenes (café, plantio agroflorestal) solo exposto e áreas que foram queimadas (figura 4B)

c) **Cerrado:** Áreas cobertas por vegetação tipicamente de cerrado (cerradão, campo sujo, campo limpo) (figura 4C)

d) **Área urbana:** áreas ocupadas por cidades

e) **Corpos d'água**

f) **Regeneração:** Áreas desmatadas para fins econômicos (agrícola, pecuária, mineração), posteriormente abandonadas que estão sofrendo um processo de sucessão ecológica (figura 4D)

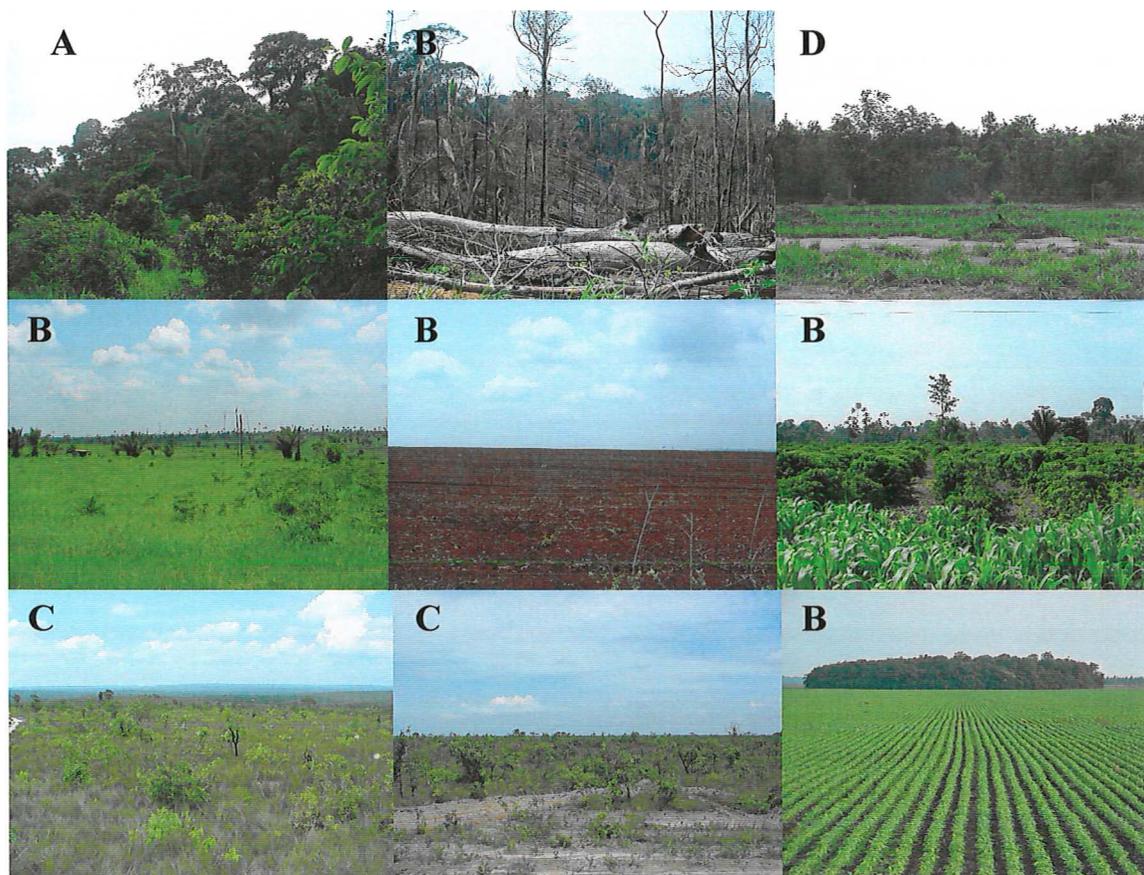


Figura 4 - Classes de uso e cobertura do solo da Bacia do Ji-Paraná – 2002

3.2.2 Método de classificação

O método de classificação empregado foi do tipo supervisionado, por máxima verossimilhança. Este método considera a ponderação das distâncias das médias utilizando parâmetros estatísticos. Para que a classificação seja precisa o suficiente é necessário um número razoável de pixels para cada conjunto de treinamento, número preferencialmente acima de uma centena (Crosta, 1992).

Para cada imagem e data, as áreas de treinamento, regiões da imagem que o usuário identifica como representando uma das classes da legenda, foram adquiridas pela interpretação visual. Para cada classe, foram identificadas as áreas contínuas, extraída a informação espectral pela digitalização de polígonos na tela do computador e analisado o comportamento espectral das mesmas (Figura 5).

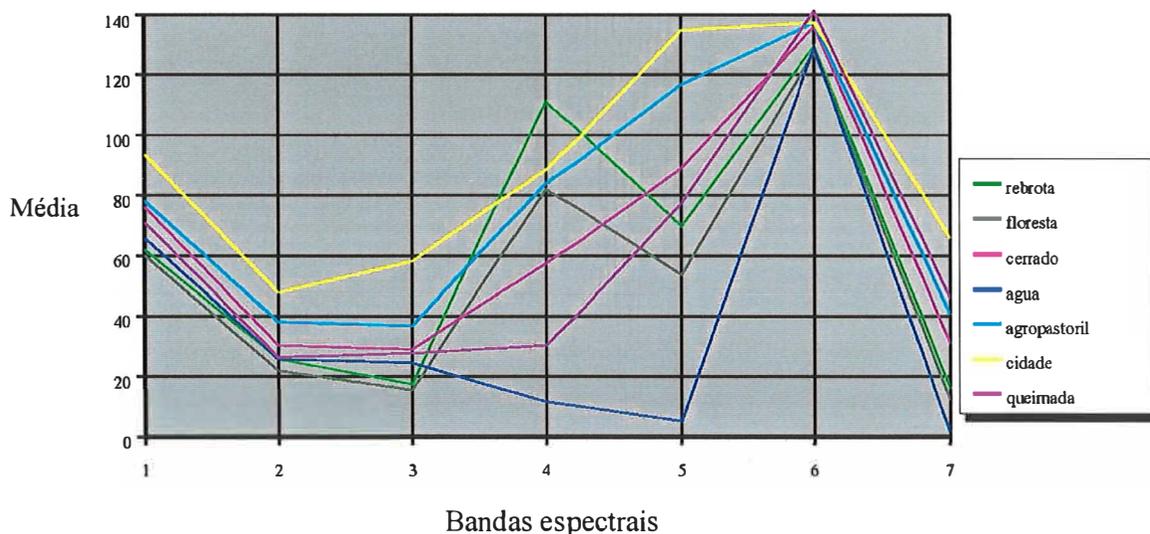


Figura 5 - Curvas de comportamento espectral das classes de uso e cobertura do solo da bacia do Ji-Paraná, como exemplo, a cena 230_068 do ano de 1996

Com o intuito de uniformizar as classes, células isoladas classificados diferentemente de sua vizinhança, foram reclassificados utilizando-se um filtro de mediana, com “janela móvel” de 3 x 3 células.

3.2.3 Verificação da acurácia do mapa de uso e cobertura da terra de 2001.

Para verificar se as informações que compõem o mapa resultante da classificação possuem uma confiabilidade temática é necessário avaliar a acurácia da mesma. Um modo de realizar esta avaliação é comparar duas informações: a derivada do mapa classificado com aquela de teste de referência (informações geradas em campo, videografia e/ou fotografias aéreas). A relação entre estas duas informações gerou uma matriz de confusão ou de contingência.

O levantamento de campo foi realizado no final do mês de novembro e início do mês de dezembro de 2002. Simultaneamente, foi verificado o desenvolvimento sócio-econômico de algumas regiões da bacia do Ji-Paraná. Estes dados foram de extrema relevância para a geração dos mapas de uso e cobertura do solo, possibilitando a interpretação das mudanças que ocorreram ao longo dos 15 anos através de uma análise temporal. Durante um período de 15 dias foram visitados dez municípios: Ji-Paraná, Nova União, Machadinho, Jaru, Governador Jorge Teixeira, Vilhena, Chupinguaia, Espigão d'Oeste, Rolim de Moura e Cacoal, obtendo-se informações particulares sobre cada região através de entrevistas informais com moradores e funcionários da EMATER dos municípios.

Foram percorridos cerca de 3500 km em toda a extensão da bacia com acesso rodoviário e inventoriados 200 pontos de referência (Figura 6), com auxílio de: **i)** um receptor do Sistema de Posicionamento Global marca Garmin, modelo Map 76; **ii)** uma bússola; **iii)** uma câmera digital, marca Sony de 2.1 MegaPixels, e **iv)** um computador portátil, equipado com o SIG Arc-GIS 8.1, imagens de 1999 e mapas referentes à rede de drenagem e rodovias. Em cada um destes locais foram efetuados os seguintes procedimentos:

1. obtenção das coordenadas geográficas e do erro de posicionamento do satélite no momento da determinação;
2. desenho esquemático da região e registro fotográfico das diferentes coberturas do solo no ponto utilizando, a orientação da rosa dos ventos (Figura 7).

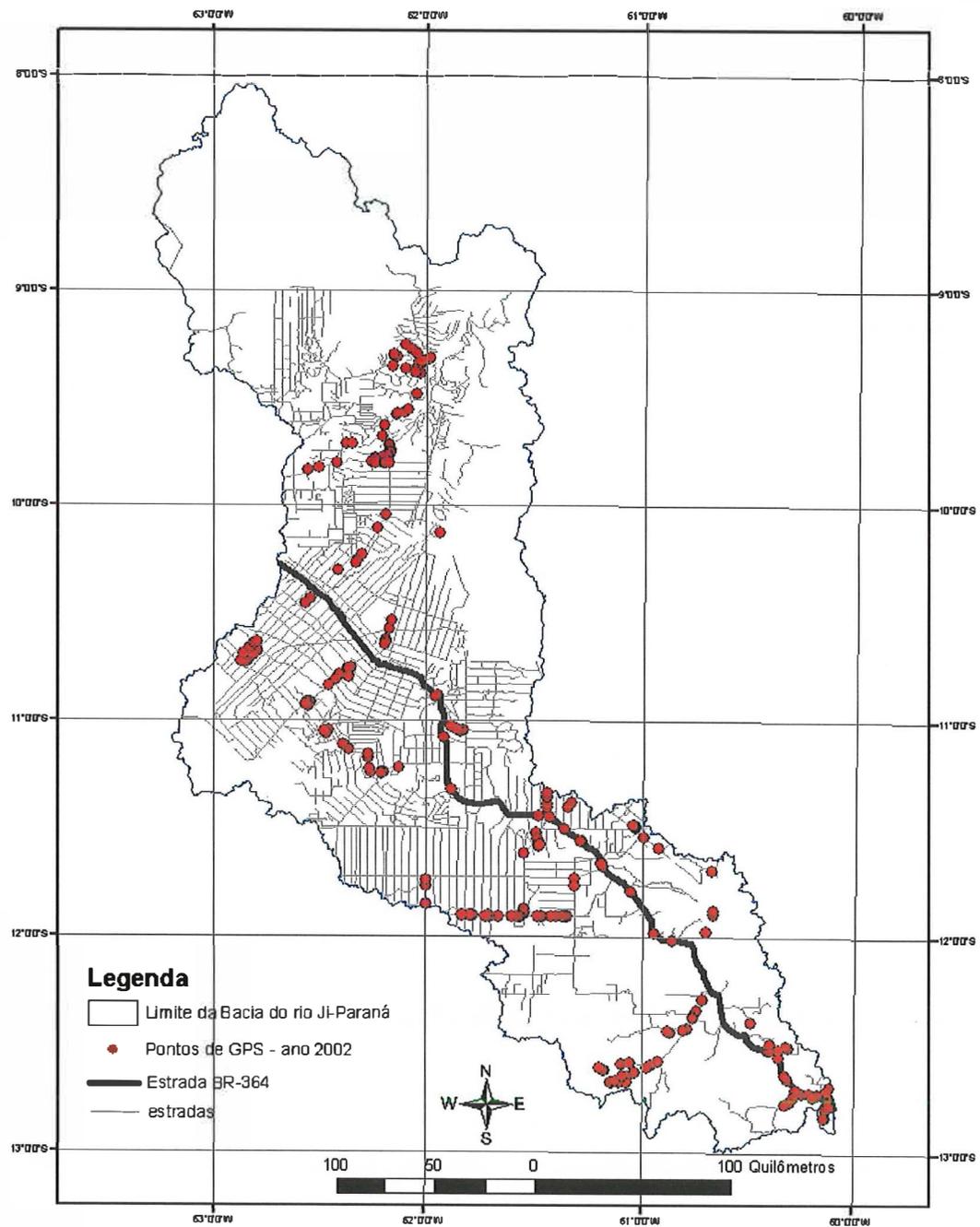


Figura 6 - Pontos de controle obtidos na bacia do rio Ji-Paraná no ano de 2002

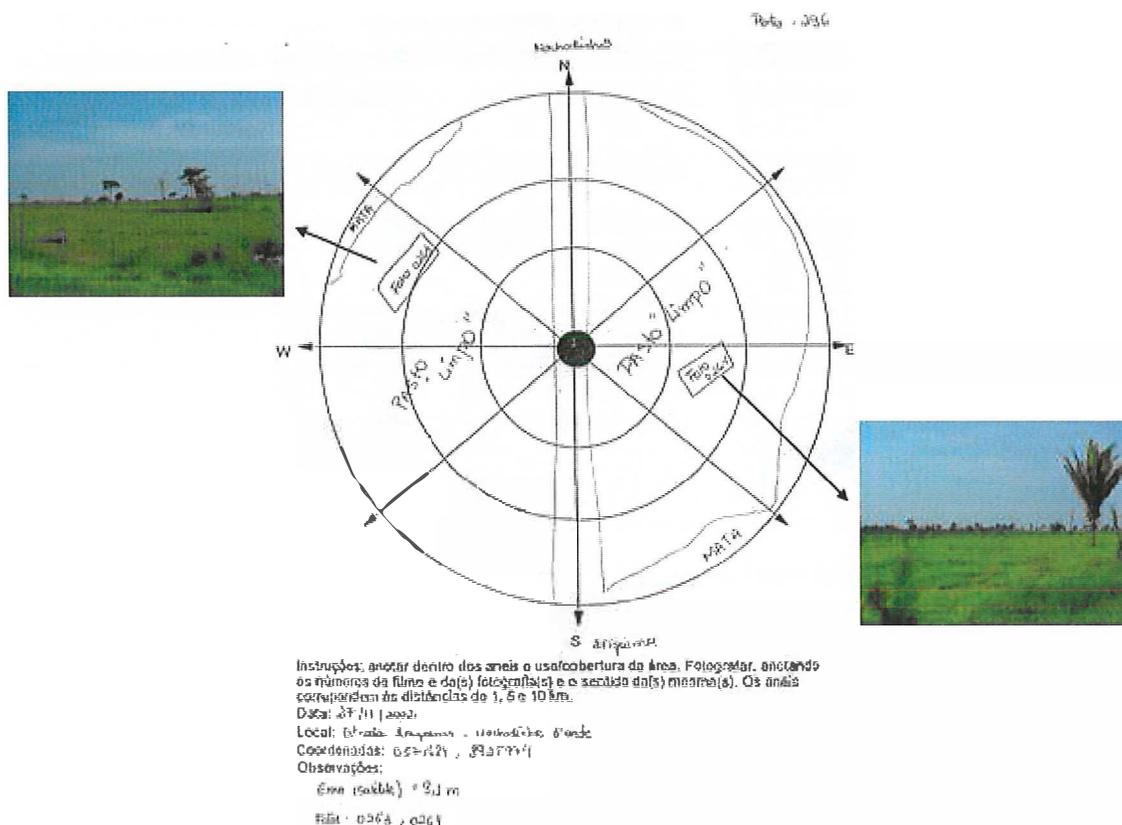


Figura 7 - Desenho esquemático da “Rosa dos Ventos”. Método utilizado para aquisição de informações das coordenadas geográficas e registro fotográfico do ponto de controle no campo

A matriz de confusão é composta por linhas e colunas que expressam o número de unidades de amostra (células, grupo de células ou polígonos) atribuído a uma categoria particular. As colunas representam os dados de referência e as linhas indicam os dados resultantes do mapa classificado (Jensen, 1996).

A acurácia do produtor (erro de omissão) é o número de amostras corretamente classificadas em cada classe, dividido pelo número total daquela classe resultante dos dados de referência (colunas).

A acurácia do usuário, também conhecida como erro de inclusão, é o número de amostras corretamente classificadas em cada classe, dividido pelo número total de amostras daquela classe dos dados resultantes do mapa classificado (linhas).

Por fim, o cálculo da exatidão global é computado dividindo-se os resultados corretos de todas as categorias (diagonal principal) pelo número total de células na matriz de confusão.

Outro modo de analisar os resultados da classificação é através do Índice Kappa deduzido por Cohen (1960), obtido através da seguinte equação (Eq. 2):

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})} \quad \text{Eq. 2}$$

Onde:

K = Índice Kappa

N = número total de amostras (ou observações);

r = número de linhas da matriz

x_{i+} = soma dos valores da linha i;

x_{+i} = soma dos valores da coluna i;

x_{ii} = número de observações dos elementos da diagonal da matriz.

O Índice *Kappa* pode ser utilizado para qualificar o desempenho da classificação, conforme indicado na Tabela 2.

Uma vez que a acurácia total incorpora somente a diagonal principal, excluindo os erros de comissão e omissão, e o Índice Kappa, inversamente, incorpora os elementos que não estão localizados na diagonal principal (Jensen, 1996), estes dois métodos são geralmente utilizados conjuntamente para avaliação da classificação.

Tabela 2. Valores do Índice *Kappa* e respectivos desempenhos da classificação

Kappa	Desempenho da Classificação
$k < 0$	Péssimo
$0 < k < 0,2$	Ruim
$0,2 < k < 0,4$	Razoável
$0,4 < k < 0,6$	Bom
$0,6 < k < 0,8$	Muito Bom
$0,8 < k < 1,0$	Excelente

Fonte: Landis & Koch, 1977

3.2.4 Avaliação das mudanças espaciais e temporais no uso e cobertura do solo

Para avaliar quantitativamente as mudanças no uso e cobertura do solo da bacia do Ji-Paraná, entre 1986 e 2001, foram utilizadas duas abordagens. Na primeira, foram avaliadas as mudanças totais, expressas em termos de variação percentual da área de cada classe para a bacia como um todo (Eq. 3).

$$\text{Mudança total} = \left\{ \left[\frac{\text{Área da classe } x \text{ em } 19_{n+\Delta t}}{\text{Área total da bacia}} \right] * 100 \right\} - \left\{ \left[\frac{\text{Área da classe } x \text{ em } 19_n}{\text{Área total da bacia}} \right] * 100 \right\} \quad (\text{Eq.3})$$

sendo: x= floresta nativa, área desmatada; $n + \Delta t = 1986, 1992, 1996 \text{ e } 2001$ e $n = 1986, 1992, 1996 \text{ e } 2001$

Com intuito de compreender melhor a dinâmica de determinadas classes de uso e cobertura do solo na bacia do rio Ji-Paraná no período estudado, os mapas de 1986, 1992, 1996 e 2001 foram sobrepostos dois a dois e analisadas a substituição das classes floresta, agropastoril e regeneração (matriz de transição), através de cálculos algébricos no programa ArcGIS 8.1 (Eq. 4).

$$\text{Mudança categoria} = [(\text{Áreas com uso } y \text{ convertidas para uso } x \text{ entre } 19n \text{ e } 19n+\Delta t) - (\text{Áreas com uso } x \text{ convertidas para uso } y \text{ entre } 19n \text{ e } 19n+\Delta t)] \quad (\text{Eq. 4})$$

sendo: se $x = \text{agropastoril}$, então $y = \text{urbanização, floresta}$; se $x = \text{floresta}$, então $y = \text{urbanização, agropastoril}$; e assim sucessivamente.

3.2.5 Fatores físicos e antrópicos analisados

Utilizando como base os trabalhos sobre os principais fatores responsáveis pelo desmatamento na região de Rondônia, foram selecionadas e analisados os seguintes fatores: **a) físicos**; incluindo propriedades do solo e relevo; **b) antrópicos**, proximidade da malha viária.

O mapa de saturação de bases foi gerado utilizando os dados do programa SIGTERON (Cochrane & Cochrane, 1998). Estes dados contituem na amostragem de 1041 perfís de solo coletados em todo estado de Rondônia, a uma profundidade de 20 cm (Figura 8). Para obtenção de uma superfície contínua foi aplicado como análise geoestatística, o método de Krigagem para todos os elementos e o Modelo digital do terreno foi derivado a partir dos mapas topográficos do IBGE (1:100.000) (Ballester et al., 2003).

O mapa de uso e cobertura do solo do ano de 2001 foi obtido a partir da classificação supervisionada, pelo método MaxVer, de sete cenas de imagens Landsat-7/ETM+. As imagens foram processadas separadamente, sendo unidas em

mosaico, obtendo como produto final o mapa temático com seis classes de uso e cobertura do solo (Floresta nativa, Áreas agropastoris, Cerrados, Área urbana, Área urbana e Regeneração). O valor da exatidão global do mapa de uso e cobertura do solo da bacia do Ji-Paraná do ano de 2001 foi de 86,34% e o Índice Kappa de 0,73. Todos os procedimentos de pré-classificação, classificação e pós-classificação foram realizados com o auxílio do Processador de Imagens ERDAS-IMAGINE, versão 8.5.

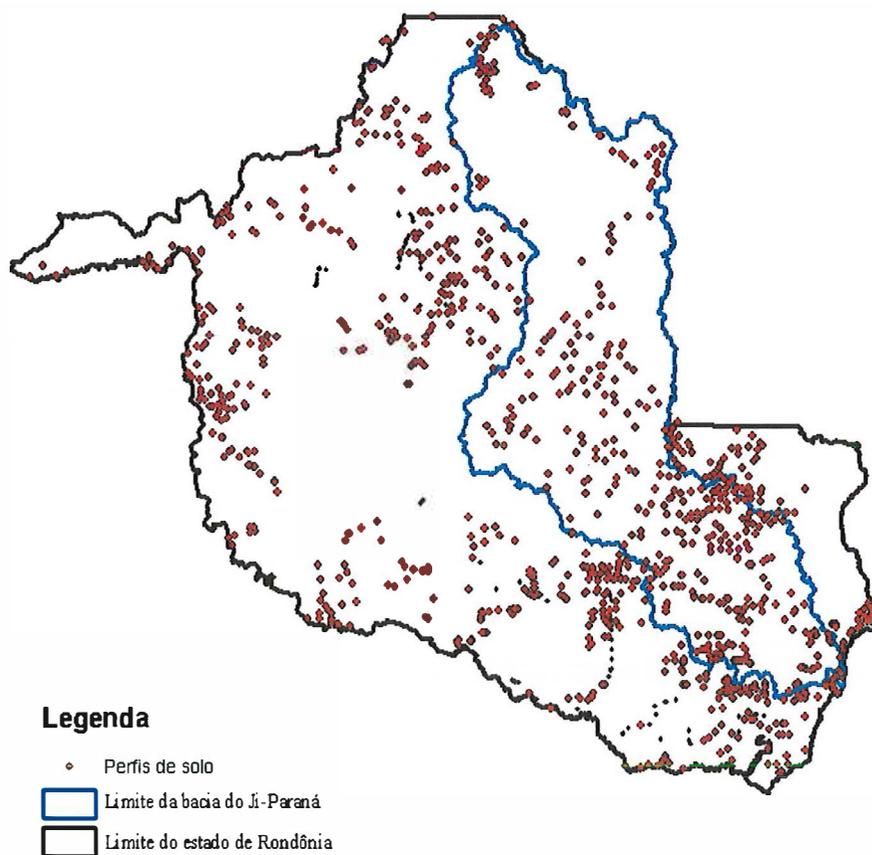


Figura 8 - Amostragem de 1041 perfis de solo coletados em Rondônia – SIGTERON

3.2.6 Reclassificação dos Mapas Temáticos e Análise via Tabulação Cruzada

Para associar as áreas desmatadas com os fatores físicos e antrópicos analisados, foi utilizada a operação de tabulação cruzada. Esta operação permite calcular as intersecções entre dois planos de informação (mapas temáticos) e mensurar o quanto de uma classe de um determinado mapa temático coincide com a classe de um outro mapa. Para tal, foi necessário reclassificar os mapas temáticos, conforme as categorias descritas a seguir.

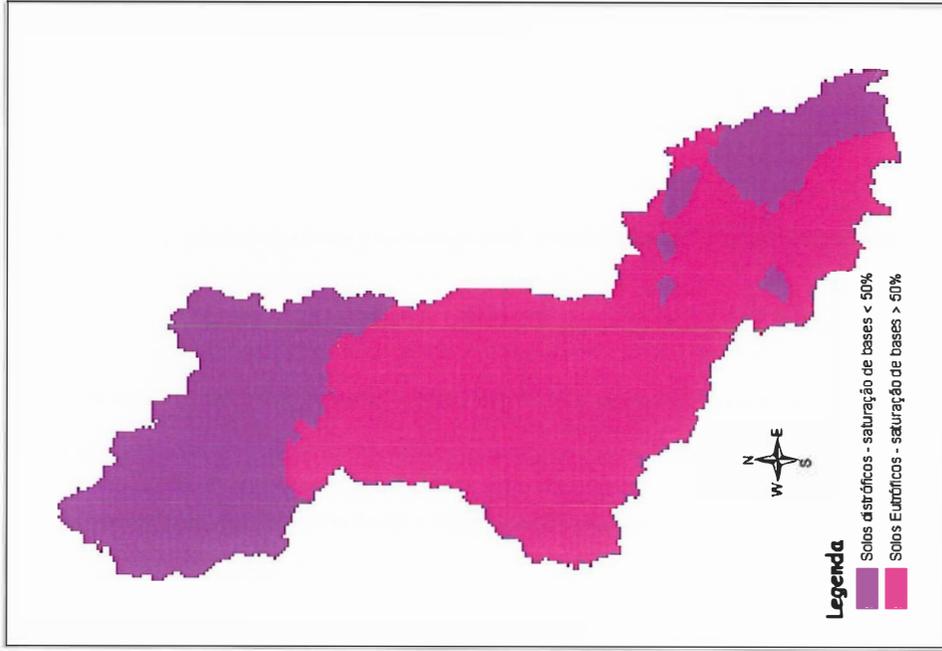
A) Fertilidade do solo, expresso em saturação de bases, foi reclassificado em duas classes: **i)** áreas férteis, abrangendo os solos com saturação de bases igual ou superior a 50% e **ii)** áreas com baixa fertilidade, com saturação de bases inferior a 50% (Figura 9a).

B) Rede viária: foi traçada uma área tampão de 15 km para cada margem das principais estradas, sendo estas a BR-364 (pavimentada) e a rodovia estadual RO-133 (não pavimentada), conforme apresentado na Figura 9b. Esta distância foi determinada com base nos trabalhos de Alves (1999) e Ballester et al. (2003). Alves (1999) verificou que mais de 79% das áreas desmatadas nos projetos de assentamento até 1995 ocorreram a uma distância de 12,5 km da estrada principal e Ballester et al. (2003) verificaram, em regiões similares, que 48% das áreas desmatadas encontravam-se num raio inferior a 10 km da estrada principal.

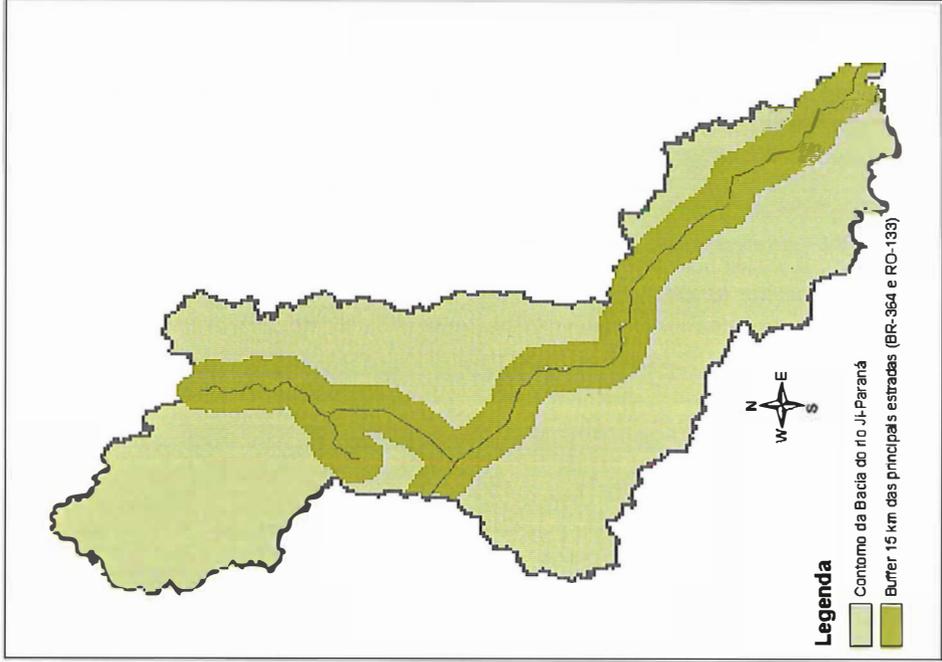
C) Declividade do terreno foi reclassificado em quatro classes: **i)** Relevo plano (0 – 8 % de declividade); **ii)** relevo levemente ondulado (8 – 20% de declividade); **iii)** relevo ondulado (20 – 45% de declividade) e **iv)** relevo montanhoso (> 45% de declividade) (Ramalho Filho et al., 1995). Como a bacia do Ji-Paraná apresenta majoritariamente regiões com declividade muito plana (8-20%) este fator foi considerado constantes.

D) Uso do solo do ano de 2001 foi reclassificado em floresta, Áreas Agropastoris, Cerrado, Regeneração e, posteriormente, delimitadas as áreas correspondentes às Reservas Indígenas e Unidades de Conservação (Figura 10).

Finalmente, foi efetuada a intersecção dos planos de informação referentes a saturação de bases (V%), distância das principais estradas e mapa de uso do solo, obtendo-se o mapa apresentado na Figura 11.



(a)



(b)

Figura 9 - Mapa de saturação de bases (a); Mapa da área tampão de 15 km das principais estradas (b)

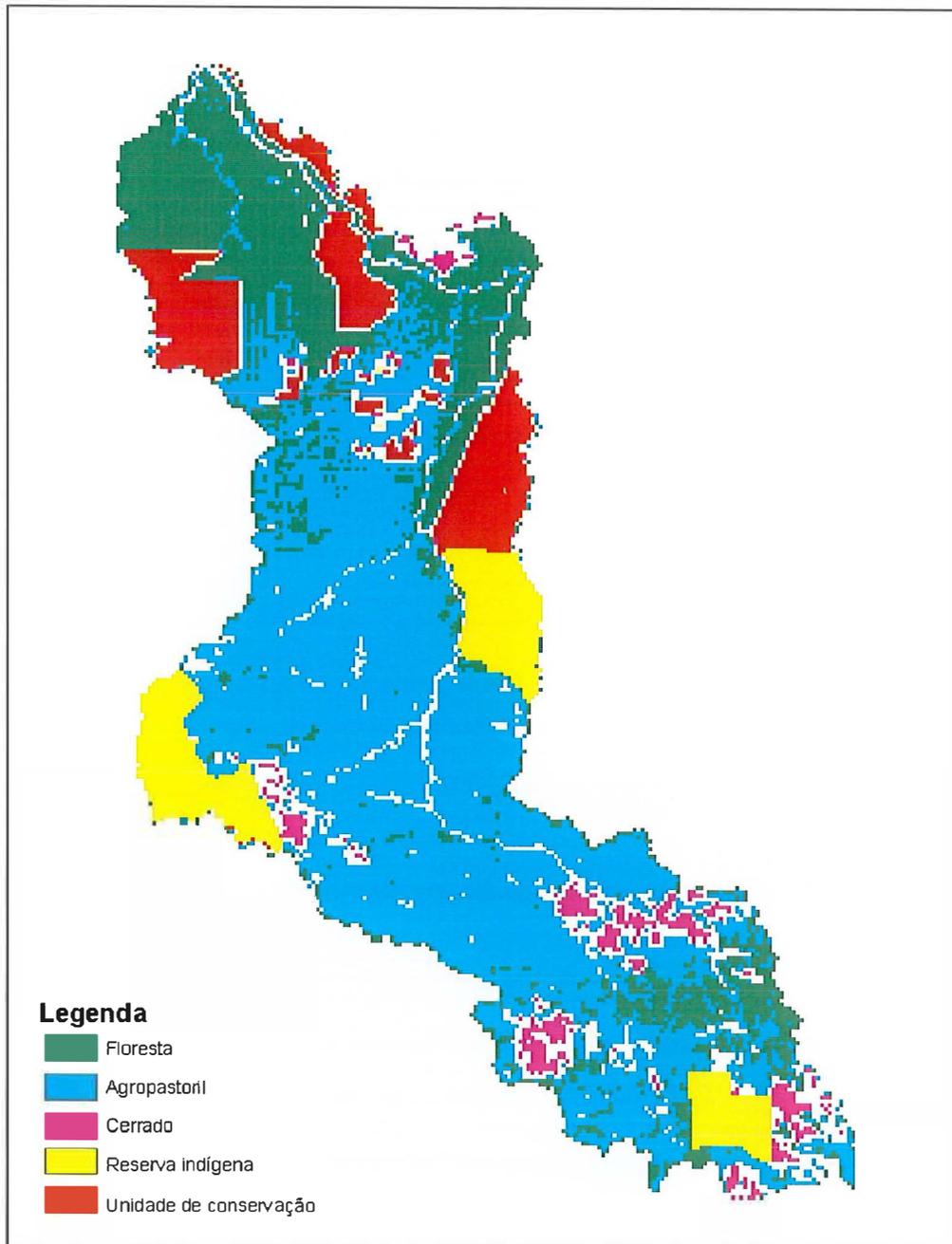


Figura 10 - Mapa de uso e cobertura do solo da bacia do Ji-Paraná

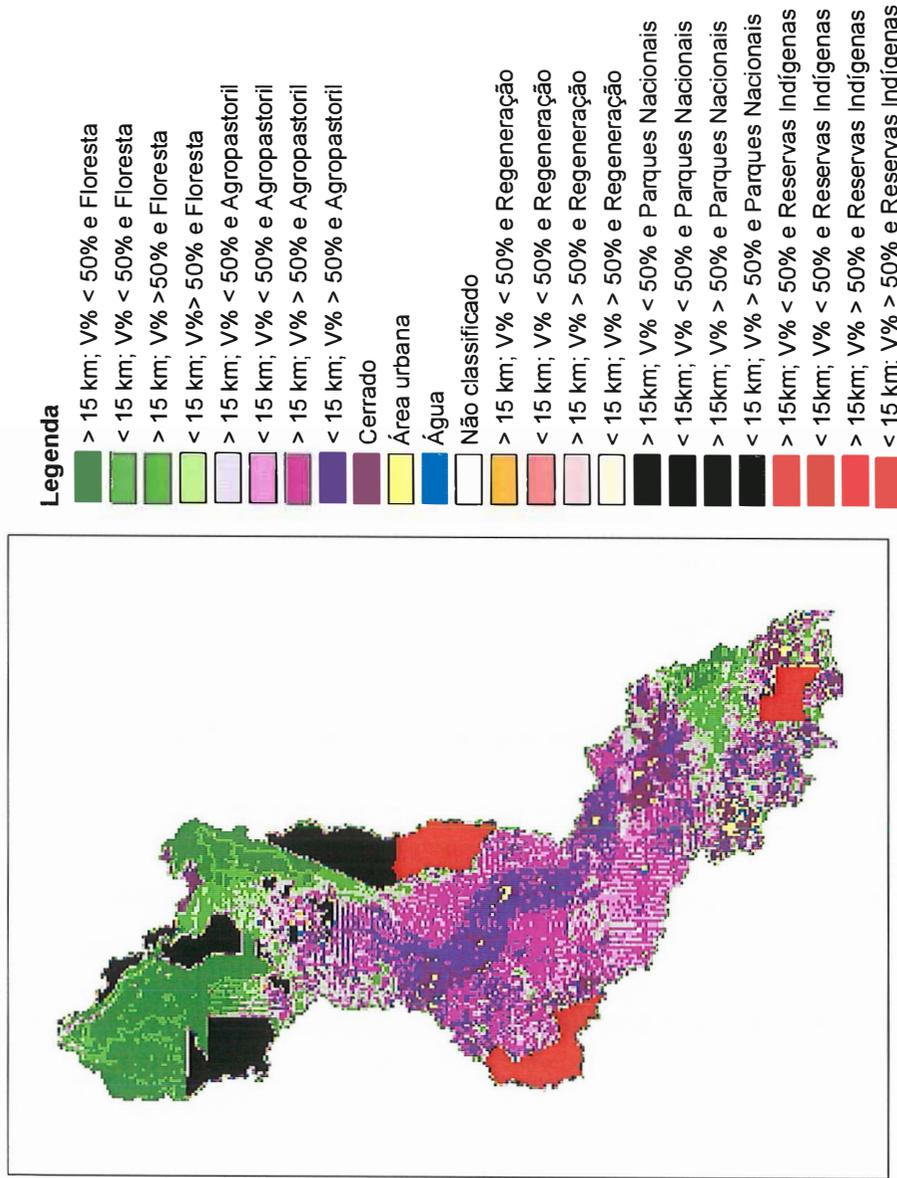


Figura 11 - Mapa resultante da tabulação cruzada entre as variáveis: Saturação de bases(V%), da área tampão de 15 km das principais estradas e do mapa de uso e cobertura do solo do ano de 2001 da bacia do Ji-Paraná

A Figura 12 apresenta um fluxograma com os procedimentos utilizados para análise dos fatores associados com as áreas desmatadas.

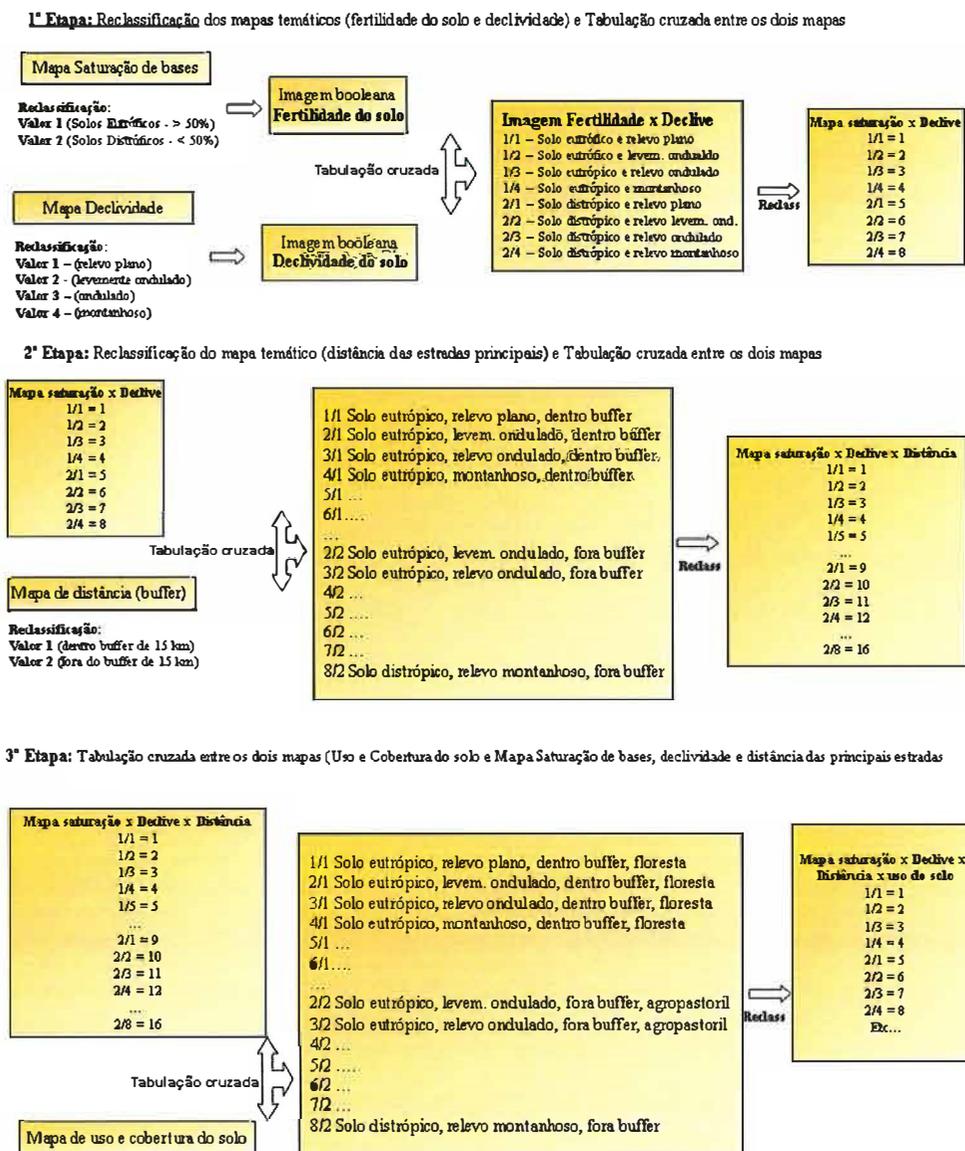


Figura 12 - Fluxograma da metodologia que será utilizada para analisar determinados fatores que influenciaram o processo de desmatamento na bacia do rio Ji-Paraná – RO

3.2.7 Análise Estatística

Com intuito de analisar a influência da fertilidade do solo e a distância das principais estradas no processo de desmatamento e também a composição e configuração da paisagem na bacia di Ji-Paraná, foram selecionadas as quatro principais áreas resultantes da tabulação cruzada, sendo estas: **Área I)** áreas localizadas à uma distância inferior a 15 km e com saturação de bases superior à 50% (**< 15 km; V% > 50%**); **Área II)** áreas localizadas à uma distância superior a 15 km das estradas e com saturação de bases superior à 50% (**> 15 km; V% > 50%**); **Área III)** áreas localizadas à uma distância inferior a 15 km e com saturação de bases inferior à 50% (**< 15 km; V% < 50%**), **Área IV)** áreas localizadas à uma distância superior a 15 km das estradas principais e com saturação de bases inferior à 50% (**> 15 km; V% < 50%**).

Para cada área resultante da tabulação cruzada foram selecionadas aleatoriamente 24 sítios amostrais, cada um apresentando 10 x 10 km, nas quatro datas estudadas (Figura 13). Primeiramente, foi efetuada uma análise de Regressão Logística ao nível de 5%, no programa estatístico JMP, para avaliar a influência da fertilidade do solo e distância das principais estradas no processo de desmatamento ao longo dos 15 anos.

Posteriormente, estes mesmos sítios amostrais foram utilizados para análise da caracterização da paisagem, como descrito no item (3.2.7 Caracterização da paisagem da bacia do Ji-Paraná através de Índices da Paisagem).

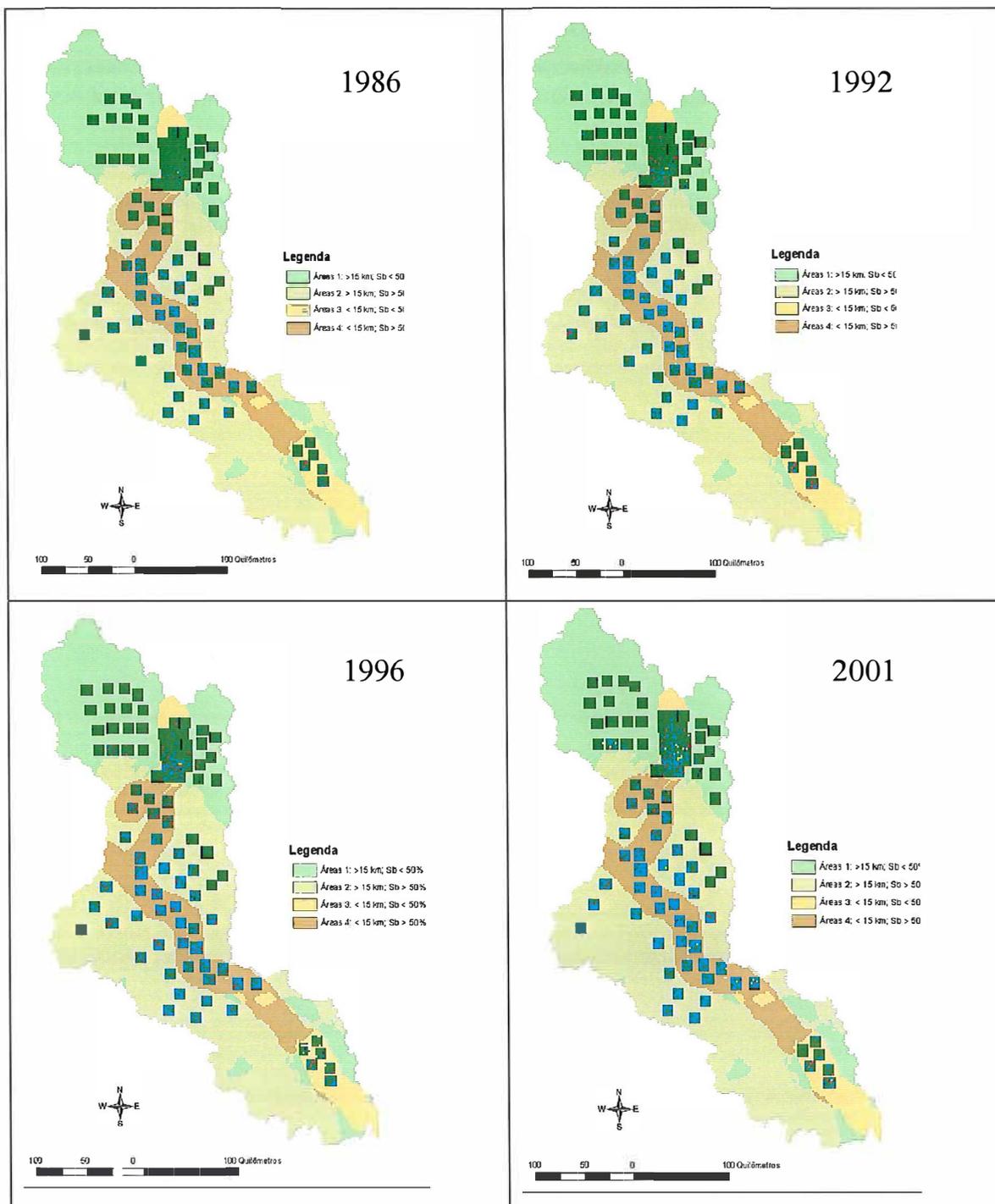


Figura 13 - Visualização das 24 áreas amostrais (10 x 10km) seleccionadas aleatoriamente nos anos de 1986, 1992, 1996 e 2001

3.2.8 Caracterização da paisagem da bacia do Ji-Paraná através de Índices da Paisagem

A caracterização da configuração e da composição da paisagem da bacia do rio Ji-Paraná foi realizada mediante a estratificação das áreas obtidas na tabulação cruzada. Para analisar separadamente cada uma destas regiões distintas foram criadas “máscaras” para cada região, sendo estas:

A partir da separação dessas áreas, foram calculadas métricas da paisagem para cada sítio amostral (24 sítios amostrais), pelo Software FRAGSTATS 3.3 e, posteriormente, feito uma média desses sítios.

Os índices escolhidos para caracterizar a bacia do rio Ji-Paraná foram: (a) porcentagem de área de cada classe; (b) o tamanho médio dos fragmentos; e (c) o desvio padrão e a densidade de borda, conforme descritos a seguir:

A) Métrica de áreas (relacionada com composição da paisagem)

1- Porcentagem da classe na paisagem

$$\%Classe = \sum a_{ij} / A \times (100)$$

a_{ij} = área (m^2) do fragmentos

A = área total da paisagem (m^2)

unidade = porcentagem (%)

Extensão: $0 < \%classe \leq 100$

B) Densidade, Tamanho e Variabilidade (representando a configuração da paisagem). Estas métricas, em geral, são consideradas as mais representativas para expressar a configuração da paisagem, embora elas não sejam medidas espaciais explícitas (MacGarigal, 1996).

1-Tamanho Médio dos fragmentos

$$TMF = A / n_i \times (1/10.000)$$

A= área total da paisagem (m²)
 n_i= número total de fragmentos na paisagem
 unidade = hectares (ha)

2- Desvio Padrão da área dos fragmentos

$$DP = \sqrt{\sum [a_{ij} - (\sum a_{ij} / n_i)]^2 / n_i} \times (1/10.000)$$

Unidades = hectares (ha)

C) Métricas de Bordas (normalmente são métricas que representam a configuração da paisagem, apesar de não estar explícita a espacialidade)

1- Densidade de borda

$$DB = \sum eik / A * 10000$$

Unidade: Metros por hectare

Limite: $DB \geq 0$, sem limites

Sendo: Densidade de bordas é a soma do comprimento (metros) de todas as bordas de uma mesma classe, dividido pela área total da paisagem (m²) e multiplicada por 10000

4 RESULTADOS

4.1 Série histórica de uso e cobertura do solo da bacia do Ji-Paraná

4.1.1 Acurácia da classificação

A Tabela 3 apresenta a matriz de confusão da classificação referente a ano de 2001. Esta matriz avalia o resultado da classificação comparando os dados da verdade de campo com os da classificação. Esta comparação entre verdade de campo e resultados da classificação é útil não apenas para quantificar o erro total da classificação, mas também para verificar quais são as classes que mais contribuíram com este resultado (erros de inclusão e omissão). Os valores da diagonal de cada classe indicam a coincidência entre o mapa temático gerado pela classificação digital e a verdade terrestre (observação de campo e videografia). Foram utilizados 151 pontos verificados no campo e 10 pontos de imagens de videografia.

Os componentes da diagonal principal da matriz de confusão fornecem o número de *células* classificadas corretamente para cada classe analisada. Os valores dos erros de inclusão e omissão mostram, individualmente, as classes que foram melhor classificadas e as que não tiveram boa classificação. O erro de inclusão refere-se aos células que são incluídas em uma determinada classe, mas que na verdade pertencem a outra(s) classe(s). Como pode-se verificar na matriz de confusão, das células da classe agropastoril do mapa temático de 2001, 100 células (91%) foram classificadas corretamente; entretanto 10 células (9%) foram mal classificadas. Analisando a verdade de campo, constatou-se que destes 10 células mal classificadas, 1 na realidade era floresta, 4 cerrado e 5 células de rebrota. O erro de omissão nos mostra as células que

foram omitidas da classe correta sendo atribuídas a outra(s) classe(s). Tomando como exemplo a classe agropastoril, 100 células foram classificadas corretamente, porém há 9 células mal classificadas, sendo 1 célula classificada como cerrado, 3 células como área urbana, 3 como nuvens e 2 como rebrota.

Tabela 3. Matriz de confusão da classificação de imagens Landsat-7/ETM+, da bacia do Ji-Paraná (RO), referente a 2001

Classes	Floresta	Agropastoril	Cerrado	Urbana	Água	Nuvens	Rebrota	Total
Floresta	17	0	0	0	1	0	1	19
Agropast	1	100	4	0	0	0	5	110
Cerrado	0	1	8	0	0	0	0	9
Urbana	0	3	0	3	0	0	0	6
Água	0	0	0	0	2	0	0	2
Nuvens	1	3	0	0	0	0	0	4
Rebrota	0	2	0	0	0	0	9	11
Total	19	109	12	3	3	0	15	161

O Índice Kappa geral foi de 0,73 (Tabela 4) para 2001, qualifica a classificação como muito boa ($0,6 < k < 0,8$). Com relação à classe cerrado foi necessário utilizar uma máscara, devido à baixa separabilidade deste em relação à pastagem. Para tal, foi construída uma máscara a partir dos mapas do Projeto RADAMBRASIL (1: 250.000).

Tabela 4. Índice Kappa para cada classe de uso e cobertura do solo, para 2001

Classes de Uso e Cobertura	Kappa	Desempenho da classificação
Floresta	0,8807	Excelente
Agropastoril	0,7185	Muito bom
Cerrado	0,8799	Excelente
Área urbana	0,4905	Bom
Água	10,0000	
Outros	0,0000	-
Rebrota	0,7995	Muito bom

4.1.2 Mudanças espaciais e temporais na cobertura do solo: áreas totais por cada classe

A Tabela 5 apresenta as áreas totais, expressas em km² e porcentagem (%), de cada classe obtida a partir dos mapas de uso e cobertura do solo da bacia do Ji-Paraná gerados para os anos de 1986, 1992, 1996 e 2001.

Ao analisar as mudanças totais de uso e cobertura do solo na bacia, entre os anos de 1986 a 2001, verifica-se que ocorreu uma perda de 15.313 km² (20%) de floresta nativa. A classe regeneração, definida como áreas desmatadas abandonadas, em processo de sucessão ecológica, apresentou uma maior área no ano de 1996 quando comparada aos demais anos avaliados.

Tabela 5. Uso e cobertura do solo na bacia do rio Ji-Paraná, nos anos de 1986, 1992, 1996 e 2001

Classes	1986		1992		1996		2001	
	km ²	%						
Floresta	56448	74,9	50571	67,1	45780	60,7	41135	54,5
Agropastoril	12004	15,9	16977	22,5	21168	28,1	25873	34,3
Cerrado	5363	7,1	5363	7,1	5363	7,1	5363	7,1
Área urbana	63	0,8	124	0,2	177	0,2	247	0,3
Água	319	0,4	360	0,5	383	0,5	420	0,6
Nuvens	0	0,0	60	0,1	162	0,2	355	0,5
Regeneração	1204	1,6	1935	2,6	2364	3,1	2018	2,7
TOTAL	75402	100,0	75390	100,0	75397	100,0	75410	100,0

As Figuras 14 e 15 apresentam a evolução da mudança do uso e cobertura do solo na bacia do Ji-Paraná nas quatro datas estudadas (1986, 1992, 1996 e 2001).

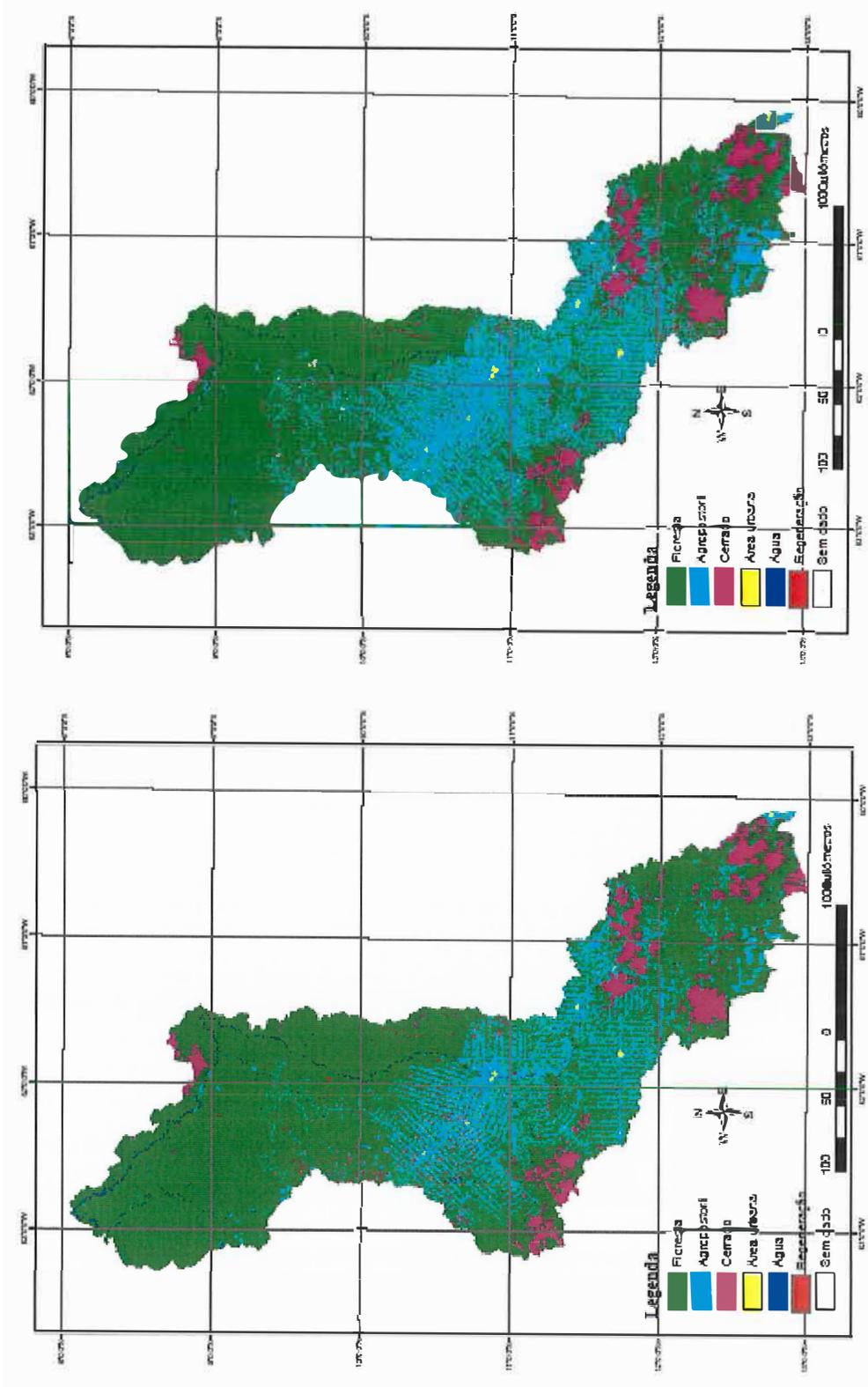
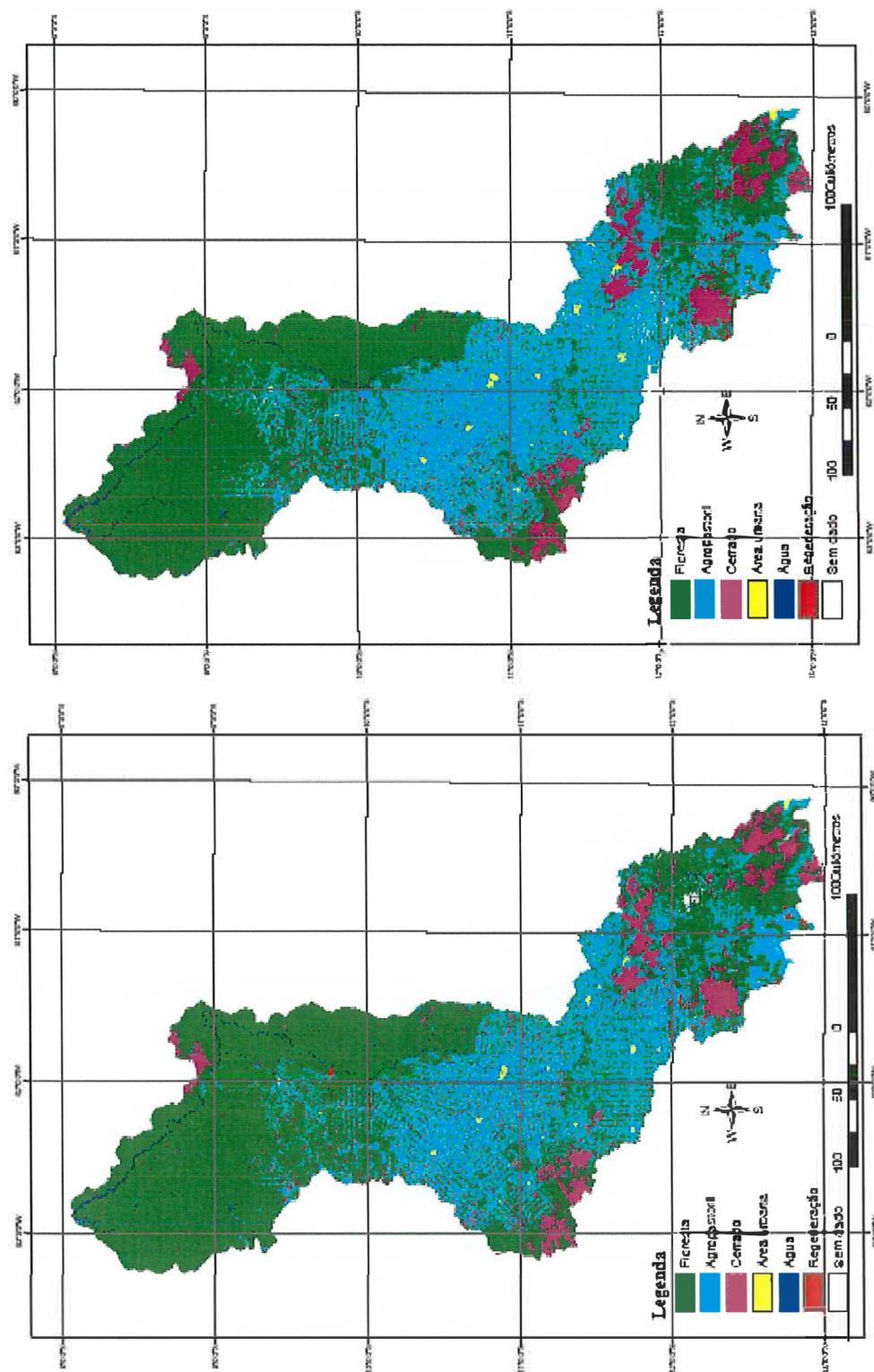


Figura 14 - Mapas do uso e cobertura do solo: bacia do rio Ji-Paraná, ano de 1986 (a) e ano de 1992 (b)



(c)

(d)

Figura 15 - Mapa de uso e cobertura do solo: bacia do rio Ji-Paraná, ano de 1996 (c) e ano de 2001 (d)

4.1.3 Mudanças de uso e cobertura do solo por categoria na bacia do Ji-Paraná

As tabelas 6, 7 e 8 apresentam as mudanças por categoria da área destinada a cada classe de uso e cobertura do solo que ocorreram na bacia do rio Ji-Paraná, entre os períodos de 1986-1992, 1992-1996 e 1996-2001, respectivamente.

No período entre os anos de 1992 e 1996 o processo de desmatamento ocorreu de maneira mais acentuada quando comparado com os períodos de 1986-1992 e 1996-2001 (Tabela 6). O desmatamento corresponde tanto à substituição das áreas de floresta para áreas agrícolas como em regeneração.

Tabela 6. Substituição da classe Floresta para classe Agropastoril e Regeneração nos intervalos de 1986-1992, 1992-1996 e 1996-2001 para toda bacia da Ji-Paraná

Substituição da classe	1986(a) – 1992(b)		1992(a) – 1996(b)		1996(a) - 2001(b)	
	%	(%/ ano)	%	(%/ ano)	%	(%/ano)
Floresta (a) - Agropastoril (b)	3,5	0,58	3,3	0,82	2,7	0,54
Floresta (a) – Regeneração (b)	0,73	0,12	0,64	0,16	0,47	0,09

As áreas em regeneração foram mais reutilizadas entre os anos de 1996 e 2001. Estes valores podem ser devido à reutilização destas áreas para fins agrícolas ou mesmo à confusão com áreas de pasto sujo (Tabela 7).

Tabela 7. Substituição da classe Regeneração para classe Agropastoril e Floresta nos intervalos de 1986-1992, 1992-1996 e 1996-2001 para toda bacia do Ji-Paraná

Substituição da classe	1986(a) - 1992(b)		1992(a) - 1996(b)		1996(a) - 2001(b)	
	%	(%/ano)	%	(%/ano)	%	(%/ano)
Regeneração (a) - Agropastoril (b)	0,32	0,05	0,37	0,09	0,83	0,16
Regeneração (a) - Floresta (b)	0,20	0,03	0,49	0,12	0,20	0,04

A substituição das áreas agrícolas para floresta, possivelmente, estão associados com falhas na correção geométrica. Estas falhas ocorreram pela falta de pontos de controle em determinadas cenas (Tabela 8).

Tabela 8. Substituição da classe Agropastoril para classe Regeneração e Floresta nos intervalos de 1986-1992, 1992-1996 e 1996-2001 da bacia do Ji-Paraná

Substituição da classe	1986(a) - 1992(b)		1992(a) - 1996(b)		1996(a) - 2001(b)	
	%	(%/ano)	%	(%/ano)	%	(%/ano)
Agropastoril (a) - Regeneração (b)	0,18	0,03	0,46	0,11	0,39	0,08
Agropastoril (a) - Floresta (b)	0,95	0,15	0,97	0,24	0,53	0,10

4.1.4 Tabulação cruzada

A Tabela 9 apresenta os resultados da tabulação cruzada efetuada entre os mapas de saturação de bases, distância das principais estradas e mapa de uso e cobertura do solo do ano de 2001 da bacia do rio Ji-Paraná.

Tabela 9. Áreas das regiões obtidas através da tabulação cruzada – ano 2001

Nº	CARACTERÍSTICAS	%	km ²
1	> 15 km; V% < 50% e Floresta	17,4	13145,5
2	< 15 km; V% < 50% e Floresta	4,8	3619,6
3	> 15 km; V% > 50% e Floresta	12,3	9272,3
4	< 15 km; V% > 50% e Floresta	4,4	3326,9
5	> 15 km; V% < 50% e Agropastoril	1,3	1006,5
6	< 15 km; V% < 50% e Agropastoril	2,3	1699,1
7	> 15 km; V% > 50% e Agropastoril	20,3	15294,4
8	< 15 km; V% > 50% e Agropastoril	10,7	8047,0
9	CERRADO	5,8	946,2
10	ÁREA URBANA	0,3	0,4
11	ÁGUA	0,5	373,3
12	NA	0,5	349,5
13	> 15 km; V% < 50% e Regeneração	0,2	177,1
14	< 15 km; V% < 50% e Regeneração	0,3	197,2
15	> 15 km; V% > 50% e Regeneração	1,5	1140,4
16	< 15 km; V% > 50% e Regeneração	0,6	424,4
17	> 15km; V% < 50% e Parques Nacionais	7,3	5499
18	< 15km; V% < 50% e Parques Nacionais	0,7	527,36
19	> 15km; V% > 50% e Parques Nacionais	1,7	1303,33
20	< 15 km; V% > 50% e Parques Nacionais	0,2	188,34
21	> 15km; V% < 50% e Reservas Indígenas	0,1	105,47
22	< 15km; V% < 50% e Reservas Indígenas	0,2	173,27
23	> 15km; V% > 50% e Reservas Indígenas	6,4	4821,56
24	< 15 km; V% > 50% e Reservas Indígenas	0,1	75,34
TOTAL	-	100,0	75336,9

Sendo: **15 km** = áreas localizadas mais de 15 km das principais estradas; **< 15 km** = áreas localizadas até 15 km das principais estradas; **V% > 50%** = áreas com saturação de bases maior que 50% (áreas férteis); **V% < 50%** = áreas com saturação de bases menor que 50% (Não férteis); **FLORESTA** = Cobertura vegetal de floresta nativa; **AGROPASTORIL** = áreas com agropastoril; **REGENERAÇÃO** = áreas em regeneração florestal; **UNIDADES DE CONSERVAÇÃO** = Unidades de conservação (Parques Nacionais e Reservas Indígenas), **NA** = Não classificado.

Na análise da paisagem foram consideradas como áreas representativas aquelas que apresentaram área superior a 1% do total da bacia. As áreas classificadas como floresta representam regiões com vegetação florestal nativa, sem levar em consideração as Unidades de conservação (Reservas Indígenas e Parques Nacionais).

Em termos de área observa-se que quatro tipos de agrupamentos predominam na bacia do Ji-Paraná, somando quase 61% da área mapeada. Desta, 20,3% está em regiões com atividade agropastoril, em solos férteis, localizadas a uma distância superior a 15 km de uma estrada principal. Áreas com floresta, em solos com baixa fertilidade e afastadas da estrada principal (> 15 km) abrangem um total de 17,4% da área de estudo. Os restantes 23 % são ocupadas por áreas com floresta, em solos férteis, longe da estrada (12,3%) e por áreas agropastoris, em solos férteis próximas das estradas (10,7%).

A Tabela 10 apresenta a distribuição das áreas de floresta na bacia do Ji-Paraná no ano de 2001. Como pode ser observado a distribuição de áreas cobertas por floresta nativa na área de estudo é bastante heterogênea no que diz respeito à composição da paisagem. As áreas de florestas localizadas até um raio de 15 km das principais vias de acesso somam menos de 10% (6945 km²) do total da bacia. A maior parte das áreas florestadas (22417,8 km²) encontram-se em áreas localizadas a mais de 15 km da estrada principal. Deste total, 58,6 % estão localizadas em solos com baixa fertilidade.

A Tabela 11 apresenta a distribuição na bacia do Ji-Paraná no ano de 2001 das áreas de floresta localizadas em Reservas Indígenas e Parques Nacionais. Estas áreas somam um total de 11623,89 km², o equivalente a 15,4% da bacia do Ji-Paraná.

Tabela 10. Distribuição das áreas florestas na bacia do Ji-Paraná no ano de 2001

Nº	CARACTERÍSTICAS	%	Km ²
1	> 15 km; V% < 50% e Floresta	17,4	13145,5
2	< 15 km; V% < 50% e Floresta	4,8	3619,6
3	> 15 km; V% >50% e Floresta	12,3	9272,3
4	< 15 km; V% > 50% e Floresta	4,4	3326,9
TOTAL		38,9	29364,3

Sendo: 15 km = áreas localizadas a mais de 15 km das principais estradas; < 15 km = áreas localizadas até 15 km das principais estradas; V% > 50% = áreas com saturação de bases maior que 50% (áreas férteis); V% < 50% = áreas com saturação de bases menor que 50% (Não férteis); FLORESTA = Cobertura vegetal de floresta nativa; AGROPASTORIL = áreas com agropastoril; REGENERAÇÃO = áreas em regeneração florestal; UNIDADES DE CONSERVAÇÃO = Unidades de conservação (Parques Nacionais e Reservas Indígenas), NA= Não classificado.

Tabela 11. Distribuição das áreas florestas na bacia do Ji-Paraná no ano de 2001

Nº	CARACTERÍSTICAS	%	km ²
23	> 15km; V% < 50% e Parques Nacionais	7,3	5499,00
25	> 15km; V% > 50% e Parques Nacionais	1,73	1303,33
29	> 15km; V% > 50% e Reservas Indígenas	6,40	4821,56
TOTAL		15,43	11623,89

Sendo: 15 km = áreas localizadas mais de 15 km das principais estradas; < 15 km = áreas localizadas até 15 km das principais estradas; V% > 50% = áreas com saturação de bases maior que 50% (áreas férteis); V% < 50% = áreas com saturação de bases menor que 50% (Não férteis); FLORESTA = Cobertura vegetal de floresta nativa; AGROPASTORIL = áreas com agropastoril; REGENERAÇÃO = áreas em regeneração florestal; UNIDADES DE CONSERVAÇÃO = Unidades de conservação (Parques Nacionais e Reservas Indígenas), NA= Não classificado.

A distribuição das áreas agrícolas está intimamente relacionada com a fertilidade do solo, estando apenas 3,6% (2700 km²) destas áreas localizadas em regiões com baixa fertilidade do solo, como mostra a Tabela 12.

Tabela 12. Distribuição das áreas agropastoris na bacia do Ji-Paraná no ano de 2001

Nº	CARACTERÍSTICAS	%	km ²
5	> 15 km; V% < 50% e Agropastoril	1,3	1006,5
6	< 15 km; V% < 50% e Agropastoril	2,3	1699,1
7	> 15 km; V% > 50% e Agropastoril	20,3	15294,4
8	< 15 km; V% > 50% e Agropastoril	10,7	8047,0
TOTAL		34,6	26047,1

Sendo: 15 km = áreas localizadas mais de 15 km das principais estradas; < 15 km = áreas localizadas até 15 km das principais estradas; V% > 50% = áreas com saturação de bases maior que 50% (áreas férteis); V% < 50% = áreas com saturação de bases menor que 50% (Não férteis); FLORESTA = Cobertura vegetal de floresta nativa; AGROPASTORIL = áreas com agropastoril; REGENERAÇÃO = áreas em regeneração florestal; UNIDADES DE CONSERVAÇÃO = Unidades de conservação (Parques Nacionais e Reservas Indígenas), NA= Não classificado.

4.1.5 Métricas da paisagem

A análise da composição e configuração da paisagem através de métricas da paisagem incluiu diferentes regiões no período de 15 anos, isoladas a partir da tabulação cruzada, cujas características foram apresentadas na Tabela 9.

No decorrer dos 15 anos analisados as regiões mais alteradas apresentavam alta fertilidade do solo, não importando a distância das principais estradas. Estas regiões, em média, sofreram uma perda correspondente a 30% da cobertura florestal. Entretanto, as regiões localizadas em um raio de até 15 km das principais vias de acesso, mas apresentando baixa fertilidade do solo, sofreram em média uma perda de 21% da cobertura florestal. Já as áreas menos alteradas da bacia ao longo do tempo estavam localizadas na parte norte da bacia, sendo caracterizadas como regiões de baixa fertilidade do solo (Figura 16 e 17).

A porcentagem de área em regeneração se manteve constante ao longo do tempo, exceto no ano de 1996. Tal fato pode ser resultado de fatores econômicos que atuavam no país nesse período, quando ocorreu uma alta taxa de desmatamento para garantir a posse das terras (Fearnside, 2002), como mostra a Figura 18.

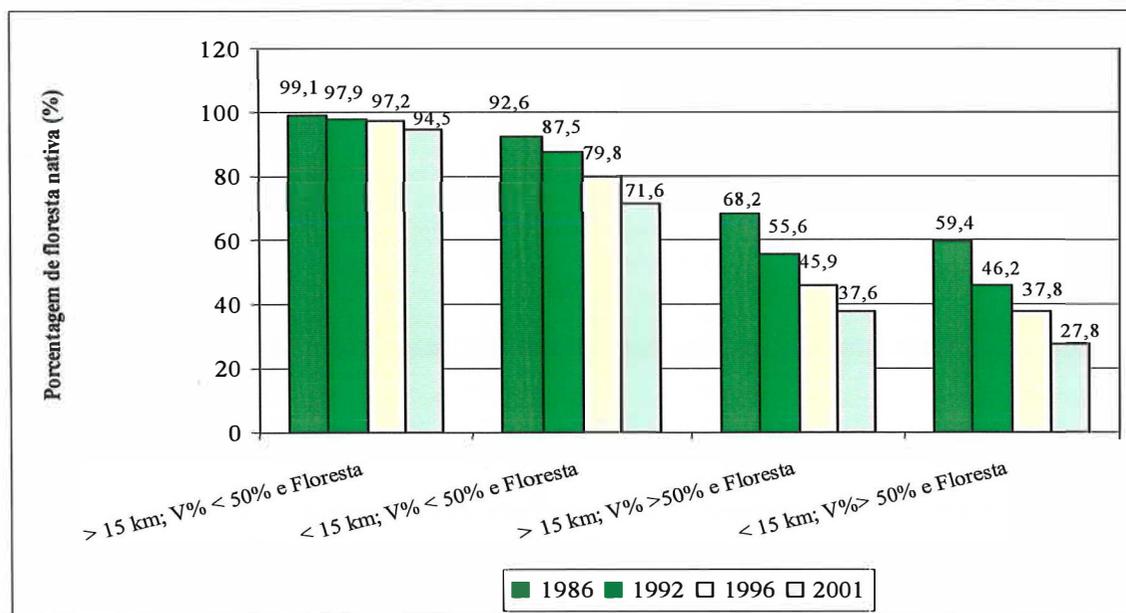


Figura 16 - Porcentagem de floresta nativa na bacia do Ji-Paraná entre os anos de 1986, 1992, 1996 e 2001

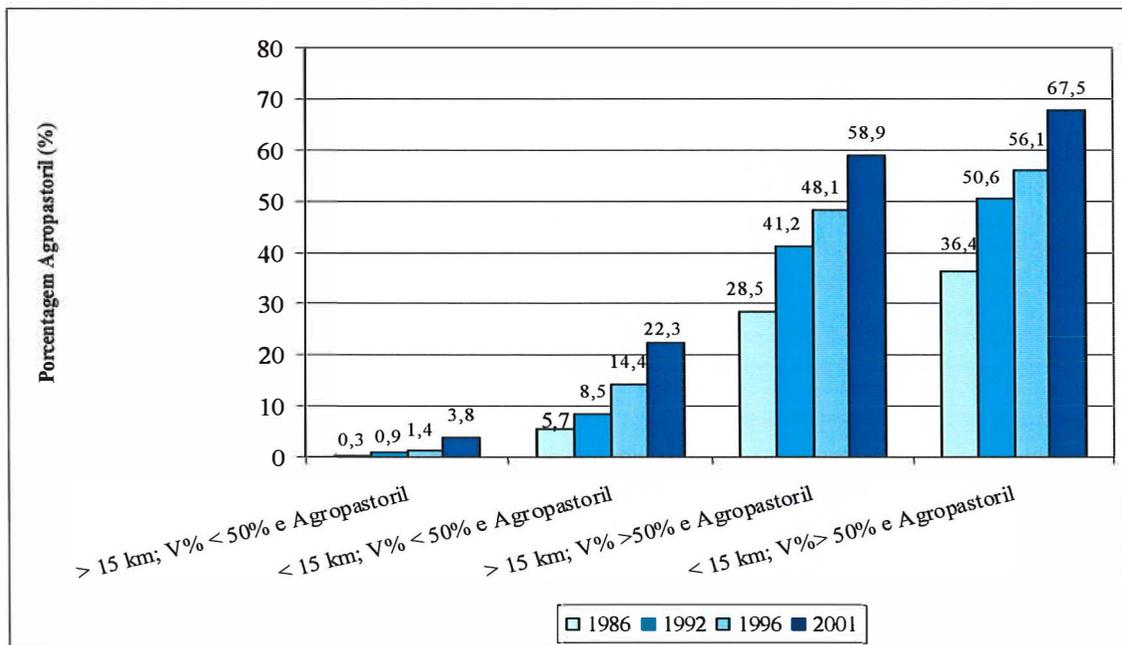


Figura 17 - Porcentagem de áreas de agrícolas (agropastoril) na bacia do rio Ji-Paraná entre os anos de 1986, 1992, 1996 e 2001

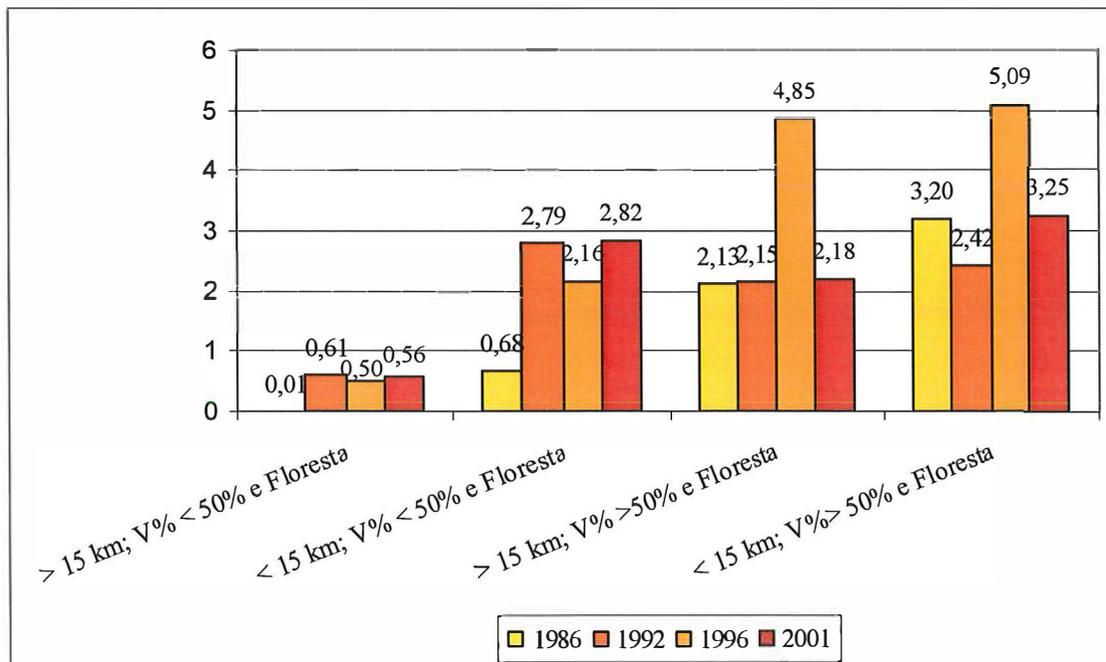


Figura 18 - Porcentagem de áreas em regeneração na bacia do Ji-Paraná entre os anos de 1986, 1992, 1996 e 2001

O índice de densidade de borda, por ponderar o comprimento de todas as bordas de uma mesma classe pela área total da paisagem, indiretamente, indica a fragmentação da paisagem. Os resultados da densidade de borda da classe floresta indicam a existência de dois padrões de fragmentação da paisagem distintos na bacia do Ji-Paraná, um para as áreas de solos férteis e outro as regiões com solos menos férteis. O primeiro padrão aponta para um intenso processo de fragmentação florestal, o qual é evidenciado pelo aumento da densidade de borda ao longo da série temporal estudada. Porém, a partir do ano de 1992 observa-se uma drástica diminuição nestes valores, possivelmente devido ao desaparecimentos de pequenos fragmentos florestais. O segundo padrão, resulta de um processo de desmatamento menos intenso quando comparado com aquele observado em áreas com alta fertilidade do solo. Entretanto, o índice de densidade de borda aumenta linearmente (Figura 19).

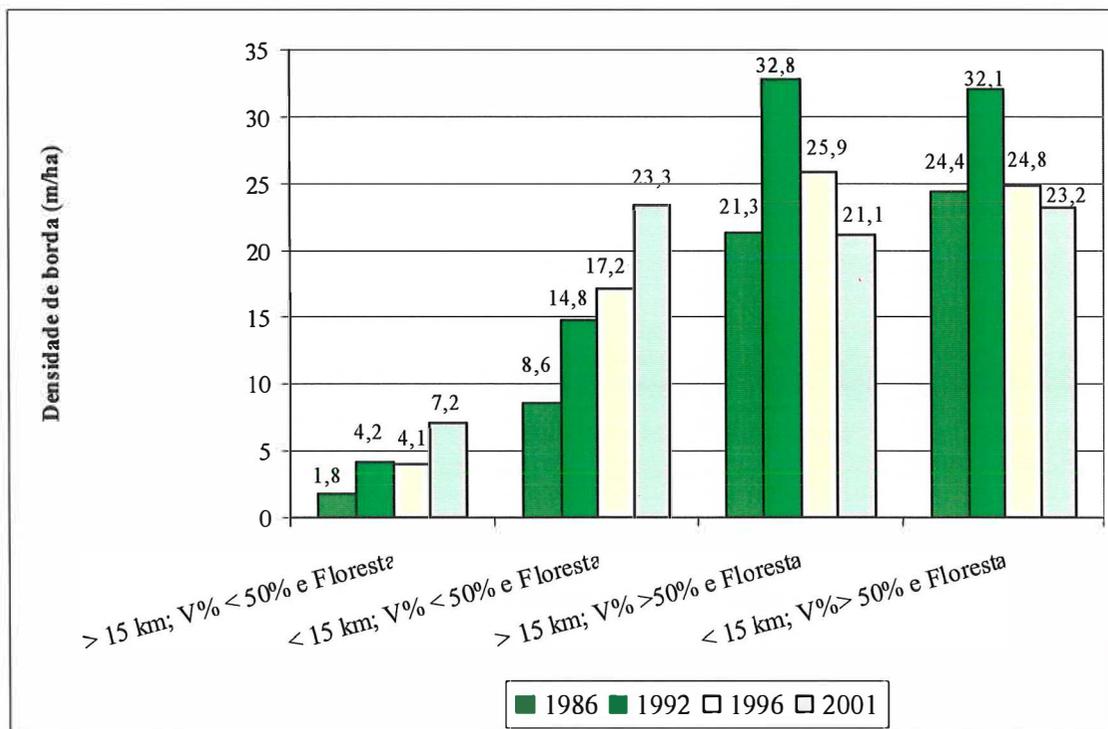


Figura 19 - Densidade de borda da classe floresta na bacia do Ji-Paraná entre os anos de 1986 e 2001

A densidade de borda da classe agropastoril aumentou no decorrer dos anos. Contudo, nas áreas com solos férteis observa-se, a partir do ano de 1996, uma queda no valor desse índice. Tal comportamento, provavelmente decorre de uma agregação das áreas agropastoris, muito comum na região devido ao abandono da terras pelos pequenos proprietários, as quais são agregadas em propriedades de médio e grande portes (Figura 20). Entretanto, é necessário lembrar que os índices de borda são afetados pela resolução das imagens (McGarigal et al., 1995) e, portanto, devemos considerar possíveis distorções nos resultados devido a esta limitação.

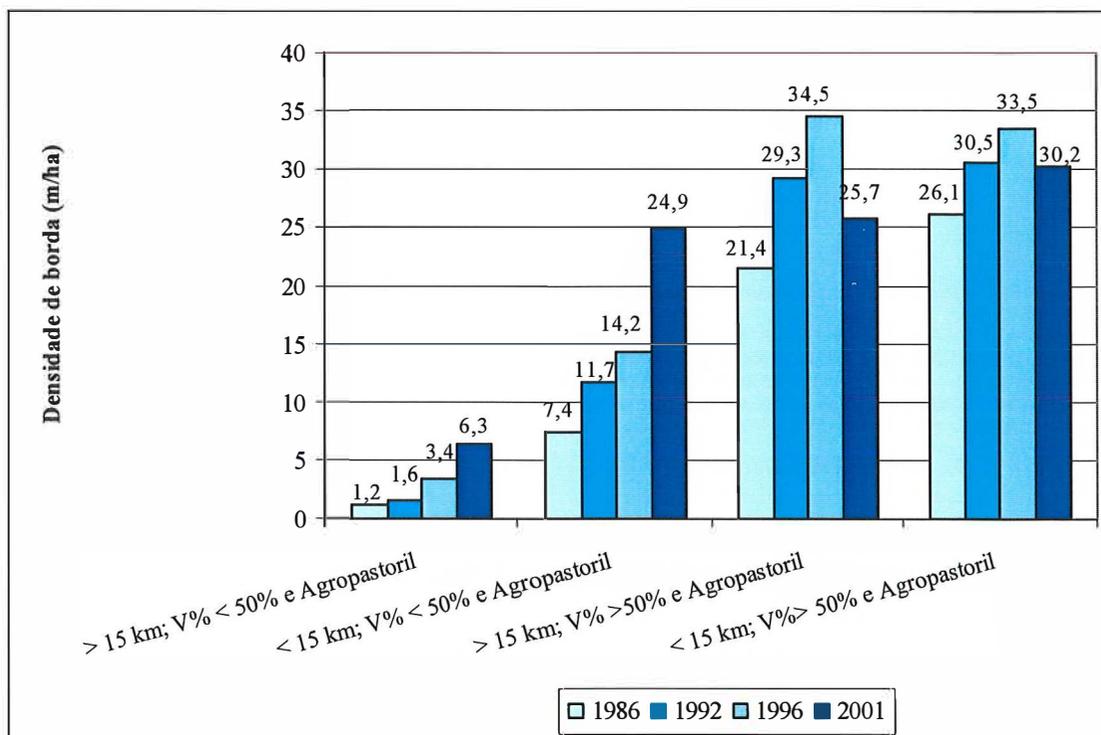


Figura 20 - Densidade de borda da classe agropastoril entre os anos de 1986, 1992, 1996 e 2001 na bacia do Ji-Paraná

A análise da área média e o desvio padrão da mesma para cada classe de uso e cobertura do solo nas diferentes regiões é outro elemento importante para avaliar o grau de fragmentação. Para classe floresta, observa-se que as regiões localizadas a uma distância de até 15 km das principais vias de acesso e com solos férteis apresentavam em 1986 uma área média de 1589ha. Estas áreas passaram a ter um tamanho médio de 32ha no ano de 2001, uma redução de quase 98%. Outra classe bastante alterada foi a formadas pelas áreas que também apresentavam solos férteis, porém localizadas a uma distância maior que 15 km das principais vias de acesso. Nestas, os fragmentos florestais passaram de 983ha (1986) para 130ha no ano de 2001, uma redução de cerca de 87% (Tabela 13).

Tabela 13. Área média dos fragmentos florestais nas diferentes paisagens localizadas na bacia do Ji-Paraná e Desvio padrão

ÁREAS	1986		1992		1996		2001	
	Área média (ha)	Desvio Padrão						
> 15 km; V% < 50% e Floresta	7333	1986	6015	1670	5579	1678	4679	1611
< 15 km; V% < 50% e Floresta	4557	1903	1801	1988	1624	1298	624	985
> 15 km; V% > 50% e Floresta	983	1229	196	687	129	250	130	185
< 15 km; V% > 50% e Floresta	1589	797	68	407	53	297	32	158

Nas áreas agropastoris os valores obtidos para este índice (Área média das classes) apontam para uma tendência de agregação das mesmas. Um exemplo característico desta tendência é o caso das áreas com alta fertilidade do solo, que apresentavam em média áreas com 40ha no ano de 1986, e passaram para 145ha em média no ano de 2001, um aumento médio de 72% no tamanho (Tabela 14).

Tabela 14. Área média dos fragmentos Agropastoris nas diferentes paisagens localizadas na bacia do Ji-Paraná e Desvio padrão

ÁREAS	1986		1992		1996		2001	
	Área média (ha)	Desvio Padrão						
> 15 km; V% < 50% e Agropastoril	1,24	1,61	1,63	4,5	1,97	6,24	4,46	18,34
< 15 km; V% < 50% e Agropastoril	14,34	41,24	10,97	47,6	18,19	98,13	15,47	104
> 15 km; V% > 50% e Agropastoril	36,39	184	39,69	298	52,36	416	139	826
< 15 km; V% > 50% e Agropastoril	45,18	287	62,89	470	69,28	548	151	892

4.1.6 Análise Estatística: Desmatamento x Fertilidade do solo e distância das estradas

A análise estatística efetuada indicou que a saturação de bases e a distância das principais vias de acesso foram significativas para explicar a dinâmica do desmatamento na bacia do Ji-Paraná no período de 15 anos. Para os quatro anos estudados (1986, 1992, 1996 e 2001) a fertilidade do solo fator determinante, estatisticamente significativo no processo de desmatamento (1986: Regressão logística, $x^2 = 677$, $p < 0,0001$); (1992: $x^2 = 1123$, $p < 0,0001$); (1996: $x^2 = 1343$, $p < 0,0001$) e (2001: $x^2 = 1989$, $p < 0,0000$). A variável distância das principais estradas também foi estatisticamente significativa para explicar o desmatamento (1986: Regressão logística, $x^2 = 52,35$, $p < 0,0001$); (1992: $x^2 = 94,42$, $p < 0,0001$); (1996: $x^2 = 206$, $p < 0,0001$) e (2001: $x^2 = 141$, $p < 0,0001$).

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

As estimativas de desmatamento da Amazônia brasileira obtidas pelo INPE adquiriram o caráter de estatística oficial a partir de 1988 (Margulis, 2003). Estes dados são obtidos a partir da classificação de imagens de satélite Landsat-5/TM e Landsat-7/ETM+, geralmente, correspondentes aos meses de julho, agosto e setembro. Com intuito de comparar os dados oficiais de desmatamento e os obtidos neste estudo, foi efetuada uma análise de tendência temporal, com as taxas médias de desmatamento do INPE para estado de Rondônia, e as observadas na bacia do Ji-Paraná (Tabelas 15 e 16). Para os anos de 1986 e 1987 foi utilizada média dos anos de 1988, 1989 e 1990, uma vez que neste período os dados não foram obtidos pelo INPE.

Tabela 15. Taxa de desmatamento ($\text{km}^2 \text{ano}^{-1}$) no estado de Rondônia nos períodos estudados neste trabalho

	km^2	km^2ano	Taxa desmatamento ($\text{km}^2 \text{ano}^{-1}$)	Taxa desmt/238500 km^2
1986-1992	9265	9265/6	1544	0,6
1992-1996	12352	12352/4	3088	1,3
1996-2001	11523	11523/5	2305	1,0

Fonte: INPE (2002)

Tabela 16. Taxa de desmatamento na bacia do rio Ji-Paraná, Rondônia

	km ²	km ² ano	Taxa desmatamento (km ² ano ⁻¹)	Taxa desma/75400 km ²
1986-1992	5877	5877/6	980	1,3
1992-1996	4791	4791/4	1197	1,6
1996-2001	4645	4645/5	929	1,2

A análise comparativa dos valores de desmatamento destes dois estudos indica uma consistência nas tendências observadas nos mesmos, com uma taxa de desmatamento maior no período entre 1992-1996 (Figura 21). Estes valores mais elevados coincidem com o período da implantação do Plano Real, principalmente, nos anos de 1994-1995. Nesta época as terras tinham o papel de estoque de valor, sendo a prática de desmatar a maneira dos proprietários garantirem a posse da terra (Fearnside, 2002).

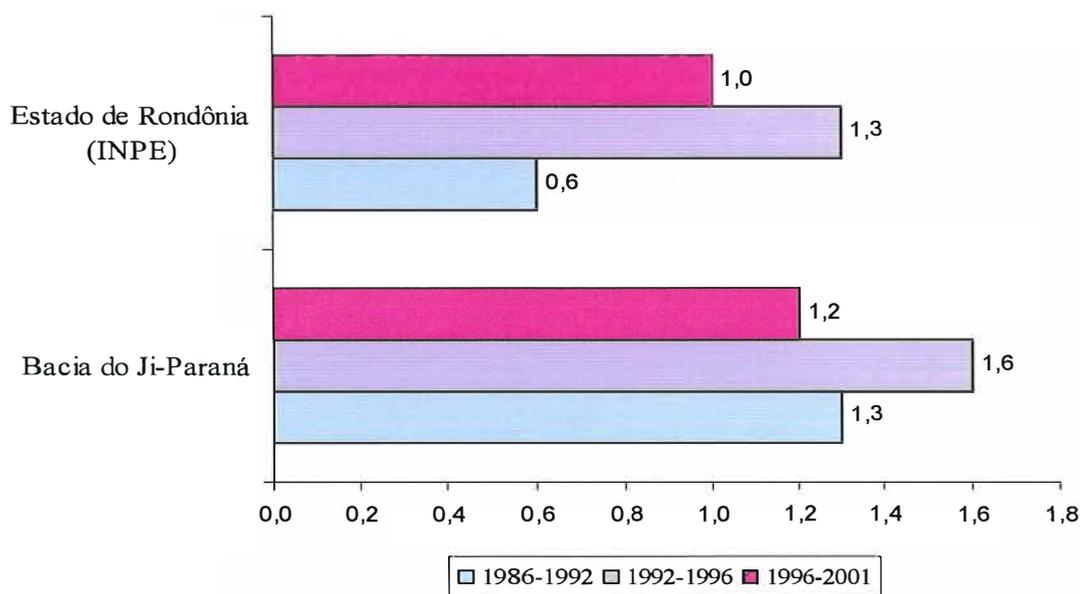


Figura 21 - Comparação entre taxas de desmatamento para estado de Rondônia obtidas pelo INPE e na bacia do Ji-Paraná – RO

Em termos absolutos, os valores dos dois estudos são bastante distintos. Estas diferenças eram esperadas, uma vez que as metodologias empregadas em ambos estudos são distintas em pelo menos três aspectos. O primeiro aspecto refere-se à diferença de tamanho entre as duas áreas, sendo que um representa o Estado como um todo e outro a bacia do Ji-Paraná, apesar desta estar contida integralmente no Estado. O segundo aspecto responsável pelas diferenças numéricas entre os estudos pode ser a distribuição espacial das áreas desmatadas, uma vez que os valores se referem ao estado de Rondônia como um todo, a dinâmica temporal de colonização tem uma influência maior nos estudos. Como pode ser observado na Figura 22, a ocupação das terras em Rondônia é espacialmente heterogênea, sendo a porção central da bacia do Ji-Paraná, uma das mais utilizadas. Consequentemente, os valores mais elevados nas taxas de desmatamento observados no período entre 1986-1992 neste trabalho, podem ser facilmente associados com a implantação dos principais projetos de assentamento na região. Em 1981 teve início o Projeto POLONOROESTE, que assentou um grande número de colonos na área em questão. Por outro lado, como os dados do INPE são para todo o estado, as áreas localizadas fora do limite da bacia do Ji-Paraná apresentaram uma taxa menor de desmatamento no primeiro período. Porém, a elevação observada no último período está muito provavelmente associada à ocupação intensa das regiões de Ariquemes e Porto Velho (Roberts et al, 2002), áreas que estão parcialmente ou não estão incluídas na bacia.

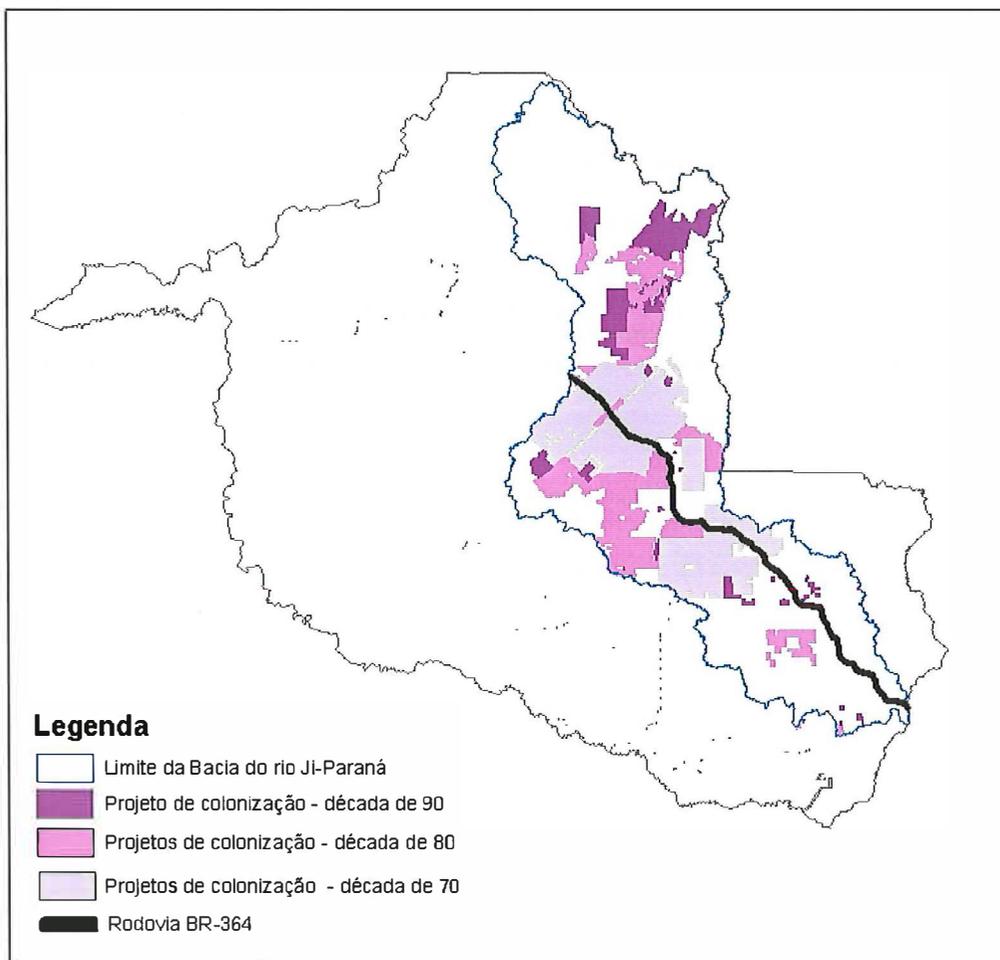


Figura 22 - Localização dos projetos de colonização do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), no estado de Rondônia entre 1970 e 1990

Outro aspecto responsável por estas diferenças refere-se ao próprio método de classificação. Enquanto o INPE utilizava até 2000 o processo de interpretação visual para gerar seus mapas, a bacia do Ji-Paraná foi classificada por método digital. A confiabilidade nos resultados é certificada pelos valores das acurácias obtidas neste estudo para o ano de 2001, indicando que a classificação pode ser considerada como muito boa, com valores dentro da faixa observada em outros estudos para a mesma

região. Ballester et al. (2003) obtiveram acurácia de 89% com Índice Kappa de 0,86 para a área de estudo (bacia do rio Ji-Paraná), no ano de 1999. No mesmo ano, em outro mapeamento de parte desta região, Roberts et al. (2002) analisaram uma série temporal utilizando as cenas 231-067, 231-068 e 232-067 e obtiveram um Índice Kappa de 0,89. Estes valores são bastante similares aos obtidos neste estudo e, apesar de refletirem uma única data da série histórica analisada, indicam que a classificação efetuada está no intervalo de confiança aceitável. Com relação ao monitoramento do INPE, o mesmo não fornece valores de acurácia, o que dificulta este tipo de comparação.

Finalmente, devemos lembrar que as áreas desmatadas determinadas pelo INPE representam o incremento na área desmatada, isto é, são mapeadas apenas que estão sofrendo uma modificação na sua cobertura florestal. Isto significa que nestes cálculos não são levados em consideração as conversões de uso, como por exemplo de cultura anuais para pastagens ou a re-utilização de áreas em regeneração para o cultivo de pastagens. Este aspecto pode ser relevante, uma vez que a maior confusão foram entre as classes rebrota e agropastoril, em conformidade com observações de Ballester et al. (2003) e Roberts et al. (2002).

É interessante lembrar que há limitações técnicas na utilização de imagens Landsat para separar as classes pasto, regeneração e floresta. O uso do método tradicional de classificação de imagens de satélite por máxima verossimilhança para identificar diferentes estádios sucessionais da floresta tem demonstrado não ser o mais indicado. Isto deve-se à possibilidade da área de uma célula de imagem Landsat conter diferentes classes de uso e cobertura do solo. Estudos com outros algoritmos, como por exemplo o de mistura linear, tem apresentado uma melhor acurácia dos resultados. Lu et al. (2003), utilizaram este método para classificar diferentes estádios de regeneração na região de Machadinho d'Oeste - RO e obtiveram uma acurácia 7,4% maior do que pelo o método tradicional de classificação. Segundo os autores, isto ocorreu por que as fracções sombra e verde discriminam floresta madura e regeneração, principalmente por fornecer informações biofísicas estruturais.

Os estudos das causas do desmatamento em áreas tropicais têm demonstrado que a migração e o crescimento natural da população dirigem a expansão das lavouras e pastagens em 47% dos casos estudados na América Latina (Geist & Lambin, 2002). O crescimento das pastagens associa-se aos processos de colonização, tanto planejados, quanto espontâneos dos agricultores.

A preocupação de ocupar do território amazônico pelo governo brasileiro data desde o século XIX, tendo como principais objetivos proteger a soberania nacional e expandir as fronteiras agrícolas (Becker, 1997). Os primeiros colonizadores da região amazônica chegaram em torno de 1912, devido à expansão do ciclo da borracha. Por volta de 1953 o governo brasileiro criou a "Superintendência do Plano de Valorização Econômica da Amazônia" (SPVEA), com objetivo de desenvolver a agricultura. Surgiram então os primeiros planos que encorajaram a imigração para a região. Em 1966 foi criada a Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia/Ministério do Interior (SUDAM), que tinha como objetivo coordenar e supervisionar programas e planos regionais e redistribuir incentivos fiscais (Becker, 1997). A dinâmica populacional foi acompanhada da transformação da paisagem, principalmente, na região do arco do desmatamento (Nepstad et al., 1997; Laurance et al., 1998).

Apesar de ter sido colonizado no final do século XVIII, o desenvolvimento e ocupação do estado de Rondônia foi impulsionado somente entre 1970 e 1990, através de uma série de programas financiados pelo Banco Mundial e o Banco Interamericano de Desenvolvimento. Em 1970 foi criado o Programa de Integração Nacional (PIN), cujo principal objetivo era a construção de estradas, e infra-estrutura associada, para ligar o centro-sul ao norte do país. Esta linha de financiamento permitiu o melhoramento da BR-364, entre Cuiabá e Porto Velho, construída em 1965, e finalmente pavimentada em 1984 (Fujisaka et al., 1996; Roberts et al., 2003).

Este processo de crescimento populacional em Rondônia é o resultado de projetos governamentais e privados, bem como de migrações espontâneas, principalmente de pequenos produtores, atraídos pelas perspectivas de conseguir terras, invadindo áreas de florestas e desmatando com o intuito de adquirir direito de posse

pelo uso (Caldas, 2001). Os projetos de colonização ficaram sob a coordenação do INCRA e do Governo Federal através de programas de desenvolvimento (Polamazônia e Polonoroeste). Os Projetos Integrados de Colonização (PIC's) foram destinados à população de baixa renda, principalmente agricultores sem terra. Os primeiros a serem criados foram o de Ouro Preto (1970), Sidney Girão (1971), Ji-Paraná (1972), Paulo Assis Ribeiro (1973) e Padre Adolfo Rolhl (1975) e os Projetos de Assentamento Dirigidos de Burareiro e Marechal Dutra. Todas estas áreas foram divididas, predominantemente, em lotes de 100 ha. O PIC Ouro Preto, que visava assentar 500 famílias, ao final de um ano contava com para mais de cinco mil famílias (Lisboa, 1990). Contudo, a mudança de uso e cobertura da terra ocorreu de modo mais acentuado nas duas últimas décadas, como resultado do programa POLONOROESTE, iniciado em 1981. Em 1982 as iniciativas de colonização foram retomadas, sendo na região de Urupá, a área com o primeiro assentamento implantado da década, com lotes de 50 ha. Em Machadinho d'Oeste, projeto iniciado em 1984, cada família obteve lotes de 60 ha. A porção norte da bacia Ji-Paraná, onde está localizado o município de Machadinho d'Oeste, é uma das áreas mais preservadas. Entretanto, nesta área foram estabelecidos diversos assentamentos rurais na metade da década de 90, sendo estes : Santa Maria (1995), Tabajara (1995), Tabajara II (1996), Santa Maria II (1996), Lajes (1996) e União (1996).

Em termos de população a área que recobre a bacia do Ji-Paraná apresentou um incremento de 69.792 habitantes de 60 e 70 (IBGE, 2000). Na década seguinte, entre 1970 e 1980, este número foi triplicado, ocorrendo um aumento de 115.200 habitantes. Entre as décadas de 80 e 90 houve um aumento considerável de 321.863 habitantes no limite da bacia. Nos anos de 1991 e 1996 este valor apresentou uma queda brusca apresentando um aumento de apenas 18.482 habitantes. Entretanto, entre os anos de 1996-2000 novamente ocorre um aumento de 57.302 habitantes (Tabela 17).

Tabela 17: Incremento de habitantes na Bacia do Ji-Paraná entre os anos de 1960 a 2000
(IBGE_2000)

Período	Incremento habitantes (hab.) na bacia	hab./anos	Taxa (hab.ano-1)	Situação histórica
1960-1970	69792	69792/10	6980	-
1970-1980	115200	115200/10	11520	1º PIC's (Ouro Preto, Gy- Paraná, Sidney Girão, Paulo A. Ribeiro, Padre Adolfo
1980-1990	321863	321863/11	29260	POLONOROESTE
1991-1996	18482	18482/5	3696	Recessão econômica
1997-2000	57302	57302/4	14326	Novos Assentamentos (Sta maria, Sta maria II, Tabajara, Tabajara II, Lajes e União

Dentre outros fatores que determinam o desmatamento os fatores relacionados com as características da terra, como qualidade do solo, foram os mais associadas com o desmatamento na América Latina (Geist e Lambin, 2001).

A principal prática de conversão da cobertura do solo na Amazônia consiste na derrubada e queima, mecanismo que inicialmente enriquece a superfície do solo em cátions provenientes da biomassa vegetal queimada e transferida para o mesmo na forma de cinzas (Kauffman et al., 1998; Markewitz et al., 2001). Quando a vegetação é desmatada nos primeiros anos são plantadas culturas anuais (1-2 anos) e quando há decréscimo na produção é estabelecido o pasto. A predominância de pastagem na região resulta das dificuldades em estabelecer áreas com culturas perenes, principalmente porque estas têm uma demanda maior de capital, quantidade de mão de obra e necessidade de crédito rural (Diegues, 1999). Este tipo de processo é comum em

Rondônia, e particular na bacia do rio Ji-Paraná, onde é observado uma intensificação da pecuária bovina, principalmente na porção central da mesma (Marconato, 2002), além de ser o local onde se concentra a maior extensão de área destinada à colonização (aproximadamente 75% do total ocupado pelos programas).

Entre as forças das mudanças na cobertura do solo desta bacia os mais importantes são a fertilidade do solo, a dinâmica sócio econômica (o processo de colonização e aumento demográfico) e o desenvolvimento de infraestrutura (estradas).

Os resultados desse trabalho também apontaram a fertilidade do solo e distância das principais estradas como fatores significativos para explicar o processo de desmatamento na bacia do Ji-Paraná. No ano de 2001 as áreas agrícolas localizadas em solo com baixa fertilidade era de apenas 2705 km² (3,6% de toda bacia). Enquanto, que as áreas agrícolas localizadas em solos férteis representavam 23342 km² (31%).

Roberts et al, (2002) verificaram, através de uma série histórica 1975 a 1999 de Landsat 5-TM, diferenças significativas no uso e cobertura do solo entre três áreas localizadas na parte central de Rondônia, e atribuíram a aceleração nas taxas de desmatamento, principalmente, aos novos assentamentos, a fatores econômicos e infraestrutura (construção de estradas). Entretanto, segundo os autores outros fatores podem ter contribuído para estas diferenças regionais como, por exemplo, a fertilidade do solo. Alves et al. (1999), com base em uma série histórica (1985 -1995) de imagens Landsat-TM5 da região central do estado de Rondônia, verificou que as áreas mais desmatadas encontraram-se nos projetos de assentamentos próximos à BR 364. Mais de 50% do desmatamento ocorreu a uma distância de 12,5 km da estrada principal (BR 364).

Porém, se compararmos com trabalhos que abrangem uma escala maior, como por exemplo, os resultados de Laurance et. al. (2001) que apontaram como principais forças no processo de desmatamento para toda Amazônia Brasileira a densidade populacional, a distâncias das rodovias e a severidade do clima seco, sendo os fatores fertilidade do solo, áreas alagáveis e profundidade do solo marginalmente significantes. Isto nos leva a conclusão que para o estado de Rondônia a fertilidade do solo, diferente de outras regiões foi significativo no processo de desmatamento.

Esta dinâmica espaço-temporal de ocupação da terra resulta em um processo de fragmentação intenso na bacia do Ji-Paraná, ocorrendo principalmente em locais de solos mais férteis, próximas às principais estradas e onde estão localizados os assentamentos implantados na década de 70 e 80.

Analisando a composição e configuração da paisagem na bacia foi verificado que as áreas de floresta nativa estão sofrendo um intenso processo de fragmentação e conversão de matriz. Especialmente, nas regiões com solos férteis e localizadas até 15 km das principais estradas e, regiões com solos férteis e localizadas a uma distância maior que 15 km das estradas principais. A perda média de áreas de florestas entre os anos de 1986 e 1992 nestas duas regiões foi de 13% e a média dos fragmentos florestais passaram de 1589ha para 68ha e 983ha para 196ha entre os anos de 1986 e 1992, respectivamente. Nos outros dois períodos (1992- 1996 e 1996 – 2001) o processo de fragmentação florestal continuou, porém com menos intensidade se comparado ao primeiro período (1986-1992). Outro comportamento verificado nesta região foi a agregação das áreas agrícolas. No primeiro momento (1986), as áreas agropastoris localizadas na parte central da bacia, onde estão os solos mais férteis, próxima ou afastadas das principais vias de acesso, apresentavam em média 40ha, passando para 51,3ha em 1992, 60,80ha em 1996, passando para 145ha no final de 2001.

Em 1986, 64% das áreas agropastoris mapeadas encontravam-se dentro dos limites destes programas . Este valor aumenta para 67 % em 1992 e diminui para 66% e 65% nos anos de 1996 e 2001, respectivamente.

Com relação a dinâmica das áreas em regeneração na bacia do Ji-Paraná, este fato é particularmente importante, uma vez que o padrão de uso e abandono das pastagens em Rondônia difere do observado em outras regiões da Amazônia. O padrão típico do estado envolve desmatamento inicial, seguido pelo estabelecimento de pasto ou cultura anual. O abandono e regeneração da floresta são eventuais. No estado de Rondônia, em geral, as áreas em regeneração não persistem mais do que 8 anos (Roberts et al., 2002; Alves et al., 2003) A re-utilização de áreas não é frequente em outras regiões da Amazônia. Por exemplo, em Altamira (PA) entre os anos de 1985 e 1991, as áreas em regeneração aumentaram, principalmente, em regiões de manchas de

solos eutróficos (Moran et al., 1994). Os autores argumentam que as taxas de crescimento das espécies arbóreas diferem dependendo da intensidade de uso do solo, do tipo de solos, tamanho das áreas desmatadas. Um motivo bastante relevante para explicar os diferentes padrão das áreas em regeneração na Amazônia deve-se ao fato da constante fragmentação das áreas florestais. Provavelmente, um dos reflexos da fragmentação florestal nas áreas em regeneração deve-se ao fato da diminuição da estrada de sementes (banco de sementes) nestas regiões abandonadas devido ao isolamento dos fragmentos florestais e nem tanto a degradação do solo, já que muitas espécies florestais são tolerantes a acidez do solo e a baixa fertilidade destes solo (Uhl e Vieira, 1989).

6 CONCLUSÕES

- ✓ Em apenas 15 anos a região da bacia do Ji-Paraná sofreu intenso processo de desmatamento, decorrente principalmente da construção de estradas, da implantação dos Projetos de colonização, fatores econômicos e fertilidade do solo;
- ✓ Fragmentação das áreas de floresta foram intensas, principalmente na época de implantação dos projetos de assentamentos localizados na bacia;
- ✓ Tendência de agregação dos lotes na bacia, regiões que apresentavam área média de 40 ha em 1986 passaram para 145ha; ocorrendo uma modificação do padrão de uso do solo;
- ✓ As áreas em processo de regeneração (abandonadas) no estado de Rondônia, diferente de outras regiões da amazônia, são reutilizadas; porém são necessários estudos mais detalhados dessa classe de cobertura do solo;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, D.S.; ESCADA, M.I.S.; PEREIRA, J.L.G.; DE ALBURQUERQUE LINHARES, C. Land use intensification and abandonment in Rondonia, Brazilian Amazônia. **International Journal of Remote Sensing**, v.24, n.4, p.899-903, 2003.
- ALVES, D.S. Characterizing landscape changes in central Rondônia using Landsat TM imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v.20, n.14, p.2877-2882, 1999.
- BALLESTER, M.V.R.; VICTORIA, D. de Castro; KRUSCHE, A.V.; COBURN, R.; VICTORIA, R.L.; RICHEY, J.E.; LOGSDON, M.G.; MAYORGA, E.; MATRICARDI, E.. A Remote sensing/ GIS-based physical template to understand the biogeochemistry of the Ji-Paraná river basin (Western Amazonia). **Remote Sensing of Environment**, v.87, n. 4, p.429-445, 2003.
- BECKER, B.K. **Amazônia**. São Paulo: Editora Ática, (Série Princípios), 1997. 112p.
- CALDAS, M.M. Desmatamento na Amazônia: uma análise econométrica de autocorrelação espacial combinado informações de sensoriamento remoto com dados primários. Piracicaba, 2001. 126p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

COCHRANE, T.T.; COCHRANE, T.A.SIGTERON, Sistema de Informação Geográfica para os terrenos e solos do Estado de Rondônia, Brasil. Porto Velho, Rondônia: Tecnosolo/DHV consultants, 1998.

COLLINGE, S.K. Ecological consequences of habitat fragmentation: Implications for landscape architecture and planning. **Landscape and Urban Planning**, v.36, p.59-77, 1996.

CROSTA, A. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: Instituto de Geociências/UNICAMP, 1992. 170p.

DALE, V. H.; PEARSON, S.M.; OFFERMAN, H.L.; O'NEILL, R.V. Relating patterns of land-use change to faunal biodiversity in the central Amazon. **Conservation Biology**, v.8, n. 4, p.1027-1036, 1994.

DALE, V. H.; O'Nel, R.V.; Pedlowski, M.; Southworth, F. "Causes and effects of land-use change in central Rondônia, Brazil." **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.59, n.6, p. 997-1005, 1993.

DIEGUES, C.A. **Desmatamento e modos de vida na Amazônia**. São Paulo: Instituto de Pesquisa sobre o Desenvolvimento Social das Nações Unidas (UNRISD), Editora NUPAUB, 1999. 146p.

DIEGUES, C.A.; MILIKAN, B. **A dinâmica social do desmatamento na Amazônia : populações e modos de vida em Rondônia e sudeste do Pará**. São Paulo: Núcleo de apoio à Pesquisa sobre populações humanas e Áreas úmidas brasileiras/ Universidade de São Paulo, 1993. 155p.

ERDAS-IMAGINE. **User's manual**.Atlanta: ERDAS proprietaty, 1999. 459p.

FEARNSIDE, P. M. Deforestation of Amazônia. **Encyclopedia of global change: Environmental change and human society**. New York: Oxford University. 2002, v.1, p.31-38.

FEARNSIDE, P.M. **Deforestation impacts, environmental services and the international community**. **Crossroads: The Challenge of sustainable development**. London: Institute of Latin American Studies (ILAS), University of London, 2000. 257p.

FEARNSIDE, P.M. The main resources of Amazonia. Latin American Studies Association (LASA). In: CONGRESSO INTERNACIONAL, GUADALAJARA, 1., Mexico, 1997. Nacional Institute for research in the Amazon (INPA), 1997, p.17-19.

FEARNSIDE, P.M. Amazonian deforestation and global warming: carbon stocks in vegetation replacing Brazil's Amazon forest. **Forest Ecology and Management**, v. 80, p.21-34, 1996.

FEARNSIDE, P. M. "Deforestation in brasilian Amazonia: The effect of population land tenure." **Ambio**, v.22, n.8, p. 537-545, 1993.

FEARNSIDE, P.M. "The rate and extent of deforestation in Brazilian Amazonia." **Environmental Conservation**, v. 17, p. 213-226, 1990.

FEARNSIDE, P. M. "Spatial concentration of deforestation in the Brazilian Amazon." **Ambio**, v. 15, n. 2, p. 74-81, 1986.

FORMAN, R.T.T.; GODRON, M. **Landscape Ecology**. New York Wiley, 1986. 619p.

FUJISAKA, S., W. BELL, Thomas, N.; Hurtado, L.; Crawford, E. "Slash-and-burn agriculture, conversion to pasture, and deforestation in two Brazilian Amazon colonies." **Agriculture Ecosystems & Environment**, v. 59, p. 115-130, 1996.

GASH, J.H.C.; NOBRE, C.A.; ROBERTS, M.J.; VICTORIA, R.L. **Amazonian deforestation and climate**. New York: Wiley and Sons, 1996. 611p.

GEIST, H.J.; LAMBIN, E.F. Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation. **Bioscience**, v. 52, n.2, p. 143-150, 2002.

GEIST, H. J.; LAMBIN, E.F. **What drives tropical deforestation?** A meta-analysis of proximate and underlying causes of deforestation based on subnational case study evidence. Belgium: University of Louvain, v.4, 2001. 99p.

GERGEL, S.E.; TURNER, M.G.; MILLER, J.R.; MELACK, J.M.; STANLEY, E.H. Landscape indicators of human impacts to riverine systems. **Aquatic Sciences**, v.64, p.118-128, 2002.

HARDING, J.S.; BENFIELD, E.F.; BOLSTAD, P.V.; HELFMAN, G.S.; JONES, E.D. Stream biodiversity: The ghost of land use past. **Proceedings of Nacional Academy of Sciences**, p. 14843-14847, 1998.

HOUGHTON, R. A. Why are estimates of the terrestrial carbon balance so different? **Global Change Biology**, v. 9, p. 500-509, 2003.

HOUGHTON, R. A. "The Worldwide extent of land-use change." **Bioscience**, v.44, n.5, p. 305-313, 1994.

HOUGHTON, R. A., SKOLE, D.L., LEFKOWITZ, D.S., Changes in the landscape of Latin America between 1850 and 1985. Net release of CO₂ to the atmosphere. **Forest Ecology and Management**, p.173-199, 1991.

HECHT, S. Environment, development and politics: capital accumulation and the livestock sector in eastern Amazonia. **World Development**. v. 13, n. 6, p. 663-684, 1985.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Monitoramento da floresta Amazônica por satellites** [on line] <http://www.inpe.br> (janeiro, 2002).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE)
www.ibge.gov.br (2000)

JENSEN, J.R. **Introductory digital image processing**. A remote sensing perspective. New Jersey: Prentice Hall Upper Saddle River, 2 ed. 1996. 315p.

KAUFFMAN, J.B.; CUMMINGS, D.L.; WARD, D.E. Fire in the Brazilian Amazon: Biomass, nutrients pools, and losses in cattle pasture. **Oecologia**, v. 113, p. 415-427, 1998.

LADIS, J.R., KOCH, G.C. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, p. 174-197, 1977.

LAMBIN, E.F.; TURNER, B.L.; GEIST, H.J., AGBOLA, S.B.; et. al.. The causes of land-cover change: moving beyond the myths. **Global Environment Change**, v.11, p. 261 – 269, 2001.

LAURANCE, W.L., ALBERNAZ, A. K.M. O desmatamento está se acelerando na Amazônia Brasileira? <http://www.biotaneotropica.org.br>, (Maio, 2002).

- LAURANCE, W.F. Predictors of deforestation in the Brazilian Amazon. Search results for LBA Annual Process Report [on line] <http://lcluc.gsfc.nasa.gov>, (fevereiro, 2001).
- LAURANCE, W.L.; LAURANCE, S.G.; DELAMONICA, P. Tropical forest fragmentation and greenhouse gas emissions. **Forest Ecology and Management** v. 110. p 173-180, 1998.
- LAURANCE, W.F.; BIERREGAARD, R. O; GASCON, C.; DIDHAM, R.K.; et. al. Tropical forest fragmentation: Synthesis of a diverse and dynamic discipline. In: **Tropical Forest Remnants**. Chicago: The University of Chicago, 1997a. 616p.
- LAURANCE W.F.; LAURANCE S.G.; FERREIRA L.V. Biomass collapse in Amazonian forest fragments. **Science**, v.278, p.1117-1118, 1997b.
- LISBOA, P. L.B. Rondônia: Colonização e floresta. Programa Polonoeste, 1990.
- LU, D; MORAN, E.; BATISTELLA, M. Linear mixture model applied to Amazonian vegetation classification. **Remote Sensing of Environment**, v.87, p.456-469, 2003.
- MACHADO, L. **Geografia e meio ambiente no Brasil**. São Paulo: Editora Hucitec. 2 ed., 1998. 397p.
- MARKEWITZ, E.; DAVIDSON, E.A.; FIGUEIREDO, A.R de O., VICTORIA, R.L.; KRUSCHE, A.V. Control of cation concentrations in stream waters by surface soil processes in an Amazonian watershed. **Nature**, v. 410, p. 802-805, 2001.
- MALINGREAU, J.P.; TUCKER, C.J. Large scale deforestation in the southeastern Amazon basin of Brazil. **Ambio**, v. 17, p. 49-55, 1998.

- MARCONATO, R. Ocupação e uso do solo na bacia hidrográfica do Ji-Paraná (Rondônia): Levantamento sócio-Econômico-Agrícola, Piracicaba, 2001. 96p. (monografia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- MARGULIS, S. Causas do desmatamento na Amazônia Brasileira. BANCO MUNDIAL – BRASIL, Julho, 2003. 100p. <http://www.fineprint.com> (julho, 2003).
- MARTINE, G. Rondônia and the fate of small producers. In: The future of the Amazon: Destruction or Sustainable Development. St. Martin Press New York, p. 23- 48, 1990.
- MCGARIGAL, K.; MARKS, B.J. *FRAGSTATS*: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Portland, 1995. 122 p.
- MESQUITA, R. C.G., DELAMÔNICA, P., LAURANCE, W.F. Effect of surrounding on edge-related tree mortality in Amazonian forest fragments. **Biological Conservation**, v. 91, p. 129-134, 1999.
- METZER, J.P. O que é ecologia da Paisagem? [on line] **Biotaneotropical** <http://www.Biotaneotropical.org.br>, (Janeiro, 2001).
- MEYER, W.B.; TURNER, B.L. Human population growth and global land-use/cover change. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v.23, p. 39-61, 1992.
- MORAN, F. E.; BRONDIZIO, E., TUCKER, J.M., SILVA-FORSBERG, M.C., McCracken, S., FALESI, I. Effects of soil fertility and land-use on forest succession in Amazônia. **Forest Ecology and Management**, p. 93- 108, 2000.

MORAN, F. E.; BRONDIZIO, E.; MAUSEL, P.; WU, Y. Integrating Amazonian vegetation, land-use and satellite data. **Bioscience**, v. 44, p. 329-338, 1994.

MURCIA, C. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. **TREE**, v. 10, n.2, p. 58-62, 1995.

NEPSTAD, D. C.; KLINK, C.A.; UHL, C.; VIEIRA, I.C. et. al.. Land use in Amazonia and the Cerrado of Brazil. **Journal of the Brazilian Association for the Advancement of Science**. v. 49 , p. 73-85, 1997.

PEDLOWSKI, M.; DALE, V.H.; MATRICARDI, E. A. T.; SILVA FILHO, E.P. Patterns and impacts of deforestation in Rondônia, Brazil. **Landscape and Urban Planning**, v.38: p.149-157, 1997.

PFAFF, A.S.P. "What drives deforestation in the Brazilian Amazon?" **Journal of Environmental Economics and Management**, v.37, p.26-43, 1999.

PFAFF, A.S.P. What drives deforestation in the Brazilian Amazon? Evidence from satellite and socioeconomic data. **MIT Joing Program on the Science and Policy of Global Change**, 1996. 34p.

POWELL, R.L.; MATZKE, N.; SOUZA Junior., C.; CLARK, M., NUMATA, I.; HESS, L.L.; ROBERTS, D.A. Sources of errors in accuracy assessment of thematic land-cover maps in Brazilian Amazon. **Remote Sensing of Environment**, v.90, p. 221-234, 2004.

RAMALHO FILHO, A. E BEEK, K.J. Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras. Rio de Janeiro: **Embrapa**, 3 ed., 1995. 65 p.

ROBERTS, D.A.; NUMATA, I.; HOLMES, K.; BATISTA, G.; KRUG, T.; MONTEIRO, A.; POWELL, B.; CHADWICK, O.A. Large area mapping of land-cover change in Rondônia using multitemporal spectral mixture analysis and decision tree classifiers. **Journal of Geophysical Research**, v. 107, 2002.

SALA, O.E. CHAPIN, F.S., ARMESTO, J. et. al. Global biodiversity scenarios for the year 2100. **Science**, v.287, 1770-1774, 2000.

SALIMON, C.I., DAVIDSON, E.A., VICTORIA, R. L., MELO, A.W.F. CO₂ flux from soil in pasture and forests in southwestern Amazonia. **Global Change Biology**, v. 10, p- 833-843, 2004.

JMP ,SAS Institute (2002): Introductory guide - Version 5. Cary, NC.

SAUNDER, S.C.; MISLIVETS, MO.R.; CHEN, J.; CLELAND, D.T. Effects of roads on landscape structure within nested ecological units of the Northern Great lakes Region, USA. **Biological Conservation**, v.103, p.209-225, 2002.

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

SKOLE, L. D., CHOMENTOWSKI, W.H., SALAS, W.A.; NOBRE, A.D. Physical and human dimensions of deforestation in Amazônia. In the Brazilian Amazon, regional trends are influenced by large-scale external forces but mediated by local conditions. **Bioscience**, v. 44, n.5, p. 314-322, 1994.

STONE, A.T., BROWN, I.; FOSTER; M. WOODWELL. Estimation, by remote sensing, of deforestation in central Rondônia, Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 38, p. 291-304, 1991.

TECNOSOLO. Diagnóstico Sócio-Econômico-Ecológico do Estado de Rondônia e assistência técnica para formulação da segunda aproximação do zoneamento sócio-econômico-ecológico. (Relatório de Sócio-Economia Estudos Fundiários). Porto Velho: Instituto de terras de Rondônia 9ITERON), 1997. 107p.

TURNER, M.G. The effects of pattern on process. Landscape Ecology. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 20, p. 171-197, 1989.

TURNER, M.G.; WEAR, D.N.; FLAMM; R.O. Land ownership and land-cover change in the southern appalachian highlands and the Olympic Peninsula. **Ecological Applications**, v.6, n.4, p.1150-1172, 1996.

UHL, C.; VIEIRA, I.C.G. Ecological impacts of selective logging in the Brazilian Amazon: a case study from the Paragominas region in the State of Pará. **Biotropica**, v.21, p. 98 -106, 1989.